■ 公開
□ 密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：070404e302

農業部林業及自然保育署112年度科技計畫研究報告

計畫名稱： 竹構造之整合試驗與設計：由材料至接合到整體結構設計 (第1年/全程3年)

(英文名稱) Integrated Test and Design for Bamboo Structures: Materials, Connections, and Structural Design

計畫編號： 112農科-7.4.4-務-e3(2)

全程計畫期間： 自 112年3月1日 至 114年12月31日
本年計畫期間： 自 112年3月1日 至 112年12月31日

計畫主持人： 呂良正
研究人員： 楊晏瑜
執行機關： 財團法人臺灣營建研究院

1123425

行政院農業部林業及自然保育署主管一般科技計畫

竹構造之整合試驗與設計:由材料至接合到整體結構設計
Integrated Test and Design for Bamboo Structures: Materials, Connections, and Structural Design

112 年度成果報告

委辦機關：行政院農業部林業及自然保育署
執行機關：財團法人臺灣營建研究院
計畫主持人：呂良正
博士後研究員：楊晏瑜
研究助理：謝語哲、劉家成
計畫編號：112 農科-7.4.4-務-e3(2)
執行期間：112 年 3 月 1 日至 114 年 12 月 31 日(全程)
112 年 3 月 1 日至 112 年 12 月 31 日(本年度)

財團法人臺灣營建研究院
中華民國 112 年 12 月 10 日

1123425

目錄

1123425

1123425

1123425

1123425

1123425

1123425

圖目錄

1123425

1123425

1123425

1123425

1123425

1123425

表目錄

1123425

1123425

1123425

1123425

1123425

1123425

第一章 緒論

1.1 研究背景

近年來，環保意識抬頭，為了生態永續發展，循環經濟、生態保育的意識抬頭。在建築方面，過往建築材料多以鋼筋混凝土、鋼結構等方式建造，其能源消耗及碳排放量大，為減少使用此類材料，各國逐漸朝生物材料、材料再利用等方向發展。台灣本島種植大量面積的竹林，其中孟宗竹及桂竹佔全面積之90%以上，由於竹材為負碳材料，在製造及加工過程中碳排放量極低，又因生長速度快，一般四年左右可作為建築材使用，降低碳排量以達到永續生態、淨零排碳。因此，竹構造成為一種具有潛力的綠色建築材料。

在公私部門通力合作下，竹構造的發展已建立了初步的發展動能，例如雲林花博的竹構造建築群與近兩年的構竹林鐵新銳展皆獲得相當大的成功與喚起社會的共鳴。

鑒於台灣並無竹構造相關的設計規範，竹構造建築的設計者常常需要針對竹材與接合方式進行試驗以決定相關的強度與勁度。這不僅浪費時間與金錢，也常出現不同計畫中，相同竹材或竹桿件接合試驗有著差異過大的現象，這對竹構造的設計者與公部門的審查單位都造成了相當大的困擾。

為了解決上述問題，內政部建研所與成大杜怡萱教授團隊已於 110 年展開<竹構造建築物設計技術規範草案>的研究計畫。該草案基本上以 ISO 22156 [1]竹構造設計規範為藍本，並參考了國內外木構造規範的內容所擬定。對於最重要的竹材設計強度、楊氏模數與剪力模數及竹桿件接合的設計強度與勁度，並沒有提供明確的數值或設計式供設計者參考，相關參數與設計值須由額外試驗決定，這使得竹構造設計者無法直接利用規範進行結構設計。此外，為了提升竹構造的設計品質外，竹構造中常利用竹管中空的特性將其內部填充物質來補強接合，這能防止竹管壓潰與分散過度集中的應力。針對接合部位常見的劈裂現象，也會使用圍束(例如纏繞麻繩 、鐵絲或其他纖維材料)來補強。這些補強方法皆能大幅提升竹桿件接合的強度，但是國內外的規範對其皆無論述。

受限於竹管的天然斷面尺寸，竹構造多利用於跨距較小的構造或者當成次要構件來使用。在國外的大跨距竹構造案例中(例如穹頂與人行橋)，有使用竹管束集斷面來增大桿件斷面的強度與勁度的方法，這可大幅增加應用竹構造的建築類型與範疇。但是目前國內外使用竹管束集斷面的經驗皆十分有限 ，國際上也沒有相關規範可供參考，因此竹管束集斷面的研究是目前發展與推廣竹構造過程中相當重要的議題。

國內結構設計者對於竹構造應當如何模擬也存在諸多歧異，例如竹構造中常見的綁紮與螺栓接合，其勁度皆遠小於竹管斷面的勁度，接合勁度的設定對整體結構的穩定性與受力分布影響甚鉅，但是卻常常被竹構造設計者所忽略。因此提供一個標準的竹構造設計流程，並說明竹構造設計分析中需要注意的事項，將能大幅提升竹構造設計的效率與安全性。

圖 1. 1 越南武重義建築師之竹構造建築 (取自 https://vtnarchitects.net/en)

圖 1. 2 台南長榮大學長榮堂 (取自 大藏聯合建築師事務所)

圖 1.3 台灣大藏聯合之竹構造建築 (取自 https://architdz.com/)

1.2 研究主題

1.2.1 研究主旨

本研究主要分三個部分來探討竹構造的相關議題。首先，進行竹材材料試驗，以獲得竹材的相關設計參數。其次，進行竹桿件接合試驗，以獲得竹桿件接合的相關設計參數。最後，進行竹構造束集梁試驗與設計指南的擬定，透過竹材材料試驗和竹桿件接合試驗，訂定竹材的強度、勁度以及竹桿件接合的穩定性。這些試驗結果將被用來補充現有的竹構造技術規範，藉由整合前兩個部分的試驗結果，補強台灣竹構造技術規範草案的內容，使得竹構造設計者無需再進行額外的試驗，能直接根據規範的內容對常用的竹構造進行結構設計。這將大大提高竹構造在台灣的推廣和應用效率。

1.2.2 研究緣起

本研究採用國產竹材，不僅能夠節能減碳，還有助於保護環境並減緩全球氣候變遷的「綠色消費」。根據林業試驗所的資料，台灣目前擁有約 18.3 萬公頃的竹林面積，這是一個具有經濟生產規模且可再生的資源。為了振興本土林產業，行政院農業委員會制定了「新興竹產業發展綱要計畫」，該計畫已於行政院 110 年 10 月 4 日核定並納入案件中（院臺農字第 1100019908 號函）。這項計畫的目標是推動竹產業的發展，促進國內竹材的生產和利用，進一步加強本土林業的競爭力和永續發展。

過去公部門對於竹構的相關研究投注資源甚少，近年來竹構造在世界及臺灣逐漸獲得重視。最近臺灣竹會匯集民間力量合力編製「竹構築指南」，本院今年度配合行政院農業委員會林務局「竹構造之整合試驗與設計 (112 至 114 年度)」(草案)之分工，探討竹材由材料至接合到整體結構設計。本案研究範圍為竹材的材料性質、竹接合的接合行為以及擬定其應用在大跨度竹構造(例如穹頂與人行橋等)的設計指南。

1123425

1.2.3 研究目的

本研究之研究目的包括:

1. 提供未來以竹材為建築材料之重要設計參數：過往竹構造設計多以竹材強度的平均值作為設計值，該作法欠於考慮統計及材料安全係數之折減。此研究提供竹材的設計強度、楊氏係數及不同環境的持續時間參數供設計者使用。
2. 研究接合勁度與強度值之評估方法：目前對於竹構造接合之系統性研究相對匱乏，此評估方法除了可成為構造設計者之設計參考外，也可成為未來相關接合試體試驗之前導研究。
3. 研擬整體結構分析之建議流程：大跨距竹構造薄殼經整體結構分析，以本研究成果為基礎進行標準化。使未來相關結構設計，能更快速，便捷與安全。

1.2.4 本研究計畫之重要性

目前國內並無竹材料之相關 CNS 試驗標準，過往竹構造設計多以竹材強度的平均值作為設計值，該作法欠於考慮統計及材料安全係數之折減，在設計、施工及使用上皆有安全性的疑慮。本研究採用圓竹試驗國際規範 2019 年版 ISO 22157 [2]「Bamboo structures -Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms - Test methods」，來進行竹材料試驗，以求得竹材材料設計強度與楊氏模數，建立一套本土竹材的基本材料及力學性質資料庫，以提供竹建築構造設計者之參考依據。

1.3 計畫預期目標

本研究之預期目標包括:

1. 建置竹材試驗與竹桿件接合試驗的設備，以便進行桂竹與孟宗竹竹材試驗。
2. 在服務等級 1 (環境濕度低於 65%或竹材含水率低於 12%)及服務等級 3 (環境濕度高於 85%或竹材含水率高於 20%)的竹材含水率條件下，進行平行纖維抗壓、平行纖維抗拉、平行纖維抗剪、竹桿抗彎、垂直纖維抗拉及垂直纖維抗壓等 6 項竹材材料試驗，求得包含楊氏模數與設計強度。

   每項試驗的試體數量為 36 個(其中 6 個作為含水率控制用)，大於 ISO 規定之最少試體數量 30 個。總試體數為： 2 種竹材(孟宗竹和桂竹) * 2 個部位(竹頭

1123425

和竹尾) * 2 種處理方式(生竹和乾燥竹) * 2 個服務等級(服務等級 1 和服務等級 3) * 6 項試驗 * 36 個試體＝共 3,456 個試體。

3. 對於竹桁架與竹薄殼結構中常用的竹桿件接合進行分類，選擇最實用且最具研究價值的接合模式進行最佳化，並考量有無補強的變因，最後進行相關的接合試驗。研究目的是提供竹構造設計者明確的竹桿件接合設計指南。
4. 竹管束集斷面研究: 考察觀摩國外採用竹管束集斷面的竹構造案例，設計相關實驗來研究其構造原理與結構效能。研究目的是提供竹構造設計者明確的竹管束集斷面的設計指南。
5. 擬定設計流程與提供設計案例: 對數個具代表性的竹構造案例進行結構分析，從整體結構到細部分析逐一檢驗。其目的是來驗證前述對於竹材與竹桿件接合之研究所提供的資訊是否對於一般竹構造分析已經充足，並透過案例分析整理出標準的竹構造設計流程供竹構造設計者參考。

第二章 研究方法與流程

2.1 研究採用之方法

本研究透過下列方式進行:

1. 「模擬低濕度及高濕度環境」：將竹材放置於符合國際規範 ISO 22156 [1]之服務等級 1 及服務等級 3 的環境濕度。
2. 「求得竹材料設計楊氏模數與設計強度」：符合國際規範 ISO 22157 [2] 的方式進行竹材材料試驗，求得竹材材料參數。
3. 「竹接合接合蒐集與分類」：收集及分類台灣常見之竹接合接合資料。
4. 「探討建模原則及注意事項」：討論相關建模原則與後續進行建模時須注意的事項。

2.2 研究採用方法之原因

本研究所採用方法之背景與原因說明如下：

1. 模擬低濕度及高濕度環境

考慮台灣高濕度的氣候特性，尤其在高山地區，環境濕度往往高達 85%以上。然而，國際規範 ISO 22156 並未明確定義服務等級 3（環境濕度 85%以上或竹材內部含水率 20%以上）的強度與載重持續時間修正係數 C_{DF} 與 C_{DE}，因此為彌補這方面的不足，本研究將進行模擬低濕度及高濕度環境的研究。

2. 求得竹材料設計楊氏模數與設計強度

台灣的竹構造設計者常常需要針對竹材與接合方式進行訂製化的試驗以決定相關的強度與勁度。這不僅浪費時間與金錢，也常出現在不同案件中卻對相同竹材或竹桿件接合試驗有著結果差異過大的現象，這對竹構造的設計者與公部門的審查單位都造成了相當大的困擾台灣的竹構造設計者常常需要進行針對竹材與接合方式的定制試驗，以決定相關的強度和勁度。然而，這種做法不僅浪費時間和金錢，而且常常導致在不同案件中使用相同竹材或竹構件接合方式

進行試驗時，結果卻有著差異過大的情況。本研究將提供一個明確的設計強度及設計楊氏模數，供設計者使用。

3. 竹接合蒐集與分類

國內結構設計者對於竹構造應當如何模擬存在著許多不同的看法，例如竹構造中常見的綁紮與螺栓接合，其勁度遠小於竹管斷面的勁度。然而，接合勁度的設定對整體結構的穩定性和受力分布有著巨大的影響，但這一點常常被竹構造設計者所忽略。本研究將提出一個標準的竹接合設計流程及其設計分析中需要注意的事項，以提升竹構造設計的效率和安全性。

4. 探討建模原則及注意事項

在國外的大跨距竹構造案例中（例如穹頂和人行橋），常使用竹管束集斷面來增大桿件斷面的強度和勁度。這種方法能夠大幅增加應用竹構造的建築類型和範疇。然而，目前國內外使用竹管束集斷面的經驗非常有限，國際上也沒有相關規範可供參考，因此竹管束集斷面的研究是目前發展與推廣竹構造過程中相當重要的議題。

2.3 預計可能遭遇之困難及解決途徑

本研究預計可能遭遇之困難及解決途徑如下：

1. 竹材內部水份分布不均

由於竹材是一種天然的生物材料，其竹材內部水份分布不均，這使得其含水率難以用單一數值精準表示。為確保試驗結果符合要求，本研究需要建立適當的環境場，以使竹材的內部水份盡可能地分布均勻，使其符合試驗要求。

2. 乾燥材不易吸水

經過特殊處理的乾燥竹材吸水能力較差，即使置於高濕度環境中，其含水率在短時間內也難以達到試驗要求。為了確保試驗的有效性及竹材試體中的水份為束縛水(bound water)而非游離水(free water)，本研究採用泡水後再放入高濕度環境的方式進行養護，以確保乾燥竹材的含水率達到試驗要求。

第三章 文獻回顧

3.1 相關論文及研究計畫

3.1.1 國內相關文獻

1. 杜怡萱(2021)，竹構造建築物設計技術研究資料蒐集分析報告[3]

   此研究彙整國內外相關的文獻與設計規範，研擬合適臺灣的竹構造設計規範草案，希望提供設計者有一套設計準則可以依循，同時也能促進本土竹材在建築上的應用。

2. 林家荷(2015)，竹材應用於薄膜式完全張力體之研究 [4]

   此研究透過實驗操作及參數模擬作為研究方法，藉此交互驗證，並在試驗中求得桂竹的楊氏模數與平行纖維抗拉強度。

3. 馬子斌(1964)，臺灣產主要竹材之物理性質及力學性質 [5]

   此研究針對桂竹、麻竹、刺竹、長枝竹及孟宗竹等五種臺灣常見竹種進行材料試驗，探討其物理性質(含水率、收縮率、比重)與力學性質(平行纖維抗壓試驗、垂直纖維抗壓試驗、平行纖維抗剪試驗、平行纖維抗拉試驗、平行纖維抗彎試驗)，並進行比較。

4. 游家誠(2009)，古蹟歷史建築修復施作過程竹材保護棚架系統之研擬與應用 [6]

   該研究首先對國內竹棚常用竹材孟宗竹進行各種試驗，包括平行纖維抗壓試驗、垂直纖維抗壓試驗、平行纖維抗剪試驗、平行纖維抗拉試驗、竹材構件在橫向力作用下之行為探討(平行纖維抗彎試驗)、竹材構件在軸壓力作用下之行為探討(挫屈強度試驗)，藉此求得孟宗竹的楊氏模數與各強度試驗值。

3.2.2 國外相關文獻

1. Jules J. A. Janssen (1981), Bamboo in Building Structures [7].

   此論文探討竹子作為熱帶國家建築結構材料的可行性，內容先測定竹材的各項力學性質，包括：楊氏係數、抗壓強度、抗彎強度、抗剪強度、抗拉強度、波松比、密度等；接著針對一組跨距 8m 的竹桁架進行測試研究：先使用不同材料之桁架接合進行抗壓試驗，再對不同接合類別之竹桁架進行載重試驗。

2. Christopher Davies (2008), Bamboo Connections [8].

   此研究目的是檢視世界上現有之竹接合並整理接合強度的可靠數據，內容將接合種類分為傳統工法接合與新式工法接合，並詳述各種接合的性質。此研究建構了垂直接合接合之基本力學強度測試系統，並針對垂直接合中四種不同類別的接合（竹梢接合、木節點版(gusset plate)接合、灌注混凝土接合及鋼鐵內套管）進行抗拉、抗彎與抗剪試驗。

3. Roberval Bráz Padovan (2010), O Bambu Na Arquitetura: Design De Conexões Estrutuai [9].

   此研究探討竹子應用為建築材料的可行性，內容先介紹竹子的基本資料，並整理竹材力學強度之數據，透過巴西當地的傳統與現代竹構造建築案例整理，將接合分為傳統接合與新式接合，再依接合部位分類為續接、垂直接合與非垂直接合。研究最後針對灌注混凝土並使用鐵件束制之接合進行抗拉試驗，並由此研發一種端部接合作法，此種接合能夠適應不同的接合部位。

4. Oscar Hidalgo López (1981), Manual de Construccion con Bamboo. Bogotá: Estudios Técnicos Colombianos [10].

   此書為哥倫比亞的竹構造施工手冊。內容包括：竹子的介紹、竹材加工方式、傳統竹接合圖說、不同型式竹構造物的建造方式。此書內容圖文並茂，針對竹材的挑選與加工、竹接合的製作、各型式構造物的施工皆有完整圖說指引。

5. Jules J. A. Janssen (2000), Design and Building with Bamboo, Beijing: International Network for Bamboo and Rattan (INBAR) [11].

作者將其累積 25 年之竹構造相關研究寫成此書，內容包括：竹子的介紹、種植與保存、材料之力學強度、竹接合介紹、基礎製作、竹構造建築設計等。其中，竹構造接合依接合部位分為：竹材內接合、竹斷面上接合、竹外周上接合的垂直方向及水平方向接合。

6. Tania Cerrón Oyague (2014), Manual de Construcción de Estructuras con Bambú, Lima: SCENICO [12].

   此文獻為祕魯的竹構造施工手冊，內容包括：竹材的性質、竹材處理、竹構造建築設計、竹接合的分類與竹構造建築建造過程。

7. Jorge Morán Ubidia (2015), Construir con Bambú Manual de Construcción, Beijing: INBAR [13].

   國際竹與籐組織（INBAR）的竹構造施工手冊，內容包括：竹材挑選與加工、基礎與設備施作、竹接合的介紹與製作、結構系統介紹、竹構造的施工與養護等並提供大量圖片說明。

3.2 國內外相關設計規範

1. American Society of Civil Engineers(1996)，Standard for Load and Resistance Factor Design (LRFD) for Engineered Wood Construction，AF&PA/ASCE 16-95[14]。

   此規範為美國之木構造建築物設計規範，以載重與抵抗力因子設計法（Load and Resistance Factor Design, LRFD，即極限狀態設計法）作為木結構之設計方法。規範中提供了不同極限狀態之載重組合與抵抗力因子，以及各類構材之設計計算公式。

2. 中華民國內政部營建署(2003)，木構造建築物設計及施工技術規範[15]。

   此規範為台灣現行之木構造建築物設計規範，以容許應力法作為木結構之設計方法，並提供常見樹種之容許應力參考值。規範除了詳細說明構材設計與分析方法外，也納入了框組式構造相關的設計指引及防火相關規定。

3. 中國工程建設標準化協會(2016)，圓竹結構建築技術規程：CECS434[16]。

此規範將竹構造建築視為木構造建築的一種，其內容包括：材料、結構設計、載重、構件、基礎、接合、構造、防火與隔音、保溫節能與通風空調、構材之防護、施工與驗收的基本規定。

4. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2017)，Norma Técnica E.100 para el uso de Bambú [17]。

   此文件為祕魯之竹構造技術規範，內容包括：竹材介紹、材料之力學強度、結構分析與設計、施工流程、竹接合設計等，其中對竹構造的施工流程與各種接合的製作方式提供相當詳細的圖解說明。

5. ISO(2019)，Bamboo Structures - Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo Culms - Test Methods，ISO 22157:2019[2]。

   此 ISO 文件內容包含竹材的選用、採樣、儲存等一般性規定，以及竹材的含水率、密度、單位質量等物理性質與竹材力學強度之測試方法。

6. ISO(2021)，Bamboo Structures - Bamboo Culms - Structural Design，ISO 22156:2021[1]。

此文件為 ISO 提供之最新版竹結構設計規範，與舊版 ISO 22156:2004 所不同的是，規範僅適用於圓竹，並採容許承載容量設計法（Allowable load-bearing capacity design, ACD）且提供了各種調整係數，內容包括：基本設計原則、環境之服務等級、各項構材的詳細設計方法、耐久性影響等。規範中特別引進了輕質水泥竹框架（LCBF）系統，可作為竹結構之剪力牆，最後於附錄中也提供各式竹接合之範例。

第四章 竹材介紹

過往建築材多以鋼筋混凝土、鋼結構等方式建造，其能源消耗甚大。木材及竹材等原生材料為負碳材料，製作及加工過程中，碳排放量低。若以木材或材料為主做為建築材，可達到降低碳排放量以達到永續生態、淨零碳排。台灣擁有大面積的竹林，其中以孟宗竹及桂竹佔竹林總面積 90%以上。目前台灣對於竹構造的使用方式和材料性能，如彈性模數、設計強度以及施工規範等，尚未有明確的定義。藉由建立竹構造設計規範，我們能更有效地運用台灣現有的竹材資源，推動竹構造在建築領域的應用，並在環境保護和持續發展方面取得更大的成就。

4.1 孟宗竹

孟宗竹，學名 *Phyllostachys pubescens Mazel ex H.de Leh.*，俗名：毛竹、貓兒竹、南竹。是台灣最常見且重要的竹種之一。它屬於禾本科竹亞科孟宗竹屬，竹高介於 4~20 公尺間，直徑 5~18 公分，是一種高大、茂密且生長迅速的竹子，地下莖細長橫走，竹桿較稀疏散生，幼桿表面粉綠色，密生銀色軟柔毛，它在中國被稱作「毛竹」，在台灣竹構中孟宗竹常用直徑尺寸為 9~12 公分。以下將介紹孟宗竹的特徵、用途和在台灣的重要性。

4.1.1 孟宗竹的用途：

1. 「建築材料」：孟宗竹的莖幹堅韌且輕巧，適合作為建築和結構材料。常被用於建造竹屋、竹樓、竹橋和竹圍籬等傳統建築。
2. 「家具和工藝品」：孟宗竹的紋理和質感極佳，使其成為製作優質竹家具和工藝品的理想材料，可以製作桌椅、燈具、筷子等各種家居用品。
3. 「竹筍食材」：孟宗竹的筍莖富含營養，被廣泛用於烹飪和料理中。其竹筍具有爽脆的口感和獨特的風味，常用於炒菜、湯品和涼拌等料理中。

4.1.2 孟宗竹在台灣的重要性：

1. 「生態價值」：孟宗竹具有良好的生態功能，它能夠保持水土、調節水文、提供棲息地和保護生態多樣性。孟宗竹林也是一個重要的碳吸存和氧氣釋放者。
2. 「經濟價值」：孟宗竹是台灣的重要經濟作物之一，種植孟宗竹的竹林為農民提供了收入來源。竹筍的生產和銷售對於當地經濟有著重要的貢獻。
3. 「文化價值」：孟宗竹在台灣的文化中佔有重要地位，它被視為傳統工藝和藝術的代表。竹藝工藝和相關的文化活動在台灣社會中扮演著重要角色，傳承著悠久的竹文化。

孟宗竹是台灣一種重要的竹種，具有廣泛的應用價值和生態、經濟、文化的重要性。它代表著台灣竹子的特色，同時也體現了人們對於可持續利用自然資源和傳統工藝的關注和重視。

圖 4. 1 孟宗竹 (圖片出處：https://www.nthcc.gov.tw/B3_2/content/687)

4.2 桂竹

桂竹，學名：*Phyllostachys makinoi Hayata*，為生長於台灣中北部海拔 100~1500 米的散生竹種，是台灣特有的竹子。它的竹桿高度約為 12 米，直徑 4~8 公分。桂竹的竹莖表皮堅硬，幼莖呈粉綠色，成熟後轉變為深綠色，老年則呈棕綠色。地下莖多為實心，橫走且生長茂盛。

1123425

桂竹的竹莖具有堅硬的外皮和肉厚的桿肉，是各種竹材中抗彎強度最大的一種，非常適合製作竹編器具，例如米籃、畚箕、魚簍等生活必需品。此外，桂竹在許多方面都有廣泛的應用。它可以用來製作包含家具在內的各種材料，而其筍部則可以作為食用的美味佳餚。桂竹生長迅速，覆蓋面積廣泛，長年來一直是台灣重要的經濟作物之一。

4.2.1 桂竹的用途：

桂竹具有多種用途，以下是桂竹常見的應用範疇：

1. 「竹編工藝品」：桂竹的堅硬表皮和厚實的竹桿使其成為製作竹編工藝品的理想材料，例如米籃、畚箕、魚簍、花籃等。這些竹編工藝品在生活中常被用於儲物、運輸和裝飾。
2. 「家具和建築材料」：桂竹可作為製造家具和建築材料的可靠選擇。它可以用來製作桌椅、櫃子、架子等家具，以及地板、牆壁和屋頂等建築材料。桂竹的堅硬度和抗彎強度使其在這些應用中具有優勢。
3. 「竹筍食材」：桂竹的筍部是美味可口的食材，被廣泛用於烹飪中。它們可以被切片、炒熟或加入湯品和燉菜中，提供獨特的口感和營養價值。
4. 「園藝和景觀設計」：桂竹的高聳身形和翠綠色彩使其成為園藝和景觀設計中的常見元素。它們可以種植成行，用於劃分空間、營造綠意和提供遮蔽。桂竹還可以用於製作園林結構，例如竹籬笆、竹亭和竹圍欄。
5. 「環境保育和土壤保護」：桂竹是一種生長迅速的植物，具有良好的土壤固定能力，可用於防止土壤侵蝕和保護水源區域。它們還能夠吸收二氧化碳，有助於改善空氣質量和減少溫室氣體排放。

總體而言，桂竹是一種多功能的植物，被廣泛應用於手工藝品、建築、食材和環境保育等領域，同時也為台灣的經濟和生態做出了重要貢獻。

4.2.2 桂竹在台灣的重要性：

1. 「經濟價值」：桂竹是台灣的重要經濟作物之一。它的快速生長和廣泛分布使得桂竹的生產成本相對較低，並且可以提供豐富的竹材供應。桂竹的竹篾可用於竹編工藝品、家具和建築材料的製作，竹筍則可作為食材供應市場需求。這些產品的銷售不僅促進了農村經濟的發展，還提供了許多就業機會。
2. 「環境保護」：桂竹是一種快速生長的植物，具有良好的土壤保持和防止土壤侵蝕的能力。它的根系可以有效固定土壤，減少水土流失，並有助於保護水源區域。此外，桂竹能吸收二氧化碳並釋放氧氣，有助於改善空氣質量和減少溫室氣體的排放，對緩解氣候變化具有積極作用。
3. 「文化傳承」：桂竹在台灣的歷史和文化中佔有重要地位。它被視為傳統工藝和生活方式的象徵，代表著農村生活和民俗傳統。桂竹竹編工藝品、竹籬笆和竹亭等傳統建築結構都是台灣文化的一部分，通過保存和傳承這些傳統技術，可以保護台灣的文化遺產。
4. 「生態價值」：桂竹作為台灣的特有種，對當地生態系統具有重要的生態價值。它提供了許多動植物的棲息地和食物來源，對於保護物種多樣性和生態平衡至關重要。桂竹林還可以作為遊憩區和自然保護區的重要景觀元素，吸引遊客和研究人員。

圖 4. 2 桂竹 (圖片出處：https://www.nthcc.gov.tw/B3_2/content/727)

1123425

4.3 竹子處理方式

本文所使用的孟宗竹與桂竹，共有乾燥竹與生竹兩種，在竹材性質試驗中，兩種竹子處理方式皆會進行試驗；在竹桿件接合試驗中，只採用乾燥竹進行試驗，以下分別說明乾燥竹以及生竹兩種處理方式。

4.3.1 乾燥竹材

常見的乾燥多為殺青處理，其方法常以煮沸法及碳火法，目的在於去除竹材表皮上的油污及減少竹肉中的醣分，。

本研究所使用之乾燥竹材為德豐林業所協助進行乾燥的竹材，其流程為將竹材放入乾燥窯中，以蒸氣加熱至 70°C 後，換熱管加熱至 110°C 左右，藉此將竹壁中之游離水(free water)轉為蒸氣蒸發，將竹材所含的水分，降至 12%以下，即可出窯。

圖 4. 3 乾燥竹材

4.3.2 生竹

本研究所使用之生竹為並未經過任何處理，從竹林砍伐後，直接送往廠房直接製作試體，並未經過任何乾燥處理，因此生竹材料非常容易蟲蛀及發霉，因此裁切後需盡快進行試驗。

圖 4. 4 生竹竹材

1123425

第五章 試驗設備介紹

5.1 乾室與濕室

乾室和濕室的設計和操作要根據實驗的需求和目的，提供了一個可控制溫濕度的環境，讓研究人員能夠探索材料、產品或生物在不同濕度條件下的行為和性能。這些實驗室的使用可以幫助科學家、研究人員和工程師更好地了解材料和系統在不同環境條件下的適應能力和穩定性。

5.1.1 乾室

乾室是一個將環境控制在低濕度的封閉空間。主要用途用於夠保持相對較低的濕度水平，通常在 50%以下。乾室的目的是為了測試或儲存對濕度敏感的物品，以確保它們在乾燥的條件下保持穩定。乾室通常使用特殊的除濕設備，如乾燥機或除濕器，來控制室內的濕度水平。在乾室中進行的實驗或操作可能包括材料乾燥、儲存電子元件以及進行精密測量等。

5.1.2 濕室

濕室則是一個將環境控制在高濕度的封閉空間，目的是為了模擬高濕度條件下的實驗環境，通常能夠維持相對濕度在 80%以上。在濕室中可以進行一些特定的實驗，例如測試材料在高濕度環境下的性能、研究植物生長或昆蟲飼養等。濕室通常配備加濕設備，如加濕器或霧化器，來增加室內的濕度水平。

表 5. 1 乾室與濕室之環境設定值

	乾室	濕室
溫度	23ºC	23ºC
濕度	50%	95%
尺寸	450cm × 250cm × 200cm	380cm × 350cm × 200cm

1123425

(a)乾室

(b)濕室

圖 5. 1 乾室與濕室環境資訊

5.2 烘箱

烘箱是專門用於將物品進行加熱和乾燥的設備。它通常由一個封閉的箱體和加熱系統組成。烘箱的主要目的是去除物體中的水分，使其達到所需的乾燥程度。

烘箱的操作原理是通過加熱空氣或其他熱媒體，將熱能傳遞給物體表面，使水分蒸發並從物體中排出。烘箱通常配備了溫度控制系統，可以根據需要調節和維持烘燥過程中的溫度。此外，烘箱通常也具備通風系統，以保持空氣的循環和排出排放的水分。烘箱具有高效、可靠的加熱和乾燥能力，能夠提供準確且可控的溫度環境，從而實現物體的乾燥、固化、處理等多種目的，在許多行業中發揮著重要的作用，幫助提高生產效率和產品質量。

本研究需測定竹材試體之含水率，使用國立臺灣大學土木工程學系之烘箱(如圖 5. 2 及圖 5. 3)，其烘箱溫度達 160ºC，並將試體放入 24 小時使其竹材乾燥，進而計算實驗試體之含水率。

為了驗證放入烘箱後多久能讓竹材完全不含水分，本研究將 6 個竹材試體放入烘箱 12 小時、24 小時及 30 小時三種不同時間後，進行秤重含水率（見 5.2.1 節）計算得到各時間含水率的變化， 從

1123425

表 5. 3 得知，竹材烘乾 24 小時後，含水率變化小於 1%，進行所有的秤重含水率試驗時，竹材烘乾時間訂為 24 小時。

圖 5. 2 烘箱外觀

圖 5. 3 烘箱內裝

表 5. 2 烘箱資料

廠牌	Memmert
最大溫度	220°C
外尺寸	950mm × 920mm × 650mm
內膛尺寸	800mm × 640mm × 500mm
電壓	220V

表 5. 3 不同烘乾時間秤重資料

竹種	孟宗竹	桂竹	孟宗竹	桂竹	孟宗竹	桂竹
處理	生竹	生竹	生竹	生竹	乾燥	乾燥
乾濕室	乾室	乾室	濕室	濕室	濕室	濕室
烘乾前重量(g)	46.81	28.61	64.25	39.5	49.65	28.45
烘乾後重量(12 小時) (g)	39.67	25.29	51.73	33.26	45.21	26.62
烘乾後重量(24 小時) (g)	33.96	20.72	43.62	30.27	43.86	25.47
烘乾後重量(30 小時) (g)	33.85	20.61	43.33	30.09	43.69	25.26
12 小時秤重含水率(%)	18.00	13.13	24.20	18.76	9.82	6.87
24 小時秤重含水率(%)	37.84	38.08	47.29	30.49	13.20	11.70
30 小時秤重含水率(%)	38.29	38.82	48.28	31.27	13.64	12.63

5.2.1 秤重含水率

含水率是指材料或物體中所含水分的百分比。計算含水率的方式可以根據材料的性質和測量方法的不同而有所差異。以下為秤重含水率計算方式：

$$秤重含水率 = \frac{w_1 - w_0}{w_0} \times 100\% \tag{5.1}$$

其中，w_1 為烘乾前的重量 (g)及 w_0 為烘乾後的重量 (g)。

5.3 萬能試驗機

萬能試驗機（Universal Testing Machine）是一種廣泛應用於材料力學領域的實驗設備。它是一種用於測試材料強度和性質的多功能設備，能對不同試體進行拉伸、壓縮、彎曲、剪切等力學性質的測試。

本研究所使用的萬能試驗機通常由電力驅動系統組成，提供可控的荷重和位移。萬能試驗機擁有可調節的夾具或夾具系統，以容納不同形狀和尺寸的試樣，並確保試樣在測試過程中固定且維持穩定。

表 5. 4 萬能試驗機規格

廠商	弘達儀器	
型號	HT-2402S1 電腦伺服控制材料試驗機(圖 5.4)	HT-2402ST25 電腦伺服控制材料試驗機(圖 5.5)
最高荷重	1,000kgf	25,000kgf
精解度	1/200,000	
速度範圍	0.005~500 mm/min	
位移解分辨率	0.05μm	
體積	80×67.5×174 cm	117×86×245.5cm
重量	130kg	1350kg

1123425

圖 5. 4 HT-2402S1 電腦伺服控制材料試驗機

圖 5. 5 HT-2402ST25 電腦伺服控制材料試驗機

5.4 含水率測定儀

含水率測定儀是一種用於測量材料或樣品中水分含量的儀器。它通常被廣泛應用於各種領域，包括農業、食品工業、建築、木材處理、製藥、環境科學等。

含水率是指材料或樣品中所含水分的重量百分比。測定含水率的目的是確定材料中的水分含量，這對於許多應用上是非常重要的。例如：在農業中，測量土壤的含水率可以幫助農民判斷最佳的灌溉量；在食品工業中，測定食品的含水率可以確保其品質和耐久性；在建築和木材處理中，了解材料中的水分含量可以避免材料變形或腐朽等問題。

在本研究中，為了確定竹材是否達到試驗要求，因此採用探針式含水率測定儀。探針式含水率測定儀其工作原理為被測物體的導電率來測量水分含量，隨著水分含量的增加，導電率也相應增大，而在本研究中此測定出來的含水率稱為測定儀含水率。當被測物體的水分含量較高時，其電容率增大，從而導致等效電容的增加。透過測量被測物體的等效電容值，可以推算出水分含量的數值。本研究初期所使用之含水率測定儀為 Mastech 所出的測定儀，其規格如表 5. 5，由於測定儀針頭損毀，後續更換 Seatools 所出的測定儀，其規格如表 5. 6，故第六章試驗結果之測定儀含水率會有兩種不同精度表示。**Error! Reference source not found.Error! Reference source not found.**

表 5. 5 Mestech 含水率測定儀規格

測定範圍	0%~60%
分辨率	0.1%
供電	2 顆 AAA 電池
外型尺寸	130×56×29mm
重量	約 120g(含電池)
工作溫度與濕度	-10ºC~50ºC, 10~90%相對濕度

表 5. 6 Seatools 含水率測定儀規格

測定範圍	2%~70%
分辨率	0.5%
供電	單顆 9V 電池
外型尺寸	129×63×32mm
重量	約 116g(含電池)
工作溫度與濕度	0ºC~40ºC, 0~70%相對濕度

1123425

圖 5. 6 含水率測定儀 (左:Mastech 牌測定儀，右:Seatools 牌測定儀)

5.4.1 驗證含水率測定儀

為了確保含水率測定儀的準確性，本研究取六支 50cm 含兩個竹節的竹桿，分別為放於乾室之孟宗竹及桂竹的生竹、放於濕室之孟宗竹及桂竹生竹與放於濕室之孟宗竹及桂竹的乾燥竹共 6 支，靜至於乾、濕室一週後，切開竹桿取中間 10cm 長度不含竹節的竹筒，分別對竹筒的兩個截面進行測定，共測定六次（如圖 5. 8），測點 1 及測點 4 靠近竹筒表面，測點 2 及測點 5 靠近竹筒內壁，測點 3 及測點 6 位於竹壁中間。當測定完後，將竹筒剖成兩半，測點 7 靠近竹壁表面，測點 8 靠竹壁內壁，最後測點 9 位於竹壁中間，其流程圖如圖 5. 7。

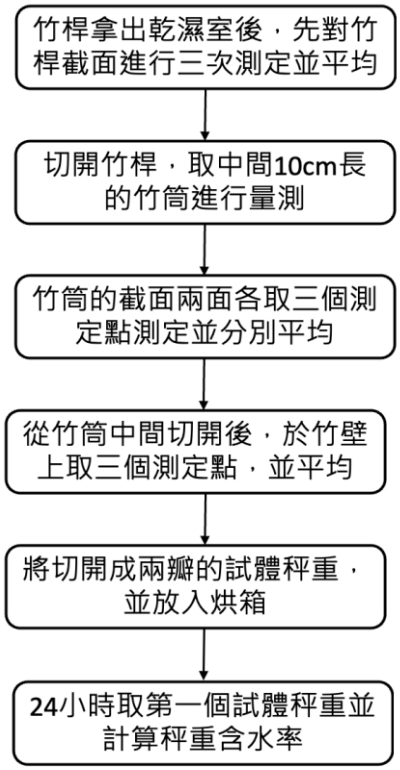


圖 5.7 含水率測定儀驗證流程

1123425

表 5.7 測定儀含水率與秤重含水率比較

竹種	孟宗竹	桂竹	孟宗竹	桂竹	孟宗竹	桂竹
處理	生竹	生竹	生竹	生竹	乾燥	乾燥
乾濕室	乾室	乾室	濕室	濕室	濕室	濕室
測點 1 測定含水率(%)	25.5	33.0	33.0	20.0	15.0	14.5
測點 2 測定含水率(%)	35.0	25.5	32.0	20.0	16.5	12.5
測點 3 測定含水率(%)	30.0	28.5	29.0	21.0	15.0	12.5
測點 4 測定含水率(%)	32.5	26.5	30.0	22.0	15.0	13.5
測點 5 測定含水率(%)	24.5	24.0	33.5	22.5	15.0	14.5
測點 6 測定含水率(%)	30.0	28.5	32.5	22.5	17.5	13.0
測點 7 測定含水率(%)	23.5	30.0	26.5	22.5	14.5	12.0
測點 8 測定含水率(%)	27.5	27.5	30.0	21.5	15.5	12.0
測點 9 測定含水率(%)	34.0	31.0	39.5	22.5	17.5	12.5
平均測定儀含水率(%)	29.13	28.28	31.78	21.61	15.72	13.00
試體 1 烘乾前重量(g)	46.81	28.61	64.25	39.5	49.65	28.45
試體 2 烘乾前重量(g)	46.54	25.45	63.22	39.3	48.59	24.52
試體 1 烘乾後重量(24 小時) (g)	33.96	20.72	43.62	30.27	43.86	25.47
試體 2 烘乾後重量(24 小時) (g)	34.57	18.64	44.52	30.13	43.17	22.02
試體 1 24 小時秤重含水率(%)	37.84	38.08	47.29	30.49	13.20	11.70
試體 2 24 小時秤重含水率(%)	34.63	36.53	42.00	30.43	12.56	11.35

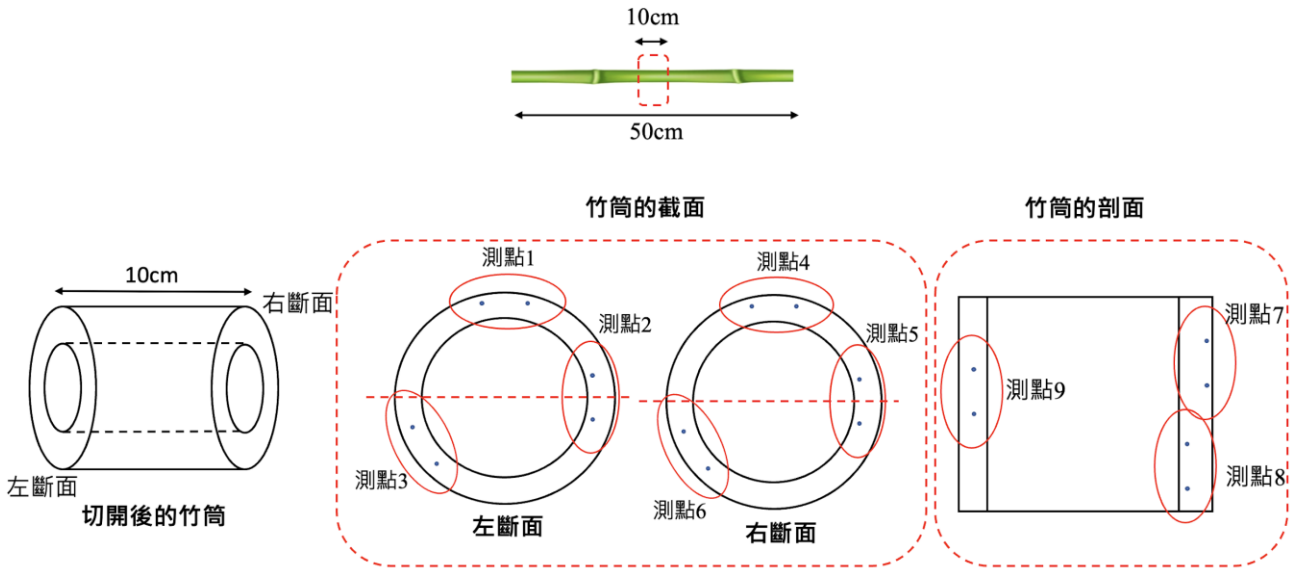


圖 5.8 驗證含水率測定儀的各測點位置示意圖

從

1123425

表 5.7 中，測定儀含水率測出超過 20 %的含水率，實際秤重含水率皆大於 20 %；而低於 13 %的測定儀含水率，從表中可得知其試體之秤重含水率低於 12 %。為求嚴謹，進行試驗前，會先以含水率測定儀測定試體含水率，需進行服務等級 1 試驗的試體，其測定儀含水率需低於 12 %，進行服務等級 3 的試體，測定儀含水率需高於 20 %。根據此結果，做出以下假設：「測定儀含水率高於 20 %時，秤重含水率會高於 20 %；反之，測定儀含水率低於 12 %時，秤重含水率會低於 12 %。」，並依此假設應用於第六章的各項材料試驗前，驗證兩種服務等級的試體內含水率是否達到要求的初步檢核方式，並依測定儀含水率當作實驗試體的含水率(因烘箱空間不足，且上述的假設可讓測定儀含水率的數值具有一定的參考價值)。

5.5 試體編號

由於本計畫案的試體眾多，為了能區分各試驗試體，本研究對試體進行編號，表 5.8 為試體編碼方式。

表 5.8 試體編碼代號

第 1 個字母	竹種	M	桂竹
		E	孟宗竹
第 2 個字母	產地	T	桃園市復興區
		W	新竹縣五峰鄉
		J	新竹縣尖石鄉
		N	南投縣竹山鎮
		Y	雲林縣古坑鄉
第 3 個字母	處理方式	D	乾燥竹
		G	生竹
第 4 個字母	部位	H	竹頭
		T	竹尾
第 5 個字母	服務等級	D	服務等級 1 (置於乾室)
		W	服務等級 3 (置於濕室)
試驗代號		C0	平行纖維抗壓試驗
		T0	平行纖維抗拉試驗
		S	平行纖維抗剪試驗
		C90	垂直纖維抗壓試驗
		T90	垂直纖維抗拉試驗
		M	抗彎試驗

1123425

舉例來說，一個來自桃園市復興區的桂竹乾燥竹，然後取此竹子的竹頭部位，放入濕室的環境中，當此試體的含水率達到 20%以上，也就是國際規範 ISO22156 [1]規定的服務等級 3 以上，要進行抗壓試驗，此試體的編號會是 MTDHW-C0。由此編號方式可清楚分類試體的竹種、產地、處理方式、部位、服務等級及所需進行的試驗等。

第六章 竹材性質試驗

為了瞭解竹材性質，本研究以國際竹構造規範 ISO 22157 (2019) [2]訂定的試驗方法進行，共六種試驗，分別是平行纖維抗壓試驗、平行纖維抗剪試驗、平行纖維抗拉試驗、垂直纖維抗拉試驗、垂直纖維抗壓試驗以及竹桿抗彎試驗，本章會逐一介紹各個試驗。

6.1 試體裁切

本研究採用的竹子無論是乾燥才還是生竹，皆為 4 年生的竹子，一根竹子全長約 8 m，裁去頭端 0.5 m 與尾端 1.5 m 後剩餘 6 m，再將 6 m 的竹材分成三節，分別為竹頭、竹身、竹尾三節，每一節約 2 m，其中竹頭及竹尾為本研究竹材性質試驗所採用的試驗段如圖 6. 1 所示 (竹頭在右，竹尾在左)，剩下的竹身段用來做為本研究竹接合試驗試體的材料。

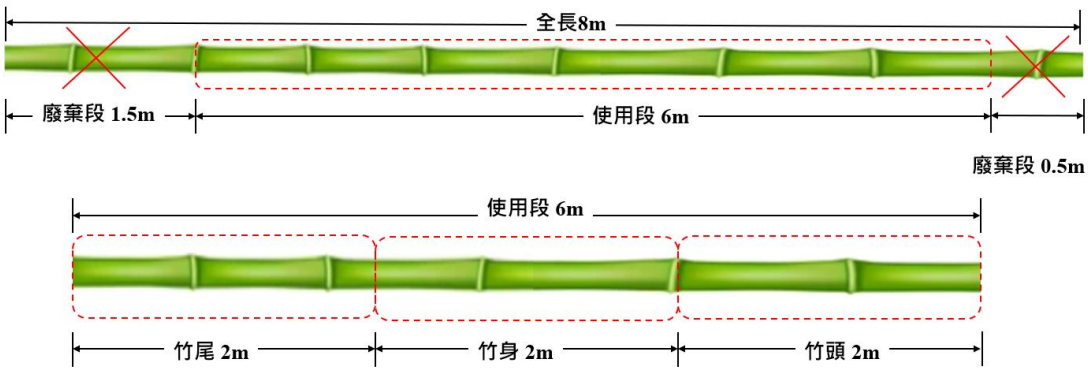


圖 6. 1 竹材使用部位示意圖

6.2 竹材含水率

6.2.1 竹材含水率測定流程

本研究進行試驗前，須先進行含水率測定，為了確保整批試體的含水率達到服務等級 1 (試體含水率低於 12%)及服務等級 3 (試體含水率高於 20%)的要求，本研究會在各組試體中，先隨機取樣三個試體以含水率測定儀進行測定，滿足要求之服務等級後，此三個試體會進行秤重含水率試驗，確認是否達到含水率要求，若沒達到，此組試體會繼續放在乾室或濕室進行養護。若三個試體

接滿足含水率要求，整組試體才會進行試驗，進行試驗前，各個試體會分別以含水率測定儀測定該試體之含水率，並記錄於表格中。該組試驗結束後，會再次隨機取三個已被破壞的試體進行秤重含水率試驗，確認試驗的含水率滿足要求，其流程如下：

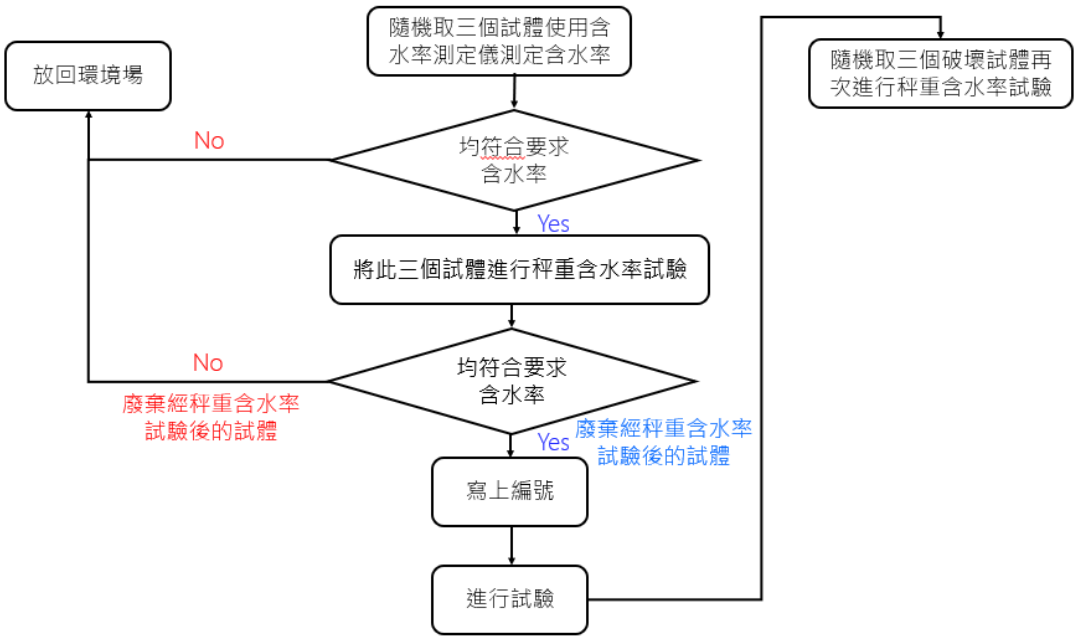


圖 6. 2 含水率測定流程

本研究經秤重含水率試驗後的試體，由於試體已受到烘乾行為破壞內部結構，因此本研究會立即廢棄此些試體，不用於任何試驗。

6.2.2 服務等級 3 下的乾燥竹

經過乾燥處理後的竹子，吸水速率會大幅降低，本研究將經過乾燥處裡的竹子放入環境濕度 90%以上的濕室後，經過一個月的時間，發現含水率變化甚小，隨機取樣其含水率皆不過 12%。為了達到本研究的含水率要求，本研究將須達到服務等級 3(含水率 20%以上)之乾燥竹材泡入水中放置 10 天，爾後再將竹材取出擦乾，並放入濕室養護。

圖 6. 3 為烘乾後的竹材，竹材泡水 3 天後，放入濕室養護的含水率與時間關係圖。從圖中可以發現以下兩點：一、需養護 3 天以上的時間，其竹材內的游離水(free water)會揮發，只剩下束縛水(bound water)，其飽和含水率會逐漸

1123425

收斂；二、泡水 3 天加養護 3 天的時間並不足以使乾燥竹材達到服務等級 3 規定之竹材內達含水率 20%以上之要求。故本研究為了縮短養護時間，因此經泡水 10 天並擦拭後，會放入濕室養護 3 天，再進行含水率測定，確保乾燥竹試體滿足服務等級 3 的要求，如表 6. 1。

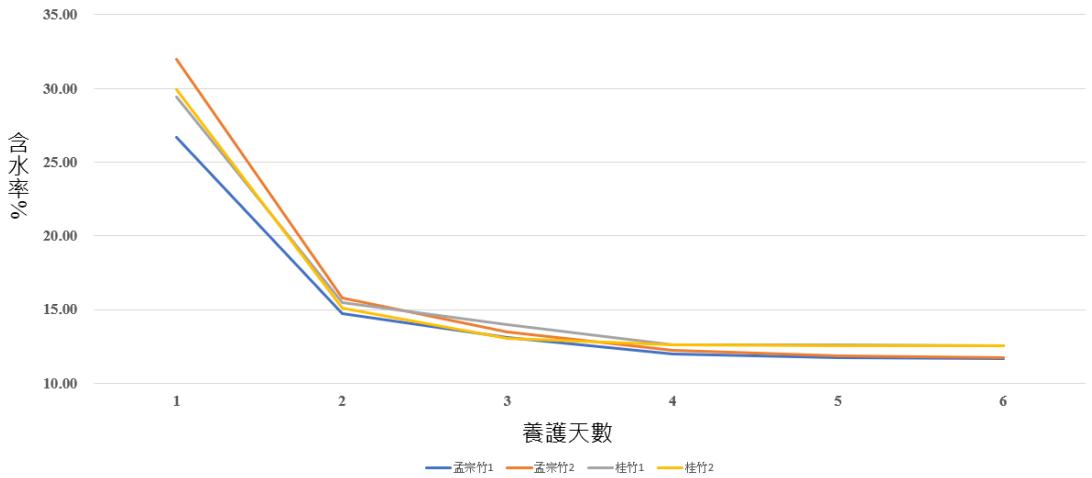


圖 6. 3 乾燥竹泡水後放入濕室養護含水率與時間關係圖

表 6. 1 竹材泡水 10 天後養護天數與含水率關係

	孟宗竹		桂竹	
	1	2	1	2
養護 1 天後測定儀含水率(%)	23	24.5	28.5	38
養護 3 天後測定儀含水率(%)	20	20	30	25.5
取出重量 (g)	109.8	132.81	340.93	334.13
養護 1 天後重量 (g)	100.98	122.44	324.93	313.58
養護 3 天後重量 (g)	91.14	113.39	300.69	284.6
烘乾後重量(g)	75.68	93.55	236.08	217.65
養護前秤重含水率 (%)	45.08	41.97	44.41	53.52
養護 1 天後秤重含水率 (%)	33.43	30.88	37.64	44.08
養護 3 天後秤重含水率 (%)	**20.43**	**21.21**	**27.37**	**30.76**

6.3 平行纖維抗壓試驗

6.3.1 試體準備

平行纖維抗壓試驗的試體中，有竹節及沒有竹節之試體各占一半。試體的長度應取外徑 D 和壁厚 10 倍 10δ 中的較小值。然而，如果 D 小於或等於 20 毫米，則試體長度可直接取外徑的兩倍 $2D$，而不考慮壁厚。若有竹節的試體，其

1123425

竹節應位於中間位置。試體的端面應彼此平行且與試體的長度軸垂直。試體的端面應是平的，最大偏差不超過直徑的 1%。

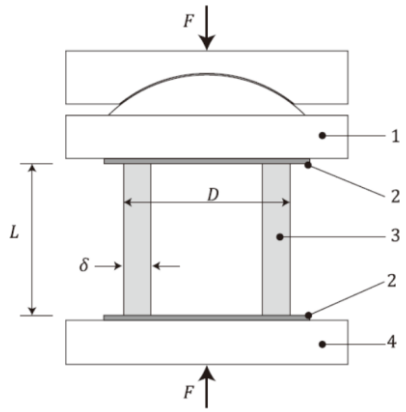


圖 6. 4 平行纖維方向抗壓試驗裝置示意圖

D : 外徑
δ : 壁厚
F : 荷載
L : 試體長度（L 為 D 或 10 δ 中取小的值。如果 $D < 20$ mm，則 $L = 2D$）
1 : 帶球面軸承的上壓板
2 : 中間層
3 : 竹子試體
4 : 中間層
5 : 下壓板

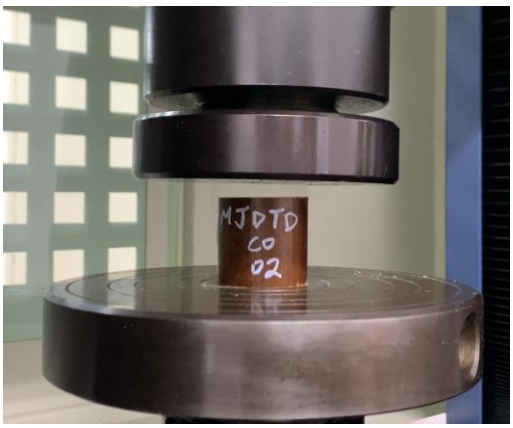


圖 6. 5 實際進行平行纖維抗壓試驗之示意圖

6.3.2 試驗流程

將試體從乾室與濕室取出，取任三顆試體用含水率測定儀測定材料切面三次並取平均，確認含水率達到要求之服務等級 1 或 3 後進行秤重，並將試體放

入烘箱 24 小時後，再次進行秤重並計算秤重含水率，若三顆試體均達到服務等級 1 或 3 的要求，即視為整批試體皆能進行試驗。

進行試驗前，每一顆試體先以含水率測定儀測定含水率，確認該試體符合服務等級 1 或服務等級 3 的要求，丈量試體的外徑、內徑、長度、重量以及測定儀含水率，隨後將試體放上萬能試驗機，並以位移控制 5mm/min 的速度進行抗壓試驗，試驗完成後，紀錄試體的最大荷重以及最大荷重的 20% 與 60% 及位移等資料，以利後續求得抗壓強度與抗壓楊氏模數。

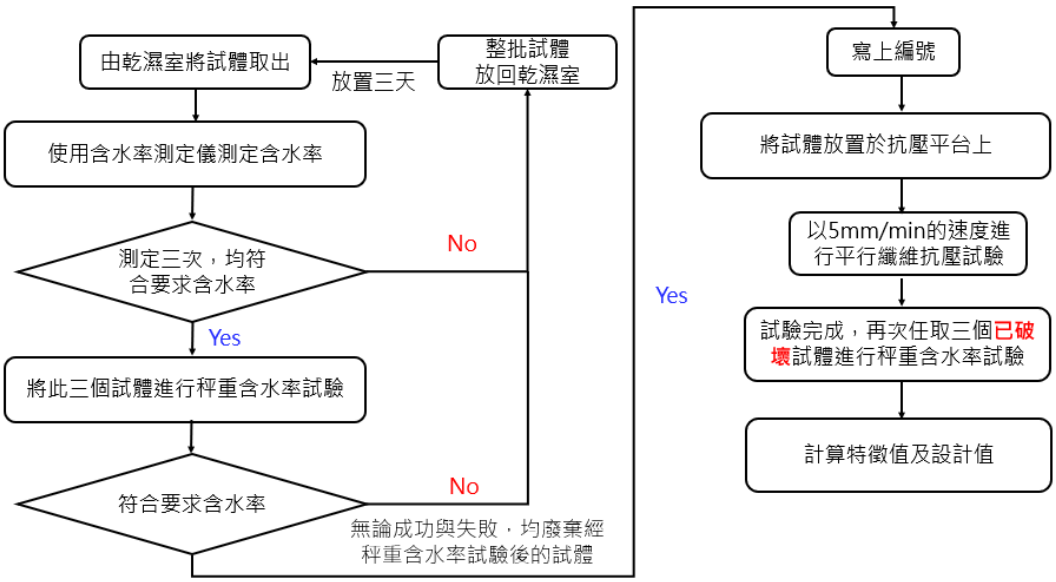


圖 6. 6 平行纖維抗壓試驗流程

6.3.3 平行抗壓強度及平行抗壓楊氏模數

平行抗壓試體需一半有竹節，另一半不含竹節；竹段之長度 L 取試體外徑 D 與 10 倍壁厚 10δ之較小值。

平行抗壓強度$f_{c,0}$ (MPa)公式如下：

$$f_{c,0} = F_{ult}/A \tag{6.1}$$

F_{ult}：試體破壞時之最大荷重 (N)

A：試體斷面積 (mm^2)

平行抗壓彈性模數為最大荷重之 20% 及 60% 所計算之應力及應變兩點所構成的斜率計算，其公式如下：

$$E_{c,0} = \frac{F_{60} - F_{20}}{A(\varepsilon_{60} - \varepsilon_{20})} \tag{6.2}$$

1123425

F_{20}：最大荷重的 20% (N)

F_{60}：最大荷重的 60% (N)

ε_{20}：荷重為F_{20}時所對應的應變

ε_{60}：荷重為F_{60}時所對應的應變

表 6. 2 平行纖維抗壓試驗 (桂竹-乾燥竹-服務等級 1)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 d (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	最大荷重 f_{ult} (N)	抗壓強度 $f_{c,0}$ (MPa)	楊氏模數 $E_{c,0}$ (MPa)
MTDH	1	62.0	52.0	56.0	895.35	11.2	93074.72	103.95	6045.19
	2	62.0	53.0	57.0	812.89	11.2	91370.14	112.40	6485.05
	3	61.0	51.0	56.0	879.65	11.9	94428.23	107.35	6054.40
	4	61.0	52.0	58.0	798.75	10.9	93349.90	116.87	6397.88
	5	62.0	54.0	57.0	728.85	11.2	86069.11	118.09	7332.79
	6	59.0	48.0	64.0	924.41	10.9	98777.29	106.85	5860.48
	7	60.0	46.0	57.0	1165.53	11.3	109900.24	94.29	4891.73
	8	60.0	49.0	59.0	941.69	11.1	96196.70	102.15	5701.16
	9	58.0	46.0	59.0	980.18	10.7	100993.51	103.04	5646.18
	10	60.0	48.0	59.0	1017.88	11.1	96793.90	95.09	5360.69
MTDT	1	49.0	43.0	43.0	433.54	9.8	53871.65	124.26	7552.77
	2	50.0	41.0	51.0	643.24	9.9	60374.61	93.86	5861.77
	3	56.0	47.0	50.0	728.06	9.6	58253.86	80.01	5163.97
	4	50.0	42.0	45.0	578.05	11.2	53866.45	93.19	6093.78
	5	50.0	42.0	51.0	578.05	9.4	53501.70	92.56	6512.66
	6	51.0	44.0	45.0	522.29	9.6	50429.69	96.56	6706.70
	7	51.0	43.0	46.0	590.62	10.3	53439.25	90.48	6111.90
	8	51.0	44.0	49.0	522.29	10.0	63250.86	121.10	7634.53
	9	56.0	47.0	51.0	728.06	10.0	85974.91	118.09	6179.62
	10	52.0	44.0	46.0	603.19	9.2	63480.48	105.24	6238.55
	11	47.0	40.0	49.0	478.31	9.5	55339.70	115.70	7583.13
	12	54.0	46.0	52.0	628.32	10.0	68193.30	108.53	6755.08
MJDH	1	52.0	38.0	47.0	989.60	10.7	100388.16	101.44	4920.31
	2	51.0	34.0	49.0	1134.90	11.1	103670.88	91.35	4560.47
	3	60.0	40.0	55.0	1570.80	10.6	123957.82	78.91	3632.50
	4	52.0	36.0	49.0	1105.84	10.8	104833.69	94.80	4466.49
	5	55.0	36.0	49.0	1357.95	11.6	103879.36	76.50	3709.77
	6	54.0	33.0	46.0	1434.92	10.8	114858.37	80.05	3413.15
	7	55.0	36.0	47.0	1357.95	11.1	105025.48	77.34	3807.92
	8	51.0	28.0	46.0	1427.07	11.1	117058.14	82.03	3463.05
	9	54.0	39.0	50.0	1095.63	10.8	98810.53	90.19	4734.17
	10	53.0	33.0	47.0	1350.88	11.6	113641.84	84.12	3701.65
MJDT	1	50.0	41.0	39.0	643.24	8.6	60592.67	94.20	5570.72
	2	36.0	31.0	34.0	263.11	10.8	41368.01	157.23	9345.06
	3	46.0	32.0	29.0	857.65	10.4	52249.19	60.92	3002.68
	4	41.0	36.0	27.0	302.38	10.0	47483.98	157.04	7545.73
	5	41.0	34.0	28.0	412.33	9.1	53678.06	130.18	6410.42
	6	37.0	32.0	27.0	270.96	9.7	49030.91	180.95	8853.70
	7	48.0	38.0	35.0	675.44	9.5	72685.71	107.61	5216.29
	8	46.0	34.0	31.0	753.98	*	64861.32	86.03	2666.76
	9	44.0	34.0	24.0	612.61	9.5	71497.17	116.71	3777.25
	10	40.0	28.0	29.0	640.88	10.3	48672.00	75.95	3833.87
	11	51.0	37.0	35.0	967.61	10.2	72111.18	74.53	3597.11
	12	37.0	26.0	33.0	544.28	10.9	43827.13	80.52	4517.05
MWDH	1	56.0	41.0	55.0	1142.75	11.6	100961.20	88.35	4678.78
	2	56.0	43.0	55.0	1010.81	9.7	105609.16	104.48	5403.09
	3	57.0	42.0	59.0	1166.32	11.2	105632.10	90.57	5152.13
	4	59.0	46.0	56.0	1072.07	10.2	105392.91	98.31	4980.96
	5	56.0	43.0	56.0	1010.81	10.6	94099.10	93.09	5304.75
	6	57.0	44.0	56.0	1031.23	10.3	98098.64	95.13	4913.75
	7	55.0	45.0	60.0	785.40	9.7	106710.48	135.87	7274.88
	8	62.0	41.0	56.0	1698.82	8.0	158693.22	93.41	3727.59
	9	59.0	41.0	55.0	1413.72	11.3	102821.03	72.73	3880.77
	10	53.0	45.0	56.0	615.75	9.2	114478.79	185.92	9382.47
	11	53.0	39.0	57.0	1011.59	9.7	101275.62	100.12	5654.09
MWDT	1	38.0	32.0	31.0	329.87	10.3	39555.37	119.91	6156.63
	2	38.0	33.0	33.0	278.82	11.1	34373.87	123.29	7285.27
	3	43.0	35.0	36.0	490.09	10.4	50941.26	103.94	6187.36
	4	43.0	36.0	34.0	434.33	10.7	43449.02	100.04	6298.43
	5	45.0	38.0	32.0	456.32	11.4	47071.77	103.16	5834.82
	6	39.0	32.0	33.0	390.34	9.3	41942.73	107.45	5813.25
	7	43.0	35.0	35.0	490.09	11.3	57521.68	117.37	6345.11

	8	45.0	37.0	35.0	515.22	10.7	52178.51	101.27	5632.60
	9	35.0	29.0	34.0	301.59	8.6	44612.53	147.92	7507.87
	10	37.0	31.0	34.0	320.44	10.9	43427.64	135.52	7348.40
	11	48.0	40.0	39.0	552.92	11.1	61171.79	110.63	6132.59
	12	43.0	35.0	34.0	490.09	11.4	58471.96	119.31	5778.59

*: 使用測定儀時，進行多次測定皆顯示為 0%含水率。

表 6. 3 平行纖維抗壓試驗 (孟宗竹-乾燥竹-服務等級 1)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 d (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	最大荷重 f_{ult} (N)	抗壓強度 $f_{c,0}$ (MPa)	楊氏模數$E_{c,0}$ (MPa)
ENDH	1	83.5	70.0	121.0	1682.32	8.0	145582.89	86.54	5021.25
	2	87.5	72.0	119.0	1941.70	8.0	142228.58	73.25	4327.03
	3	84.0	72.0	114.0	1470.27	8.0	139684.98	95.01	5621.04
	4	88.0	71.0	110.0	2122.93	9.0	150811.13	71.04	3932.02
	5	88.5	74.0	110.0	1850.59	7.5	154505.64	83.49	4590.73
	6	83.0	68.0	110.0	1778.93	10.0	142701.50	80.22	4022.19
	7	87.0	71.0	109.0	2041.05	8.0	142003.88	69.57	4192.90
	8	80.5	67.0	106.0	1616.35	9.0	140400.69	86.86	4466.24
	9	85.5	70.0	99.5	1893.01	9.0	146781.98	77.54	3864.28
	10	84.0	69.0	111.0	1856.48	9.5	140198.64	75.52	4221.61
	11	88.5	75.0	104.5	1792.28	8.0	161007.42	89.83	4716.92
	12	84.0	70.0	109.0	1748.10	7.5	132808.08	75.97	4357.14
	13	90.5	75.0	104.0	2014.74	8.0	169785.48	84.27	3217.50
	14	88.0	73.0	103.0	1896.74	9.0	144451.73	76.16	4139.15
	15	81.0	68.0	106.5	1574.53	9.0	132311.73	84.03	4878.53
	16	93.5	78.0	105.0	2148.85	9.5	193218.48	89.92	3880.73
	17	82.0	69.0	105.0	1541.74	10.0	141543.89	91.81	4963.41
ENDT	1	65.0	55.0	75.0	942.48	7.0	103648.16	109.97	5236.78
	2	65.0	55.0	68.5	942.48	7.5	103500.68	109.82	5611.26
	3	64.5	56.0	69.0	804.44	7.0	101550.48	126.24	5477.59
	4	60.5	51.0	63.5	831.93	7.5	92524.20	111.22	5555.62
	5	53.0	43.0	63.0	753.98	7.5	73999.72	98.15	5480.27
	6	57.5	50.0	60.5	672.30	7.0	90003.05	133.87	6708.76
	7	55.0	45.0	57.0	785.40	5.0	74703.94	95.12	3523.70
	8	58.0	50.0	56.0	717.66	5.0	76479.18	106.57	4928.75
	9	56.0	48.0	55.0	653.45	5.5	81872.11	125.29	5925.45
	10	66.5	57.0	85.0	966.04	9.5	103444.45	107.08	6605.67
	11	68.5	59.0	82.0	951.31	6.5	113789.22	119.61	6554.49
	12	64.5	55.0	77.0	934.62	6.5	101539.06	108.64	6284.32
	13	61.0	52.0	73.5	839.39	7.0	98413.72	117.24	6659.19
	14	59.5	51.0	70.0	737.69	7.0	89668.35	121.55	6809.14
	15	56.0	48.0	68.5	690.95	6.5	80750.84	116.87	6153.72
	16	53.0	44.0	61.5	685.65	6.0	77154.00	112.53	6401.26
	17	56.0	46.0	60.0	801.11	5.5	83282.64	103.96	5468.47
	18	54.0	44.0	56.0	769.69	4.0	82133.20	106.71	4444.96
EYDH	1	119.0	97.0	118.0	3638.95	7.0	244310.69	67.14	2965.08
	2	125.0	102.0	116.0	4100.56	8.0	242224.34	59.07	2555.05
	3	114.0	96.0	116.0	2968.81	6.0	246985.45	83.19	3305.18
	4	119.0	98.0	113.0	3579.06	5.5	254911.20	71.22	3013.73
	5	112.0	93.0	112.0	2971.36	7.0	242469.84	81.60	3409.95
	6	113.0	95.0	108.0	3014.95	5.0	253815.41	84.19	3313.92
	7	112.0	92.0	108.0	3116.66	7.0	214457.28	68.81	3575.26
	8	104.0	88.0	89.5	2481.66	8.0	203612.97	82.05	2855.51
	9	115.0	95.0	87.0	3298.67	9.5	209051.70	63.37	2657.58
	10	112.0	93.0	97.0	3044.20	8.0	212825.91	69.91	3191.47
	11	111.0	92.0	96.0	3029.28	8.0	208601.66	68.86	3263.06
	12	111.0	91.0	92.0	3173.01	9.0	207079.70	65.26	3008.52
	13	101.0	85.0	93.5	2258.22	8.0	191122.19	84.63	4239.45
	14	107.0	90.0	92.0	2630.30	8.0	211205.81	80.30	3337.14

	15	112.0	94.0	92.0	2898.12	9.5	209851.69	72.41	3191.36
	16	105.0	89.0	93.0	2507.58	8.0	200131.48	79.81	3692.31
	17	106.0	88.0	89.0	2742.61	8.0	200337.44	73.05	2981.04
	18	113.0	92.0	88.5	3453.20	9.0	220444.66	63.84	2638.93
EYDT	1	91.0	79.0	66.5	1664.06	8.5	174540.25	104.89	3651.92
	2	86.0	73.0	65.0	1623.42	7.0	170048.80	104.75	3609.10
	3	85.5	74.0	65.5	1440.62	8.0	166731.75	115.74	4017.80
	4	91.0	78.0	66.5	1725.52	9.5	170616.86	98.88	3264.97
	5	88.0	75.0	68.5	1664.26	8.0	162219.19	97.47	3546.66
	6	86.0	74.0	67.5	1507.96	8.0	161307.53	106.97	3233.45
	7	90.0	77.0	65.5	1705.10	9.5	156956.44	92.05	3377.95
	8	89.0	76.0	70.0	1684.68	8.0	169772.48	100.77	3608.69
	9	97.0	83.0	80.0	2044.20	8.5	165156.20	80.79	2060.44
	10	89.0	77.0	61.0	1624.79	10.5	180191.56	110.90	3338.70
	11	83.0	71.0	64.0	1451.42	9.0	163947.98	112.96	3304.21
	12	84.0	71.0	66.5	1582.58	9.0	182207.69	115.13	3693.06
	13	85.5	74.0	65.0	1440.62	9.0	158298.78	109.88	3684.49
	14	86.0	73.0	66.5	1623.42	10.0	172591.75	106.31	3451.66
	15	80.0	68.0	68.0	1394.87	9.0	154971.92	111.10	4056.11
	16	91.0	77.0	68.0	1847.26	10.5	162365.56	87.90	3225.94
	17	86.5	74.0	73.0	1575.71	10.0	156522.78	99.34	3615.81
	18	92.0	78.0	78.5	1930.31	7.5	196817.30	101.96	3513.49

表 6.4 平行纖維抗壓試驗 (桂竹-生竹-服務等級 1)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 d (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	最大荷重 f_{ult} (N)	抗壓強度 $f_{c,0}$ (MPa)	楊氏模數$E_{c,0}$ (MPa)
MTGH	1	61.5	49.5	64.5	1046.15	10.5	92368.76	88.29	5527.97
	2	63.5	51.0	64.0	1124.10	10.5	91014.30	80.97	5168.54
	3	63.5	51.5	63.5	1083.85	10.5	89612.16	82.68	5342.77
	4	60.0	47.0	60.5	1092.49	10.0	98042.12	89.74	5241.80
	5	64.0	53.0	58.0	1010.81	10.5	92407.01	91.42	5215.86
	6	65.0	53.5	70.0	1070.30	9.5	96235.09	89.91	5966.56
	7	64.0	50.0	69.5	1253.50	12.0	108718.07	86.73	5153.25
	8	59.0	49.0	63.0	848.23	9.5	72809.52	85.84	6264.22
	9	63.0	50.5	62.0	1114.28	11.0	101116.83	90.75	5237.56
	10	62.5	48.5	61.5	1220.51	11.5	99927.85	81.87	4867.55
	11	62.5	49.0	61.0	1182.22	10.5	104889.79	88.72	4807.09
MTGT	1	60.5	52.5	68.5	710.00	12.0	78606.95	110.71	7375.05
	2	64.0	54.0	65.0	926.77	12.0	84692.28	91.38	5920.22
	3	64.5	55.5	65.0	848.23	11.5	88416.34	104.24	6675.61
	4	64.5	55.0	65.0	891.62	11.5	87751.98	98.42	6393.72
	5	58.5	48.0	62.0	878.27	11.5	81702.23	93.03	5616.78
	6	64.5	51.5	69.0	1184.38	12.0	78884.12	66.60	4551.33
	7	66.0	53.5	67.5	1173.19	12.0	84517.61	72.04	4833.43
	8	61.0	50.0	65.5	958.97	12.0	82293.34	85.81	5581.41
	9	63.5	52.0	64.0	1043.21	12.0	84458.97	80.96	5098.24
	10	61.0	48.5	60.0	1075.01	12.0	80448.34	74.83	4388.97
MJGH	1	70.5	58.0	68.0	1261.55	5.5	110663.41	87.72	5060.03
	2	68.5	56.5	68.5	1178.10	7.5	110456.70	93.76	5480.08
	3	70.0	54.5	64.5	1515.62	1.5	124699.09	82.28	4227.08
	4	70.5	57.5	65.0	1306.90	7.5	102645.87	78.54	4507.69
	5	70.0	60.5	61.5	973.70	7.0	101865.91	104.62	5609.30
	6	72.0	58.0	69.5	1429.42	7.5	114203.20	79.89	4343.60
	7	60.0	51.0	67.5	784.61	3.0	88829.45	113.21	7557.35
	8	71.5	59.5	66.0	1234.65	3.0	103274.97	83.65	4722.01
	9	71.5	59.0	66.5	1281.18	7.5	110984.04	86.63	4831.76
	10	62.0	50.5	60.0	1016.11	7.0	96612.33	95.08	5288.74
	11	61.5	49.0	55.0	1084.83	6.0	104598.14	96.42	4902.10

MJGT	1	63.5	55.0	64.5	791.09	12.0	64472.44	81.50	6227.21
	2	62.0	54.0	63.5	728.85	6.5	65220.06	89.48	6561.57
	3	59.0	52.5	60.0	569.22	11.0	60591.88	106.45	7950.00
	4	56.0	47.5	60.5	690.95	12.0	57407.70	83.08	6038.67
	5	55.0	47.5	57.5	603.77	12.0	54737.85	90.66	6172.79
	6	61.0	53.0	58.5	716.28	11.0	62375.65	87.08	6144.06
	7	64.0	55.0	69.0	841.16	6.0	80386.81	95.57	6388.40
	8	63.0	55.0	63.5	741.42	12.0	68204.98	91.99	6403.23
	9	60.0	52.5	63.0	662.68	6.5	63919.71	96.46	6479.12
	10	60.0	51.5	62.0	744.36	11.5	63221.34	84.93	6197.90
	11	61.0	51.5	59.5	839.39	12.0	63176.09	75.26	5200.14
MWGH	1	63.0	49.0	66.0	1231.50	10.0	104194.06	84.61	3731.42
	2	64.0	50.0	61.0	1253.50	10.5	112794.38	89.98	4010.82
	3	65.0	52.0	65.0	1194.59	11.0	106166.16	88.87	4350.92
	4	62.0	49.0	65.0	1133.33	10.0	106708.56	94.15	4370.37
	5	65.0	52.0	65.0	65.00	11.0	104647.02	160.99	77293.89
	6	65.0	52.0	66.0	1194.59	11.5	107913.70	90.34	4352.50
	7	62.0	46.0	62.0	1357.17	9.5	108153.07	79.69	3382.95
	8	61.0	44.0	59.0	1401.94	11.5	121363.99	86.57	3576.08
	9	64.0	51.0	66.0	1174.17	10.0	98113.13	83.56	4471.36
	10	63.0	46.0	62.0	1455.34	10.0	107999.20	74.21	3318.48
	11	64.0	52.0	64.0	1093.27	9.5	105117.88	96.15	4356.40
MWGT	1	44.0	35.0	51.0	558.42	5.0	43502.57	77.90	5095.84
	2	45.0	36.0	48.0	572.56	5.5	46724.66	81.61	4455.92
	3	48.0	40.0	51.0	552.92	6.0	50143.29	90.69	5135.59
	4	38.0	31.0	40.0	379.35	4.0	33502.91	88.32	5081.11
	5	37.0	30.0	42.0	368.35	3.5	32175.10	87.35	3947.44
	6	56.0	47.0	65.0	728.06	10.0	61413.88	84.35	5669.23
	7	40.0	31.0	42.0	501.87	3.0	37491.54	74.70	3899.86
	8	46.0	37.0	45.0	586.69	6.5	48122.47	82.02	3377.86
	9	51.0	42.0	52.0	657.38	9.0	52990.45	80.61	3959.91
	10	44.0	36.0	46.0	502.65	5.5	47188.47	93.88	5491.89
	11	53.0	43.0	52.0	753.98	9.5	62091.00	82.35	4305.19

表 6.5 平行纖維抗壓試驗 (孟宗竹-生竹-服務等級 1)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 d (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	最大荷重 f_{ult} (N)	抗壓強度 $f_{c,0}$ (MPa)	楊氏模數$E_{c,0}$ (MPa)
ENGH	1	91.25	69.75	130.00	2718.66	4.5	154516.219	56.84	3671.35
	2	94.25	68.50	117.50	3291.46	8.5	154425.891	46.92	2551.62
	3	85.75	67.00	107.50	2249.43	9.5	129467.016	57.56	3778.02
	4	82.50	66.00	102.00	1924.42	8.0	122906.688	63.87	4318.16
	5	79.50	64.00	100.50	1746.92	8.5	117197.031	67.09	3666.50
	6	81.00	63.50	100.50	1986.08	9.5	121948.008	61.40	3931.25
	7	81.50	64.50	98.50	1949.36	9.5	131003.68	67.20	4100.64
	8	78.00	62.00	98.00	1759.29	9.5	115531.188	65.67	4402.27
	9	88.00	68.00	128.00	2450.44	8.5	141479.797	57.74	4083.81
	10	86.00	66.50	127.50	2335.58	9.5	140054.203	59.97	4178.71
	11	88.00	68.00	122.00	2450.44	9.5	140568.656	57.36	3998.02
	12	86.00	66.00	117.50	2387.61	8.0	141306.984	59.18	3693.07
	13	86.00	66.50	110.00	2335.58	6.5	140677.375	60.23	3518.35
	14	80.50	63.50	98.50	1922.65	9.5	125212.023	65.12	3058.94
	15	82.00	64.00	97.50	2064.03	9.5	127231.68	61.64	3690.40
	16	84.00	65.50	97.00	2172.21	4.5	134041.891	61.71	3446.77
	17	80.50	63.50	97.00	1922.65	10.5	120900.156	62.88	3925.11
ENGT	1	52.50	41.50	65.50	812.10	12.0	54600.344	67.23	4901.90
	2	47.50	38.50	64.50	607.90	10.5	48603.324	79.95	6954.96
	3	55.00	43.50	63.00	889.66	11.0	59780.516	67.19	4829.30
	4	59.00	46.50	61.50	1035.74	11.0	68544.523	66.18	4595.58

	5	56.00	45.00	62.50	872.58	11.5	62,755	71.92	5046.42
	6	48.50	38.50	64.50	683.30	11.0	50175.746	73.43	6382.94
	7	49.00	38.50	61.00	721.58	10.5	48758.398	67.57	5534.75
	8	51.00	41.00	60.00	722.57	11.0	53879.016	74.57	5626.99
	9	70.00	55.00	74.50	1472.62	11.0	101299.422	68.79	4167.74
	10	67.00	52.00	74.00	1401.94	10.5	90520.922	64.57	4141.89
	11	68.00	53.00	76.00	1425.50	11.5	92900.156	65.17	4316.08
	12	68.00	56.00	68.50	1168.67	11.5	75,776	64.84	4603.09
	13	66.00	54.00	65.50	1130.97	12.0	72133.211	63.78	4488.99
	14	56.50	46.00	66.50	845.28	12.0	57617.602	68.16	4473.45
	15	61.00	49.00	67.00	1036.73	12.0	61,549	59.37	3961.09
	16	58.00	47.00	63.50	907.13	12.0	59322.133	65.40	4746.73
	17	58.00	46.00	60.00	980.18	11.5	67,939	69.31	4471.73
EYGH	1	90.00	70.00	111.00	2513.27	9.5	153984.828	61.27	3568.04
	2	84.00	65.00	108.00	2223.46	17.0	101351.586	45.58	3185.34
	3	91.00	70.00	105.50	2655.43	11.0	153140.891	57.67	3236.57
	4	89.00	68.50	101.00	2535.85	9.5	151035.688	59.56	3079.51
	5	83.00	67.00	98.00	1884.96	13.5	112337.172	59.60	3855.23
	6	82.00	65.00	97.50	1962.71	15.0	91430.289	46.58	3471.14
	7	82.00	65.50	97.00	1911.46	15.5	95971.641	50.21	3497.65
	8	81.50	66.00	89.00	1795.62	15.5	88940.227	49.53	3523.47
	9	80.00	62.50	97.00	1958.59	14.5	85084.859	43.44	3629.27
	10	98.00	71.00	129.00	3583.77	10.0	166949.609	46.58	3008.97
	11	96.50	71.00	128.00	3354.63	11.0	161727.172	48.21	3090.09
	12	98.50	73.00	122.00	3434.74	11.0	168021.781	48.92	2875.13
	13	87.00	67.00	105.50	2419.03	16.0	100761.781	41.65	2930.77
	14	83.00	64.00	103.50	2193.62	11.0	127057.703	57.92	3943.95
	15	81.50	64.50	98.50	1949.36	15.0	105095.07	53.91	3908.43
	16	84.00	66.00	97.00	2120.58	15.0	105925.086	49.95	3411.95
	17	81.50	64.00	98.50	1999.82	16.5	90914.977	45.46	3516.52
	18	79.00	63.00	93.00	1784.42	15.0	91468.547	51.26	3622.46
EYGT	1	60.00	46.50	58.50	1129.21	12.0	80547.609	71.33	3581.99
	2	58.00	45.00	55.00	1051.65	12.0	76051.031	72.32	3561.97
	3	61.50	48.00	54.00	1161.01	11.0	83289.984	71.74	3487.66
	4	60.00	46.00	54.00	1165.53	12.0	80125.602	68.75	3587.14
	5	61.50	48.00	53.50	1161.01	12.0	83647.227	72.05	3544.52
	6	60.00	46.00	55.50	1165.53	12.0	80463.539	69.04	3529.93
	7	56.00	43.50	53.50	976.84	12.0	73332.125	75.07	3824.77
	8	52.50	40.50	51.00	876.50	11.5	65674.031	74.93	3076.56
	9	52.50	40.50	50.00	876.50	12.0	68962.977	78.68	2697.12
	10	57.00	44.50	67.00	996.47	12.0	80767.164	81.05	4610.91
	11	59.50	46.00	59.50	1118.60	12.0	76493.07	68.38	3472.11
	12	63.00	49.50	58.00	1192.82	12.0	82964.523	69.55	3623.00
	13	58.00	45.00	57.00	1051.65	12.0	73177.648	69.58	3650.74
	14	61.00	47.00	55.00	1187.52	12.0	90630.023	76.32	3686.18
	15	51.00	39.50	53.00	817.40	11.0	62,155.99	76.04	4147.68
	16	54.00	41.50	51.50	937.57	12.0	74678.258	79.65	3769.38
	17	51.00	38.50	52.00	878.66	12.0	66,206.92	75.35	3745.87

表 6. 6 平行纖維抗壓試驗 (桂竹-乾燥竹-服務等級 3)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 d (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	最大荷重 f_{ult} (N)	抗壓強度 $f_{c,0}$ (MPa)	楊氏模數$E_{c,0}$ (MPa)
MTDH	1	63.0	53.5	59.5	869.24	19.5	72907.31	83.87	4474.79
	2	62.0	53.0	59.5	812.89	21.0	68983.53	84.86	4930.00
	3	62.0	52.5	57.0	854.32	22.0	62592.02	73.27	2454.22
	4	63.0	53.0	58.0	911.06	21.5	70668.65	77.57	4789.31
	5	63.0	53.5	55.5	869.24	22.5	63856.37	73.46	4354.17

	6	61.0	50.0	67.0	958.97	20.5	73393.76	76.53	5295.94
	7	60.0	51.0	65.0	784.61	20.0	57494.96	73.28	5301.61
	8	62.0	51.5	56.5	936.00	21.0	73270.50	78.28	4416.18
	9	61.0	50.0	55.5	958.97	23.5	73968.23	77.13	3963.57
MTDT	1	53.5	45.5	51.5	622.04	15.0	41170.61	66.19	4903.09
	2	53.5	47.0	49.0	513.06	15.0	39265.74	76.53	5375.89
	3	52.5	45.5	49.0	538.78	14.0	35080.62	65.11	4734.50
	4	52.5	46.0	48.0	502.85	17.5	37358.20	74.29	5496.11
	5	54.0	47.0	46.0	555.28	17.0	51271.54	92.34	5047.88
	6	57.0	47.5	57.0	779.70	17.5	44302.01	56.82	4132.70
	7	55.0	46.0	54.0	713.93	21.5	43417.12	60.81	4126.07
	8	57.5	47.5	51.0	824.67	19.5	39683.65	48.12	3044.19
	9	52.0	43.5	50.5	637.55	18.0	34497.40	54.11	4556.63
	10	49.0	41.0	49.0	565.49	19.0	41226.52	72.90	4422.85
MJDH	1	61.5	46.5	61.5	1272.35	21.0	93717.88	73.66	4089.36
	2	50.5	31.5	49.5	1223.65	24.0	91493.78	74.77	3708.01
	3	51.5	34.0	49.5	1175.15	26.0	92099.37	78.37	3852.41
	4	53.0	37.5	48.5	1101.72	26.0	82334.73	74.73	3768.66
	5	47.5	39.0	47.5	577.46	22.0	79563.95	137.78	7596.67
	6	60.0	42.5	58.0	1408.81	23.0	101646.66	72.15	3758.02
	7	59.5	37.5	56.0	1676.04	20.0	113116.52	67.49	3065.10
	8	52.0	32.5	48.5	1294.14	25.0	91146.19	70.43	3383.77
	9	52.5	37.5	46.0	1060.29	32.5	66849.15	63.05	3616.56
	10	50.0	33.0	44.0	1108.20	31.5	73651.77	66.46	3459.91
MJDT	1	50.5	44.0	37.0	482.43	14.0	44693.03	92.64	5612.85
	2	47.5	41.0	34.0	451.80	15.5	40090.00	88.73	4999.70
	3	36.0	30.0	33.5	311.02	17.5	25191.89	81.00	5697.51
	4	40.5	35.0	28.5	326.14	16.0	30049.24	92.14	5041.63
	5	37.5	29.0	33.5	443.95	23.5	25838.24	58.20	3460.95
	6	46.0	38.0	33.0	527.79	19.5	39536.40	74.91	4366.76
	7	47.0	39.0	32.5	540.35	16.5	41716.54	77.20	4058.34
	8	44.0	36.0	29.0	502.65	17.0	32860.09	65.37	3140.04
	9	43.5	36.0	28.0	468.29	20.0	38879.88	83.02	3712.88
	10	46.0	37.5	27.5	557.44	20.5	40034.06	71.82	3372.71
MWDH	1	60.5	47.5	61.5	1102.70	27.0	66146.07	59.99	4279.12
	2	59.5	47.5	59.0	1008.45	24.0	74811.65	74.18	4882.69
	3	61.5	46.5	58.5	1272.35	24.5	69588.56	54.69	3599.49
	4	57.0	41.0	55.0	1231.50	24.0	81845.19	66.46	3544.90
	5	62.0	46.5	50.5	1320.84	20.5	100442.68	76.04	3072.15
	6	61.5	43.5	53.5	1484.40	17.0	105109.73	70.81	2944.95
	7	58.5	42.0	61.5	1302.39	28.0	80226.01	61.60	4101.95
	8	60.0	39.0	60.5	1632.84	26.5	105287.31	64.48	3063.67
	9	60.0	45.0	56.5	1237.00	23.5	97913.71	79.15	3998.71
	10	60.5	43.0	55.5	1422.55	20.5	103545.49	72.79	3381.27
	11	66.0	47.5	61.5	1649.14	24.5	72754.46	44.12	2800.35
MWDT	1	48.5	44.5	36.0	292.17	14.5	33791.32	115.66	6582.69
	2	44.0	36.5	35.0	474.18	24.5	28133.38	59.33	3884.92
	3	47.5	41.5	33.5	419.40	15.5	31381.97	74.83	4478.22
	4	46.0	40.0	32.0	405.27	18.5	31010.08	76.52	3858.39
	5	43.0	35.5	32.5	462.40	14.0	29805.90	64.46	3571.70
	6	46.0	40.5	31.0	373.65	16.5	33256.51	89.00	4647.98
	7	45.0	36.0	36.0	572.56	17.5	28201.88	49.26	3240.08
	8	46.0	37.0	34.5	586.69	19.0	29078.24	49.56	2483.63
	9	41.0	34.0	34.0	412.33	28.5	22790.95	55.27	3077.94
	10	48.0	41.5	33.5	456.91	20.0	32743.05	71.66	4287.49
	11	46.5	38.0	33.5	564.11	16.0	33721.28	59.78	3100.42
	12	46.0	37.5	31.5	557.44	20.0	31405.06	56.34	3303.09

表 6. 7 平行纖維抗壓試驗 (孟宗竹-乾燥竹-服務等級 3)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 d (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	最大荷重 f_{ult} (N)	抗壓強度 $f_{c,0}$ (MPa)	楊氏模數$E_{c,0}$ (MPa)
ENDH	1	80.0	67.0	112.0	1500.90	21.0	87596.85	58.36	5410.30
	2	82.0	67.5	110.5	1702.55	20.0	84749.76	49.78	4467.49
	3	77.0	64.5	110.0	1389.17	21.0	86927.84	62.58	5834.79
	4	86.0	71.0	110.0	1849.61	27.5	100455.18	54.31	4742.03
	5	90.0	71.5	107.0	2346.57	24.0	108525.13	46.25	3581.45
	6	90.5	73.5	103.0	2189.69	20.5	117468.52	53.65	3951.25
	7	78.0	66.0	103.0	1357.17	18.5	80232.54	59.12	5160.57
	8	91.0	74.5	111.0	2144.73	20.5	118052.93	55.04	3432.96
	9	95.0	75.5	107.5	2611.25	24.5	121188.54	46.41	3290.30
	10	92.0	73.0	107.5	2462.22	24.0	116699.52	47.40	3800.79
	11	94.0	74.5	106.0	2580.62	23.0	122031.66	47.29	3545.83
	12	86.5	71.0	105.0	1917.35	21.0	112981.48	58.93	4298.77
	13	90.0	73.5	103.0	2118.81	24.0	120984.64	57.10	4103.41
	14	83.0	68.0	101.5	1778.93	21.0	110945.80	62.37	4483.70
	15	91.5	74.0	98.5	2274.71	19.0	124036.01	54.53	3733.23
ENDT	1	67.0	56.0	67.0	863.94	24.5	87921.12	101.77	6921.03
	2	60.0	50.0	69.0	863.94	20.5	81698.31	94.57	6969.60
	3	67.0	58.0	61.0	883.57	19.5	93910.68	106.29	6030.80
	4	65.0	55.0	75.0	942.48	20.0	91834.03	97.44	6823.58
	5	58.0	48.0	65.0	832.52	21.5	75545.76	90.74	6646.01
	6	67.0	56.0	72.0	1062.64	21.5	93311.98	87.81	5134.81
	7	56.0	47.0	57.0	728.06	19.5	74109.9	101.79	6470.63
	8	57.0	48.0	59.0	742.20	19.5	74598.71	100.51	6630.48
	9	74.0	59.0	85.0	1566.87	24.0	91435.17	58.36	4553.48
	10	63.0	54.0	61.0	827.02	20.0	84046.03	101.62	5218.39
	11	65.0	55.0	72.0	942.48	20.5	91160.83	96.72	6862.50
	12	69.0	59.0	70.0	1005.31	19.5	97434.17	96.92	6478.24
	13	58.0	49.0	73.0	756.34	19.5	79229.2	104.75	8375.98
	14	63.0	51.0	68.0	1074.42	19.5	89224.49	83.04	5403.21
	15	58.0	49.0	69.0	756.34	20.0	76014.26	100.50	7254.02
	16	60.0	51.0	74.0	784.61	19.5	81559.59	103.95	7766.96
	17	64.0	54.0	69.0	926.77	20.0	92531.51	99.84	6132.32
EYDH	1	120.5	100.0	104.5	3550.20	24.0	184100.47	51.86	2755.51
	2	121.0	102.0	123.0	3327.73	23.5	189680.27	57.00	3546.96
	3	114.0	93.0	111.5	3414.13	20.0	196781.19	57.64	3039.07
	4	116.0	96.5	108.0	3254.49	21.0	211968.26	65.13	3404.66
	5	112.0	91.5	104.0	3276.48	25.5	185089.67	56.49	3169.60
	6	112.0	93.0	106.0	3059.13	18.0	194854.45	63.70	3327.63
	7	102.5	85.0	105.0	2577.09	20.5	164288.67	63.75	3866.34
	8	114.5	94.5	102.0	3282.96	23.0	170454.33	51.92	2720.19
	9	104.0	86.5	104.5	2618.32	26.0	159979.34	61.10	3431.78
	10	127.0	102.5	123.0	4416.10	33.5	188972.73	42.79	2399.20
	11	125.0	101.0	124.0	4260.00	25.0	199179.61	46.76	2577.91
	12	113.0	93.5	121.0	3162.60	20.0	176758.14	55.89	3093.45
	13	116.0	95.0	122.5	3480.10	20.5	178065.92	51.17	3003.83
	14	124.0	101.0	122.0	4064.44	27.5	176934.48	43.53	2494.88
	15	116.0	97.5	117.0	3102.13	21.0	166506.56	53.67	2886.79
	16	108.0	89.0	111.0	2939.75	38.0	159369.30	54.21	3485.81
EYDT	1	88.0	74.5	71.0	1722.97	20.0	120896.91	70.17	3184.37
	2	85.5	72.0	68.0	1669.95	18.5	120630.45	72.24	3358.10
	3	85.5	72.0	68.0	1669.95	18.5	122144.56	73.14	3374.73
	4	94.0	79.5	67.0	1975.87	19.5	132937.23	67.28	3277.31
	5	90.0	76.5	66.0	1765.38	18.5	127968.20	72.49	3549.71
	6	90.5	77.0	62.0	1775.98	19.5	126704.85	71.34	3235.25
	7	91.0	77.5	63.0	1786.58	18.0	131452.19	73.58	3472.12

	8	93.5	80.0	78.5	1839.60	23.5	129379.24	70.33	3772.40
	9	96.0	81.0	75.0	2085.23	18.5	147447.61	70.71	3451.71
	10	84.5	70.5	73.0	1704.31	19.0	109841.40	64.45	3924.09
	11	88.5	75.5	70.0	1674.47	25.0	114980.67	68.67	3490.79
	12	89.0	75.5	698.0	1744.17	23.0	123850.13	71.01	3726.14
	13	91.0	77.0	67.0	1847.26	20.5	121218.59	65.62	3260.64
	14	88.0	75.5	68.0	1605.16	19.0	118222.80	73.65	3884.51
	15	82.5	70.0	66.0	1497.17	22.5	104966.36	70.11	3725.69
	16	91.5	77.5	58.0	1858.25	21.5	118477.99	63.76	2887.59

表 6.8 平行纖維抗壓試驗(桂竹-生竹-服務等級 3)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 d (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	最大荷重 f_{ult} (N)	抗壓強度 $f_{c,0}$ (MPa)	楊氏模數$E_{c,0}$ (MPa)
MTGH	1	66.0	52.0	59.0	1297.48	28.2	86200.53	66.44	4339.15
	2	62.0	47.0	63.0	1284.13	27.0	85021.98	66.21	4435.03
	3	64.0	50.0	63.0	1253.5	24.1	82510.13	65.82	4360.59
	4	66.0	50.0	60.0	1457.7	24.8	81913.72	56.19	3618.02
	5	64.0	49.0	62.0	1331.25	24.3	84041.81	63.13	4278.73
	6	65.0	53.0	62.0	1112.12	21.8	84404.64	75.90	4741.27
	7	67.0	52.0	66.0	1401.94	24.4	90086.99	64.26	4126.17
	8	59.0	48.0	65.0	924.41	24.6	50994.35	55.16	5122.32
	9	60.0	50.0	60.0	863.94	30.5	84271.10	97.54	6186.35
	10	64.0	54.0	64.0	926.77	24.3	83891.21	90.52	5883.78
	11	65.0	51.0	61.0	1275.49	25.0	80841.62	63.38	4251.13
	12	67.0	53.0	70.0	1319.47	31.5	107516.92	81.49	4654.22
MTGT	1	62.0	51.0	61.0	976.25	21.1	62134.40	63.65	5168.68
	2	56.0	46.0	56.0	801.11	22.8	50130.02	62.58	4729.12
	3	60.0	49.0	61.0	941.69	21.5	57594.85	61.16	4839.20
	4	66.0	57.0	64.0	869.44	22.8	75073.17	86.35	6441.19
	5	64.0	53.0	67.0	1010.81	27.6	80111.54	79.26	5577.96
	6	62.0	51.0	66.0	976.25	22.9	58650.17	60.08	5487.21
	7	56.0	45.0	59.0	872.58	25.9	50690.64	58.09	4698.32
	8	60.0	47.0	60.0	1092.49	24.2	55674.32	50.96	4278.30
	9	68.0	56.0	66.0	1168.67	21.1	73742.06	63.10	5061.13
	10	61.0	48.0	63.0	1112.91	25.1	61845.48	55.57	4021.98
	11	66.0	53.0	65.0	1215.01	24.1	70249.50	57.82	4274.99
	12	68.0	54.0	68.0	1341.46	24.6	68383.61	50.98	4133.70
MJGH	1	72.0	59.0	68.0	1337.53	22.0	87283.40	65.26	4458.06
	2	72.0	60.0	67.0	1244.07	20.5	81394.57	65.43	3697.78
	3	71.5	59.5	67.0	1234.65	22.0	84138.65	68.15	4738.12
	4	71.0	57.0	67.0	1407.43	21.5	93096.10	66.15	4161.76
	5	70.0	57.0	64.0	1296.69	22.0	86536.06	66.74	4141.59
	6	71.0	57.0	63.0	1407.43	20.5	95925.04	68.16	3963.35
	7	71.0	59.0	62.0	1225.22	23.0	82001.60	66.93	4089.35
	8	70.0	55.0	67.0	1472.62	23.0	94143.22	63.93	4273.83
	9	62.0	49.0	63.0	1133.33	23.0	72586.36	64.05	4240.90
	10	63.0	52.0	67.0	993.53	21.5	70295.13	70.75	5221.43
	11	70.0	61.0	67.0	925.98	22.5	96609.81	104.33	6680.14
MJGT	1	62.0	55.0	66.0	643.24	22.9	53492.57	83.16	5961.02
	2	60.0	50.0	62.0	863.94	30.2	40484.13	46.86	4289.18
	3	61.0	52.0	63.0	798.75	22.5	49060.02	61.42	5312.71
	4	65.0	57.0	63.0	766.55	22.3	57231.29	74.66	6367.11
	5	69.0	58.0	72.0	1097.2	21.1	77889.22	70.99	5779.43
	6	67.0	58.0	64.0	883.57	22.8	59328.39	67.15	5521.75
	7	72.0	59.0	68.0	1337.53	24.7	55722.97	41.66	4458.34
	8	55.0	45.0	60.0	785.4	33.2	31074.28	39.57	1853.38
	9	56.0	45.0	58.0	872.58	32.3	40626.33	46.56	4320.21
	10	64.0	54.0	64.0	926.77	23.7	57557.04	62.11	5113.22

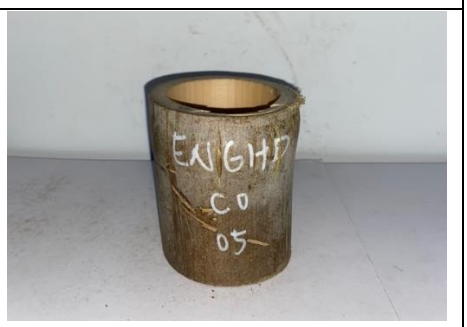
	11	62.0	52.0	63.0	895.35	22.4	53683.63	59.96	4604.85
MWGH	1	65.0	51.0	63.0	1275.49	21.9	87840.21	68.87	4260.22
	2	67.0	54.0	60.0	1235.43	20.3	87721.80	71.01	4294.93
	3	67.0	53.0	63.0	1319.47	21.0	84220.38	63.83	3953.04
	4	66.0	55.0	63.0	1045.36	20.2	85011.17	81.32	5312.62
	5	66.0	53.0	62.0	1215.01	20.2	87013.01	71.62	4620.97
	6	65.0	51.0	61.0	1275.49	21.1	95267.37	74.69	4284.11
	7	64.0	44.0	58.0	1696.46	22.0	100703.56	59.36	2810.43
	8	68.0	54.0	59.0	1341.46	20.6	84969.42	63.34	3693.53
	9	67.0	48.0	63.0	1716.09	21.9	98641.14	57.48	3407.24
	10	69.0	53.0	63.0	1533.1	20.3	89681.59	58.50	3663.16
	11	65.0	49.0	63.0	1432.57	21.5	85991.22	60.03	3737.48
MWGT	1	52.0	43.0	49.0	671.52	19.4	45546.88	67.83	5371.52
	2	48.0	40.0	50.0	552.92	20.3	37662.72	68.12	6095.15
	3	54.0	45.0	55.0	699.79	20.6	50167.93	71.69	5527.89
	4	42.0	34.0	48.0	477.52	16.6	34573.08	72.40	5930.29
	5	39.0	33.0	46.0	339.29	20.2	30492.17	89.87	7019.39
	6	53.0	43.0	54.0	753.98	19.4	48696.70	64.59	5382.55
	7	38.0	31.0	45.0	379.35	19.7	27392.29	72.21	4254.86
	8	42.0	32.0	41.0	581.19	19.3	32342.32	55.65	4133.44
	9	59.0	47.0	59.0	999.03	20.6	55421.99	55.48	4278.98
	10	52.0	41.0	50.0	803.46	21.4	41183.87	51.26	4295.01
	11	49.0	38.0	50.0	751.63	20.3	39939.15	53.14	4625.39
	12	55.0	44.0	52.0	855.3	19.9	50921.91	59.54	4297.45

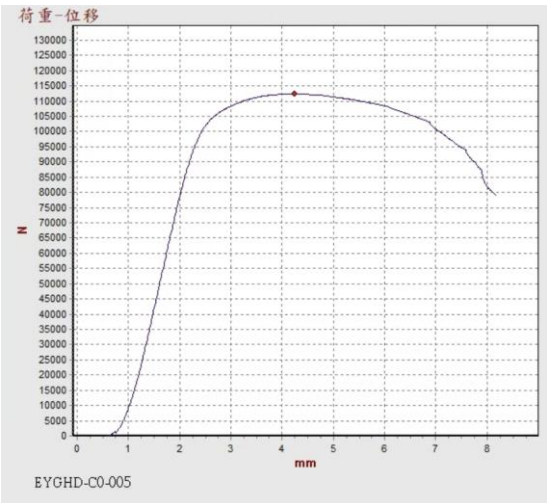
表 6. 9 平行纖維抗壓試驗(孟宗竹-生竹-服務等級 3)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 d (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	最大荷重 f_{ult} (N)	抗壓強度 $f_{c,0}$ (MPa)	楊氏模數$E_{c,0}$ (MPa)
ENGH	1	92.5	71.0	117.0	2760.87	28.0	109191.825	127.67	3055.76
	2	89.5	70.0	106.0	2442.78	22.0	99340.359	35.98	2817.11
	3	94.0	72.0	124.0	2868.27	25.0	99293.97	40.65	4292.64
	4	86.5	69.0	107.0	2137.26	21.5	89886.6	31.34	2535.90
	5	84.0	64.5	112.0	2274.32	25.0	130374.7	61.00	4139.60
	6	87.0	65.5	102.0	2575.12	20.0	132446.5	58.24	2689.89
	7	88.5	69.5	102.0	2357.77	25.0	151307.5	61.17	3794.37
	8	90.5	71.0	113.0	2473.42	23.0	80745.12	21.83	2875.42
	9	90.5	59.0	129.0	3698.64	19.5	90522.54	36.60	2342.48
	10	91.0	68.5	132.0	2818.60	19.5	157093.9	66.63	3997.66
	11	90.5	67.5	137.0	2854.14	20.5	147379.6	52.29	3883.01
	12	86.5	66.5	109.0	2403.32	22.5	129457.2	45.36	3481.87
	13	88.5	67.5	119.0	2572.96	20.0	136538	56.81	2833.87
	14	86.0	65.0	109.0	2490.50	20.0	130094.3	50.56	3901.36
	15	99.5	77.5	133.0	3058.34	38.0	97274.047	39.06	3040.62
	16	92.5	70.5	151.0	2816.44	21.5	150908.078	49.34	4204.23
	17	95.5	71.0	147.0	3203.84	20.0	153171	54.38	3687.64
ENGT	1	60.0	48.0	62.0	768.90	20.0	63794.68	62.67	5476.79
	2	50.0	39.0	63.0	768.90	20.0	48489.27	63.06	5117.23
	3	57.0	45.0	61.0	961.33	19.5	58595.42	76.21	4161.24
	4	58.0	47.0	62.0	907.13	20.0	61761.08	64.25	4566.86
	5	59.0	45.0	55.0	1143.54	20.5	63213.93	69.69	3257.16
	6	55.0	42.0	63.0	990.39	21.0	54793.02	47.92	4166.22
	7	61.0	47.0	61.0	1187.52	20.0	66407.57	67.05	3490.30
	8	61.0	48.0	62.0	1112.91	21.0	64899.31	54.65	3474.68
	9	60.0	48.0	64.0	1017.88	20.0	67037.45	60.24	4798.82
	10	56.0	43.0	62.0	1010.81	20.0	56647.09	55.65	3307.88
	11	51.0	38.0	63.5	908.71	20.0	48220.13	47.70	3469.86
	12	62.0	47.0	60.0	1284.13	20.5	62737.63	69.04	3224.77
	13	64.0	50.0	60.0	1253.50	20.0	60218.30	46.89	2707.55

	14	65.0	52.0	66.0	1194.59	26.0	59415.13	47.40	3573.15
	15	64.0	51.0	69.0	1174.17	24.0	57974.83	48.53	3697.93
	16	65.0	49.0	72.0	1432.57	20.0	81555.51	69.46	3893.88
	17	51.5	40.8	62.5	775.67	20.0	50693.28	35.39	5000.66
	18	55.0	43.0	63.0	923.63	20.0	45059.37	58.09	4274.52
EYGH	1	88.5	68.0	109.0	2519.75	29.5	89257.07	35.42	3127.25
	2	85.0	66.5	100.0	2201.27	20.0	118321.14	53.75	3797.54
	3	84.0	65.5	98.0	2172.21	20.0	115235.20	53.05	3176.04
	4	89.5	67.0	118.0	2765.58	24.5	96822.88	35.01	2837.61
	5	90.0	69.5	117.0	2568.06	24.5	85057.14	33.12	3218.61
	6	86.5	67.0	107.0	2350.89	30.0	84651.10	36.01	3756.66
	7	87.0	67.0	111.0	2419.03	21.5	122258.27	50.54	3484.60
	8	85.0	66.5	98.0	2201.27	23.5	117023.88	53.16	3128.79
	9	90.0	69.0	116.0	2622.44	27.0	91661.47	34.95	3724.54
	10	90.5	69.5	121.0	2638.94	23.0	139244.31	52.77	3863.71
	11	93.5	71.0	125.0	2906.95	21.5	140330.91	48.27	3535.14
	12	90.5	69.0	111.0	2693.33	23.0	132009.53	49.01	3414.18
	13	87.0	68.0	109.0	2313.00	23.0	127160.95	54.98	3505.44
	14	83.0	67.0	97.0	1884.96	21.5	122749.88	65.12	3880.95
	15	94.0	70.5	135.0	3036.15	20.0	139244.31	45.86	3320.94
	16	92.0	70.0	120.0	2799.16	22.0	136603.81	48.80	3486.70
	17	98.5	74.5	129.0	3260.97	20.7	140197.83	42.99	3146.83
EYGT	1	64.0	51.0	62.0	1174.17	20.5	72621.26	61.85	4259.34
	2	64.0	51.0	59.0	1174.17	22.0	75048.27	63.92	4087.36
	3	60.0	47.0	53.0	1092.49	20.5	67476.48	61.76	2723.22
	4	58.0	45.0	55.0	1051.65	23.0	59329.78	56.42	3806.44
	5	61.0	48.0	61.0	1112.91	22.5	69551.26	62.50	3989.51
	6	56.0	44.0	56.0	942.48	22.5	59328.03	62.95	4290.65
	7	59.0	46.0	61.0	1072.07	23.0	66878.85	62.38	4277.95
	8	63.0	50.0	57.0	1153.75	22.5	73657.70	63.84	3238.70
	9	61.0	48.0	51.0	1112.91	22.0	65347.80	58.72	3638.77
	10	68.0	53.0	60.0	1425.50	23.0	79150.76	55.53	3371.20
	11	64.0	48.0	62.0	1407.43	22.0	72142.23	51.26	3642.58
	12	65.0	50.0	58.0	1354.81	20.0	61885.09	45.68	3082.96
	13	70.0	54.0	63.0	1558.23	20.5	76476.37	49.08	3079.51
	14	62.0	46.0	56.0	1357.17	22.0	67211.03	49.52	3068.98
	15	66.0	51.0	61.0	1378.37	21.5	69963.50	50.76	3425.76
	16	65.0	53.0	73.0	1112.12	23.0	77695.19	69.86	5094.94
	17	62.0	47.0	57.0	1284.13	20.5	62377.70	48.58	2797.27
	18	57.0	43.0	59.0	1099.56	22.0	54333.53	49.41	3534.94

表 6. 10 平行纖維抗壓試體

	含竹節試體	不含竹節試體
試驗前		
試驗後		
		



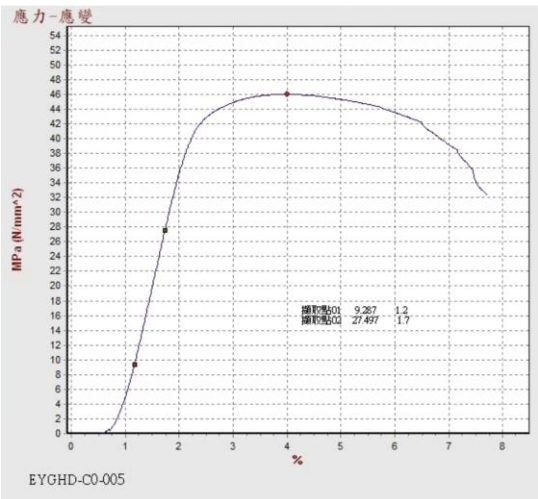


圖 6.7 不含竹節試體之荷重-位移圖(左)及應力-應變圖(右)

1123425

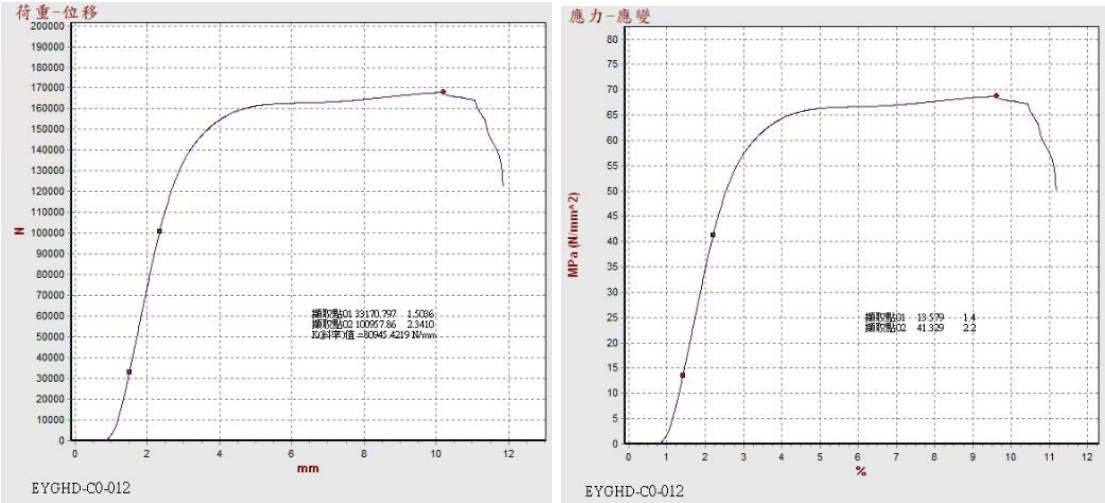


圖 6.8 含竹節試體之荷重-位移圖(左)及應力-應變圖(右)

在平行纖維試驗中，本計畫假設竹子為等斷面之中空圓管，計算各試體之面積與體積。

1123425

6.4 平行纖維抗拉試驗

6.4.1 試體準備

平行纖維方向的竹材拉伸試體應從竹壁中取樣，如圖 6.9 所示。試驗區段（測量長度）的厚度應等於竹壁的厚度 δ，寬度 b 應小於等於竹壁厚度的一半且不超過 20 mm。試體應包含一個竹節，並位於試驗區段內，試驗區段的長度應在 50 至 100 mm 之間。

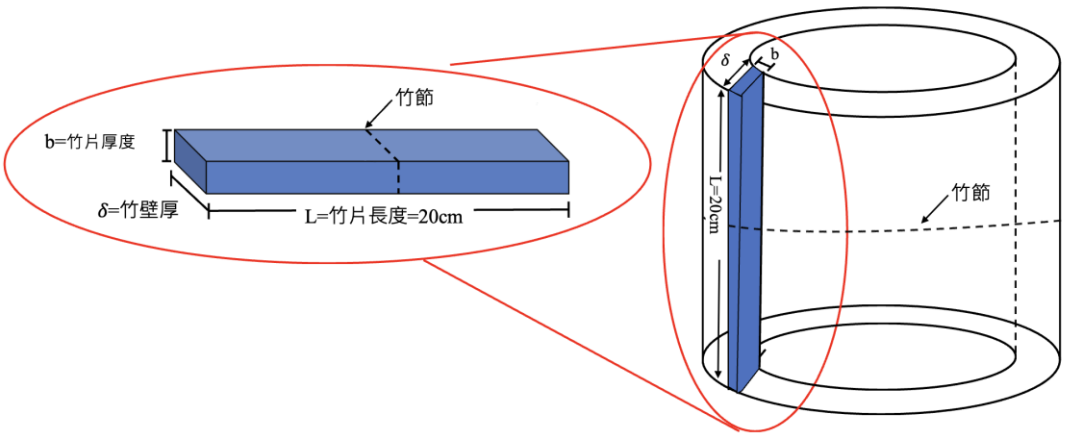


圖 6.9 平行纖維方向抗壓試驗裝置示意圖

圖 6. 10 平行纖維抗拉試驗

1123425

6.4.2 試驗流程

將試體從乾室與濕室取出，取任三個試體用含水率測定儀測定材料切面三次並取平均，達到要求之服務等級 1 或 3 進行秤重，並將試體放入烘箱 24 小時，並再次進行秤重以及計算含水率，若三顆試體均達到服務等級 1 或 3 的要求，即視為整批試體皆能進行試驗。

進行試驗前，每一顆試體先以含水率測定儀測定含水率，確認該試體符合服務等級 1 或服務等級 3 的要求，丈量試體的外徑、內徑、長度、重量以及測定儀含水率，隨後以萬能試驗機的夾具夾住試體兩端，中間試驗段為 8~10 cm，並以位移控制 1 mm/min 的速度進行抗拉試驗，試驗完成後，紀錄試體的最大荷重以及最大荷重的 20 % 及 60 % 及位移等資料，以利後續求得抗拉強度與抗拉楊氏模數。

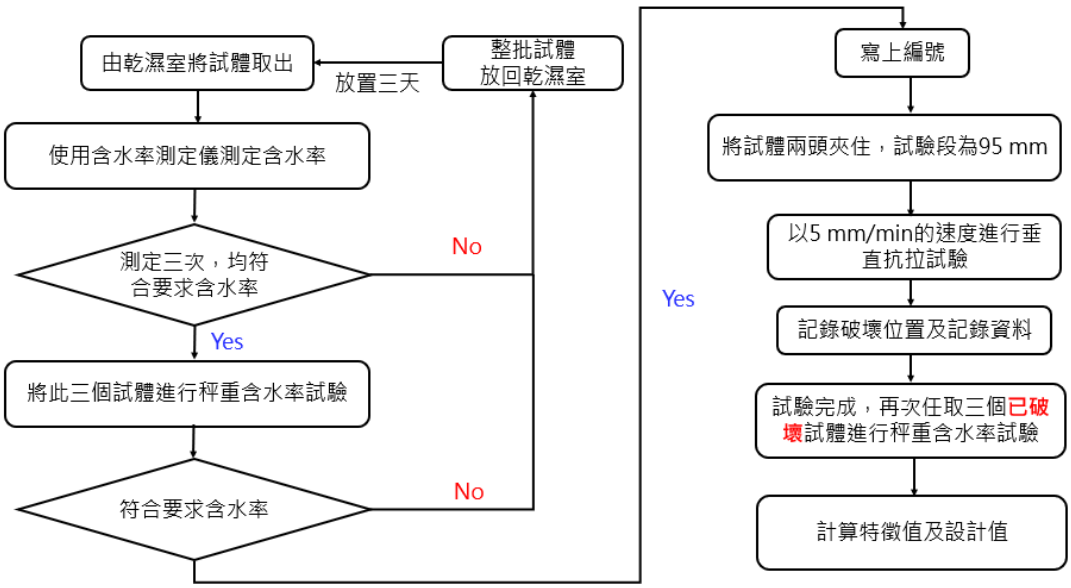


圖 6. 11 平行纖維抗拉試驗流程

1123425

6.4.3 平行纖維抗拉強度及平行纖維抗拉楊氏模數

計算平行纖維抗拉強度之斷面積 A_g 需於試驗區段取三處量測厚度及寬度後各取平均值計算。

平行纖維抗拉強度$f_{t,0}$公式如下：

$$A_g = \delta \times b \tag{6.3}$$

$$f_{t,0} = F_{ult}/A_g \tag{6.4}$$

A_g：試體斷面積(mm^2)

δ：竹壁厚(mm)

b：竹片厚度(mm)

F_{ult}：試體破壞時之最大荷重 (N)

平行纖維抗拉彈性模數為最大荷重之 20% 及 60% 荷重所計算之應力及應變兩點所構成的斜率計算，其公式如下：

$$E_{t,0} = \frac{F_{60} - F_{20}}{A_g(\varepsilon_{60} - \varepsilon_{20})} \tag{6.5}$$

F_{20}：最大荷重的 20% (N)

F_{60}：最大荷重的 60% (N)

ε_{20}：荷重為F_{20}時所對應的應變

ε_{60}：荷重為F_{60}時所對應的應變

6.3.4 討論

本試驗進行平行纖維抗拉試驗時，破壞行為會發生於夾具端及竹節端這兩種，由表 6. 11 中，乾燥竹-服務等級 1 下斷裂於夾具端及竹節端之抗拉強度進行分析，斷在夾具端之平行纖維抗拉強度平均為 194.602 MPa，斷在竹節端之平行纖維抗拉強度為 197.78 MPa，兩者差異僅 1.6 %，誤差甚小，因此本研究將獲壞於夾具端及竹節端兩種結果合併一起討論。

表 6. 11 平行纖維抗拉試驗(乾燥-服務等級 1)不同破壞位置之抗拉強度平均值

	破壞於夾具端	破壞於竹節端
極限強度平均值(MPa)	194.602	197.780

1123425

表 6. 12 平行纖維抗拉試驗(桂竹-乾燥竹-服務等級 1)

試體種類	編號	竹壁厚δ (mm)	竹片厚 b (mm)	試驗段 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	最大荷重 f_{ult} (N)	抗拉強度 $f_{t,0}$ (MPa)	楊氏模數 E （MPa）	斷裂處
MTDH	1	5.0	3.1	100	15.5	8.4	3211.58	207.20	11026.00	中
	2	5.0	3.1	100	15.5	7.9	3460.69	223.27	10659.26	中
	3	5.0	3.1	100	15.5	8.1	3673.19	236.98	12500.78	頭
	4	5.5	3.1	100	17.1	8.4	4097.75	240.34	10953.64	頭
	5	5.5	3.1	100	17.1	8.0	3471.57	203.61	10755.81	中
	6	5.5	3.1	100	17.1	8.1	3607.75	211.60	11252.78	中
	7	5.0	3.1	100	15.5	7.9	2765.85	178.44	12129.76	中
	8	5.5	3.1	100	17.1	8.0	3283.90	192.60	11127.78	中
	9	5.5	3.1	100	17.1	8.5	3896.93	228.56	11068.71	頭
	10	6.0	3.1	100	18.6	8.4	3895.86	209.46	9629.13	中
	11	6.0	3.1	100	18.6	8.0	3794.47	204.00	9909.01	中
	12	5.5	3.1	100	17.1	8.5	4441.75	260.51	10907.69	中
MTDT	1	5.0	2.2	100	11.0	7.5	2004.22	182.20	12611.84	中
	2	4.5	2.2	100	9.9	8.4	2297.55	232.08	13990.54	中
	3	4.5	2.2	100	9.9	8.1	1989.93	201.00	13374.96	中
	4	5.0	2.2	100	11.0	7.9	1961.05	178.28	13238.34	中
	5	5.0	2.2	100	11.0	7.9	2133.30	193.94	12059.19	中
	6	5.0	2.2	100	11.0	7.5	2290.32	208.21	11707.88	中
	7	5.0	2.2	100	11.0	8.0	2601.63	236.51	12725.87	中
	8	5.0	2.2	100	11.0	7.4	2350.68	213.70	12582.25	頭
	9	4.5	2.2	100	9.9	7.9	2165.60	218.75	12780.09	中
	10	5.0	2.2	100	11.0	7.9	2207.72	200.70	12755.32	頭
	11	5.0	2.2	100	11.0	7.3	1582.61	143.87	11713.90	中
	12	4.5	2.2	100	9.9	8.1	1897.33	191.65	12248.73	中
MJDH	1	6.0	3.2	100	19.2	10.1	4744.19	247.09	10980.93	中
	2	6.0	3.2	100	19.2	8.6	4774.25	248.66	10945.09	中
	3	6.0	3.2	100	19.2	9.6	4991.46	259.97	11358.31	中
	4	6.0	3.2	100	19.2	9.6	4829.97	251.56	10225.11	中
	5	6.0	3.2	100	19.2	9.2	4550.04	236.98	10635.90	中
	6	6.0	3.2	100	19.2	9.2	4653.20	242.35	11251.10	中
	7	6.0	3.2	100	19.2	10.0	4439.90	231.25	9943.13	中
	8	6.0	3.2	100	19.2	9.1	4469.38	232.78	10202.48	中
	9	6.0	3.2	100	19.2	9.6	4377.00	227.97	10051.24	頭
	10	6.0	3.2	100	19.2	9.2	4314.91	224.74	10254.00	中
	11	6.0	3.2	100	19.2	9.6	4685.11	244.02	10883.33	中
	12	6.0	3.2	100	19.2	9.1	4424.93	230.47	9772.76	中
MJDT	1	5.0	2.2	100	11.0	8.4	2515.06	228.64	13436.21	中
	2	5.5	2.2	100	12.1	8.6	2638.22	218.04	11084.88	中
	3	5.0	2.2	100	11.0	8.6	2601.96	236.54	13384.83	中
	4	5.0	2.2	100	11.0	8.6	2571.94	233.81	12720.74	中
	5	5.5	2.2	100	12.1	8.6	2999.99	247.93	12263.16	中
	6	5.0	2.2	100	11.0	8.5	2586.21	235.11	13244.18	中
	7	5.0	2.2	100	11.0	8.4	2185.52	198.68	11929.17	中
	8	5.0	2.2	100	11.0	8.4	2414.28	219.48	12840.04	中
	9	5.0	2.2	100	11.0	8.3	2429.14	220.83	12138.04	中
	10	5.0	2.2	100	11.0	8.6	2586.09	235.10	12814.94	中
	11	5.5	2.2	100	12.1	9.5	2602.52	215.08	13259.75	中
	12	5.0	2.2	100	11.0	9.0	1685.61	153.24	11441.78	中
MWDH	1	5.5	3.2	100	17.6	9.0	3695.67	209.98	10552.02	中
	2	5.5	3.2	100	17.6	9.0	3439.60	195.43	10222.79	中
	3	5.5	3.2	100	17.6	9.6	4121.34	234.17	10722.34	中
	4	5.5	3.2	100	17.6	8.4	3514.81	199.71	10041.59	中
	5	5.5	3.2	100	17.6	9.6	3944.16	224.10	10712.22	中

1123425

	6	5.5	3.2	100	17.6	9.0	3382.79	192.20	10874.93	中
	7	5.5	3.2	100	17.6	9.2	4139.33	235.19	10952.96	中
	8	5.5	3.2	100	17.6	9.2	3796.25	215.70	10103.32	中
	9	5.5	3.2	100	17.6	8.5	3372.37	191.61	11403.52	中
	10	5.5	3.2	100	17.6	8.0	3870.54	219.92	11297.45	中
	11	5.5	3.2	100	17.6	9.2	3613.28	205.30	10061.02	中
	12	5.5	3.2	100	17.6	9.1	3660.84	208.00	10190.69	頭
MWDT	1	4.5	2.1	100	9.5	8.6	2569.76	271.93	13557.38	中
	2	4.5	2.1	100	9.5	8.5	2359.82	249.72	14790.39	中
	3	4.5	2.1	100	9.5	8.6	2250.04	238.10	13092.97	頭
	4	4.5	2.1	100	9.5	9.0	1543.34	163.32	13695.59	中
	5	4.5	2.1	100	9.5	8.6	1749.51	185.13	12726.96	中
	6	4.5	2.1	100	9.5	9.2	1295.32	137.07	13160.29	中
	7	4.5	2.1	100	9.5	8.4	2758.49	291.90	15581.73	頭
	8	4.5	2.1	100	9.5	9.0	2668.67	282.40	15750.38	頭
	9	4.5	2.1	100	9.5	9.0	1747.81	184.95	12735.62	中
	10	4.5	2.1	100	9.5	9.1	1720.49	182.06	13214.91	中
	11	4.5	2.1	100	9.5	8.5	2496.33	264.16	14723.54	中
	12	4.5	2.1	100	9.5	8.4	2473.47	261.74	14530.13	中

表 6. 13 平行纖維抗試驗(孟宗竹-乾燥竹-服務等級 1)

試體種類	編號	竹壁厚 δ (mm)	竹片厚 b (mm)	試驗段 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	最大荷重 f_{ult} (N)	抗拉強度 $f_{t,0}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)	斷裂處
ENDH	1	7.5	4.0	90	30.0	9.4	3211.58	196.68	7050.22	中
	2	7.8	3.6	90	28.1	9.0	3211.58	188.01	6695.81	中
	3	7.2	4.0	90	28.8	8.6	3211.58	196.06	7304.17	頭
	4	7.2	3.7	90	26.6	9.2	3211.58	148.80	6728.17	中
	5	7.2	3.9	90	28.1	8.4	3211.58	175.42	7025.25	頭
	6	6.8	3.9	90	26.5	8.6	3211.58	214.06	7667.01	頭
	7	7.2	3.8	90	27.4	9.1	3211.58	183.81	6675.81	中
	8	6.8	4.0	90	27.2	9.2	3211.58	212.20	8195.72	頭
	9	7.2	3.8	90	27.4	8.5	3211.58	156.82	7393.93	頭
	10	7.4	4.0	90	29.6	8.4	3211.58	128.52	6439.76	頭
	11	7.7	3.6	90	27.7	9.0	3211.58	216.91	6891.36	頭
	12	6.8	3.9	90	26.5	7.9	3211.58	161.52	7100.49	中
	13	7.7	3.8	90	29.3	9.2	3211.58	160.73	6054.21	中
	14	7.2	3.9	90	28.1	9.6	3211.58	168.92	6710.39	中
	15	7.0	4.0	90	28.0	7.4	3211.58	200.01	7635.30	中
ENDT	1	6.8	3.2	90	21.8	7.5	4097.75	228.20	10629.36	頭
	2	6.5	3.1	90	20.2	6.8	3471.57	165.80	11068.18	頭
	3	6.7	3.1	90	20.8	7.4	3607.75	199.18	9990.24	頭
	4	7.1	3.2	90	22.7	7.3	2765.85	143.13	9531.53	頭
	5	7.5	3.0	90	22.5	6.9	3283.90	128.69	8463.99	頭
	6	7.8	3.0	90	23.4	7.5	3896.93	173.49	9028.12	中
	7	7.2	3.0	90	21.6	8.4	3895.86	180.42	8846.28	中
	8	7.2	3.0	90	21.6	8.0	3794.47	189.01	9037.79	中
	9	7.7	2.9	90	22.3	7.4	4441.75	131.80	8264.97	頭
	10	7.1	3.1	90	22.0	7.9	2004.22	168.20	9295.69	中
	11	6.9	3.2	90	22.1	7.5	2297.55	182.81	9567.21	中
	12	7.5	3.2	90	24.0	7.3	1989.93	195.66	9196.52	頭
	13	7.0	3.2	90	22.4	7.9	1961.05	129.65	8140.13	頭
	14	7.3	3.3	90	24.1	8.0	2133.30	152.03	9179.45	頭
	15	7.6	3.1	90	23.6	7.3	2290.32	138.95	8981.39	頭
	16	7.2	3.1	90	22.3	7.3	2601.63	130.23	9410.17	頭
	17	6.4	3.1	90	19.8	6.9	2350.68	198.17	10108.64	頭
	18	7.4	3.1	90	22.9	7.3	2165.60	143.94	8898.51	中
EYDH	1	8.4	4.0	90	33.6	9.6	2207.72	129.03	5631.49	中
	2	7.4	4.0	90	29.6	9.6	1582.61	174.28	7539.44	中

	3	8.5	3.6	90	30.6	9.1	1897.33	173.57	6460.64	中
	4	8.0	3.9	90	31.2	8.5	4744.19	165.61	6122.29	中
	5	7.9	3.8	90	30.0	9.1	4774.25	135.52	6328.70	頭
	6	7.9	3.9	90	30.8	10.0	4991.46	190.08	6839.28	中
	7	8.2	4.0	90	32.8	10.0	4829.97	165.14	5977.01	中
	8	8.0	3.8	90	30.4	9.6	4550.04	156.12	6766.40	中
	9	8.4	3.7	90	31.1	9.6	4653.20	176.87	6607.68	中
	10	7.8	3.8	90	29.6	9.6	4439.90	174.52	6695.20	中
	11	7.9	3.9	90	30.8	9.0	4469.38	188.55	6896.96	中
	12	8.2	3.9	90	32.0	9.7	4377.00	181.54	6325.56	中
	13	8.1	3.8	90	30.8	10.7	4314.91	187.72	6444.86	中
	14	7.8	3.8	90	29.6	9.6	4685.11	188.76	6421.03	頭
	15	8.7	3.8	90	33.1	9.7	4424.93	136.90	5552.02	中
	16	8.1	4.1	90	33.2	10.2	2515.06	133.01	5746.91	中
	17	8.6	3.9	90	33.5	9.7	2638.22	159.70	6259.75	中
EYDT	1	7.5	3.2	100	24.0	7.3	4881.17	203.38	10737.98	頭
	2	7.0	3.2	100	22.4	7.5	4502.71	201.01	10453.01	頭
	3	7.0	3.2	100	22.4	7.1	4398.73	196.37	9973.60	中
	4	7.0	3.2	100	22.4	7.3	3910.08	174.56	9545.15	頭
	5	7.0	3.2	100	22.4	7.1	4528.79	202.18	10770.89	頭
	6	7.5	3.2	100	24.0	7.4	5005.56	208.57	10822.46	中
	7	6.5	3.2	90	20.8	7.2	4820.42	231.75	10913.22	頭
	8	6.5	3.2	90	20.8	7.9	4486.93	215.72	10654.42	頭
	9	7.0	3.2	110	22.4	6.9	3939.17	175.86	10348.96	頭
	10	7.0	3.2	110	22.4	7.3	3532.57	157.70	9850.04	中
	11	6.5	3.2	110	20.8	7.2	3771.12	181.30	11009.18	頭
	12	7.0	3.2	110	22.4	6.9	2965.00	132.37	10373.35	中
	13	7.0	3.2	90	22.4	8.0	3972.53	177.35	10437.55	中
	14	7.0	3.2	90	22.4	7.4	4544.67	202.89	9513.32	中
	15	7.0	3.2	90	22.4	7.4	2899.72	129.45	8509.78	中
	16	7.0	3.2	90	22.4	7.9	4379.54	195.52	10032.50	中
	17	6.5	3.2	90	20.8	7.2	4548.79	218.69	10388.79	中
	18	7.5	3.2	90	24.0	6.9	2948.74	122.86	9075.29	頭

表 6. 14 平行纖維抗拉試驗(桂竹-生竹-服務等級 1)

試體種類	編號	竹壁厚 δ (mm)	竹片厚 b (mm)	試驗段 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	最大荷重 f_{ult} (N)	抗拉強度 $f_{t,0}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)	斷裂處
MTGH	1	6.1	3.00	90	18.30	8.0	3774.71	206.27	7703.357	中
	2	6.2	2.90	90	17.98	8.5	3208.00	178.42	7258.719	中
	3	5.8	3.00	90	17.40	8.5	3186.97	183.16	7864.349	中
	4	5.6	3.10	90	17.36	6.0	3278.07	188.83	8356.865	中
	5	6.0	3.00	90	18.00	6.5	3390.24	188.35	7687.356	中
	6	5.6	3.00	90	16.80	9.0	3322.47	197.77	7655.084	中
	7	5.9	2.95	90	17.41	7.5	3313.99	190.40	8014.658	中
	8	5.8	3.00	90	17.40	6.5	3189.92	183.33	7628.949	中
	9	5.5	3.00	90	16.50	8.0	3364.71	203.92	7982.595	中
	10	6.2	2.95	90	18.29	6.0	3488.29	190.72	7503.612	中
	11	5.5	3.00	90	16.50	6.0	3279.95	198.78	8133.015	中
	12	5.8	3.00	90	17.40	9.0	3353.76	192.74	7480.597	中
MTGT	1	6.3	1.80	90	11.34	4.0	1823.52	160.80	11016.776	中
	2	5.9	1.80	90	10.62	8.0	1911.54	179.99	11988.554	中
	3	6.5	1.80	90	11.70	8.5	2192.44	187.39	10325.358	中
	4	5.5	1.80	90	9.90	6.5	2062.43	208.33	11792.877	中
	5	5.8	1.90	90	10.93	3.5	1922.31	175.95	11446.346	中
	6	6.5	1.90	90	12.35	8.5	2203.04	178.38	10885.172	中
	7	6.5	1.95	90	12.68	8.0	1864.90	147.13	10156.303	中
	8	6.8	1.95	90	13.26	8.0	2035.63	153.52	8654.469	中
	9	6.8	1.85	90	12.58	6.5	2156.21	171.40	9389.981	中

	10	6.7	1.90	90	12.73	4.0	1871.18	146.99	8883.912	頭
	11	6.8	1.90	90	12.92	8.5	1329.21	102.88	8048.294	中
	12	6.8	1.95	90	13.26	9.0	1685.93	127.14	8506.334	中
MJGH	1	6.3	3.10	90	19.53	7.0	3734.90	191.24	7156.691	頭
	2	8.1	2.95	90	23.90	9.0	3329.26	139.33	4945.984	中
	3	6.9	2.95	90	20.36	8.0	3457.10	169.84	5891.710	中
	4	6.0	2.90	90	17.40	6.0	3456.87	198.67	7284.339	中
	5	7.1	2.90	90	20.59	8.5	3634.84	176.53	6492.187	中
	6	6.6	3.00	90	19.80	9.5	3844.63	194.17	7020.713	頭
	7	6.0	2.95	90	17.70	6.0	3106.55	175.51	6751.158	中
	8	6.3	2.95	90	18.59	7.0	3535.95	190.26	7110.529	中
	9	7.5	2.90	90	21.75	8.5	3673.91	168.92	6432.828	中
	10	7.6	2.90	90	22.04	9.5	4035.52	183.10	6543.143	頭
	11	6.7	2.80	90	18.76	9.0	3500.99	186.62	7220.223	中
	12	5.7	3.00	90	17.10	9.0	3121.88	182.57	7485.672	頭
MJGT	1	5.2	1.80	90	9.36	6.0	1805.06	192.85	11112.255	M
	2	5.2	1.90	90	9.88	8.5	1887.28	191.02	11738.669	T
	3	6.0	1.85	90	11.10	9.5	1826.64	164.56	10366.472	中
	4	5.0	1.95	90	9.75	10.0	1850.87	189.83	11252.693	中
	5	5.2	1.90	90	9.88	7.0	1822.98	184.51	10989.931	中
	6	5.3	1.80	90	9.54	7.0	1618.01	169.60	11291.118	中
	7	5.4	1.80	90	9.72	9.5	1547.64	159.22	10741.705	中
	8	5.4	1.80	90	9.72	9.5	1672.30	172.05	10827.592	頭
	9	5.5	1.95	90	10.73	9.0	1750.08	163.18	9156.279	頭
	10	5.9	1.90	90	11.21	10.0	1573.87	140.40	8688.744	頭
	11	6.0	1.90	90	11.40	9.0	2035.00	178.51	10219.328	中
	12	5.7	1.90	90	10.83	9.5	1559.30	143.98	9046.816	頭
MWGH	1	8.5	3.00	90	25.50	8.5	4799.23	188.21	6242.490	頭
	2	7.7	3.00	90	23.10	8.0	4310.85	186.62	6642.898	中
	3	7.7	3.00	90	23.10	7.0	3869.95	167.53	6546.104	中
	4	8.9	2.90	90	25.81	6.0	4710.84	182.52	6179.760	中
	5	8.3	3.00	90	24.90	9.0	4036.63	162.11	5946.067	中
	6	7.3	2.95	90	21.54	6.5	4389.95	203.85	6721.245	中
	7	9.0	2.90	90	26.10	6.0	4068.30	155.87	5431.213	頭
	8	7.8	2.90	90	22.62	8.0	4267.57	188.66	6723.763	中
	9	9.4	3.10	90	29.14	5.5	4680.23	160.61	5338.594	中
	10	7.0	3.10	90	21.70	8.5	4299.78	198.15	7257.140	中
	11	8.1	3.05	90	24.71	5.5	4233.97	171.38	6333.293	中
	12	7.7	3.00	90	23.10	7.5	4053.57	175.48	6451.480	中
MWGT	1	5.0	1.90	90	9.50	1.5	1905.80	200.61	11438.684	中
	2	4.6	1.90	90	8.74	5.5	1871.50	214.13	14018.852	中
	3	4.5	1.80	90	8.10	3.0	1880.10	232.11	13442.390	M
	4	4.8	1.90	90	9.12	3.5	1823.67	199.96	12921.465	中
	5	5.3	1.90	90	10.07	1.5	1728.36	171.63	11637.710	頭
	6	5.0	1.90	90	9.50	2.0	1895.20	199.49	13140.376	中
	7	5.7	1.90	90	10.83	1.5	2109.45	194.78	10968.487	中
	8	4.8	1.90	90	9.12	7.5	1762.71	193.28	12735.527	中
	9	5.8	1.95	90	11.31	3.0	1920.00	169.76	10980.826	中
	10	5.5	1.95	90	10.73	1.0	1689.11	157.49	11519.103	中
	11	4.5	1.75	90	7.88	7.5	1710.89	217.26	13694.643	中
	12	5.3	1.85	90	9.81	3.5	1787.21	182.28	12251.765	中

表 6. 15 平行纖維抗拉試驗(孟宗竹-生竹-服務等級 1)

試體種類	編號	竹壁厚 δ (mm)	竹片厚 b (mm)	試驗段 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	最大荷重 f_{ult} (N)	抗拉強度 $f_{t,0}$ (MPa)	楊氏模數 E （MPa）	斷裂處
ENGH	1	10.2	3.90	90	39.78	11.5	4401.19	110.64	4261.270	頭
	2	10.4	3.90	90	40.56	12.0	4287.89	105.72	4514.253	中
	3	9.5	3.90	90	37.05	11.5	4613.76	124.53	4423.832	頭
	4	9.9	3.60	90	35.64	9.5	4592.67	128.86	4372.786	中
	5	10.2	3.80	90	38.76	10.0	3908.23	100.83	4542.080	中
	6	10.4	3.60	90	37.44	11.5	3837.65	102.50	3970.131	中
	7	10.5	3.80	90	39.90	12.0	4554.30	114.14	4204.998	頭
	8	9.7	3.10	90	30.07	7.0	3661.79	121.78	4519.770	中
	9	10.5	3.90	90	40.95	12.0	4246.85	103.71	3674.683	頭
	10	9.1	3.90	90	35.49	12.0	4493.63	126.62	4955.315	頭
	11	10.4	3.90	90	40.56	11.5	4698.83	115.85	4157.349	頭
	12	10.0	3.80	90	38.00	11.5	4057.17	106.77	3887.406	頭
	13	9.8	3.40	90	33.32	9.0	4179.96	125.45	4377.197	頭
	14	9.5	3.70	90	35.15	11.5	4257.60	121.13	4308.193	中
	15	10.0	3.60	90	36.00	10.0	5080.01	141.11	5062.658	頭
	16	9.7	3.40	90	32.98	5.5	3980.61	120.70	4791.957	中
	17	9.5	3.30	90	31.35	11.5	3565.84	113.74	4169.793	中
	18	9.5	3.60	90	34.20	8.0	4266.13	124.74	4714.078	中
ENGT	1	6.6	3.05	90	20.13	10.5	3032.54	150.65	7713.824	M
	2	6.1	2.95	90	18.00	10.0	3063.16	170.22	9394.493	M
	3	6.8	3.05	90	20.74	6.0	3065.59	147.81	8191.077	頭
	4	6.8	2.75	90	18.70	10.0	2564.84	137.16	9176.037	中
	5	6.5	2.90	90	18.85	9.0	2716.34	144.10	9213.685	頭
	6	7.0	3.20	90	22.40	9.5	3257.47	145.42	8417.262	中
	7	6.0	2.80	90	16.80	10.0	2716.25	161.68	9258.439	頭
	8	6.3	2.90	90	18.27	10.0	2787.62	152.58	9222.888	中
	9	6.6	3.05	90	20.13	9.5	3279.71	162.93	9221.624	頭
	10	6.1	3.05	90	18.61	10.0	2680.69	144.08	9248.312	中
	11	6.4	2.85	90	18.24	11.5	2902.02	159.10	8271.518	中
	12	6.5	2.70	90	17.55	10.0	2553.30	145.49	7152.522	中
	13	6.1	3.00	90	18.30	10.0	2884.03	157.60	8784.199	中
	14	6.8	2.50	90	17.00	8.0	2488.45	146.38	9344.230	中
	15	6.7	2.95	90	19.77	6.5	3191.35	161.46	9162.400	中
	16	6.8	2.95	90	20.06	9.5	2990.83	149.09	8077.768	中
EYGH	1	9.7	3.50	90	33.95	8.5	5387.60	158.69	5118.696	中
	2	10.0	3.80	90	38.00	11.5	4909.13	129.19	4910.959	中
	3	10.2	3.80	90	38.76	11.5	5177.56	133.58	4783.470	頭
	4	9.8	3.80	90	37.24	11.5	4232.86	113.66	4832.787	頭
	5	9.7	3.80	90	36.86	10.5	4668.80	126.66	4960.867	頭
	6	9.6	3.80	90	36.48	9.5	6028.01	165.24	5082.569	中
	7	10.5	3.80	90	39.90	11.5	5550.69	139.12	4386.744	中
	8	10.1	3.40	90	34.34	9.5	4937.14	143.77	5051.954	頭
	9	9.6	3.60	90	34.56	11.5	4276.30	123.74	5075.870	頭
	10	9.5	3.80	90	36.10	11.5	4949.05	137.09	4896.242	中
	11	9.5	3.60	90	34.20	9.5	5781.94	169.06	5351.993	頭
	12	9.1	3.60	90	32.76	11.5	5337.70	162.93	5727.097	中
	13	9.7	3.60	90	34.92	11.5	5493.42	157.31	5260.349	頭
	14	9.6	3.50	90	33.60	11.5	5297.13	157.65	5326.631	頭
	15	9.4	3.60	90	33.84	9.5	5777.15	170.72	5342.146	中
	16	8.8	3.55	90	31.24	9.5	5405.52	173.03	5893.566	頭
	17	8.9	3.50	90	31.15	10.0	5275.08	169.34	5577.448	頭
	18	10	3.90	90	39.00	12.0	4619.56	118.45	4661.861	頭
EYGT	1	5.8	2.80	90	16.24	11.0	2030.11	125.01	7043.961	中
	2	6.1	3.00	90	18.30	12.0	2458.17	134.33	6759.349	中
	3	5.7	3.00	90	17.10	10.5	2445.59	143.02	7550.853	頭

	4	5.9	2.80	90	16.52	9.5	2208.76	133.70	7672.275	頭
	5	6.5	2.70	90	17.55	11.0	2410.16	137.33	7424.185	頭
	6	6.4	2.70	90	17.28	10.0	2422.37	140.18	7595.636	頭
	7	6.0	2.95	90	17.70	10.5	1991.30	112.50	7372.001	頭
	8	6.3	3.00	90	18.90	11.0	2083.52	110.24	6838.782	中
	9	6.4	3.10	90	19.84	10.0	2184.30	110.10	6416.976	頭
	10	6.4	2.50	90	16.00	10.5	1985.26	124.08	5499.478	中
	11	6.4	3.00	90	19.20	10.5	2014.39	104.92	6537.275	中
	12	5.4	3.10	90	16.74	11.0	2076.49	124.04	7441.579	頭
	13	5.9	3.00	90	17.70	9.5	2149.68	121.45	7223.262	頭
	14	6.5	3.00	90	19.50	10.0	2081.59	106.75	5818.955	頭
	15	6.6	2.80	90	18.48	10.5	2416.97	130.79	6551.542	頭
	16	6.3	3.10	90	19.53	12.0	2437.00	124.78	5867.261	頭

表 6. 16 平行纖維抗拉試驗(桂竹-乾燥竹-服務等級 3)

試體種類	編號	竹壁厚 δ (mm)	竹片厚 b (mm)	試驗段 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	最大荷重 f_{ult} (N)	抗拉強度 $f_{t,0}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)	斷裂處
MTDH	1	6.8	3.0	97.2	21.76	14.7	4179.68	192.08	9874.64	中
	2	5.9	3.3	97.2	19.47	14.0	3882.09	199.39	11130.69	中
	3	6.3	3.3	97.2	20.79	15.5	4648.07	223.57	9097.54	中
	4	5.7	3.2	97.2	18.24	14.2	3019.90	165.56	11136.52	頭
	5	5.4	3.3	97.2	17.82	15.3	3667.64	205.82	11616.72	頭
	6	6.0	3.3	97.2	19.8	15.3	3184.34	160.83	10570.67	中
	7	5.9	3.1	97.2	18.29	14.2	3471.65	189.81	10222.82	中
	8	5.8	3.2	97.2	18.56	14.6	4302.14	231.80	10976.57	頭
	9	6.1	3.2	97.2	19.52	14.2	4150.50	212.63	10879.53	中
	10	5.5	3.2	97.2	17.6	14.4	3050.80	173.34	12183.89	中
	11	5.7	3.3	97.2	18.81	15.9	4701.49	249.95	10816.00	中
	12	5.9	3.3	97.2	19.47	15.6	4448.49	228.48	10394.91	頭
MTDT	1	5.0	2.1	97.2	10.5	15.9	1962.01	186.86	12564.78	中
	2	4.8	2.3	97.2	11.0	14.4	2611.69	236.57	12527.80	中
	3	4.9	2.3	97.2	11.3	15.5	2055.15	182.36	12308.61	中
	4	4.9	2.2	97.2	10.8	15.8	2139.56	198.48	13624.96	中
	5	5.6	2.2	97.2	12.3	14.3	1821.73	147.87	12002.29	中
	6	5.5	2.3	97.2	12.7	14.2	2166.25	171.25	12308.65	中
	7	5.2	2.1	97.2	10.9	14.9	1875.10	171.71	12471.94	頭
	8	5.3	2.3	97.2	12.2	14.0	2177.05	178.59	11847.05	中
	9	5.4	2.2	97.2	11.9	15.5	1481.71	124.72	12252.91	中
	10	4.7	2.2	97.2	10.3	14.7	2620.13	253.40	13255.04	中
	11	5.0	2.3	97.2	11.5	15.0	1679.94	146.08	12804.59	中
	12	5.0	2.2	97.2	11.0	15.4	2110.82	191.89	12637.36	中
MJDH	1	6.9	3.2	97.2	22.1	14.6	4538.38	205.54	9648.87	中
	2	6.5	3.3	97.2	21.5	15.3	4967.29	231.58	9763.80	頭
	3	6.6	3.3	97.2	21.8	16.0	4666.05	214.24	9288.52	中
	4	6.6	3.1	97.2	20.5	15.5	4246.89	207.57	8607.18	中
	5	6.6	3.2	97.2	21.1	15.1	4382.45	207.50	9807.22	中
	6	6.6	3.2	97.2	21.1	14.5	3325.71	157.47	10900.34	中
	7	6.3	3.3	97.2	20.8	15.7	3793.83	182.48	10294.19	中
	8	7.0	3.2	97.2	22.4	14.4	5155.69	230.16	9036.15	頭
	9	7.0	3.4	97.2	23.8	14.5	5453.36	229.13	9250.65	中
	10	6.5	3.3	97.2	21.5	14.0	3720.90	173.47	9757.86	中
	11	6.3	3.2	97.2	20.2	14.5	4833.94	239.78	9564.09	中
	12	7.1	3.2	97.2	22.7	14.1	4255.61	187.31	8978.71	中
MJDT	1	5.5	2.2	97.2	12.1	15.2	2879.41	237.97	9659.89	頭
	2	5.4	2.1	97.2	11.3	14.8	1630.02	143.74	11358.81	頭
	3	5.5	2	97.2	11.0	15.4	2715.71	246.88	10791.77	頭
	4	5.6	1.9	97.2	10.6	16.0	1685.52	158.41	10697.34	中
	5	5.5	2.3	97.2	12.7	15.5	2535.86	200.46	11461.59	中

	6	5.5	2.3	97.2	12.7	15.8	2939.91	232.40	9474.16	頭
	7	5.5	2.2	97.2	12.1	14.1	2397.98	198.18	10524.73	中
	8	5.3	2.2	97.2	11.7	14.5	2553.10	218.96	10328.49	中
	9	5.8	2.3	97.2	13.3	15.9	2943.82	220.68	9767.02	中
	10	5.5	2.3	97.2	12.7	14.1	2389.96	188.93	10435.81	頭
	11	5.5	2.2	97.2	12.1	15.6	2516.36	207.96	8466.00	中
	12	5.4	2.3	97.2	12.4	15.2	2739.52	220.57	9384.51	中
MWDH	1	6.3	3.2	97.2	20.2	14.4	3797.57	188.37	10796.08	中
	2	5.9	3.2	97.2	18.9	14.2	3552.85	188.18	11539.39	頭
	3	6.0	3.3	97.2	19.8	15.5	4597.81	232.21	9581.76	中
	4	6.2	3.2	97.2	19.8	14.0	4200.71	211.73	10631.38	中
	5	6.1	3.2	97.2	19.5	15.5	3235.35	165.75	11091.17	頭
	6	5.9	3.2	97.2	18.9	15.1	3524.33	186.67	11593.31	頭
	7	6.1	3.2	97.2	19.5	15.3	3935.74	201.63	10562.23	中
	8	6.0	3.2	97.2	19.2	14.7	3806.89	198.28	11649.81	中
	9	6.6	3.2	97.2	21.1	14.7	4020.31	190.36	8337.30	中
	10	5.7	3.3	97.2	18.8	15.7	4358.84	231.73	9926.14	中
	11	5.5	3.3	97.2	18.2	15.3	3708.59	204.33	11504.10	中
	12	5.9	3.2	97.2	18.9	14.4	4538.38	240.38	11284.27	中
MWDT	1	4.9	2.2	99	10.8	15.6	2502.21	232.12	10186.70	頭
	2	5.1	2.2	99	11.2	15.8	2107.52	187.84	11240.53	中
	3	4.6	2.3	99	10.6	15.8	1525.43	144.18	11868.83	中
	4	5.3	2.1	99	11.1	14.8	2229.45	200.31	11300.82	中
	5	4.8	2.1	99	10.1	14.5	1857.32	184.26	11613.63	中
	6	5.3	2.1	99	11.1	15.2	1631.14	146.55	10504.86	頭
	7	4.8	2.2	99	10.6	15.2	1493.78	141.46	12108.48	中
	8	4.7	2.2	99	10.3	14.0	1983.77	191.85	10977.43	中
	9	4.7	2.3	99	10.8	15.9	1587.53	146.86	10669.81	中
	10	5.0	2.3	99	11.5	14.3	1764.98	153.48	10989.88	中
	11	4.5	2.2	99	9.9	15.8	2555.90	258.17	8315.13	中
	12	5.0	2.2	99	11.0	15.8	2536.48	230.59	11172.95	頭

表 6. 17 平行纖維抗拉試驗(孟宗竹-乾燥竹-服務等級 3)

試體種類	編號	竹壁厚 δ (mm)	竹片厚 b (mm)	試驗段 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	最大荷重 f_{ult} (N)	抗拉強度 $f_{t,0}$ (N/mm)	楊氏模數 E (MPa)	斷裂處
ENDH	1	7.9	3.9	117	30.8	14.1	4793.79	155.59	6267.75	中
	2	7.8	4.0	117	31.2	15.0	3382.82	108.42	6834.20	中
	3	7.5	3.7	117	27.8	14.6	4580.88	165.08	5524.01	頭
	4	8.3	3.8	117	31.5	15.9	906.53	28.74	3051.81	中
	5	8.5	3.8	94	32.3	15.4	4397.13	136.13	6926.46	中
	6	8.3	4.1	94	34.0	14.1	5254.15	154.40	7991.38	中
	7	7.6	4.1	94	31.2	14.1	3831.52	122.96	5205.48	中
	8	7.5	3.9	94	29.3	14.5	4239.17	144.93	9040.69	頭
	9	7.5	4.0	94	30.0	14.2	4026.09	134.20	7425.57	中
	10	7.5	4.1	94	30.8	14.5	3337.76	108.54	6862.34	中
	11	7.2	4.0	94	28.8	15.0	4651.12	161.50	7322.13	中
	12	7.9	4.1	94	32.4	14.0	4657.29	143.79	6594.81	頭
	13	7.5	4.0	94	30.0	14.2	3845.81	128.19	7263.41	中
	14	7.6	3.9	94	29.6	14.3	5089.78	171.72	7195.34	中
	15	8.8	3.8	95.5	33.4	15.8	4233.91	126.61	8422.36	頭
	16	7.7	4.1	92	31.6	14.2	5650.53	178.98	6829.11	頭
	17	7.9	3.9	92	30.8	15.7	4028.36	130.75	7013.17	中
	18	8.4	3.7	92	31.1	14.3	5507.10	177.19	7015.01	中
ENDT	1	7.4	3.2	94	23.7	15.3	3855.66	162.82	7273.92	中
	2	7.1	3.2	94	22.7	15.1	4270.78	187.97	7756.34	中
	3	7.1	3.3	94	23.4	14.1	4478.03	191.12	7959.26	中
	4	7.6	3.2	94	24.3	15.1	4994.33	205.36	7523.41	中
	5	7.2	3.2	94	23.0	14.2	4657.59	202.15	7433.96	頭

	6	8.0	3.2	94	25.6	14.7	4426.26	172.90	7484.10	中
	7	7.6	3.2	94	24.3	14.8	4355.45	179.09	6986.82	中
	8	7.3	3.1	94	22.6	15.2	4140.26	182.95	7615.49	中
	9	7.1	3.3	94	23.4	14.7	4094.61	174.76	6707.93	中
	10	7.8	3.2	94	25.0	15.8	3556.96	142.51	7352.24	中
	11	8.1	3.1	94	25.1	14.8	3617.82	144.08	7098.04	中
	12	7.5	3.2	94	24.0	14.8	4225.76	176.07	4469.04	頭
	13	7.0	3.2	94	22.4	14.8	3113.37	138.99	7500.29	中
	14	7.4	3.2	94	23.7	15.8	4448.58	187.86	5578.50	中
	15	7.3	3.2	94	23.4	15.8	4109.36	175.91	5264.43	中
	16	7.7	3.2	94	24.6	16.0	5002.23	203.01	7253.23	中
	17	7.4	3.0	94	22.2	15.6	4243.84	191.16	7317.36	中
	18	7.7	3.2	94	24.6	14.9	4413.27	179.11	6669.94	中
EYDH	1	8.2	3.8	94	31.2	14.2	5496.68	176.40	5090.02	頭
	2	8.1	3.9	94	31.6	15.6	4372.81	138.42	5937.42	中
	3	9.1	3.9	94	35.5	15.2	5630.99	158.66	5950.73	頭
	4	8.4	3.9	94	32.8	14.1	5633.46	171.96	5653.74	中
	5	8.2	3.8	94	31.2	15.0	5300.28	170.10	6729.53	中
	6	8.2	4.1	94	33.6	14.1	6266.42	186.39	6649.55	頭
	7	8.3	3.8	94	31.5	15.4	5226.97	165.73	5967.56	中
	8	9.0	3.8	94	34.2	15.2	7068.89	206.69	6435.87	中
	9	7.9	3.8	94	30.0	15.2	6167.93	205.46	6702.48	中
	10	8.4	3.8	94	31.9	14.9	4970.68	155.72	5286.93	中
	11	8.6	4.0	94	34.4	15.1	5414.27	157.39	6179.21	中
	12	8.5	3.9	94	33.2	14.6	5359.80	161.68	6617.88	頭
	13	8.5	3.5	97	29.8	14.3	5288.91	177.78	6619.43	中
	14	8.6	3.9	97	33.5	15.5	3942.28	117.54	5890.07	中
	15	8.4	3.9	97	32.8	15.3	5268.46	160.82	5866.76	中
	16	8.2	3.9	97	32.0	16.0	5714.98	178.70	5608.61	中
EYDT	1	7.5	3.1	105	23.3	14.2	3173.40	136.49	4208.36	頭
	2	7.1	3.2	105	22.7	15.2	1982.32	87.25	3703.46	中
	3	6.9	3.2	105	22.1	14.9	3028.34	137.15	4062.95	中
	4	6.7	3.2	105	21.4	14.5	3212.91	149.86	3874.15	中
	5	7.4	3.4	105	25.2	14.7	3674.26	146.04	3172.00	頭
	6	7.9	3.2	105	25.3	15.4	2261.89	89.47	3218.96	中
	7	6.8	3.1	105	21.1	14.5	2127.06	100.90	4285.40	頭
	8	7.5	2.8	105	21.0	14.3	1725.16	82.15	4445.60	頭
	9	7.6	3.1	110	23.6	14.4	3874.94	164.47	3830.91	中
	10	8.0	3.5	110	28.0	15.7	5254.33	187.65	3938.76	中
	11	7.2	3.4	110	24.5	14.3	4667.04	190.65	3860.30	中
	12	7.2	3.4	110	24.5	14.1	3466.80	141.62	3606.25	中
	13	7.1	3.3	107	23.4	14.1	1751.08	74.74	2477.33	頭
	14	7.2	3.3	107	23.8	15.4	1897.37	79.86	5635.51	中
	15	7.2	3.2	107	23.0	15.5	610.78	26.51	8205.55	中
	16	6.7	3.3	107	22.1	15.6	2796.26	126.47	5217.09	中
	17	7.1	3.4	110	24.1	14.4	2613.42	108.26	5073.52	頭

表 6. 18 平行纖維抗拉試驗(桂竹-生竹-服務等級 3)

試體種類	編號	竹壁厚δ (mm)	竹片厚 b (mm)	試驗段 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	最大荷重 f_{ult} (N)	抗拉強度 $f_{t,0}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)	斷裂處
MTGH	1	6.1	3.1	90	18.91	21.5	3236.29	171.14	7941.19	中
	2	5.5	3.2	90	17.60	24.0	2897.48	164.63	8360.13	中
	3	5.4	3.2	90	17.28	20.5	3105.21	179.70	8505.97	中
	4	6.3	3.2	90	20.16	23.0	3952.58	196.06	7602.00	中
	5	5.6	3.2	90	17.92	23.5	3135.70	174.98	8191.55	中
	6	5.8	3.2	90	18.56	20.0	2913.78	156.99	8481.44	中
	7	6.2	3.2	90	19.84	20.5	3730.29	188.02	7458.93	中
	8	6.5	3.1	90	20.15	23.5	3814.03	189.28	7581.91	中
	9	5.5	3.1	90	17.05	23.0	3068.12	179.95	9003.02	中
	10	5.7	3.1	90	17.67	23.0	3250.74	183.97	8693.02	中
	11	5.8	3.2	90	18.56	23.0	3181.89	171.44	7868.96	中
	12	5.9	3.2	90	18.88	23.0	3389.22	179.51	7797.48	中
MTGT	1	5.8	1.9	90	11.02	20.0	2522.59	228.91	10105.05	中
	2	5.2	2.0	90	10.40	21.5	1913.06	183.95	10629.37	中
	3	5.8	2.0	90	11.60	21.5	2814.75	242.65	10147.71	頭
	4	5.5	2.0	90	11.00	21.5	1726.37	156.94	10070.75	中
	5	6.4	2.0	90	12.80	22.5	2705.22	211.35	8914.82	中
	6	5.2	2.0	90	10.40	20.5	1455.12	139.91	9388.93	中
	7	5.4	1.8	90	9.72	20.0	2108.43	216.92	10110.04	中
	8	5.2	2.0	90	10.40	20.5	2295.76	220.75	9757.08	中
	9	5.8	2.1	90	12.18	21.0	2339.61	192.09	8155.51	頭
	10	6.0	2.0	90	12.00	21.5	2027.65	168.97	9518.91	中
	11	6.5	2.1	90	13.65	21.0	1875.99	137.43	8401.55	中
	12	5.2	2.1	90	10.92	22.0	1809.23	165.68	9521.13	頭
MJGH	1	6.7	3.0	90	20.10	23.5	3609.67	179.59	8456.93	中
	2	6.9	3.1	90	21.39	22.5	4052.37	189.45	7414.98	中
	3	6.8	3.1	90	21.08	27.0	4266.01	202.37	7151.17	頭
	4	7.9	3.0	90	23.70	24.0	4190.53	176.82	7222.08	中
	5	7.4	2.9	90	21.46	25.0	3938.27	183.52	7157.50	頭
	6	5.9	2.7	90	15.93	23.0	3543.45	222.44	8248.68	頭
	7	6.1	2.9	90	17.69	24.0	3113.56	176.01	7173.90	中
	8	6.4	2.9	90	18.56	24.5	3048.61	164.26	7400.91	中
	9	6.7	2.8	90	18.76	24.0	3501.93	186.67	7409.16	中
	10	7.1	3.0	90	21.30	22.5	3818.94	179.29	6451.32	中
	11	7.2	3.0	90	21.60	21.5	3723.84	172.40	5683.96	中
	12	7.6	2.8	90	21.28	24.0	4114.27	193.34	6391.99	中
MJGT	1	5.5	2.0	90	11.00	21.5	1957.15	177.92	9576.10	中
	2	5.7	1.8	90	10.26	20.5	1247.29	121.57	9011.28	中
	3	5.1	1.9	90	9.69	22.5	1679.83	173.36	8570.17	中
	4	6.1	2.0	90	12.20	20.5	2322.19	190.34	9399.32	中
	5	5.0	2.0	90	9.75	24.0	1621.20	166.28	9560.15	中
	6	5.9	2.0	90	11.51	21.5	2256.12	196.10	9499.75	中
	7	6.0	2.0	90	12.00	21.0	1572.76	131.06	7705.92	中
	8	5.5	2.0	90	11.00	20.5	2008.24	182.57	8934.00	中
	9	6.3	2.0	90	12.60	20.5	2188.93	173.72	8393.49	中
	10	5.3	2.0	90	10.60	20.5	1336.65	126.10	8295.32	中
	11	5.6	2.0	90	11.20	20.5	1906.41	170.21	7962.59	中
	12	6.2	2.0	90	12.40	20.0	2040.93	164.59	8913.42	中
MWGH	1	8.4	3.1	90	26.04	23.5	4615.81	177.26	6517.92	中
	2	9.3	3.3	90	30.69	25.0	4166.24	135.75	6520.49	中
	3	8.3	3.2	90	26.56	23.5	4710.96	177.37	7062.77	頭
	4	9.4	3.2	90	30.08	23.5	5132.12	170.62	6441.76	中
	5	8.5	3.2	90	27.20	20.5	4671.13	171.73	6433.84	頭
	6	8.6	3.1	90	26.66	23.0	4426.27	166.03	5983.40	中
	7	9.1	3.2	90	29.12	20.0	4039.29	138.71	6832.71	中

1123425

	8	8.6	3.0	90	25.80	23.0	4277.14	165.78	6346.53	頭
	9	8.8	2.9	90	25.52	23.0	4243.03	166.26	6504.51	中
	10	9.0	3.0	90	27.00	22.0	5453.12	201.97	7093.04	中
	11	8.7	3.1	90	26.97	21.5	5206.43	193.05	7034.23	中
	12	8.6	3.2	90	27.52	23.0	4227.93	153.63	6023.61	中
MWGT	1	4.9	2.0	90	9.80	20.5	1467.08	149.70	11842.91	中
	2	4.9	2.0	90	9.80	20.0	1138.55	116.18	9378.92	中
	3	4.5	2.0	90	9.00	20.5	1973.13	219.24	10525.12	中
	4	5.1	2.0	90	10.20	21.0	1949.11	191.09	10091.89	中
	5	5.3	2.0	90	10.60	20.0	1702.88	160.65	10570.44	中
	6	5.2	2.0	90	10.40	20.5	1783.11	171.45	10168.17	中
	7	4.6	2.0	90	9.20	20.5	1710.23	185.89	11876.86	中
	8	4.8	2.0	90	9.60	20.0	1740.23	181.27	10892.95	中
	9	5.6	1.9	90	10.64	20.0	1944.94	182.80	10074.41	中
	10	5.4	1.8	90	9.72	19.5	1860.06	191.36	11203.05	中
	11	4.7	1.8	90	8.46	20.5	1847.89	218.43	11476.69	中
	12	5.6	1.8	90	10.08	19.0	1916.25	190.10	10599.44	中

表 6. 19 平行纖維抗拉試驗(孟宗竹-生竹-服務等級 3)

試體種類	編號	竹壁厚δ (mm)	竹片厚 b (mm)	試驗段 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	最大荷重 f_{ult} (N)	抗拉強度 $f_{t,0}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)	斷裂處
ENGH	1	10.2	4.0	90	40.80	21.5	4136.91	101.39	3921.09	頭
	2	10.6	3.8	90	40.28	24.0	4615.78	114.59	4083.37	頭
	3	9.7	3.8	90	36.86	21.5	4071.91	110.47	4761.79	中
	4	9.2	3.8	90	34.96	21.5	4170.90	119.30	4983.66	頭
	5	9.3	3.8	90	35.34	22.0	3953.46	111.87	4610.69	頭
	6	10.4	3.6	90	37.44	23.5	5187.95	138.57	4326.03	頭
	7	11.5	3.7	90	42.55	22.5	4405.23	103.53	3804.23	頭
	8	10.5	3.8	90	39.90	23.0	3743.70	93.83	3722.37	頭
	9	10.0	3.6	90	36.00	21.0	5277.91	146.61	5148.81	中
	10	9.2	3.8	100	34.96	21.5	5062.08	144.80	5365.21	頭
	11	10.1	4.0	100	40.40	23.0	4889.34	121.02	4732.99	頭
	12	11.2	3.8	100	42.56	22.5	4260.49	100.11	4134.45	頭
	13	9.3	3.8	100	35.34	21.0	3873.07	109.59	5042.30	中
	14	10.0	3.9	100	39.00	23.0	4107.67	105.32	4863.83	中
	15	9.7	3.9	100	37.83	23.0	4693.45	124.07	5121.54	中
	16	10.3	4.0	100	41.20	22.5	4087.17	99.20	4663.96	中
	17	10.0	3.9	100	39.00	22.5	3550.54	91.04	4327.67	中
	18	8.9	3.8	100	33.82	21.0	3619.36	107.02	5376.33	中
ENGT	1	6.6	2.8	90	18.48	20.5	3145.50	170.21	8292.40	中
	2	6.5	2.8	90	18.20	20.0	3239.83	178.01	8077.42	中
	3	7.1	2.8	90	19.74	22.5	3404.13	172.45	7381.61	頭
	4	6.6	2.9	90	19.00	20.0	3519.00	185.26	7850.35	中
	5	7.1	3.0	90	21.30	21.5	3496.32	164.15	7609.83	中
	6	7.5	3.0	90	22.50	21.5	3131.87	139.19	6659.80	中
	7	7.7	2.8	90	21.18	20.0	3195.67	150.92	6768.04	中
	8	7.2	2.9	90	20.74	22.0	3373.88	162.71	7725.31	中
	9	7.5	3.0	90	22.50	23.0	3156.28	140.28	6868.12	中
	10	6.8	3.1	90	20.74	20.0	3488.00	168.18	7272.05	中
	11	7.0	3.1	90	21.20	21.5	3627.89	171.15	6400.49	中
	12	6.8	3.1	90	21.08	22.5	3190.53	151.35	7570.71	頭
	13	6.3	3.2	90	20.16	21.5	3319.25	164.65	7619.36	中
	14	6.8	2.9	90	19.24	20.5	3172.22	164.90	5986.94	中
	15	6.6	3.2	90	21.12	22.0	3429.78	162.40	7299.79	中
	16	6.4	3.1	90	19.52	23.0	3285.55	168.32	7610.21	頭
	17	6.4	3.0	90	19.20	20.0	3124.86	162.75	7800.07	中
	18	6.9	2.8	90	19.18	20.0	3294.08	171.75	7526.52	中

EYGH	1	9.4	3.8	90	35.72	23.5	5357.38	149.98	4944.52	頭
	2	10.7	4.0	90	42.80	23.5	5011.42	117.09	4287.54	中
	3	9.3	3.7	90	34.41	24.0	4067.51	118.21	5450.71	中
	4	9.8	3.8	90	37.24	23.5	3329.88	89.42	4750.09	中
	5	10.6	3.8	90	40.28	27.0	4343.94	107.84	4433.25	中
	6	10.5	3.9	90	40.95	24.5	4822.95	117.78	4220.71	頭
	7	9.7	3.7	90	35.89	23.5	5097.30	142.03	4617.06	頭
	8	9.8	3.8	90	37.24	26.0	4951.60	132.96	4793.33	中
	9	10.5	4.2	90	44.10	26.0	5438.68	123.33	4067.53	頭
	10	10.3	4.4	90	45.32	26.5	5603.18	123.64	3589.59	頭
	11	10.5	3.8	90	39.90	25.0	5290.75	132.60	4304.67	頭
	12	10.0	3.6	90	36.00	25.0	4681.28	130.04	4274.03	中
	13	9.0	3.5	90	31.50	23.5	5332.85	169.30	5535.09	頭
	14	9.1	3.8	90	34.58	23.5	5193.34	150.18	5019.96	頭
	15	9.6	3.9	90	37.44	23.5	4659.89	124.46	4746.02	頭
	16	9.7	4.0	90	38.80	23.0	4657.79	120.05	4330.85	頭
	17	10.5	4.0	90	42.00	24.0	4931.52	117.42	4036.00	頭
	18	9.8	3.7	90	36.26	23.5	5319.16	146.70	4414.61	頭
EYGT	1	5.7	3.0	90	16.82	26.5	2280.78	135.64	5790.51	頭
	2	6.6	2.8	90	18.48	27.0	2505.17	135.56	6177.04	頭
	3	6.3	2.9	90	18.27	28.0	2050.78	112.25	5019.21	頭
	4	5.6	3.0	90	16.80	31.0	2306.18	137.27	6180.00	頭
	5	6.3	2.9	90	18.27	30.5	2456.09	134.43	6128.51	中
	6	6.5	2.9	90	18.53	38.5	2300.04	124.16	6068.01	頭
	7	6.2	2.7	90	16.74	27.0	2002.18	119.60	5777.76	頭
	8	6.1	3.1	90	18.91	24.0	2123.30	112.28	6130.26	頭
	9	6.6	3.0	90	19.80	30.0	2303.90	116.36	5574.76	頭
	10	6.4	3.0	90	19.20	26.0	2219.74	115.61	5575.71	頭
	11	7.2	2.8	90	20.16	30.0	2329.94	115.57	5356.70	頭
	12	6.6	3.1	90	20.13	28.5	1646.24	81.78	5205.83	頭
	13	6.3	3.0	90	18.90	26.0	1966.52	104.05	5824.70	頭
	14	6.3	3.0	90	18.90	34.0	1983.20	104.93	5466.94	中
	15	6.0	3.1	90	18.60	26.0	1923.61	103.42	6507.83	頭
	16	6.0	2.7	90	16.20	31.5	2314.27	142.86	6599.62	頭
	17	6.2	3.0	90	18.60	24.0	2160.97	116.18	5932.50	頭
	18	6.5	3.0	90	19.50	25.0	2205.99	113.13	5750.35	頭

表 6. 20 平行纖維抗拉試體

試體斷裂於竹節	試驗前	
	試驗後	
試體斷裂於夾具端	試驗前	
	試驗後	

1123425

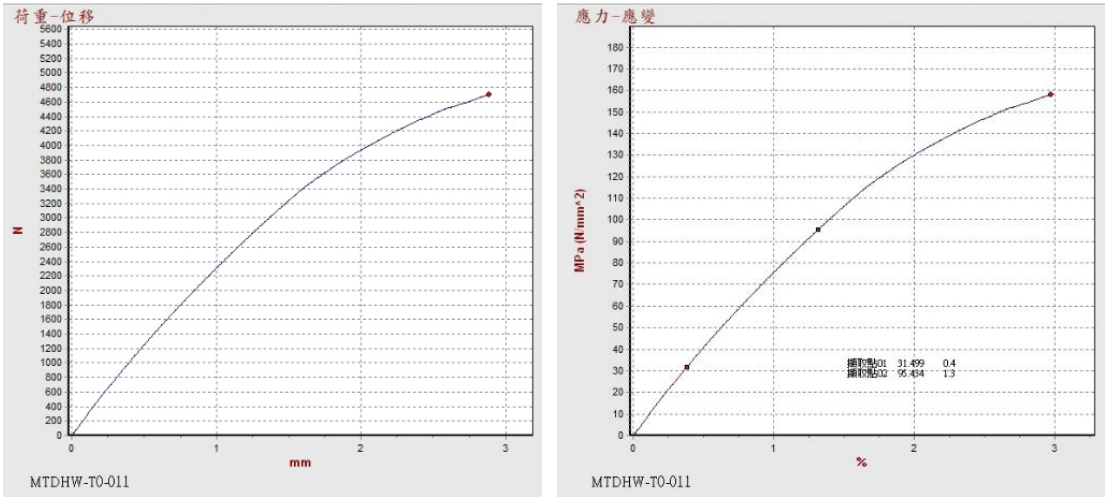


圖 6. 12 試體斷裂於竹節之荷重-位移圖(左)及應力-應變圖(右)

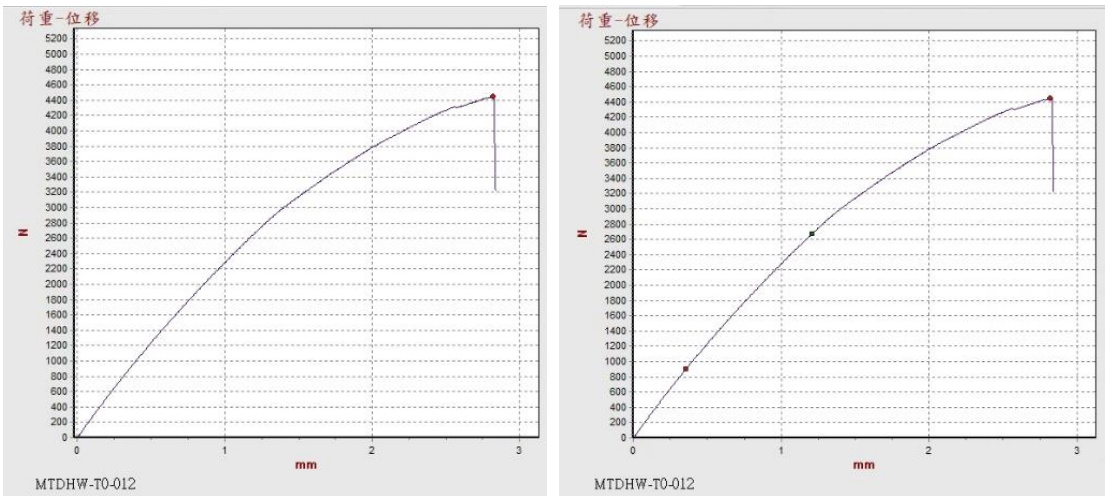
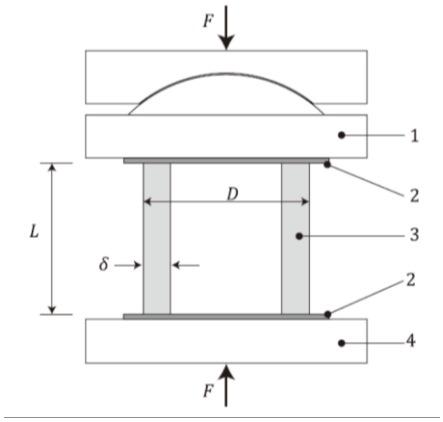


圖 6. 13 試體斷裂於夾具端之荷重-位移圖(左)及應力-應變圖(右)

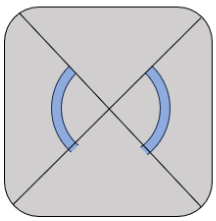
6.5 平行纖維抗剪試驗

6.5.1 試體準備

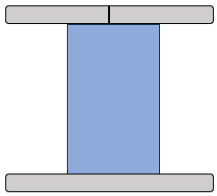
平行纖維抗剪試驗的試體須包含有竹節及沒有竹節各半。試體的長度應取外徑 D 和壁厚 10 倍 10δ 中的較小值。然而，如果 D 小於或等於 20 毫米，則試體長度可直接取外徑的兩倍 $2D$，而不考慮壁厚。若有竹節的試體，其竹節應位於中間位置。試體的端面應彼此平行且與試體的長度軸垂直。試體的端面應是平的，最大偏差不超過直徑的 1%。



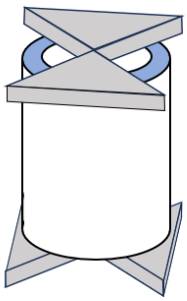
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 6. 14 平行纖維方向抗剪試驗裝置示意圖 (a：試體置於儀器內，b：試體與輔具位置之俯視圖，c：試體與輔具位置之側視圖，d：試體與輔具位置之斜視圖)

D : 外徑 (mm)

δ : 壁厚 (mm)

F : 荷載 (N)

L : 試體長度（L 為 D 或 10δ 中取小的值。如果 $D < 20$ mm，則 $L = 2D$）

1 : 帶球面軸承的上壓板

2 : 中間層

1123425

3 : 竹子試體

4 : 中間層

5 : 下壓板

圖 6. 15 平行纖維抗剪試驗

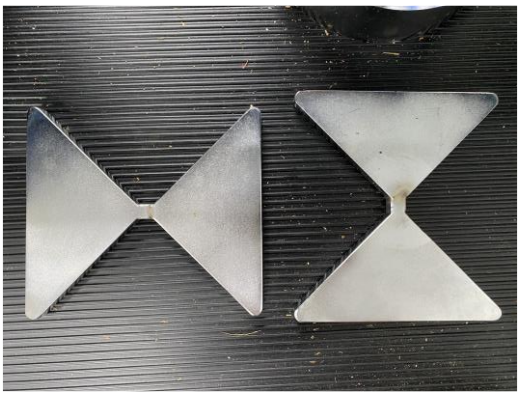


圖 6. 16 抗剪試驗輔具

6.5.2 試驗流程

將試體從乾室與濕室取出，取任三顆試體用含水率測定儀測定材料切面三次並取平均，達到要求之服務等級 1 或 3 進行秤重，並將試體放入烘箱 24 小時，並再次進行秤重以及計算含水率，若三顆試體均達到服務等級 1 或 3 的要求，即視為整批試體皆能進行試驗。

進行試驗前，每一顆試體先以含水率測定儀測定含水率，確認該試體符合服務等級 1 或服務等級 3 的要求，丈量試體的外徑、內徑、長度、重量以及測定儀含水率，隨後以量角器在竹子兩端截面的 0°, 90°, 180°, 270° 的位置上標上記號，並將抗剪輔具的邊線精準地對上記號，且輔具需交叉擺放，再將試體放入萬能試驗機，並以 5 mm/min 的速度進行抗剪試驗，試驗完成後，紀錄試體的最大荷重，以利後續求得抗剪強度。

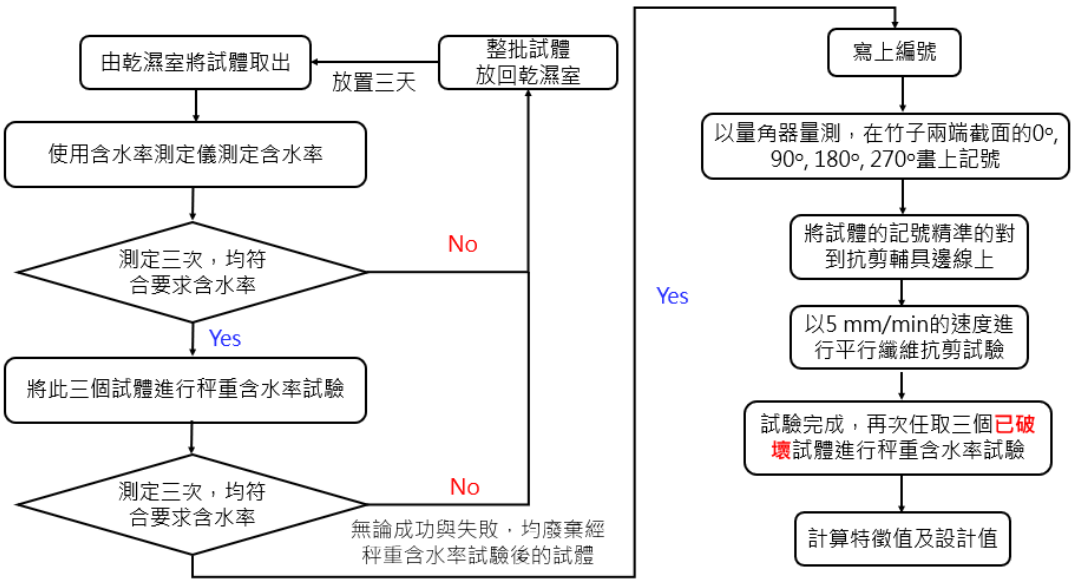


圖 6. 17 平行纖維抗剪試驗流程

6.5.3 平行纖維抗剪強度

平行纖維抗剪試體需一半有竹節，另一半不含竹節；竹段之長度 L 取試體外徑 D 與 10 倍壁厚 10δ之較小值。

抗剪強度 f_s 公式如下：

$$f_s = \frac{F_{ult}}{\sum(\delta \times L)} \tag{6.6}$$

F_{ult}：試體破壞時之最大荷重 (N)

$\sum(\delta \times L)$：試體四個受剪面的總面積(mm^2)

1123425

表 6. 21 平行纖維抗剪試驗(桂竹-乾燥竹-服務等級 1)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 d (mm)	長度 L (mm)	測定儀含水率(%)	極限強度 (N)	剪切面面積 (mm^2)	抗剪強度 f_s (MPa)
MTDH	1	62	48	55	11.5	24773.27	1540	16.09
	2	59	48	58	11.3	29906.53	1276	23.44
	3	60	49	54	11.6	27411.15	1188	23.07
	4	61	47	52	11.3	33026.57	1456	22.68
	5	61	49	53	11.4	29935.40	1272	23.53
	6	58	48	63	10.3	22009.35	1260	17.47
	7	59	44	62	10.8	31262.41	1860	16.81
	8	57	44	62	10.5	39146.45	1612	24.28
	9	63	52	61	11.0	31883.26	1342	23.76
	10	63	51	65	11.1	36351.34	1560	23.30
	11	62	53	66	10.5	35777.39	1188	30.12
	12	61	49	55	11.4	26802.71	1320	20.31
MTDT	1	52	42	43	9.5	14822.16	860	17.24
	2	53	47	47	9.9	17781.83	564	31.53
	3	51	45	49	10.3	18683.28	588	31.77
	4	55	47	47	10.6	17214.46	752	22.89
	5	54	47	49	10.2	19557.55	686	28.51
	6	55	47	47	10.6	17080.09	752	22.71
	7	59	49	66	11.1	21976.14	1320	16.65
	8	54	45	49	10.8	16055.21	882	18.20
	9	53	43	52	10.2	19719.88	1040	18.96
	10	53	44	51	10.3	11454.99	918	12.48
	11	52	39	52	10.3	13570.99	1352	10.04
MJDH	1	54	37	46	11.6	37573.86	1564	24.02
	2	49	32	48	11.2	38782.78	1632	23.76
	3	52	36	46	11.1	36292.88	1472	24.66
	4	49	34	56	11.1	40275.88	1680	23.97
	5	53	37	55	10.7	42706.25	1760	24.26
	6	51	35	54	11.7	38024.06	1728	22.00
	7	57	36	53	11.8	43555.16	2226	19.57
	8	59	39	53	10.2	49615.68	2120	23.40
	9	57	33	53	11.3	51396.74	2544	20.20
	10	56	35	50	11.2	46470.98	2100	22.13
	11	51	30	49	11.2	41779.02	2058	20.30
	12	56	33	53	11.8	46842.06	2438	19.21
MJDT	1	48	41	26	10.8	9937.38	364	27.30
	2	42	34	23	11.6	10049.91	368	27.31
	3	45	36	23	11.2	10578.94	414	25.55
	4	40	30	25	11.8	10972.60	500	21.95
	5	42	34	28	11.2	11042.22	448	24.65
	6	44	35	25	11.2	11070.40	450	24.60
	7	39	32	27	12.4	12478.93	378	33.01
	8	48	40	28	11.0	16241.52	448	36.25
	9	42	34	28	10.7	14611.85	448	32.62
	10	40	33	30	11.0	12153.85	420	28.94
	11	44	37	28	12.0	14913.72	392	38.05
	12	41	32	21	11.8	12647.86	378	33.46
MWDH	1	57	44	55	9.2	38292.35	1430	26.78
	2	57	42	56	11.7	32198.19	1680	19.17
	3	58	43	58	11.1	34058.28	1740	19.57
	4	56	41	58	9.7	40374.57	1740	23.20
	5	56	39	58	9.6	39783.18	1972	20.17
	6	58	38	59	11.3	44730.00	2360	18.95
	7	60	44	56	10.0	33788.02	1792	18.85
	8	56	37	59	8.6	44864.71	2242	20.01

1123425

	9	56	40	59	11.2	36192.42	1888	19.17
	10	63	42	61	7.4	66249.68	2562	25.86
	11	55	38	53	11.2	49237.92	1802	27.32
MWDT	1	49	41	37	9.1	13850.27	592	23.40
	2	44	37	36	9.0	10725.62	504	21.28
	3	40	34	32	9.7	7687.61	384	20.02
	4	39	34	32	9.5	9951.45	320	31.10
	5	43	35	36	9.3	11309.11	576	19.63
	6	44	37	37	8.5	12220.17	518	23.59
	7	42	31	33	9.3	9686.67	726	13.34
	8	45	36	35	8.8	9613.86	630	15.26
	9	44	39	35	9.2	11204.67	350	32.01
	10	48	40	39	8.6	9727.22	624	15.59
	11	41	34	35	9.9	8544.83	490	17.44
	12	42	32	32	8.5	6819.47	640	10.66

表 6. 22 平行纖維抗剪試驗(孟宗竹-乾燥竹-服務等級 1)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 d (mm)	長度 L (mm)	測定儀含水率(%)	極限強度 (N)	剪切面面積 (mm^2)	抗剪強度 f_s (MPa)
ENDH	1	83.0	69.0	108.5	10.0	51549.12	3038.0	16.97
	2	83.5	69.0	116.0	10.0	54631.63	3364.0	16.24
	3	79.5	65.5	113.5	10.5	45232.67	3178.0	14.23
	4	90.5	75.0	100.5	8.0	64414.87	3115.5	20.68
	5	92.0	75.0	103.0	8.0	44333.23	3502.0	12.66
	6	90.0	74.0	101.0	7.5	55388.30	3232.0	17.14
	7	84.0	70.0	106.0	9.5	57563.27	2968.0	19.39
	8	82.0	68.0	120.0	10.0	50619.14	3360.0	15.07
	9	87.0	73.0	110.0	9.5	63386.68	3080.0	20.58
	10	85.0	70.5	109.5	10.0	65125.48	3175.5	20.51
	11	90.5	75.5	106.0	10.5	70958.78	3180.0	22.31
	12	87.0	72.5	106.5	10.0	55678.93	3088.5	18.03
	13	91.0	74.0	104.0	10.5	49576.57	3536.0	14.02
	14	86.0	70.5	103.0	9.5	63427.81	3193.0	19.86
	15	88.0	71.0	103.0	10.5	65522.71	3502.0	18.71
	16	80.0	65.5	105.0	9.5	47653.04	3045.0	15.65
	17	81.5	68.0	100.5	9.0	61233.69	2713.5	22.57
ENDT	1	56.0	47.0	77.0	6.0	38453.64	1386.0	27.74
	2	55.0	46.0	72.0	7.5	33628.16	1296.0	25.95
	3	57.0	46.0	72.0	7.0	37773.86	1584.0	23.85
	4	56.0	44.0	72.0	6.5	34898.58	1728.0	20.20
	5	66.0	52.0	71.0	8.0	34170.33	1988.0	17.19
	6	60.0	50.0	62.0	7.0	30289.27	1240.0	24.43
	7	57.0	49.0	56.0	7.0	28151.53	896.0	31.42
	8	53.0	45.0	51.0	6.0	22507.30	816.0	27.58
	9	64.0	51.0	82.0	7.0	30428.66	2132.0	14.27
	10	60.0	48.0	78.0	8.0	39936.18	1872.0	21.33
	11	58.0	48.0	75.0	6.0	42909.25	1500.0	28.61
	12	58.0	49.0	72.0	5.5	37554.93	1296.0	28.98
	13	62.0	51.0	71.0	6.5	44582.96	1562.0	28.54
	14	58.0	48.0	71.0	6.0	38771.26	1420.0	27.30
	15	63.0	51.0	69.0	7.5	36757.25	1656.0	22.20
	16	52.0	40.0	61.0	5.5	38755.63	1464.0	26.47
	17	55.0	47.0	57.0	5.5	38636.32	912.0	42.36
EYDH	1	115.5	94.0	104.0	8.0	79135.31	4472.0	17.70
	2	124.0	101.0	113.5	6.5	97194.38	5221.0	18.62
	3	115.0	95.0	112.5	7.0	63288.79	4500.0	14.06
	4	116.0	93.0	104.0	7.0	72270.45	4784.0	15.11
	5	119.0	96.5	105.5	6.5	79523.13	4747.5	16.75

	6	112.0	93.5	104.5	6.5	82461.19	3866.5	21.33
	7	109.5	91.0	101.0	7.5	75952.16	3737.0	20.32
	8	120.0	97.0	110.0	7.0	73329.66	5060.0	14.49
	9	120.5	102.0	116.5	9.5	67987.93	4310.5	15.77
	10	122.0	100.0	113.5	8.0	67105.70	4994.0	13.44
	11	122.0	101.0	115.0	9.5	67856.38	4830.0	14.05
	12	115.0	94.5	111.5	8.0	63002.52	4571.5	13.78
	13	121.0	98.0	110.0	9.5	69808.87	5060.0	13.80
	14	116.0	96.0	110.0	8.0	61352.17	4400.0	13.94
	15	120.5	105.0	110.0	9.5	62936.71	3410.0	18.46
	16	109.0	92.5	110.0	8.0	62378.12	3630.0	17.18
	17	103.0	85.0	107.5	7.5	46144.20	3870.0	11.92
EYDT	1	93.5	80.0	75.0	4.5	52860.33	2025.0	26.10
	2	95.0	80.0	73.0	6.5	54215.81	2190.0	24.76
	3	94.0	80.5	73.0	9.0	40920.63	1971.0	20.76
	4	88.0	76.5	70.0	8.0	31407.53	1610.0	19.51
	5	85.0	74.0	69.0	5.5	43138.54	1518.0	28.42
	6	84.0	72.0	67.5	6.0	37762.34	1620.0	23.31
	7	87.0	76.0	66.5	8.5	36282.17	1463.0	24.80
	8	91.0	79.5	65.5	8.5	32216.32	1506.5	21.38
	9	87.0	77.0	64.0	8.0	30151.52	1280.0	23.56
	10	96.0	80.0	100.0	5.0	70822.34	3200.0	22.13
	11	91.0	77.5	95.5	5.5	37553.28	2578.5	14.56
	12	95.0	81.0	94.5	8.0	62880.77	2646.0	23.76
	13	88.0	74.0	93.5	5.0	46518.60	2618.0	17.77
	14	91.0	77.5	89.0	6.0	46094.93	2403.0	19.18
	15	93.0	77.5	90.0	4.5	48439.22	2790.0	17.36
	16	85.5	72.0	77.0	4.0	42890.35	2079.0	20.63
	17	86.0	72.0	72.5	6.0	39072.38	2030.0	19.25

表 6. 23 平行纖維抗剪試驗(桂竹-生竹-服務等級 1)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 d (mm)	長度 L (mm)	測定儀含水率(%)	極限強度 (N)	剪切面面積 (mm^2)	抗剪強度 f_s (MPa)
MTGH	1	66.0	52.5	69.0	8.5	36979.53	1863.0	19.85
	2	65.0	53.0	68.0	10.5	36509.43	1632.0	22.37
	3	65.0	50.5	68.0	9.5	33614.15	1972.0	17.05
	4	65.0	50.0	65.0	11.5	37097.25	1950.0	19.02
	5	65.5	53.0	64.0	11.0	28115.22	1600.0	17.57
	6	66.0	54.5	65.0	10.5	29564.18	1495.0	19.78
	7	64.0	53.0	64.0	10.5	22869.59	1408.0	16.24
	8	65.0	54.0	64.5	11.0	31764.54	1419.0	22.39
	9	66.0	53.5	62.5	10.5	36117.49	1562.5	23.12
	10	66.0	54.0	62.5	10.0	35318.66	1500.0	23.55
	11	66.0	54.5	63.0	10.5	34696.76	1449.0	23.95
MTGT	1	61.0	52.5	61.0	11.0	27025.63	1037.0	26.06
	2	61.0	53.0	59.5	10.5	22004.37	952.0	23.11
	3	55.5	46.0	58.0	11.5	22102.24	1102.0	20.06
	4	54.0	45.5	56.5	10.5	22302.70	960.5	23.22
	5	53.5	44.5	56.5	10.5	23804.89	1017.0	23.41
	6	66.0	55.0	65.0	10.5	28744.88	1430.0	20.10
	7	63.5	55.5	63.5	8.5	26556.67	1016.0	26.14
	8	61.0	48.0	61.0	11.5	27983.16	1586.0	17.64
	9	57.5	48.0	61.0	11.0	24192.22	1159.0	20.87
	10	62.0	53.0	58.0	11.5	27175.05	1044.0	26.03
	11	53.0	43.5	56.0	11.5	21627.54	1064.0	20.33
MJGH	1	70.0	59.5	71.0	6.0	32554.29	1491.0	21.83
	2	61.0	47.0	56.0	3.0	29449.51	1568.0	18.78
	3	70.0	59.0	66.0	2.5	31216.23	1452.0	21.50

1123425

	4	61.0	48.0	58.0	4.0	35904.21	1508.0	23.81
	5	61.0	48.5	57.0	4.0	35309.60	1425.0	24.78
	6	60.0	48.5	62.0	10.5	32942.50	1426.0	23.10
	7	71.5	57.0	74.5	5.5	49540.79	2160.5	22.93
	8	64.0	53.0	73.5	12.0	25275.79	1617.0	15.63
	9	64.0	55.0	72.5	11.0	23672.47	1305.0	18.14
	10	62.5	52.5	63.5	10.5	27300.53	1270.0	21.50
	11	61.5	49.0	62.0	12.0	29331.53	1550.0	18.92
MJGT	1	67.0	56.5	69.0	11.5	32059.69	1449.0	22.13
	2	60.0	50.0	66.0	12.0	23069.90	1320.0	17.48
	3	67.0	56.5	62.5	11.5	25404.64	1312.5	19.36
	4	59.0	50.5	61.5	10.5	22390.50	1045.5	21.42
	5	54.0	45.5	60.5	8.5	20838.23	1028.5	20.26
	6	51.0	43.0	52.5	12.0	18253.31	840.0	21.73
	7	68.5	57.5	68.0	10.5	32783.43	1496.0	21.91
	8	66.5	56.0	66.5	12.0	27738.85	1396.5	19.86
	9	68.5	58.5	64.0	11.0	26029.01	1280.0	20.34
	10	61.0	51.0	60.5	12.0	24586.39	1210.0	20.32
	11	52.0	43.5	52.5	9.5	17991.37	892.5	20.16
MWGH	1	65.0	54.0	61.0	11.0	28204.35	1342.0	21.02
	2	65.0	53.5	61.0	10.5	27383.91	1403.0	19.52
	3	61.0	46.5	59.5	12.0	34840.10	1725.5	20.19
	4	61.5	45.0	58.0	12.0	37059.38	1914.0	19.36
	5	65.5	53.0	60.5	11.5	28666.49	1512.5	18.95
	6	74.0	58.0	76.5	11.5	44334.05	2448.0	18.11
	7	60.0	47.5	63.0	11.5	30332.16	1575.0	19.26
	8	73.5	58.0	77.5	11.5	47355.10	2402.5	19.71
	9	60.5	46.0	59.5	11.5	31786.81	1725.5	18.42
	10	60.5	44.0	61.5	12.0	37080.79	2029.5	18.27
	11	64.5	50.0	63.0	11.0	31385.27	1827.0	17.18
MWGT	1	62.0	55.0	68.5	11.0	23588.87	959.0	24.60
	2	64.5	56.0	68.0	11.5	23910.00	1156.0	20.68
	3	63.0	54.5	65.5	11.0	23513.55	1113.5	21.12
	4	58.0	50.0	65.0	10.0	21982.79	1040.0	21.14
	5	59.5	51.5	64.0	11.0	22514.75	1024.0	21.99
	6	55.5	48.0	61.5	11.5	21096.35	922.5	22.87
	7	66.0	56.0	63.0	10.5	26061.22	1260.0	20.68
	8	62.0	53.0	63.5	11.0	25833.29	1143.0	22.60
	9	58.0	49.5	61.0	11.0	23426.65	1037.0	22.59
	10	60.0	51.0	61.0	11.0	20972.68	1098.0	19.10
	11	50.0	41.0	50.0	10.0	18265.79	900.0	20.30

表 6. 24 平行纖維抗剪試驗(孟宗竹-生竹-服務等級 1)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 d (mm)	長度 L (mm)	測定儀含水率(%)	極限強度 (N)	剪切面面積 (mm^2)	抗剪強度 f_s (MPa)
ENGH	1	85.0	65.5	109.0	9.5	65494.75	4251.0	15.41
	2	83.5	63.0	105.5	8.0	67112.27	4325.5	15.52
	3	81.0	62.0	104.5	8.5	60683.22	3971.0	15.28
	4	85.0	68.5	100.5	11.0	45011.73	3316.5	13.57
	5	85.5	68.5	97.0	12.0	39727.25	3298.0	12.05
	6	81.5	64.0	92.5	7.5	59556.68	3237.5	18.40
	7	81.0	61.0	89.5	7.0	58866.20	3580.0	16.44
	8	80.0	62.0	85.0	6.5	54609.40	3060.0	17.85
	9	95.0	73.5	126.0	11.5	56498.91	5418.0	10.43
	10	88.0	66.0	120.0	7.5	73708.10	5280.0	13.96
	11	85.5	65.0	119.0	9.5	70362.06	4879.0	14.42
	12	87.0	66.0	118.5	10.0	65585.21	4977.0	13.18

	13	86.0	64.0	114.5	10.5	71618.75	5038.0	14.22
	14	90.0	72.0	107.0	12.0	47220.48	3852.0	12.26
	15	85.5	67.5	97.0	12.0	44041.57	3492.0	12.61
	16	85.0	67.0	93.0	11.5	41772.45	3348.0	12.48
ENGT	1	58.0	48.0	74.0	10.5	27102.40	1480.0	18.31
	2	65.5	53.5	68.0	12.0	28480.82	1632.0	17.45
	3	62.0	51.0	67.5	11.5	28872.78	1485.0	19.44
	4	63.5	52.0	67.0	12.0	27933.64	1541.0	18.13
	5	64.0	52.0	67.0	11.5	29490.76	1608.0	18.34
	6	66.0	54.0	67.0	12.0	28829.87	1608.0	17.93
	7	57.0	46.5	65.0	11.5	24152.49	1365.0	17.69
	8	56.5	46.5	62.5	11.0	25085.57	1250.0	20.07
	9	60.0	48.5	64.5	11.5	26448.50	1483.5	17.83
	10	71.0	56.0	71.5	10.0	49626.50	2145.0	23.14
	11	60.0	51.0	70.5	12.0	23026.03	1269.0	18.15
	12	67.5	56.0	67.5	12.0	24375.94	1552.5	15.70
	13	65.0	53.0	66.5	12.0	23536.73	1596.0	14.75
	14	57.5	45.0	64.0	9.5	36579.41	1600.0	22.86
	15	61.0	49.5	64.5	9.5	35004.84	1483.5	23.60
	16	54.5	43.5	63.5	9.5	30286.79	1397.0	21.68
	17	58.0	46.5	61.5	9.5	32491.65	1414.5	22.97
EYGH	1	88.0	68.0	110.0	14.5	29656.58	4400.0	6.74
	2	85.5	67.0	110.0	16.5	39482.93	4070.0	9.70
	3	85.0	66.0	109.0	14.5	36640.34	4142.0	8.85
	4	84.0	67.5	100.0	15.5	38241.33	3300.0	11.59
	5	86.0	67.5	97.5	13.0	31105.73	3607.5	8.62
	6	80.0	64.5	98.5	16.0	31462.78	3053.5	10.30
	7	85.0	66.0	95.5	12.5	30889.68	3629.0	8.51
	8	84.0	65.5	96.0	12.5	32481.75	3552.0	9.14
	9	94.0	73.0	120.0	16.0	49068.19	5040.0	9.74
	10	86.0	67.0	111.0	12.0	34438.09	4218.0	8.16
	11	90.0	71.0	105.0	12.0	45510.26	3990.0	11.41
	12	86.0	66.0	102.5	9.0	45427.31	4100.0	11.08
	13	89.5	71.0	100.5	12.0	47470.01	3718.5	12.77
	14	84.0	66.0	97.0	16.0	34901.06	3492.0	9.99
	15	82.0	65.0	97.0	14.0	37759.05	3298.0	11.45
	16	83.0	65.0	96.5	17.0	33934.69	3474.0	9.77
	17	85.0	66.0	94.5	16.5	33579.54	3591.0	9.35
EYGT	1	67.0	54.5	62.0	11.0	31859.36	1550.0	20.55
	2	64.0	52.0	61.0	12.0	28385.09	1464.0	19.39
	3	66.0	53.0	60.0	12.0	29376.91	1560.0	18.83
	4	56.5	44.5	56.5	12.0	27954.28	1356.0	20.62
	5	61.5	50.0	58.0	10.5	28933.02	1334.0	21.69
	6	62.0	50.5	58.5	11.5	25562.40	1345.5	19.00
	7	57.5	47.0	58.5	12.0	27130.47	1228.5	22.08
	8	57.5	46.5	56.0	11.5	25506.23	1232.0	20.70
	9	64.5	50.5	67.0	10.5	38442.12	1876.0	20.49
	10	60.0	47.0	65.5	10.0	34859.04	1703.0	20.47
	11	62.5	49.0	65.5	10.5	35177.82	1768.5	19.89
	12	60.5	48.0	64.0	12.0	31510.60	1600.0	19.69
	13	62.5	50.5	63.5	11.5	30194.41	1524.0	19.81
	14	53.5	42.5	64.0	10.5	30782.47	1408.0	21.86
	15	58.5	47.0	62.5	12.0	29933.76	1437.5	20.82
	16	58.5	45.5	63.0	10.0	33760.00	1638.0	20.61

1123425

表 6. 25 平行纖維抗剪試驗(桂竹-乾燥竹-服務等級 3)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 d (mm)	長度 L (mm)	測定儀含水率(%)	極限強度 (N)	剪切面面積 (mm^2)	抗剪強度 f_s (MPa)
MTDH	1	63.0	54.0	65.0	29.0	19180.70	1170.0	16.39
	2	62.5	52.5	62.0	21.0	22356.54	1240.0	18.03
	3	63.0	52.0	59.0	27.0	18720.71	1298.0	14.42
	4	62.0	52.0	58.5	23.5	18569.34	1170.0	15.87
	5	62.0	52.0	57.0	32.5	20201.52	1140.0	17.72
	6	62.5	50.5	51.5	32.5	17471.97	1236.0	14.14
	7	64.5	53.0	68.0	34.5	23860.34	1564.0	15.26
	8	60.5	50.5	64.5	24.5	20946.96	1290.0	16.24
	9	64.5	54.5	63.0	31.5	16652.44	1260.0	13.22
	10	61.0	49.5	63.0	27.5	22706.92	1449.0	15.67
	11	60.0	50.0	62.5	22.0	19012.66	1250.0	15.21
MTDT	1	57.0	50.0	49.5	19.0	10704.08	693.0	15.45
	2	56.0	49.0	47.5	17.5	11222.08	665.0	16.88
	3	57.5	50.0	46.0	22.5	10768.72	690.0	15.61
	4	56.0	48.0	44.0	17.5	10567.33	704.0	15.01
	5	60.0	51.0	64.0	23.0	11003.27	1152.0	9.55
	6	58.0	50.0	61.0	24.0	11753.42	976.0	12.04
	7	53.0	45.5	56.0	20.0	11651.46	840.0	13.87
	8	55.0	47.5	55.0	18.0	9493.06	825.0	11.51
	9	50.5	43.0	47.5	24.5	6062.05	712.5	8.51
	10	54.0	45.5	47.0	21.0	10344.42	799.0	12.95
MJDH	1	53.0	39.0	52.5	28.5	21947.93	1470.0	14.93
	2	55.0	39.0	53.0	29.0	27465.63	1696.0	16.19
	3	54.5	39.0	52.0	26.0	26581.44	1612.0	16.49
	4	53.0	34.5	51.0	34.0	29958.50	1887.0	15.88
	5	53.0	39.0	50.5	31.0	22843.10	1414.0	16.15
	6	52.0	31.5	47.5	40.0	29241.60	1947.5	15.01
	7	59.0	36.5	55.0	33.0	34563.00	2475.0	13.96
	8	52.5	33.0	52.0	29.0	41416.45	2028.0	20.42
	9	55.0	36.0	51.5	34.5	30223.28	1957.0	15.44
	10	55.0	39.0	51.5	27.0	30260.40	1648.0	18.36
	11	56.0	32.0	51.0	29.0	38347.48	2448.0	15.66
	12	48.5	31.0	46.0	31.0	24944.37	1610.0	15.49
MJDT	1	46.5	38.5	31.0	17.0	8891.52	496.0	17.93
	2	40.0	34.0	27.0	17.0	6709.23	324.0	20.71
	3	37.5	32.0	27.5	16.0	6954.58	302.5	22.99
	4	46.0	37.0	27.5	16.0	7897.78	495.0	15.96
	5	46.5	39.0	25.5	16.0	8337.14	382.5	21.80
	6	44.0	36.5	26.0	16.0	8016.10	390.0	20.55
	7	41.0	31.5	29.0	16.5	6250.13	551.0	11.34
	8	43.0	34.0	27.5	16.0	8547.31	495.0	17.27
	9	46.0	35.5	27.5	15.0	9553.46	577.5	16.54
	10	47.5	39.0	25.5	20.0	8961.85	433.5	20.67
	11	43.5	35.5	25.5	16.5	9744.59	408.0	23.88
	12	44.5	36.0	25.5	16.5	8054.00	433.5	18.58
MWDH	1	58.5	41.0	60.0	27.0	30537.53	2100.0	14.54
	2	57.0	39.5	60.0	24.0	26117.37	2100.0	12.44
	3	56.5	43.5	57.5	28.0	26104.98	1495.0	17.46
	4	58.5	46.0	57.0	26.5	23145.23	1425.0	16.24
	5	57.0	38.0	57.5	33.0	30026.97	2185.0	13.74
	6	62.0	46.5	56.5	24.5	29965.93	1751.5	17.11
	7	58.0	44.0	57.5	31.5	24598.02	1610.0	15.28
	8	57.0	43.0	56.0	30.0	26167.74	1568.0	16.69
	9	56.5	42.5	55.5	25.0	27565.51	1554.0	17.74
	10	62.0	45.5	54.0	21.5	32572.43	1782.0	18.28

1123425

	11	60.0	40.0	53.0	26.0	28885.16	2120.0	13.63
MWDT	1	44.5	39.0	35.5	27.0	5760.49	390.5	14.75
	2	47.5	41.0	34.5	25.5	6859.25	448.5	15.29
	3	45.0	38.5	34.5	18.0	7327.63	448.5	16.34
	4	44.0	38.0	34.5	20.0	6469.72	414.0	15.63
	5	39.5	34.0	32.5	19.0	6894.06	357.5	19.28
	6	46.0	40.0	32.5	24.0	5199.77	390.0	13.33
	7	43.5	34.0	36.0	27.0	8693.76	684.0	12.71
	8	48.0	40.5	35.0	21.0	7774.49	525.0	14.81
	9	42.5	36.0	35.0	35.0	6496.24	455.0	14.28
	10	42.0	33.5	34.5	18.5	8499.32	586.5	14.49
	11	40.0	32.5	35.0	17.5	6536.02	525.0	12.45
	12	37.5	32.0	35.0	19.5	6506.18	385.0	16.90

表 6. 26 平行纖維抗剪試驗(孟宗竹-乾燥竹-服務等級 3)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 d (mm)	長度 L (mm)	測定儀含水率(%)	極限強度 (N)	剪切面面積 (mm^2)	抗剪強度 f_s (MPa)
ENDH	1	88.0	73.0	122.5	31.0	36552.24	3675.0	9.95
	2	84.0	69.0	116.0	33.0	30274.42	3480.0	8.70
	3	85.0	70.0	115.0	33.5	35634.92	3450.0	10.33
	4	87.0	70.0	110.0	34.5	35373.84	3740.0	9.46
	5	85.0	70.0	109.5	34.0	32482.58	3285.0	9.89
	6	86.0	70.5	106.5	30.0	30219.16	3301.5	9.15
	7	87.5	70.0	107.5	32.5	32668.87	3762.5	8.68
	8	92.0	74.0	106.0	30.5	31470.20	3816.0	8.25
	9	95.0	77.5	110.5	24.5	39981.00	3867.5	10.34
	10	88.0	71.5	108.0	32.0	34239.00	3564.0	9.61
	11	92.0	74.0	107.5	24.0	37567.27	3870.0	9.71
	12	86.0	71.5	106.5	26.5	35589.00	3088.5	11.52
	13	94.0	77.5	107.0	30.0	40012.68	3531.0	11.33
	14	87.0	74.0	105.0	24.5	37452.04	2730.0	13.72
	15	96.0	78.0	104.0	28.0	43023.48	3744.0	11.49
ENDT	1	62.0	52.5	70.0	23.0	17089.24	1330.0	12.85
	2	58.5	49.5	70.5	24.0	15429.88	1269.0	12.16
	3	60.5	51.0	66.5	21.0	14404.79	1263.5	11.40
	4	60.5	50.5	62.0	24.5	15212.88	1240.0	12.27
	5	61.0	51.5	61.5	24.5	15165.50	1168.5	12.98
	6	63.5	53.5	60.0	20.5	18284.91	1200.0	15.24
	7	58.5	49.0	58.5	19.0	14014.86	1111.5	12.61
	8	62.0	51.5	53.0	21.0	12796.56	1113.0	11.50
	9	69.0	58.0	71.0	23.0	17617.21	1562.0	11.28
	10	61.5	50.0	67.0	23.5	18864.60	1541.0	12.24
	11	56.5	45.5	66.5	22.0	17327.54	1463.0	11.84
	12	61.0	50.0	63.5	24.5	20035.47	1397.0	14.34
	13	57.5	48.0	62.5	20.5	19230.61	1187.5	16.19
	14	59.0	48.0	60.5	22.5	18561.02	1331.0	13.95
	15	54.0	43.5	55.0	22.0	16329.68	1155.0	14.14
EYDH	1	108.5	90.5	115.0	20.0	63372.70	4140.0	15.31
	2	114.0	94.5	112.0	25.0	62482.60	4368.0	14.30
	3	112.0	94.0	113.0	19.5	64976.62	4068.0	15.97
	4	111.0	94.0	108.5	18.0	63920.53	3689.0	17.33
	5	111.0	91.0	108.0	19.5	60169.75	4320.0	13.93
	6	115.0	95.0	104.0	21.5	59385.50	4160.0	14.28
	7	114.0	95.0	105.5	30.0	56176.20	4009.0	14.01
	8	118.0	95.5	105.0	23.5	52769.73	4725.0	11.17
EYDH	9	113.0	92.5	126.5	20.0	64754.56	5186.5	12.49
	10	124.5	105.5	117.5	38.0	39099.56	4465.0	8.76

	11	115.5	95.0	109.5	33.5	36000.56	4489.5	8.02
	12	105.5	88.0	107.5	24.5	40284.10	3762.5	10.71
	13	117.0	99.0	112.5	37.0	44481.92	4050.0	10.98
	14	114.0	95.5	106.0	23.0	37340.91	3922.0	9.52
	15	114.0	93.5	106.5	31.0	44898.38	4366.5	10.28
	16	114.0	92.0	108.5	20.0	42084.02	4774.0	8.82
	17	108.0	90.0	106.5	23.0	36122.43	3834.0	9.42
EYDT	1	86.5	72.5	76.0	24.5	35359.84	2128.0	16.62
	2	91.5	78.5	71.0	23.5	29397.53	1846.0	15.92
	3	90.0	77.0	68.5	21.5	29299.35	1781.0	16.45
	4	93.0	80.0	68.0	21.5	29431.36	1768.0	16.65
	5	95.0	80.0	66.5	16.5	37010.81	1995.0	18.55
	6	95.5	82.0	66.5	22.5	28419.75	1795.5	15.83
	7	92.0	79.0	63.5	22.5	27670.34	1651.0	16.76
	8	90.5	77.5	65.0	23.5	28639.26	1690.0	16.95
	9	88.0	74.5	64.0	23.5	27214.68	1728.0	15.75
	10	100.0	84.0	102.5	19.0	42898.57	3280.0	13.08
	11	95.5	80.5	94.5	16.0	39925.49	2835.0	14.08
	12	101.0	85.5	95.5	15.5	46992.29	2960.5	15.87
	13	93.0	78.0	95.0	16.0	41646.66	2850.0	14.61
	14	86.0	72.0	99.5	14.0	49224.61	2786.0	17.67
	15	90.0	75.5	91.5	19.0	42504.88	2653.5	16.02
	16	87.0	73.0	87.0	16.5	32456.20	2436.0	13.32
	17	91.5	77.5	79.0	20.0	33661.13	2212.0	15.22

表 6. 27 平行纖維抗剪試驗(桂竹-生竹-服務等級 3)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 d (mm)	長度 L (mm)	測定儀含水率(%)	極限強度 (N)	剪切面面積 (mm^2)	抗剪強度 f_s (MPa)
MTGH	1	66.0	53.0	67.0	23.5	24858.81	1742.0	14.27
	2	64.0	50.0	67.0	21.5	23844.61	1876.0	12.71
	3	64.0	51.5	61.5	23.0	16586.72	1537.5	10.79
	4	64.0	52.0	65.0	23.5	25540.09	1560.0	16.37
	5	66.0	52.0	67.0	24.0	29104.03	1876.0	15.51
	6	63.0	52.5	59.5	23.0	26746.56	1249.5	21.41
	7	68.0	55.0	67.0	23.0	25708.58	1742.0	14.76
	8	68.0	55.5	66.0	23.5	27822.21	1650.0	16.86
	9	67.0	56.0	64.0	21.0	25957.99	1408.0	18.44
	10	59.0	49.0	64.0	20.0	23642.67	1280.0	18.47
	11	65.0	51.0	63.0	24.0	26231.32	1764.0	14.87
	12	66.0	49.0	72.0	21.0	37535.17	2448.0	15.33
MTGT	1	65.0	55.0	62.0	20.0	20690.50	1240.0	16.69
	2	66.0	55.0	70.0	20.0	23104.67	1540.0	15.00
	3	61.0	51.0	64.0	23.0	20574.31	1280.0	16.07
	4	61.0	52.0	65.0	20.0	19785.98	1170.0	16.91
	5	58.0	46.0	65.0	20.5	19738.06	1560.0	12.65
	6	60.0	46.0	63.0	21.5	20476.38	1764.0	11.61
	7	62.0	52.0	65.0	20.0	20824.95	1300.0	16.02
	8	56.0	46.0	58.0	20.5	19505.98	1160.0	16.82
	9	58.0	47.0	61.0	23.0	22766.95	1342.0	16.96
	10	55.0	44.0	57.0	23.0	17612.26	1254.0	14.04
	11	60.0	50.0	57.0	20.0	19660.40	1140.0	17.25
	12	50.0	40.0	50.0	20.0	11321.55	1000.0	11.32
MJGH	1	61.0	46.0	58.0	20.5	26793.63	1740.0	15.40
	2	69.0	57.0	66.0	20.0	25949.73	1584.0	16.38
	3	73.0	55.0	67.0	20.0	26772.99	2412.0	11.10
	4	70.0	57.0	67.0	20.0	28339.70	1742.0	16.27
	5	60.0	45.0	56.0	20.0	27579.54	1680.0	16.42
	6	60.0	43.0	61.0	20.0	27015.72	2074.0	13.03

	7	66.0	53.0	69.0	24.5	23125.36	1794.0	12.89
	8	62.0	45.0	61.0	24.0	24300.63	2074.0	11.72
	9	73.0	56.0	75.0	22.0	44957.52	2550.0	17.63
	10	65.0	47.0	71.0	24.0	19923.95	2556.0	7.79
	11	59.0	45.0	62.0	26.0	23083.98	1736.0	13.30
MJGT	1	54.0	41.0	57.0	20.0	17742.76	1482.0	11.97
	2	55.0	44.0	57.0	20.0	18055.40	1254.0	14.40
	3	65.0	55.0	66.0	20.5	26099.21	1320.0	19.77
	4	65.0	55.0	65.0	20.0	22130.40	1300.0	17.02
	5	62.0	50.0	61.0	21.5	22581.85	1464.0	15.42
	6	61.0	50.0	61.0	20.5	19539.25	1342.0	14.56
	7	60.0	48.0	61.0	20.0	21771.96	1464.0	14.87
	8	58.0	45.0	59.0	20.0	20140.39	1534.0	13.13
	9	56.0	46.0	60.0	20.0	16960.28	1200.0	14.13
	10	71.0	59.0	73.0	20.5	26776.29	1752.0	15.28
	11	54.0	45.0	57.0	20.0	14320.81	1026.0	13.96
	12	57.0	47.0	60.0	20.5	17682.90	1200.0	14.74
MWGH	1	65.0	54.0	62.0	22.5	24592.20	1364.0	18.03
	2	66.0	54.0	65.0	23.5	25102.18	1560.0	16.09
	3	67.0	55.0	66.0	23.5	25767.21	1584.0	16.27
	4	60.0	49.0	58.0	24.0	28823.27	1276.0	22.59
	5	66.0	54.0	63.0	23.5	24752.50	1512.0	16.37
	6	61.0	43.0	59.0	26.5	32935.08	2124.0	15.51
	7	59.0	43.0	60.0	25.0	29114.53	1920.0	15.16
	8	59.0	47.0	63.0	24.5	24123.52	1512.0	15.95
	9	60.0	47.0	63.0	23.0	28858.75	1638.0	17.62
	10	60.0	48.0	62.0	24.0	24200.49	1488.0	16.26
	11	63.0	49.0	66.0	24.0	29669.77	1848.0	16.06
	12	73.0	55.5	72.0	27.5	42361.03	2520.0	16.81
MWGT	1	51.0	43.0	53.0	20.5	16768.08	848.0	19.77
	2	55.0	46.0	61.0	20.0	18519.44	1098.0	16.87
	3	50.0	40.0	56.0	21.0	17067.61	1120.0	15.24
	4	49.0	40.0	54.0	20.0	14718.23	972.0	15.14
	5	50.0	41.0	52.0	20.0	15752.50	936.0	16.83
	6	53.0	43.0	55.0	21.5	15954.58	1100.0	14.50
	7	48.0	38.0	50.0	20.0	15582.87	1000.0	15.58
	8	52.0	42.0	54.0	20.5	18325.66	1080.0	16.97
	9	52.0	41.0	52.0	20.5	16657.44	1144.0	14.56
	10	56.0	45.0	59.0	21.5	21130.38	1298.0	16.28
	11	56.0	45.0	56.0	20.5	17532.21	1232.0	14.23
	12	52.0	42.0	52.0	23.0	18028.79	1040.0	17.34

表 6. 28 平行纖維抗剪試驗(孟宗竹-生竹-服務等級 3)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 d (mm)	長度 L (mm)	測定儀含水率(%)	極限強度 (N)	剪切面面積 (mm^2)	抗剪強度 f_s (MPa)
ENGH	1	94.0	74.0	112.0	20.0	41708.32	4480	9.31
	2	88.5	71.5	108.0	22.5	39742.06	3672	10.82
	3	86.5	71.0	101.0	23.0	38589.41	3131	12.32
	4	93.5	74.5	109.0	23.0	32053.92	4142	7.74
	5	95.0	75.0	114.0	20.5	44542.71	4560	9.77
	6	88.0	71.0	92.0	22.5	38062.74	3128	12.17
	7	84.0	68.0	95.0	24.0	36062.32	3040	11.86
	8	91.0	74.0	109.0	21.5	43887.11	3706	11.84
	9	90.5	72.5	107.0	20.5	38615.75	3852	10.02
ENGH	10	82.0	62.0	108.0	23.0	58509.82	4320	13.54
	11	94.0	65.0	109.0	20.5	51841.52	6322	8.20
	12	87.0	71.0	99.0	23.0	37714.60	3168	11.90
	13	92.0	72.0	98.0	23.0	36655.98	3920	9.35

	14	81.0	63.0	96.0	20.0	49594.88	3456	14.35
	15	85.0	65.0	98.0	19.5	50282.28	3920	12.83
	16	86.0	66.0	87.0	20.5	47237.72	3480	13.57
	17	85.5	69.5	95.0	24.0	34102.77	3040	11.22
	18	81.0	67.0	103.0	23.0	33937.98	2884	11.77
ENGT	1	66.0	55.0	66.0	20.0	22213.24	1452	15.30
	2	60.0	48.0	67.0	21.0	20165.99	1608	12.54
	3	62.0	51.0	67.0	21.0	20550.24	1474	13.94
	4	59.0	47.0	67.0	20.5	21694.77	1608	13.49
	5	63.0	52.0	68.0	21.0	23655.91	1496	15.81
	6	60.0	48.0	71.0	20.0	22280.33	1704	13.08
	7	57.0	46.0	68.0	20.5	21194.29	1496	14.17
	8	68.0	55.0	65.0	21.0	22148.63	1690	13.11
	9	59.0	47.0	68.0	20.0	21773.62	1632	13.34
	10	62.0	49.0	65.0	23.0	19188.18	1690	11.35
	11	59.0	49.0	69.0	23.0	19629.00	1380	14.22
	12	60.0	47.0	62.0	20.0	32118.22	1612	19.92
	13	68.0	55.0	71.0	24.0	23575.63	1846	12.77
	14	60.0	46.0	63.0	20.0	28148.23	1764	15.96
	15	63.0	48.0	62.0	20.0	32543.58	1860	17.50
	16	70.0	57.0	69.0	21.0	15917.99	1794	8.87
	17	56.0	45.0	64.0	20.0	25343.52	1408	18.00
	18	63.0	51.0	64.0	20.0	29335.66	1536	19.10
EYGH	1	88.5	70.5	97.0	20.5	50070.05	3492	14.34
	2	85.5	64.5	88.0	23.0	44572.28	3696	12.06
	3	87.0	71.0	101.0	21.5	51700.68	3232	16.00
	4	86.0	68.0	99.0	20.5	53377.51	3564	14.98
	5	86.5	68.5	99.0	20.0	50433.75	3564	14.15
	6	89.0	73.0	111.0	23.0	60974.50	3552	17.17
	7	86.0	69.0	88.0	21.5	44589.53	2992	14.90
	8	89.0	72.0	110.0	22.5	53179.86	3740	14.22
	9	86.5	69.5	93.0	22.5	43790.98	3162	13.85
	10	90.0	71.0	109.0	20.0	59228.31	4142	14.30
	11	86.5	68.5	99.0	20.0	51414.86	3564	14.43
	12	89.0	70.0	108.0	21.0	58055.49	4104	14.15
	13	93.5	74.0	120.0	22.0	65388.66	4680	13.97
	14	91.5	72.0	124.0	20.0	64105.60	4836	13.26
	15	95.5	77.0	128.0	22.5	71433.83	4736	15.08
	16	96.0	76.0	127.0	22.5	60087.46	5080	11.83
	17	94.0	76.0	128.0	21.5	62657.01	4608	13.60
	18	91.0	71.5	120.0	20.0	61818.67	4680	13.21
EYGT	1	56.0	46.0	57.0	20.0	21307.99	1140	18.69
	2	57.0	45.0	57.0	20.0	20101.56	1368	14.69
	3	57.0	46.0	50.0	20.0	22777.71	1100	20.71
	4	59.0	47.0	56.0	20.0	21314.63	1344	15.86
	5	56.0	43.0	56.0	20.0	22166.02	1456	15.22
	6	63.0	49.0	63.0	20.0	25824.20	1764	14.64
	7	55.0	41.0	61.0	20.5	22407.07	1708	13.12
	8	67.0	51.0	61.0	20.5	28526.20	1952	14.61
	9	65.0	52.0	65.0	21.0	26178.48	1690	15.49
	10	61.0	45.0	66.0	23.0	22278.68	2112	10.55
	11	50.0	36.0	54.0	21.0	18398.85	1512	12.17
	12	65.0	49.0	65.0	23.0	23309.11	2080	11.21
	13	66.0	52.0	64.0	22.5	22140.34	1792	12.36
	14	52.0	38.0	55.0	20.0	19294.66	1540	12.53
	15	56.0	42.0	62.0	20.0	26580.61	1736	15.31
	16	52.0	40.0	64.0	20.0	25133.75	1536	16.36
	17	62.0	49.0	63.0	23.0	20990.11	1638	12.81

1123425

表 6. 29 平行纖維抗剪試體

	含竹節試體	不含竹節試體
試驗前		
試驗後		
		

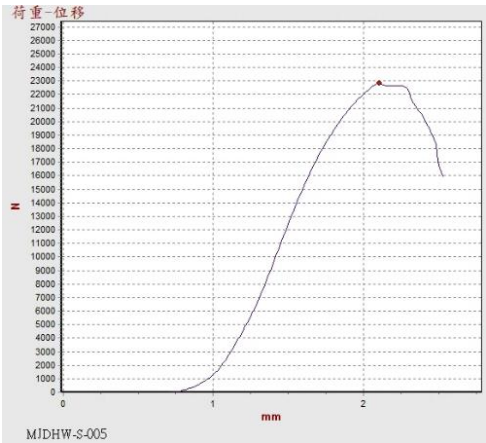


圖 6. 18 平行纖維抗剪試驗之荷重-位移圖(左：含竹節試體，右：不含竹節試體)

1123425

6.6 垂直纖維抗拉試驗

6.6.1 試體準備

垂直纖維方向的竹材抗拉試驗是指劈裂試驗。試體是橫截的短竹段，在其中央鑽孔後，使用特製的劈裂栓從孔洞位置向上下施加力，產生直接作用於竹材垂直纖維方向的拉力，導致竹材劈裂，如圖 6. 19 所示。試體應不包含竹節，試體的長度 L 取竹材的外徑 D 加上劈裂栓孔洞的直徑 d 的總和。劈裂栓孔洞的直徑 d 應介於 $0.25D$ 至 $0.5D$ 之間，孔洞的方向與竹材的軸向正交，穿過竹材的兩個對向壁面，並且應在一次鑽孔動作中完成，劈裂栓本身的直徑不得小於 $0.95d$。。

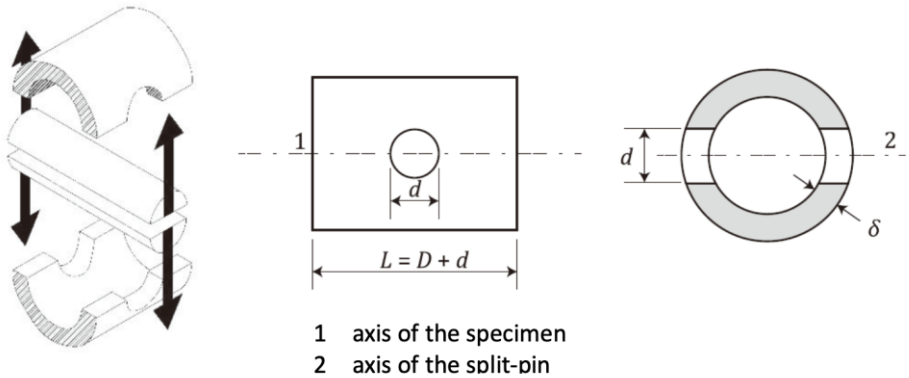


圖 6. 19 垂直纖維方向抗拉試驗裝置示意圖

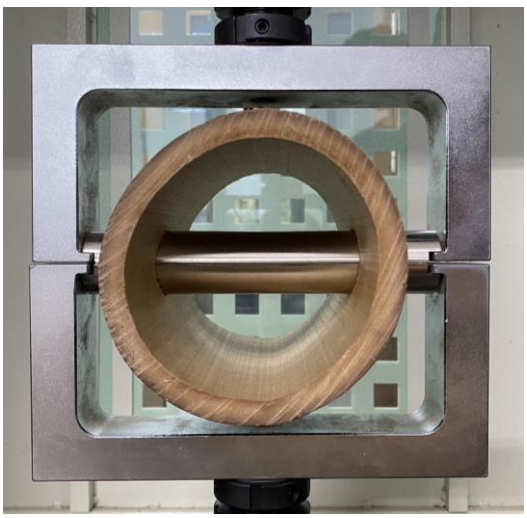


圖 6. 20 垂直纖維抗拉試驗

1123425

6.6.2 試驗流程

將試體從乾室與濕室取出，取任三顆試體用含水率測定儀測定材料切面三次並取平均，達到要求之服務等級 1 或 3 進行秤重，並將試體放入烘箱 24 小時，並再次進行秤重以及計算含水率，若三顆試體均達到服務等級 1 或 3 的要求，即視為整批試體皆能進行試驗。

進行試驗前，每一顆試體先以含水率測定儀測定含水率，確認該試體符合服務等級 1 或服務等級 3 的要求，丈量試體的外徑、內徑、長度、重量以及測定儀含水率，隨後將劈裂栓插入事先鑽好的孔洞中，並將之放上輔具，以水平儀確認試體的水平，以 5 mm/min 的速度進行垂直纖維抗拉試驗，試驗完成後，紀錄試體的最大荷重，以利後續求得垂直纖維抗拉強度。

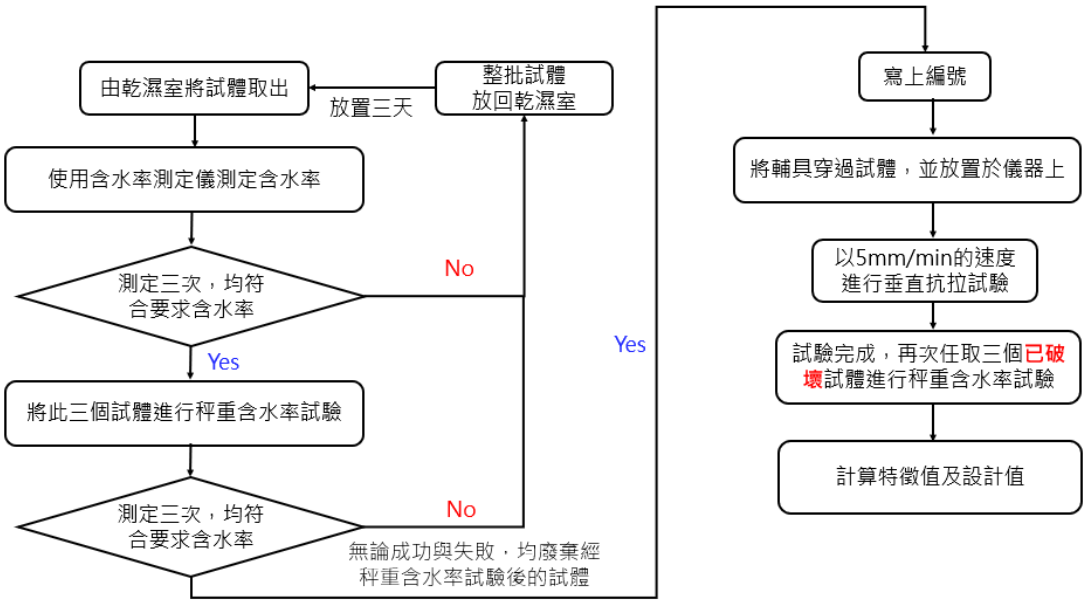


圖 6. 21 垂直纖維抗拉試驗流程

6.6.3 垂直纖維抗拉強度

垂直纖維抗拉強度$f_{t,90}$公式如下：

$$f_{t,90} = \frac{F_{ult}}{2\delta(L-d)} \tag{6.7}$$

F_{ult}: 試體破壞時之最大荷重 (N)

δ：試體竹壁厚(mm)

L：試體長度(mm)

d：劈裂栓孔洞直徑(mm)

1123425

表 6. 30 垂直纖維抗拉試驗(桂竹-乾燥竹-服務等級 1)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 D_i (mm)	長度 L (mm)	竹壁厚 δ (mm)	孔徑 d (mm)	測定儀含水率(%)	最大強度 F_{ult} (N)	垂直抗拉強度 $f_{t,90}$ (MPa)
MTDT	001	50.0	44.0	62.0	3.0	20	11.0	1753.72	6.96
	002	51.0	41.0	68.0	5.0	20	11.7	1484.62	3.09
	003	50.0	44.0	67.0	3.0	20	10.3	1331.44	4.72
	004	50.0	35.0	66.0	7.5	20	10.8	1445.70	2.10
	005	47.0	38.0	64.0	4.5	20	10.0	1688.31	4.26
	006	48.0	38.0	66.0	5.0	20	10.6	1413.41	3.07
	007	50.0	45.0	66.0	2.5	20	10.6	1029.22	4.47
	008	49.0	40.0	67.0	4.5	20	10.7	1375.32	3.25
	009	49.0	40.0	67.0	4.5	20	11.0	1577.36	3.73
	010	49.0	42.0	69.0	3.5	20	11.0	1559.14	4.55
	011	49.0	44.0	66.0	2.5	20	10.6	1409.27	6.13
	012	49.0	42.0	63.0	3.5	20	10.8	1502.84	4.99
MWDT	001	44.0	34.0	56.0	5.0	20	10.6	957.18	2.66
	002	45.0	40.0	61.0	2.5	20	12.2	1187.36	5.79
	003	49.0	39.0	63.0	5.0	20	9.5	1282.59	2.98
	004	38.0	32.0	56.0	3.0	20	10.4	898.39	4.16
	005	42.0	36.0	61.0	3.0	20	9.6	1007.69	4.10
	006	44.0	37.0	64.0	3.5	20	8.8	921.57	2.99
	007	47.0	40.0	62.0	3.5	20	11.8	1450.67	4.93
	008	43.0	36.0	55.0	3.5	20	9.7	832.15	3.40
	009	39.0	32.0	55.0	3.5	20	8.5	863.61	3.52
	010	46.0	38.0	65.0	4.0	20	9.9	1308.25	3.63
	011	44.0	38.0	58.0	3.0	20	9.8	991.95	4.35
	012	44.0	38.0	59.0	3.0	20	10.5	913.29	3.90
MJDT	001	43.0	37.0	62.0	3.0	20	10.7	1690.79	6.71
	002	45.0	38.0	62.0	3.5	20	10.0	1392.71	4.74
	003	42.0	35.0	63.0	3.5	20	11.6	1006.03	3.34
	004	50.0	40.0	65.0	5.0	20	10.6	895.91	1.99
	005	43.0	35.0	63.0	4.0	20	10.2	1603.85	4.66
	006	34.0	30.0	55.0	2.0	20	10.6	840.43	6.00
	007	42.0	34.0	57.0	4.0	20	10.9	1367.04	4.62
	008	45.0	38.0	61.0	3.5	20	10.1	1511.94	5.27
	009	40.0	34.0	57.0	3.0	20	10.0	1001.06	4.51
	010	47.0	40.0	61.0	3.5	20	10.5	1551.69	5.41
	011	37.0	31.0	53.0	3.0	20	10.4	1159.21	5.85
MTDH	001	62.0	52.0	75.0	5.0	20	10.7	2534.47	4.61
	002	60.0	50.0	75.0	5.0	20	10.8	2943.97	5.35
	003	58.0	48.0	78.0	5.0	20	11.7	3073.82	5.30
	004	58.0	48.0	79.0	5.0	20	11.6	3186.31	5.40
	005	58.0	45.0	75.0	6.5	20	11.2	3007.66	4.21
	006	62.0	51.0	76.0	5.5	20	10.9	2972.92	4.83
	007	58.0	47.0	75.0	5.5	20	11.1	2531.99	4.19
	008	60.0	50.0	76.0	5.0	20	10.2	3090.37	5.52
	009	59.0	47.0	71.0	6.0	20	10.9	2934.87	4.80
	010	57.0	45.0	77.0	6.0	20	11.4	3342.61	4.89
	011	60.0	49.0	77.0	5.5	20	10.8	3123.45	4.98
	012	57.0	47.0	76.0	5.0	20	11.2	2934.04	5.24
MJDH	001	59.0	41.0	81.0	9.0	20	10.1	4127.21	3.76
	002	62.0	51.0	80.0	5.5	20	9.6	2359.82	3.58
	003	62.0	44.0	78.0	9.0	20	9.7	3846.98	3.68
	004	61.0	50.0	78.0	5.5	20	9.0	3163.98	4.96
	005	53.0	36.0	69.0	8.5	20	11.2	5367.71	6.44
	006	52.0	31.0	69.0	10.5	20	10.1	6361.30	6.18
	007	56.0	42.0	65.0	7.0	20	11.2	2355.68	3.74
	008	49.0	35.0	68.0	7.0	20	11.1	4372.69	6.51

1123425

	009	55.0	41.0	79.0	7.0	20	9.0	3628.71	4.39
	010	48.0	31.0	69.0	8.5	20	10.1	5015.05	6.02
	011	59.0	42.0	79.0	8.5	20	10.2	4353.68	4.34
	012	67.0	50.0	83.0	8.5	20	10.2	4034.63	3.77
	013	62.0	50.0	78.0	6.0	20	9.1	2724.75	3.91
MWDH	001	58.0	53.5	69.0	7.5	20	11.6	4799.91	6.53
	002	58.5	46.5	74.0	6.0	20	8.6	3254.95	5.02
	003	58.5	44.5	72.0	7.0	20	8.0	2535.30	3.48
	004	58.0	43.0	68.0	7.5	20	11.8	4266.90	5.93
	005	59.0	41.0	72.0	9.0	20	10.7	4636.31	4.95
	006	56.0	42.5	74.0	6.8	20	11.2	4130.52	5.67
	007	56.0	44.0	75.0	6.0	20	10.6	3800.68	5.76
	008	58.0	39.0	76.0	9.5	20	9.6	3932.13	3.70
	009	55.0	39.0	68.0	8.0	20	11.2	5054.96	6.58
	010	58.0	45.0	76.0	6.5	20	7.9	3849.46	5.29
	011	56.0	42.0	71.0	7.0	20	11.7	3720.49	5.21
	012	56.0	41.0	74.0	7.5	20	10.2	4645.39	5.74

表 6. 31 垂直纖維抗拉試驗(孟宗竹-乾燥竹-服務等級 1)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 D_i (mm)	長度 L (mm)	竹壁厚 δ (mm)	孔徑 d (mm)	測定儀含水率(%)	最大強度 F_{ult} (N)	垂直抗拉強度 $f_{t,90}$ (MPa)
ENDH	001	82.5	69.0	113.5	6.75	20	8.5	5311.29	4.21
	002	82.5	69.5	118.0	6.50	20	10.5	5118.83	4.02
	003	74.0	59.0	106.5	7.50	20	7.5	5082.33	3.92
	004	91.0	73.0	103.0	9.00	20	7.5	5710.42	3.82
	005	76.0	63.0	102.5	6.50	20	10.0	4725.55	4.41
	006	72.0	61.0	102.0	5.50	20	9.5	5185.19	5.75
	007	75.0	58.0	109.0	8.50	20	7.5	5979.36	3.95
	008	84.5	71.0	120.0	6.75	20	9.0	5168.60	3.83
	009	84.5	71.0	119.0	6.75	20	9.0	5341.99	4.00
	010	88.0	71.0	115.0	8.50	20	9.0	5207.59	3.22
	011	83.0	70.5	123.0	6.25	20	10.0	5155.33	4.00
	012	79.0	61.0	114.0	9.00	20	7.0	6597.17	3.90
	013	91.0	76.0	120.0	7.50	20	9.0	5463.95	3.64
	014	85.0	72.0	119.0	6.50	20	10.0	5292.21	4.11
	015	83.0	67.5	117.0	7.75	20	7.0	5657.30	3.76
	016	86.5	71.5	121.0	7.50	20	10.5	5551.08	3.66
	017	81.0	68.5	123.0	6.25	20	10.0	4105.72	3.19
	018	80.0	69.0	116.0	5.50	20	10.0	4042.07	3.83
ENDT	001	60.0	51.0	94.0	4.50	20	6.5	3504.69	5.26
	002	55.0	45.5	97.0	4.75	20	3.5	3230.14	4.42
	003	58.5	48.5	99.0	5.00	20	4.5	4190.03	5.30
	004	57.5	47.5	98.0	5.00	20	2.0	4093.32	5.25
	005	65.5	55.5	108.0	5.00	20	5.5	4416.49	5.02
	006	69.5	60.0	115.5	4.75	20	8.0	4781.73	5.27
	007	69.5	56.5	101.0	6.50	20	7.0	5047.37	4.79
	008	62.0	51.0	101.5	5.50	20	7.0	4676.79	5.22
	009	60.5	51.5	92.5	4.50	20	4.5	4563.59	6.99
	010	55.5	46.0	94.0	4.75	20	4.5	4450.37	6.33
	011	56.0	45.5	95.0	5.25	20	5.0	4023.89	5.11
	012	58.5	49.0	101.0	4.75	20	5.5	4858.57	6.31
	013	55.5	45.0	94.0	5.25	20	3.0	3387.26	4.36
	014	54.0	44.0	87.5	5.00	20	4.5	3977.60	5.89
	015	51.0	42.0	82.5	4.50	20	1.0	940.62	1.67
	016	50.5	41.0	88.0	4.75	20	2.0	2819.06	4.36
EYDH	001	112.5	93.0	136.5	9.75	20	9.5	7820.86	3.44
	002	120.5	99.5	133.5	10.50	20	7.0	9710.45	4.07

	003	108.0	89.0	134.5	9.50	20	8.0	8178.17	3.76
	004	124.5	100.0	134.5	12.25	20	6.5	8673.96	3.09
	005	119.0	97.5	135.0	10.75	20	10.0	10281.50	4.16
	006	114.5	96.0	131.5	9.25	20	5.5	9095.16	4.41
	007	113.5	92.0	134.5	10.75	20	8.0	9249.40	3.76
	008	118.0	97.5	138.5	10.25	20	7.0	8635.82	3.55
	009	110.5	92.5	135.5	9.00	20	7.5	7369.02	3.54
	010	121.5	100.0	128.0	10.75	20	6.0	8352.27	3.60
	011	114.5	93.5	137.0	10.50	20	7.0	8198.89	3.34
	012	133.5	108.5	133.0	12.50	20	6.0	10407.10	3.68
	013	112.5	94.0	140.0	9.25	20	6.0	8849.73	3.99
	014	121.0	100.5	136.5	10.25	20	5.5	8702.15	3.64
	015	115.0	93.5	134.5	10.75	20	7.5	8882.90	3.61
	016	113.5	94.5	133.5	9.50	20	6.5	8372.17	3.88
	017	118.5	96.5	139.0	11.00	20	10.0	9261.83	3.54
EYDT	001	92.0	79.0	125.0	6.50	20	11.0	6419.43	4.70
	002	88.0	77.0	117.0	5.50	20	7.5	6676.09	6.26
	003	92.0	78.0	115.0	7.00	20	4.0	6250.02	4.70
	004	91.0	78.0	115.0	6.50	20	3.5	6545.67	5.30
	005	89.0	75.0	120.0	7.00	20	6.5	5978.53	4.27
	006	87.0	76.0	118.0	5.50	20	7.0	6048.26	5.61
	007	92.0	80.0	122.0	6.00	20	2.0	6924.50	5.66
	008	92.0	79.0	116.0	6.50	20	7.0	6303.17	5.05
	009	92.0	81.0	118.0	5.50	20	4.0	7533.28	6.99
	010	89.0	76.0	120.0	6.50	20	5.5	5524.53	4.25
	011	92.0	80.0	126.0	6.00	20	3.5	6733.40	5.29
	012	92.0	80.0	127.0	6.00	20	7.5	5092.29	3.97
	013	92.0	79.0	118.0	6.50	20	6.5	6132.95	4.81
	014	87.0	76.0	122.0	5.50	20	6.0	6428.57	5.73
	015	94.0	80.0	120.0	7.00	20	6.0	6662.80	4.76
	016	91.0	79.0	120.0	6.00	20	7.0	6250.85	5.21
	017	92.0	79.0	124.0	6.50	20	3.5	6443.52	4.77
	018	91.0	76.0	122.0	7.50	20	7.0	6587.21	4.31

表 6. 32 垂直纖維抗拉試驗(桂竹-生竹-服務等級 1)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 D_i (mm)	長度 L (mm)	竹壁厚 δ (mm)	孔徑 d (mm)	測定儀含水率(%)	最大強度 F_{ult}(N)	垂直抗拉強度 $f_{t,90}$ (MPa)
MWGT	001	52.5	45.5	70.0	3.50	20	11.5	1262.71	3.61
	002	52.5	44.0	71.0	4.25	20	12.0	1499.52	3.46
	003	48.0	41.0	66.0	3.50	20	11.5	1276.79	3.97
	004	50.5	42.5	69.5	4.00	20	11.5	1219.66	3.08
	005	49.5	42.5	65.5	3.50	20	12.0	555.59	1.74
	006	44.0	37.5	60.5	3.25	20	11.5	972.08	3.69
	007	46.0	39.0	64.5	3.50	20	12.0	1212.20	3.89
	008	52.0	44.5	70.5	3.75	20	11.5	1116.98	2.95
	009	50.5	43.0	73.0	3.75	20	11.5	1319.85	3.32
	010	47.5	41.0	69.5	3.25	20	11.5	1245.33	3.87
	011	48.0	41.0	66.5	3.50	20	11.5	1424.18	4.38
MTGT	001	56.0	46.5	71.0	4.75	20	10.5	1074.76	2.22
	002	58.5	46.0	74.0	6.25	20	10.0	2231.48	3.31
	003	53.0	46.0	71.5	3.50	20	10.5	1365.39	3.79
	004	54.5	44.0	70.0	5.25	20	10.0	4296.65	8.18
	005	54.5	45.5	71.0	4.50	20	10.5	596.17	1.30
	006	57.5	49.5	70.0	4.00	20	11.0	1003.55	2.51
	007	58.5	49.0	76.0	4.75	20	10.0	1823.28	3.43
	008	54.5	47.0	71.0	3.75	20	10.5	1390.23	3.63
	009	55.0	47.0	71.5	4.00	20	10.0	1263.54	3.07
	010	55.5	47.5	71.0	4.00	20	9.0	1001.89	2.46

	011	55.5	47.5	72.5	4.00	20	10.0	1153.42	2.75
MJGT	001	58.0	50.0	76.5	4.00	20	9.5	1084.69	2.40
	002	54.0	45.0	76.0	4.50	20	9.5	1357.11	2.69
	003	55.0	47.0	72.0	4.00	20	9.5	1184.05	2.85
	004	58.0	49.5	77.0	4.25	20	9.5	1160.04	2.39
	005	55.0	47.0	81.0	4.00	20	9.5	1492.89	3.06
	006	58.0	52.5	81.0	2.75	20	10.5	2122.19	6.33
	007	52.5	40.5	72.0	6.00	20	10.5	1307.43	2.10
	008	56.5	48.0	76.5	4.25	20	9.5	1749.58	3.64
	009	58.5	51.0	77.0	3.75	20	9.5	1530.99	3.58
	010	57.5	50.0	77.5	3.75	20	10.5	1509.46	3.50
	011	58.0	50.0	78.0	4.00	20	10.5	1307.43	2.82
MTGH	001	60.0	49.5	77.5	5.25	20	11.5	2141.23	3.55
	002	64.0	49.5	82.5	7.25	20	11.5	2513.83	2.77
	003	59.5	49.0	74.0	5.25	20	12.0	2198.36	3.88
	004	58.0	44.0	80.0	7.00	20	11.0	2915.84	3.47
	005	58.0	44.0	75.5	7.00	20	12.0	3283.07	4.23
	006	60.0	49.0	80.5	5.50	20	12.0	2060.91	3.10
	007	64.5	51.0	80.5	6.75	20	11.5	2794.24	3.42
	008	66.0	50.0	81.0	8.00	20	11.5	2184.29	2.24
	009	58.5	49.0	77.5	4.75	20	11.5	1585.64	2.90
	010	63.5	47.5	84.5	8.00	20	10.5	2648.64	2.57
	011	64.5	51.5	85.0	6.50	20	11.0	1391.05	1.65
MJGH	001	70.5	56.5	89.0	7.00	20	11.0	2846.36	2.95
	002	64.5	54.5	84.5	5.00	20	11.5	2381.35	3.69
	003	61.0	51.5	84.0	4.75	20	11.5	2031.93	3.34
	004	67.5	55.0	85.0	6.25	20	12.0	2645.33	3.26
	005	66.5	55.0	87.0	5.75	20	11.0	2243.90	2.91
	006	66.5	54.0	86.0	6.25	20	11.0	2873.66	3.48
	007	60.5	49.5	82.5	5.50	20	11.0	2684.22	3.90
	008	61.5	48.5	78.5	6.50	20	12.0	2068.37	2.72
	009	67.5	54.0	88.0	6.75	20	11.5	3290.51	3.58
	010	60.0	48.5	84.0	5.75	20	10.5	2527.85	3.43
	011	70.0	58.0	86.0	6.00	20	10.5	2607.28	3.29
MWGH	001	60.5	49.5	76.5	5.50	20	10.5	1155.07	1.86
	002	60.0	44.0	82.5	8.00	20	11.5	2018.94	2.02
	003	60.0	48.5	79.0	5.75	20	10.0	1573.22	2.32
	004	60.5	47.5	78.5	6.50	20	11.0	2272.06	2.99
	005	56.5	42.5	77.5	7.00	20	11.5	3505.51	4.35
	006	59.5	46.0	68.0	6.75	20	10.0	1598.89	2.47
	007	60.0	46.0	82.0	7.00	20	11.0	760.94	0.88
	008	59.5	45.0	75.0	7.25	20	10.5	2016.20	2.53
	009	58.0	45.0	74.5	6.50	20	12.0	1766.14	2.49

表 6. 33 垂直纖維抗拉試驗(孟宗竹-生竹-服務等級 1)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 D_i (mm)	長度 L (mm)	竹壁厚 δ (mm)	孔徑 d (mm)	測定儀含水率(%)	最大強度 F_{ult}(N)	垂直抗拉強度 $f_{t,90}$ (MPa)
ENGH	001	85.5	64.5	111.5	10.50	30	11.0	4350.08	2.54
	002	82.5	65.5	119.0	8.50	30	10.5	4860.92	3.21
	003	85.5	67.0	128.5	9.25	30	9.0	4376.13	2.40
	004	82.5	69.5	118.0	6.50	30	10.5	3189.23	2.79
	005	74.0	59.0	106.5	7.50	30	10.5	3155.18	2.75
	006	91.0	73.0	103.0	9.00	30	11.0	3135.98	2.39
	007	82.5	70.0	118.0	6.25	30	11.0	2873.60	2.61
	008	77.5	66.0	112.5	5.75	30	11.0	3259.33	3.44
	009	72.0	58.5	104.0	6.75	30	10.0	2372.94	2.38
	010	92.5	73.5	119.0	9.50	30	10.0	4307.82	2.55

1123425

	011	79.0	61.0	118.0	9.00	30	9.5	3868.38	2.44
	012	78.5	62.5	111.0	8.00	30	10.0	3896.90	3.01
	013	89.0	63.5	132.0	12.75	30	10.5	7171.41	2.76
	014	76.0	60.0	116.0	8.00	30	9.5	4710.89	3.42
	015	78.5	59.0	117.0	9.75	30	11.0	5887.77	3.47
	016	87.5	67.0	125.5	10.25	30	10.5	6973.50	3.56
	017	86.5	67.5	131.5	9.50	30	11.0	5321.98	2.76
ENGT	001	64.0	51.5	90.0	6.25	30	7.0	2142.89	2.86
	002	63.5	51.0	91.5	6.25	30	7.0	2524.60	3.28
	003	63.5	51.0	86.0	6.25	30	4.5	3623.75	5.18
	004	59.0	46.5	88.5	6.25	30	6.5	2918.32	3.99
	005	61.0	49.0	92.0	6.00	30	8.0	3173.90	4.27
	006	62.0	49.0	88.0	6.50	30	6.5	3162.32	4.19
	007	54.0	42.5	83.5	5.75	30	7.0	2280.34	3.71
	008	59.0	47.0	87.0	6.00	30	9.0	1934.23	2.83
	009	62.5	50.0	93.0	6.25	30	7.0	2347.40	2.98
	010	61.0	49.0	93.0	6.00	30	6.0	2831.47	3.75
	011	62.0	50.0	92.0	6.00	30	3.5	3455.90	4.65
	012	57.0	45.0	78.5	6.00	30	6.0	2171.04	3.73
	013	62.0	49.0	92.0	6.50	30	7.5	2722.27	3.38
	014	59.0	47.0	89.5	6.00	30	7.0	2084.93	2.92
	015	57.0	45.0	81.0	6.00	30	8.5	2138.75	3.49
	016	57.0	46.0	88.0	5.50	30	7.0	1894.48	2.97
	017	61.0	49.0	84.5	6.00	30	7.5	2413.65	3.69
EYGH	001	85.5	64.5	111.5	10.50	30	11.5	5595.062	3.27
	002	82.5	65.5	119.0	8.50	30	7.0	4962.018	3.28
	003	85.5	67.0	128.5	9.25	30	8.5	5031.626	2.76
	004	90.5	68.0	129.5	11.25	30	6.5	5289.718	2.36
	005	75.5	58.0	115.0	8.75	30	10.5	3917.249	2.63
	006	89.0	67.5	131.5	10.75	30	6.5	5803.376	2.66
	007	85.5	66.5	121.0	9.50	30	8.0	4270.204	2.47
	008	84.0	66.5	113.0	8.75	30	8.5	5034.112	3.47
	009	81.0	62.5	110.0	9.25	30	7.0	4836.263	3.27
	010	86.0	65.5	119.0	10.25	30	11.5	6149.551	3.37
	011	84.5	65.5	120.0	9.50	30	11.0	4356.984	2.55
	012	87.5	67.0	125.5	10.25	30	10.5	5449.846	2.78
	013	86.5	67.5	131.5	9.50	30	7.5	4971.133	2.58
	014	86.0	64.5	115.0	10.75	30	7.0	6539.86	3.58
	015	86.0	67.0	122.5	9.50	30	8.5	5542.782	3.15
	016	83.0	64.5	108.5	9.25	30	9.5	4446.24	3.06
	017	82.5	63.5	115.5	9.50	30	9.0	4728.024	2.91
EYGT	001	60.0	47.5	87.5	6.25	30	9.5	2249.70	3.13
	002	53.5	42.0	82.5	5.75	30	10.5	1557.48	2.58
	003	62.0	48.5	81.5	6.75	30	9.5	2585.77	3.72
	004	58.5	46.5	86.5	6.00	30	10.5	2280.34	3.36
	005	56.0	45.5	86.5	5.25	30	11.0	2380.52	4.01
	006	55.5	43.5	87.0	6.00	30	9.5	2664.36	3.90
	007	53.0	42.0	82.0	5.50	30	8.5	1563.28	2.73
	008	67.5	55.0	88.0	6.25	30	11.0	2855.46	3.94
	009	55.5	43.5	82.5	6.00	30	11.5	2227.34	3.54
	010	60.5	48.5	85.5	6.00	30	11.0	2690.84	4.04
	011	52.0	40.5	83.5	5.75	30	9.5	1612.96	2.62
	012	62.0	50.5	88.5	5.75	30	10.5	2831.47	4.21
	013	52.0	40.0	81.0	6.00	30	10.5	735.27	1.20
	014	55.0	42.5	81.0	6.25	30	11.5	2162.76	3.39
	015	62.0	49.5	92.5	6.25	30	10.0	3063.07	3.92
	016	60.0	47.0	87.0	6.50	30	9.5	2279.51	3.08
	017	63.5	51.5	93.5	6.00	30	11.0	2448.42	3.21

表 6. 34 垂直纖維抗拉試驗(桂竹-乾燥竹-服務等級 3)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 D_i (mm)	長度 L (mm)	竹壁厚 δ (mm)	孔徑 d (mm)	測定儀含水率(%)	最大強度 F_{ult} (N)	垂直抗拉強度 $f_{t,90}$ (MPa)
MTDH	001	57.5	47.0	77.0	5.25	20	19.0	2958.027	4.94
	002	61.0	52.0	77.0	4.50	20	19.5	1848.943	3.60
	003	61.0	52.0	79.0	4.50	20	21.0	2132.95	4.02
	004	62.0	53.0	76.5	4.50	20	17.5	1,884	3.70
	005	58.5	48.0	77.0	5.25	20	17.0	2117.218	3.54
	006	57.5	47.0	76.0	5.25	20	19.5	2490.65	4.24
	007	59.5	49.5	76.0	5.00	20	18.0	2605.623	4.65
	008	57.0	45.5	78.0	5.75	20	18.5	3359.148	5.04
	009	60.5	52.5	76.0	4.00	20	16.5	1917.668	4.28
	010	57.0	46.5	75.5	5.25	20	16.5	2706.554	4.64
MTDT	001	47.5	40.5	66.0	3.50	20	16.0	1465.58	4.55
	002	48.0	41.0	65.0	3.50	20	16.5	1586.46	5.04
	003	48.5	40.5	69.0	4.00	20	17.5	1695.76	4.33
	004	51.5	44.5	66.0	3.50	20	16.0	1259.40	3.91
	005	49.0	42.0	68.0	3.50	20	16.0	1481.31	4.41
	006	49.0	42.0	66.0	3.50	20	16.5	1063.16	3.30
	007	49.0	42.0	66.5	3.50	20	16.0	1367.87	4.20
	008	50.5	44.5	68.0	3.00	20	15.5	1529.33	5.31
	009	48.5	39.0	66.5	4.75	20	16.5	1043.29	2.36
	010	46.0	39.0	65.5	3.50	20	16.0	947.24	2.97
	011	49.5	42.0	66.0	3.75	20	17.0	1372.84	3.98
MJDH	001	62.0	52.0	83.0	5.00	20	20.5	2643.68	4.20
	002	68.5	54.0	84.0	7.25	20	22.5	3422.822	3.69
	003	65.5	53.0	87.5	6.25	20	22.5	3470.783	4.11
	004	63.0	51.5	81.5	5.75	20	23.5	3192.922	4.51
	005	52.5	36.5	79.0	8.00	20	23.0	3755.212	3.98
	006	55.5	39.5	74.0	8.00	20	18.0	3,900	4.51
	007	54.0	33.5	76.0	10.25	20	23.5	6770.791	5.90
	008	55.5	37.0	75.0	9.25	20	26.0	5178.554	5.09
	009	57.0	44.5	75.5	6.25	20	32.0	2744.608	3.96
	010	59.5	45.0	74.0	7.25	20	24.0	2,982	3.81
MJDT	001	41.5	35.0	57.0	3.25	20	16.5	1034.18	4.30
	002	42.5	36.5	56.5	3.00	20	15.0	780.81	3.57
	003	39.5	34.0	55.0	2.75	20	16.5	940.62	4.89
	004	43.0	36.5	63.0	3.25	20	16.5	1493.73	5.34
	005	45.5	38.5	60.5	3.50	20	17.5	1297.49	4.58
	006	49.0	43.0	67.0	3.00	20	19.0	1608.82	5.71
	007	43.0	37.5	60.5	2.75	20	16.5	1323.16	5.94
	008	48.0	41.5	66.5	3.25	20	20.5	1431.63	4.74
	009	47.0	40.0	66.5	3.50	20	16.0	1032.53	3.17
	010	39.5	34.0	57.0	2.75	20	16.5	1240.36	6.10
	011	35.5	30.0	52.5	2.75	20	16.0	891.77	4.99
MWDH	001	51.5	35.5	68.0	8.00	20	26.0	1169.148	1.52
	002	50.5	37.0	79.5	6.75	20	27.0	3903.195	4.86
	003	54.0	39.5	75.0	7.25	20	32.0	3589.025	4.50
	004	53.5	39.0	73.0	7.25	20	26.5	4047.859	5.27
	005	52.0	35.0	71.5	8.50	20	29.0	3823.005	4.37
	006	51.0	36.5	70.0	7.25	20	35.5	3,619	4.99
	007	63.5	47.5	74.0	8.00	20	19.5	4020.581	4.65
	008	59.0	42.0	72.5	8.50	20	41.0	2673.462	3.00
	009	57.0	41.5	70.5	7.75	20	40.5	2426.065	3.10
	010	62.5	48.0	78.0	7.25	20	20.0	3760.173	4.47
	011	56.0	41.5	70.0	7.25	20	24.0	2934.867	4.05
MWDT	001	39.5	34.0	56.0	2.75	20	20.5	973.17	4.91
	002	46.5	40.5	58.5	3.00	20	24.0	1088.41	4.71

	003	47.0	41.5	63.0	2.75	20	19.5	1277.62	5.40
	004	44.0	38.0	62.0	3.00	20	23.5	818.90	3.25
	005	46.0	40.0	64.0	3.00	20	20.0	647.50	2.45
	006	43.0	37.0	59.0	3.00	20	20.5	966.29	4.13
	007	39.5	34.5	56.0	2.50	20	16.5	860.30	4.78
	008	44.5	38.5	62.0	3.00	20	20.5	1218.83	4.84
	009	37.5	31.5	57.0	3.00	20	16.0	882.66	3.98
	010	41.0	35.0	57.0	3.00	20	16.0	896.73	4.04

表 6. 35 垂直纖維抗拉試驗(孟宗竹-乾燥竹-服務等級 3)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 D_i (mm)	長度 L (mm)	竹壁厚 δ (mm)	孔徑 d (mm)	測定儀含水率(%)	最大強度 F_{ult} (N)	垂直抗拉強度 $f_{t,90}$ (MPa)
ENDH	001	78.5	64.5	111.0	7.00	30	18.0	3933.782	3.47
	002	82.5	70.0	120.0	6.25	30	16.0	3256.603	2.89
	003	85.0	71.5	118.0	6.75	30	19.5	3109.389	2.62
	004	74.0	59.0	103.0	7.50	30	16.5	3784.148	3.46
	005	75.0	59.0	108.0	8.00	30	16.5	4508.22	3.61
	006	78.5	63.5	103.5	7.50	30	19.0	3753.559	3.40
	007	82.5	70.0	118.0	6.25	30	16.0	3221.041	2.93
	008	77.5	66.0	112.5	5.75	30	16.5	3034.95	3.20
	009	72.0	58.5	104.0	6.75	30	17.0	3231.792	3.24
	010	92.5	73.5	119.0	9.50	30	16.0	6,408	3.79
	011	75.0	61.5	103.5	6.75	30	17.0	4126.386	4.16
	012	81.5	66.5	102.0	7.50	30	16.5	1603.025	1.48
	013	80.0	60.0	108.5	10.00	30	16.5	5278.103	3.36
	014	83.5	70.0	111.0	6.75	30	16.5	3767.614	3.45
	015	94.0	76.0	114.0	9.00	30	16.5	4249.541	2.81
	016	85.0	69.5	114.5	7.75	30	15.5	3971.809	3.03
ENDT	001	58.0	47.0	91.0	5.50	30	20.0	2537.856	3.78
	002	62.5	52.0	103.0	5.25	30	25.5	3307.752	4.32
	003	59.0	48.5	68.5	5.25	30	26.5	3199.424	7.91
	004	61.0	50.0	99.5	5.50	30	18.0	3422.955	4.48
	005	64.5	53.0	100.0	5.75	30	24.5	3204.595	3.98
	006	56.5	46.5	87.5	5.00	30	40.0	2581.771	4.49
	007	56.0	42.5	88.5	6.75	30	32.0	2461.213	3.12
	008	65.0	53.0	109.0	6.00	30	24.0	3706.775	3.91
	009	69.5	58.5	110.0	5.50	30	32.0	3211.879	3.65
	010	63.5	52.0	105.5	5.75	30	24.0	3179.471	3.66
	011	63.0	52.5	106.0	5.25	30	37.0	3212.381	4.03
	012	53.0	43.5	82.5	4.75	30	31.5	2680.642	5.37
	013	57.0	47.0	88.0	5.00	30	20.0	2837.582	4.89
	014	60.5	50.0	96.5	5.25	30	23.5	2947.924	4.22
	015	56.0	45.0	86.0	5.50	30	31.0	1655.872	2.69
	016	58.5	48.0	96.5	5.25	30	21.0	2593.238	3.71
EYDH	001	126.5	101.5	136.5	12.50	30	18.0	8016.504	3.01
	002	112.0	92.5	133.5	9.75	30	16.0	7235.296	3.58
	003	103.0	83.5	133.0	9.75	30	16.0	8483.262	4.22
	004	103.0	84.0	135.0	9.50	30	15.5	6715.13	3.37
	005	125.5	103.5	136.5	11.00	30	20.0	6497.5	2.77
	006	129.0	104.0	135.0	12.50	30	18.0	9125.015	3.48
EYDH	007	106.0	86.0	137.0	10.00	30	17.0	8608.456	4.02
	008	115.0	93.0	140.0	11.00	30	24.5	7613.616	3.15
	009	107.0	86.5	139.5	10.25	30	15.5	8217.959	3.66
	010	115.0	95.0	133.0	10.00	30	19.0	7635.169	3.71
	011	107.5	88.5	137.0	9.50	30	15.5	7733.816	3.80
	012	105.0	85.5	134.0	9.75	30	18.0	8481.604	4.18
	013	117.0	97.0	135.5	10.00	30	18.0	7227.816	3.43

1123425

	014	115.0	93.0	135.0	11.00	30	21.5	7089.026	3.07
	015	121.0	99.0	136.5	11.00	30	21.0	7246.102	3.09
	016	109.5	89.5	137.5	10.00	30	25.0	7834.123	3.64
	017	124.5	101.5	130.5	11.50	30	21.0	7042.489	3.05
EYDT	001	86.5	72.5	117.5	7.00	30	18.0	2713.999	2.22
	002	92.5	74.0	141.0	9.25	30	21.0	4883.357	2.38
	003	89.5	76.0	115.0	6.75	30	17.5	4147.876	3.61
	004	92.0	78.5	115.0	6.75	30	17.0	4680.926	4.08
	005	87.0	73.5	113.5	6.75	30	17.5	3530.319	3.13
	006	84.5	72.5	114.0	6.00	30	19.0	4616.473	4.58
	007	97.5	82.5	115.5	7.50	30	17.5	5279.762	4.12
	008	91.0	77.5	118.0	6.75	30	17.0	4980.249	4.19
	009	88.0	73.0	121.0	7.50	30	19.0	4149.529	3.04
	010	83.0	70.0	120.5	6.50	30	20.0	4637.958	3.94
	011	83.5	71.0	119.0	6.25	30	17.5	4375.993	3.93
	012	87.5	73.0	110.5	7.25	30	21.0	4668.531	4.00
	013	98.5	81.5	124.0	8.50	30	20.0	4914.786	3.08
	014	87.0	74.5	115.0	6.25	30	17.5	3876.741	3.65
	015	86.0	73.5	121.5	6.25	30	17.5	5240.771	4.58
	016	82.5	69.5	117.0	6.50	30	17.5	3679.149	3.25
	017	99.5	83.0	123.5	8.25	30	20.5	4803.214	3.11

表 6. 36 垂直纖維抗拉試驗(桂竹-生竹-服務等級 3)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 D_i (mm)	長度 L (mm)	竹壁厚 δ (mm)	孔徑 d (mm)	測定儀含水率(%)	最大強度 F_{ult} (N)	垂直抗拉強度 $f_{t,90}$ (MPa)
MTGT	001	55.0	44.0	73.0	5.50	20	24.5	1447.36	2.48
	002	62.0	43.0	82.0	9.50	20	21.5	2800.86	2.38
	003	59.0	46.0	76.0	6.50	20	19.5	1504.49	2.07
	004	57.0	48.0	73.0	4.50	20	19.5	1290.04	2.70
	005	57.0	46.0	73.0	5.50	20	23.0	1768.63	3.03
	006	57.0	44.0	72.0	6.50	20	19.5	1177.43	1.74
	007	59.0	49.0	76.0	5.00	20	20.0	1833.21	3.27
	008	57.0	48.0	75.0	4.50	20	19.5	1468.06	2.97
	009	59.0	50.0	77.0	4.50	20	20.0	1357.11	2.65
	010	60.0	50.0	75.0	5.00	20	20.0	1771.11	3.22
	011	52.0	44.0	70.0	4.00	20	21.5	1571.56	3.93
	012	55.0	47.0	71.0	4.00	20	21.0	1312.39	3.22
MWGT	001	53.0	44.0	75.0	4.50	20	19.5	1439.91	2.91
	002	53.0	44.0	71.0	4.50	20	24.5	1378.63	3.00
	003	46.0	39.0	61.0	3.50	20	19.5	916.61	3.19
	004	44.0	37.0	63.0	3.50	20	19.5	707.95	2.35
	005	51.0	46.0	73.0	2.50	20	19.5	1290.87	4.87
	006	50.0	42.0	67.0	4.00	20	20.0	1369.53	3.64
	007	49.0	39.0	68.0	5.00	20	19.5	1051.57	2.19
	008	50.0	41.0	67.0	4.50	20	19.5	1158.38	2.74
	009	49.0	40.0	66.0	4.50	20	19.5	1065.65	2.57
	010	51.0	41.0	69.0	5.00	20	19.5	1451.50	2.96
	011	49.0	39.0	78.0	5.00	20	19.5	1390.23	2.40
	012	45.0	36.0	61.0	4.50	20	22.5	932.34	2.53
MJGT	001	55.0	50.0	76.0	2.50	20	19.5	1324.81	4.73
	002	60.0	51.0	80.0	4.50	20	19.5	1659.33	3.07
	003	56.0	48.0	73.0	4.00	20	20.0	1742.96	4.11
	004	58.0	46.0	78.0	6.00	20	20.0	1343.86	1.93
	005	58.0	49.0	77.0	4.50	20	20.5	1583.15	3.09
	006	52.0	44.0	73.0	4.00	20	19.5	1599.71	3.77
	007	54.0	46.0	71.0	4.00	20	19.5	1136.03	2.78
	008	57.0	48.0	79.0	4.50	20	20.0	1478.82	2.78

	009	61.0	51.0	83.0	5.00	20	20.5	1877.10	2.98
	010	54.0	48.0	78.0	3.00	20	19.5	1626.21	4.67
	011	60.0	50.0	81.0	5.00	20	19.5	1818.34	2.98
MTGH	001	64.0	46.5	85.0	8.75	20	19.5	3554.30	3.12
	002	65.5	50.0	84.0	7.75	20	21.0	2923.29	2.95
	003	62.0	51.0	78.0	5.50	20	20.0	2402.05	3.76
	004	59.0	45.0	72.0	7.00	20	19.5	3404.63	4.68
	005	61.0	50.0	75.0	5.50	20	20.0	2270.40	3.75
	006	61.0	48.0	80.0	6.50	20	19.5	2192.57	2.81
	007	61.0	50.0	80.0	5.50	20	21.5	1830.73	2.77
	008	64.5	46.0	84.0	9.25	20	19.5	3561.74	3.01
	009	61.0	50.0	77.0	5.50	20	19.5	1860.54	2.97
	010	60.0	46.0	78.0	7.00	20	19.5	2685.04	3.31
	011	59.0	43.0	78.0	8.00	20	20.0	3105.25	3.35
MJGH	001	68.5	56.5	88.0	6.00	20	20.0	2595.70	3.18
	002	70.0	54.5	85.0	7.75	20	21.0	3172.25	3.01
	003	61.0	50.0	74.0	5.50	20	19.5	1813.34	2.54
	004	62.5	52.0	80.0	5.25	20	19.5	1882.06	2.99
	005	65.0	52.0	83.0	6.50	20	19.5	2589.90	3.16
	006	58.0	49.0	82.0	4.50	20	19.5	2276.20	4.08
	007	68.0	56.0	87.0	6.00	20	19.5	1983.91	2.47
	008	63.0	51.0	80.0	6.00	20	19.5	1916.84	2.66
	009	61.0	54.0	75.0	3.50	20	19.5	2227.34	5.79
	010	63.0	51.0	82.0	6.00	20	19.5	2573.36	3.46
	011	69.0	55.0	88.0	7.00	20	20.0	2417.79	2.54
	012	68.0	56.5	86.0	5.75	20	19.5	1916.01	2.52
MWGH	001	59.0	47.0	76.0	6.00	20	21.0	2778.53	4.13
	002	63.0	49.0	78.0	7.00	20	19.5	2234.80	2.75
	003	59.0	46.0	72.0	6.50	20	21.0	1719.77	2.54
	004	62.0	50.0	74.0	6.00	20	19.5	1939.20	2.99
	005	59.0	44.0	78.0	7.50	20	21.5	2597.35	2.99
	006	61.0	44.0	74.0	8.50	20	21.0	2433.52	2.65
	007	61.0	46.0	77.0	7.50	20	20.0	1858.88	2.17
	008	60.0	42.0	77.0	9.00	20	20.0	3417.03	3.33
	009	59.0	46.0	78.0	6.50	20	23.0	2529.51	3.35
	010	58.0	44.0	78.0	7.00	20	20.0	2747.09	3.38
	011	62.0	48.0	78.0	7.00	20	19.5	1956.58	2.41
	012	58.0	47.0	76.0	5.50	20	21.0	2582.46	4.19

表 6. 37 垂直纖維抗拉試驗(孟宗竹-生竹-服務等級 3)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	內徑 D_i (mm)	長度 L (mm)	竹壁厚 δ (mm)	孔徑 d (mm)	測定儀含水率(%)	最大強度 F_{ult} (N)	垂直抗拉強度 $f_{t,90}$ (MPa)
ENGH	001	80.0	63.0	122.0	8.50	30	20.0	5676.39	3.63
	002	83.5	62.0	130.0	10.75	30	20.0	5148.69	2.39
	003	78.0	62.0	127.0	8.00	30	20.0	4797.43	3.09
	004	82.5	66.5	118.0	8.00	30	20.0	4498.30	3.19
	005	86.0	60.0	133.0	13.00	30	20.0	4755.29	1.78
	006	74.0	59.0	121.0	7.50	30	20.0	4680.93	3.43
	007	82.5	68.5	178.0	7.00	30	20.0	4169.37	2.01
	008	76.0	51.0	117.0	12.50	30	21.5	3753.56	1.73
	009	88.0	69.0	127.0	9.50	30	21.5	5659.79	3.07
	010	78.0	62.0	113.0	8.00	30	21.0	4245.41	3.20
	011	79.0	61.0	118.0	9.00	30	23.0	5259.85	3.32
	012	78.5	62.5	111.0	8.00	30	21.5	4737.94	3.66
	013	89.0	63.5	132.0	12.75	30	20.0	6241.72	2.40
	014	76.0	60.0	116.0	8.00	30	20.5	5079.85	3.69
	015	78.5	59.0	117.0	9.75	30	21.5	4859.40	2.86

	016	88.0	65.5	130.0	11.25	30	23.0	4224.75	1.88
	017	82.0	66.0	118.0	8.00	30	20.5	5341.16	3.79
ENGT	001	60.0	47.0	87.0	6.50	30	20.5	2881.10	3.89
	002	55.0	42.0	81.0	6.50	30	21.0	2993.59	4.52
	003	57.0	46.0	81.0	5.50	30	20.5	2264.60	4.04
	004	57.0	46.0	87.0	5.50	30	20.0	2852.15	4.55
	005	55.0	42.0	80.0	6.50	30	20.0	2493.13	3.84
	006	59.0	47.0	89.0	6.00	30	20.5	2172.69	3.07
	007	58.0	47.0	90.0	5.50	30	20.0	2435.17	3.69
	008	62.0	47.0	87.0	7.50	30	21.0	3278.10	3.83
	009	58.0	45.0	81.0	6.50	30	20.0	1863.85	2.81
	010	57.0	45.0	82.0	6.00	30	20.5	3117.66	5.00
	011	62.0	49.0	85.0	6.50	30	20.0	3344.26	4.68
	012	59.0	47.0	85.0	6.00	30	20.0	3179.69	4.82
	013	58.0	46.0	87.0	6.00	30	20.0	2166.07	3.17
	014	68.0	54.0	93.0	7.00	30	20.5	3387.26	3.84
	015	59.0	47.0	87.0	6.00	30	20.0	2912.53	4.26
	016	62.0	49.0	86.0	6.50	30	21.0	3051.49	4.19
	017	58.0	45.0	86.0	6.50	30	20.5	3280.59	4.51
EYGH	001	87.5	65.5	119.0	11.00	30	20.0	5453.165	2.79
	002	86.0	65.5	120.0	10.25	30	20.5	4727.198	2.56
	003	80.5	62.5	119.0	9.00	30	20.5	3283.066	2.05
	004	83.5	64.5	123.0	9.50	30	20.5	4487.56	2.54
	005	82.5	64.0	116.0	9.25	30	20.0	3948.662	2.48
	006	79.5	62.0	113.0	8.75	30	21.5	3233.446	2.23
	007	84.0	64.5	123.0	9.75	30	20.0	5693.819	3.14
	008	85.5	64.5	122.0	10.50	30	20.0	4827.174	2.50
	009	85.0	64.0	120.0	10.50	30	20.5	4247.061	2.25
	010	77.5	61.0	114.0	8.25	30	21.0	4460.289	3.22
	011	86.0	65.0	118.0	10.50	30	20.5	5126.295	2.77
	012	81.0	62.5	117.0	9.25	30	21.0	4617.299	2.87
	013	77.5	60.0	110.0	8.75	30	21.5	3542.722	2.53
	014	77.5	59.5	120.0	9.00	30	20.5	3457.552	2.13
	015	77.0	60.0	110.0	8.50	30	20.0	4848.656	3.57
	016	75.5	60.0	113.0	7.75	30	20.0	4199.123	3.26
	017	87.0	66.0	116.0	10.50	30	22.5	4655.31	2.58
	018	82.0	62.0	110.0	10.00	30	20.5	4,459	2.79
EYGT	001	63.0	51.0	89.0	6.00	30	20.0	2729.718	3.86
	002	57.0	46.0	86.0	5.50	30	20.5	1808.371	2.94
	003	59.0	48.0	88.0	5.50	30	20.5	2389.633	3.75
	004	57.0	44.0	81.0	6.50	30	20.5	1829.071	2.76
	005	58.0	47.0	85.0	5.50	30	20.5	2336.64	3.86
	006	58.0	47.0	86.0	5.50	30	20.0	3052.32	4.96
	007	64.0	53.0	92.0	5.50	30	20.5	3163.975	4.64
	008	58.0	45.0	89.0	6.50	30	20.0	2693.317	3.51
	009	67.0	55.0	93.0	6.00	30	20.0	3946.182	5.22
	010	66.0	54.0	91.0	6.00	30	21.0	2734.681	3.74
	011	61.0	48.0	87.0	6.50	30	20.0	2839.74	3.83
	012	61.0	49.0	88.0	6.00	30	20.0	2,452	3.52
	013	61.0	50.0	82.0	5.50	30	21.0	2814.096	4.92
	014	66.0	53.0	88.0	6.50	30	20.5	2700.763	3.58
	015	62.0	51.0	85.0	5.50	30	20.5	3109.389	5.14
	016	58.0	45.0	84.0	6.50	30	20.5	2437.657	3.47
	017	58.0	46.0	86.0	6.00	30	21.0	2312.628	3.44

表 6. 38 垂直纖維抗拉試體

試驗前	試驗後
	

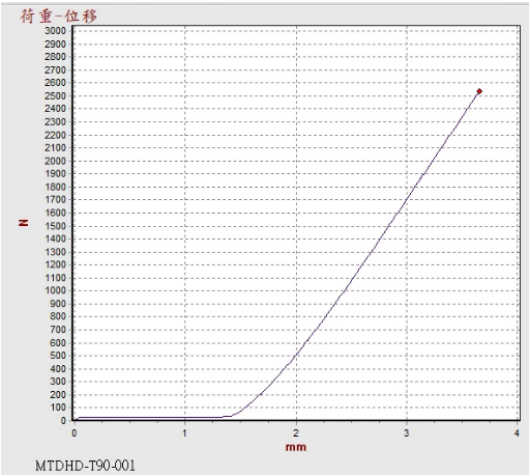


圖 6. 22 垂直纖維抗拉試驗荷重-位移圖

1123425

6.7 垂直纖維抗壓強度

6.7.1 試體準備

垂直纖維方向的竹材抗壓試驗使用橫截的竹段橫向加載，如圖 6. 23 所示。試體應不包含竹節，竹段的長度不應超過竹材的外徑 D，且當試體長度範圍內竹徑變化超過 0.05D 時，不應使用該試體。在試體的上方和下方，即圖中的 N 和 S 端，配置軟木或橡膠加載墊，加載墊的寬度至少為 5 mm，長度與試體相同。如果要利用此試驗來測定圓周向的彈性模數 $E_{m,90}$，則需要獲得最大荷重的 20 % 與 60 % 及其對應的變形量去推算之。

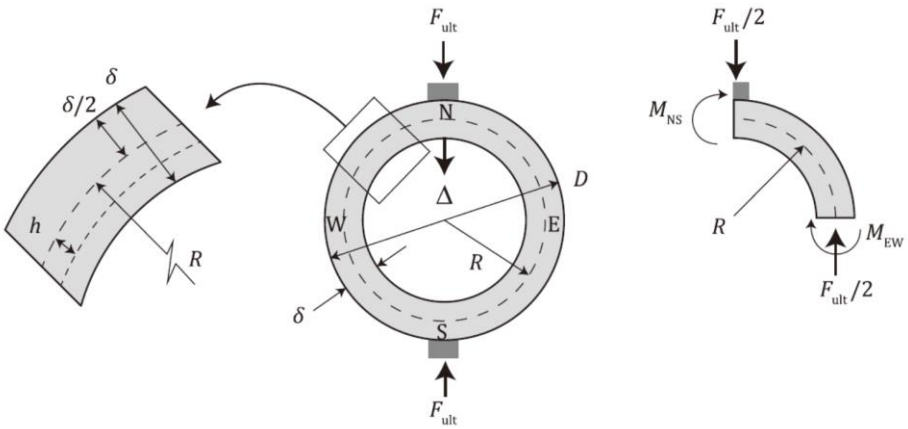


圖 6. 23 垂直纖維方向抗壓試驗裝置示意圖

圖 6. 24 垂直纖維抗拉試驗

1123425

6.7.2 試驗流程

將試體從乾室與濕室取出，取任三顆試體用含水率測定儀測定材料切面三次並取平均，達到要求之服務等級 1 或 3 進行秤重，並將試體放入烘箱 24 小時，並再次進行秤重以及計算含水率，若三顆試體均達到服務等級 1 或 3 的要求，即視為整批試體皆能進行試驗。

進行試驗前，每一顆試體先以含水率測定儀測定含水率，確認該試體符合服務等級 1 或服務等級 3 的要求，丈量試體的外徑、內徑、長度、重量以及測定儀含水率，隨後將試體放置於橡膠加載墊上，試體上方也放一片橡膠加載墊，以 5 mm/min 的速度進行垂直纖維抗壓試驗，試驗完成後，紀錄試體的最大荷重、最大荷重的 20 % 與 60 % 及對應的位移，以利後續求得垂直纖維抗壓強度及圓周向彈性模數。

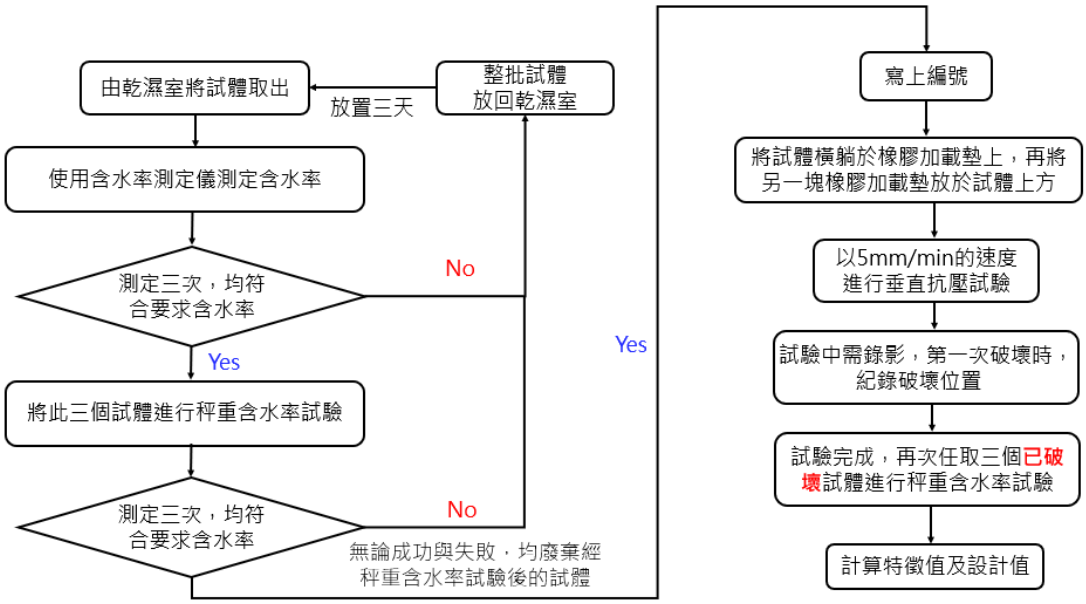


圖 6. 25 垂直纖維抗壓試驗流程

1123425

6.7.3 垂直纖維抗壓強度及彈性模數

試驗時需記錄破壞位置所在之四分之一圓周象限，即圖 6.21 中所示 N、S、E、W，計算垂直纖維方向抗壓強度時，只納入破壞發生在 N-S 或 E-W 對角象限者。

當破壞發生於 N 或 S 象限，其垂直纖維方向抗壓強度 $f_{m,90,NS}$ ，依式(6.8)計算：

$$f_{m,90,NS} = \frac{M_{ult,NS}}{L\delta h}\frac{(R - R_i - h)}{R_i} \tag{6.8}$$

$$h = R - \delta / ln\left(\frac{2R + \delta}{2R - \delta}\right) \tag{6.9}$$

$$M_{ult,NS} = \left(F_{ult} \times \frac{R}{\pi}\right)\left(1 - \left(\frac{\delta^2}{12R^2}\right)\right) \tag{6.10}$$

當破壞發生於 E 或 W 象限，其垂直纖維方向抗壓強度 $f_{m,90,EW}$ ，依式(6.11)計算：

$$f_{m,90,EW} = \frac{M_{ult,EW}}{L\delta h}\frac{(R - R_0 - h)}{R_0} - \frac{p}{2L\delta} \tag{6.11}$$

$$M_{ult,EW} = \left(F_{ult} \times \frac{R}{\pi}\right)\left(1 - \left(\frac{\delta^2}{12R^2}\right)\right) + \frac{F_{ult}R}{2} \tag{6.12}$$

圓周向彈性模數或稱為垂直纖維方向彈性模數 $E_{m,90}$，根據式(6.13)計算：

$$E_{m,90} = \frac{3D^3(F_{60} - F_{20})}{2L\delta^3(\Delta_{60} - \Delta_{20})}\left(\frac{\pi k_1}{4} - \frac{2k_2^2}{\pi}\right) \tag{6.13}$$

其中

$$k_1 \approx 1 + 7.6\frac{\delta^2}{D^2} \tag{6.14}$$

$$k_2 = 1 - 3\frac{\delta^2}{3D^2} \tag{6.15}$$

L：試體長度 (mm)

δ：破壞時該象限的壁厚 (mm)

1123425

$R = 0.5(D - \delta)$：中心點至竹壁中線距離 (mm)

R_i：內半徑尺寸 (mm)

D：外直徑尺寸 (mm)

h ：中性軸位置 (mm)

$R_0 = 0.5D$：外直徑之半(mm)

F_{ult}：最大荷重 (N)

$M_{ult,NS}$：垂直於 N-S 象限纖維之彎矩 (N-mm)

$M_{ult,EW}$：垂直於 E-W 象限纖維之彎矩 (N-mm)

F_{20} ：F_{ult}的 20%(N)

F_{60}：F_{ult}的 60%(N)

Δ_{20}： F_{20}對應之位移量 (mm)

Δ_{60}： F_{60}對應之位移量 (mm)

6.7.4 垂直纖維抗壓強度在不同破壞方向的表示

由 6.7 節中，由 N-S 方向的(6.8)式及 E-W 方向的(6.11)式分別得到正號與負號的抗壓強度，抗壓強度的正負號代表彎矩造成的應力分布，其拉應力在試體內壁，破壞點在內壁為正，在外壁為負。因兩方向的破壞行為及計算出的強度有所差異，為了使結果更具有代表性，本研究將 N-S 方向破壞及 E-W 方向破壞分別計算，而後續計算其平均值、特徵值及設計值時，所得到的負值謹代表 E-W 方向破壞的的抗壓強度。

表 6. 39 垂直纖維抗壓試驗(桂竹-乾燥竹-服務等級 1)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	外半徑 R_o (mm)	內徑 d (mm)	內半徑 R_i (mm)	竹壁厚 δ (mm)	竹壁中心線半徑 R (mm)	中性軸 h (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	極限強度 f_{ult} (N)	破壞象限	極限彎矩 M_{ult} (N-mm)	抗壓強度 $f_{c,90}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)
MTDH	001	56.80	28.40	47.90	23.95	4.45	26.18	0.06	47.30	731.86	10.8	573.64	E-W	2739.58	-17.96	2865.34
	002	56.05	28.03	47.55	23.78	4.25	25.90	0.06	47.30	691.62	11.4	511.88	E-W	2418.24	-17.37	3205.78
	003	56.50	28.25	47.70	23.85	4.40	26.05	0.06	44.50	720.18	11.6	439.27	E-W	2087.74	-14.88	1902.49
	004	55.40	27.70	45.10	22.55	5.15	25.13	0.09	44.40	813.00	11.1	498.26	E-W	2288.48	-12.00	1271.49
	005	57.50	28.75	49.00	24.50	4.25	26.63	0.06	47.40	710.98	11.6	430.41	E-W	2089.83	-14.97	2003.04
	006	57.50	28.75	49.20	24.60	4.15	26.68	0.05	44.40	695.56	11.5	429.78	E-W	2090.32	-16.75	2293.76
	007	56.40	28.20	47.65	23.83	4.38	26.01	0.06	44.70	715.06	11.5	557.61	E-W	2646.27	-18.99	3063.76
	008	56.20	28.10	47.65	23.83	4.28	25.96	0.06	44.20	697.37	11.3	540.51	E-W	2559.76	-19.45	2344.60
	009	54.00	27.00	45.40	22.70	4.30	24.85	0.06	48.30	671.39	11.5	508.47	E-W	2305.80	-15.86	1724.03
	010	56.85	28.43	48.20	24.10	4.33	26.26	0.06	43.50	713.68	11.4	478.12	E-W	2290.44	-17.28	3086.28
	011	55.30	27.65	48.00	24.00	3.65	25.83	0.04	45.60	592.26	11.8	452.29	E-W	2128.41	-21.43	2589.04
MJDT	001	40.60	20.30	34.80	17.40	2.90	18.85	0.04	38.40	343.47	11.1	450.43	E-W	1547.98	-29.37	4614.89
	002	37.00	18.50	30.80	15.40	3.10	16.95	0.05	36.30	330.15	10.8	395.18	E-W	1222.97	-21.57	3345.47
	003	36.00	18.00	29.70	14.85	3.15	16.43	0.05	38.60	325.08	10.7	469.65	E-W	1409.09	-22.67	3362.36
	004	50.30	25.15	45.60	22.80	2.35	23.98	0.02	34.90	354.00	9.5	475.45	E-W	2073.95	-65.41	15678.32
	005	36.00	18.00	30.50	15.25	2.75	16.63	0.04	36.60	287.26	10.4	481.13	E-W	1459.10	-32.36	4386.26
	006	36.80	18.40	30.80	15.40	3.00	16.90	0.04	37.00	318.56	10.8	490.51	E-W	1513.07	-27.94	3632.70
	007	40.90	20.45	34.70	17.35	3.10	18.90	0.04	36.30	368.13	11.2	420.38	E-W	1449.22	-25.49	3787.27
	008	40.50	20.25	34.70	17.35	2.90	18.80	0.04	38.30	342.56	11.3	461.25	E-W	1580.99	-30.08	4794.86
	009	51.00	25.50	41.00	20.50	5.00	23.00	0.09	36.00	722.57	9.4	574.68	E-W	2418.07	-16.62	2274.69
	010	36.80	18.40	30.60	15.30	3.10	16.85	0.05	39.00	328.20	10.1	501.04	E-W	1541.51	-25.31	3702.19
	011	53.70	26.85	41.90	20.95	5.90	23.90	0.12	35.60	885.99	11.6	436.24	E-W	1911.18	-9.58	1495.06
	012	36.00	18.00	29.00	14.50	3.50	16.25	0.06	38.80	357.36	11.4	436.41	E-W	1297.22	-16.88	1934.73
MWDT	001	47.40	23.70	41.00	20.50	3.20	22.10	0.04	36.30	444.35	10.5	428.08	E-W	1724.16	-28.38	3986.68
	002	41.20	20.60	35.50	17.75	2.85	19.18	0.04	37.50	343.37	11.5	292.39	E-W	1021.94	-20.54	3245.46
	003	40.80	20.40	33.20	16.60	3.80	18.50	0.07	35.70	441.71	10.5	356.77	E-W	1206.57	-14.45	1955.28
	004	40.60	20.30	33.10	16.55	3.75	18.43	0.06	47.40	434.13	11.3	365.88	E-W	1232.25	-11.41	1590.84
	005	46.60	23.30	40.20	20.10	3.20	21.70	0.04	34.00	436.30	11.3	322.12	E-W	1274.05	-22.40	2391.69
	006	41.20	20.60	35.40	17.70	2.90	19.15	0.04	35.00	348.94	11.0	321.08	E-W	1120.90	-23.33	3317.32
	007	39.90	19.95	33.50	16.75	3.20	18.35	0.05	36.60	368.95	11.4	413.65	E-W	1385.24	-22.72	3403.16
	008	41.90	20.95	36.30	18.15	2.80	19.55	0.03	34.20	343.94	11.4	278.00	E-W	990.41	-22.60	3664.34
	009	40.80	20.40	34.10	17.05	3.35	18.73	0.05	36.70	394.14	11.1	310.50	E-W	1061.29	-15.85	2416.99
	010	48.30	24.15	41.40	20.70	3.45	22.43	0.04	36.40	486.11	11.0	387.48	E-W	1584.19	-22.40	3494.17
	011	48.00	24.00	41.80	20.90	3.10	22.45	0.04	34.80	437.28	11.4	405.18	E-W	1657.30	-30.30	4419.82
	012	41.50	20.75	35.30	17.65	3.10	19.20	0.04	35.40	373.98	11.1	337.45	E-W	1181.65	-21.31	3142.13

試體種類	編號	外徑 D (mm)	外半徑 R_o (mm)	內徑 d (mm)	內半徑 R_i (mm)	竹壁厚 δ (mm)	竹壁中心線半徑 R (mm)	中性軸 h (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	極限強度 f_{ult} (N)	破壞象限	極限彎矩 M_{ult} (N-mm)	抗壓強度 $f_{c,90}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)
MTDT	001	45.00	22.50	40.00	20.00	2.50	21.25	0.02	51.00	333.79	11.2	347.93	E-W	1346.02	-25.74	1527.60
	002	44.00	22.00	36.00	18.00	4.00	20.00	0.07	55.00	502.65	10.7	386.93	E-W	1414.22	-9.91	596.90
	003	46.00	23.00	40.00	20.00	3.00	21.50	0.03	50.00	405.27	11.2	332.46	E-W	1302.40	-17.70	1014.37
	004	49.00	24.50	43.00	21.50	3.00	23.00	0.03	56.00	433.54	11.2	314.76	E-W	1318.62	-15.98	1038.53
	005	49.00	24.50	38.00	19.00	5.50	21.75	0.12	50.00	751.63	11.7	377.84	E-W	1507.08	-6.20	289.94
	006	44.00	22.00	36.00	18.00	4.00	20.00	0.07	53.00	502.65	11.7	319.09	E-W	1166.29	-8.48	363.56
	007	44.00	22.00	38.00	19.00	3.00	20.50	0.04	47.00	386.42	11.7	337.75	E-W	1261.95	-18.26	1033.45
	008	49.00	24.50	42.00	21.00	3.50	22.75	0.04	53.00	500.30	11.8	455.15	E-W	1887.84	-17.82	904.40
	009	42.00	21.00	36.00	18.00	3.00	19.50	0.04	54.00	367.57	11.3	292.19	E-W	1038.79	-13.10	635.32
	010	45.00	22.50	38.00	19.00	3.50	20.75	0.05	51.00	456.32	11.6	401.04	E-W	1518.24	-14.92	710.33
	011	44.00	22.00	39.00	19.50	2.50	20.75	0.03	51.00	325.94	11.6	302.89	E-W	1144.35	-21.89	1339.26
	012	48.00	24.00	42.00	21.00	3.00	22.50	0.03	53.00	424.12	11.6	351.38	E-W	1440.19	-18.45	1061.29
MWDH	001	54.00	27.00	37.00	18.50	8.50	22.75	0.27	51.00	1215.01	10.7	2405.02	E-W	10143.64	-17.43	498.65
	002	52.00	26.00	39.00	19.50	6.50	22.75	0.16	46.00	929.13	10.7	1583.62	E-W	6623.82	-21.30	827.40
	003	61.00	30.50	49.00	24.50	6.00	27.50	0.11	49.00	1036.73	10.0	1320.23	E-W	6642.35	-23.29	1174.14
	004	51.00	25.50	38.00	19.00	6.50	22.25	0.16	46.00	908.71	11.7	1485.08	E-W	6078.39	-19.56	781.73
	005	57.00	28.50	42.00	21.00	7.50	24.75	0.19	49.00	1166.32	9.0	2231.85	E-W	10170.78	-23.12	897.73
	006	55.00	27.50	43.00	21.50	6.00	24.50	0.12	46.00	923.63	11.3	1695.35	E-W	7612.77	-28.55	979.42
	007	60.00	30.00	46.00	23.00	7.00	26.50	0.15	50.00	1165.53	10.2	1983.77	E-W	9648.74	-24.53	837.05
	008	55.00	27.50	41.00	20.50	7.00	24.00	0.17	44.00	1055.58	11.7	1663.52	E-W	7343.98	-21.30	763.05
	009	58.00	29.00	42.00	21.00	8.00	25.00	0.21	47.00	1256.64	8.4	2515.70	E-W	11597.77	-24.21	863.68
	010	60.00	30.00	48.00	24.00	6.00	27.00	0.11	48.00	1017.88	10.7	1410.60	E-W	6969.77	-24.96	911.64
	011	59.00	29.50	43.00	21.50	8.00	25.50	0.21	41.00	1281.77	11.7	2007.73	E-W	9435.69	-22.56	833.13
	012	54.00	27.00	38.00	19.00	8.00	23.00	0.23	42.00	1156.11	10.7	1978.18	E-W	8412.58	-19.74	421.30
MJDH	001	56.00	28.00	38.00	19.00	9.00	23.50	0.29	46.00	1328.89	10.2	2440.02	E-W	10641.29	-18.10	2965.83
	002	55.00	27.50	31.00	15.50	12.00	21.50	0.57	51.00	1621.06	10.2	7700.21	E-W	31447.65	-27.82	3556.16
	003	56.00	28.00	40.00	20.00	8.00	24.00	0.22	47.00	1206.37	9.7	2238.79	N-S	16944.75	38.00	4139.25
	004	48.00	24.00	28.00	14.00	10.00	19.00	0.45	49.00	1193.81	11.2	5161.02	E-W	18536.94	-24.47	2964.99
	005	50.00	25.00	33.00	16.50	8.50	20.75	0.29	50.00	1108.20	10.7	3255.00	E-W	12572.20	-22.15	3213.62
	006	47.00	23.50	33.00	16.50	7.00	20.00	0.21	49.00	879.65	10.8	2477.27	E-W	9162.90	-24.07	3533.09
	007	56.00	28.00	39.00	19.50	8.50	23.75	0.26	45.00	1268.42	11.6	2481.86	E-W	10909.86	-21.19	2771.17
	008	54.00	27.00	30.00	15.00	12.00	21.00	0.58	49.00	1583.36	11.6	4555.04	E-W	18208.23	-16.79	1877.44
	009	49.00	24.50	32.00	16.00	8.50	20.25	0.30	51.00	1081.49	11.2	3740.40	E-W	14115.78	-24.42	3098.97
	010	55.00	27.50	40.00	20.00	7.50	23.75	0.20	47.00	1119.19	10.7	2604.37	E-W	11401.85	-27.07	3992.53
	011	57.00	28.50	40.00	20.00	8.50	24.25	0.25	44.00	1295.12	9.1	3443.43	E-W	15443.82	-30.65	5723.33
	012	60.00	30.00	45.00	22.50	7.50	26.25	0.18	50.00	1237.00	10.8	1791.23	N-S	14865.06	35.03	2858.82

表 6. 40 垂直纖維抗壓試驗(孟宗竹-乾燥竹-服務等級 1)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	外半徑 R_o (mm)	內徑 d (mm)	內半徑 R_i (mm)	竹壁厚 δ (mm)	竹壁中心線半徑 R (mm)	中性軸 h (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	極限強度 f_{ult} (N)	破壞象限	極限彎矩 M_{ult} (N-mm)	抗壓強度 $f_{c,90}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)
ENDH	1	77.00	38.50	65.00	32.50	6.00	35.50	0.08	67.00	1338.32	10.5	818.05	E-W	5298.41	-13.49	1861.26
	2	79.00	39.50	60.50	30.25	9.25	34.88	0.21	70.00	2026.92	9.0	1507.89	E-W	9652.78	-10.04	2953.45
	3	73.50	36.75	58.50	29.25	7.50	33.00	0.14	67.00	1555.09	7.5	2720.39	E-W	16433.81	-27.01	922.99
	4	75.00	37.50	62.00	31.00	6.50	34.25	0.10	67.50	1398.79	11.0	972.72	E-W	6084.98	-13.14	2920.84
	5	82.00	41.00	68.50	34.25	6.75	37.63	0.10	67.00	1595.73	7.0	1465.70	E-W	10066.77	-20.28	6565.16
	6	78.50	39.25	61.00	30.50	8.75	34.88	0.18	69.50	1917.35	8.0	2022.37	E-W	12932.42	-15.11	2958.50
	7	85.50	42.75	63.00	31.50	11.25	37.13	0.29	65.00	2624.21	8.0	1979.36	E-W	13530.27	-10.30	2533.58
	8	76.50	38.25	59.00	29.50	8.75	33.88	0.19	67.50	1862.38	7.5	2527.73	E-W	15709.12	-18.92	3167.70
	9	73.00	36.50	58.50	29.25	7.25	32.88	0.13	68.00	1497.56	8.0	2878.30	E-W	17314.34	-29.97	4377.72
	10	74.50	37.25	59.00	29.50	7.75	33.38	0.15	69.50	1625.19	8.0	2416.10	E-W	14766.31	-21.93	884.00
	11	95.00	47.50	78.00	39.00	8.50	43.25	0.14	65.00	2309.86	11.0	1310.20	E-W	10353.74	-13.59	5153.18
	12	81.00	40.50	68.00	34.00	6.50	37.25	0.09	68.50	1521.32	10.0	1493.83	E-W	10155.10	-21.57	3544.66
	13	74.00	37.00	59.00	29.50	7.50	33.25	0.14	68.50	1566.87	7.5	2854.33	N-S	30081.53	50.63	4062.42
	14	77.00	38.50	60.00	30.00	8.50	34.25	0.18	65.50	1829.19	11.0	2794.80	E-W	17548.08	-23.04	3790.27
	15	68.50	34.25	58.50	29.25	5.00	31.75	0.07	72.00	997.46	10.5	1191.09	N-S	12012.69	42.25	3298.42
	16	89.50	44.75	71.00	35.50	9.25	40.13	0.18	68.00	2332.04	8.5	2333.38	E-W	17143.07	-18.26	3325.52
ENDT	1	59.00	29.50	51.00	25.50	4.00	27.50	0.05	47.50	691.15	8.0	561.63	E-W	2814.85	-22.67	3869.72
	2	59.00	29.50	49.50	24.75	4.75	27.13	0.07	47.00	809.55	7.0	808.95	E-W	4004.63	-23.21	3199.03
	3	57.00	28.50	49.50	24.75	3.75	26.63	0.04	44.50	627.34	7.0	728.72	N-S	3535.37	-34.55	4528.64
	4	57.50	28.75	49.50	24.75	4.00	26.75	0.05	44.00	672.30	8.5	674.95	E-W	3291.12	-28.63	4132.42
	5	65.00	32.50	55.00	27.50	5.00	30.00	0.07	41.00	942.48	8.5	714.66	E-W	3911.17	-23.42	4318.83
	6	58.50	29.25	51.50	25.75	3.50	27.50	0.04	45.50	604.76	10.0	603.82	N-S	3024.09	-33.12	4916.50
	7	64.00	32.00	55.00	27.50	4.50	29.75	0.06	42.50	841.16	6.0	746.91	E-W	4050.76	-28.83	5343.59
	8	62.00	31.00	51.50	25.75	5.25	28.38	0.08	46.50	936.00	8.0	810.60	E-W	4199.92	-20.17	2659.51
	9	59.00	29.50	49.50	24.75	4.75	27.13	0.07	48.50	809.55	4.0	1110.03	E-W	5495.11	-30.87	4869.73
	10	59.00	29.50	50.50	25.25	4.25	27.38	0.06	45.50	731.01	8.5	662.54	E-W	3306.94	-24.66	3310.01
	11	60.00	30.00	49.00	24.50	5.50	27.25	0.09	52.00	941.69	6.5	1149.73	E-W	5726.25	-22.46	3457.10
	12	58.00	29.00	49.50	24.75	4.25	26.88	0.06	50.50	717.66	9.0	758.49	E-W	3717.18	-24.99	3326.99
	13	65.00	32.50	54.50	27.25	5.25	29.88	0.08	53.00	985.48	6.5	1056.27	E-W	5759.25	-24.23	3723.64
	14	59.00	29.50	48.50	24.25	5.25	26.88	0.09	47.50	886.52	5.0	813.91	E-W	3996.41	-18.82	2905.63
	15	62.00	31.00	53.00	26.50	4.50	28.75	0.06	49.00	812.89	6.0	892.49	E-W	4678.68	-28.90	4001.97
	16	63.00	31.50	54.50	27.25	4.25	29.38	0.05	47.00	784.42	5.5	805.64	E-W	4312.96	-31.09	4738.92
	17	61.00	30.50	51.00	25.50	5.00	28.00	0.07	47.50	879.65	5.0	900.76	E-W	4603.81	-23.84	3482.83
	18	54.00	27.00	47.00	23.50	3.50	25.25	0.04	43.50	555.28	6.0	643.52	N-S	2960.54	-33.97	4116.39

試體種類	編號	外徑 D (mm)	外半徑 R_o (mm)	內徑 d (mm)	內半徑 R_i (mm)	竹壁厚 δ (mm)	竹壁中心線半徑 R (mm)	中性軸 h (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	極限強度 f_{ult} (N)	破壞象限	極限彎矩 M_{ult} (N-mm)	抗壓強度 $f_{c,90}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)
EYDH	1	104.00	52.00	87.50	43.75	8.25	47.88	0.12	74.00	2481.66	7.0	1931.39	E-W	16872.84	-20.58	3181.19
	2	105.50	52.75	87.50	43.75	9.00	48.25	0.14	70.00	2728.47	6.5	1694.82	N-S	14933.22	-16.22	3230.89
	3	102.00	51.00	85.50	42.75	8.25	46.88	0.12	67.00	2429.83	6.5	1886.72	N-S	16141.35	-21.76	3983.01
	4	100.00	50.00	82.00	41.00	9.00	45.50	0.15	73.50	2572.96	6.0	2368.12	E-W	19688.85	-20.39	2941.98
	5	97.00	48.50	82.00	41.00	7.50	44.75	0.10	71.00	2108.79	5.5	2377.22	E-W	19407.56	-29.84	4760.41
	6	107.00	53.50	87.00	43.50	10.00	48.50	0.17	66.50	3047.34	7.0	1768.44	N-S	15680.15	-14.56	3585.94
	7	106.00	53.00	90.00	45.00	8.00	49.00	0.11	69.00	2463.01	7.0	2292.02	N-S	20484.87	-28.46	4528.14
	8	112.00	56.00	89.50	44.75	11.25	50.38	0.21	69.00	3560.80	7.0	2922.12	N-S	26939.85	-19.10	3073.45
	9	110.50	55.25	90.00	45.00	10.25	50.13	0.18	72.00	3228.18	7.0	2601.32	E-W	23835.44	-19.45	3405.29
	10	104.00	52.00	88.50	44.25	7.75	48.13	0.10	64.00	2343.43	6.5	2105.09	E-W	18476.24	-29.48	4542.79
	11	100.00	50.00	83.00	41.50	8.50	45.75	0.13	68.00	2443.37	7.0	2259.76	E-W	18878.55	-23.66	3749.77
	12	97.00	48.50	81.00	40.50	8.00	44.50	0.12	68.00	2236.81	7.0	1449.99	N-S	11778.77	-16.65	3932.32
	13	98.00	49.00	82.00	41.00	8.00	45.00	0.12	63.00	2261.95	6.0	1875.14	E-W	15402.00	-23.49	4006.98
	14	97.50	48.75	81.50	40.75	8.00	44.75	0.12	62.00	2249.38	4.0	1938.01	E-W	15830.73	-24.53	3872.42
	15	95.50	47.75	80.00	40.00	7.75	43.88	0.11	67.00	2136.48	7.0	1981.84	E-W	15870.53	-24.25	3708.46
	16	97.50	48.75	81.00	40.50	8.25	44.63	0.13	74.00	2313.19	5.5	1064.54	E-W	8674.26	-10.60	3432.00
	17	105.50	52.75	85.50	42.75	10.00	47.75	0.18	71.00	3000.22	7.5	2422.71	N-S	21153.31	-18.41	3290.32
EYDT	1	90.00	45.00	75.00	37.50	7.50	41.25	0.11	68.50	1943.86	5.5	1889.20	E-W	14227.38	-22.72	3807.46
	2	93.00	46.50	79.00	39.50	7.00	43.00	0.10	68.00	1891.24	4.5	2028.16	E-W	15906.68	-29.29	4331.31
	3	93.00	46.50	78.00	39.00	7.50	42.75	0.11	69.00	2014.55	5.5	1741.14	E-W	13584.67	-21.51	4167.41
	4	97.00	48.50	82.50	41.25	7.25	44.88	0.10	70.00	2044.20	5.5	1577.37	E-W	12909.84	-21.52	4750.51
	5	92.00	46.00	78.50	39.25	6.75	42.63	0.09	66.00	1807.79	4.5	1094.32	N-S	8506.00	-17.34	4429.81
	6	90.00	45.00	76.00	38.00	7.00	41.50	0.10	66.50	1825.27	6.0	1479.77	E-W	11203.98	-21.11	3979.20
	7	96.50	48.25	81.50	40.75	7.50	44.50	0.11	66.00	2097.01	5.5	1689.03	E-W	13712.82	-22.68	4096.27
	8	88.00	44.00	74.00	37.00	7.00	40.50	0.10	71.50	1781.28	3.5	1515.33	E-W	11199.13	-19.64	3127.33
	9	91.00	45.50	76.00	38.00	7.50	41.75	0.11	72.50	1967.42	5.0	1864.39	E-W	14209.06	-21.43	3651.34
	10	93.00	46.50	79.50	39.75	6.75	43.13	0.09	69.50	1829.00	4.0	2160.51	E-W	16988.96	-32.89	5150.13
	11	93.00	46.50	79.00	39.50	7.00	43.00	0.10	69.50	1891.24	5.5	1478.11	E-W	11592.68	-20.89	4375.02
	12	94.50	47.25	80.00	40.00	7.25	43.63	0.10	69.00	1987.25	4.5	1505.41	E-W	11980.32	-20.28	3960.88
	13	98.00	49.00	83.00	41.50	7.50	45.25	0.10	69.50	2132.36	6.0	1703.92	N-S	14064.94	-22.08	4189.05
	14	93.00	46.50	78.00	39.00	7.50	42.75	0.11	67.00	2014.55	3.5	1596.39	E-W	12455.31	-20.31	4335.29
	15	97.00	48.50	82.00	41.00	7.50	44.75	0.10	65.50	2108.79	6.0	1354.87	E-W	11061.09	-18.43	4194.54
	16	98.00	49.00	83.00	41.50	7.50	45.25	0.10	67.00	2132.36	4.5	1927.25	E-W	15908.41	-25.91	4970.47
	17	92.00	46.00	78.00	39.00	7.00	42.50	0.10	63.50	1869.25	7.0	1283.73	N-S	9952.02	-19.63	3650.91

表 6. 41 垂直纖維抗壓試驗(桂竹-生竹-服務等級 1)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	外半徑 R_o (mm)	內徑 d (mm)	內半徑 R_i (mm)	竹壁厚 δ (mm)	竹壁中心線半徑 R (mm)	中性軸 h (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	極限強度 f_{ult} (N)	破壞象限	極限彎矩 M_{ult} (N-mm)	抗壓強度 $f_{c,90}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)
MTGH	001	57.50	28.75	48.00	24.00	4.75	26.38	0.07	50.50	787.17	10.0	776.691	E-W	3739.59	-20.19	3859.70
	002	57.50	28.75	47.00	23.50	5.25	26.13	0.09	47.00	861.78	10.0	706.383	E-W	3372.72	-16.06	2905.52
	003	56.50	28.25	45.00	22.50	5.75	25.38	0.11	49.00	916.76	11.0	1143.944	E-W	5313.56	-20.31	3652.04
	004	58.50	29.25	48.50	24.25	5.00	26.75	0.08	47.00	840.38	10.5	605.471	E-W	2957.73	-15.50	3078.91
	005	57.00	28.50	45.50	22.75	5.75	25.63	0.11	45.50	925.79	10.5	1346.595	E-W	6315.58	-25.99	4040.62
	006	57.50	28.75	48.00	24.00	4.75	26.38	0.07	50.50	787.17	10.0	599	E-W	2883.34	-15.57	3487.04
	007	57.00	28.50	48.00	24.00	4.50	26.25	0.06	47.00	742.20	10.5	623.669	E-W	2987.27	-19.28	3904.45
	008	58.00	29.00	45.50	22.75	6.25	25.88	0.13	44.50	1016.11	10.5	1048.822	E-W	4972.76	-17.76	3219.06
	009	57.00	28.50	43.00	21.50	7.00	25.00	0.16	52.00	1099.56	12.0	765.111	E-W	3515.11	-8.61	2072.37
	010	59.00	29.50	48.00	24.00	5.50	26.75	0.09	50.00	924.41	9.5	687.359	E-W	3361.33	-13.72	2848.93
MJGT	001	49.00	24.50	42.50	21.25	3.25	22.88	0.04	51.00	467.12	9.5	429.289	E-W	1789.45	-20.32	4150.88
	002	53.00	26.50	46.00	23.00	3.50	24.75	0.04	53.00	544.28	9.5	423.499	E-W	1909.96	-17.99	3955.38
	003	49.00	24.50	42.00	21.00	3.50	22.75	0.04	50.00	500.30	9.5	379.66	E-W	1574.73	-15.75	3849.40
	004	51.00	25.50	44.00	22.00	3.50	23.75	0.04	50.00	522.29	9.5	410.265	E-W	1775.96	-17.75	3925.14
	005	52.00	26.00	44.00	22.00	4.00	24.00	0.06	52.50	603.19	9.5	425.153	E-W	1861.42	-13.60	2761.02
	006	55.00	27.50	47.00	23.50	4.00	25.50	0.05	55.00	640.88	10.0	535.991	E-W	2492.22	-17.36	3016.44
	007	52.00	26.00	44.50	22.25	3.75	24.13	0.05	49.50	568.43	9.5	367.253	E-W	1615.45	-14.22	3167.96
	008	51.00	25.50	44.00	22.00	3.50	23.75	0.04	53.00	522.29	9.5	351.537	E-W	1521.74	-14.35	3937.03
	009	51.00	25.50	44.50	22.25	3.25	23.88	0.04	47.50	487.54	8.0	388.759	E-W	1690.94	-20.60	4525.93
	010	54.50	27.25	46.00	23.00	4.25	25.13	0.06	49.00	670.93	10.0	447.486	E-W	2051.29	-14.23	2700.00
MWGT	001	53.50	26.75	46.00	23.00	3.75	24.88	0.05	43.00	586.10	10.0	411.92	E-W	1867.86	-18.92	3623.49
	002	53.50	26.75	46.00	23.00	3.75	24.88	0.05	45.00	586.10	8.0	464.86	E-W	2107.91	-20.40	3799.95
	003	53.50	26.75	46.50	23.25	3.50	25.00	0.04	45.00	549.78	8.0	349.06	E-W	1590.04	-17.64	4049.75
	004	53.00	26.50	45.00	22.50	4.00	24.50	0.05	42.00	615.75	10.5	341.61	E-W	1526.57	-13.94	2991.19
	005	55.00	27.50	46.00	23.00	4.50	25.25	0.07	43.50	713.93	8.5	371.39	E-W	1711.71	-11.95	2636.89
	006	55.00	27.50	47.00	23.50	4.00	25.50	0.05	43.00	640.88	11.0	427.64	E-W	1988.39	-17.72	3422.18
	007	53.00	26.50	44.00	22.00	4.50	24.25	0.07	43.00	685.65	10.5	422.67	N-S	1871.65	-13.23	2492.22
	008	52.50	26.25	44.00	22.00	4.25	24.13	0.06	45.50	644.22	10.5	399.51	E-W	1759.10	-13.16	2609.53
	009	54.00	27.00	47.00	23.50	3.50	25.25	0.04	46.00	555.28	9.5	404.48	E-W	1860.81	-20.19	4304.54
	010	51.00	25.50	43.00	21.50	4.00	23.50	0.06	44.00	590.62	9.5	500.42	E-W	2145.71	-18.72	2912.04
	011	52.00	26.00	45.00	22.50	3.50	24.25	0.04	44.50	533.29	12.0	340.78	E-W	1506.06	-16.91	3673.04

試體種類	編號	外徑 D (mm)	外半徑 R_o (mm)	內徑 d (mm)	內半徑 R_i (mm)	竹壁厚 δ (mm)	竹壁中心線半徑 R (mm)	中性軸 h (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	極限強度 f_{ult} (N)	破壞象限	極限彎矩 M_{ult} (N-mm)	抗壓強度 $f_{c,90}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)
MTGT	001	50.00	25.00	42.50	21.25	3.75	23.13	0.05	51.50	544.87	9.5	405.302	E-W	1709.45	-14.48	2254.76
	002	51.00	25.50	44.00	22.00	3.50	23.75	0.04	51.50	522.29	10.0	465.684	E-W	2015.86	-19.56	2788.98
	003	49.00	24.50	42.00	21.00	3.50	22.75	0.04	51.50	500.30	11.5	460	E-W	1907.51	-18.53	2574.08
	004	53.00	26.50	45.50	22.75	3.75	24.63	0.05	49.00	580.21	11.0	500.424	E-W	2246.54	-19.97	2506.33
	005	53.00	26.50	45.00	22.50	4.00	24.50	0.05	50.00	615.75	11.5	403.648	E-W	1803.79	-13.83	2187.81
	006	51.00	25.50	44.00	22.00	3.50	23.75	0.04	48.00	522.29	11.5	474.782	E-W	2055.25	-21.40	3559.09
	007	50.00	25.00	43.00	21.50	3.50	23.25	0.04	51.50	511.29	10.5	375.525	E-W	1591.58	-15.45	2875.63
	008	52.00	26.00	44.00	22.00	4.00	24.00	0.06	50.50	603.19	11.5	605.471	E-W	2650.90	-20.14	2495.46
	009	51.00	25.50	44.00	22.00	3.50	23.75	0.04	49.00	522.29	11.0	403.648	E-W	1747.32	-17.82	3212.71
	010	52.00	26.00	45.00	22.50	3.50	24.25	0.04	49.50	533.29	10.0	421.018	E-W	1860.64	-18.78	3072.59
	011	51.00	25.50	44.00	22.00	3.50	23.75	0.04	49.00	522.29	10.5	415.228	E-W	1797.45	-18.33	3119.77
MWGH	001	64.00	32.00	53.50	26.75	5.25	29.38	0.08	54.00	968.98	11.5	640.211	E-W	3432.83	-14.18	3366.90
	002	64.00	32.00	53.50	26.75	5.25	29.38	0.08	51.50	968.98	11.5	709.692	E-W	3805.39	-16.49	3893.74
	003	64.50	32.25	53.50	26.75	5.50	29.50	0.09	49.00	1019.45	11.5	648.483	E-W	3493.42	-14.51	2487.02
	004	65.00	32.50	53.50	26.75	5.75	29.63	0.09	52.00	1070.30	11.5	813.912	E-W	4405.03	-15.79	3866.96
	005	65.00	32.50	52.50	26.25	6.25	29.38	0.11	50.00	1153.55	11.5	993.403	E-W	5336.98	-16.89	3518.07
	006	64.50	32.25	54.50	27.25	5.00	29.75	0.07	51.00	934.62	10.5	701.42	E-W	3807.01	-18.33	3661.19
	007	64.50	32.25	54.50	27.25	5.00	29.75	0.07	54.00	934.62	11.0	844.517	E-W	4583.68	-20.85	4098.00
	008	64.50	32.25	51.50	25.75	6.50	29.00	0.12	54.50	1184.38	11.5	1119.957	E-W	5944.35	-15.98	3532.76
	009	64.50	32.25	52.00	26.00	6.25	29.13	0.11	53.00	1143.74	12.0	939.639	E-W	5005.74	-14.95	3314.69
	010	65.00	32.50	54.00	27.00	5.50	29.75	0.08	53.50	1028.09	9.5	751.049	E-W	4079.89	-15.52	3180.66
	011	64.50	32.25	54.00	27.00	5.25	29.63	0.08	50.00	977.23	10.5	420.19	E-W	2272.07	-10.14	2829.68
MJGH	001	67.50	33.75	55.00	27.50	6.25	30.63	0.11	45.50	1202.64	9.5	736.99	N-S	4125.73	-14.33	1925.12
	002	57.50	28.75	49.00	24.50	4.25	26.63	0.06	48.00	710.98	12.0	475.61	E-W	2309.32	-16.33	2232.94
	003	58.50	29.25	47.50	23.75	5.50	26.50	0.10	48.50	915.77	12.0	622.01	E-W	3013.70	-12.69	1597.53
	004	58.50	29.25	48.50	24.25	5.00	26.75	0.08	47.50	840.38	12.0	579.00	E-W	2828.43	-14.67	1845.24
	005	56.00	28.00	46.50	23.25	4.75	25.63	0.07	47.50	764.78	12.0	594.72	E-W	2782.78	-15.98	1718.96
	006	60.00	30.00	48.50	24.25	5.75	27.13	0.10	47.00	979.98	12.0	676.61	E-W	3356.42	-13.35	1753.04
	007	67.00	33.50	55.00	27.50	6.00	30.50	0.10	46.00	1149.82	6.0	664.20	E-W	3701.49	-13.78	3253.69
	008	59.00	29.50	48.00	24.00	5.50	26.75	0.09	47.00	924.41	12.0	711.35	E-W	3478.63	-15.11	1818.76
	009	57.00	28.50	47.00	23.50	5.00	26.00	0.08	47.50	816.81	10.5	616.22	E-W	2926.72	-15.19	1681.33
	010	68.00	34.00	54.50	27.25	6.75	30.63	0.12	52.00	1298.85	5.0	904.07	E-W	5066.16	-13.23	2746.68
	011	58.50	29.25	48.50	24.25	5.00	26.75	0.08	47.00	840.38	12.0	644.35	E-W	3147.64	-16.49	2266.98

表 6. 42 垂直纖維抗壓試驗(孟宗竹-生竹-服務等級 1)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	外半徑 R_o (mm)	內徑 d (mm)	內半徑 R_i (mm)	竹壁厚 δ (mm)	竹壁中心線半徑 R (mm)	中性軸 h (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	極限強度 f_{ult} (N)	破壞象限	極限彎矩 M_{ult} (N-mm)	抗壓強度 $f_{c,90}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)
ENGH	1	91.00	45.50	73.50	36.75	8.75	41.13	0.16	66.50	2260.96	11.5	1521.123	E-W	11440.96	-13.89	8023.31
	2	84.50	42.25	67.00	33.50	8.75	37.88	0.17	69.50	2082.29	12.0	1137.327	E-W	7887.51	-9.19	4804.49
	3	85.50	42.75	68.00	34.00	8.75	38.38	0.17	67.50	2109.78	12.0	1659.256	E-W	11656.74	-13.97	7421.43
	4	93.00	46.50	74.00	37.00	9.50	41.75	0.18	69.50	2492.07	12.0	1300.274	E-W	9937.87	-9.81	5673.30
	5	88.00	44.00	70.50	35.25	8.75	39.63	0.16	66.50	2178.50	10.5	899.108	E-W	6519.18	-7.92	4373.24
	6	87.50	43.75	69.00	34.50	9.25	39.13	0.18	69.00	2273.92	12.0	1740.316	E-W	12472.21	-13.10	7052.21
	7	80.50	40.25	65.50	32.75	7.50	36.50	0.13	71.50	1720.02	11.0	729.543	E-W	4867.93	-7.47	3865.84
	8	87.50	43.75	73.00	36.50	7.25	40.13	0.11	71.00	1827.82	12.0	1759.341	E-W	12887.29	-21.24	12589.33
	9	85.50	42.75	69.00	34.50	8.25	38.63	0.15	69.50	2002.18	12.0	1221.696	E-W	8630.70	-11.28	6113.54
	10	84.50	42.25	68.50	34.25	8.00	38.25	0.14	66.00	1922.65	12.0	859.405	E-W	6010.70	-8.79	4743.28
	11	84.00	42.00	67.50	33.75	8.25	37.88	0.15	68.00	1963.30	12.0	1194.4	E-W	8276.21	-11.06	5852.52
	12	82.00	41.00	66.00	33.00	8.00	37.00	0.14	69.50	1859.82	12.0	1139.808	E-W	7714.70	-10.73	5553.34
	13	84.00	42.00	68.50	34.25	7.75	38.13	0.13	74.00	1856.48	11.0	971.897	E-W	6772.88	-9.41	5097.15
	14	80.00	40.00	64.50	32.25	7.75	36.13	0.14	66.50	1759.10	10.5	693.976	E-W	4585.56	-7.10	3594.62
	15	82.00	41.00	66.50	33.25	7.75	37.13	0.14	70.50	1807.79	12.0	872.64	E-W	5923.62	-8.64	4527.86
	16	85.00	42.50	68.50	34.25	8.25	38.38	0.15	64.00	1989.22	11.0	1602.183	E-W	11246.37	-15.96	8583.54
ENGT	1	52.00	26.00	40.50	20.25	5.75	23.13	0.12	45.50	835.47	3.0	998.37	E-W	4232.58	-17.48	3776.27
	2	49.00	24.50	39.00	19.50	5.00	22.00	0.10	52.50	691.15	3.0	1375.55	N-S	5539.77	-26.14	3420.66
	3	57.00	28.50	45.50	22.75	5.75	25.63	0.11	50.00	925.79	6.5	1471.49	N-S	6901.36	-25.85	4218.83
	4	52.00	26.00	41.50	20.75	5.25	23.38	0.10	53.50	771.06	3.0	1303.58	N-S	5577.10	-23.42	3278.24
	5	51.50	25.75	40.50	20.25	5.50	23.00	0.11	54.50	794.82	2.0	1204.33	E-W	5074.74	-19.10	3599.12
	6	54.00	27.00	42.00	21.00	6.00	24.00	0.13	45.50	904.78	7.5	1636.92	E-W	7203.04	-27.33	5716.62
	7	53.00	26.50	41.00	20.50	6.00	23.50	0.13	46.00	885.93	5.0	727.89	E-W	3137.46	-11.78	3404.28
	8	46.00	23.00	35.00	17.50	5.50	20.25	0.13	49.00	699.79	2.5	1508.72	E-W	5610.68	-23.60	4476.51
	9	57.00	28.50	45.50	22.75	5.75	25.63	0.11	51.00	925.79	8.5	1343.29	E-W	6300.06	-23.13	4154.88
	10	46.00	23.00	35.00	17.50	5.50	20.25	0.13	46.00	699.79	8.0	1032.28	E-W	3838.89	-17.20	4686.14
	11	47.00	23.50	35.50	17.75	5.75	20.63	0.13	45.50	745.15	7.5	1375.55	E-W	5213.15	-21.63	5189.87
	12	51.00	25.50	40.00	20.00	5.50	22.75	0.11	45.00	786.18	2.0	690.67	E-W	2879.20	-13.13	4551.00
	13	48.50	24.25	37.50	18.75	5.50	21.50	0.12	47.00	742.99	7.0	1315.16	E-W	5186.55	-22.69	4801.33
	14	57.00	28.50	45.00	22.50	6.00	25.50	0.12	49.00	961.33	6.5	1038.07	E-W	4848.35	-17.04	4677.04
	15	52.00	26.00	40.50	20.25	5.75	23.13	0.12	48.00	835.47	4.0	1052.96	E-W	4464.02	-17.48	4257.84
	16	57.00	28.50	45.00	22.50	6.00	25.50	0.12	47.50	961.33	5.0	1458.26	E-W	6810.87	-24.70	4613.34
	17	52.50	26.25	41.50	20.75	5.50	23.50	0.11	46.50	812.10	6.5	653.45	E-W	2812.34	-12.40	4426.52
	18	57.00	28.50	45.00	22.50	6.00	25.50	0.12	48.00	961.33	8.0	1085.22	E-W	5068.55	-18.19	4318.35

試體種類	編號	外徑 D (mm)	外半徑 R_o (mm)	內徑 d (mm)	內半徑 R_i (mm)	竹壁厚 δ (mm)	竹壁中心線半徑 R (mm)	中性軸 h (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	極限強度 f_{ult} (N)	破壞象限	極限彎矩 M_{ult} (N-mm)	抗壓強度 $f_{c,90}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)
EYGH	1	90.00	45.00	71.00	35.50	9.50	40.25	0.19	67.00	2402.53	10.0	1927.25	E-W	14208.67	-14.57	3409.31
	2	86.00	43.00	69.50	34.75	8.25	38.88	0.15	66.00	2015.14	9.5	999.19	E-W	7103.91	-9.77	4112.58
	3	91.00	45.50	72.00	36.00	9.50	40.75	0.19	70.00	2432.38	10.0	2565.77	E-W	19147.36	-18.79	3559.97
	4	90.00	45.00	71.50	35.75	9.25	40.38	0.18	66.50	2346.57	10.5	1771.75	E-W	13096.68	-14.26	3913.87
	5	90.50	45.25	71.00	35.50	9.75	40.38	0.20	72.00	2473.42	10.0	2317.67	E-W	17146.53	-15.55	3048.51
	6	84.50	42.25	68.00	34.00	8.25	38.13	0.15	68.50	1976.26	9.5	1563.31	E-W	10902.96	-14.46	4288.36
	7	91.00	45.50	72.00	36.00	9.50	40.75	0.19	68.50	2432.38	11.0	2375.57	E-W	17727.94	-17.78	3998.61
	8	86.00	43.00	70.00	35.00	8.00	39.00	0.14	68.00	1960.35	9.5	1228.31	E-W	8757.19	-12.42	4448.52
	9	86.00	43.00	70.00	35.00	8.00	39.00	0.14	69.00	1960.35	9.5	1616.24	E-W	11522.92	-16.11	4268.61
	10	87.00	43.50	70.00	35.00	8.50	39.25	0.15	71.00	2096.23	9.5	1644.37	E-W	11806.83	-14.23	4137.84
	11	84.00	42.00	68.00	34.00	8.00	38.00	0.14	72.00	1910.09	10.5	1641.06	E-W	11403.55	-15.29	4556.76
	12	86.00	43.00	70.00	35.00	8.00	39.00	0.14	71.00	1960.35	9.5	1540.97	E-W	10986.29	-14.93	4480.20
	13	93.00	46.50	73.00	36.50	10.00	41.50	0.20	69.50	2607.52	11.0	1900.78	E-W	14453.66	-12.91	3413.38
	14	86.00	43.00	69.00	34.50	8.50	38.75	0.16	67.00	2069.52	10.0	1522.78	E-W	10796.41	-13.80	4017.77
	15	86.00	43.00	69.00	34.50	8.50	38.75	0.16	64.00	2069.52	10.5	1448.33	E-W	10268.62	-13.74	4262.28
	16	88.00	44.00	71.00	35.50	8.50	39.75	0.15	63.00	2122.93	9.5	1680.76	E-W	12219.80	-16.60	4419.44
	17	93.00	46.50	73.00	36.50	10.00	41.50	0.20	70.50	2607.52	10.5	2249.84	E-W	17107.90	-15.06	3250.93
EYGT	1	70.00	35.00	58.00	29.00	6.00	32.00	0.09	59.50	1206.37	12.5	1210.94	E-W	7076.66	-20.34	4955.41
	2	68.50	34.25	56.50	28.25	6.00	31.25	0.10	54.50	1178.10	7.0	842.86	E-W	4811.37	-15.11	5053.14
	3	63.50	31.75	51.50	25.75	6.00	28.75	0.10	55.50	1083.85	8.0	1018.22	E-W	5352.57	-16.55	4422.27
	4	65.50	32.75	53.50	26.75	6.00	29.75	0.10	58.50	1121.55	7.5	1085.22	E-W	5900.73	-17.29	4649.21
	5	71.50	35.75	58.50	29.25	6.50	32.50	0.11	58.00	1327.32	10.0	1565.79	E-W	9299.86	-23.41	4254.38
	6	65.00	32.50	54.50	27.25	5.25	29.88	0.08	54.00	985.48	12.0	985.96	E-W	5375.91	-22.20	6063.64
	7	64.50	32.25	52.50	26.25	6.00	29.25	0.10	56.00	1102.70	9.5	1006.64	E-W	5382.57	-16.48	2967.88
	8	71.50	35.75	59.00	29.50	6.25	32.63	0.10	55.50	1281.18	7.5	854.44	E-W	5091.96	-14.47	5082.01
	9	70.00	35.00	58.00	29.00	6.00	32.00	0.09	57.00	1206.37	10.0	1184.47	E-W	6921.98	-20.77	5468.95
	10	62.50	31.25	57.50	28.75	2.50	30.00	0.02	57.00	471.24	8.0	641.87	E-W	3502.17	-59.64	40650.99
	11	67.00	33.50	54.00	27.00	6.50	30.25	0.12	56.50	1235.43	4.5	1220.04	E-W	6750.70	-17.48	3949.72
	12	68.50	34.25	56.00	28.00	6.25	31.13	0.10	60.00	1222.28	3.5	1110.03	E-W	6314.30	-16.62	4624.42
	13	65.50	32.75	53.00	26.50	6.25	29.63	0.11	55.50	1163.37	5.0	884.22	E-W	4790.30	-13.65	4145.33
	14	65.00	32.50	51.50	25.75	6.75	29.13	0.13	51.50	1235.23	6.0	831.28	E-W	4433.41	-11.71	2311.64
	15	67.50	33.75	55.00	27.50	6.25	30.63	0.11	57.50	1202.64	7.0	1254.78	E-W	7024.38	-19.30	4439.87
	16	67.50	33.75	54.50	27.25	6.50	30.50	0.12	57.50	1245.64	5.5	813.09	E-W	4535.63	-11.54	4037.35
	17	65.00	32.50	53.00	26.50	6.00	29.50	0.10	56.00	1112.12	8.0	1487.21	E-W	8019.38	-24.55	5037.36
	18	69.00	34.50	56.00	28.00	6.50	31.25	0.11	56.50	1276.27	7.5	1124.92	E-W	6427.43	-16.63	2694.57

表 6. 43 垂直纖維抗壓試驗(桂竹-乾燥竹-服務等級 3)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	外半徑 R_o (mm)	內徑 d (mm)	內半徑 R_i (mm)	竹壁厚 δ (mm)	竹壁中心線半徑 R (mm)	中性軸 h (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	極限強度 f_{ult} (N)	破壞象限	極限彎矩 M_{ult} (N-mm)	抗壓強度 $f_{c,90}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)
MTDH	001	49.00	24.50	43.00	21.50	3.00	23.00	0.03	52.00	433.54	20.5	343.87	E-W	1440.57	-18.80	2022.47
	002	44.00	22.00	38.50	19.25	2.75	20.63	0.03	50.00	356.37	18.0	439.09	N-S	1649.69	-26.65	476.67
	003	46.00	23.00	40.50	20.25	2.75	21.63	0.03	53.50	373.65	20.0	315.42	E-W	1242.23	-18.74	1681.62
	004	47.50	23.75	42.00	21.00	2.75	22.38	0.03	53.50	386.61	21.0	433.29	N-S	1765.36	-26.62	2958.08
	005	49.50	24.75	43.00	21.50	3.25	23.13	0.04	49.50	472.22	17.5	374.26	N-S	1577.03	-18.45	1628.83
	006	46.00	23.00	40.50	20.25	2.75	21.63	0.03	55.50	373.65	20.5	350.94	E-W	1382.11	-20.10	1501.34
	007	46.00	23.00	40.00	20.00	3.00	21.50	0.03	53.00	405.27	21.0	311.86	E-W	1221.68	-15.66	1210.18
	008	48.00	24.00	42.50	21.25	2.75	22.63	0.03	51.00	390.93	20.5	366.36	N-S	1509.24	-23.87	2328.83
	009	47.50	23.75	41.00	20.50	3.25	22.13	0.04	52.50	451.80	20.5	394.10	E-W	1589.22	-17.54	1342.59
	010	49.50	24.75	43.50	21.75	3.00	23.25	0.03	50.00	438.25	20.0	363.43	N-S	1538.98	-20.88	2083.73
	011	46.50	23.25	41.00	20.50	2.75	21.88	0.03	51.50	377.97	19.5	438.23	N-S	1745.76	-27.35	2807.31
MJDT	001	52.00	26.00	44.50	22.25	3.75	24.13	0.05	35.00	568.43	15.0	348.55	N-S	1533.19	-19.09	2226.97
	002	52.50	26.25	45.50	22.75	3.50	24.50	0.04	37.50	538.78	15.5	363.71	E-W	1623.84	-21.63	2650.33
	003	43.00	21.50	36.50	18.25	3.25	19.88	0.04	36.50	405.85	18.0	328.99	E-W	1192.65	-18.98	1782.30
	004	42.50	21.25	36.50	18.25	3.00	19.75	0.04	36.50	372.28	16.5	310.19	E-W	1116.82	-20.83	2312.24
	005	41.00	20.50	35.50	17.75	2.75	19.13	0.03	36.00	330.46	15.5	339.90	E-W	1184.64	-26.62	2811.03
	006	37.50	18.75	32.00	16.00	2.75	17.38	0.04	36.00	300.22	16.5	315.05	N-S	998.22	-22.48	2124.05
	007	38.50	19.25	32.00	16.00	3.25	17.63	0.05	36.00	359.91	16.5	326.05	E-W	1049.30	-16.98	1700.22
	008	43.00	21.50	36.50	18.25	3.25	19.88	0.04	39.00	405.85	18.0	349.06	E-W	1265.40	-18.85	2203.10
	009	37.50	18.75	32.00	16.00	2.75	17.38	0.04	36.00	300.22	16.5	324.57	N-S	1028.37	-23.16	2342.22
	010	53.00	26.50	45.00	22.50	4.00	24.50	0.05	36.50	615.75	16.0	300.58	N-S	1343.22	-14.11	1815.39
	011	52.00	26.00	46.00	23.00	3.00	24.50	0.03	37.00	461.81	14.5	383.87	N-S	1712.49	-31.37	4010.04
	012	52.50	26.25	44.00	22.00	4.25	24.13	0.06	36.50	644.22	16.5	270.74	N-S	1192.10	-11.12	2497.44
MWDT	001	51.50	25.75	45.00	22.50	3.25	24.13	0.04	36.50	492.64	21.0	276.83	E-W	1216.65	-19.28	2441.83
	002	42.00	21.00	36.50	18.25	2.75	19.63	0.03	37.00	339.10	17.5	288.61	E-W	1032.03	-22.55	2683.75
	003	48.50	24.25	43.00	21.50	2.75	22.88	0.03	37.00	395.25	16.0	268.96	E-W	1120.21	-24.41	3400.19
	004	40.50	20.25	35.00	17.50	2.75	18.88	0.03	36.00	326.14	15.5	287.95	E-W	990.55	-22.27	2256.99
	005	51.00	25.50	45.50	22.75	2.75	24.13	0.03	36.00	416.85	16.0	289.22	E-W	1270.13	-28.42	3434.23
	006	43.00	21.50	37.50	18.75	2.75	20.13	0.03	38.00	347.74	17.0	252.15	E-W	924.50	-19.66	2236.01
	007	42.50	21.25	37.00	18.50	2.75	19.88	0.03	37.00	343.42	16.5	251.06	E-W	909.14	-19.86	2376.19
	008	48.00	24.00	43.00	21.50	2.50	22.75	0.02	37.50	357.36	16.5	257.28	N-S	1065.32	-27.68	3662.92
	009	42.50	21.25	37.00	18.50	2.75	19.88	0.03	35.00	343.42	18.0	219.41	E-W	794.54	-18.35	2336.37
	010	43.00	21.50	36.50	18.25	3.25	19.88	0.04	38.50	405.85	18.0	240.05	E-W	870.24	-13.13	1552.05
	011	42.00	21.00	36.50	18.25	2.75	19.63	0.03	36.00	339.10	16.5	235.74	N-S	842.96	-18.93	2340.61

試體種類	編號	外徑 D (mm)	外半徑 R_o (mm)	內徑 d (mm)	內半徑 R_i (mm)	竹壁厚 δ (mm)	竹壁中心線半徑 R (mm)	中性軸 h (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	極限強度 f_{ult} (N)	破壞象限	極限彎矩 M_{ult} (N-mm)	抗壓強度 $f_{c,90}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)
MTDT	001	59.00	29.50	51.00	25.50	4.00	27.50	0.05	46.50	691.15	26.0	307.27	E-W	1540.01	-12.67	1333.53
	002	60.50	30.25	50.00	25.00	5.25	27.63	0.08	47.50	911.26	25.5	292.37	E-W	1475.22	-6.94	815.33
	003	58.00	29.00	50.00	25.00	4.00	27.00	0.05	46.50	678.58	25.5	283.32	E-W	1394.34	-11.47	1396.04
	004	59.50	29.75	51.00	25.50	4.25	27.63	0.05	46.50	737.69	28.0	262.65	E-W	1322.86	-9.65	1227.77
	005	61.00	30.50	52.00	26.00	4.50	28.25	0.06	47.00	798.75	27.0	321.45	E-W	1656.02	-10.67	1336.39
	006	58.00	29.00	50.50	25.25	3.75	27.13	0.04	47.00	639.12	24.5	336.30	E-W	1662.03	-15.37	1783.73
	007	59.00	29.50	51.00	25.50	4.00	27.50	0.05	46.50	691.15	26.5	307.47	E-W	1541.01	-12.68	1634.09
	008	61.50	30.75	53.00	26.50	4.25	28.63	0.05	45.00	764.39	28.6	287.60	E-W	1500.57	-11.30	1334.27
	009	61.00	30.50	52.00	26.00	4.50	28.25	0.06	47.50	798.75	34.0	314.89	E-W	1622.21	-10.34	1336.33
	010	59.50	29.75	51.50	25.75	4.00	27.75	0.05	46.00	697.43	32.5	320.81	E-W	1622.37	-13.49	1730.68
	011	60.00	30.00	49.00	24.50	5.50	27.25	0.09	48.00	941.69	27.5	320.97	E-W	1598.61	-6.79	675.55
MWDH	001	61.00	30.50	45.00	22.50	8.00	26.50	0.20	49.50	1332.04	17.0	1594.98	N-S	7781.67	-15.39	2431.54
	002	60.50	30.25	47.50	23.75	6.50	27.00	0.13	47.00	1102.70	20.0	1080.02	N-S	5343.01	-16.70	2470.31
	003	64.00	32.00	50.00	25.00	7.00	28.50	0.14	45.50	1253.50	29.0	645.69	N-S	3372.93	-9.40	1029.18
	004	60.00	30.00	46.00	23.00	7.00	26.50	0.15	43.00	1165.53	19.5	1237.30	N-S	6018.04	-17.79	2606.68
	005	60.50	30.25	47.00	23.50	6.75	26.88	0.14	47.00	1139.81	20.0	1575.15	N-S	7762.17	-22.53	1091.83
	006	56.50	28.25	42.00	21.00	7.25	24.63	0.18	49.00	1121.74	34.0	1430.94	N-S	6483.19	-15.75	1574.38
	007	61.00	30.50	48.00	24.00	6.50	27.25	0.13	46.00	1112.91	20.0	1017.13	N-S	5077.72	-16.21	731.71
	008	67.00	33.50	51.00	25.50	8.00	29.50	0.18	44.50	1482.83	32.0	1187.75	N-S	6434.50	-14.09	1511.75
	009	61.00	30.50	45.50	22.75	7.75	26.63	0.19	48.00	1296.50	23.0	1726.79	N-S	8456.65	-18.34	2669.56
	010	63.00	31.50	50.00	25.00	6.50	28.25	0.13	50.00	1153.75	29.5	735.76	E-W	3805.66	-11.16	1222.32
	011	57.00	28.50	44.00	22.00	6.50	25.25	0.14	49.00	1031.23	24.0	1025.74	N-S	4751.29	-14.28	1601.19
MJDH	001	59.50	29.75	43.50	21.75	8.00	25.75	0.21	49.00	1294.34	17.5	1872.49	N-S	8883.93	-17.77	2805.09
	002	57.00	28.50	38.50	19.25	9.25	23.88	0.30	47.00	1387.60	21.5	1521.32	N-S	6743.88	-10.64	685.00
	003	60.00	30.00	44.00	22.00	8.00	26.00	0.21	44.50	1306.90	19.5	1664.12	N-S	7969.87	-17.54	1033.20
	004	56.00	28.00	35.50	17.75	10.25	22.88	0.39	45.00	1473.21	24.0	2614.97	N-S	11186.83	-15.14	2607.75
	005	60.00	30.00	35.50	17.75	12.25	23.88	0.53	58.00	1837.64	24.0	4671.99	N-S	21045.34	-15.61	1075.51
	006	53.50	26.75	37.00	18.50	8.25	22.63	0.25	49.50	1172.80	20.0	2318.85	N-S	9717.23	-18.23	2372.04
	007	59.00	29.50	42.50	21.25	8.25	25.38	0.23	44.00	1315.35	17.0	1758.98	N-S	8234.74	-17.28	816.88
	008	56.00	28.00	37.50	18.75	9.25	23.38	0.31	49.00	1358.54	23.0	2688.50	N-S	11679.10	-17.69	2087.89
	009	60.00	30.00	42.00	21.00	9.00	25.50	0.27	44.00	1441.99	21.5	2436.25	N-S	11492.64	-20.35	2689.61
	010	54.00	27.00	34.00	17.00	10.00	22.00	0.38	46.00	1382.30	24.0	3158.52	N-S	13006.01	-18.11	2265.01
	011	55.00	27.50	35.50	17.75	9.75	22.63	0.35	45.50	1386.03	22.0	3214.78	N-S	13573.42	-20.03	2742.18
	012	50.50	25.25	36.00	18.00	7.25	21.63	0.20	51.50	985.09	22.5	2106.37	N-S	8411.83	-19.56	2335.89

表 6. 44 垂直纖維抗壓試驗(孟宗竹-乾燥竹-服務等級 3)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	外半徑 R_o (mm)	內徑 d (mm)	內半徑 R_i (mm)	竹壁厚 δ (mm)	竹壁中心線半徑 R (mm)	中性軸 h (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	極限強度 f_{ult} (N)	破壞象限	極限彎矩 M_{ult} (N-mm)	抗壓強度 $f_{c,90}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)
ENDH	1	94.00	47.00	76.00	38.00	9.00	42.50	0.16	68.50	2403.32	39.0	791.06	N-S	6148.45	-6.85	638.91
	2	81.50	40.75	71.50	35.75	5.00	38.25	0.05	69.50	1201.66	20.0	935.15	N-S	6515.17	-22.90	6058.99
	3	82.50	41.25	65.50	32.75	8.50	37.00	0.16	66.50	1976.06	41.0	524.98	N-S	3556.35	-4.59	422.14
	4	75.00	37.50	59.00	29.50	8.00	33.50	0.16	65.50	1683.89	23.5	1643.78	N-S	10088.34	-14.93	2331.83
	5	77.50	38.75	63.50	31.75	7.00	35.25	0.12	68.00	1550.38	36.0	693.49	E-W	4467.11	-8.27	753.63
	6	78.00	39.00	64.50	32.25	6.75	35.63	0.11	70.00	1510.91	39.5	656.50	E-W	4271.58	-8.25	873.07
	7	84.50	42.25	73.00	36.50	5.75	39.38	0.07	70.50	1422.55	34.0	712.07	N-S	5110.02	-13.42	1498.46
	8	87.00	43.50	73.00	36.50	7.00	40.00	0.10	65.50	1759.29	20.5	1031.58	N-S	7530.64	-14.42	2785.10
	9	81.50	40.75	67.50	33.75	7.00	37.25	0.11	66.00	1638.34	24.5	868.00	N-S	5904.86	-11.24	2299.96
	10	85.00	42.50	64.50	32.25	10.25	37.38	0.24	72.00	2407.05	25.5	1726.47	N-S	11852.63	-9.77	1492.16
	11	79.00	39.50	60.00	30.00	9.50	34.75	0.22	66.50	2074.24	25.0	1233.38	N-S	7872.18	-8.18	2293.00
	12	83.00	41.50	69.50	34.75	6.75	38.13	0.10	70.00	1616.94	20.5	1055.59	N-S	7345.44	-14.16	2777.63
	13	81.00	40.50	63.00	31.50	9.00	36.00	0.19	66.50	2035.75	28.0	1425.83	E-W	9411.25	-10.86	2130.46
	14	82.50	41.25	64.50	32.25	9.00	36.75	0.18	67.00	2078.16	29.5	1746.97	N-S	11766.82	-13.47	3180.52
ENDT	1	63.50	31.75	53.00	26.50	5.25	29.13	0.08	44.00	960.74	20.0	531.75	E-W	2827.22	-14.34	1578.94
	2	57.00	28.50	49.00	24.50	4.00	26.50	0.05	47.00	666.02	18.0	448.64	N-S	2167.29	-17.65	2171.18
	3	64.50	32.25	53.50	26.75	5.50	29.50	0.09	44.00	1019.45	22.0	561.19	E-W	3023.16	-13.98	1925.24
	4	62.50	31.25	52.00	26.00	5.25	28.63	0.08	46.00	944.24	21.0	583.85	N-S	3051.46	-14.81	1894.51
	5	57.50	28.75	48.50	24.25	4.50	26.50	0.06	48.00	749.27	22.0	502.62	E-W	2430.20	-15.36	1680.04
	6	59.00	29.50	48.50	24.25	5.25	26.88	0.09	50.50	886.52	19.0	527.47	N-S	2589.93	-11.47	1230.92
	7	59.50	29.75	51.50	25.75	4.00	27.75	0.05	50.50	697.43	20.0	517.42	E-W	2616.68	-19.82	2259.16
	8	61.50	30.75	51.50	25.75	5.00	28.25	0.07	50.50	887.50	20.0	519.10	N-S	2676.60	-13.03	1307.01
	9	57.50	28.75	48.50	24.25	4.50	26.50	0.06	50.50	749.27	19.5	563.76	N-S	2725.80	-16.37	1702.05
	10	62.00	31.00	51.50	25.75	5.25	28.38	0.08	44.50	936.00	23.5	613.32	N-S	3177.74	-15.95	2289.79
	11	60.00	30.00	52.00	26.00	4.00	28.00	0.05	52.00	703.72	19.0	630.54	N-S	3217.30	-23.66	2621.00
	12	62.00	31.00	53.00	26.50	4.50	28.75	0.06	47.00	812.89	24.0	526.50	N-S	2760.08	-17.78	1905.13
	13	58.50	29.25	51.00	25.50	3.75	27.38	0.04	47.50	645.01	20.0	508.00	N-S	2533.59	-23.18	3038.51
	14	65.00	32.50	55.00	27.50	5.00	30.00	0.07	41.00	942.48	20.5	476.65	N-S	2608.63	-15.62	2124.22

試體種類	編號	外徑 D (mm)	外半徑 R_o (mm)	內徑 d (mm)	內半徑 R_i (mm)	竹壁厚 δ (mm)	竹壁中心線半徑 R (mm)	中性軸 h (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	極限強度 f_{ult} (N)	破壞象限	極限彎矩 M_{ult} (N-mm)	抗壓強度 $f_{c,90}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)
EYDH	1	117.00	58.50	98.00	49.00	9.50	53.75	0.14	68.00	3208.35	22.5	1785.04	N-S	17511.96	-17.54	3476.88
	2	118.50	59.25	89.00	44.50	14.75	51.88	0.35	69.50	4807.62	22.0	2020.38	N-S	19267.22	-7.96	1047.83
	3	117.50	58.75	97.00	48.50	10.25	53.63	0.16	68.00	3453.59	24.5	858.08	N-S	14602.37	13.09	1624.85
	4	115.00	57.50	96.00	48.00	9.50	52.75	0.14	71.50	3148.66	18.0	1278.17	E-W	12308.20	-11.73	1151.50
	5	114.50	57.25	94.50	47.25	10.00	52.25	0.16	69.00	3282.96	20.0	1911.87	N-S	18247.04	-16.29	2499.20
	6	118.00	59.00	98.50	49.25	9.75	54.13	0.15	64.50	3315.75	24.0	1239.19	N-S	12243.91	-12.28	1224.61
	7	117.00	58.50	97.50	48.75	9.75	53.63	0.15	65.00	3285.12	22.5	1508.18	N-S	14765.36	-14.70	3237.14
	8	115.00	57.50	95.00	47.50	10.00	52.50	0.16	64.00	3298.67	22.0	1963.60	N-S	18829.48	-18.12	2590.41
	9	117.00	58.50	96.00	48.00	10.50	53.25	0.17	68.50	3513.09	18.5	1433.57	N-S	13948.51	-11.39	1865.29
	10	121.00	60.50	100.00	50.00	10.50	55.25	0.17	65.50	3645.03	27.5	1627.18	N-S	16420.34	-14.01	2231.99
	11	118.00	59.00	97.00	48.50	10.50	53.75	0.17	65.00	3546.07	24.5	859.19	N-S	8437.43	-7.26	1431.25
	12	119.50	59.75	99.50	49.75	10.00	54.75	0.15	65.50	3440.04	22.5	1879.06	N-S	18783.05	-17.65	3207.18
	13	123.50	61.75	93.00	46.50	15.25	54.13	0.36	74.00	5186.18	24.5	1865.14	N-S	18554.34	-6.73	1144.94
	14	119.00	59.50	98.00	49.00	10.50	54.25	0.17	69.00	3579.06	20.0	1981.85	N-S	19641.29	-15.91	2203.66
	15	121.50	60.75	102.00	51.00	9.75	55.88	0.14	71.00	3422.96	23.5	1625.12	N-S	16571.47	-15.09	1111.79
	16	120.50	60.25	98.00	49.00	11.25	54.63	0.19	71.00	3861.21	17.0	385.07	N-S	3845.46	-2.64	879.37
EYDT	1	98.50	49.25	82.50	41.25	8.00	45.25	0.12	64.00	2274.51	16.5	1597.92	E-W	13197.22	-19.81	3245.91
	2	95.00	47.50	79.50	39.75	7.75	43.63	0.12	65.50	2124.31	17.0	1054.06	N-S	8393.18	-13.12	2868.51
	3	97.00	48.50	81.00	40.50	8.00	44.50	0.12	67.00	2236.81	14.5	1599.45	E-W	12992.92	-18.64	3208.10
	4	91.00	45.50	77.00	38.50	7.00	42.00	0.10	63.50	1847.26	14.0	1344.36	E-W	10300.36	-20.32	3698.11
	5	92.00	46.00	78.00	39.00	7.00	42.50	0.10	72.00	1869.25	15.0	1561.88	E-W	12108.32	-21.06	3886.80
	6	89.00	44.50	75.00	37.50	7.00	41.00	0.10	70.50	1803.27	16.0	1208.44	N-S	9040.30	-16.07	2563.40
	7	97.00	48.50	81.00	40.50	8.00	44.50	0.12	68.00	2236.81	17.5	506.87	N-S	4117.45	-5.82	2452.58
	8	95.50	47.75	80.00	40.00	7.75	43.88	0.11	68.00	2136.48	17.0	1550.39	E-W	12415.47	-18.69	3191.40
	9	90.50	45.25	76.50	38.25	7.00	41.75	0.10	73.00	1836.26	16.5	1492.04	E-W	11364.41	-19.51	3428.08
	10	96.50	48.25	81.00	40.50	7.75	44.38	0.11	66.00	2160.83	15.0	1619.80	E-W	13117.76	-20.34	2842.18
	11	91.50	45.75	76.50	38.25	7.50	42.00	0.11	67.00	1979.20	16.0	737.23	X	5651.98	-9.22	2433.07
	12	96.50	48.25	82.00	41.00	7.25	44.63	0.10	68.00	2032.81	16.5	1501.17	E-W	12218.23	-20.97	3763.32
	13	95.00	47.50	80.00	40.00	7.50	43.75	0.11	66.50	2061.67	15.0	1728.67	E-W	13800.07	-22.66	3544.47
	14	94.50	47.25	79.00	39.50	7.75	43.38	0.12	69.50	2112.13	17.0	1597.25	X	12646.25	-18.63	3088.09
	15	90.00	45.00	75.00	37.50	7.50	41.25	0.11	65.50	1943.86	17.0	1224.75	E-W	9223.47	-15.40	2323.03
	16	98.00	49.00	81.50	40.75	8.25	44.88	0.13	69.00	2326.15	15.5	758.84	N-S	6217.58	-8.15	1492.89
	17	95.50	47.75	80.00	40.00	7.75	43.88	0.11	66.00	2136.48	16.0	1421.15	E-W	11380.53	-17.65	2398.49

表 6. 45 垂直纖維抗壓試驗(桂竹-生竹-服務等級 3)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	外半徑 R_o (mm)	內徑 d (mm)	內半徑 R_i (mm)	竹壁厚 δ (mm)	竹壁中心線半徑 R (mm)	中性軸 h (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	極限強度 f_{ult} (N)	破壞象限	極限彎矩 M_{ult} (N-mm)	抗壓強度 $f_{c,90}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)
MTGH	001	59.00	29.50	48.00	24.00	5.50	26.75	0.09	46.00	924.41	21.5	697.00	E-W	3408.47	-15.12	2012.75
	002	57.00	28.50	43.50	21.75	6.75	25.13	0.15	51.00	1065.59	23.5	1060.40	N-S	8429.59	23.90	1750.96
	003	57.50	28.75	46.50	23.25	5.50	26.00	0.10	52.00	898.50	23.0	825.49	N-S	6806.34	27.92	2117.03
	004	58.00	29.00	48.00	24.00	5.00	26.50	0.08	50.50	832.52	22.5	814.74	N-S	6852.11	34.74	2676.45
	005	59.00	29.50	49.00	24.50	5.00	27.00	0.08	47.00	848.23	21.0	645.17	N-S	5529.02	30.08	2442.44
	006	58.00	29.00	48.00	24.00	5.00	26.50	0.08	45.00	832.52	21.0	782.48	N-S	6580.80	37.44	2747.68
	007	57.50	28.75	46.50	23.25	5.50	26.00	0.10	45.00	898.50	22.5	860.23	N-S	7092.78	33.62	2485.92
	008	59.00	29.50	49.00	24.50	5.00	27.00	0.08	43.00	848.23	21.0	610.43	E-W	3009.56	-17.23	2267.46
	009	59.00	29.50	49.00	24.50	5.00	27.00	0.08	46.00	848.23	21.0	616.24	N-S	5281.09	29.36	2382.47
	010	59.00	29.50	50.00	25.00	4.50	27.25	0.06	55.00	770.48	20.0	617.88	E-W	3071.33	-16.92	2515.71
	011	58.50	29.25	50.50	25.25	4.00	27.25	0.05	53.00	684.87	23.0	626.15	E-W	3109.86	-22.45	3876.68
MJGT	001	49.00	24.50	42.00	21.00	3.50	22.75	0.04	50.00	500.30	23.5	379.66	E-W	1574.73	-15.75	2293.44
	002	46.50	23.25	39.50	19.75	3.50	21.50	0.05	51.00	472.81	23.0	449.14	E-W	1761.30	-17.30	2184.84
	003	45.00	22.50	38.00	19.00	3.50	20.75	0.05	50.50	456.32	23.0	463.20	E-W	1753.56	-17.41	1910.33
	004	45.00	22.50	38.00	19.00	3.50	20.75	0.05	50.00	456.32	22.5	416.88	E-W	1578.20	-15.82	2097.07
	005	47.00	23.50	40.00	20.00	3.50	21.75	0.05	51.00	478.31	23.0	435.08	N-S	3005.66	30.50	2006.66
	006	48.00	24.00	41.00	20.50	3.50	22.25	0.05	50.00	489.30	23.0	365.77	E-W	1484.01	-14.85	2249.66
	007	52.00	26.00	43.00	21.50	4.50	23.75	0.07	51.50	671.52	23.5	375.53	E-W	1628.94	-9.62	1435.49
	008	50.00	25.00	42.00	21.00	4.00	23.00	0.06	51.00	578.05	24.0	427.64	E-W	1794.92	-13.52	1558.43
	009	52.00	26.00	44.00	22.00	4.00	24.00	0.06	52.00	603.19	23.5	371.39	E-W	1626.03	-12.00	1480.68
	010	51.50	25.75	44.00	22.00	3.75	23.88	0.05	51.00	562.54	24.5	341.61	E-W	1487.20	-12.71	2071.92
	011	47.00	23.50	40.00	20.00	3.50	21.75	0.05	51.00	478.31	23.5	464.86	E-W	1843.94	-18.10	2195.49
	012	48.50	24.25	41.00	20.50	3.75	22.38	0.05	51.50	527.20	23.5	425.15	N-S	3020.93	26.50	1935.09
MWGT	001	55.00	27.50	44.00	22.00	5.50	24.75	0.10	48.00	855.30	20.0	334.30	E-W	1514.11	-6.45	1170.01
	002	55.00	27.50	45.00	22.50	5.00	25.00	0.08	43.00	785.40	20.0	335.90	E-W	1534.67	-8.81	1599.82
	003	57.00	28.50	47.00	23.50	5.00	26.00	0.08	48.00	816.81	20.0	413.93	E-W	1965.92	-10.09	1938.17
	004	54.00	27.00	44.00	22.00	5.00	24.50	0.09	47.00	769.69	20.5	306.34	E-W	1371.92	-7.21	1536.59
	005	53.00	26.50	44.00	22.00	4.50	24.25	0.07	47.00	685.65	20.0	298.68	E-W	1322.61	-8.55	1881.59
	006	54.00	27.00	44.00	22.00	5.00	24.50	0.09	48.00	769.69	20.0	381.56	E-W	1708.79	-8.79	1557.46
	007	53.00	26.50	44.00	22.00	4.50	24.25	0.07	47.00	685.65	20.0	312.91	E-W	1385.62	-8.96	1765.69
	008	56.00	28.00	46.00	23.00	5.00	25.50	0.08	46.00	801.11	21.0	384.48	E-W	1791.32	-9.60	1589.48
	009	54.00	27.00	46.00	23.00	4.00	25.00	0.05	49.00	628.32	20.0	432.38	E-W	1971.31	-15.42	2489.66
	010	54.00	27.00	44.00	22.00	5.00	24.50	0.09	45.00	769.69	20.0	394.68	E-W	1767.56	-9.70	1437.73

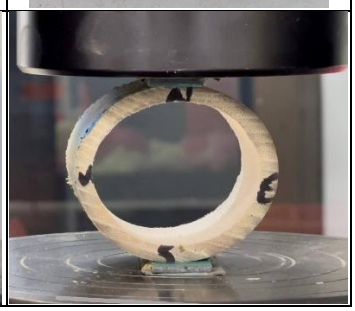
試體種類	編號	外徑 D (mm)	外半徑 R_o (mm)	內徑 d (mm)	內半徑 R_i (mm)	竹壁厚 δ (mm)	竹壁中心線半徑 R (mm)	中性軸 h (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	極限強度 f_{ult} (N)	破壞象限	極限彎矩 M_{ult} (N-mm)	抗壓強度 $f_{c,90}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)
MTGT	001	53.00	26.50	46.50	23.25	3.25	24.88	0.04	52.00	507.96	22.0	418.19	E-W	1894.75	-21.07	3307.96
	002	54.00	27.00	47.00	23.50	3.50	25.25	0.04	52.00	555.28	22.5	437.09	E-W	2010.83	-19.30	2908.41
	003	54.00	27.00	46.00	23.00	4.00	25.00	0.05	50.00	628.32	21.0	468.64	E-W	2136.66	-16.38	2327.31
	004	50.50	25.25	43.50	21.75	3.50	23.50	0.04	52.50	516.79	21.0	435.74	E-W	1866.51	-17.77	2392.82
	005	53.50	26.75	46.00	23.00	3.75	24.88	0.05	51.00	586.10	20.0	449.62	N-S	3553.31	31.29	2005.95
	006	52.00	26.00	45.00	22.50	3.50	24.25	0.04	49.50	533.29	20.0	393.15	N-S	3029.45	31.49	2321.85
	007	51.00	25.50	44.00	22.00	3.50	23.75	0.04	50.50	522.29	21.0	385.90	E-W	1670.50	-16.53	2188.78
	008	52.50	26.25	45.00	22.50	3.75	24.38	0.05	51.50	574.32	20.0	357.29	E-W	1587.78	-13.43	2161.64
	009	53.00	26.50	48.00	24.00	2.50	25.25	0.02	52.00	396.63	21.0	388.42	E-W	1784.51	-33.38	6595.72
	010	51.50	25.75	45.00	22.50	3.25	24.13	0.04	52.00	492.64	21.5	409.58	E-W	1800.04	-20.03	2842.95
	011	51.50	25.75	44.50	22.25	3.50	24.00	0.04	51.50	527.79	20.0	409.71	E-W	1792.13	-17.39	2551.76
	012	52.50	26.25	45.00	22.50	3.75	24.38	0.05	49.50	574.32	20.0	388.53	E-W	1726.63	-15.20	1982.57
MWGH	001	65.00	32.50	54.00	27.00	5.50	29.75	0.08	53.00	1028.09	22.0	980.17	E-W	5324.53	-20.44	3052.51
	002	65.00	32.50	55.00	27.50	5.00	30.00	0.07	53.00	942.48	22.0	620.36	E-W	3395.11	-15.73	2870.00
	003	65.00	32.50	54.00	27.00	5.50	29.75	0.08	52.00	1028.09	20.5	832.11	E-W	4520.23	-17.69	2939.34
	004	65.00	32.50	54.50	27.25	5.25	29.88	0.08	51.00	985.48	20.0	803.16	E-W	4379.20	-19.15	2979.53
	005	66.00	33.00	54.00	27.00	6.00	30.00	0.10	52.00	1130.97	20.0	855.27	E-W	4689.05	-15.45	2586.30
	006	65.00	32.50	53.00	26.50	6.00	29.50	0.10	51.00	1112.12	20.5	847.83	E-W	4571.67	-15.37	2550.95
	007	65.00	32.50	53.00	26.50	6.00	29.50	0.10	53.00	1112.12	20.5	937.16	N-S	8769.70	29.57	2878.90
	008	65.00	32.50	55.00	27.50	5.00	30.00	0.07	49.50	942.48	20.0	608.78	E-W	3331.74	-16.53	3181.69
	009	66.00	33.00	52.50	26.25	6.75	29.63	0.13	50.50	1256.44	20.0	1202.67	E-W	6522.52	-17.56	2535.12
	010	65.00	32.50	55.00	27.50	5.00	30.00	0.07	53.00	942.48	23.5	760.15	E-W	4160.14	-19.27	3300.54
	011	65.00	32.50	54.50	27.25	5.25	29.88	0.08	54.00	985.48	22.5	923.92	E-W	5037.66	-20.81	3156.27
	012	66.00	33.00	54.00	27.00	6.00	30.00	0.10	52.50	1130.97	20.0	930.54	E-W	5101.72	-16.65	2733.51
MJGH	001	60.00	30.00	50.00	25.00	5.00	27.50	0.08	51.00	863.94	26.5	518.62	E-W	2603.78	-12.56	1502.05
	002	60.00	30.00	50.00	25.00	5.00	27.50	0.08	50.00	863.94	26.5	582.31	E-W	2923.55	-14.39	1796.87
	003	60.00	30.00	51.00	25.50	4.50	27.75	0.06	50.00	784.61	24.5	468.17	E-W	2369.50	-14.36	1652.45
	004	61.00	30.50	50.00	25.00	5.50	27.75	0.09	50.00	958.97	24.0	439.22	E-W	2227.18	-9.08	911.74
	005	61.00	30.50	49.50	24.75	5.75	27.63	0.10	50.00	998.04	26.5	473.13	E-W	2389.74	-8.93	1124.36
	006	59.00	29.50	50.00	25.00	4.50	27.25	0.06	50.00	770.48	27.0	404.47	E-W	2010.53	-12.19	1761.39
	007	60.00	30.00	50.00	25.00	5.00	27.50	0.08	51.00	863.94	25.5	421.02	E-W	2113.77	-10.20	1402.80
	008	60.00	30.00	50.00	25.00	5.00	27.50	0.08	50.00	863.94	24.0	556.67	E-W	2794.81	-13.76	1436.64
	009	61.00	30.50	51.00	25.50	5.00	28.00	0.07	51.00	879.65	27.5	616.22	E-W	3149.53	-15.19	1936.91
	010	60.50	30.25	52.00	26.00	4.25	28.13	0.05	51.00	751.04	26.0	485.54	E-W	2489.37	-16.55	2392.85
	011	61.00	30.50	51.00	25.50	5.00	28.00	0.07	49.50	879.65	25.5	547.57	E-W	2798.64	-13.91	1793.14
	012	60.00	30.00	50.00	25.00	5.00	27.50	0.08	50.00	863.94	26.5	450.80	E-W	2263.26	-11.14	1409.73

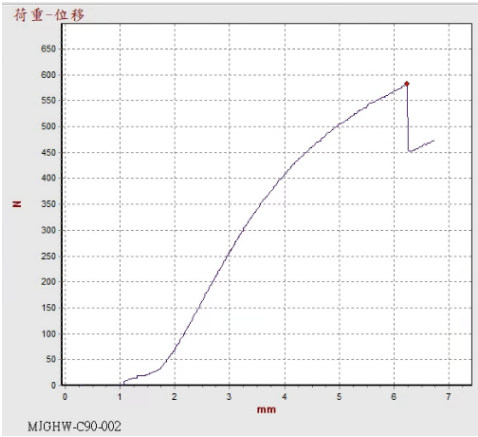
表 6.46 垂直纖維抗壓試驗(孟宗竹-生竹-服務等級 3)

試體種類	編號	外徑 D (mm)	外半徑 R_o (mm)	內徑 d (mm)	內半徑 R_i (mm)	竹壁厚 δ (mm)	竹壁中心線半徑 R (mm)	中性軸 h (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	極限強度 f_{ult} (N)	破壞象限	極限彎矩 M_{ult} (N-mm)	抗壓強度 $f_{c,90}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)
ENGH	1	85.00	42.50	70.00	35.00	7.50	38.75	0.12	70.00	1826.05	21.3	1567.44	E-W	11095.92	-17.37	3522.58
	2	88.00	44.00	74.00	37.00	7.00	40.50	0.10	67.00	1781.28	20.0	1679.94	E-W	12415.63	-23.24	4184.77
	3	88.00	44.00	73.00	36.50	7.50	40.25	0.12	66.00	1896.74	20.6	1622.03	E-W	11922.11	-19.77	4422.36
	4	81.00	40.50	66.00	33.00	7.50	36.75	0.13	68.00	1731.80	20.0	1636.92	E-W	10996.38	-17.75	3457.22
	5	84.00	42.00	68.00	34.00	8.00	38.00	0.14	69.00	1910.09	20.0	1435.10	E-W	9972.36	-13.95	3452.88
	6	87.00	43.50	71.00	35.50	8.00	39.50	0.14	65.00	1985.49	20.5	1710.54	E-W	12349.64	-18.32	2927.17
	7	88.00	44.00	70.00	35.00	9.00	39.50	0.17	67.00	2233.67	22.0	1605.49	E-W	11609.56	-13.25	2867.02
	8	81.00	40.50	63.00	31.50	9.00	36.00	0.19	69.00	2035.75	20.0	2142.31	E-W	14140.38	-15.72	2392.39
	9	85.00	42.50	68.00	34.00	8.50	38.25	0.16	70.00	2042.82	20.5	1961.17	E-W	13727.67	-16.80	2871.48
	10	85.00	42.50	69.00	34.50	8.00	38.50	0.14	69.00	1935.22	20.5	1435.10	E-W	10101.90	-14.13	3222.57
	11	91.00	45.50	74.00	37.00	8.50	41.25	0.15	70.00	2203.04	20.5	2167.12	E-W	16342.67	-19.95	3346.33
	12	88.00	44.00	73.00	36.50	7.50	40.25	0.12	69.00	1896.74	20.0	2292.02	E-W	16846.59	-26.72	3854.08
	13	87.00	43.50	69.00	34.50	9.00	39.00	0.17	67.00	2205.40	20.5	2228.33	E-W	15912.54	-18.17	2519.98
	14	84.00	42.00	68.00	34.00	8.00	38.00	0.14	69.00	1910.09	22.5	1570.75	E-W	10914.99	-15.27	3095.08
	15	91.00	45.50	75.00	37.50	8.00	41.50	0.13	69.00	2086.02	23.0	1710.54	E-W	12967.68	-18.10	3800.88
	16	92.00	46.00	75.00	37.50	8.50	41.75	0.14	70.00	2229.75	22.5	1603.01	E-W	12233.32	-14.93	3753.61
	17	85.00	42.50	68.00	34.00	8.50	38.25	0.16	65.00	2042.82	20.0	1791.60	E-W	12540.75	-16.53	2778.84
	18	81.00	40.50	64.00	32.00	8.50	36.25	0.17	65.00	1936.01	21.5	1638.58	E-W	10878.73	-14.36	2376.96
ENGT	1	55.00	27.50	44.00	22.00	5.50	24.75	0.10	50.00	855.30	20.0	875.95	E-W	3967.39	-16.24	4015.95
	2	51.00	25.50	38.00	19.00	6.50	22.25	0.16	47.00	908.71	20.0	1536.84	E-W	6290.24	-19.81	3432.96
	3	51.00	25.50	39.00	19.50	6.00	22.50	0.13	54.00	848.23	20.0	1487.21	E-W	6142.87	-19.69	3668.66
	4	55.00	27.50	41.00	20.50	7.00	24.00	0.17	49.00	1055.58	21.0	1033.93	E-W	4564.52	-11.89	3676.12
	5	54.00	27.00	42.00	21.00	6.00	24.00	0.13	50.00	904.78	20.0	1007.47	E-W	4433.20	-15.31	3067.14
	6	54.00	27.00	39.00	19.50	7.50	23.25	0.20	50.00	1095.63	20.0	1607.97	E-W	6895.74	-15.40	2779.49
	7	58.00	29.00	46.00	23.00	6.00	26.00	0.12	48.00	980.18	21.0	664.20	E-W	3162.03	-11.34	3371.07
	8	49.00	24.50	37.00	18.50	6.00	21.50	0.14	46.00	810.53	20.5	1622.03	E-W	6408.26	-24.16	3705.12
	9	51.00	25.50	39.00	19.50	6.00	22.50	0.13	47.00	848.23	20.0	1386.30	E-W	5726.06	-21.09	3976.43
	10	53.00	26.50	42.00	21.00	5.50	23.75	0.11	46.00	820.74	20.0	1129.06	E-W	4910.18	-21.87	4717.31
	11	55.00	27.50	44.00	22.00	5.50	24.75	0.10	45.00	855.30	21.0	909.86	E-W	4120.99	-18.74	3246.84
	12	54.00	27.00	41.00	20.50	6.50	23.75	0.15	48.00	969.97	20.0	990.09	E-W	4319.12	-13.28	3470.76
	13	58.00	29.00	45.00	22.50	6.50	25.75	0.14	51.00	1051.65	20.0	1161.31	E-W	5483.78	-15.82	2584.50
	14	50.00	25.00	39.00	19.50	5.50	22.25	0.11	44.00	768.90	20.5	1091.01	E-W	4449.85	-20.77	3060.20
	15	50.00	25.00	37.00	18.50	6.50	21.75	0.16	47.00	888.29	20.5	1339.15	E-W	5361.00	-16.90	3425.48
	16	51.00	25.50	39.00	19.50	6.00	22.50	0.13	48.00	848.23	20.0	1085.22	E-W	4482.45	-16.16	3961.74
	17	55.00	27.50	44.00	22.00	5.50	24.75	0.10	46.00	855.30	20.5	837.07	E-W	3791.31	-16.86	4242.55

試體種類	編號	外徑 D (mm)	外半徑 R_o (mm)	內徑 d (mm)	內半徑 R_i (mm)	竹壁厚 δ (mm)	竹壁中心線半徑 R (mm)	中性軸 h (mm)	長度 L (mm)	面積 A (mm^2)	測定儀含水率(%)	極限強度 f_{ult} (N)	破壞象限	極限彎矩 M_{ult} (N-mm)	抗壓強度 $f_{c,90}$ (MPa)	楊氏模數 E (MPa)
EYGH	1	104.50	52.25	81.00	40.50	11.75	46.38	0.25	70.00	3423.75	21.5	2814.64	E-W	23938.08	-15.40	2819.94
	2	96.00	48.00	76.50	38.25	9.75	43.13	0.18	70.00	2641.88	20.0	2702.20	E-W	21330.74	-19.85	2735.43
	3	101.00	50.50	80.00	40.00	10.50	45.25	0.20	61.00	2985.30	20.0	2776.61	E-W	23007.26	-21.20	3468.27
	4	101.00	50.50	79.00	39.50	11.00	45.00	0.22	66.00	3110.18	21.5	2628.61	E-W	21679.13	-16.86	2820.65
	5	91.00	45.50	72.00	36.00	9.50	40.75	0.19	65.00	2432.38	20.5	2148.10	E-W	16030.45	-16.94	3093.48
	6	91.00	45.50	72.00	36.00	9.50	40.75	0.19	66.00	2432.38	23.5	2325.94	E-W	17357.58	-18.07	2639.66
	7	102.00	51.00	80.00	40.00	11.00	45.50	0.22	72.00	3144.73	21.5	3024.64	E-W	25217.73	-17.97	3233.85
	8	94.00	47.00	75.00	37.50	9.50	42.25	0.18	65.00	2521.91	23.0	2436.77	E-W	18843.74	-19.89	2688.43
	9	97.00	48.50	76.00	38.00	10.50	43.25	0.21	69.00	2853.35	21.5	2368.12	E-W	18769.05	-15.32	2866.95
	10	95.00	47.50	74.00	37.00	10.50	42.25	0.22	64.00	2787.38	21.5	2534.35	E-W	19630.11	-17.29	2553.84
	11	98.00	49.00	77.00	38.50	10.50	43.75	0.21	67.00	2886.34	22.0	2359.85	E-W	18916.05	-15.89	3001.48
	12	102.00	51.00	79.00	39.50	11.50	45.25	0.24	66.00	3269.61	23.0	2769.17	E-W	22981.32	-16.37	2884.14
	13	96.00	48.00	77.00	38.50	9.50	43.25	0.17	64.00	2581.60	22.0	2403.69	E-W	19021.46	-20.37	3217.85
	14	97.00	48.50	77.00	38.50	10.00	43.50	0.19	62.00	2733.19	22.5	2498.81	E-W	19901.77	-19.89	2746.61
	15	99.00	49.50	80.00	40.00	9.50	44.75	0.17	68.00	2671.14	22.0	2330.90	E-W	19076.38	-19.21	3135.80
	16	106.00	53.00	82.00	41.00	12.00	47.00	0.26	64.00	3543.72	20.0	2693.10	E-W	23216.42	-15.67	2752.20
	17	102.00	51.00	81.00	40.50	10.50	45.75	0.20	70.00	3018.29	23.0	3005.62	E-W	25175.83	-20.21	3147.85
	18	92.00	46.00	73.00	36.50	9.50	41.25	0.18	70.00	2462.22	20.0	2383.01	E-W	17998.28	-17.65	3231.33
EYGT	1	68.00	34.00	53.00	26.50	7.50	30.25	0.16	60.00	1425.50	20.0	1466.53	E-W	8132.58	-14.97	2451.80
	2	67.00	33.50	54.00	27.00	6.50	30.25	0.12	56.00	1235.43	20.0	1299.45	E-W	7190.07	-18.79	3594.34
	3	70.00	35.00	56.00	28.00	7.00	31.50	0.13	59.00	1385.44	22.2	1689.03	E-W	9736.43	-20.84	3474.47
	4	67.00	33.50	54.00	27.00	6.50	30.25	0.12	56.00	1235.43	22.4	1248.99	E-W	6910.89	-18.06	3634.66
	5	67.00	33.50	53.00	26.50	7.00	30.00	0.14	58.00	1319.47	20.3	1720.47	E-W	9452.28	-20.62	3430.17
	6	67.00	33.50	54.00	27.00	6.50	30.25	0.12	59.00	1235.43	21.5	1488.04	E-W	8233.57	-20.42	3130.67
	7	68.00	34.00	55.00	27.50	6.50	30.75	0.11	60.00	1255.85	22.1	1695.65	E-W	9535.35	-23.24	3554.18
	8	68.00	34.00	55.00	27.50	6.50	30.75	0.11	56.00	1255.85	20.2	1062.88	E-W	5977.03	-15.61	3223.57
	9	69.00	34.50	57.00	28.50	6.00	31.50	0.10	54.00	1187.52	20.0	1350.73	E-W	7771.50	-24.63	4276.80
	10	66.00	33.00	54.00	27.00	6.00	30.00	0.10	55.00	1130.97	20.7	1296.14	E-W	7106.13	-22.14	2737.90
	11	68.00	34.00	54.00	27.00	7.00	30.50	0.13	59.00	1341.46	20.0	1221.70	E-W	6822.15	-14.62	2291.18
	12	65.00	32.50	51.00	25.50	7.00	29.00	0.14	57.00	1275.49	19.6	1148.91	E-W	6105.10	-13.57	2090.60
	13	64.00	32.00	51.00	25.50	6.50	28.75	0.12	59.00	1174.17	22.5	1233.28	E-W	6490.20	-16.12	2397.69
	14	62.00	31.00	47.00	23.50	7.50	27.25	0.17	51.00	1284.13	21.8	1681.59	E-W	8417.72	-18.31	2777.73
	15	72.00	36.00	58.00	29.00	7.00	32.50	0.13	58.00	1429.42	20.1	1207.63	E-W	7179.29	-15.62	2993.12
	16	70.00	35.00	55.00	27.50	7.50	31.25	0.15	59.00	1472.62	22.2	1325.09	E-W	7586.88	-14.19	2299.23
	17	72.00	36.00	56.00	28.00	8.00	32.00	0.17	57.00	1608.50	20.0	1255.61	E-W	7366.83	-12.55	2050.58
	18	67.00	33.50	55.00	27.50	6.00	30.50	0.10	59.00	1149.82	21.5	1390.43	E-W	7748.69	-22.49	3290.14

表 6. 47 垂直纖維抗壓試體

	N-S 方向先破裂	E-W 方向先破裂
試驗前		
試驗破壞		



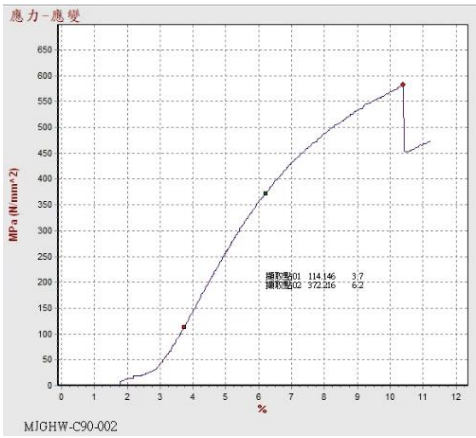
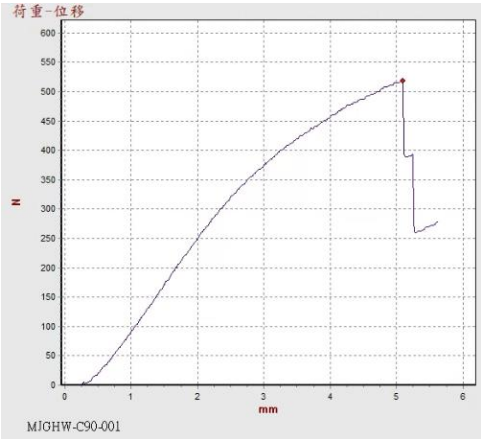


圖 6. 26 N-S 方向先破壞之荷重-位移圖(左)及應力-應變圖(右)



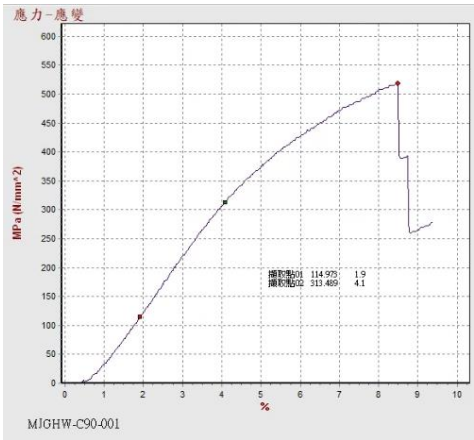


圖 6. 27 E-W 方向先破壞之荷重-位移圖(左)及應力-應變圖(右)

6.8 竹桿抗彎試驗

6.8.1 試體準備

竹桿抗彎試驗中，兩種竹材之竹桿的試體取材方式略有不同，由於桂竹的竹桿試體試驗段為 1.8 m，故將試體裁切成 2 m，沿用 6.1 節的方式，竹頭去除 0.5 m，竹尾去除 1.5 m，剩餘 6 m 在裁切成 3 等分，竹頭與竹尾即是試體。而孟宗竹試體試驗段長達 3m，試體所需至少 3.4 m 長，全竹 8m，竹頭端去除 0.4 m，竹尾端去除 0.8 m，剩餘 6.8 m 在對半裁切，分成竹頭及竹尾兩段試體。

竹桿抗彎試驗為四點抗彎方式進行試驗，施力點到支承點距離 a (至少為 10 倍的外竹徑 D)，兩點施力點最小間距為外竹徑 D 的 10 倍，因此竹桿試體總長度至少為外竹徑的 30 倍，如圖 6. 28。本研究將兩點施力點距離與施力點到支承點距離皆為距離 a，假設孟宗竹外徑為 10 cm，桂竹外徑 6 cm，因此孟宗竹竹桿試體長度為 300 cm，兩點施力點距離 a 為 100 cm；桂竹竹桿長度為 180 cm，兩點施力點距離 a 為 60 cm。

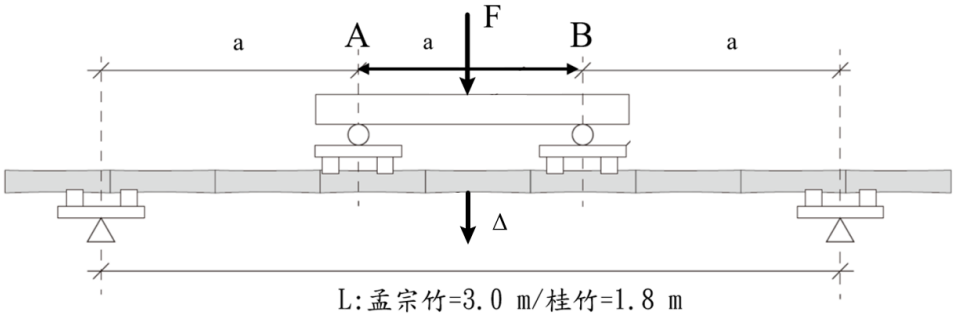


圖 6. 28 竹桿試驗示意圖

1123425

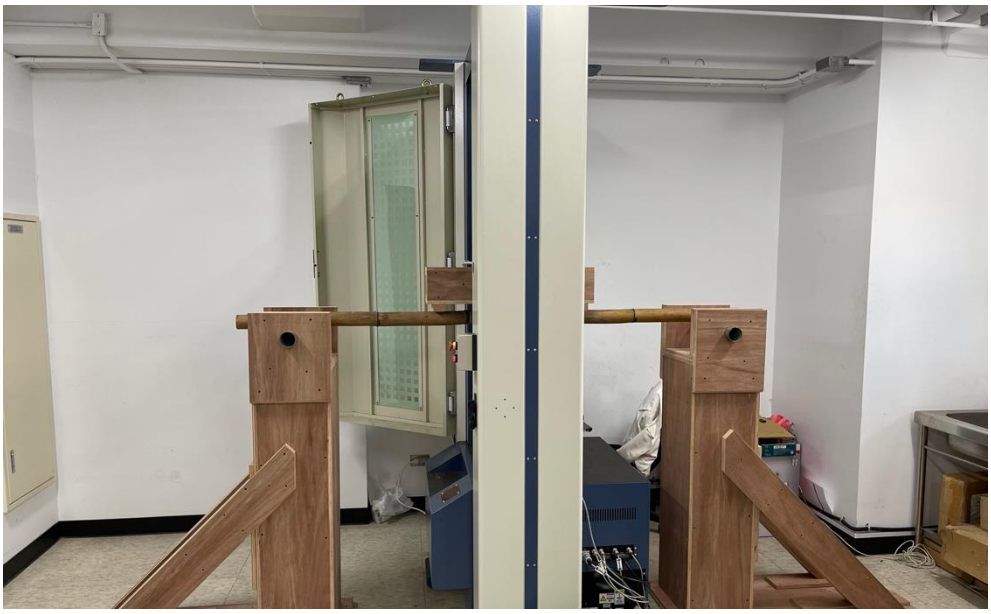


圖 6. 29 竹桿抗彎試驗

6.8.2 試驗流程

將試體從乾室與濕室取出，量測試體的兩端內外徑，而後將試體放置於兩端支承端上，使施力輔具下降至試體上，確認好位置後，以 25 mm/min 的速度進行抗彎試驗，當試體破壞後，記錄最大強度。從破壞的試體中，隨機取 2 根試體，由試體的破裂面以含水率測定儀測量含水率，確認試體的秤重含水率，最後在計算竹桿的抗彎強度 $f_{m,0}$ 與楊氏模數 $E_{m,0}$，如圖 6. 30。

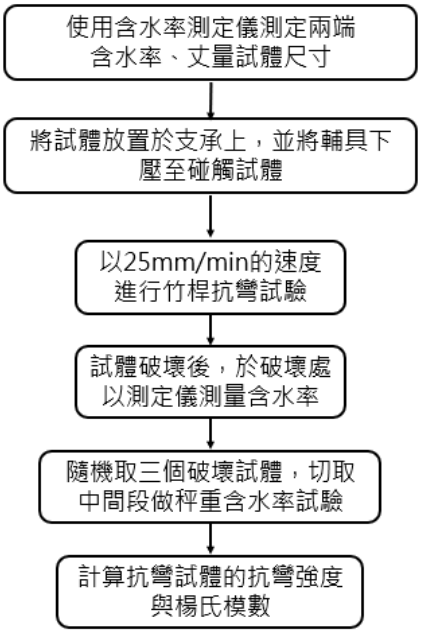


圖 6. 30 竹桿抗彎試驗流程

6.8.3 竹桿抗彎強度及竹桿抗彎楊氏模數公式

抗彎強度$f_{m,0}$ (MPa)公式如下：

$$M_{ult} = \frac{F_{ult} \times a}{2} \tag{6.16}$$

$$f_{m,0} = \frac{M_{ult} \times D}{2 \times I_B} \tag{6.17}$$

$$I_B = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4) \tag{6.18}$$

M_{ult} 極限彎矩 (N·mm)
F_{ult} 極限強度 (N)
I_B 慣性矩 (mm^4)
D 外竹徑 (mm)
d 內竹徑 (mm)

抗彎楊氏模數 $E_{m,0}$(MPa)公式如下：

$$E_{m,0} = \frac{(F_{60} - F_{20}) \cdot a(3L^2 - 4a^2)}{48(\Delta_{max\_60} - \Delta_{max\_20}) \cdot I_B} \tag{6.19}$$

$$\frac{\Delta_{max}}{\Delta} = \frac{L(3L^2 - 4a^2)}{6a(L-a)(3L-4a)} \tag{6.20}$$

F_{60} 極限強度的 60% (N)
F_{20} 極限強度的 20% (N)
Δ_{max} 中點位移量 (mm)
Δ 施力點位移量 (mm)
Δ_{max_60} 極限強度 60%下的中點位移量 (mm)
Δ_{max_20} 極限強度 20%下的中點位移量 (mm)
L 試體長度 (mm)

6.8.4 竹桿抗彎計算

以服務等級 1 的乾燥孟宗竹為例，其資料如下表

表 6. 48 服務等級 1 乾燥孟宗竹

外徑 D_o (mm)	內徑 D_i (mm)	平均厚度 δ (mm)	長度 L (mm)	施力點距離 a (mm)	慣性矩 I_B (mm4)	最大位移 (mm)
101.5	87.5	7.0	3000	1000	2332543.75	119.87

1123425

最大荷重 (N)	最大彎矩 (N.mm)	抗彎強度 $f_{m,0}$ (Mpa)	勁度 (N/mm)	E_m*I_B	楊氏係數 E (GPa)	
11751.92	5875960	127.846	149.505	71637812500	30.86	

由公式(6.16)推得最大彎矩為

$$M_{ult} = \frac{F_{ult} \times a}{2} = \frac{11751.92 \times 1000}{2} = 5875960 \text{ (N-mm)}$$

計算慣性矩 IB (6.18)

$$I_B = \frac{\pi}{64}(D_o^4 - D_i^4) = 2332543.746 \text{ (mm}^4\text{)}$$

帶入(6.17)求得抗彎強度

$$f_{m,0} = \frac{M_{ult} \times D}{2 \times I_B} = \frac{5875960 \times 101.5}{2 \times 2332543.746} = 127.845 \text{ (MPa)}$$

其中 F_{60}=7023.376 N, F_{20}=2341.652 N，其對應的位移Δ_{60}= 41.041 mm, Δ_{20}= 13.944 mm，但由於需計算中點的位移量，因此計算後得

→ Δ_{max_60}= 47.198 mm, Δ_{max_20}= 16.036 mm

最後再帶入公式(6.19)得

$$E_{m,0} = \frac{(F_{60} - F_{20}) \cdot a(3L^2 - 4a^2)}{48(\Delta_{60} - \Delta_{20}) \cdot I_B}$$

$$= \frac{(7023.376 - 2341.652) \times 1000 \times (3 \times 3000^2 - 4 \times 1000^2)}{48 \times (47.198 - 16.036) \times 2332543.746}$$

$$= 30862.93 \text{ N/mm} = 30.86\ GPa$$

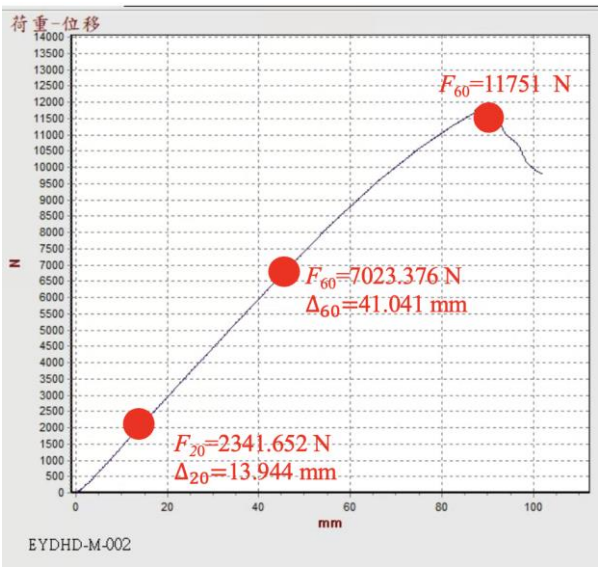


圖 6. 31 服務等級 1 的乾燥孟宗竹荷重-位移圖

1123425

表 6. 49 竹桿抗彎試驗 (桂竹-乾燥竹-服務等級 1)

	編號	測定儀含水率(%)	外徑 *D*o (mm)	內徑 *D*i (mm)	平均厚度 δ (mm)	長度 *L* (mm)	施力點距離 *a* (mm)	慣性矩 I_B (mm^4)	中間點位移 (mm)	最大荷重 (N)	最大彎矩 (N.mm)	抗彎強度 $f_{m,0}$ (MPa)	楊氏係數 $E_{m,0}$ (GPa)
MTDH	1	7.00	66.50	55.75	5.375	1800	600	485780.7	49.7	5204.7	1561421.1	106.9	28.7
	2	9.50	55.75	43.25	6.250	1800	600	302429.8	75.5	4467.8	1340349.9	123.5	29.4
	3	6.25	56.25	44.00	6.125	1800	600	307443.9	79.5	5459.8	1637944.8	149.8	31.8
	4	8.50	59.50	44.75	7.375	1800	600	418377.4	73.2	5285.9	1585768.5	112.8	23.7
	5	7.00	59.75	48.00	5.875	1800	600	365059.5	76.1	5386.9	1616079.9	132.3	27.6
	6	12.00	56.75	45.00	5.875	1800	600	307846.5	65.8	3135.4	940625.4	86.7	23.3
	7	8.00	60.50	51.00	4.750	1800	600	325558.8	63.6	4777.7	1433317.2	133.2	32.2
	8	8.50	64.25	52.25	6.000	1800	600	470633.1	74.6	6048.8	1814637.0	123.9	24.9
	9	12.00	57.00	45.25	5.875	1800	600	312367.0	58.0	3845.1	1153530.0	105.2	27.0
	10	10.00	60.25	46.75	6.750	1800	600	412366.9	60.0	4119.9	1235969.4	90.3	22.9
	11	11.00	60.00	48.25	5.875	1800	600	370125.0	68.1	3790.1	1137034.5	92.2	22.3
	12	9.00	56.00	42.00	7.000	1800	600	330004.7	86.5	4465.4	1339606.2	113.7	23.3
MWDH	1	8.75	57.50	48.50	4.500	1800	600	264984.0	68.6	3518.2	1055449.5	114.5	26.0
	2	7.25	61.25	50.25	5.500	1800	600	377888.5	39.4	3352.0	1005603.0	81.5	29.2
	3	10.75	58.25	47.75	5.250	1800	600	309947.0	75.5	3964.2	1189246.8	111.8	24.0
	4	10.00	56.50	47.00	4.750	1800	600	260692.3	79.7	4181.1	1254317.4	135.9	29.6
	5	10.00	54.75	43.50	5.625	1800	600	265306.1	80.2	3859.5	1157863.8	119.5	25.6
	6	9.00	57.50	48.00	4.750	1800	600	276012.1	78.3	4194.3	1258284.6	131.1	28.6
	7	10.25	59.50	48.50	5.500	1800	600	343625.9	67.4	4189.3	1256796.9	108.8	26.0
	8	9.50	57.00	47.25	4.875	1800	600	273498.5	73.6	4755.4	1426623.9	148.7	33.7
	9	7.50	59.75	49.00	5.375	1800	600	342656.7	58.6	4450.6	1335173.7	116.4	28.9
	10	8.50	57.00	47.50	4.750	1800	600	268279.1	57.9	3430.5	1029162.6	109.3	28.0
	11	9.75	58.50	47.75	5.375	1800	600	319711.5	67.7	4317.4	1295227.2	118.5	27.8
	12	9.50	55.50	46.50	4.500	1800	600	236238.7	72.3	3219.7	965922.3	113.5	26.4
MJDH	1	10.00	60.50	51.75	4.375	1800	600	305589.2	55.4	4067.8	1220349.0	120.8	36.0
	2	8.75	57.75	47.75	5.000	1800	600	290791.6	65.6	4297.6	1289276.7	128.0	31.9
	3	10.75	54.50	43.25	5.625	1800	600	261310.9	73.1	3844.3	1153302.6	120.3	29.6
	4	8.25	63.50	50.50	6.500	1800	600	478860.5	62.2	5611.4	1683417.3	111.6	27.1
	5	9.75	61.75	47.00	7.375	1800	600	474172.6	80.2	6323.9	1897162.5	123.5	25.0
	6	11.00	53.25	42.25	5.500	1800	600	238268.5	64.1	3524.8	1057433.4	118.2	29.8
	7	10.50	65.25	54.75	5.250	1800	600	448730.2	53.4	5014.2	1504260.6	109.4	27.7
	8	11.00	57.00	45.00	6.000	1800	600	316877.5	75.3	4943.9	1483160.7	133.4	29.5
	9	10.00	56.50	44.50	6.000	1800	600	307732.3	97.1	6233.6	1870067.1	171.7	31.8
	10	9.50	55.00	43.75	5.625	1800	600	269342.0	110.6	5617.2	1685156.7	172.1	28.8
	11	8.50	58.00	48.00	5.000	1800	600	294920.9	68.7	4723.2	1416955.5	139.3	31.6
	12	9.75	53.00	41.75	5.625	1800	600	238182.5	87.8	4621.5	1386462.6	154.3	31.5

	編號	測定儀含水率(%)	外徑 *D*o (mm)	內徑 *D*i (mm)	平均厚度 δ (mm)	長度 *L* (mm)	施力點距離 *a* (mm)	慣性矩 I_B (mm^4)	中間點位移 (mm)	最大荷重 (N)	最大彎矩 (N.mm)	抗彎強度 $f_{m,0}$ (MPa)	楊氏係數 $E_{m,0}$ (GPa)
MTDT	1	8.25	48.25	42.25	3.000	1800	600	109633.1	83.4	2273.0	681899.7	150.1	35.2
	2	8.00	50.25	42.75	3.750	1800	600	149027.1	84.0	2564.1	769234.5	129.7	28.8
	3	11.50	48.75	43.50	2.625	1800	600	101485.2	73.8	1016.6	304968.9	73.2	18.6
	4	9.25	44.25	36.75	3.750	1800	600	98665.1	93.0	1895.0	568497.9	127.5	28.1
	5	6.75	42.25	36.00	3.125	1800	600	73966.4	104.4	1529.4	458818.2	131.0	29.0
	6	7.75	45.25	40.00	2.625	1800	600	80135.8	88.0	1858.6	557579.4	157.4	34.4
	7	7.25	43.25	34.75	4.250	1800	600	100177.4	88.5	1829.6	548894.4	118.5	27.8
	8	10.00	41.00	34.50	3.250	1800	600	69167.4	88.9	1182.0	354597.6	105.1	26.1
MWDT	1	6.25	52.25	46.00	3.125	1800	600	146073.5	67.8	2679.9	803961.3	143.8	34.7
	2	8.25	48.75	40.25	4.250	1800	600	148413.1	77.7	2244.0	673214.7	110.6	28.3
	3	8.00	52.50	46.50	3.000	1800	600	143413.2	68.6	2234.1	670236.9	122.7	29.7
	4	8.25	45.50	39.75	2.875	1800	600	87833.9	77.5	1796.6	538968.6	139.6	37.7
	5	7.50	50.75	44.75	3.000	1800	600	128769.3	65.4	1947.1	584130.9	115.1	30.1
	6	5.00	48.00	42.00	3.000	1800	600	107831.2	71.7	1507.9	452366.4	100.7	32.0
	7	9.25	44.00	38.25	2.875	1800	600	78910.1	83.4	2007.5	602245.5	167.9	31.9
	8	3.50	52.00	45.50	3.250	1800	600	148522.8	62.5	2340.0	701999.4	122.9	32.9
	9	7.75	53.00	45.50	3.750	1800	600	176937.7	62.9	2058.8	617630.4	92.5	25.4
	10	7.50	46.25	40.50	2.875	1800	600	92538.0	80.2	1792.4	537728.1	134.4	32.8
	11	4.75	44.00	37.00	3.500	1800	600	91986.6	77.6	1962.0	588597.6	140.8	35.9
	12	5.75	46.75	40.00	3.375	1800	600	108811.2	74.6	2054.6	616389.6	132.4	33.1
MJDT	1	7.00	51.75	44.75	3.500	1800	600	155202.6	60.8	2091.0	627308.1	104.6	29.6
	2	8.50	41.75	35.75	3.000	1800	600	68959.1	100.6	1876.8	563038.8	170.4	38.6
	3	7.75	49.50	43.00	3.250	1800	600	126887.2	71.2	2867.6	860265.9	167.8	43.4
	4	8.00	49.25	43.00	3.125	1800	600	120978.4	87.1	2961.1	888325.2	180.8	39.4
	5	8.00	46.50	39.50	3.500	1800	600	110002.1	81.7	2106.7	632022.6	133.6	31.7
	6	7.75	51.25	44.75	3.250	1800	600	141792.5	64.1	2072.0	621600.6	112.3	33.2
	7	6.00	46.25	37.00	4.625	1800	600	132606.0	79.4	1713.0	513906.3	89.6	25.1
	8	6.25	45.75	40.25	2.750	1800	600	86212.6	84.5	2412.8	723836.1	192.1	46.0
	9	8.50	43.25	38.00	2.625	1800	600	69403.1	82.3	1864.4	559316.4	174.3	38.6
	10	7.75	53.50	46.75	3.375	1800	600	167672.3	57.2	2646.0	793791.3	126.6	37.6
	11	7.75	43.75	38.25	2.750	1800	600	74764.2	104.2	2183.7	655100.1	191.7	45.8
	12	6.25	55.00	48.75	3.125	1800	600	171932.3	76.0	3814.9	1144473.6	183.1	42.9

表 6. 50 竹桿抗彎試驗 (孟宗竹-乾燥竹-服務等級 1)

	編號	測定儀含水率(%)	外徑 *D*o (mm)	內徑 *D*i (mm)	平均厚度 δ (mm)	長度 *L* (mm)	施力點距離 *a* (mm)	慣性矩 I_B (mm^4)	中間點位移 (mm)	最大荷重 (N)	最大彎矩 (N.mm)	抗彎強度 $f_{m,0}$ (MPa)	楊氏係數 $E_{m,0}$ (GPa)
ENDH	1	10.00	83.50	71.00	6.250	3000	1000	1138856.3	127.5	5328.3	2664155.0	97.7	23.5
	2	10.50	69.25	55.50	6.875	3000	1000	663145.0	187.3	3862.9	1931425.0	100.8	20.1
	3	12.00	72.50	64.25	4.125	3000	1000	519701.1	123.5	2145.6	1072809.0	74.8	20.4
	4	8.00	79.75	64.50	7.625	3000	1000	1136015.4	171.6	4225.7	2112840.0	74.2	14.4
	5	10.00	77.00	65.00	6.000	3000	1000	849330.4	183.3	3619.0	1809506.0	82.0	16.6
	6	9.50	81.00	68.75	6.125	3000	1000	1016419.5	137.6	4217.2	2108615.0	84.0	19.5
	7	11.00	74.25	61.00	6.625	3000	1000	812298.9	182.7	5041.5	2520754.0	115.2	23.9
	8	7.00	80.75	72.00	4.375	3000	1000	767917.1	163.5	5181.5	2590774.5	136.2	26.1
	9	10.00	79.75	65.75	7.000	3000	1000	1068216.4	212.0	5544.3	2772149.5	103.5	18.7
	10	4.50	76.25	64.25	6.000	3000	1000	822823.5	194.4	5332.3	2666136.0	123.5	25.0
	11	8.00	72.50	57.25	7.625	3000	1000	828877.2	224.3	3779.4	1889685.0	82.6	14.6
	12	10.50	91.00	79.25	5.875	3000	1000	1429890.8	108.5	3063.5	1531745.0	48.7	12.1
	13	7.00	71.25	59.00	6.125	3000	1000	670245.3	265.7	4451.3	2225652.5	118.3	22.0
	14	8.50	70.25	58.25	6.000	3000	1000	630378.7	194.0	4113.3	2056643.5	114.6	24.1
	15	7.50	74.00	63.50	5.250	3000	1000	673848.8	148.1	2985.8	1492890.0	82.0	19.1
	16	7.50	81.75	72.50	4.625	3000	1000	836211.5	168.9	3256.1	1628058.0	79.6	15.9
	17	9.00	83.25	71.75	5.750	3000	1000	1056858.7	140.3	4478.6	2239288.5	88.2	19.7
	18	7.50	82.00	69.75	6.125	3000	1000	1057506.4	207.2	6073.6	3036823.0	117.7	20.6
EYDH	1	9.00	101.50	87.50	7.000	3000	1000	2332543.7	137.8	11251.9	5625960.0	122.4	30.7
	2	9.00	116.00	97.50	9.250	3000	1000	4451987.6	101.0	11720.1	5860030.0	76.3	14.3
	3	9.00	111.50	88.25	11.625	3000	1000	4609645.3	142.6	15261.1	7630550.0	92.3	16.1
	4	8.50	113.50	98.00	7.750	3000	1000	3618503.6	108.7	10293.0	5146515.0	80.7	16.7
	5	6.00	98.00	82.00	8.000	3000	1000	2308316.6	162.8	10382.5	5191265.0	110.2	19.7
	6	9.00	108.00	94.00	7.000	3000	1000	2845792.1	104.1	8338.9	4169465.0	79.1	18.5
	7	5.00	103.50	82.00	10.750	3000	1000	3413542.9	140.0	11443.4	5721695.0	86.7	15.7
	8	7.50	112.50	89.25	11.625	3000	1000	4748246.2	140.1	13113.9	6556970.0	77.7	12.9
	9	10.00	107.50	91.75	7.875	3000	1000	3076951.3	112.3	9261.4	4630688.5	80.9	16.4
	10	9.00	111.50	95.25	8.125	3000	1000	3546536.6	113.5	11777.5	5888730.0	92.6	18.7
	11	6.50	107.75	86.50	10.625	3000	1000	3868551.6	161.0	16020.3	8010140.0	111.6	17.5
	12	9.00	109.75	85.25	12.250	3000	1000	4529099.9	141.7	12262.4	6131220.0	74.3	12.3
	13	7.00	107.00	89.50	8.750	3000	1000	3284706.7	140.3	10958.9	5479455.0	89.2	16.0
	14	10.00	109.75	96.75	6.500	3000	1000	2820728.1	103.3	8580.4	4290202.5	83.5	19.7
	15	9.00	102.00	84.25	8.875	3000	1000	2840231.7	126.5	10325.4	5162675.0	92.7	19.2
	16	11.50	105.25	90.50	7.375	3000	1000	2730839.0	120.6	9853.0	4926490.0	94.9	20.1
	17	8.00	102.50	84.50	9.000	3000	1000	2915698.3	145.7	9591.5	4795760.0	84.3	14.6
	18	9.00	100.75	83.00	8.875	3000	1000	2728060.8	116.8	7906.9	3953440.0	73.0	15.2

	編號	測定儀含水率(%)	外徑 D_o (mm)	內徑 D_i (mm)	平均厚度 δ (mm)	長度 L (mm)	施力點距離 a (mm)	慣性矩 I_B (mm^4)	中間點位移 (mm)	最大荷重 (N)	最大彎矩 (N.mm)	抗彎強度 $f_{m,0}$ (MPa)	楊氏係數 $E_{m,0}$ (GPa)
ENDT	1	8.00	57.25	47.75	4.750	3300	1100	272127.3	446.4	2822.9	1552598.9	163.3	29.3
	2	8.00	52.75	44.50	4.125	3300	1100	187575.9	247.7	1351.6	743356.4	104.5	25.4
	3	8.00	61.25	45.50	7.875	3300	1100	480481.4	469.2	3338.8	1836330.7	117.0	19.6
	4	8.00	60.75	48.75	6.000	3000	1000	391334.6	313.4	3739.7	1869847.0	145.1	23.8
	5	7.00	54.50	44.75	4.875	3000	1000	236214.8	239.4	2180.4	1090179.0	125.8	24.7
	6	6.00	54.00	45.25	4.375	3000	1000	211593.3	359.0	2330.9	1165449.5	148.7	27.2
	7	8.00	58.25	47.75	5.250	3000	1000	309947.0	256.1	2655.9	1327946.5	124.8	24.4
	8	9.50	62.00	50.25	5.875	3000	1000	412353.4	300.2	3470.2	1735110.5	130.4	22.7
	9	8.00	50.75	40.25	5.250	3000	1000	196787.4	382.4	1906.6	953286.5	122.9	20.8
	10	5.50	58.00	46.75	5.625	3000	1000	321022.3	304.8	2425.2	1212597.0	109.5	21.3
	11	7.00	58.00	47.75	5.125	3000	1000	300307.3	223.1	2825.4	1412693.5	136.4	28.0
	12	9.00	58.50	49.00	4.750	3000	1000	291922.4	312.3	3171.0	1585483.0	158.9	24.2
	13	5.50	52.75	41.75	5.500	3000	1000	230926.1	341.6	2507.9	1253954.0	143.2	22.3
	14	5.50	64.75	55.00	4.875	3000	1000	413657.2	298.3	4045.2	2022604.0	158.3	27.1
	15	5.00	61.50	53.25	4.125	3000	1000	307532.5	303.6	3585.1	1792560.5	179.2	32.6
	16	8.00	60.50	50.75	4.875	3000	1000	332022.6	254.2	2630.3	1315130.5	119.8	22.4
	17	10.00	51.00	41.75	4.625	3000	1000	182945.5	353.7	1871.8	935916.5	130.5	25.1
	18	7.50	46.25	39.00	3.625	3000	1000	111042.9	364.0	1038.1	519034.5	108.1	21.3
EYDT	1	7.50	87.50	76.75	5.375	3000	1000	1174142.6	129.8	5793.6	2896813.5	107.9	25.0
	2	8.00	90.00	78.00	6.000	3000	1000	1403651.0	147.2	6886.6	3443302.0	110.4	22.6
	3	3.00	89.00	75.50	6.750	3000	1000	1484863.5	139.2	8588.7	4294340.0	128.7	25.7
	4	5.00	95.25	79.75	7.750	3000	1000	2054846.8	155.9	10604.6	5302310.0	122.9	21.8
	5	3.00	89.00	76.00	6.500	3000	1000	1442190.6	133.2	8130.3	4065143.0	125.4	26.0
	6	5.00	90.75	79.25	5.750	3000	1000	1393052.1	143.2	8799.7	4399836.5	143.3	28.1
	7	6.00	81.00	69.75	5.625	3000	1000	951209.8	138.6	6379.4	3189697.5	135.8	28.5
	8	8.00	87.25	72.25	7.500	3000	1000	1507083.6	126.3	6737.4	3368705.5	97.5	21.5
	9	6.00	81.50	66.75	7.375	3000	1000	1191225.6	211.8	7510.2	3755111.5	128.5	22.5
	10	8.00	91.75	80.50	5.625	3000	1000	1417159.5	143.4	8299.9	4149954.0	134.3	26.5
	11	4.00	91.50	74.00	8.750	3000	1000	1968796.6	189.2	10191.9	5095970.0	118.4	19.5
	12	9.50	92.50	82.00	5.250	3000	1000	1374311.2	111.2	6471.4	3235689.0	108.9	25.2
	13	6.00	84.00	70.75	6.625	3000	1000	1214003.7	157.4	7590.8	3795402.0	131.3	25.1
	14	6.00	78.50	65.75	6.375	3000	1000	946623.5	180.0	6217.0	3108492.5	128.9	24.6
	15	8.00	98.00	83.50	7.250	3000	1000	2141414.9	151.5	11969.0	5984480.0	136.9	24.3
	16	4.00	90.00	76.75	6.625	3000	1000	1517353.6	155.3	8173.3	4086656.0	121.2	22.7
	17	1.00*	92.50	79.50	6.500	3000	1000	1632835.6	156.6	9975.4	4987722.5	141.3	24.8

*: 測定儀測出較為不合理的含水率。

表 6. 51 竹桿抗彎試驗 (桂竹-生竹-服務等級 1)

	編號	測定儀含水率(%)	外徑 *Do* (mm)	內徑 *Di* (mm)	平均厚度 δ (mm)	長度 *L* (mm)	施力點距離 *a* (mm)	慣性矩 I_B (mm^4)	中間點位移 (mm)	最大荷重 (N)	最大彎矩 (N.mm)	抗彎強度 $f_{m,0}$ (MPa)	楊氏係數 $E_{m,0}$ (GPa)
MTGH	1	20.00	68.50	49.50	9.500	1800	600	786060.11	52.14	5521.11	1656332.1	72.169	17.43
	2	20.50	72.75	56.50	8.125	1800	600	874774.40	66.86	5746.41	1723923	71.684	16.84
	3	20.00	60.50	41.25	9.625	1800	600	515521.37	68.29	3579.34	1073800.5	63.009	14.92
	4	15.00	59.50	43.50	8.000	1800	600	439467.58	82.00	4376.93	1313078.1	88.890	17.74
	5	16.50	65.75	47.50	9.125	1800	600	667500.34	88.22	5618.02	1685405.1	83.008	15.18
	6	16.50	58.50	46.25	6.125	1800	600	350297.73	91.63	4538.08	1361423.4	113.679	20.56
	7	17.00	63.25	42.00	10.625	1800	600	632874.05	76.77	5392.73	1617819	80.843	16.89
	8	24.50	68.25	52.75	7.750	1800	600	685009.17	54.11	4560.39	1368117	68.155	17.82
	9	22.00	63.00	44.50	9.250	1800	600	580780.88	70.21	4333.95	1300185.9	70.519	18.25
	10	20.00	60.25	45.00	7.625	1800	600	445552.88	63.64	3967.00	1190098.5	80.466	20.35
	11	19.00	62.75	44.25	9.250	1800	600	572868.91	98.72	5816.82	1745046.9	95.573	18.31
	12	0.0*	69.50	51.25	9.125	1800	600	806627.70	53.25	4587.66	1376298.3	59.292	16.13
MWGH	1	21.50	63.75	50.75	6.500	1800	600	485134.64	76.29	4074.44	1222332.6	80.311	16.86
	2	26.00	59.75	45.25	7.250	1800	600	419836.26	80.22	3606.61	1081983.9	76.993	16.64
	3	34.00	67.00	52.50	7.250	1800	600	616253.19	51.52	2430.13	729038.1	39.631	11.24
	4	29.00	60.25	47.50	6.375	1800	600	396954.45	64.41	2870.30	861090.9	65.348	18.01
	5	17.50	65.50	48.75	8.375	1800	600	626266.47	53.14	4381.89	1314565.8	68.744	17.61
	6	28.50	63.75	54.75	4.500	1800	600	369688.05	40.64	2796.45	838935	72.334	27.88
	7	23.50	60.25	41.25	9.500	1800	600	504718.40	89.32	5401.84	1620552.3	96.725	20.30
	8	22.00	59.50	40.00	9.750	1800	600	489566.66	78.68	4355.40	1306620	79.401	18.17
	9	22.50	60.50	42.25	9.125	1800	600	501230.40	85.93	4688.65	1406593.8	84.890	19.36
	10	28.50	58.00	44.75	6.625	1800	600	358644.19	95.31	3511.55	1053465.6	85.183	18.35
	11	31.00	59.00	44.25	7.375	1800	600	406608.10	63.02	3280.92	984274.8	71.411	19.14
	12	17.00	64.25	50.50	6.875	1800	600	517239.91	55.88	4943.40	1483020.6	92.108	23.74
MJGH	1	22.50	66.00	47.25	9.375	1800	600	686752.19	91.67	6478.01	1943402.4	93.385	19.19
	2	20.00	71.25	52.00	9.625	1800	600	906146.79	106.96	7712.44	2313730.8	90.964	16.31
	3	25.00	64.50	49.50	7.500	1800	600	554881.59	110.35	4534.77	1360431.6	79.069	15.85
	4	26.00	56.00	45.25	5.375	1800	600	276950.23	62.55	3376.81	1013043	102.420	27.45
	5	29.00	58.75	45.75	6.500	1800	600	369744.50	72.31	4149.65	1244895.6	98.903	22.82
	6	17.00	58.25	46.50	5.875	1800	600	335637.36	141.46	6237.70	1871310	162.383	28.43
	7	23.00	64.50	49.00	7.750	1800	600	566609.75	56.01	4143.00	1242900	70.743	18.73
	8	17.50	63.75	46.75	8.500	1800	600	576282.00	73.17	4800.86	1440258.3	79.663	17.00
	9	27.00	68.75	53.25	7.750	1800	600	701948.55	62.78	4514.94	1354481.4	66.330	14.77
	10	23.50	60.00	47.50	6.250	1800	600	386285.12	70.39	4860.36	1458107.1	113.241	26.78
	11	22.00	69.00	51.00	9.000	1800	600	780583.67	95.12	6946.29	2083885.8	92.103	17.17
	12	21.00	56.00	44.25	5.875	1800	600	294548.23	152.39	4418.25	1325474.7	126.001	24.01

*: 測定儀測出較為不合理的含水率。

1123425

	編號	測定儀含水率(%)	外徑 D_o (mm)	內徑 D_i (mm)	平均厚度 δ (mm)	長度 L (mm)	施力點距離 a (mm)	慣性矩 I_B (mm^4)	中間點位移 (mm)	最大荷重 (N)	最大彎矩 (N.mm)	抗彎強度 $f_{m,0}$ (MPa)	楊氏係數 $E_{m,0}$ (GPa)
MTGT	1	15.00	52.25	45.00	3.625	1800	600	164571.17	71.31	2220.89	666267.0	105.767	26.72
	2	14.50	53.00	45.50	3.750	1800	600	176937.73	70.06	2642.66	792799.2	118.738	28.51
	3	16.00	56.50	48.75	3.875	1800	600	222975.07	75.34	2172.91	651874.2	82.590	19.03
	4	16.50	51.50	43.50	4.000	1800	600	169538.99	68.20	1988.46	596538.0	90.604	22.59
	5	12.00	56.25	48.25	4.000	1800	600	225380.63	66.18	2363.99	709195.5	88.500	22.45
	6	14.50	51.00	43.75	3.625	1800	600	152247.75	62.54	1868.52	560557.2	93.888	26.29
	7	13.50	51.50	42.00	4.750	1800	600	192556.76	71.31	1990.95	597284.7	79.873	20.06
	8	12.00	50.25	43.00	3.625	1800	600	145158.25	59.90	1526.09	457825.5	79.244	21.57
	9	14.00	59.50	52.50	3.500	1800	600	242317.72	47.40	2231.64	669492.6	82.195	25.58
	10	21.00	48.25	40.25	4.000	1800	600	137212.62	75.19	1391.26	417378.3	73.384	19.44
	11	13.50	51.25	41.50	4.875	1800	600	193045.25	64.93	1864.39	559316.4	74.244	19.84
	12	12.50	64.00	58.75	2.625	1800	600	238757.72	53.10	2935.35	880604.4	118.025	31.15
MWGT	1	24.50	45.75	39.75	3.000	1800	600	92496.00	58.43	933.85	280154.7	69.284	24.32
	2	21.00	49.25	42.00	3.625	1800	600	136053.42	63.11	1233.28	369982.8	66.965	21.80
	3	16.50	53.75	45.75	4.000	1800	600	194669.35	57.13	1998.39	599515.8	82.766	25.59
	4	21.00	45.75	39.00	3.375	1800	600	101486.68	61.78	1100.93	330279.6	74.445	25.02
	5	14.50	43.00	37.00	3.000	1800	600	75822.34	95.46	1359.86	407957.7	115.680	29.49
	6	26.00	47.25	40.50	3.375	1800	600	112602.30	66.52	1261.40	378419.7	79.396	22.98
	7	16.50	46.50	40.25	3.125	1800	600	100664.61	66.47	1312.68	393804.6	90.955	27.28
	8	21.00	42.00	34.75	3.625	1800	600	81165.44	80.85	1000.85	300254.1	77.685	21.71
MJGT	1	17.00	45.25	38.75	3.250	1800	600	95122.63	59.43	1335.84	400752.6	95.331	29.63
	2	17.00	44.50	34.00	5.250	1800	600	126893.54	79.89	1521.12	456336.9	80.009	20.25
	3	14.00	47.75	41.50	3.125	1800	600	109589.55	54.40	1337.50	401248.8	87.383	30.19
	4	14.50	40.75	34.00	3.375	1800	600	69759.64	83.53	1251.47	375441.9	109.615	29.23
	5	12.50	49.00	39.75	4.625	1800	600	160427.56	67.48	1990.12	597034.5	91.172	24.20
	6	11.50	34.75	25.50	4.625	1800	600	50824.20	39.74	798.20	239458.8	81.842	49.35
	7	18.00	45.00	32.25	6.375	1800	600	148189.66	70.40	1267.19	380156.7	57.712	17.13
	8	13.00	45.50	37.75	3.875	1800	600	110698.53	73.37	559.15	167745.3	30.827	8.13
	9	11.50	35.50	26.25	4.625	1800	600	54655.02	36.14	500.42	150127.2	54.463	40.80
	10	12.50	39.75	31.50	4.125	1800	600	74221.96	74.52	966.11	289832.1	77.602	23.38
	11	18.00	43.50	35.00	4.250	1800	600	102101.03	66.38	1071.16	321346.5	68.445	20.16
	12	12.00	45.50	38.25	3.625	1800	600	105311.25	44.77	890.01	267003.0	57.679	23.41

表 6. 52 竹桿抗彎試驗 (孟宗竹-生竹-服務等級 1)

	編號	測定儀含水率(%)	外徑 *D*o (mm)	內徑 *D*i (mm)	平均厚度 δ (mm)	長度 *L* (mm)	施力點距離 *a* (mm)	慣性矩 I_B (mm^4)	中間點位移 (mm)	最大荷重 (N)	最大彎矩 (N.mm)	抗彎強度 $f_{m,0}$ (MPa)	楊氏係數 $E_{m,0}$ (GPa)
ENGH	1	12.00	100.50	74.00	13.250	3300	1100	3535689.5	163.1	6155.7	3385619.1	48.1	10.9
	2	5.00	84.25	64.25	10.000	3300	1100	1636651.5	269.9	4672.0	2569573.1	66.1	11.8
	3	10.50	80.00	62.00	9.000	3300	1100	1285287.6	212.6	4761.2	2618658.4	81.5	18.7
	4	11.00	81.75	68.25	6.750	3300	1100	1127330.0	201.2	4153.0	2284126.9	82.8	20.4
	5	12.00	87.00	73.00	7.000	3300	1100	1418209.2	304.2	5214.7	2868068.5	88.0	18.5
	6	7.50	77.00	59.50	8.750	3300	1100	1110340.5	225.0	4298.4	2364125.5	82.0	18.3
	7	6.50	85.25	61.25	12.000	3300	1100	1901804.5	175.8	3874.4	2130932.7	47.8	10.8
	8	12.00	89.25	73.75	7.750	3300	1100	1662431.9	271.6	7569.7	4163318.5	111.8	20.2
	9	8.00	81.00	64.50	8.250	3300	1100	1263462.2	184.4	5100.4	2805217.8	89.9	21.3
	10	10.50	86.75	68.00	9.375	3300	1100	1730463.6	232.7	3995.1	2197303.4	55.1	12.1
	11	5.50	83.75	58.25	12.750	3300	1100	1849818.8	225.6	4365.4	2400942.5	54.4	11.7
	12	7.00	90.25	70.00	10.125	3300	1100	2077969.3	205.7	4787.6	2633202.0	57.2	12.0
	13	5.50	82.50	58.75	11.875	3300	1100	1689183.1	255.7	5479.7	3013829.5	73.6	14.3
	14	5.50	77.75	57.00	10.375	3300	1100	1275623.1	291.0	4072.8	2240034.0	68.3	13.3
	15	9.00	92.50	71.00	10.750	3300	1100	2346265.7	259.0	8619.3	4740611.7	93.4	17.5
	16	6.50	77.25	58.50	9.375	3300	1100	1173188.9	216.0	3757.1	2066378.6	68.0	15.1
	17	9.00	82.25	60.75	10.750	3300	1100	1577954.2	311.1	4301.7	2365947.1	61.7	11.8
	18	12.00	85.50	60.00	12.750	3300	1100	1987045.3	230.6	3107.3	1709015.0	36.8	8.4
EYGH	1	7.00	89.00	65.50	11.750	3300	1100	2176338.1	330.8	6697.3	3683513.4	75.3	13.8
	2	10.50	91.00	73.50	8.750	3300	1100	1933584.3	224.9	6682.7	3675490.0	86.5	17.4
	3	9.50	87.50	65.00	11.250	3300	1100	2001171.9	203.0	5554.2	3054830.9	66.8	15.3
	4	12.00	93.25	70.25	11.500	3300	1100	2516119.5	187.5	6177.2	3397467.2	63.0	13.7
	5	8.00	86.25	62.00	12.125	3300	1100	1991147.1	359.4	6420.0	3531000.0	76.5	14.3
	6	9.50	82.25	61.00	10.625	3300	1100	1566880.6	289.6	6084.4	3346429.4	87.8	19.5
	7	12.00	94.75	72.25	11.250	3300	1100	2618693.0	287.1	6796.3	3737941.9	67.6	13.4
	8	7.50	86.25	67.00	9.625	3300	1100	1727312.9	311.1	7901.1	4345599.0	108.5	18.9
	9	12.00	88.00	67.50	10.250	3300	1100	1924722.4	185.9	4447.2	2445945.2	55.9	13.9
	10	7.00	85.50	60.75	12.375	3300	1100	1954635.3	294.8	6158.2	3386985.8	74.1	13.7
	11	11.00	81.00	64.50	8.250	3300	1100	1263462.2	233.1	3681.0	2024553.9	64.9	14.8
	12	5.00	82.00	62.00	10.000	3300	1100	1494015.8	246.1	6416.7	3529176.8	96.9	19.9
	13	10.50	86.25	64.00	11.125	3300	1100	1892929.1	315.7	5651.2	3108132.5	70.8	13.8
	14	10.50	89.50	68.50	10.500	3300	1100	2068880.9	268.6	6154.0	3384707.7	73.2	15.2
	15	5.50	83.50	67.00	8.250	3300	1100	1397083.4	228.7	4876.9	2682284.0	80.2	15.2
	16	10.00	87.50	66.50	10.500	3300	1100	1917445.0	195.3	4966.2	2731415.5	62.3	14.3
	17	12.00	89.75	66.50	11.625	3300	1100	2225020.1	264.9	5577.4	3067586.5	61.9	12.1
	18	8.00	83.75	67.25	8.250	3300	1100	1410943.3	145.7	2908.1	1599435.8	47.5	12.2

	編號	測定儀含水率(%)	外徑 D_o (mm)	內徑 D_i (mm)	平均厚度 δ (mm)	長度 L (mm)	施力點距離 a (mm)	慣性矩 I_B (mm^4)	中間點位移 (mm)	最大荷重 (N)	最大彎矩 (N.mm)	抗彎強度 $f_{m,0}$ (MPa)	楊氏係數 $E_{m,0}$ (GPa)
ENGT	1	11.00	52.75	41.50	5.625	3300	1100	234466.3	503.5	2131.6	1172356.4	131.9	27.4
	2	9.50	61.00	48.50	6.250	3300	1100	408051.7	350.2	3237.1	1780406.1	133.1	27.7
	3	8.00	63.50	46.50	8.500	3300	1100	568614.3	430.5	3585.1	1971816.6	110.1	19.8
	4	10.00	53.75	40.25	6.750	3300	1100	280881.9	250.7	1098.5	604148.1	57.8	14.7
	5	10.50	54.25	41.00	6.625	3300	1100	286466.9	285.8	1426.8	784755.4	74.3	15.5
	6	8.00	51.00	35.50	7.750	3300	1100	254124.0	273.0	1347.4	741093.1	74.4	21.2
	7	8.50	57.50	45.50	6.000	3300	1100	326203.1	323.9	2636.9	1450281.8	127.8	28.1
	8	10.00	51.25	37.50	6.875	3300	1100	241573.3	272.3	1555.9	855723.0	90.8	21.6
	9	8.00	54.00	42.75	5.625	3300	1100	253441.7	372.1	2325.1	1278810.0	136.2	27.8
	10	11.50	63.50	55.50	4.000	3300	1100	332375.6	253.2	3342.9	1838600.5	175.6	42.5
	11	10.00	53.00	39.25	6.875	3300	1100	270822.4	362.9	2022.4	1112303.5	108.8	23.0
	12	10.00	48.50	38.00	5.250	3300	1100	169250.6	462.9	1598.9	879380.7	126.0	26.8
	13	11.00	51.75	37.25	7.250	3300	1100	257546.2	214.9	831.3	457204.0	45.9	15.3
EYGT	1	11.00	58.00	45.75	6.125	3300	1100	340449.8	404.1	2322.6	1277441.0	108.8	23.5
	2	12.00	66.25	52.25	7.000	3300	1100	579752.9	313.0	3304.6	1817546.5	103.8	23.6
	3	11.00	52.50	40.00	6.250	3300	1100	247248.9	341.8	1942.7	1068483.4	113.4	26.9
	4	11.50	47.00	36.00	5.500	3300	1100	157082.8	321.6	1536.8	845260.9	126.5	28.0
	5	12.00	53.00	43.50	4.750	3300	1100	211560.3	168.7	1144.8	629623.5	78.9	27.1
	6	11.50	62.25	50.25	6.000	3300	1100	424123.3	253.8	2781.6	1529858.0	112.3	28.4
	7	11.50	58.75	46.25	6.250	3300	1100	360188.3	345.8	2397.1	1318389.1	107.5	23.5
	8	10.50	60.75	48.00	6.375	3300	1100	408006.3	392.8	2741.9	1508035.1	112.3	25.2
	9	12.00	61.25	43.75	8.750	3300	1100	511028.4	259.5	2044.7	1124588.3	67.4	15.4
	10	12.00	53.25	43.25	5.000	3300	1100	222926.0	389.5	1988.5	1093653.0	130.6	30.9
	11	11.50	56.75	43.75	6.500	3300	1100	329297.2	407.9	2580.7	1419358.6	122.3	27.0
	12	12.00	56.00	44.50	5.750	3300	1100	290258.9	204.5	1216.8	669225.2	64.6	17.5
	13	9.00	54.00	40.50	6.750	3300	1100	285327.1	397.7	2237.4	1230587.6	116.4	25.6
	14	11.00	59.50	45.75	6.875	3300	1100	400182.9	332.0	2937.8	1615805.4	120.1	24.2
	15	12.00	69.00	55.25	6.875	3300	1100	655266.7	383.4	3967.0	2181847.3	114.9	26.5
	16	9.00	56.00	44.25	5.875	3300	1100	294548.2	409.2	2536.8	1395256.0	132.6	26.0

表 6. 53 竹桿抗彎試驗 (桂竹-乾燥竹-服務等級 3)

	編號	測定儀含水率(%)	外徑 *D*o (mm)	內徑 *D*i (mm)	平均厚度 δ (mm)	長度 *L* (mm)	施力點距離 *a* (mm)	慣性矩 I_B (mm^4)	中間點位移 (mm)	最大荷重 (N)	最大彎矩 (N.mm)	抗彎強度 $f_{m,0}$ (MPa)	楊氏係數 $E_{m,0}$ (GPa)
MTDH	1	16.50	57.25	40.75	8.250	1800	600	391960.2	81.8	4614.9	1384479.6	101.1	82.1
	2	17.00	58.50	43.75	7.375	1800	600	395063.1	72.4	3605.8	1081736.1	80.1	73.7
	3	16.00	59.00	47.00	6.000	1800	600	355278.8	75.8	4222.4	1266714.6	105.2	82.2
	4	12.00	59.25	47.25	6.000	1800	600	360287.4	74.6	4445.5	1333656.3	109.7	86.8
	5	22.00	64.75	50.00	7.375	1800	600	556041.3	54.5	2026.5	607952.7	35.4	56.9
	6	16.50	61.75	48.00	6.875	1800	600	453127.1	71.7	4599.2	1379769.0	94.0	89.1
	7	15.50	60.25	48.00	6.125	1800	600	386265.6	75.9	5308.3	1592476.5	124.2	98.6
	8	20.00	59.50	46.25	6.625	1800	600	390626.7	64.0	4329.0	1298698.2	98.9	92.9
	9	16.50	61.00	41.00	10.000	1800	600	540946.9	81.3	5306.6	1591979.7	89.8	93.6
	10	13.50	54.75	40.75	7.000	1800	600	305712.0	81.2	4650.5	1395139.5	124.9	80.1
	11	12.50	68.00	56.25	5.875	1800	600	558127.7	43.0	3627.3	1088183.4	66.3	114.8
	12	16.50	57.00	43.25	6.875	1800	600	346409.5	74.8	4520.7	1356216.9	111.6	88.5
MWDH	1	13.00	59.50	48.25	5.625	1800	600	349182.9	67.3	4429.0	1328697.6	113.2	86.5
	2	16.50	57.75	48.50	4.625	1800	600	274377.0	65.3	3101.5	930456.6	97.9	66.3
	3	12.50	57.25	47.00	5.125	1800	600	287786.3	67.5	3781.0	1134306.9	112.8	72.3
	4	14.50	57.25	44.75	6.250	1800	600	330464.1	87.6	4693.4	1408030.8	122.0	78.1
	5	17.00	60.50	51.00	4.750	1800	600	325558.8	56.7	2290.4	687110.7	63.8	57.2
	6	14.50	61.00	49.25	5.875	1800	600	390857.7	81.3	5020.8	1506246.3	117.5	94.0
	7	9.50	61.50	52.50	4.500	1800	600	329302.8	64.8	3400.0	1019986.8	95.2	67.8
	8	15.50	55.00	45.25	4.875	1800	600	243380.8	73.7	3941.4	1182411.9	133.6	70.0
	9	17.00	52.50	43.25	4.625	1800	600	201155.7	59.5	2269.7	680907.0	88.9	52.3
	10	17.00	59.00	48.00	5.500	1800	600	334233.3	66.7	3843.8	1153152.3	101.8	81.2
	11	13.00	58.00	46.50	5.750	1800	600	325997.7	66.0	3852.9	1155879.9	102.8	78.2
	12	13.00	57.25	47.25	5.000	1800	600	282649.1	69.0	3395.8	1018747.5	103.2	70.1
MJDH	1	17.00	55.25	44.25	5.500	1800	600	269201.6	72.1	4312.5	1293739.5	132.8	79.4
	2	16.50	60.25	46.50	6.875	1800	600	417342.4	150.5	6933.9	2080155.6	150.2	100.3
	3	17.50	55.75	44.75	5.500	1800	600	277333.7	125.0	5608.9	1682671.8	169.1	85.7
	4	16.50	54.00	44.00	5.000	1800	600	233408.6	93.2	4157.1	1247127.0	144.3	66.5
	5	20.00	57.00	48.25	4.375	1800	600	252119.0	70.3	4027.3	1208199.3	136.6	77.3
	6	17.00	51.25	39.50	5.875	1800	600	219148.2	87.2	3412.4	1023706.8	119.7	58.6
	7	15.50	58.00	46.00	6.000	1800	600	335710.6	77.6	5060.6	1518194.7	131.1	91.6
	8	19.50	55.00	43.50	5.750	1800	600	273417.5	81.6	4630.6	1389189.6	139.7	82.3
	9	11.50	63.50	53.00	5.250	1800	600	410790.7	71.3	6501.2	1950363.3	150.7	122.4
	10	16.50	57.50	44.75	6.375	1800	600	339735.4	60.6	4388.5	1316549.4	111.4	92.1
	11	14.00	57.25	43.75	6.750	1800	600	347478.8	123.6	5783.7	1735106.1	142.9	83.1
	12	15.00	51.75	40.25	5.750	1800	600	223220.8	89.4	3780.2	1134058.8	131.5	59.5

	編號	測定儀含水率(%)	外徑 *Do* (mm)	內徑 *Di* (mm)	平均厚度 δ (mm)	長度 *L* (mm)	施力點距離 *a* (mm)	慣性矩 I_B (mm^4)	中間點位移 (mm)	最大荷重 (N)	最大彎矩 (N.mm)	抗彎強度 $f_{m,0}$ (MPa)	楊氏係數 $E_{m,0}$ (GPa)
MTDT	1	14.50	48.25	41.25	3.500	1800	600	123924.1	90.3	1410.3	423085.5	82.4	24.2
	2	14.50	44.50	38.75	2.875	1800	600	81814.0	85.9	1251.5	375441.9	102.1	19.0
	3	12.00	42.75	33.25	4.750	1800	600	103953.2	90.6	1450.8	435244.5	89.5	21.7
	4	11.00	45.50	40.00	2.750	1800	600	84721.6	78.0	1507.9	452366.4	121.5	25.5
	5	8.00	49.75	43.50	3.125	1800	600	124943.3	68.7	1793.3	537976.2	107.1	32.1
	6	10.50	44.75	38.00	3.375	1800	600	94499.1	87.9	1389.6	416881.8	98.7	22.8
	7	11.50	45.25	37.75	3.750	1800	600	106112.6	88.9	1367.3	410181.9	87.5	20.9
	8	8.50	45.00	38.75	3.125	1800	600	90612.1	95.8	1829.6	548894.4	136.3	25.1
	9	7.00	46.25	39.50	3.375	1800	600	105106.3	74.5	1762.6	528794.7	116.3	29.4
	10	13.00	49.50	42.25	3.625	1800	600	138292.8	82.2	1603.0	480903.0	86.1	27.6
MWDT	1	12.00	50.25	43.50	3.375	1800	600	137215.5	65.6	1693.2	507950.7	93.0	33.3
	2	10.00	50.25	44.75	2.750	1800	600	116125.2	63.2	1947.9	584379.0	126.4	37.5
	3	8.00	55.50	47.00	4.250	1800	600	226207.4	68.6	2670.8	801232.8	98.3	50.6
	4	11.00	50.75	44.50	3.125	1800	600	133131.5	66.8	1855.3	556587.0	106.1	35.9
	5	6.00	44.75	39.75	2.500	1800	600	74301.6	84.9	1605.5	481647.6	145.0	24.1
	6	6.00	46.50	39.75	3.375	1800	600	106948.0	93.7	2364.0	709195.5	154.2	34.7
	7	8.00	47.00	41.00	3.000	1800	600	100821.6	74.8	1700.6	510183.9	118.9	29.0
	8	8.00	45.25	39.75	2.750	1800	600	83248.0	80.7	1531.9	459562.5	124.9	24.2
	9	9.50	49.00	43.00	3.000	1800	600	115159.0	67.4	1947.9	584379.0	124.3	37.3
	10	10.50	47.25	40.50	3.375	1800	600	112602.3	81.1	1723.8	517131.9	108.5	29.0
	11	14.00	47.25	40.75	3.250	1800	600	109311.1	63.8	1660.9	498273.0	107.7	35.2
	12	11.00	48.50	41.00	3.750	1800	600	132895.2	75.6	2192.8	657829.8	120.0	39.1
MJDT	1	11.50	54.50	48.25	3.125	1800	600	167020.3	65.8	2643.5	793047.3	129.4	54.0
	2	16.00	47.25	40.75	3.250	1800	600	109311.1	87.0	2201.0	660311.1	142.7	34.4
	3	16.00	41.50	36.00	2.750	1800	600	63152.3	91.9	1484.7	445418.4	146.4	20.5
	4	15.50	48.50	41.00	3.750	1800	600	132895.2	75.8	2277.1	683140.5	124.7	40.1
	5	11.50	48.75	41.25	3.750	1800	600	135124.5	79.4	2116.7	635000.4	114.5	33.7
	6	10.50	48.00	40.00	4.000	1800	600	134912.6	77.8	2354.1	706217.7	125.6	40.1
	7	10.50	46.25	39.50	3.375	1800	600	105106.3	92.2	2019.9	605967.6	133.3	33.1
	8	17.00	47.25	39.50	3.875	1800	600	125170.6	71.5	1994.3	598275.0	112.9	35.4
	9	10.50	50.00	43.00	3.500	1800	600	138976.2	68.1	2194.4	658326.0	118.4	42.4
	10	15.50	46.50	41.50	2.500	1800	600	83899.2	87.3	2107.6	632271.0	175.2	34.5
	11	10.50	49.50	42.25	3.625	1800	600	138292.8	71.3	2246.5	673959.0	120.6	41.1
	12	11.00	49.00	42.75	3.125	1800	600	119027.9	68.5	2046.4	613908.3	126.4	38.2

表 6. 54 竹桿抗彎試驗 (孟宗竹-乾燥竹-服務等級 3)

	編號	測定儀含水率(%)	外徑 *D*o (mm)	內徑 *D*i (mm)	平均厚度 δ (mm)	長度 *L* (mm)	施力點距離 *a* (mm)	慣性矩 I_B (mm^4)	中間點位移 (mm)	最大荷重 (N)	最大彎矩 (N.mm)	抗彎強度 $f_{m,0}$ (MPa)	楊氏係數 $E_{m,0}$ (GPa)
ENDH	1	21.00	71.50	57.00	7.250	3300	1100	764737.2	222.6	4947.2	2720943.5	127.2	34.0
	2	22.00	81.00	68.50	6.250	3300	1100	1032283.7	185.4	4762.0	2619112.7	102.8	39.6
	3	23.00	83.25	66.25	8.500	3300	1100	1412186.5	191.3	6091.9	3350530.2	98.8	48.0
	4	23.00	83.25	66.00	8.625	3300	1100	1426379.3	156.6	4277.8	2352764.7	68.7	37.8
	5	19.00	79.75	65.25	7.250	3300	1100	1095805.0	189.6	5796.1	3187861.2	116.0	45.8
	6	24.00	77.25	63.50	6.875	3300	1100	949976.5	208.4	4826.5	2654558.5	107.9	35.7
	7	15.00	85.75	70.50	7.625	3300	1100	1441409.0	154.5	5261.9	2894032.9	86.1	45.5
	8	22.00	63.50	52.50	5.500	3300	1100	425201.1	196.9	2408.8	1324818.0	98.9	18.4
	9	23.00	83.25	66.50	8.375	3300	1100	1397832.1	178.3	5442.4	2993333.2	89.1	43.4
	10	20.00	72.75	62.00	5.375	3300	1100	649665.7	149.9	2372.3	1304740.8	73.1	22.0
	11	23.00	72.75	62.50	5.125	3300	1100	625983.4	137.8	2345.1	1289816.0	74.9	23.4
	12	19.50	68.25	57.75	5.250	3300	1100	519094.4	131.7	2768.3	1522586.5	100.1	23.9
	13	21.50	77.25	63.00	7.125	3300	1100	974818.6	225.6	5749.7	3162348.2	125.3	40.8
	14	18.00	67.75	55.00	6.375	3300	1100	585025.9	219.5	3165.2	1740848.5	100.8	21.7
	15	20.00	75.50	61.00	7.250	3300	1100	915332.9	214.1	4490.4	2469728.8	101.9	32.4
	16	23.50	81.25	65.00	8.125	3300	1100	1263018.5	216.2	6593.2	3626260.6	116.6	50.3
	17	31.00	77.25	65.00	6.125	3300	1100	871849.7	137.6	3001.5	1650818.4	73.1	29.6
	18	24.00	78.25	61.25	8.500	3300	1100	1149512.3	178.7	4527.3	2490033.7	84.8	36.8
EYDH	1	25.00	116.00	91.50	12.250	3300	1100	5447196.0	113.7	10182.8	5600551.0	59.6	124.2
	2	20.50	117.50	90.50	13.500	3300	1100	6063879.8	135.5	13433.0	7388166.5	71.6	147.5
	3	21.50	106.00	90.00	8.000	3300	1100	2976545.9	121.4	7774.5	4275969.5	76.1	91.9
	4	16.50	115.25	92.50	11.375	3300	1100	5066655.2	126.3	14792.8	8136018.0	92.5	167.3
	5	17.00	114.00	94.00	10.000	3300	1100	4458171.3	98.4	8515.0	4683266.5	59.9	116.0
	6	15.50	110.75	90.50	10.125	3300	1100	4092112.4	121.0	11669.7	6418329.5	86.9	130.5
	7	19.50	100.75	81.50	9.625	3300	1100	2891955.5	147.8	9580.0	5268983.5	91.8	94.7
	8	14.00	110.00	89.00	10.500	3300	1100	4107031.5	120.8	10283.1	5655699.5	75.7	122.2
	9	19.00	114.25	93.00	10.625	3300	1100	4691636.8	114.8	12640.4	6952209.0	84.6	151.8
	10	14.00	113.75	91.00	11.375	3300	1100	4852012.0	118.9	9615.5	5288533.3	62.0	115.2
	11	14.00	113.00	94.25	9.375	3300	1100	4130142.0	115.0	11362.2	6249188.0	85.5	132.1
	12	17.00	108.75	82.00	13.375	3300	1100	4646386.3	155.1	11434.3	6288848.5	73.6	113.2
	13	14.00	119.50	95.75	11.875	3300	1100	5884211.4	130.9	15180.5	8349253.0	84.8	162.9
	14	15.00	104.50	83.50	10.500	3300	1100	3467512.8	131.1	7733.9	4253672.0	64.1	82.8
	15	20.00	105.25	85.75	9.750	3300	1100	3369596.8	154.3	11912.6	6551924.5	102.3	109.0
	16	20.00	112.75	94.75	9.000	3300	1100	3976697.5	123.7	10438.1	5740927.5	81.4	127.2
	17	20.00	111.75	89.00	11.375	3300	1100	4575408.9	132.1	10317.9	5674839.5	69.3	118.2
	18	19.50	110.25	87.25	11.500	3300	1100	4407774.1	108.1	8570.5	4713762.4	59.0	108.6

	編號	測定儀含水率(%)	外徑 D_o (mm)	內徑 D_i (mm)	平均厚度 δ (mm)	長度 L (mm)	施力點距離 a (mm)	慣性矩 I_B (mm^4)	中間點位移 (mm)	最大荷重 (N)	最大彎矩 (N.mm)	抗彎強度 $f_{m,0}$ (MPa)	楊氏係數 $E_{m,0}$ (GPa)
ENDT	1	16.00	49.00	41.00	4.000	3300	1100	144269.8	242.9	1124.0	618200.0	105.0	6.3
	2	12.50	61.75	50.00	5.875	3300	1100	406907.2	250.4	3211.0	1766050.0	134.0	18.3
	3	16.00	63.25	50.00	6.625	3300	1100	478822.9	252.5	3641.0	2002550.0	132.3	22.7
	4	18.00	51.25	41.50	4.875	3300	1100	193045.2	376.9	2015.0	1108250.0	147.1	9.0
	5	13.00	65.25	49.50	7.875	3300	1100	595091.9	268.8	3434.0	1888700.0	103.5	20.1
	6	24.00	53.00	45.00	4.000	3300	1100	186034.1	248.4	1626.0	894300.0	127.4	9.7
	7	23.00	62.50	53.50	4.500	3300	1100	346866.9	201.5	2613.0	1437150.0	129.5	18.3
	8	23.50	59.50	51.25	4.125	3300	1100	276584.8	197.6	1831.0	1007050.0	108.3	12.5
	9	22.00	48.00	40.50	3.750	3300	1100	128510.6	214.9	952.0	523600.0	97.8	6.6
	10	19.00	52.00	44.00	4.000	3300	1100	174923.9	273.0	1521.0	836550.0	124.3	8.7
	11	18.00	65.25	53.00	6.125	3300	1100	502476.0	263.0	3988.0	2193400.0	142.4	23.6
	12	12.50	63.50	53.25	5.125	3300	1100	403430.8	228.9	3265.0	1795750.0	141.3	21.1
	13	13.00	63.75	53.75	5.000	3300	1100	401040.1	280.4	3579.0	1968450.0	156.5	21.5
	14	15.00	55.75	43.75	6.000	3300	1100	294348.4	321.3	2172.0	1194600.0	113.1	11.1
	15	24.00	58.00	48.50	4.750	3300	1100	283892.8	218.2	2274.0	1250700.0	127.8	15.4
	16	21.50	61.50	52.00	4.750	3300	1100	343307.3	150.7	1295.0	712250.0	63.8	10.8
	17	19.50	53.50	44.50	4.500	3300	1100	209656.4	273.2	1820.0	1001000.0	127.7	10.1
	18	15.00	49.50	40.75	4.375	3300	1100	159350.3	275.5	1548.0	851400.0	132.2	8.6
EYDT	1	13.00	96.50	80.75	7.875	3300	1100	2169675.4	163.5	9739.6	5356796.0	119.1	87.1
	2	14.00	87.00	72.50	7.250	3300	1100	1456010.2	143.2	6149.0	3381973.1	101.0	56.4
	3	16.00	94.25	79.25	7.500	3300	1100	1937151.9	131.1	7542.4	4148331.0	100.9	77.8
	4	18.00	89.50	75.25	7.125	3300	1100	1575680.1	135.9	6056.2	3330935.9	94.6	58.3
	5	19.50	87.00	74.50	6.250	3300	1100	1300054.2	124.8	6032.2	3317721.0	111.0	63.4
	6	15.50	92.00	78.25	6.875	3300	1100	1676206.7	133.0	7632.2	4197701.8	115.2	76.0
	7	13.50	91.50	76.50	7.500	3300	1100	1759573.6	138.8	7624.7	4193596.0	109.0	74.2
	8	9.50	94.00	78.00	8.000	3300	1100	2015520.2	137.1	9062.0	4984081.9	116.2	87.0
	9	12.50	95.50	78.75	8.375	3300	1100	2195167.4	133.2	7976.4	4387009.0	95.4	78.1
	10	15.00	86.50	75.25	5.625	3300	1100	1174143.3	108.5	5237.0	2880372.0	106.1	58.7
	11	13.50	89.75	73.75	8.000	3300	1100	1732815.7	156.0	7402.9	4071584.6	105.4	65.3
	12	15.00	89.25	70.50	9.375	3300	1100	1901979.1	171.8	7470.6	4108824.5	96.4	60.4
	13	8.00	78.00	65.25	6.375	3300	1100	927173.2	174.3	5562.3	3059276.0	128.7	48.6
	14	10.00	95.25	79.25	8.000	3300	1100	2104176.2	140.1	7927.6	4360161.3	98.7	72.4
	15	13.00	85.50	72.25	6.625	3300	1100	1285633.1	163.7	6312.3	3471750.7	115.4	51.4
	16	15.00	95.25	81.25	7.000	3300	1100	1901191.9	138.4	7916.0	4353790.1	109.1	76.2
	17	17.00	91.50	77.75	6.875	3300	1100	1646969.6	130.6	5873.2	3230235.3	89.7	57.5
	18	15.00	77.75	64.50	6.625	3300	1100	944200.8	167.5	5019.2	2760541.9	113.7	39.9

表 6. 55 竹桿抗彎試驗 (桂竹-生竹-服務等級 3)

	編號	測定儀含水率(%)	外徑 *D*o (mm)	內徑 *D*i (mm)	平均厚度 δ (mm)	長度 *L* (mm)	施力點距離 *a* (mm)	慣性矩 I_B (mm^4)	中間點位移 (mm)	最大荷重 (N)	最大彎矩 (N.mm)	抗彎強度 $f_{m,0}$ (MPa)	楊氏係數 $E_{m,0}$ (GPa)
MTGH	1	24.5	66.25	48.5	8.875	1800	600	674008.6	46.7	4043.0	1212910.2	59.6	17.5
	2	27	65	49	8.000	1800	600	593261.5	64.2	4005.0	1201504.5	65.8	16.0
	3	33	63.75	46	8.875	1800	600	590970.3	67.3	4133.1	1239936.9	66.9	18.9
	4	28	62.25	45.25	8.500	1800	600	531302.1	52.1	3673.6	1102070.4	64.6	18.6
	5	22	59.5	42.75	8.375	1800	600	451279.2	69.3	4376.1	1312830.3	86.5	20.9
	6	20.5	61.75	37.5	12.125	1800	600	616631.1	68.3	3922.4	1176708.9	58.9	13.6
	7	22	61.75	40.25	10.750	1800	600	584868.5	68.9	3838.1	1151416.5	60.8	13.2
	8	23.5	60.75	45	7.875	1800	600	467293.6	56.6	3551.2	1065369.0	69.3	18.2
	9	31	59.5	44.5	7.500	1800	600	422739.6	48.4	2630.3	789078.3	55.5	19.1
	10	23	62.25	45	8.625	1800	600	535812.6	69.3	4391.0	1317293.1	76.5	18.0
	11	27	60.25	44	8.125	1800	600	462857.6	82.0	3566.1	1069832.7	69.6	16.6
	12	20.5	65.25	48.25	8.500	1800	600	623751.6	60.4	5132.6	1539780.3	80.5	19.8
MWGH	1	34	58.5	39.75	9.375	1800	600	452350.0	63.8	2081.1	624330.3	40.4	11.6
	2	42	62.75	47	7.875	1800	600	521539.6	48.5	2325.9	697780.8	42.0	14.7
	3	21	61.75	48.75	6.500	1800	600	436455.4	152.1	6367.0	1910089.5	135.1	22.8
	4	38.5	63.25	50	6.625	1800	600	478822.9	62.7	1813.1	543931.5	35.9	10.8
	5	28	66.5	54.75	5.875	1800	600	518898.5	79.9	5329.0	1598687.7	102.4	23.2
	6	22.5	66.5	51.25	7.625	1800	600	621321.8	92.2	5619.7	1685902.2	90.2	18.3
	7	23	63	43.75	9.625	1800	600	593433.4	103.9	5208.9	1562663.1	82.9	16.8
	8	36.5	60.25	46.5	6.875	1800	600	417342.4	71.7	3303.2	990971.1	71.5	17.8
	9	35	65	49.75	7.625	1800	600	575534.4	94.8	4689.3	1406791.5	79.4	15.1
	10	20	64.5	43	10.750	1800	600	681768.8	65.9	4414.9	1324482.9	62.7	15.6
	11	39	64	53.5	5.250	1800	600	421402.5	60.3	2577.3	773203.2	58.7	16.9
	12	30	65	48.75	8.125	1800	600	598992.5	57.9	3978.6	1193569.8	64.8	16.8
MJGH	1	24.5	65.25	48	8.625	1800	600	629222.8	61.6	4195.1	1258532.4	65.3	16.8
	2	22.5	67.5	48.25	9.625	1800	600	752977.9	71.9	4900.8	1470253.8	65.9	12.8
	3	23.5	61.25	45.25	8.000	1800	600	485067.3	61.5	3951.3	1185387.3	74.8	20.8
	4	21	62.25	43.5	9.375	1800	600	561338.8	62.3	4362.9	1308863.4	72.6	17.9
	5	24.5	61.5	43	9.250	1800	600	534395.4	83.8	5014.2	1504260.6	86.6	19.6
	6	21	69.5	50.25	9.625	1800	600	832295.0	75.7	6169.8	1850926.8	77.3	15.8
	7	20	65.75	47.25	9.250	1800	600	672719.7	60.0	5045.6	1513693.5	74.0	18.0
	8	21	67.25	44.5	11.375	1800	600	811521.6	85.6	5286.7	1586016.9	65.7	12.6
	9	23.5	65	46.5	9.250	1800	600	646741.0	90.3	5243.7	1573097.7	79.1	16.5
	10	21	65.75	48	8.875	1800	600	656811.5	65.2	5122.8	1536826.2	76.9	18.2
	11	20.5	65	47.5	8.750	1800	600	626353.1	61.2	4730.6	1419186.6	73.6	18.6
	12	23.5	60	42	9.000	1800	600	483427.5	77.8	4674.4	1402329.0	87.0	17.7

	編號	測定儀含水率(%)	外徑 *D*o (mm)	內徑 *D*i (mm)	平均厚度 δ (mm)	長度 *L* (mm)	施力點距離 *a* (mm)	慣性矩 I_B (mm^4)	中間點位移 (mm)	最大荷重 (N)	最大彎矩 (N.mm)	抗彎強度 $f_{m,0}$ (MPa)	楊氏係數 $E_{m,0}$ (GPa)
MTGT	1	20.5	51.25	43.25	4.000	1800	600	166888.6	57.8	1713.0	513906.3	78.9	23.8
	2	21.5	52.5	44	4.250	1800	600	188928.4	70.6	2088.5	626563.5	87.1	24.5
	3	20.5	56.5	48.5	4.000	1800	600	228618.6	56.5	2158.9	647655.9	80.0	23.2
	4	24.5	53.25	44.25	4.500	1800	600	206481.5	58.8	1840.4	552120.3	71.2	22.3
	5	27.5	52	44	4.000	1800	600	174923.9	61.7	964.5	289335.9	43.0	14.0
	6	22	54.75	45.25	4.750	1800	600	235269.4	54.1	2467.4	740213.4	86.1	26.0
	7	20.5	49.5	42	3.750	1800	600	141962.1	76.2	2028.2	608448.9	106.1	29.7
	8	20.5	46	39.75	3.125	1800	600	97235.2	74.5	1650.2	495047.1	117.1	33.3
	9	21.5	52.5	46	3.250	1800	600	153126.0	58.7	1629.5	488843.7	83.8	24.6
	10	23.5	53.25	45.25	4.000	1800	600	188883.5	63.6	1957.0	587108.7	82.8	22.7
	11	29	56.5	45.75	5.375	1800	600	285175.6	58.9	2297.0	689095.8	68.3	18.8
	12	24	54.5	46.5	4.000	1800	600	203568.3	66.0	1845.4	553609.2	74.1	21.2
MWGT	1	38	44.75	38	3.375	1800	600	94499.1	64.3	920.6	276184.2	65.4	20.3
	2	40	46.25	40	3.125	1800	600	98940.0	67.6	1167.9	350379.3	81.9	25.0
	3	23	47.5	40.5	3.500	1800	600	117821.7	61.5	1272.2	381645.3	76.9	22.7
	4	27	46.75	40.25	3.250	1800	600	105640.0	79.9	1223.4	367005.0	81.2	23.9
	5	20	51.5	43.75	3.875	1800	600	165463.5	69.4	2191.9	657581.4	102.3	26.9
	7	20	43	36.75	3.125	1800	600	78283.7	85.9	1168.8	350627.4	96.3	26.8
	8	20	43.5	36.5	3.500	1800	600	88638.1	79.8	1093.5	328046.4	80.5	23.6
	9	21	44.25	36.5	3.875	1800	600	101076.8	80.5	1141.5	342438.6	75.0	21.1
	10	24	51.75	44	3.875	1800	600	168071.4	75.6	1746.9	524080.2	80.7	23.1
	11	26	50.25	42.25	4.000	1800	600	156563.8	75.3	1909.9	572964.3	91.9	24.2
MJGT	1	21	49.75	42.5	3.625	1800	600	140556.6	74.4	1855.3	556587.0	98.5	26.0
	2	17	47	39.5	3.750	1800	600	120033.4	58.3	1718.0	515395.2	100.9	30.9
	3	21	41	34.25	3.375	1800	600	71161.3	100.8	1285.4	385615.8	111.1	29.9
	4	21	43.25	36.5	3.375	1800	600	84632.2	90.6	1463.2	438966.6	112.2	29.1
	5	21.5	43.75	37	3.375	1800	600	87840.6	80.1	1388.0	416385.6	103.7	28.1
	6	21	48.5	41	3.750	1800	600	132895.2	68.2	1878.5	563535.0	102.8	27.1
	7	24	54.25	44.5	4.875	1800	600	232685.3	71.2	2721.2	816363.3	95.2	23.3
	8	21.5	34.75	29	2.875	1800	600	36861.0	137.7	847.0	254099.4	119.8	29.8
	9	23	50.5	41	4.750	1800	600	180544.1	82.8	2249.8	674951.7	94.4	23.7
	10	17	35.75	29.25	3.250	1800	600	44250.1	79.1	661.7	198515.1	80.2	26.1
	11	16	37.5	30.75	3.375	1800	600	53183.8	114.4	1142.3	342686.7	120.8	33.4
	12	19	40.5	33.5	3.500	1800	600	70242.8	88.4	1069.5	320850.0	92.5	25.1

表 6. 56 竹桿抗彎試驗 (孟宗竹-乾燥竹-服務等級 3)

	編號	測定儀含水率(%)	外徑 *Do* (mm)	內徑 *Di* (mm)	平均厚度 δ (mm)	長度 *L* (mm)	施力點距離 *a* (mm)	慣性矩 I_B (mm^4)	中間點位移 (mm)	最大荷重 (N)	最大彎矩 (N.mm)	抗彎強度 $f_{m,0}$ (MPa)	楊氏係數 $E_{m,0}$ (GPa)
EYGH	1	0	73.25	53.50	9.875	3300	1100	1011042.4	245.6	3475.2	1911349.6	69.2	15.7
	2	0	78.75	64.00	7.375	3300	1100	1064320.6	153.0	3092.4	1700835.4	62.9	18.0
	3	0	83.00	65.00	9.000	3300	1100	1453364.4	340.2	5879.8	3233880.1	92.3	19.4
	4	0	81.25	63.50	8.875	3300	1100	1341145.3	255.1	6384.4	3511401.9	106.4	23.6
	5	0	74.75	53.75	10.500	3300	1100	1122833.3	340.6	4514.9	2483215.9	82.7	19.2
	6	0	80.00	63.00	8.500	3300	1100	1237347.6	319.4	5068.9	2787911.5	90.1	19.8
	7	0	73.25	56.25	8.500	3300	1100	921761.4	291.9	4138.9	2276399.4	90.4	20.7
	8	0	80.00	62.25	8.875	3300	1100	1273517.8	324.9	5373.7	2955525.1	92.8	19.0
	9	0	75.75	57.25	9.250	3300	1100	1088902.8	400.0	6691.0	3680048.4	128.0	26.3
	10	0	78.50	57.50	10.500	3300	1100	1327422.8	176.4	3554.5	1954995.4	57.8	15.0
	11	0	93.50	76.25	8.625	3300	1100	2092281.7	164.3	4481.1	2464580.8	55.1	13.2
	12	0	80.75	61.00	9.875	3300	1100	1407428.3	299.6	6022.3	3312252.9	95.0	20.0
	13	0	87.25	71.00	8.125	3300	1100	1597275.4	169.1	4415.8	2428673.5	66.3	15.9
	14	0	88.50	67.50	10.500	3300	1100	1992198.1	357.9	7752.2	4263683.6	94.7	18.3
	15	0	88.00	69.75	9.125	3300	1100	1781906.6	189.4	7309.4	4020163.4	99.3	23.4
	16	0	79.75	62.00	8.875	3300	1100	1260272.4	246.3	5100.4	2805217.8	88.8	20.1
	17	0	90.50	70.75	9.875	3300	1100	2062874.7	248.2	6877.5	3782617.9	83.0	17.6
	18	0	92.00	73.00	9.500	3300	1100	2122590.3	191.1	6745.7	3710134.5	80.4	17.8
ENGH	1	23.0	92.00	72.50	8.500	3300	1100	1263244.2	203.6	3552.1	1953627.5	62.2	16.3
	2	23.0	93.50	73.50	9.750	3300	1100	1776007.1	200.9	5763.0	3169633.5	77.4	17.2
	3	23.0	89.00	70.00	8.375	3300	1100	1302872.7	150.5	4059.6	2232758.0	69.8	18.7
	4	27.0	99.50	77.00	10.500	3300	1100	2068880.9	193.6	6097.7	3353718.5	72.5	16.8
	5	24.5	93.00	74.00	8.625	3300	1100	1588488.5	255.7	5491.3	3020209.5	81.8	17.0
	6	24.5	100.00	78.00	9.750	3300	1100	1934579.3	287.0	6428.3	3535557.3	81.3	15.8
	7	23.0	73.50	58.50	9.250	3300	1100	1435779.8	202.4	5125.2	2818881.5	80.7	20.3
	8	38.0	101.00	81.50	7.500	3300	1100	1230181.7	195.9	2229.2	1226038.0	40.9	10.6
	9	24.0	88.00	66.50	9.125	3300	1100	1324256.4	290.2	6054.6	3330024.5	101.2	20.2
	10	43.0	99.50	77.00	9.125	3300	1100	1603505.4	149.9	2416.1	1328852.3	35.3	10.1
	11	40.0	83.00	67.50	10.000	3300	1100	2099410.2	184.6	4922.4	2707295.8	58.5	13.4
	12	24.5	78.50	62.50	9.250	3300	1100	1602424.8	250.7	5931.1	3262127.0	86.5	18.8
	13	24.0	76.50	62.50	9.875	3300	1100	1656138.6	223.9	6107.6	3359185.5	86.0	18.7
	14	34.5	64.50	52.50	8.625	3300	1100	1302294.1	281.4	2775.8	1526679.0	47.5	10.8
	15	30.0	96.00	75.00	8.375	3300	1100	1316165.3	151.6	2337.5	1285630.5	39.9	11.4
	16	38.0	70.50	57.00	7.875	3300	1100	1068457.9	169.7	3581.0	1969543.4	71.7	20.9
	17	24.5	80.00	65.00	8.875	3300	1100	1764717.6	221.2	6599.8	3629907.6	90.8	19.7
	18	26.5	75.50	60.00	9.250	3300	1100	1666094.7	344.6	6648.7	3656801.0	94.4	18.1

黃底:進行試驗時，遺漏記錄含水率，故此欄皆為 0

	編號	測定儀含水率(%)	外徑 *Do* (mm)	內徑 *Di* (mm)	平均厚度 δ (mm)	長度 *L* (mm)	施力點距離 *a* (mm)	慣性矩 I_B (mm^4)	中間點位移 (mm)	最大荷重 (N)	最大彎矩 (N.mm)	抗彎強度 $f_{m,0}$ (MPa)	楊氏係數 $E_{m,0}$ (GPa)
ENGT	1	24.50	61.00	50.00	5.500	3300	1100	372860.0	167.9	1960.0	1078000.0	88.2	27.5
	2	31.00	70.00	55.25	7.375	3300	1100	721185.1	279.3	3365.0	1850750.0	89.8	19.5
	3	20.50	54.00	44.50	4.750	3300	1100	224902.0	275.8	1562.0	859100.0	103.1	26.8
	4	21.50	52.75	47.25	2.750	3300	1100	135398.7	278.3	1492.0	820600.0	159.8	44.4
	5	20.00	64.50	51.00	6.750	3300	1100	517502.7	308.8	3373.0	1855150.0	115.6	26.9
	6	20.50	61.50	49.00	6.250	3300	1100	419236.4	277.4	2543.0	1398650.0	102.6	26.2
	7	22.00	52.25	42.25	5.000	3300	1100	209445.7	336.4	1551.0	853050.0	106.4	28.3
	8	23.00	57.75	47.00	5.375	3300	1100	306450.6	378.4	2279.0	1253450.0	118.1	27.6
	9	21.50	62.75	50.00	6.375	3300	1100	454274.2	305.7	3225.0	1773750.0	122.5	27.2
	10	21.50	65.00	51.75	6.625	3300	1100	524184.9	459.1	3656.0	2010800.0	124.7	26.7
	11	24.00	64.00	52.00	6.000	3300	1100	464641.6	285.8	2426.0	1334300.0	91.9	22.6
	12	20.00	52.75	41.25	5.750	3300	1100	237943.2	267.0	1151.0	633050.0	70.2	19.7
	13	22.50	58.50	48.00	5.250	3300	1100	314325.1	351.7	1995.0	1097250.0	102.1	23.8
	14	23.50	53.50	43.75	4.875	3300	1100	222308.9	281.8	1091.0	600050.0	72.2	20.3
	15	23.50	50.00	41.25	4.375	3300	1100	164672.7	231.0	573.0	315150.0	47.8	14.2
	16	20.00	66.50	53.00	6.750	3300	1100	572644.3	253.6	3556.0	1955800.0	113.6	26.5
	17	26.00	55.25	44.25	5.500	3300	1100	269201.6	248.4	1077.0	592350.0	60.8	18.9
	18	28.50	63.75	52.75	5.500	3300	1100	430690.3	235.0	2247.0	1235850.0	91.5	24.3
EYGT	1	21.00	68.25	56.25	6.000	3300	1100	573647.7	392.2	3665.0	2015750.0	119.9	27.0
	2	23.00	53.00	39.25	6.875	3300	1100	270822.4	306.3	1826.0	1004300.0	98.3	22.5
	3	20.00	66.00	52.50	6.750	3300	1100	558507.5	272.8	3248.0	1786400.0	105.6	24.1
	4	30.00	66.00	53.50	6.250	3300	1100	529273.0	163.5	1964.0	1080200.0	67.4	20.9
	5	20.00	68.50	55.00	6.750	3300	1100	631587.0	220.8	2769.0	1522950.0	82.6	20.7
	6	21.50	71.25	58.00	6.625	3300	1100	709557.7	194.8	2630.0	1446500.0	72.6	19.4
	7	20.00	62.50	51.00	5.750	3300	1100	416928.0	198.2	1652.0	908600.0	68.1	19.1
	8	23.00	59.50	44.00	7.750	3300	1100	431246.1	321.5	2084.0	1146200.0	79.1	18.4
	9	20.00	61.50	48.50	6.500	3300	1100	430611.0	324.9	2826.0	1554300.0	111.0	26.7
	10	20.00	63.25	50.75	6.250	3300	1100	459996.8	241.9	2006.0	1103300.0	75.9	19.2
	11	20.00	64.00	49.75	7.125	3300	1100	522843.6	259.9	2711.0	1491050.0	91.3	21.0
	12	20.50	61.50	47.75	6.875	3300	1100	447025.6	411.7	2834.0	1558700.0	107.2	23.6
	13	24.00	73.00	58.75	7.125	3300	1100	809203.4	181.7	3961.0	2178550.0	98.3	27.1
	14	21.00	62.75	47.50	7.625	3300	1100	511183.0	326.3	3144.0	1729200.0	106.1	24.5
	15	20.50	63.25	48.50	7.375	3300	1100	514014.6	331.8	2526.0	1389300.0	85.5	20.3
	16	20.00	57.75	42.75	7.500	3300	1100	382030.3	539.4	4504.0	2477200.0	187.2	22.9
	17	20.00	61.75	48.50	6.625	3300	1100	442098.9	291.0	2609.0	1434950.0	100.2	24.1
	18	24.00	58.75	44.50	7.125	3300	1100	392301.2	235.0	1926.0	1059300.0	79.3	20.0

表 6. 57 竹桿抗彎試驗破壞行為

1. 施力端處凹陷	
2. 施力端兩側隆起	
3. 施力端中間凹陷	
4. 施力端處中間隆起	

1123425

5. 施力端嵌入	
6. 竹桿爆裂	
7. 竹桿斷裂	

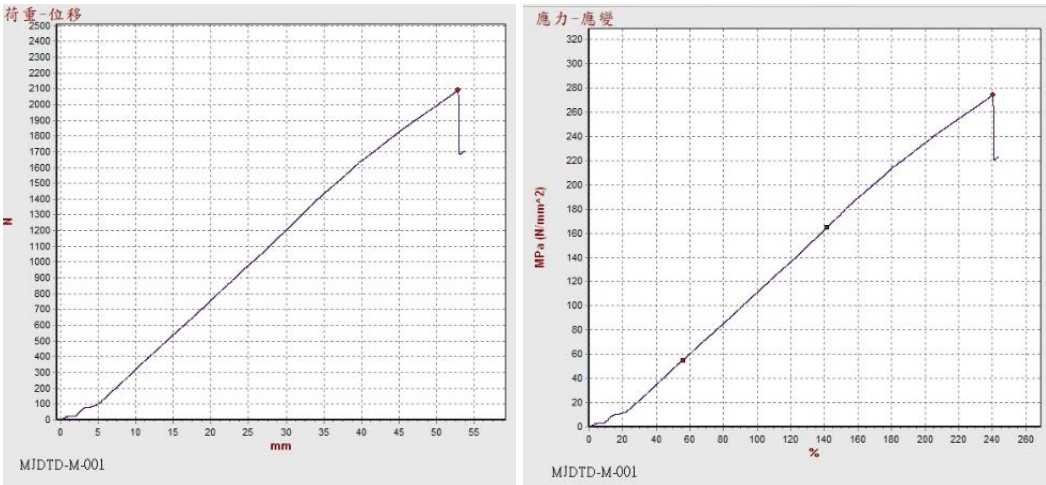


圖 6. 32 竹桿抗彎試驗之荷重-位移圖(左)及應力-應變圖(右)

1123425

第七章 特徵值、設計強度、設計彈性模數

7.1 竹材試驗數據分析

表 7. 1 至表 7. 7 為試驗整理後的結果，表中的 AVG 為各試驗的平均值，STD 為標準差，V 為變異係數。為剔除數據的離群值，同時維持樣本數至少達 30 個，本研究取 97%信賴區間 (平均值 ± 2.17 個標準差) 下的資料進行分析，若超出信賴區間，則將該筆資料刪除。

為了比較信賴區間是否影響計算，本研究不考慮信賴區間對平行纖維抗壓試驗及竹桿抗彎試驗的平均強度、標準差以及變異係數進行討論，如表 7. 8 與表 7. 9。

表 7.1 平行纖維抗壓試驗 $f_{c,0}$ (MPa)成果表(依數值小到大進行排序)

	服務等級 1								服務等級 3							
	孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
1	41.65	59.07	63.78	92.05	78.54	72.73	66.60	60.92	31.34	42.79	45.68	58.36	55.16	59.99	41.66	48.12
2	43.44	63.37	64.57	95.12	79.69	76.50	72.04	74.53	33.12	43.53	46.89	63.76	56.19	61.60	46.56	49.26
3	45.46	63.84	64.84	97.47	79.89	77.34	74.70	75.95	34.95	46.25	47.40	64.45	57.48	63.05	46.86	49.56
4	45.58	65.26	65.17	98.15	80.97	78.91	74.83	80.01	35.01	46.41	47.70	65.62	58.50	64.48	50.96	54.11
5	46.58	67.14	65.40	98.88	81.87	80.05	75.26	80.52	35.42	46.76	47.92	67.28	59.36	66.46	50.98	55.27
6	46.58	68.81	66.18	99.34	82.28	82.03	77.90	86.03	35.98	47.29	48.53	68.67	60.03	66.46	51.26	56.34
7	46.92	68.86	67.19	100.77	82.68	84.12	80.61	90.48	36.01	47.40	48.58	70.11	63.13	67.49	53.14	56.82
8	48.21	69.57	67.23	101.96	83.56	88.35	80.96	92.56	36.60	49.78	49.08	70.17	63.34	70.43	55.48	58.20
9	48.92	69.91	67.57	103.96	83.65	90.19	81.50	93.19	39.06	51.17	49.41	70.33	63.38	70.81	55.57	59.33
10	49.53	71.04	68.16	104.75	84.61	90.57	81.61	93.86	40.65	51.86	49.52	70.71	63.83	72.15	55.65	59.78
11	49.95	71.22	68.38	104.89	85.84	91.35	82.02	94.20	42.99	51.92	50.76	71.01	63.93	72.79	57.82	60.81
12	50.21	72.41	68.75	106.31	86.57	93.09	82.35	96.56	45.36	53.65	51.26	71.34	64.05	73.27	58.09	64.46
13	51.26	73.05	68.79	106.57	86.63	93.41	83.08	100.04	45.86	53.67	54.65	72.24	64.26	73.28	59.54	65.11
14	53.91	73.25	69.04	106.71	86.73	94.29	84.35	101.27	48.27	54.21	55.53	72.49	65.26	73.46	59.96	65.37
15	56.84	75.52	69.31	106.97	87.60	94.80	84.93	103.16	48.80	54.31	55.65	73.14	65.43	73.66	60.08	66.19
16	57.36	75.97	69.55	107.08	87.72	95.09	85.81	103.94	49.01	54.53	56.42	73.58	65.82	74.18	61.16	71.66
17	57.56	76.16	69.58	108.64	88.29	95.13	87.08	105.24	49.34	55.04	58.09	73.65	66.15	74.73	61.42	71.82
18	57.67	77.54	71.33	109.82	88.72	98.31	87.35	107.45	50.54	55.89	58.72	83.04	66.21	74.77	62.11	72.90
19	57.74	79.81	71.74	109.88	88.87	100.12	88.32	107.61	50.56	56.49	60.24	87.81	66.44	76.04	62.58	74.29
20	57.92	80.22	71.92	109.97	89.74	101.44	89.48	108.53	52.29	57.00	61.76	90.74	66.74	76.53	63.10	74.83
21	59.18	80.30	72.05	110.90	89.91	102.15	90.66	110.63	52.77	57.10	61.85	94.57	66.93	77.13	63.65	74.91
22	59.56	81.60	72.32	111.10	89.98	103.04	90.69	115.70	53.05	57.64	62.38	96.72	68.15	77.57	64.59	76.52
23	59.60	82.05	73.43	111.22	90.34	103.95	91.38	116.71	53.16	58.36	62.50	96.92	68.16	78.28	67.15	76.53
24	59.97	83.19	74.57	112.53	90.75	104.48	91.99	117.37	53.75	58.93	62.67	97.44	68.87	78.37	67.83	77.20
25	60.23	83.49	74.93	112.96	91.42	106.85	93.03	118.09	54.38	59.12	62.95	99.84	70.75	79.15	68.12	81.00
26	61.27	84.03	75.07	115.13	93.76	107.35	93.88	119.31	54.98	61.10	63.06	100.50	71.01	83.87	70.99	83.02
27	61.40	84.19	75.35	115.74	94.15	112.40	95.57	119.91	56.81	62.37	63.84	100.51	71.62	84.86	71.69	88.73
28	61.64	84.27	76.04	116.87	95.08	116.87	96.46	121.10	58.24	62.58	63.92	101.62	74.69		72.21	89.00
29	61.71	84.63	76.32	117.24	96.15	118.09	98.42	123.29	61.00	63.70	64.25	101.77	75.90		72.40	92.14
30	62.88	86.54	78.68	119.61	96.42	135.87	104.24	124.26	61.17	63.75	67.05	101.79			74.66	92.34
31	63.87	86.86	79.65	121.55			106.45	130.18	65.12	65.13	69.04	103.95			79.26	92.64
32	65.12	89.83	79.95	125.29			110.71	135.52	66.63		69.46	104.75				
33	65.67	89.92		126.24				147.92			69.69	106.29				
34	67.09	91.81						157.04			69.86					
35	67.20	95.01						157.23								
36																
97%_下限	39.79	58.07	61.00	90.60	76.62	66.09	65.43	59.53	26.60	41.13	40.72	49.51	54.24	59.19	41.43	40.49
97%_上限	71.62	96.77	80.67	126.71	98.21	126.50	108.58	155.91	69.17	67.89	74.35	116.86	76.16	86.36	80.28	98.75
AVG (MPa)	55.71	77.42	70.84	108.66	87.41	96.30	87.01	107.72	47.88	54.51	57.54	83.19	65.20	72.77	60.85	69.62
STD (MPa)	7.33	8.92	4.53	8.32	4.98	13.92	9.94	22.21	9.81	6.17	7.75	15.52	5.05	6.26	8.95	13.42
V	0.13	0.12	0.06	0.08	0.06	0.14	0.11	0.21	0.20	0.11	0.13	0.19	0.08	0.09	0.15	0.19

表 7. 2 平行纖維抗拉試驗 $f_{t,0}$ (MPa)成果表(依數值小到大進行排序)

	服務等級 1								服務等級 3							
	孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
1	100.83	128.52	104.92	122.86	139.33	178.44	140.40	137.07	89.42	108.42	103.42	74.74	153.63	157.47	116.18	124.72
2	102.50	129.03	106.75	128.69	155.87	191.61	143.98	143.87	91.04	108.54	104.05	79.86	156.99	160.83	121.57	141.46
3	103.71	133.01	110.10	129.45	160.61	192.20	146.99	153.24	93.83	117.54	104.93	82.15	164.26	165.56	126.10	143.74
4	105.72	135.52	110.24	129.65	162.11	192.60	147.13	163.32	99.20	122.96	112.25	87.25	164.63	165.75	131.06	144.18
5	106.77	136.90	112.50	130.23	167.53	195.43	153.52	178.28	100.11	126.61	112.28	89.47	165.78	173.34	137.43	146.08
6	110.64	148.80	121.45	131.80	168.92	199.71	157.49	182.06	101.39	128.19	113.13	100.90	166.03	173.47	139.91	146.55
7	113.66	156.12	124.04	132.37	169.84	203.61	159.22	182.20	103.53	130.75	115.57	108.26	166.26	182.48	149.70	146.86
8	113.74	156.82	124.08	138.95	171.38	204.00	160.80	184.95	105.32	134.20	115.61	126.47	170.62	186.67	156.94	147.87
9	114.14	159.70	124.78	143.13	175.48	205.30	163.18	185.13	107.02	136.13	116.18	136.49	171.14	187.31	160.65	153.48
10	115.85	160.73	125.01	143.94	175.51	207.20	164.56	191.65	107.84	138.42	116.36	137.15	171.44	188.18	164.59	158.41
11	118.45	161.52	130.79	152.03	176.53	208.00	169.60	193.94	109.59	143.79	119.60	138.99	171.73	188.37	165.68	171.25
12	120.70	165.14	133.70	157.70	178.42	209.46	169.76	198.68	110.47	144.93	124.16	141.62	172.40	189.81	166.28	171.71
13	121.13	165.61	134.33	165.80	182.52	209.98	171.40	200.70	111.87	154.40	134.43	142.51	174.98	190.36	168.97	178.59
14	121.78	168.92	137.16	168.20	182.57	211.60	171.63	201.00	114.59	155.59	135.56	144.08	176.01	192.08	170.21	182.36
15	123.74	173.57	137.33	173.49	183.10	215.70	172.05	208.21	117.09	155.72	135.64	146.04	176.82	198.28	171.45	184.26
16	124.53	174.28	140.18	174.56	183.16	219.92	175.95	213.70	117.42	157.39	137.27	149.86	177.26	199.39	173.36	186.86
17	124.74	174.52	143.02	175.86	183.33	223.27	178.38	215.08	117.78	158.66	139.19	162.82	177.37	201.63	173.72	187.84
18	125.45	175.42	144.08	177.35	186.62	224.10	178.51	218.04	118.21	160.82	140.28	164.47	179.29	204.33	177.92	188.93
19	126.62	176.87	144.10	180.42	186.62	224.74	179.99	218.75	119.30	161.50	142.86	172.90	179.51	205.54	181.27	191.85
20	126.66	181.54	145.42	181.30	188.21	227.97	182.28	219.48	120.05	161.68	150.92	174.76	179.59	205.82	182.57	191.89
21	128.86	183.81	145.49	182.81	188.35	228.56	184.51	220.83	121.02	165.08	151.35	175.91	179.70	207.50	182.80	198.18
22	129.19	187.72	146.38	189.01	188.66	230.47	187.39	228.64	123.33	165.73	162.40	176.07	179.95	207.57	183.95	198.48
23	133.58	188.01	147.81	195.52	188.83	231.25	189.83	232.08	123.64	170.10	162.71	179.09	183.52	211.73	185.89	200.31
24	137.09	188.55	149.09	195.66	190.26	232.78	191.02	233.81	124.07	171.72	162.75	179.11	183.97	212.63	190.10	200.46
25	139.12	188.76	150.65	196.37	190.40	234.17	192.85	235.10	124.46	171.96	164.15	182.95	186.67	214.24	190.34	207.96
26	141.11	190.08	152.58	198.17	190.72	235.19	193.28	235.11	130.04	176.40	164.65	187.65	188.02	223.57	191.09	218.96
27	143.77	196.06	157.60	199.18	191.24	236.98	194.78	236.51	132.60	177.19	164.90	187.86	189.28	228.48	191.36	220.57
28	157.31	196.68	159.10	201.01	192.74	236.98	199.49	236.54	132.96	177.78	168.18	187.97	189.45	229.13	192.09	220.68
29	157.65	200.01	161.46	202.18	194.17	240.34	199.96	238.10	138.57	178.70	168.32	190.65	193.05	230.16	196.10	230.59
30	158.69	212.20	161.68	202.89	197.77	242.35	200.61	247.93	142.03	178.98	170.21	191.12	193.34	231.58	211.35	232.12
31	162.93	214.06	162.93	203.38	198.15	244.02	208.33	249.72	144.80	186.39	171.15	191.16	196.06	231.73	216.92	232.40
32	165.24	216.91	170.22	208.57	198.67	247.09	214.13	261.74	146.61	205.46	171.75	202.15	201.97	231.80	218.43	236.57
33	169.06			215.72	198.78	248.66	217.26	264.16	146.70	206.69	172.45	203.01	202.37	232.21	219.24	237.97
34	169.34			218.69	203.85	251.56		271.93	149.98		178.01	205.36		239.78	220.75	246.88
35	170.72			228.20	203.92	259.97		282.40	150.18		185.26			240.38	228.91	253.40
36	173.03			231.75	206.27	260.51		291.90						249.95	242.65	258.17
97%_下限	84.59	119.87	99.43	106.16	151.67	177.32	133.46	134.76	82.55	101.32	87.96	67.32	152.45	150.27	110.95	112.08
97%_上限	179.75	225.47	176.75	244.23	215.02	267.44	221.71	296.12	156.66	210.11	197.29	238.62	204.10	257.46	244.46	270.28
AVG (MPa)	132.17	172.67	138.09	175.19	183.35	222.38	177.58	215.44	119.60	155.71	142.63	152.97	178.28	203.86	177.71	191.18
STD (MPa)	21.93	24.33	17.82	31.81	14.60	20.76	20.33	37.18	17.08	25.07	25.19	39.47	11.90	24.70	30.76	36.45
V	0.17	0.14	0.13	0.18	0.08	0.09	0.11	0.17	0.14	0.16	0.18	0.26	0.07	0.12	0.17	0.19

表 7.3 平行纖維抗剪試驗 f_s(MPa)成果表(依數值小到大進行排序)

	服務等級 1								服務等級 3							
	孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
1	6.74	11.92	17.45	14.27	15.63	16.09	17.48	10.04	9.31	8.02	10.55	11.28	11.72	13.22	13.13	8.51
2	8.16	12.66	17.69	14.56	16.24	16.81	17.64	10.66	9.35	8.25	11.21	11.40	12.71	13.63	13.96	9.55
3	8.51	13.44	17.83	17.19	17.05	17.47	19.10	12.48	9.77	8.68	11.35	11.50	12.89	13.74	14.04	11.34
4	8.62	13.78	17.93	17.36	17.18	18.85	19.36	13.34	10.02	8.70	12.17	11.84	13.03	13.96	14.13	11.51
5	8.85	13.80	18.13	17.77	17.57	18.95	19.86	15.26	10.82	8.76	12.36	12.16	13.30	14.14	14.23	12.04
6	9.14	13.94	18.15	19.18	18.11	19.17	20.06	15.59	11.22	8.82	12.53	12.24	14.27	14.42	14.40	12.45
7	9.35	14.02	18.31	19.25	18.14	19.17	20.10	16.65	11.77	9.15	12.54	12.27	14.76	14.54	14.50	12.71
8	9.70	14.05	18.34	19.51	18.27	19.21	20.16	17.24	11.83	9.42	12.77	12.61	14.87	14.93	14.56	12.95
9	9.74	14.06	18.83	20.20	18.42	19.57	20.26	17.44	11.84	9.46	12.81	12.85	15.16	15.01	14.56	13.33
10	9.77	14.23	19.00	20.63	18.78	19.57	20.30	18.20	11.86	9.52	13.08	12.98	15.33	15.21	14.74	13.87
11	9.99	14.49	19.39	20.76	18.92	20.01	20.32	18.96	11.90	9.61	13.11	13.08	15.40	15.26	14.87	14.28
12	10.30	15.07	19.44	21.33	18.95	20.17	20.33	19.63	12.06	9.71	13.12	13.32	15.51	15.28	15.00	14.49
13	10.43	15.11	19.69	21.38	19.02	20.20	20.34	20.02	12.17	9.89	13.34	13.95	15.51	15.44	15.14	14.75
14	11.08	15.65	19.81	22.13	19.26	20.30	20.68	21.28	12.32	9.95	13.49	14.08	15.95	15.49	15.24	14.81
15	11.41	15.77	19.89	22.20	19.36	20.31	20.68	21.95	12.83	10.28	13.94	14.14	16.06	15.66	15.28	15.01
16	11.45	16.24	20.07	23.31	19.52	22.00	20.87	22.71	13.21	10.33	14.17	14.34	16.09	15.67	15.42	15.29
17	11.59	16.75	20.47	23.56	19.71	22.13	21.12	22.89	13.26	10.34	14.22	14.61	16.26	15.87	15.58	15.45
18	12.05	16.97	20.49	23.76	19.78	22.68	21.14	23.40	13.54	10.71	14.61	15.22	16.27	15.88	16.02	15.61
19	12.26	17.14	20.55	23.85	19.85	23.07	21.42	23.59	13.57	10.98	14.64	15.24	16.27	16.15	16.07	15.63
20	12.48	17.18	20.61	24.43	20.19	23.20	21.73	24.60	13.60	11.17	14.69	15.75	16.37	16.19	16.28	15.96
21	12.61	17.70	20.62	24.76	21.02	23.30	21.91	24.65	13.85	11.33	15.22	15.83	16.37	16.24	16.69	16.34
22	12.77	18.03	20.70	24.80	21.50	23.40	21.99	25.55	13.97	11.49	15.30	15.87	16.38	16.24	16.82	16.54
23	13.18	18.46	20.82	25.95	21.50	23.44	22.13	27.30	14.15	11.52	15.31	15.92	16.42	16.39	16.83	16.88
24	13.57	18.62	21.68	26.10	21.83	23.53	22.59	27.31	14.15	12.49	15.49	16.02	16.81	16.49	16.87	16.90
25	13.96	18.71	21.69	26.47	22.37	23.76	22.60	28.51	14.22	13.72	15.81	16.19	16.86	16.69	16.91	17.27
26	14.22	19.39	21.86	27.30	22.39	23.76	22.87	28.94	14.30	13.93	15.86	16.45	17.62	17.11	16.96	17.93
27	14.42	19.86	22.08	27.58	22.93	23.97	23.11	31.10	14.34	14.01	15.96	16.62	17.63	17.46	16.97	18.58
28	15.28	20.32	22.86	27.74	23.10	24.02	23.22	31.53	14.35	14.28	16.36	16.65	18.03	17.72	17.02	19.28
29	15.41	20.51	22.97	28.42	23.12	24.26	23.41	31.77	14.43	14.30	17.50	16.76	18.44	17.74	17.25	20.55
30	15.52	20.58	23.14	28.54	23.55	24.28	24.60	32.01	14.90	15.31	18.00	16.95	18.47	18.03	17.34	20.67
31	16.44	20.68	23.60	28.61	23.81	24.66		32.62	14.98	15.97		17.67		18.28		20.71
32	17.85	21.33		28.98	23.95	25.86		33.01	15.08	17.33		18.55		18.36		21.80
33		22.31		31.42	24.78	26.78		33.46	16.00							22.99
34		22.57				27.32		36.25								
35								38.05								
36																
97%_下限	5.94	10.50	16.33	13.68	14.93	15.70	17.51	7.40	9.09	5.84	10.10	10.10	12.01	12.82	12.95	8.18
97%_上限	17.61	23.35	23.93	32.58	25.42	27.91	24.58	39.91	16.67	16.50	18.00	18.92	19.38	18.84	18.17	23.09
AVG (MPa)	11.78	16.92	20.13	23.13	20.18	21.80	21.05	23.66	12.88	11.17	14.05	14.51	15.69	15.83	15.56	15.64
STD (MPa)	2.69	2.96	1.75	4.35	2.42	2.81	1.63	7.49	1.75	2.45	1.82	2.03	1.70	1.39	1.20	3.43
V	0.23	0.17	0.09	0.19	0.12	0.13	0.08	0.32	0.14	0.22	0.13	0.14	0.11	0.09	0.08	0.22

表 7.4 垂直纖維抗拉試驗 $f_{t,90}$ (MPa)成果表(依數值小到大進行排序)

	服務等級 1								服務等級 3							
	孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
1	2.36	3.09	2.38	3.97	1.65	3.58	1.74	1.99	1.73	1.48	2.76	2.38	2.17	3.00	1.74	2.36
2	2.47	3.19	2.39	4.25	1.86	3.68	2.10	2.10	1.78	2.62	2.81	2.69	2.41	3.10	1.93	2.45
3	2.55	3.22	2.40	4.27	2.02	3.70	2.22	2.66	1.88	2.77	2.94	3.04	2.47	3.54	2.07	2.97
4	2.58	3.34	2.44	4.31	2.24	3.74	2.39	2.98	2.01	2.81	3.07	3.08	2.52	3.60	2.19	3.17
5	2.58	3.44	2.54	4.36	2.32	3.76	2.40	2.99	2.39	2.89	3.17	3.11	2.54	3.69	2.35	3.25
6	2.62	3.54	2.55	4.36	2.47	3.77	2.46	3.07	2.40	2.93	3.44	3.12	2.54	3.70	2.38	3.30
7	2.63	3.54	2.61	4.42	2.49	3.91	2.51	3.09	2.81	3.01	3.47	3.13	2.54	3.81	2.40	3.57
8	2.66	3.55	2.75	4.70	2.53	4.19	2.69	3.25	2.86	3.03	3.51	3.25	2.65	3.96	2.48	3.91
9	2.73	3.60	2.76	4.70	2.57	4.21	2.75	3.34	3.07	3.05	3.52	3.61	2.66	3.98	2.53	3.98
10	2.76	3.61	2.76	4.76	2.72	4.34	2.82	3.40	3.07	3.07	3.58	3.65	2.75	4.02	2.57	3.98
11	2.78	3.64	2.79	4.77	2.77	4.39	2.85	3.52	3.09	3.09	3.69	3.65	2.77	4.05	2.65	4.04
12	2.91	3.64	2.83	4.79	2.90	4.61	2.95	3.63	3.17	3.15	3.74	3.66	2.81	4.11	2.70	4.13
13	3.06	3.66	2.86	4.81	2.91	4.80	3.06	3.73	3.19	3.20	3.75	3.71	2.95	4.20	2.74	4.20
14	3.08	3.68	2.92	5.02	2.95	4.83	3.07	3.90	3.20	3.24	3.83	3.78	2.97	4.24	2.78	4.30
15	3.13	3.76	2.97	5.05	2.99	4.89	3.08	4.10	3.32	3.36	3.83	3.91	2.99	4.28	2.78	4.33
16	3.15	3.76	2.98	5.11	3.10	4.95	3.31	4.16	3.43	3.37	3.84	3.93	2.99	4.37	2.91	4.41
17	3.21	3.76	3.01	5.21	3.26	4.96	3.32	4.26	3.63	3.40	3.84	3.94	2.99	4.47	2.96	4.55
18	3.27	3.82	3.21	5.22	3.29	4.98	3.43	4.35	3.66	3.43	3.86	3.98	3.01	4.50	2.97	4.58
19	3.27	3.83	3.28	5.25	3.34	5.02	3.46	4.47	3.69	3.45	3.86	4.00	3.01	4.51	2.98	4.71
20	3.28	3.83	3.38	5.26	3.42	5.21	3.50	4.51	3.69	3.46	3.89	4.03	3.12	4.51	2.98	4.74
21	3.36	3.88	3.42	5.27	3.43	5.24	3.58	4.55	3.79	3.47	4.04	4.08	3.16	4.64	3.00	4.78
22	3.37	3.90	3.44	5.29	3.47	5.29	3.61	4.62	3.83	3.48	4.19	4.12	3.18	4.65	3.03	4.84
23	3.39	3.92	3.47	5.30	3.48	5.30	3.63	4.66	3.84	3.58	4.26	4.19	3.31	4.65	3.07	4.89
24	3.47	3.95	3.49	5.30	3.55	5.35	3.64	4.72	3.84	3.61	4.51	4.22	3.33	4.86	3.09	4.91
25	3.54	3.99	3.56	5.61	3.58	5.40	3.69	4.74	3.89	3.64	4.52	4.32	3.35	4.94	3.19	4.99
26	3.58	4.00	3.69	5.66	3.69	5.52	3.79	4.93	4.04	3.66	4.55	4.48	3.35	4.99	3.22	5.04
27	3.72	4.00	3.71	5.73	3.88	5.67	3.87	4.99	4.19	3.71	4.64	4.49	3.38	5.04	3.22	5.31
28	3.90	4.02	3.73	5.89	3.90	5.74	3.89	5.27	4.26	3.79	4.68	4.58	3.46	5.09	3.27	5.34
29	3.92	4.07	3.75	6.26	4.23	5.76	3.97	5.41	4.51	3.80	4.82	4.58	3.75	5.27	3.64	5.40
30	3.94	4.11	3.99	6.31	4.35	5.93	4.38	5.79	4.52	4.02	4.92	4.89	3.76	5.90	3.77	5.71
31	4.01	4.16	4.19	6.33		6.02		5.85	4.55	4.16	4.96					5.94
32	4.04	4.21	4.27	6.99		6.18		6.00	4.68	4.18	5.00					6.10
33	4.21	4.41		6.99		6.44		6.13	4.82	4.22	5.14					
34		4.41		6.99		6.51		6.71	5.00		5.22					
35						6.53		6.96								
36						6.58										
97%_下限	2.06	3.09	1.96	3.49	1.57	3.07	1.76	1.65	1.55	2.19	2.52	2.48	2.10	2.93	1.77	2.35
97%_上限	4.33	4.47	4.32	7.01	4.52	6.98	4.52	6.97	5.38	4.49	5.47	5.09	3.82	5.72	3.80	6.41
AVG (MPa)	3.20	3.78	3.14	5.25	3.05	5.03	3.14	4.31	3.46	3.34	3.99	3.79	2.96	4.32	2.79	4.38
STD (MPa)	0.52	0.32	0.54	0.81	0.68	0.90	0.64	1.23	0.88	0.53	0.68	0.60	0.40	0.64	0.47	0.93
V	0.16	0.08	0.17	0.15	0.22	0.18	0.20	0.28	0.25	0.16	0.17	0.16	0.13	0.15	0.17	0.21

表 7.5 垂直纖維抗壓試驗 $f_{c,90,EW}$ (MPa)成果表(依數值小到大進行排序)

	服務等級 1								服務等級 3							
	孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
1	-7.10	-10.04	-11.54	-18.43	-8.61	-12.00	-11.95	-6.20	-13.25	-8.25	-11.34	-13.98	-8.93	-11.16	-6.45	-6.79
2	-7.47	-10.30	-11.71	-18.82	-10.14	-14.88	-13.16	-8.48	-13.95	-8.27	-11.89	-14.34	-9.08	-15.66	-7.21	-6.94
3	-7.92	-10.60	-11.78	-19.64	-12.69	-14.97	-13.60	-9.58	-14.36	-10.86	-13.57	-15.36	-10.20	-17.54	-8.55	-9.65
4	-8.64	-13.14	-12.40	-20.17	-13.35	-15.86	-13.83	-9.91	-14.93	-11.73	-14.62	-15.40	-11.14	-18.74	-8.79	-10.34
5	-9.19	-13.49	-13.13	-20.28	-13.72	-16.75	-13.94	-11.41	-15.27		-14.97	-17.65	-12.19	-18.80	-8.81	-10.67
6	-9.41	-13.59	-13.65	-20.31	-13.78	-16.79	-14.22	-13.10	-15.40		-15.40	-18.64	-12.56	-20.10	-8.96	-11.30
7	-9.77	-15.11	-14.47	-20.89	-14.51	-17.28	-14.23	-14.45	-15.72		-15.61	-18.69	-13.76		-9.60	-11.47
8	-9.81	-18.26	-15.11	-21.43	-14.67	-17.37	-14.35	-14.92	-15.89		-15.62	-19.51	-13.91		-9.62	-12.67
9	-10.73	-18.92	-16.48	-21.51	-14.95	-17.43	-14.48	-15.85	-16.37		-15.82	-19.81	-14.36		-9.70	-12.68
10	-11.06	-19.45	-16.55	-21.52	-15.11	-17.96	-15.45	-15.98	-16.53		-16.16	-19.82	-14.39		-10.09	-13.13
11	-11.28	-20.28	-16.63	-22.46	-15.19	-18.10	-15.75	-16.62	-16.86		-16.24	-20.32	-15.12		-12.00	-13.49
12	-12.42	-20.39	-17.04	-22.67	-15.50	-18.99	-17.36	-16.88	-16.94		-16.86	-20.34	-15.19		-12.71	-15.37
13	-12.91	-20.58	-17.20	-23.21	-15.52	-19.45	-17.64	-17.70	-17.29		-16.90	-20.97	-15.37		-13.43	-16.98
14	-13.10	-21.57	-17.29	-23.42	-15.57	-19.56	-17.72	-17.82	-17.37		-18.06	-21.06	-15.45		-13.52	-18.35
15	-13.74	-21.93	-17.48	-23.84	-15.79	-19.74	-17.82	-18.26	-17.65		-18.74	-22.66	-15.73		-14.85	-18.85
16	-13.80	-23.04	-17.48	-24.23	-15.98	-21.19	-17.99	-18.45	-17.75		-18.79		-16.53		-15.20	-18.98
17	-14.23	-23.49	-17.48	-24.66	-15.98	-21.30	-18.33	-20.54	-18.10		-20.42		-16.55		-15.42	-19.28
18	-14.26	-23.66	-18.19	-24.99	-16.06	-21.30	-18.53	-21.31	-18.17		-20.62		-16.65		-15.75	-19.66
19	-14.46	-24.25	-19.10	-25.91	-16.33	-21.43	-18.72	-21.57	-18.32		-20.77		-16.92		-15.82	-19.86
20	-14.57	-24.53	-19.30	-28.63	-16.49	-22.15	-18.78	-21.89	-19.77		-20.84		-17.23		-16.38	-20.83
21	-14.93	-27.01	-20.34	-28.83	-16.49	-22.56	-18.92	-22.40	-19.85		-21.87		-17.56		-16.53	-21.63
22	-15.06	-29.48	-20.77	-28.90	-16.89	-23.12	-19.56	-22.40	-19.89		-22.14		-17.69		-17.30	-22.27
23	-15.29	-29.84	-21.63	-29.29	-18.33	-23.29	-19.97	-22.60	-21.20		-22.49		-19.15		-17.39	-22.55
24	-15.55	-29.97	-22.20	-30.87	-19.28	-24.07	-20.14	-22.67	-23.24		-24.63		-19.27		-17.41	-24.41
25	-15.96		-22.69	-31.09	-20.31	-24.21	-20.19	-22.72	-26.72				-20.44		-17.77	-26.62
26	-16.11		-24.55	-32.89	-20.85	-24.42	-20.32	-23.33					-20.81		-18.10	-28.42
27	-16.60		-27.33			-24.47	-20.40	-25.31					-22.45		-19.30	
28	-17.78					-24.53	-21.40	-25.49							-20.03	
29	-18.79					-24.96		-25.74							-21.07	
30	-21.24					-27.07		-27.94							-33.38	
31						-27.82		-28.38								
32						-28.55		-29.37								
33						-30.65		-30.08								
34								-30.30								
35								-32.36								
36																
97%_下限	-22.12	-35.86	-27.87	-34.89	-22.32	-32.24	-24.08	-37.23	-25.34		-26.64	-25.43	-24.35		-28.46	-31.91
97%_上限	-4.09	-4.39	-7.21	-13.49	-8.61	-9.83	-10.12	-2.89	-9.92		-8.72	-11.71	-6.66		-0.29	-1.41
AVG (MPa)	-13.11	-20.12	-17.54	-24.19	-15.46	-21.04	-17.10	-20.06	-17.63		-17.68	-18.57	-15.50		-14.37	-16.66
STD (MPa)	3.50	6.10	4.01	4.15	2.66	4.34	2.71	6.66	2.99		3.47	2.66	3.43		5.46	5.91
V	-0.27	-0.30	-0.23	-0.17	-0.17	-0.21	-0.16	-0.33	-0.17		-0.20	-0.14	-0.22		-0.38	-0.35

1123425

表 7. 6 直纖維抗壓試驗 $f_{c,90,NS}$ (MPa)成果表(依數值小到大進行排序)

	服務等級 1								服務等級 3							
	孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
1		26.35	42.46	31.20		35.03	23.89		27.83	4.78	25.77	10.50	23.90	17.08	26.50	20.04
2		29.28	46.87	35.35		38.00	25.92		28.50	8.32	33.36	14.71	27.92	19.55	30.50	25.41
3		30.03	47.42	39.77					30.46	12.28	36.16	20.73	29.36	25.66	31.29	33.98
4		33.32		59.33					32.64	12.40	42.09	23.51	29.57	25.98	31.49	34.34
5		34.63		60.95					32.79	13.09		23.66	30.08	27.92		40.45
6		39.24		62.02					34.79	13.12		26.73	33.62	28.10		41.67
7		42.25							36.09	14.52		28.14	34.74	28.75		49.45
8		50.63							36.11	14.91		28.79	37.44	28.87		56.16
9		51.24							36.67	17.81		28.97		29.44		
10									36.93	20.30		29.50		30.33		
11										20.59		31.73		31.63		
12										22.16		31.98		32.06		
13										24.10		41.59		32.39		
14										24.47		42.47		32.48		
15										25.30				32.53		
16										25.54				33.11		
17										26.00				33.40		
18										26.53				33.46		
19										27.12				33.47		
20										27.21				35.82		
21										28.76				36.90		
22										29.44				37.32		
23										31.64				37.42		
24										31.85				40.97		
25										32.74				42.72		
26										41.04				47.65		
27														47.79		
28														48.99		
29																
97%_下限									24.50	-0.03		4.75		13.71		7.00
97%_上限									42.06	44.34		49.97		52.85		68.37
AVG (MPa)									33.28	22.15		27.36		33.28		37.69
STD (MPa)									3.40	8.60		8.76		7.58		11.89
V									0.10	0.39		0.32		0.23		0.32

1123425

表 7.7 竹桿抗彎試驗 $f_{m,0}$ (MPa)成果表(依數值小到大進行排序)

	服務等級 1								服務等級 3							
	孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
1	47.47	73.00	57.81	97.51	59.29	86.70	54.46	73.25	55.07	58.95	60.79	89.73	55.53	80.09	65.39	82.36
2	47.76	74.16	64.56	104.52	63.01	90.29	57.68	89.62	57.81	59.63	67.35	94.60	58.71	88.86	68.26	86.07
3	48.12	74.29	67.39	107.94	65.35	92.16	57.71	92.50	58.51	59.88	68.10	95.43	58.92	89.76	71.19	87.46
4	54.35	74.83	74.31	108.09	66.33	105.25	66.97	100.68	62.25	61.99	70.17	96.40	59.61	94.01	74.11	89.50
5	55.08	76.34	74.36	108.89	68.16	106.87	68.44	104.58	62.92	64.10	72.20	97.78	60.78	95.25	74.96	93.01
6	55.92	77.68	78.87	109.54	68.74	108.81	69.28	105.10	66.33	68.66	72.62	98.69	62.65	97.92	76.93	98.29
7	57.18	79.12	90.77	110.39	70.52	109.33	73.38	110.57	69.24	69.30	75.85	100.92	64.56	98.91	78.91	98.71
8	61.66	79.58	103.85	117.04	70.74	109.37	74.24	112.34	69.83	71.58	79.07	101.04	64.76	101.11	80.03	102.10
9	61.87	80.71	107.52	118.42	71.41	111.62	74.44	115.11	71.66	73.05	79.32	103.55	65.25	101.78	80.19	106.09
10	62.32	80.89	108.81	119.82	71.68	111.75	77.60	118.49	72.54	73.14	82.59	104.98	65.72	102.82	80.50	107.11
11	62.96	81.97	108.84	121.20	72.17	112.76	77.68	122.68	77.41	73.60	85.48	105.44	65.82	103.17	80.68	107.69
12	64.90	82.02	110.10	122.89	72.33	113.46	79.24	122.89	80.40	74.95	88.18	106.10	65.90	105.18	81.21	108.50
13	66.14	82.64	112.27	122.92	76.99	113.66	79.40	126.64	80.74	75.74	89.82	108.32	66.88	109.66	81.89	112.92
14	66.79	83.46	112.27	124.78	79.07	114.51	79.87	127.48	81.33	76.14	91.26	109.04	69.25	111.41	82.76	114.55
15	67.62	84.02	113.44	125.43	79.40	116.41	80.01	129.69	81.76	81.39	91.46	109.06	69.63	111.58	83.80	116.34
16	68.03	84.30	114.87	125.76	79.66	118.16	81.84	131.04	82.66	84.65	91.89	111.01	71.53	112.83	86.13	118.42
17	68.27	86.74	116.45	128.46	80.31	118.50	82.20	132.41	82.97	84.75	98.27	113.13	72.57	113.20	87.06	118.92
18	70.81	88.20	120.12	128.70	80.47	119.47	82.59	133.58	85.95	84.78	98.27	113.66	73.64	117.54	91.95	120.04
19	73.21	89.25	122.30	128.89	80.84	120.27	82.77	134.38	86.52	85.49	100.21	115.20	73.97	119.70	92.50	120.62
20	73.60	92.29	126.00	130.44	83.01	120.80	87.38	139.60	88.76	86.08	102.11	115.44	74.84	121.96	94.40	121.47
21	74.08	92.57	126.45	130.45	84.89	123.53	88.50	140.77	90.13	86.85	102.59	116.22	76.52	124.20	95.17	124.33
22	75.32	92.70	127.82	131.31	85.18	123.54	90.60	143.79	90.45	89.14	103.14	119.13	76.92	124.93	96.30	124.66
23	76.48	94.94	130.62	134.34	88.89	123.87	90.96	150.05	90.76	91.78	105.55	124.34	77.28	131.15	98.50	124.90
24	80.16	97.67	131.88	135.81	90.96	128.02	91.17	157.42	92.34	92.53	106.13	127.39	79.05	131.46	100.90	125.63
25	81.50	100.85	132.63	136.42	92.10	131.07	93.89	167.80	92.83	98.76	106.40	127.72	79.44	132.76	102.34	126.36
26	81.97	103.48	133.08	136.94	92.11	132.25	95.33	167.90	94.38	98.92	107.22	127.76	80.54	133.60	102.83	126.44
27	82.82	110.20	136.24	141.28	93.38	133.18		170.44	94.70	100.09	110.99	128.68	82.95	136.58	103.69	129.39
28	86.49	111.55		143.22	95.57	133.40		174.27	95.02	100.80	113.56	129.48	86.55	139.72	106.08	133.32
29	87.83	114.60		143.31	96.73	135.92		180.82	99.27	101.86	115.61	132.24	86.56	142.94	111.09	136.30
30	87.97	115.21		145.14	98.90	139.33		183.05	101.21	102.33	118.11	132.26	87.02	144.26	112.16	142.71
31	89.92	117.74		148.72	102.42	148.66		191.67	106.36	102.76	119.91	134.00	90.22	150.15	117.10	145.04
32	93.45	118.30		158.30		149.84		192.06		107.93	122.51	141.33		150.74	119.77	146.35
33	96.85	122.41		158.86		154.26				116.00	124.67	142.41			120.81	154.18
34		123.53								116.64		147.11				
35																
36																
97%_下限	41.25	58.34	56.84	94.91	55.12	85.44	54.40	68.64	51.58	49.36	56.10	82.16	51.30	74.67	57.98	77.13
97%_上限	99.89	126.44	158.24	159.99	104.92	154.38	102.34	202.77	111.13	119.71	133.07	148.40	92.15	157.78	123.82	156.19
AVG	70.57	92.39	107.54	127.45	80.02	119.91	78.37	135.71	81.36	84.54	94.59	115.28	71.73	116.23	90.90	116.66
STD	13.51	15.69	23.36	15.00	11.47	15.88	11.05	30.91	13.72	16.21	17.73	15.26	9.41	19.15	15.17	18.22
V	0.19	0.17	0.22	0.12	0.14	0.13	0.14	0.23	0.17	0.19	0.19	0.13	0.13	0.16	0.17	0.16

1123425

表 7.8 平行纖維抗壓試驗 $f_{c,0}$ (MPa)不考慮信賴區間之成果表

	服務等級 1								服務等級 3							
	孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
1	41.65	59.07	59.37	80.79	74.21	72.73	66.60	60.92	21.83	42.79	35.39	58.36	55.16	44.12	39.57	48.12
2	43.44	63.37	63.78	87.90	78.54	76.50	72.04	74.53	31.34	43.53	45.68	63.76	56.19	54.69	41.66	49.26
3	45.46	63.84	64.57	92.05	79.69	77.34	74.70	75.95	33.12	46.25	46.89	64.45	57.48	59.99	46.56	49.56
4	45.58	65.26	64.84	95.12	79.89	78.91	74.83	80.01	34.95	46.41	47.40	65.62	58.50	61.60	46.86	54.11
5	46.58	67.14	65.17	97.47	80.97	80.05	75.26	80.52	35.01	46.76	47.70	67.28	59.36	63.05	50.96	55.27
6	46.58	68.81	65.40	98.15	81.87	82.03	77.90	86.03	35.42	47.29	47.92	68.67	60.03	64.48	50.98	56.34
7	46.92	68.86	66.18	98.88	82.28	84.12	80.61	90.48	35.98	47.40	48.53	70.11	63.13	66.46	51.26	56.82
8	48.21	69.57	67.19	99.34	82.68	88.35	80.96	92.56	36.01	49.78	48.58	70.17	63.34	66.46	53.14	58.20
9	48.92	69.91	67.23	100.77	83.56	90.19	81.50	93.19	36.60	51.17	49.08	70.33	63.38	67.49	55.48	59.33
10	49.53	71.04	67.57	101.96	83.65	90.57	81.61	93.86	39.06	51.86	49.41	70.71	63.83	70.43	55.57	59.78
11	49.95	71.22	68.16	103.96	84.61	91.35	82.02	94.20	40.65	51.92	49.52	71.01	63.93	70.81	55.65	60.81
12	50.21	72.41	68.38	104.75	85.84	93.09	82.35	96.56	42.99	53.65	50.76	71.34	64.05	72.15	57.82	64.46
13	51.26	73.05	68.75	104.89	86.57	93.41	83.08	100.04	45.36	53.67	51.26	72.24	64.26	72.79	58.09	65.11
14	53.91	73.25	68.79	106.31	86.63	94.29	84.35	101.27	45.86	54.21	54.65	72.49	65.26	73.27	59.54	65.37
15	56.84	75.52	69.04	106.57	86.73	94.80	84.93	103.16	48.27	54.31	55.53	73.14	65.43	73.28	59.96	66.19
16	57.36	75.97	69.31	106.71	87.60	95.09	85.81	103.94	48.80	54.53	55.65	73.58	65.82	73.46	60.08	71.66
17	57.56	76.16	69.55	106.97	87.72	95.13	87.08	105.24	49.01	55.04	56.42	73.65	66.15	73.66	61.16	71.82
18	57.67	77.54	69.58	107.08	88.29	98.31	87.35	107.45	49.34	55.89	58.09	83.04	66.21	74.18	61.42	72.90
19	57.74	79.81	71.33	108.64	88.72	100.12	88.32	107.61	50.54	56.49	58.72	87.81	66.44	74.73	62.11	74.29
20	57.92	80.22	71.74	109.82	88.87	101.44	89.48	108.53	50.56	57.00	60.24	90.74	66.74	74.77	62.58	74.83
21	59.18	80.30	71.92	109.88	89.74	102.15	90.66	110.63	52.29	57.10	61.76	94.57	66.93	76.04	63.10	74.91
22	59.56	81.60	72.05	109.97	89.91	103.04	90.69	115.70	52.77	57.64	61.85	96.72	68.15	76.53	63.65	76.52
23	59.60	82.05	72.32	110.90	89.98	103.95	91.38	116.71	53.05	58.36	62.38	96.92	68.16	77.13	64.59	76.53
24	59.97	83.19	73.43	111.10	90.34	104.48	91.99	117.37	53.16	58.93	62.50	97.44	68.87	77.57	67.15	77.20
25	60.23	83.49	74.57	111.22	90.75	106.85	93.03	118.09	53.75	59.12	62.67	99.84	70.75	78.28	67.83	81.00
26	61.27	84.03	74.93	112.53	91.42	107.35	93.88	119.31	54.38	61.10	62.95	100.50	71.01	78.37	68.12	83.02
27	61.40	84.19	75.07	112.96	93.76	112.40	95.57	119.91	54.98	62.37	63.06	100.51	71.62	79.15	70.99	88.73
28	61.64	84.27	75.35	115.13	94.15	116.87	96.46	121.10	56.81	62.58	63.84	101.62	74.69	83.87	71.69	89.00
29	61.71	84.63	76.04	115.74	95.08	118.09	98.42	123.29	58.24	63.70	63.92	101.77	75.90	84.86	72.21	92.14
30	62.88	86.54	76.32	116.87	96.15	135.87	104.24	124.26	61.00	63.75	64.25	101.79	81.32	137.78	72.40	92.34
31	63.87	86.86	78.68	117.24	96.42	185.92	106.45	130.18	61.17	65.13	67.05	103.95	81.49		74.66	92.64
32	65.12	89.83	79.65	119.61	104.62		110.71	135.52	65.12		69.04	104.75	90.52		79.26	115.66
33	65.67	89.92	79.95	121.55	113.21			147.92	66.63		69.46	106.29	97.54		83.16	
34	67.09	91.81	81.05	125.29				157.04	127.67		69.69		104.33		86.35	
35	67.20	95.01		126.24				157.23			69.86				89.87	
36				133.87				180.95			76.21					
AVG	55.71	77.42	70.80	108.01	88.32	99.19	87.01	109.76	49.46	54.51	57.44	83.19	69.00	73.38	62.44	71.06
STD	7.33	8.92	5.14	10.75	7.56	21.13	9.94	25.06	17.36	6.17	8.98	15.52	10.96	14.84	11.83	15.51
V	0.13	0.12	0.07	0.10	0.09	0.21	0.11	0.23	0.35	0.11	0.16	0.19	0.16	0.20	0.19	0.22

1123425

表 7.9 竹桿抗彎試驗 $f_{m,0}$ (MPa)不考慮信賴區間之成果表

	服務等級 1								服務等級 3							
	孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
1	36.77	48.74	45.93	97.51	39.63	81.50	34.47	73.25	35.32	58.95	47.84	63.80	35.93	35.40	43.01	82.36
2	47.47	73.00	57.81	104.52	59.29	86.70	48.76	89.62	39.93	59.63	60.79	89.73	40.37	63.84	65.39	86.07
3	47.76	74.16	64.56	107.94	63.01	90.29	57.68	92.50	40.86	59.88	67.35	94.60	41.98	66.29	68.26	87.46
4	48.12	74.29	67.39	108.09	65.35	92.16	57.72	100.68	47.48	61.99	68.10	95.43	55.53	80.09	71.19	89.50
5	54.35	74.83	74.31	108.89	66.33	105.25	66.97	104.58	55.07	64.10	70.17	96.40	58.71	88.86	74.11	93.01
6	55.08	76.34	74.36	109.54	68.16	106.87	68.45	105.10	57.81	68.66	72.20	97.78	58.92	89.76	74.96	98.29
7	55.92	77.68	78.87	110.39	68.74	108.81	69.28	110.57	58.51	69.30	72.62	98.69	59.61	94.01	76.93	98.71
8	57.18	79.12	90.77	117.04	70.52	109.33	73.38	112.34	62.25	71.58	75.85	100.92	60.78	95.25	78.91	102.10
9	61.66	79.58	103.85	118.42	70.74	109.37	74.24	115.11	62.92	73.05	79.07	101.04	62.65	97.92	80.03	106.09
10	61.87	80.71	107.52	119.82	71.41	111.62	74.44	118.49	66.33	73.14	79.32	103.55	64.56	98.91	80.19	107.11
11	62.32	80.89	108.81	121.20	71.68	111.75	77.61	122.68	69.24	73.60	82.59	104.98	64.76	101.11	80.50	107.69
12	62.96	81.97	108.84	122.89	72.17	112.76	77.68	122.89	69.83	74.95	85.48	105.44	65.25	101.78	80.68	108.50
13	64.90	82.02	110.10	122.92	72.33	113.46	79.24	126.64	71.66	75.74	88.18	106.10	65.72	102.82	81.21	112.92
14	66.14	82.64	112.27	124.78	76.99	113.66	79.40	127.48	72.54	76.14	89.82	108.32	65.82	103.17	81.89	114.55
15	66.79	83.46	112.27	125.43	79.07	114.51	79.87	129.69	77.41	81.39	91.26	109.04	65.90	105.18	82.76	116.34
16	67.62	84.02	113.44	125.76	79.40	116.41	80.02	131.04	80.40	84.65	91.46	109.06	66.88	109.66	83.80	118.42
17	68.03	84.30	114.87	128.46	79.66	118.16	81.86	132.41	80.74	84.75	91.89	111.01	69.25	111.41	86.13	118.92
18	68.27	86.74	116.45	128.70	80.31	118.50	82.20	133.58	81.33	84.78	98.27	113.13	69.63	111.58	87.06	120.04
19	70.81	88.20	120.12	128.89	80.47	119.47	82.59	134.38	81.76	85.49	98.27	113.66	71.53	112.83	91.95	120.62
20	73.21	89.25	122.30	130.44	80.84	120.27	82.77	139.60	82.66	86.08	100.21	115.20	72.57	113.20	92.50	121.47
21	73.60	92.29	126.00	130.45	83.01	120.80	87.42	140.77	82.97	86.85	102.11	115.44	73.64	117.54	94.40	124.33
22	74.08	92.57	126.45	131.31	84.89	123.53	88.50	143.79	85.95	89.14	102.59	116.22	73.97	119.70	95.17	124.66
23	75.32	92.70	127.82	134.34	85.18	123.54	90.60	150.05	86.52	91.78	103.14	119.13	74.84	121.96	96.30	124.90
24	76.48	94.94	130.62	135.81	88.89	123.87	90.96	157.42	88.76	92.53	105.55	124.34	76.52	124.20	98.50	125.63
25	80.16	97.67	131.88	136.42	90.96	128.02	91.18	167.80	90.13	98.76	106.13	127.39	76.92	124.93	100.90	126.36
26	81.50	100.85	132.63	136.94	92.10	131.07	93.89	167.90	90.45	98.92	106.40	127.72	77.28	131.15	102.34	126.44
27	81.97	103.48	133.08	141.28	92.11	132.25	95.32	170.44	90.76	100.09	107.22	127.76	79.05	131.46	102.83	129.39
28	82.82	110.20	136.24	143.22	93.38	133.18	105.77	174.27	92.34	100.80	110.99	128.68	79.44	132.76	103.69	133.32
29	86.49	111.55	175.63	143.31	95.57	133.40	109.66	180.82	92.83	101.86	113.56	129.48	80.54	133.60	106.08	136.30
30	87.83	114.60		145.14	96.73	135.92	115.68	183.05	94.38	102.33	115.61	132.24	82.95	136.58	111.09	142.71
31	87.97	115.21		148.72	98.90	139.33	118.02	191.67	94.70	102.76	118.11	132.26	86.55	139.72	112.16	145.04
32	89.92	117.74		158.30	102.42	148.66	118.74	192.06	95.02	107.93	119.91	134.00	86.56	142.94	117.10	146.35
33	93.45	118.30		158.86	113.24	149.84			99.27	116.00	122.51	141.33	87.02	144.26	119.77	154.18
34	96.85	122.41		163.32	113.68	154.26			101.21	116.64	124.67	142.41	90.22	150.15	120.81	175.21
35	108.49	123.53		179.24	126.00	171.67			106.36	125.30	159.85	147.11	102.44	150.74		
36	111.76	136.22			162.38	172.06			128.00	127.20	187.23	156.45	135.12	169.13		
AVG	71.83	92.39	107.77	129.95	84.32	121.73	82.32	135.71	78.16	86.85	97.68	115.00	71.65	112.61	89.49	118.38
STD	16.96	18.48	28.43	17.94	21.41	20.58	18.93	30.91	20.06	18.49	26.59	18.54	17.54	26.97	17.05	20.56
V	0.24	0.20	0.26	0.14	0.25	0.17	0.23	0.23	0.26	0.21	0.27	0.16	0.24	0.24	0.19	0.17

1123425

7.2 竹材特徵值

7.2.1 特徵值的計算方法

將試驗結果依不同結構特性計算其特徵平均值或特徵第 5 百分位數，計算方式引自 ISO 12122-1:2014[18]、杜怡萱 2021[3]，如下所示：

具 75%可信度之特徵平均值應根據(7.1)式計算：

$$X_{mean,0.75} = X_{mean}\left(1 - \frac{k_{mean,0.75}V}{\sqrt{n}}\right) \tag{7.1}$$

其中

$X_{mean,0.75}$ 具有 75%可信度之特徵平均值 (MPa)。

X_{mean} 測試之平均值 (MPa)。

$k_{mean,0.75}$ 用於計算 75%可信度特徵平均值之係數。

V 測試之標準差除以平均值所得之變異係數。

n 試體數量。

表 7. 10 試體數量與 $K_{mean,0.75}$ 對照表

Number of specimens n	$k_{mean,\ 0.75}$
3	0,82
5	0,74
10	0,70
30	0,68
50	0,68
100	0,68
>100	0,67

具 75%可信度之特徵第 5 百分位數應根據(7.2)式計算：

$$X_{0.05,0.75} = X_{0.05}\left(1 - \frac{k_{0.05,0.75}V}{\sqrt{n}}\right) \tag{7.2}$$

其中

$X_{0.05,0.75}$ 具有 75%可信度之特徵第 5 百分位數 (MPa)。

$X_{0.05}$ 測試之第 5 百分位數 (MPa)。

$k_{0.05,0.75}$ 用於計算 75%可信度特徵第 5 百分位數之係數。

表 7. 11 試體數量與 $K_{0.05,0.75}$ 對照表

Number of specimens n	$k_{0,05,0,75}$
5[a]	—
10[a]	—
30	2,01
50	1,94
100	1,85
>100	1,76
NOTE Method of analysis: non-parametric AS/NZS 4063. [a] There are difficulties obtaining a reliable estimate of the 5th percentile value from small data sets.	

針對桂竹、孟宗竹所做的各種竹材性質試驗結果(詳見第六章)，代入(7.1)式、(7.2)式計算，整理可得各強度特徵值。

7.2.2 針對平均值與特徵值結果討論

下面根據表 7. 15 至表 7. 19，依三種不同方面 (乾燥竹與生竹、竹頭與竹尾、服務等級 1 與服務等級 3)，其強度的平均值與特徵值分別討論各試驗的結果：

表 7. 12 不同試驗中，針對乾燥竹與生竹兩者強度關係的結果討論

平行纖維抗壓試驗	從平均值來看，在兩種竹種的竹頭及竹尾中，乾燥竹的強度均大於生竹，但經過修正後的特徵值強度卻並非如此。約有 25% 的乾燥竹的特徵值(設計強度)會低於生竹，發生在服務等級 1 的桂竹部分，主要原因為服務等級 1 的乾燥桂竹其標準差(STD)相對較大，而計算特徵值的公式會考量標準差過大所造成的安全疑慮，使特徵值與其標準差呈現負相關性。
平行纖維抗拉試驗	從平均值來看，同平行纖維抗壓強度，兩種竹種的乾燥竹的強度均大於生竹。除了可預期的乾燥竹標準差大於生竹外，平行纖維抗拉強度的標準差相較於平行纖維抗壓強度有顯著的上升，代表其變異性大於平行纖維抗壓強度。 在特徵值上，只有服務等級 1 的桂竹竹尾及服務等級 3 的孟宗竹竹尾，有乾燥竹小於生竹的情況。前者同平行纖維抗壓，為乾燥竹變異性較大導致計算出的特徵值較小；而後者則是因為該類別生竹與乾燥竹的強度平均值本就較接近(生竹 142.63 MPa、乾

	燥竹 152.97 MPa)，而標準差相差較大 (生竹 25.19 MPa、乾燥竹 39.47 MPa)，其可能之原因為生物材料本身的變異性較大，且生竹與乾燥竹的強度對竹材內濕度的敏感度不同 (該推測源自於生竹在兩種服務等級下的強度差異小於乾燥竹) 所造成的差異。
平行纖維抗剪試驗	從平均值來看，除了服務等級 3 的孟宗竹竹頭外，其餘試體種類的乾燥竹強度皆大於生竹，但可注意到桂竹和孟宗竹的竹尾在兩種服務等級下，生竹與乾燥竹的強度事實上相差無幾，這也間接導致了由標準差大小來控制特徵值強度。而孟宗竹竹頭在兩種服務等級下的生竹與乾燥竹的比例關係懸殊的原因可能為：除了孟宗竹竹頭本身形狀變異性較大外，其氣孔較孟宗竹竹尾及桂竹大，當試體浸水時，水分較容易進入細胞壁中變成束縛水(bound water)，甚至游離水(free water)充盈整個氣孔的時間過久，導致細胞內水分達過飽和，而使材料產生不預期的軟化。 從特徵值來看，乾燥竹的強度小於生竹的比率高達 50%，且通常都發生在竹尾的部分，原因可歸咎為平行纖維抗剪試驗之乾燥竹竹尾的標準差相較於其他類型的試體大了 2.5~4.5 倍左右，故在設計抗剪強度時，需在乾燥竹竹尾的部分謹慎考量。
垂直纖維抗拉試驗	從平均值來看，75%的試體強度平均值皆為乾燥竹大於生竹，僅服務等級 3 的孟宗竹為乾燥竹小於生竹。平行纖維抗剪試驗中提及的乾燥竹泡水可能會產生不預期軟化的問題，同樣也可能發生於垂直纖維抗拉試驗中這批乾燥孟宗竹試體中，由於該試驗試體的長度較其他試驗長，故更有可能產生此問題。 從特徵值來看時，服務等級 3 孟宗竹竹頭部分卻因為生竹的標準差大於乾燥竹，使得強度特徵值為乾燥竹大於生竹，此轉變之原因極可能源自於孟宗竹竹頭試體本身形狀變異性大的問題，此處的乾燥竹之特徵強度大於生竹應是歪打正著。
垂直纖維抗壓試驗	因為該試驗的 STD/AVG 相對穩定，所以平均值與特徵值的差異不大，且不論從平均值還是特徵值都符合乾燥竹強度大於生竹的預期。

1123425

竹桿抗彎試驗	從平均值及特徵值來看，乾燥竹的抗彎強度皆大於生竹，是符合預期的表現。

表 7. 13 不同試驗中，針對竹頭與竹尾兩者強度關係的結果討論

平行纖維抗壓試驗	在強度平均值部分，除了服務等級 3 的桂竹外，有 75%的竹尾強度高於竹頭；但強度特徵值方面卻降低到 50%，多出的部分為服務等級 1 的桂竹，變化的原因為：在服務等級 1 的桂竹部分中，不論是生竹或是乾燥竹，其竹尾的標準差皆大於竹頭。 總而言之，在以桂竹為材料的設計上，可以認定其竹頭之平行纖維抗壓強度均大於竹尾；而在孟宗竹上則相反。
平行纖維抗拉試驗	從強度的平均值來看，孟宗竹的竹尾強度大於竹頭，桂竹則相反（但相差不大）。 從強度的特徵值來看，乾燥孟宗竹就產生了變化，在兩種服務等級下乾燥孟宗竹的竹頭強度均大於竹尾，此現象源自於乾燥孟宗竹竹尾的標準差大於竹頭，表示在設計乾燥孟宗竹竹尾部分需有較為保守地考量。不過令人感興趣的地方是，原先在平均值上，桂竹的竹頭竹尾強度差異甚小，但兩者的標準差差異卻甚大，導致其計算出來的特徵值有竹頭明顯大於竹尾的情形。
平行纖維抗剪試驗	從平均值來看，除了服務等級 3 的桂竹外，其餘 75%的試體皆為竹尾強度大於竹頭，而服務等級 3 的桂竹其竹尾只略小於竹頭(0.2MPa 以內)，整體而言還是可以說明：從平均值來看竹尾的抗剪強度大於竹頭。 但從特徵值來看，除了服務等級 3 的孟宗竹外，乾燥竹竹尾之標準差比竹頭大了 1.5~3 倍，且在抗剪試驗中，乾燥竹竹尾的部分，其 STD/AVG 的值明顯大於其他試驗(垂直纖維抗壓除外)，這會使標準差對特徵值的影響增大，所以在兩種服務等級下，乾燥桂竹的竹尾強度就會明顯小於竹頭。
垂直纖維抗拉試驗	從平均值來看，除服務等級 1 的生竹以及服務等級 2 的乾燥桂竹的竹頭與竹尾強度差異不大外，其餘都依循著孟宗竹的竹尾

1123425

	強度大於竹頭，而桂竹的竹頭強度大於竹尾的規律。服務等級 1 兩種竹種的生竹，其竹頭竹尾強度差異不大可以說明對於低含水率(<12%)的生竹而言，竹頭與竹尾的差異並不會影響到垂直纖維抗拉強度；而比較兩種服務等級下的乾燥桂竹，可發現其竹尾的強度平均值相差不大，此現象可從兩者含水率差異不大推測是由於乾燥桂竹因其氣孔小且細胞本體小，游離水難以轉換成束縛水去影響竹材強度。 從特徵值來看，服務等級 1 的生竹同樣也有竹頭竹尾強度差異不大的情形；而服務等級 3 的乾燥桂竹則因竹尾的標準差大而又回復到桂竹竹頭強度大於竹尾的規律上。
垂直纖維抗壓試驗	從服務等級 1 整體的趨勢來看，低含水率的竹材在垂直纖維抗壓能力上，竹頭的強度小於竹尾，但又因孟宗竹竹尾強度大於竹頭而桂竹竹頭強度大於竹尾的規律，使得孟宗竹的竹頭強度小於竹尾強度約 20%至 25%，而桂竹生竹受到的影響比桂竹乾燥竹大，甚至其竹尾強度還大於竹頭。 而在服務等級 3 的部分，只有生竹能夠比較，但兩種竹種的竹頭與竹尾強度差異不大，以此可說明：高含水率(>20%)的生竹試體中，竹頭與竹尾的垂直纖維抗壓強度差異小(<10%)。
竹桿抗彎試驗	從平均值來看，僅服務等級 1 的桂竹生竹為竹頭大於竹尾(數值非常接近)，其餘皆是竹尾大於竹頭。 從特徵值來看，服務等級 1 的桂竹，生竹與乾燥竹皆是竹頭大於竹尾。生竹特徵值的差異源自於平均值，因此特徵值同樣數值也非常接近；乾燥竹則是竹尾的標準差(STD)相較竹頭大非常多，導致竹尾的特徵值小於竹頭。

1123425

表 7. 14 不同試驗中，針對服務等級 1 與服務等級 3 兩者強度關係的結果討論

平行纖維抗壓試驗	不論是強度的平均值還是特徵值，服務等級1的強度均大於服務等級 3，在設計時可直接認定服務等級 1 的平行纖維抗壓強度大於服務等級 3。
平行纖維抗拉試驗	從平均值來看，除了孟宗竹生竹竹尾有服務等級3的強度大於服務等級1之外，其他皆符合預期，但從整體看來生竹在兩種服務等級下，相較於乾燥竹，本就差距不大，而孟宗竹生竹竹尾雖是不符合預期，但兩種服務等級下的強度差異不大，可歸咎於材料本身的變異性導致。 從特徵值來看，因孟宗竹生竹竹尾在服務等級3下的標準差較大，故在計算完特徵值後，全部都符合預期。
平行纖維抗剪試驗	不論是從平均值還是特徵值來看，都只有孟宗竹生竹的竹頭有服務等級 1 強度小於服務等級 3 的情形，其原因除竹頭本身的形狀變異性較大之外，孟宗竹竹頭因體積較大，且氣孔較大，會使得試體本身的含水率梯度會較大(接觸空氣的截面與試體中心的含水率差距大)，推測平行纖維抗剪強度對此因素會有較為敏感的變化。
垂直纖維抗拉試驗	單從平均值看來，兩種竹種之乾燥竹都符合預期，而孟宗竹生竹試體有不符預期的情形，但這些數據可以說明：對孟宗竹生竹來說，含水率對於垂直纖維抗拉強度的影響不大，而服務等級 3 的強度大於服務等級 1 的原因則可歸咎於試體本身的變異性，與表 7.2 的相同試驗的內容結合，可以歸納出：對於孟宗生竹而言，含水率以及竹頭或竹尾並不會影響其垂直纖維抗拉強度。 但從特徵值來看又是另一回事，由於 STD/AVG 的值在此試驗中跳動的幅度很大，所以原本在平均值方面穩定的桂竹，轉換至特徵值後，出現了不具有規則的表徵(生竹竹頭及乾燥竹竹尾不符預期)，較大的標準差有可能是由以下兩個原因造成：試體本身的變異性，以及為放入插銷所鑽的孔的品質；後者會影

1123425

	響到插銷插入的鬆緊度以及鑽洞的位置是否出現竹材本身的微裂縫等變因，但因變因難以追責，故本計畫在此會採取較為保守的特徵值用來建立服務等級 3 的指標。
垂直纖維抗壓試驗	先看生竹的部分，尤其是孟宗竹頭，隨著含水率上升，其強度不減反劇增(平均值：服務等級 1: 13.11 MPa, 服務等級 3: 17.63 MPa)，這種程度的增幅難以單論試體本身變異性解釋之，顯然該結果違反了預期結果，為求保守設計取小值去建立服務等級 3 的指標。另外，在乾燥竹方面就合乎預期。
竹桿抗彎試驗	從平均值與特徵值來看，孟宗竹與桂竹的乾燥竹之抗彎強度，皆是服務等級 1 大於服務等級 3，是符合預期的表現。 相對的，生竹則沒有表現出這樣的趨勢。在四組對照組中(孟宗竹的竹頭與竹尾、桂竹的竹頭與竹尾)，孟宗竹竹尾、桂竹竹頭為服務等級 1 大於服務等級 3，孟宗竹竹頭、桂竹竹尾為服務等級 3 大於服務等級 1，剛好是各占一半。原因可能是竹桿試體體積長，無論是在乾室的試體還是濕室的試體，含水率皆未達到要求，導致進行試驗時沒達到預期的成果。

表 7.15 平行纖維抗壓試驗特徵值計算表

		服務等級 1								服務等級 3							
		孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
		生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
特徵值	AVG (MPa)	55.71	77.42	70.84	108.66	87.41	96.30	87.01	107.72	47.88	54.51	57.54	83.19	65.20	72.77	60.85	69.62
	STD (MPa)	7.33	8.92	4.53	8.32	4.98	13.92	9.94	22.21	9.81	6.17	7.75	15.52	5.05	6.26	8.95	13.42
	V	0.13	0.12	0.06	0.08	0.06	0.14	0.11	0.21	0.20	0.11	0.13	0.19	0.08	0.09	0.15	0.19
	$k_{mean,75}$	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
	$X_{mean,75}$ (MPa)	54.86	76.40	70.29	107.67	86.80	94.57	85.81	105.17	46.70	53.75	56.63	81.35	64.56	71.95	59.76	67.98
	$k_{0.05,0.75}$	1.99	1.99	2.00	2.00	2.01	2.01	2.00	1.99	2.00	2.01	2.00	2.00	2.01	2.02	2.01	2.01
	$X_{0.05}$ (MPa)	42.55	61.22	64.17	93.58	79.12	74.61	69.32	67.72	32.23	43.16	46.29	61.06	55.68	60.79	44.11	48.69
	$X_{0.05,0.75}$ (MPa)	40.51	58.66	62.67	90.97	77.46	70.66	66.43	62.64	29.82	41.37	44.01	56.90	54.09	58.86	41.73	45.25

表 7.16 平行纖維抗拉試驗特徵值計算表

		服務等級 1								服務等級 3							
		孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
		生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
特徵值	AVG (MPa)	132.17	172.67	138.09	175.19	183.35	222.38	177.58	215.44	119.60	155.71	142.63	152.97	178.28	203.86	177.71	191.18
	STD (MPa)	21.93	24.33	17.82	31.81	14.60	20.76	20.33	37.18	17.08	25.07	25.19	39.47	11.90	24.70	30.76	36.45
	V	0.17	0.14	0.13	0.18	0.08	0.09	0.11	0.17	0.14	0.16	0.18	0.26	0.07	0.12	0.17	0.19
	$k_{mean,75}$	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
	$X_{mean,75}$ (MPa)	129.68	169.74	135.95	171.59	181.69	220.03	175.18	211.23	117.64	152.74	139.73	148.36	176.87	201.06	174.22	187.05
	$k_{0.05,0.75}$	1.99	2.00	2.00	1.99	1.99	1.99	2.00	1.99	1.99	2.00	1.99	2.00	2.00	1.99	1.99	1.99
	$X_{0.05}$ (MPa)	101.67	128.77	105.83	125.78	147.60	185.03	142.19	140.47	90.23	108.48	103.73	77.30	155.31	159.15	118.87	133.09
	$X_{0.05,0.75}$ (MPa)	96.08	122.35	101.00	118.21	143.71	179.30	136.52	132.44	85.89	102.41	97.56	70.47	151.70	152.76	112.05	124.68

表 7.17 平行纖維抗剪試驗特徵值計算表

		服務等級 1								服務等級 3							
		孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
		生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
特徵值	AVG (MPa)	11.78	16.92	20.13	23.13	20.18	21.80	21.05	23.66	12.88	11.17	14.05	14.51	15.69	15.83	15.56	15.64
	STD (MPa)	2.69	2.96	1.75	4.35	2.42	2.81	1.63	7.49	1.75	2.45	1.82	2.03	1.70	1.39	1.20	3.43
	V	0.23	0.17	0.09	0.19	0.12	0.13	0.08	0.32	0.14	0.22	0.13	0.14	0.11	0.09	0.08	0.22
	$k_{mean,75}$	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
	$X_{mean,75}$ (MPa)	11.45	16.58	19.92	22.62	19.89	21.48	20.84	22.80	12.67	10.87	13.82	14.27	15.48	15.66	15.41	15.23
	$k_{0.05,0.75}$	2.00	2.00	2.01	2.00	2.00	2.00	2.01	1.99	2.00	2.00	2.01	2.00	2.01	2.00	2.01	2.00
	$X_{0.05}$ (MPa)	7.45	12.29	17.57	14.42	15.94	16.45	17.56	10.35	9.33	8.13	10.88	11.34	12.21	13.42	13.54	9.03
	$X_{0.05,0.75}$ (MPa)	6.85	11.56	17.02	13.47	15.27	15.72	17.06	9.24	8.89	7.50	10.36	10.78	11.73	13.00	13.16	8.34

1123425

表 7.18 垂直纖維抗拉試驗特徵值計算表

		服務等級 1								服務等級 3							
		孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
		生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
特徵值	AVG (MPa)	3.20	3.78	3.14	5.25	3.05	5.03	3.14	4.31	3.46	3.34	3.99	3.79	2.96	4.32	2.79	4.38
	STD (MPa)	0.52	0.32	0.54	0.81	0.68	0.90	0.64	1.23	0.88	0.53	0.68	0.60	0.40	0.64	0.47	0.93
	V	0.16	0.08	0.17	0.15	0.22	0.18	0.20	0.28	0.25	0.16	0.17	0.16	0.13	0.15	0.17	0.21
	$k_{mean,75}$	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
	$X_{mean,75}$ (MPa)	3.14	3.74	3.08	5.16	2.96	4.92	3.06	4.17	3.36	3.27	3.92	3.71	2.91	4.24	2.73	4.27
	$k_{0.05,0.75}$	2.00	2.00	2.00	2.00	2.01	1.99	2.01	1.99	2.00	2.00	2.00	2.01	2.01	2.01	2.01	2.00
	$X_{0.05}$ (MPa)	2.42	3.14	2.38	4.11	1.75	3.63	1.92	2.04	1.75	2.05	2.79	2.53	2.29	3.05	1.84	2.41
	$X_{0.05,0.75}$ (MPa)	2.28	3.05	2.24	3.89	1.61	3.41	1.78	1.85	1.60	1.94	2.62	2.39	2.18	2.88	1.72	2.23

表 7.19 垂直纖維抗壓試驗 E-W 方向特徵值計算表

		服務等級 1								服務等級 3							
		孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
		生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
特徵值	AVG (MPa)	-13.11	-20.12	-17.54	-24.19	-15.46	-21.04	-17.10	-20.06	-17.63		-17.68	-18.57	-15.50		-14.37	-16.66
	STD (MPa)	3.50	6.10	4.01	4.15	2.66	4.34	2.71	6.66	2.99		3.47	2.66	3.43		5.46	5.91
	V	-0.27	-0.30	-0.23	-0.17	-0.17	-0.21	-0.16	-0.33	-0.17		-0.20	-0.14	-0.22		-0.38	-0.35
	$k_{mean,75}$	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68		0.68	0.69	0.68		0.68	0.68
	$X_{mean,75}$ (MPa)	-12.67	-19.28	-17.01	-23.64	-15.11	-20.52	-16.75	-19.29	-17.23		-17.20	-18.10	-15.06		-13.69	-15.87
	$k_{0.05,0.75}$	2.01	2.03	2.02	2.02	2.02	2.00	2.02	1.99	2.03		2.03	2.06	2.02		2.01	2.02
	$X_{0.05}$ (MPa)	-13.11	-20.12	-17.54	-24.19	-15.46	-21.04	-17.10	-20.06	-17.63		-17.68	-18.57	-15.50		-14.37	-16.66
	$X_{0.05,0.75}$ (MPa)	-11.82	-17.59	-15.98	-22.54	-14.41	-19.53	-16.07	-17.82	-16.42		-16.24	-17.15	-14.17		-12.37	-14.32

表 7.20 竹桿抗彎試驗特徵值計算表

		服務等級 1								服務等級 3							
		孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
		生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
特徵值	AVG (MPa)	70.57	92.39	107.54	127.45	80.02	119.91	78.37	135.71	81.36	84.54	94.59	115.28	71.73	116.23	90.90	116.66
	STD (MPa)	13.51	15.69	23.36	15.00	11.47	15.88	11.05	30.91	13.72	16.21	17.73	15.26	9.41	19.15	15.17	18.22
	V	0.19	0.17	0.22	0.12	0.14	0.13	0.14	0.23	0.17	0.19	0.19	0.13	0.13	0.16	0.17	0.16
	$k_{mean,75}$	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
	$X_{mean,75}$ (MPa)	68.97	90.56	104.48	125.67	78.62	118.03	76.90	131.99	79.68	82.65	92.49	113.50	70.58	113.92	89.10	114.50
	$k_{0.05,0.75}$	2.00	2.00	2.02	2.00	2.01	2.00	2.02	2.00	2.01	2.00	2.00	2.00	2.01	2.00	2.00	2.00
	$X_{0.05}$ (MPa)	47.61	73.58	61.18	101.02	61.15	88.50	56.07	81.43	56.44	59.29	64.07	92.17	57.12	84.47	66.83	84.22
	$X_{0.05,0.75}$ (MPa)	44.29	69.03	56.28	96.68	57.94	84.22	53.15	74.65	52.95	55.15	59.68	87.72	54.38	79.38	62.76	79.41

由於垂直纖維抗壓試驗 NS 向資料過少，本研究不討論 NS 向的垂直抗壓試驗特徵值，EW 向服務等級 3 的乾燥竹頭也因資料過少不進行計算。

表 7.21 平行纖維抗壓試驗特徵值不考慮信賴區間之計算表

	服務等級 1								服務等級 3							
	孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
AVG (MPa)	55.71	77.42	70.80	108.01	88.32	99.19	87.01	109.76	49.46	54.51	57.44	83.19	69.00	73.38	62.44	71.06
STD (MPa)	7.33	8.92	5.14	10.75	7.56	21.13	9.94	25.06	17.36	6.17	8.98	15.52	10.96	14.84	11.83	15.51
V	0.13	0.12	0.07	0.10	0.09	0.21	0.11	0.23	0.35	0.11	0.16	0.19	0.16	0.20	0.19	0.22
$k_{mean,75}$	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
$X_{mean,75}$ (MPa)	54.86	76.40	70.20	106.79	87.42	96.61	85.81	106.92	47.44	53.75	56.42	81.35	67.72	71.54	61.08	69.20
$k_{0.05,0.75}$	1.99	1.99	2.00	1.99	2.00	2.01	2.00	1.99	2.00	2.01	1.99	2.00	2.00	2.01	1.99	2.00
$X_{0.05}$ (MPa)	42.55	61.22	61.57	84.34	76.38	74.61	69.32	67.72	26.58	43.16	40.53	61.06	55.68	49.40	40.61	48.69
$X_{0.05,0.75}$ (MPa)	40.51	58.66	59.94	81.30	73.99	68.79	66.43	62.11	23.19	41.37	38.23	56.90	52.45	45.74	37.81	44.80

表 7.22 竹桿抗彎試驗特徵值不考慮信賴區間之計算表

	服務等級 1								服務等級 3							
	孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
AVG (MPa)	71.83	92.39	107.77	129.95	84.32	121.73	82.32	135.71	78.16	86.85	97.68	115.00	71.65	112.61	89.49	118.38
STD (MPa)	16.96	18.48	28.43	17.94	21.41	20.58	18.93	30.91	20.06	18.49	26.59	18.54	17.54	26.97	17.05	20.56
V	0.24	0.20	0.26	0.14	0.25	0.17	0.23	0.23	0.26	0.21	0.27	0.16	0.24	0.24	0.19	0.17
$k_{mean,75}$	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
$X_{mean,75}$ (MPa)	69.91	90.30	104.18	127.89	81.89	119.40	80.05	131.99	75.89	84.76	94.66	112.89	69.66	109.55	87.50	115.98
$k_{0.05,0.75}$	1.99	1.99	2.01	1.99	1.99	1.99	2.00	2.00	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	2.00	2.00
$X_{0.05}$ (MPa)	42.12	60.87	51.87	101.02	49.46	84.10	41.61	81.43	37.63	59.29	54.32	76.76	38.15	49.62	54.20	84.22
$X_{0.05,0.75}$ (MPa)	38.51	56.45	46.84	95.94	44.90	78.93	38.12	74.65	34.12	54.71	48.95	72.27	34.76	45.30	50.44	78.89

表 7.23 各試驗之特徵值

	服務等級 1								服務等級 3							
	孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
$f_{c,0}$	40.51	58.66	62.67	90.97	77.46	70.66	66.43	62.64	29.82	41.37	44.01	56.90	54.09	58.86	41.73	45.25
$f_{t,0}$	96.08	122.35	101.00	118.21	143.71	179.30	136.52	132.44	85.89	102.41	97.56	70.47	151.70	152.76	112.05	124.68
f_v	6.85	11.56	17.02	13.47	15.27	15.72	17.06	9.24	8.89	7.50	10.36	10.78	11.73	13.00	13.16	8.34
$f_{t,90}$	2.28	3.05	2.24	3.89	1.61	3.41	1.78	1.85	1.60	1.94	2.62	2.39	2.18	2.88	1.72	2.23
$f_{c,90}$	11.82	17.59	15.98	22.54	14.41	19.53	16.07	17.82	16.42		16.24	17.15	14.17		12.37	14.32
$f_{m,0}$	44.29	69.03	56.28	96.68	57.94	84.22	53.15	74.65	52.95	55.15	59.68	87.72	54.38	79.38	62.76	79.41

7.2.3 資料前處理及提取樣本方式對特徵值計算結果的探討

將有平行纖維抗壓試驗與竹桿抗彎試驗進行有無信賴區間統計分析比較如表 7.24。由表 7.24 中觀察到，若無取信賴區間進行統計分析，其特徵強度較有取信賴區間小，可看出在服務等級三乾燥桂竹竹頭抗彎強度的部分差異達到 42%，主要原因為計算強度特徵值時，取其強度區間的第 5 百分位數會受到最小值的影響，該項試驗最小值為 35.40 MPa，而在取信賴區間、剔除離群值後。最小值為 80.09 MPa，這導致第 5 百分位數的取值差異較大。

總上所述，若無取信賴區間統計，會考慮進去不符合實際的離群值，會使得部分特徵值計算結果過於保守，不符合經濟效益，故本研究在進行統計計算時，會採用信賴區間進行計算。

表 7.24 平行纖維抗壓試驗及竹桿抗彎試驗有無信賴區間的特徵值比較表

		服務等級 1								服務等級 3							
		孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
		生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
$f_{c,0}$	考慮信賴區間	40.51	58.66	62.67	90.97	77.46	70.66	66.43	62.64	29.82	41.37	44.01	56.90	54.09	58.86	41.73	45.25
	不考慮信賴區間	40.51	58.66	59.94	81.30	73.99	68.79	66.43	62.11	23.19	41.37	38.23	56.90	52.45	45.74	37.81	44.80
	差異百分比(%)	0.00	0.00	-4.36	-10.63	-4.48	-2.65	0.00	-0.85	-22.23	0.00	-13.13	0.00	-3.03	-22.29	-9.39	-0.99
$f_{m,0}$	考慮信賴區間	44.29	69.03	56.28	96.68	57.94	84.22	53.15	74.65	52.95	55.15	59.68	87.72	54.38	79.38	62.76	79.41
	不考慮信賴區間	38.51	56.45	46.84	95.94	44.90	78.93	38.12	74.65	34.12	54.71	48.95	72.27	34.76	45.30	50.44	78.89
	差異百分比(%)	-13.05	-18.22	-16.77	-0.77	-22.51	-6.28	-28.28	0.00	-35.56	-0.80	-17.98	-17.61	-36.08	-42.93	-19.63	-0.65

7.3 竹材設計強度

取得竹材強度的特徵第 5 百分位數後，依不同設計方法，考慮載重組合並計算竹材強度設計值；在竹材楊氏模數的部份，取得特徵平均值後，不必區分設計方法，即可求得其設計楊氏模數。

7.3.1 容許應力設計法

本節將個別介紹容許應力設計法中不同載重組合的在不同環境下的形式及其計算方式。

1123425

7.3.1.1 載重組合

參考杜怡萱 2021[3]、木構造建築物設計及施工技術規範 2003[15]、ASCE/SEI 7-16:2017[19]，歸納出兩種載重組合模式有待後續研究討論或使用，如下表 7. 25(載重組合 1)、表 7. 26(載重組合 2) 所示。

表 7. 25 容許應力法載重組合 1

載重狀態	環境因子	一般地區	多雪地區
長期	經常	D+L	$D+L+S_2$
短期	積雪時	$D+L+S_1$	$D+L+S_1$
	暴風時	D+L+W	D+L+W $D+L+S_3+W$
	地震時	D+L+E	$D+L+S_3+E$
	火災時	D+L	$D+L+S_2$

表 7. 26 容許應力法載重組合 2

D
D + L
D + (L_r or S or R)
D + 0.75L + 0.75(L_r or S or R)
D + 0.6W
D + 0.75L + 0.75(0.6W) + 0.75(L_r or S or R)
0.6D + 0.6W
D + $0.7E_v$ + $0.7E_h$
D + $0.525E_v$ + $0.525E_h$ + 0.75L + 0.75S
0.6D – $0.7E_v$ + $0.7E_h$

其中

D　靜載重。

L　活載重(有施工載重時應計入) 。

S　雪載重。

S_1　雪載重，依屋頂斜率或落雪情況得適當折減。

S_2　多雪地區之雪載重(最深積雪量之值的 70%)，依屋頂斜率或落雪情況得適當折減。

S_3　多雪地區之雪載重(最深積雪量之值的 35%)， 依屋頂斜率或落雪情況得適當折減。

W　風力載重。

R　雨載重。

E　地震力載重。

E_v　垂直向地震力載重。

E_h　水平向地震力載重。

1123425

7.3.1.2 容許應力

引自 ISO 22156:2021[1]、杜怡萱 2021[3]，材料的容許應力依 7.2 節所得之材料特徵強度乘以所有相關調整係數計算，如(7.3)式所示：

$$f_i = f_{ik} \times C_R \times C_{DF} \times C_T \times (1/FS_m) \tag{7.3}$$

其中

f_i 為各項材料設計強度，如下所示：

$f_{c,0}$ 平行纖維抗壓強度(MPa)

$f_{t,0}$ 平行纖維抗拉強度(MPa)

$f_{m,0}$ 平行纖維抗彎強度(MPa)

f_v 抗剪強度(MPa)

$f_{t,90}$ 垂直纖維抗拉強度(MPa)

$f_{c,90}$ 垂直纖維抗壓強度(MPa)

f_{ik} 為具有 75%可信度之第 5 百分位特徵強度(MPa)。在 7.1 節中為 $X_{0.05,0.75}$。

C_R 構件贅餘度係數，如表 7. 27 所示。

C_{DF} 強度與載重持續時間修正係數，如表 7. 28、表 7. 29 所示。載重組合之持續時間係數應選擇組合中載重持續時間最短者之對應係數。

C_T 為服務溫度修正係數，如表 7. 30 所示。對於可能持續暴露在高溫 65°C 以下之結構構件，應套用此係數。短於 24 小時之瞬時高溫暴露則不需套用此係數。

FS_m 材料安全係數，如表 7. 31

表 7. 27 構件贅餘度係數 C_R

結構之構件贅餘度	C_R
非贅餘	0.90
贅餘	1.10
其餘贅餘	1.00

表 7. 28 服務等級分類

服務等級 1	服務等級 2	服務等級 3

1123425

1. 竹材中的平衡含水率不超過 12%。 2. 相對溼度保持在 65%以下的室內空調或暖房環境。	1. 竹材中的平衡含水率超過 12%，但不超過 20%。 2. 大多數的室內非暖房或非冷房環境，但相對濕度經常或長期超過 85%的環境除外。	1. 竹材中的平衡含水率超過 20%。 2. 載重持續時間係數(C_{DF}與C_{DE})與高溫修正係數(C_T)應透過試驗決定。

在國際規範 ISO 22156(2021) [1]中，強度與載重持續時間修正係數 C_{DF}，在服務等級 3 下，規範寫著透過試驗決定，本研究也因此進行服務等級 1 及服務等級 3 兩種不同環境的試驗，本研究所進行的試驗為短期載重(風與地震)，從(7.3)式可得知，其計算方式見 7.5 節，本研究將服務等級 3(風與地震)的載重持續時間修正係數訂為 0.55，由表 7. 29 的服務等級 1 及服務等級 2 兩欄推估，服務等級 3 的短期載重(雪與火災)、永久與長期載重係數分別為 0.40 及 0.35。

表 7. 29 強度與載重持續時間修正係數 C_{DF}

	服務等級 1	服務等級 2	服務等級 3
永久與長期載重(permanent and long term applied load)	0.60	0.55	0.35
短期載重(雪與火災)(transient loads)	0.75	0.65	0.40
短期載重(風與地震)(instantaneous loads)	1.00	0.85	0.60

本研究所進行的試驗皆在低於 38°C 的環境下進行試驗，因此無法透過試驗決定服務等級 3 下 C_T 的係數。

表 7. 30 高溫係數 C_T

	服務等級 1	服務等級 2	服務等級 3
$T \leqq 38°C$	1.00	1.00	透過試驗決定
$38°C \leqq T \leqq 52°C$	0.90	0.90	
$52°C \leqq T \leqq 65°C$	0.80	0.80	

表 7. 31 材料安全係數 FS_m

$f_{c,0}$	$f_{t,0}$	$f_{m,0}$	f_v	$f_{t,90}$	$f_{c,90}$
2.0	2.0	2.0	4.0	4.0	2.0

經容許應力設計法計算後各試驗結果如

表 7. 32 至表 7. 36。

1123425

表 7. 32 竹材平行纖維抗壓之容許設計強度 $f_{c,0}$

$f_{c,0}$	服務等級 1							
	孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
X_{ik} (MPa)	40.51	58.66	62.67	90.97	77.46	70.66	66.43	62.64
C_R	1	1	1	1	1	1	1	1
C_{DF}	1	1	1	1	1	1	1	1
C_T	1	1	1	1	1	1	1	1
FS_m	2	2	2	2	2	2	2	2
$f_{c,0}$ (MPa)	20.25	29.33	31.34	45.48	38.73	35.33	33.21	31.32

表 7. 33 竹材平行纖維抗拉之容許設計強度 $f_{t,0}$

$f_{t,0}$	服務等級 1							
	孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
X_{ik} (MPa)	96.08	122.35	101.00	118.21	143.71	179.30	136.52	132.44
C_R	1	1	1	1	1	1	1	1
C_{DF}	1	1	1	1	1	1	1	1
C_T	1	1	1	1	1	1	1	1
FS_m	2	2	2	2	2	2	2	2
$f_{t,0}$ (MPa)	48.04	61.17	50.50	59.10	71.85	89.65	68.26	66.22

表 7. 34 竹材平行纖維抗剪之容許設計強度 f_s

f_s	服務等級 1							
	孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
X_{ik} (MPa)	6.85	11.56	17.02	13.47	15.27	15.72	17.06	9.24
C_R	1	1	1	1	1	1	1	1
C_{DF}	1	1	1	1	1	1	1	1
C_T	1	1	1	1	1	1	1	1
FS_m	4	4	4	4	4	4	4	4
f_s (MPa)	1.71	2.89	4.26	3.37	3.82	3.93	4.27	2.31

表 7. 35 竹材垂直纖維拉之容許設計強度 $f_{t,90}$

$f_{t,90}$	服務等級 1							
	孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
X_{ik} (MPa)	2.28	3.05	2.24	3.89	1.61	3.41	1.78	1.85
C_R	1	1	1	1	1	1	1	1
C_{DF}	1	1	1	1	1	1	1	1
C_T	1	1	1	1	1	1	1	1
FS_m	4	4	4	4	4	4	4	4
$f_{t,90}$ (MPa)	0.57	0.76	0.56	0.97	0.40	0.85	0.44	0.46

表 7. 36 竹材垂直纖維抗壓 EW 向之容許設計強度 $f_{c,90}$

$f_{c,90}$	服務等級 1							
	孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
X_{ik} (MPa)	-11.82	-17.59	-15.98	-22.54	-14.41	-19.53	-16.07	-17.82
C_R	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
C_{DF}	1	1	1	1	1	1	1	1
C_T	1	1	1	1	1	1	1	1
FS_m	2	2	2	2	2	2	2	2
$f_{m,90}$ (MPa)	6.50	9.68	8.79	12.40	7.93	10.74	8.84	9.80

表 7. 37 竹桿抗彎之容許設計強度 $f_{m,0}$

$f_{m,0}$	服務等級 1							
	孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
X_{ik} (MPa)	44.29	69.03	56.28	96.68	57.94	84.22	51.99	74.65
C_R	1	1	1	1	1	1	1	1
C_{DF}	1	1	1	1	1	1	1	1
C_T	1	1	1	1	1	1	1	1
FS_m	2	2	2	2	2	2	2	2
$f_{m,0}$ (MPa)	22.14	34.51	28.14	48.34	28.97	42.11	26.58	37.33

1123425

7.3.2 極限設計法

本節將個別介紹極限設計法中不同載重組合的在不同環境下的形式及其計算方式。

7.3.2.1 載重組合

在此同樣歸納出兩種載重組合模式有待後續研究討論或使用。載重組合 1 引自鋼構造建築物鋼結構設計技術規範 2007[20]、杜怡萱 2021[3]，如下所示：

表 7. 38 極限設計法載重組合 1 [20]

1.4D
1.2D + 1.6L
1.2D + 0.5L ± 1.6W
1.2D + 0.5L ± E
0.9D ± E
0.9D ±1.6W

其中

D：靜載重，結構物構件重量及永久附加物重量。

L：活載重，包括室內人員、傢俱、設備、貯存物品、活動隔間等。

W：風力載重，依據「建築物耐風設計規範及解說」之規定。

E：地震力載重，依據「建築物耐震設計規範及解說」之規定，惟其中起始降伏地震力放大係數 α_y 取 1.0。

載重組合 2 引自 ASCE/SEI 7-16:2017[19]，如下所示：

表 7. 39 極限設計法載重組合 2 [19]

1.4D
1.2D + 1.6L + 0.5(L_r or S or R)
1.2D + 1.6(L_r or S or R) + (L or 0.5W)
1.2D + W + L + 0.5(L_r or S or R)
0.9D + W
1.2D + E_v + E_h + L + 0.2S
0.9D – E_v + E_h

其中

D：靜載重。

L：活載重(有施工載重時應計入)。

L_r：屋頂活載重。

S：雪載重。

R：雨載重。

W：風載重。

E_v：垂直向地震力。

E_h：水平向地震力。

1123425

7.3.2.2 極限設計強度

第一種極限設計強度計算方式引自 ISO 22156:2021[1]，該規範本文中所採用的設計強度計算方法為容許應力設計法，而極限強度設計法的計算方法則是放在附錄，與容許應力設計法的差異僅在材料安全係數FS_m的不同，表 7. 40 所示，觀察可發現其數值皆為容許應力設計法(表 7. 31)的 0.75 倍，也就是極限設計法所得的設計強度為容許應力法的 1.33 倍。

表 7. 40 材料安全係數 FS_m

$f_{c,0}$	$f_{t,0}$	$f_{m,0}$	f_v	$f_{t,90}$	$f_{c,90}$
1.5	1.5	1.5	3.0	3.0	1.5

第二種極限設計強度計算方式引自杜怡萱 2021[3]，使用極限設計法進行設計時，材料強度的計算方式與容許應力設計法相似，唯一不同處在於改以強度折減係數代替安全係數項（$1/FS_m$）計算設計強度。

材料的極限設計強度如(7.4)式所示：

$$f_i = f_{ik} \times C_R \times C_{DF} \times C_T \times \psi_i \tag{7.4}$$

強度折減係數如表 7. 41 所示：

表 7. 41 強度折減係數 ψ_i

用途	符號	強度折減係數
平行纖維壓力	$f_{c,0}$	0.90
竹桿抗彎	$f_{m,0}$	0.85
挫屈穩定	f_s	0.85
平行纖維拉力	$f_{t,0}$	0.80
垂直纖維拉力	$f_{t,90}$	0.65
垂直纖維壓力	$f_{c,90}$	0.65
剪力/扭矩	f_v	0.65
接頭	f_z	0.65

由於第一種極限強度設計較為保守，故本研究係採用第一種方法進行設計，其各試驗極限設計強度結果如表 7. 42 至表 7. 47。

1123425

表 7. 42 竹材平行纖維抗壓之極限設計強度 $f_{c,0}$

$f_{c,0}$	服務等級 1							
	孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
X_{ik} (MPa)	40.51	58.66	62.67	90.97	77.46	70.66	66.43	62.64
C_R	1	1	1	1	1	1	1	1
C_{DF}	1	1	1	1	1	1	1	1
C_T	1	1	1	1	1	1	1	1
FS_m	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
$f_{c,0}$ (MPa)	27.01	39.11	41.78	60.64	51.64	47.10	44.28	41.76

表 7. 43 竹材平行纖維抗拉之極限設計強度 $f_{t,0}$

$f_{t,0}$	服務等級 1							
	孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
X_{ik} (MPa)	96.08	122.35	101.00	118.21	143.71	179.30	136.52	132.44
C_R	1	1	1	1	1	1	1	1
C_{DF}	1	1	1	1	1	1	1	1
C_T	1	1	1	1	1	1	1	1
FS_m	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
$f_{t,0}$ (MPa)	64.05	81.56	67.33	78.80	95.80	119.53	91.01	88.29

表 7. 44 竹材平行纖維抗剪之極限設計強度 f_s

f_s	服務等級 1							
	孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
X_{ik} (MPa)	6.85	11.56	17.02	13.47	15.27	15.72	17.06	9.24
C_R	1	1	1	1	1	1	1	1
C_{DF}	1	1	1	1	1	1	1	1
C_T	1	1	1	1	1	1	1	1
FS_m	3	3	3	3	3	3	3	3
f_s (MPa)	2.28	3.85	5.67	4.49	5.09	5.24	5.69	3.08

1123425

表 7. 45 竹材垂直纖維拉之極限設計強度 $f_{t,90}$

$f_{t,90}$	服務等級 1							
	孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
X_{ik} (MPa)	2.28	3.05	2.24	3.89	1.61	3.41	1.78	1.85
C_R	1	1	1	1	1	1	1	1
C_{DF}	1	1	1	1	1	1	1	1
C_T	1	1	1	1	1	1	1	1
FS_m	3	3	3	3	3	3	3	3
$f_{t,90}$ (MPa)	0.76	1.02	0.75	1.30	0.54	1.14	0.59	0.62

表 7. 46 竹材垂直纖維抗壓之極限設計強度 $f_{c,90}$

$f_{c,90}$	服務等級 1							
	孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
X_{ik} (MPa)	14.39	22.62	19.09	25.82	16.51	22.56	18.13	22.32
C_R	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
C_{DF}	1	1	1	1	1	1	1	1
C_T	1	1	1	1	1	1	1	1
FS_m	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
$f_{m,90}$ (MPa)	8.67	12.90	11.72	16.53	10.57	14.32	11.78	13.06

表 7. 47 竹桿抗彎之極限設計強度 $f_{m,0}$

$f_{m,0}$	服務等級 1							
	孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
X_{ik} (MPa)	44.29	69.03	56.28	96.68	57.94	84.22	51.99	74.65
C_R	1	1	1	1	1	1	1	1
C_{DF}	1	1	1	1	1	1	1	1
C_T	1	1	1	1	1	1	1	1
FS_m	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
$f_{m,0}$ (MPa)	29.52	46.02	37.52	64.45	38.63	56.14	35.43	49.77

1123425

7.4 竹材楊氏係數

參考 ISO 22156:2021[1]與杜怡萱 2021[3]，無論是 ASD 或 LRFD 皆採用相同的設計楊氏模數E_d，依(7.5)式計算：

$$E_d = E_k \times C_{DE} \times C_T \tag{7.5}$$

其中

E_k　為具有 75%可信度之特徵平均彈性模數(MPa)。在 7.2 節中為 $X_{mean,0.75}$。

C_{DE}　楊氏模數與載重持續時間修正係數，如表 7. 48 所示。

C_T　為服務溫度修正係數，如表 7. 30 所示。對於可能持續暴露在高溫 65°C 以下之結構構件，應套用此係數。短於 24 小時之瞬時高溫暴露則不需套用此係數。

在國際規範 ISO 22156(2021)中，強度與載重持續時間修正係數 C_{DE}，在服務等級 3 下，規範寫著透過試驗決定，其計算方式見 7.5 節。從表中得到最小值為 0.57，因此本研究將服務等級 3(風與地震)的載重持續時間修正係數訂為 0.55，由表 7. 48 的服務等級 1 及服務等級 2 兩欄推估，服務等級 3 的短期載重(雪與火災)、永久與長期載重係數分別為 0.5 及 0.3。

表 7. 48 楊氏模數與載重持續時間修正係數 C_{DE}

載重持續時間	服務等級 1	服務等級 2	服務等級 3
永久與長期載重(permanent and long term applied load)	0.50	0.45	0.3
短期載重(雪與火災)(transient loads)	1.00	0.95	0.5
短期載重(風與地震)(instantaneous loads)	1.00	1.00	0.55

表 7. 49 平行纖維抗壓試驗楊氏模數(MPa)表

	服務等級 1								服務等級 3							
	孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
1	2875.13	2555.05	2697.12	2060.44	3318.48	3413.15	3377.86	3833.87	2342.48	2399.20	2707.547	2887.59	3407.24	2454.22	4021.98	2483.63
2	2930.77	2638.93	3076.56	3225.94	3382.95	3463.05	3899.86	4517.05	2535.90	2494.88	2723.215	3184.37	3618.02	2800.35	4133.44	3044.19
3	3008.97	2657.58	3472.11	3233.45	3576.08	3632.50	3947.44	5163.97	2689.89	2577.91	2797.273	3235.25	3663.16	2944.95	4133.70	3077.94
4	3058.94	2855.51	3487.66	3264.97	3731.42	3701.65	3959.91	5216.29	2817.11	2720.19	3068.978	3260.64	3693.53	3063.67	4254.86	3100.42
5	3079.51	2965.08	3529.93	3304.21	4010.82	3709.77	4305.19	5570.72	2833.87	2755.51	3079.513	3277.31	3697.78	3065.10	4274.99	3140.04
6	3090.09	2981.04	3544.52	3338.70	4205.71	3727.59	4388.97	5632.60	2837.61	2886.79	3082.964	3358.10	3737.48	3072.15	4278.30	3240.08
7	3185.34	3008.52	3561.97	3377.95	4227.08	3807.92	4455.92	5778.59	2875.42	3003.83	3224.766	3374.73	3953.04	3381.27	4278.98	3303.09
8	3236.57	3013.73	3581.99	3451.66	4343.60	3880.77	4551.33	5813.25	3040.62	3039.07	3238.700	3451.71	3963.35	3383.77	4289.18	3372.71
9	3411.95	3191.36	3587.14	3513.49	4350.92	4466.49	4833.43	5834.82	3055.76	3093.45	3257.163	3472.12	4089.35	3459.91	4295.01	3460.95
10	3446.77	3191.47	3623.00	3523.71	4352.50	4560.47	5081.11	5861.77	3127.25	3169.60	3307.880	3490.79	4126.17	3544.90	4297.45	3571.70
11	3471.14	3217.50	3650.74	3546.66	4356.40	4678.78	5095.84	6093.78	3128.79	3290.30	3371.202	3549.71	4141.59	3599.49	4320.21	3712.88
12	3497.65	3263.06	3686.18	3608.69	4370.37	4734.17	5098.24	6111.90	3146.83	3327.63	3425.763	3725.69	4161.76	3616.56	4458.34	3858.39
13	3516.52	3305.18	3745.87	3609.10	4471.36	4891.73	5135.59	6132.59	3176.04	3404.66	3469.860	3726.61	4240.90	3708.01	4604.85	3884.92
14	3518.35	3313.92	3769.38	3615.81	4507.69	4913.75	5200.14	6156.63	3218.61	3431.78	3474.679	3772.40	4251.13	3758.02	4625.39	4058.34
15	3523.47	3337.14	3824.77	3651.92	4722.01	4920.31	5491.89	6179.62	3320.94	3432.96	3490.299	3884.51	4260.22	3768.66	4698.32	4126.07
16	3568.04	3409.95	3961.09	3684.49	4807.09	4980.96	5581.41	6187.36	3414.18	3485.81	3534.940	3924.09	4273.83	3852.41	4729.12	4132.70
17	3622.46	3575.26	4141.89	3693.06	4831.76	5152.13	5616.78	6238.55	3481.87	3545.83	3573.150	4553.48	4278.73	3963.57	4839.20	4287.49
18	3629.27	3692.31	4147.68	4017.80	4867.55	5304.75	5669.23	6298.43	3484.60	3546.96	3638.765	5134.81	4284.11	3998.71	5061.13	4366.76
19	3666.50	3864.28	4167.74	4056.11	4902.10	5360.69	5920.22	6345.11	3486.70	3581.45	3642.576	5218.39	4294.93	4089.36	5113.22	4422.85
20	3671.35	3880.73	4316.08	4444.96	5060.03	5403.09	6038.67	6410.42	3505.44	3733.23	3697.931	5403.21	4339.15	4101.95	5168.68	4478.22
21	3690.40	3932.02	4471.73	4928.75	5153.25	5646.18	6144.06	6512.66	3535.14	3800.79	3806.440	6030.80	4360.59	4279.12	5312.71	4556.63
22	3693.07	4022.19	4473.45	5236.78	5168.54	5654.09	6172.79	6706.70	3687.64	3866.34	3893.878	6132.32	4435.03	4354.17	5371.52	4647.98
23	3778.02	4139.15	4488.99	5468.47	5215.86	5701.16	6197.90	6755.08	3724.54	3951.25	3989.510	6470.63	4458.06	4416.18	5382.55	4734.50

24	3855.23	4192.90	4595.58	5477.59	5237.56	5860.48	6227.21	7285.27	3756.66	4103.41	4087.356	6478.24	4620.97	4474.79	5487.21	4903.09
25	3908.43	4221.61	4603.09	5480.28	5241.80	6045.19	6388.40	7348.40	3794.37	4298.77	4161.242	6630.48	4654.22	4789.31	5521.75	4999.70
26	3925.11	4239.45	4610.91	5555.62	5288.74	6054.40	6393.72	7507.87	3797.54	4467.49	4166.220	6646.01	4738.12	4882.69	5527.89	5041.63
27	3931.25	4327.03	4746.73	5611.26	5342.77	6397.88	6403.23	7545.73	3863.71	4483.70	4259.336	6720.42	4741.27	4930.00	5577.96	5047.88
28	3943.95	4357.14	4829.30	5925.45	5480.08	6485.05	6479.12	7552.77	3880.95	4742.03	4274.519	6823.58	5122.32	5295.94	5779.43	5375.89
29	3998.02	4466.24	4901.90	6153.72	5527.97	7274.88	6561.57	7583.13	3883.01	5160.57	4277.948	6862.50	5221.43	5301.61	5930.29	5496.11
30	4083.81	4590.73	5046.42	6284.32	5609.30	7332.79	6675.61	7634.53	3901.36	5410.30	4290.646	6969.60	5312.62	7596.67	5961.02	5612.85
31	4100.64	4716.92	5534.75	6401.26	5966.56		7375.05		3997.66		4566.856	7254.02			6095.15	5697.51
32	4178.71	4878.53	5626.99	6554.49	6264.22				4139.60		4798.825	7766.96			6367.11	
33	4318.16	4963.41		6605.67					4204.23		5000.663	8375.98			6441.19	
34	4402.27	5021.25		6659.19					4292.64		5094.935					
35				6708.76							5117.235					
36				6809.14												
97%_下限	2747.32	2152.30	2687.18	1677.37	3195.65	2671.91	3294.76	4276.39	2334.44	1930.63	2337.49	1388.07	3262.69	1845.54	3435.14	2297.34
97%_上限	4477.14	5258.65	5531.78	7549.51	6297.63	7405.14	7587.02	8244.24	4487.85	5216.42	5182.09	8614.78	5279.99	6150.96	6542.57	6040.54
AVG	3612.23	3705.48	4109.48	4613.44	4746.64	5038.53	5440.89	6260.32	3411.15	3573.52	3759.79	5001.43	4271.34	3998.25	4988.85	4168.94
STD	398.58	715.75	655.44	1353.03	714.74	1090.61	989.00	914.25	496.18	757.09	655.44	1665.14	464.82	992.03	716.00	862.49
V	0.11	0.19	0.16	0.29	0.15	0.22	0.18	0.15	0.15	0.21	0.17	0.33	0.11	0.25	0.14	0.21
$k_{mean,75}$	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
$X_{mean,75}$	3565.75	3622.01	4034.14	4460.10	4660.72	4903.13	5320.11	6146.81	3353.28	3479.53	3684.46	4804.32	4213.63	3875.09	4904.10	4063.60
C_{DE}	1	1	1	1	1	1	1	1								
C_T	1	1	1	1	1	1	1	1								
E_d	3565.75	3622.01	4034.14	4460.10	4660.72	4903.13	5320.11	6146.81								

表 7. 50 平行纖維抗拉試驗楊氏模數(MPa)表

	服務等級 1								服務等級 3							
	孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
1	3674.68	5552.02	5818.96	8140.13	5891.71	9629.13	8048.29	11084.88	3589.59	5090.02	5019.21	2477.33	5683.96	8337.30	7705.92	9384.51
2	3887.41	5631.49	5867.26	8264.97	5946.07	9772.76	8506.33	11441.78	3722.37	5205.48	5205.83	3172.00	5983.40	8607.18	7962.59	9474.16
3	3970.13	5746.91	6416.98	8463.99	6179.76	9909.01	8654.47	11707.88	3804.23	5286.93	5356.70	3218.96	6023.61	8978.71	8155.51	9659.89
4	4157.35	5977.01	6537.27	8509.78	6242.49	9943.13	8688.74	11713.90	3921.09	5524.01	5466.94	3606.25	6346.53	9036.15	8295.32	9767.02
5	4169.79	6054.21	6551.54	8846.28	6333.29	10041.59	8883.91	11929.17	4036.00	5608.61	5574.76	3703.46	6391.99	9097.54	8393.49	10186.70
6	4205.00	6122.29	6759.35	8898.51	6432.83	10051.24	9046.82	12059.19	4067.53	5653.74	5575.71	3830.91	6433.84	9250.65	8401.55	10328.49
7	4261.27	6259.75	6838.78	8981.39	6451.48	10061.02	9156.28	12138.04	4083.37	5866.76	5750.35	3860.30	6441.76	9288.52	8570.17	10435.81
8	4308.19	6325.56	7043.96	9028.12	6492.19	10103.32	9389.98	12248.73	4134.45	5890.07	5777.76	3874.15	6451.32	9564.09	8913.42	10504.86
9	4372.79	6328.70	7152.52	9037.79	6543.14	10190.69	10156.30	12263.16	4220.71	5937.42	5790.51	3938.76	6504.51	9581.76	8914.82	10524.73
10	4377.20	6421.03	7223.26	9075.29	6546.10	10202.48	10219.33	12582.25	4274.03	5950.73	5824.70	4062.95	6517.92	9648.87	8934.00	10669.81
11	4386.74	6439.76	7372.00	9179.45	6642.90	10222.79	10325.36	12611.84	4287.54	5967.56	5932.50	4208.36	6520.49	9757.86	9011.28	10697.34
12	4423.83	6444.86	7424.19	9196.52	6721.24	10225.11	10366.47	12720.74	4304.67	6179.21	5986.94	4285.40	6832.71	9763.80	9378.92	10791.77
13	4514.25	6460.64	7441.58	9295.69	6723.76	10254.00	10741.71	12725.87	4326.03	6267.75	6068.01	4445.60	7034.23	9807.22	9388.93	10977.43
14	4519.77	6607.68	7550.85	9410.17	6751.16	10552.02	10827.59	12726.96	4327.67	6435.87	6128.51	4469.04	7062.77	9874.64	9399.32	10989.88
15	4542.08	6675.81	7595.64	9513.32	7020.71	10635.90	10885.17	12735.62	4330.85	6594.81	6130.26	5073.52	7093.04	9926.14	9499.75	11172.95
16	4661.86	6695.20	7672.28	9531.53	7110.53	10659.26	10968.49	12755.32	4414.61	6617.88	6177.04	5217.09	7151.17	10222.82	9518.91	11240.53
17	4714.08	6695.81	7713.82	9545.15	7156.69	10712.22	10980.83	12780.09	4433.25	6619.43	6180.00	5264.43	7157.50	10294.19	9521.13	11300.82
18	4783.47	6710.39	8077.77	9567.21	7220.22	10722.34	10989.93	12814.94	4610.69	6649.55	6400.49	5578.50	7173.90	10394.91	9560.15	11358.81
19	4791.96	6728.17	8191.08	9850.04	7257.14	10755.81	11016.78	12840.04	4617.06	6702.48	6507.83	5635.51	7222.08	10562.23	9576.10	11461.59
20	4832.79	6766.40	8271.52	9973.60	7258.72	10874.93	11112.26	13092.97	4663.96	6729.53	6599.62	6669.94	7400.91	10570.67	9757.08	11613.63
21	4896.24	6839.28	8417.26	9990.24	7284.34	10883.33	11252.69	13160.29	4732.99	6829.11	6659.80	6707.93	7409.16	10631.38	10070.75	11847.05
22	4910.96	6891.36	8784.20	10032.50	7480.60	10907.69	11291.12	13214.91	4746.02	6834.20	6768.04	6986.82	7414.98	10796.08	10074.41	11868.83
23	4955.32	6896.96	9162.40	10108.64	7485.67	10945.09	11438.68	13238.34	4750.09	6862.34	6868.12	7098.04	7458.93	10816.00	10091.89	12002.29

24	4960.87	7025.25	9176.04	10348.96	7503.61	10952.96	11446.35	13244.18	4761.79	6926.46	7272.05	7253.23	7581.91	10879.53	10105.05	12108.48
25	5051.95	7050.22	9213.68	10373.35	7628.95	10953.64	11519.10	13259.75	4793.33	7013.17	7299.79	7273.92	7602.00	10900.34	10110.04	12252.91
26	5062.66	7100.49	9221.62	10388.79	7655.08	10980.93	11637.71	13374.96	4863.83	7015.01	7381.61	7317.36	7797.48	10976.57	10147.71	12308.61
27	5075.87	7304.17	9222.89	10437.55	7687.36	11026.00	11738.67	13384.83	4944.52	7195.34	7526.52	7352.24	7868.96	11091.17	10168.17	12308.65
28	5082.57	7393.93	9248.31	10453.01	7703.36	11068.71	11792.88	13436.21	4983.66	7263.41	7570.71	7433.96	7941.19	11130.69	10525.12	12471.94
29	5118.70	7539.44	9258.44	10629.36	7864.35	11127.78	11988.55	13557.38	5019.96	7322.13	7609.83	7484.10	8191.55	11136.52	10570.44	12527.80
30	5260.35	7635.30	9344.23	10654.42	7982.60	11251.10	12251.77	13695.59	5042.30	7425.57	7610.21	7500.29	8248.68	11284.27	10599.44	12564.78
31	5326.63	7667.01	9394.49	10737.98	8014.66	11252.78	12735.53	13990.54	5121.54	7991.38	7619.36	7523.41	8360.13	11504.10	10629.37	12637.36
32	5342.15			10770.89	8133.01	11297.45	12921.46		5148.81		7725.31	7615.49	8456.93	11539.39	10892.95	12804.59
33	5351.99			10822.46	8356.87	11358.31	13140.38		5365.21		7800.07	7756.34	8481.44	11593.31	11203.05	13255.04
34	5577.45			10913.22		11403.52	13442.39		5376.33		7850.35	7959.26	8505.97	11616.72	11476.69	13624.96
35	5727.10			11009.18			13694.64		5450.71		8077.42	8205.55	8693.02	11649.81	11842.91	
36				11068.18			14018.85		5535.09		8292.40		9003.02	12183.89	11876.86	
97%_下限	3655.22	5446.59	5866.50	7931.25	5640.11	9516.41	7680.63	11228.73	3485.62	4882.47	4590.72	1877.85	5445.94	8238.39	7404.20	9003.07
97%_上限	5787.94	7842.90	9873.13	11571.40	8523.68	11714.65	14279.13	14224.84	5670.26	7985.65	8597.35	9439.89	9134.22	12444.67	11998.20	13768.93
AVG	4721.58	6644.75	7869.81	9751.32	7081.90	10615.53	10979.88	12726.79	4577.94	6434.06	6594.03	5658.87	7290.08	10341.53	9701.20	11386.00
STD	491.41	552.14	923.19	838.74	664.42	506.51	1520.39	690.35	503.37	715.02	923.19	1742.41	849.83	969.19	1058.52	1098.13
V	0.10	0.08	0.12	0.09	0.09	0.05	0.14	0.05	0.11	0.11	0.14	0.31	0.12	0.09	0.11	0.10
$k_{mean,75}$	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
$X_{mean,75}$	4665.10	6577.31	7765.18	9656.27	7003.25	10556.46	10807.57	12642.47	4520.89	6346.74	6489.41	5458.60	7193.77	10231.69	9581.23	11257.94
C_{DE}	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
C_T	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
E_d	4665.10	6577.31	7765.18	9656.27	7003.25	10556.46	10807.57	12642.47	4520.89							

表 7.51 垂直纖維抗壓試驗楊氏模數(MPa)表

	服務等級 1								服務等級 3							
	孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
1	3048.51	1861.26	3278.24	2905.63	1597.53	827.40	2187.81	1014.37	2376.96	422.14	2050.58	1230.92	911.74	476.67	1170.01	815.33
2	3250.93	2533.58	3404.28	3127.33	1681.33	833.13	2254.76	1033.45	2392.39	638.91	2090.60	1307.01	1124.36	685.00	1435.49	1227.77
3	3409.31	2920.84	3420.66	3199.03	1718.96	837.05	2492.22	1038.53	2519.98	753.63	2291.18	1492.89	1402.80	731.71	1437.73	1333.53
4	3413.38	2941.98	3599.12	3310.01	1753.04	863.68	2495.46	1061.29	2553.84	873.07	2299.23	1578.94	1409.73	816.88	1480.68	1334.27
5	3559.97	2953.45	3776.27	3326.99	1818.76	897.73	2506.33	1339.26	2639.66	879.37	2397.69	1680.04	1436.64	1029.18	1536.59	1336.33
6	3594.62	2958.50	3949.72	3457.10	1845.24	911.64	2574.08	1495.06	2688.43	1047.83	2451.80	1702.05	1502.05	1033.20	1557.46	1336.39
7	3865.84	3073.45	4037.35	3482.83	1925.12	979.42	2609.53	1527.60	2735.43	1111.79	2584.50	1894.51	1652.45	1075.51	1558.43	1396.04
8	3913.87	3167.70	4145.33	3650.91	2072.37	1174.14	2636.89	1590.84	2746.61	1144.94	2737.90	1905.13	1750.96	1091.83	1589.48	1552.05
9	3998.61	3181.19	4154.88	3651.34	2232.94	1271.49	2700.00	1934.73	2752.20	1151.50	2777.73	1925.24	1761.39	1210.18	1599.82	1634.09
10	4017.77	3230.89	4218.83	3723.64	2266.98	1724.03	2761.02	1955.28	2778.84	1224.61	2779.49	2124.22	1793.14	1222.32	1765.69	1700.22
11	4112.58	3290.32	4254.38	3807.46	2487.02	1877.44	2788.98	2274.69	2819.94	1431.25	2993.12	2171.18	1796.87	1342.59	1881.59	1730.68
12	4137.84	3298.42	4257.84	3869.72	2746.68	1902.49	2875.63	2391.69	2820.65	1492.16	3060.20	2259.16	1936.91	1501.34	1910.33	1782.30
13	4262.28	3325.52	4318.35	3960.88	2829.68	2003.04	2912.04	2416.99	2866.95	1498.46	3067.14	2289.79	2012.75	1511.75	1935.09	1783.73
14	4268.61	3405.29	4422.27	3979.20	2848.93	2293.76	2991.19	3142.13	2867.02	1624.85	3130.67	2323.03	2117.03	1574.38	1938.17	1815.39
15	4288.36	3432.00	4426.52	4001.97	2905.52	2344.60	3016.44	3245.46	2871.48	1865.29	3223.57	2398.49	2267.46	1601.19	1982.57	2124.05
16	4373.24	3544.66	4439.87	4096.27	3078.91	2589.04	3072.59	3317.32	2884.14	2130.46	3246.84	2433.07	2382.47	1628.83	2005.95	2203.10
17	4419.44	3585.94	4476.51	4116.39	3180.66	2771.17	3119.77	3345.47	2927.17	2203.66	3290.14	2452.58	2392.85	1681.62	2006.66	2226.97
18	4448.52	3708.46	4551.00	4132.42	3219.06	2858.82	3167.96	3362.36	3001.48	2231.99	3371.07	2563.40	2442.44	2022.47	2071.92	2236.01
19	4480.20	3749.77	4613.34	4167.41	3253.69	2865.34	3212.71	3403.16	3093.48	2293.00	3425.48	2621.00	2485.92	2083.73	2097.07	2256.99
20	4527.86	3790.27	4624.42	4189.05	3314.69	2964.99	3422.18	3494.17	3095.08	2299.96	3430.17	2842.18	2515.71	2087.89	2161.64	2312.24
21	4556.76	3872.42	4649.21	4194.54	3366.90	2965.83	3559.09	3632.70	3135.80	2331.83	3432.96	2868.51	2535.12	2265.01	2184.84	2336.37
22	4743.28	3932.32	4677.04	4318.83	3487.04	3063.76	3623.49	3664.34	3147.85	2499.20	3470.76	3038.51	2550.95	2328.83	2188.78	2340.61
23	4804.49	3983.01	4686.14	4331.31	3518.07	3086.28	3673.04	3702.19	3217.85	2590.41	3474.47	3088.09	2586.30	2335.89	2195.49	2342.22

24	5097.15	4006.98	4801.33	4335.29	3532.76	3098.97	3799.95	3787.27	3222.57	2777.63	3554.18	3191.40	2676.45	2372.04	2249.66	2376.19
25	5553.34	4062.42	4955.41	4375.02	3652.04	3205.78	3849.40	3986.68	3231.33	2785.10	3594.34	3208.10	2733.51	2431.54	2293.44	2441.83
26	5673.30	4377.72	5037.36	4429.81	3661.19	3213.62	3925.14	4386.26	3233.85	3180.52	3634.66	3245.91	2747.68	2470.31	2321.85	2497.44
27	5852.52	4528.14	5053.14	4528.64	3859.70	3533.09	3937.03	4419.82	3346.33	3207.18	3668.66	3428.08	2870.00	2606.68	2327.31	2650.33
28	6113.54	4542.79	5082.01	4738.92	3866.96	3556.16	3955.38	4614.89	3452.88	3237.14	3676.12	3544.47	2878.90	2607.75	2392.82	2683.75
29	7052.21	4760.41	5189.87	4750.51	3893.74	3992.53	4049.75	4794.86	3457.22	3476.88	3705.12	3698.11	2939.34	2669.56	2489.66	2811.03
30	7421.43	5153.18	5468.95	4869.73	3904.45		4150.88		3468.27	6058.99	3961.74	3763.32	2979.53	2689.61	2551.76	
31				4916.50	4040.62		4304.54		3522.58		3976.43	3886.80	3052.51	2742.18		
32				4970.47	4098.00		4525.93		3753.61		4015.95		3156.27	2805.09		
33				5150.13					3800.88		4242.55		3181.69	2807.31		
34				5343.59					3854.08		4276.80		3300.54	2958.08		
35																
36																
97%_下限	2267.53	2072.03	3213.06	2793.22	1165.57	40.44	1821.24	196.27	2195.08	-481.88	1907.06	888.01	885.66	247.43	1166.20	829.38
97%_上限	6816.45	5072.83	5584.92	5407.30	4688.09	4408.28	4625.71	5415.66	3880.03	4512.80	4527.29	4154.32	3660.48	3428.94	2721.67	3075.26
AVG	4541.99	3572.43	4398.99	4100.26	2926.83	2224.36	3223.48	2805.96	3037.55	2015.46	3217.17	2521.16	2273.07	1838.18	1943.93	1952.32
STD	1048.14	691.43	546.51	602.32	811.64	1006.42	646.19	1202.62	388.24	1150.85	603.74	752.60	639.36	733.07	358.40	517.48
V	0.23	0.19	0.12	0.15	0.28	0.45	0.20	0.43	0.13	0.57	0.19	0.30	0.28	0.40	0.18	0.27
$k_{mean,75}$	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
$X_{mean,75}$	4411.87	3486.59	4331.14	4030.02	2829.26	2097.28	3145.80	2654.10	2992.28	1872.58	3146.76	2429.25	2198.51	1752.69	1899.44	1886.97
C_{DE}	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
C_T	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
E_d	4.41	3486.59	4331.14	4030.02	2829.26	2097.28	3145.80	2654.10	4.41							

表 7. 52 竹桿抗彎試驗楊氏模數(GPa)表

	服務等級 1								服務等級 3							
	孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
1	8.40	12.13	14.67	19.46	17.43	22.27	17.13	18.55	13.21	14.54	18.37	20.04	12.58	17.91	18.81	20.24
2	10.81	12.33	15.29	19.64	11.24	22.94	19.03	25.13	13.41	15.14	18.93	20.25	12.78	18.19	20.34	20.35
3	10.85	12.85	15.38	20.84	14.77	23.26	19.44	25.36	15.01	15.22	19.05	21.55	13.22	19.31	21.07	20.68
4	11.74	14.27	15.53	21.30	14.92	23.33	19.84	26.13	15.75	15.51	19.18	21.96	13.61	20.35	21.22	21.65
5	11.77	14.45	17.54	21.33	15.18	23.71	20.06	27.80	15.78	15.53	19.36	22.26	14.66	21.29	22.26	23.15
6	11.79	14.63	19.78	21.49	15.85	24.04	20.16	28.12	15.94	15.71	19.49	22.69	15.10	21.31	22.67	24.07
7	12.05	14.64	21.21	21.79	16.13	24.89	20.25	28.28	16.27	16.48	19.75	23.58	15.62	21.68	22.71	24.93
8	12.08	15.22	21.56	22.34	16.31	25.00	21.57	28.82	16.77	16.59	19.99	24.03	15.79	23.93	23.15	25.09
9	12.11	15.67	23.00	22.39	16.64	25.60	21.71	28.98	17.02	16.90	20.27	24.13	16.02	24.46	23.19	25.78
10	12.24	15.94	23.46	22.52	16.84	26.01	21.80	29.58	17.18	17.65	20.34	24.71	16.53	24.60	23.33	26.61
11	13.35	16.03	23.48	22.63	16.86	26.04	22.45	29.69	17.55	18.98	20.73	25.48	16.57	24.76	23.58	26.69
12	13.35	16.09	23.64	22.70	16.89	26.37	22.59	30.13	17.84	19.70	20.91	25.57	16.76	24.82	23.68	27.92
13	13.67	16.44	24.15	22.73	17.00	26.97	22.98	31.70	18.00	19.81	21.05	25.60	16.81	24.86	23.80	28.70
14	13.70	16.63	25.22	23.78	17.17	27.14	23.38	31.90	18.15	20.13	22.51	25.62	16.84	24.90	23.88	28.99
15	13.78	16.65	25.59	24.20	17.61	27.60	23.41	32.02	18.26	20.34	22.62	26.88	16.86	24.94	24.19	29.30
16	13.82	17.54	26.03	24.31	17.74	27.66	24.20	32.84	18.68	20.39	22.87	26.92	17.49	25.02	24.46	29.78
17	13.93	18.51	26.48	24.40	17.82	27.85	24.32	32.88	18.72	20.40	23.59	27.53	17.75	25.15	24.63	30.14
18	14.29	18.73	26.81	24.65	18.01	28.03	25.02	33.06	18.84	20.41	23.81	27.68	17.77	25.63	24.96	30.44
19	14.32	18.74	26.94	24.71	18.17	28.56	25.58	33.20	19.00	20.63	24.09	28.76	17.91	25.67	25.07	30.72
20	14.34	19.07	26.98	24.82	18.25	28.70	25.59	34.39	19.18	20.64	24.10	28.90	18.01	25.99	25.99	30.74
21	14.81	19.22	27.12	25.04	18.31	28.77	26.29	34.75	19.42	20.89	24.29	28.93	18.04	26.43	26.01	31.11
22	15.09	19.45	27.39	25.10	18.35	28.93	26.72	35.20	19.72	21.06	24.47	29.89	18.20	26.44	26.15	31.21
23	15.16	19.66	27.75	25.15	18.73	29.17	27.28	35.90	19.80	21.60	26.25	29.95	18.21	26.90	26.80	31.56
24	15.19	19.68	27.82	25.22	19.14	29.36	28.51	37.61	19.95	21.65	26.48	30.21	18.26	27.10	26.95	32.56
25	15.32	19.74	27.95	25.37	19.19	29.54	29.23	37.66	20.10	21.67	26.70	30.79	18.58	27.57	27.13	32.57
26	17.40	20.13	28.12	25.74	19.36	29.57	29.49	38.60	20.17	22.58	26.71	31.12	18.62	27.69	28.06	33.25
27	17.52	20.13	28.40	25.98	20.30	29.61	29.63	38.64	20.28	23.61	26.77	31.64	18.93	28.05	29.14	33.36
28	18.29	20.45	30.88	26.48	20.35	29.83	30.19	39.43	20.71	23.82	26.89	31.87	19.07	28.24	29.74	33.44
29	18.45	20.61		27.12	20.56	31.53	31.15	42.87	20.87	23.95	26.98	32.68	19.61	29.47	29.82	33.46
30	18.75	22.01		27.22	22.82	31.62		43.44	23.45	24.43	27.06	33.24	19.84	29.77	29.95	33.53
31	18.93	23.48		27.97		31.77		45.83	23.57	25.42	27.16	33.29	20.79	30.55	30.87	33.53
32	19.47	23.92		28.08		31.77		46.01		26.65	27.46	33.41	20.88	30.84		33.61
33	19.87	24.08		28.47		31.94				26.72	27.64	33.68		31.15		33.65
34	20.16	24.98		29.26		32.17				27.61	28.32	34.11		31.72		
35	20.36	26.07				33.68				28.32		34.29		32.00		
36	21.35									29.38		34.63				
97%_下限	7.99	10.49	13.87	18.79	12.94	21.33	15.85	19.64	13.08	12.12	16.36	18.50	12.46	17.68	18.43	19.48
97%_上限	21.93	26.09	33.85	29.69	22.26	34.40	32.35	46.89	23.61	29.55	30.36	37.49	21.77	33.68	31.48	38.27
AVG (MPa)	14.96	18.29	23.86	24.24	17.60	27.86	24.10	33.27	18.34	20.83	23.36	28.00	17.12	25.68	24.95	28.87
STD (MPa)	3.21	3.59	4.60	2.51	2.15	3.01	3.80	6.28	2.43	4.02	3.23	4.38	2.15	3.69	3.01	4.33
V	0.21	0.20	0.19	0.10	0.12	0.11	0.16	0.19	0.13	0.19	0.14	0.16	0.13	0.14	0.12	0.15
kmean,75	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
Xmean,75	14.59	17.88	23.33	23.95	17.33	27.52	23.62	32.51	18.05	20.38	22.98	27.50	16.86	25.25	24.59	28.36
Cde	1	1	1	1	1	1	1	1								
Ct	1	1	1	1	1	1	1	1								
Ed	14.594	17.878	23.326	23.948	17.331	27.518	23.623	32.511								

表 7. 51 中垂直纖維抗壓的楊氏模數最大最小值差異太大，最大相差 15 倍，但考慮垂直纖維抗壓的楊氏模數在實務上用處極少，固本研究不討論。

7.5 載重持續時間修正係數 C_{DF} 與 C_{DE}

在 7.2 節與 7.3 節的表 7. 29 與表 7. 48 中，在服務等級 3 的欄位皆需透過試驗決定，根據(7.3)式與(7.5)式，服務等級 1 的情境下，C_{DF} 及 C_{DE} 係數皆為 1，可以得到服務等級 1 情境下的設計強度及設計楊氏模數，而服務等級 3 的係數要由服務等級 3 所計算出之特徵值除以服務等級 1 的特徵值，便可推得服務等級 3 的載種持續時間修正係數 C_{DF} 與 C_{DE}，如 (7.6) 與 (7.7) 式：

$$C_{DF} = f_{k3}/f_{k1} \tag{7.6}$$

$$C_{DE} = E_{k3}/E_{k1} \tag{7.7}$$

其中

f_{k3} 服務等級 3 下試驗的所計算出之特徵強度 (MPa)

f_{k1} 服務等級 1 下試驗的所計算出之特徵強度 (MPa)

E_{k3} 服務等級 3 下試驗的所計算出之特徵楊氏模數 (MPa)

E_{k1} 服務等級 1 下試驗的所計算出之特徵楊氏模數 (MPa)

經過計算其 C_{DF} 及 C_{DE} 如表 7. 53 及

表 7. 54，為了進行安全設計，採取表中之最小值，因此本研究所計算出強度持續時間細數 C_{DF} 為 0.6 與楊氏模數持續時間細數 C_{DE} 為 0.55。

表 7. 53 C_{DF} 計算表

	孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
平行纖維抗壓試驗	0.74	0.71	0.70	0.63	0.70	0.83	0.63	0.72
平行纖維抗拉試驗	0.89	0.84	0.97	**0.60**	1.06	0.85	0.82	0.94
平行纖維抗剪試驗	1.15	0.65	0.61	0.80	0.77	0.83	0.77	0.90
垂直纖維抗拉試驗	0.70	0.64	1.17	0.61	1.35	0.84	0.97	1.20
竹桿抗彎試驗	1.20	0.80	1.06	0.91	0.94	0.94	1.18	1.06

1123425

表 7. 54 C_{DE} 計算表

	孟宗竹				桂竹			
	竹頭		竹尾		竹頭		竹尾	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
平行纖維抗壓試驗	0.94	0.96	0.91	1.08	0.90	0.79	0.92	0.66
平行纖維抗拉試驗	0.97	0.96	0.84	**0.57**	1.03	0.97	0.89	0.89
垂直纖維抗拉試驗	0.68	0.54	0.73	0.60	0.78	0.89	0.60	0.76
竹桿抗彎試驗	1.24	1.14	0.99	1.15	0.97	0.92	1.04	0.87

求得兩個持續時間系數 CDE 與 CDF 後所推算出之服務等級 3 的設計強度與設計楊氏模數如表與表。

表 7. 55 設計強度表(竹頭與竹尾相加平均值)

f_i (MPa)		容許應力設計法				極限強度設計法			
		孟宗竹		桂竹		孟宗竹		桂竹	
		生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
服務等級 1	$f_{c,0}$	25.8	37.4	36.0	33.3	34.4	49.9	48.0	44.4
	$f_{t,0}$	49.3	60.1	70.1	77.9	65.7	80.2	93.4	104
	f_v	2.99	3.13	4.05	3.12	3.98	4.17	5.39	4.16
	$f_{t,90}$	0.57	0.87	0.42	0.66	0.76	1.16	0.57	0.88
	$f_{c,90}$	7.65	11.0	8.39	10.3	10.2	14.7	11.2	13.7
	$f_{m,0}$	25.1	41.4	27.8	39.7	33.5	55.2	37.0	52.9
服務等級 3	$f_{c,0}$	15.5	22.4	21.6	20.0	20.6	29.9	28.8	26.6
	$f_{t,0}$	29.6	36.1	42.1	46.7	39.4	48.1	56.0	62.4
	f_v	1.79	1.88	2.43	1.87	2.39	2.50	3.23	2.50
	$f_{t,90}$	0.34	0.52	0.25	0.39	0.46	0.69	0.34	0.53
	$f_{c,90}$	4.59	6.60	5.03	6.18	6.12	8.82	6.72	8.22
	$f_{m,0}$	15.1	24.8	16.7	23.8	20.1	33.1	22.2	31.7

1123425

表 7.56 設計楊氏模數表(竹頭與竹尾相加平均值)

E_i (GPa)	服務等級 1				服務等級 3			
	孟宗竹		桂竹		孟宗竹		桂竹	
	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥	生竹	乾燥
$E_{c,0}$	3.80	4.04	4.99	5.53	2.09	2.22	2.74	3.04
$E_{t,0}$	6.22	8.12	8.91	11.6	3.42	4.47	4.90	6.38
$E_{c,90}$	4.37	3.76	2.99	2.31	2.40	2.07	1.64	1.27
$E_{m,0}$	19.0	20.9	20.5	30.0	10.5	11.5	11.3	16.5

得到 C_{DE} 與 C_{DF} 兩個時間持續修正係數後，本研究將 7.2 節所求得之容許應力設計值、極限狀態設計值與設計楊氏模數加以計算，由於竹子進行設計時，不會特地選用竹頭或是竹尾的竹子進行設計，本研究將竹頭及竹尾之設計值加起來並平均，得到其竹種、處理方式及兩種服務等級之容許應力設計值、極限狀態設計值以及設計楊氏模數，如表 7.55 與表 7.56。

7.6 含水率與強度及楊氏模數關係

本研究以含水率測定儀所測定到的含水率與實驗得到之強度及楊氏模數，以線性關係進行迴歸。以平行纖維抗壓試驗為例，圖 7.1 與圖 7.2 分別為平行纖維抗壓強度與楊氏模數的線性迴歸圖；其他五種試驗也可得到類似之迴歸圖。為找出服務等級 1 與服務等級 3 經迴歸後的強度及楊氏模數的比值，本研究將六大項試驗所得到的線性迴歸關係，分別代入 12%及 20%的含水率，可求得 12%及 20%含水率的強度及楊氏模數，結果如表 7.57 與表 7.58 所示。接下來將服務等級 3(20%含水率)強度或楊氏模數除以服務等級 1(12%含水率)的強度或楊氏模數，得到兩者之間的比值，見表 7.59 與表 7.60。

由表 7.59 可知，20%與 12%的強度比值最低為 0.76(平行纖維抗剪試驗中乾燥孟宗竹竹尾)，較表 7.53(C_{DF} 計算表)最低的 0.6(平行纖維抗拉試驗中的乾燥孟宗竹竹尾)高約 25%。而表 7.60 的楊氏模數比值最低為 0.42，較表 7.54(C_{DE} 計算表)

最低的 0.57 低約 25%，兩者最低的皆為平行纖維抗拉試驗中的乾燥孟宗竹竹尾之比值。

由於本計畫的含水率為測定儀所測得的，並非以秤重含水率方式求得之含水率，由於測定儀含水率與秤重含水率仍有差異，也就是測定儀含水率可能與真實含水率有些差距，故上述以線性迴歸方式所求得之 20%與 12%含水率下的強度與楊氏模數比值所得到的 C_{DF} 與 C_{DE}，與 7.5 節利用實驗數據特徵值所求得的 C_{DF} 與 C_{DE}，兩者有 25%差異，仍具有一定的參考性，但考量含水率正確性，目前仍以 7.5 節的 C_{DF} 與 C_{DE} 為建議值。

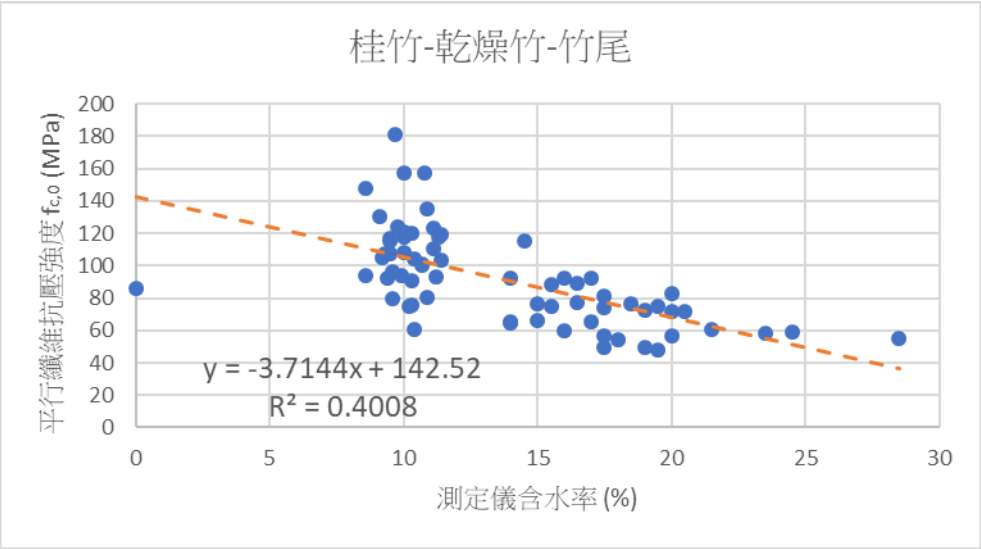


圖 7. 1 桂竹-乾燥竹-竹尾之平行纖維抗壓強度之線性迴歸曲線

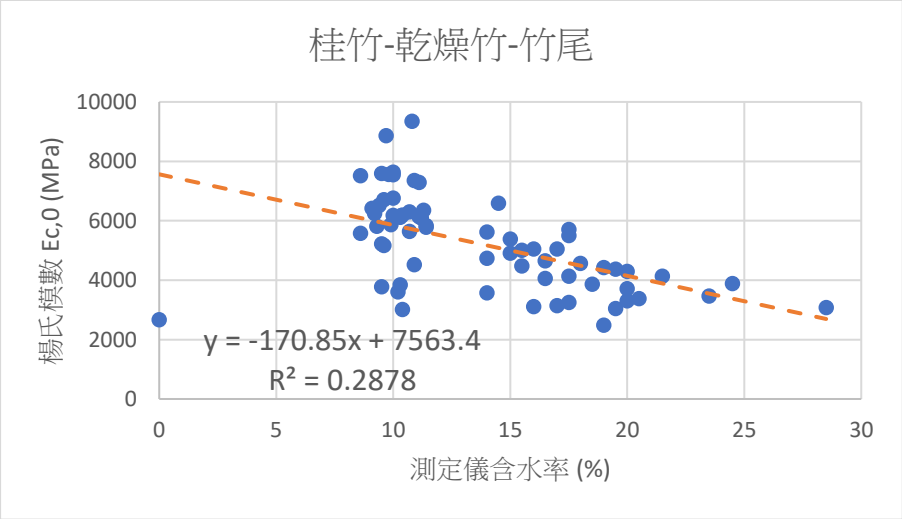


圖 7. 2 桂竹-乾燥竹-竹尾之平行纖維抗壓楊氏模數之線性迴歸曲線

1123425

表 7.57 利用線性迴歸曲線所得之 12%含水率及 20%含水率之強度

(MPa)	服務等級 1 (12%含水率)								服務等級 3 (20%含水率)							
	孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
	生竹		乾燥		生竹		乾燥		生竹		乾燥		生竹		乾燥	
	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾
$f_{c,0}$	55.0	70.1	71.1	99.6	84.7	81.3	96.6	97.9	51.3	59.3	59.9	84.1	74.6	68.3	80.4	68.2
$f_{t,0}$	130.2	142.7	162.4	159.6	181.4	176.8	212.8	202.5	119.4	138.5	130.5	133.6	178.6	176.1	193.4	175.9
f_v	12.7	19.5	15.8	20.2	19.3	20.7	21.5	21.7	12.2	14.9	13.5	15.4	16.6	15.9	18.9	16.7
$f_{t,90}$	2.9	3.7	3.6	4.6	3.0	3.3	4.8	4.3	2.8	3.9	3.3	4.2	3.2	3.0	4.5	4.4
$f_{c,90}$	-13.7	-18.8	-14.6	-21.0	-16.0	-16.6	-18.3	-21.5	-17.0	-18.2		-17.2	-15.4	-14.9		-16.6
$f_{m,0}$	72.8	107.9	90.5	121.6	92.7	89.3	117.9	121.0	70.0	98.8	87.4	111.7	82.9	85.8	106.0	103.1

表 7.58 利用線性迴歸曲線所得之 12%含水率及 20%含水率之楊氏模數

(GPa)	服務等級 1 (12%含水率)								服務等級 3 (20%含水率)							
	孟宗竹				桂竹				孟宗竹				桂竹			
	生竹		乾燥		生竹		乾燥		生竹		乾燥		生竹		乾燥	
	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾
$E_{c,0}$	3.6	4.3	3.7	4.8	4.8	5.4	5.0	5.5	3.5	3.9	3.6	4.9	4.5	5.1	4.3	4.1
$E_{t,0}$	4.8	7.7	6.6	7.3	7.0	10.5	10.5	12.1	4.6	7.0	6.2	3.0	7.2	9.7	10.0	10.0
$E_{c,90}$	4.7	3.9	3.1	3.3	2.9	3.0	2.4	2.8	3.4	3.4	2.5	2.3	2.4	2.3	2.4	2.0
$E_{m,0}$	15.4	24.5	19.3	26.5	19.2	27.0	26.9	29.8	15.5	23.8	20.9	29.1	18.4	24.9	23.7	25.3

表 7.59 含水率 20%強度與含水率 12%強度之比值

	孟宗竹				桂竹			
	生竹		乾燥		生竹		乾燥	
	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾
$f_{c,0}$	0.93	0.85	0.84	0.85	0.88	0.84	0.83	0.70
$f_{t,0}$	0.92	0.97	0.80	0.84	0.98	1.00	0.91	0.87
f_v	0.96	**0.76**	0.85	**0.76**	0.86	**0.76**	0.88	0.77
$f_{t,90}$	0.97	1.07	0.90	0.92	1.07	0.93	0.93	1.03
$f_{c,90}$	1.24	0.97		0.82	0.96	0.90		0.77
$f_{m,0}$	0.96	0.92	0.97	0.92	0.89	0.96	0.90	0.85

表 7.60 含水率 20%楊氏模數與含水率 12%楊氏模數之比值

	孟宗竹				桂竹			
	生竹		乾燥		生竹		乾燥	
	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾	竹頭	竹尾
$E_{c,0}$	0.97	0.90	0.97	1.03	0.95	0.94	0.86	0.75
$E_{t,0}$	0.97	0.90	0.93	**0.42**	1.03	0.92	0.95	0.82
$E_{c,90}$	0.73	0.87	0.79	0.68	0.83	0.76	1.00	0.73
$E_{m,0}$	1.01	0.97	1.09	1.10	0.96	0.92	0.88	0.85

第八章 竹構接合分類及介紹

竹構造的強度並非單純由材料強度控制，接合的強度也會大大影響結構強度，而竹構造接合有非常多的形式，各種接合的力學特性也不盡相同，故本章將接合依照不同形式進行分類，探討竹結構的接合如何分析，再考慮對設計值的規範，最後藉由試驗找出接合的設計值。

8.1 竹構接合之分類系統

本研究將竹構接合依構造方式、補強方式、用途及幾何四種特徵進行分類，使任何接合均可明確地由四種特徵定義。整理於表 8.1 竹構造接合分類。

表 8.1 竹構造接合分類

構造方式	螺栓接合	綁紮接合	特殊方式接合
補強方式	填充	圍束	
用途	續接	橫接	支承端接合
幾何形式	共平面	不共平面	

8.1.1 構造方式

竹構造接合可依構造方式分為三類，分別為螺栓接合、綁紮接合、特殊方式接合。

「螺栓接合」： 將螺栓穿過竹材並固定，屬於剪力型接合，如圖 8.1 所示。交接處乾淨美觀，但有應力集中的問題，若鑽孔位置太靠近端部，容易引致平行纖維方向之劈裂破壞。

圖 8.1 以螺栓接合之竹構造[21]

1. 「綁紮接合」： 此種接合方式可以避免對竹材穿孔、切割，對綁紮材施加拉力進而將竹材接合，是最常見也最簡單的接合方式，如圖 8.2 與圖 8.3 所示。優點為施工快速、方便、價格便宜，缺點為施工品質不一。

圖 8.2 以麻繩綁紮接合之竹構造[21]

圖 8.3 以鐵線綁紮接合之竹構造[22]

2. 「特殊方式接合」： 特殊方式接合通常會使用不同材料搭配接合，可以大幅提升接合強度，如圖 8.4 所示。也有如圖 8.5 所示的接合方式，但此類接合須將竹材挖孔，容易劈裂，也不易施工。

圖 8.4 連接外包式夾具之金屬多向接合[21]

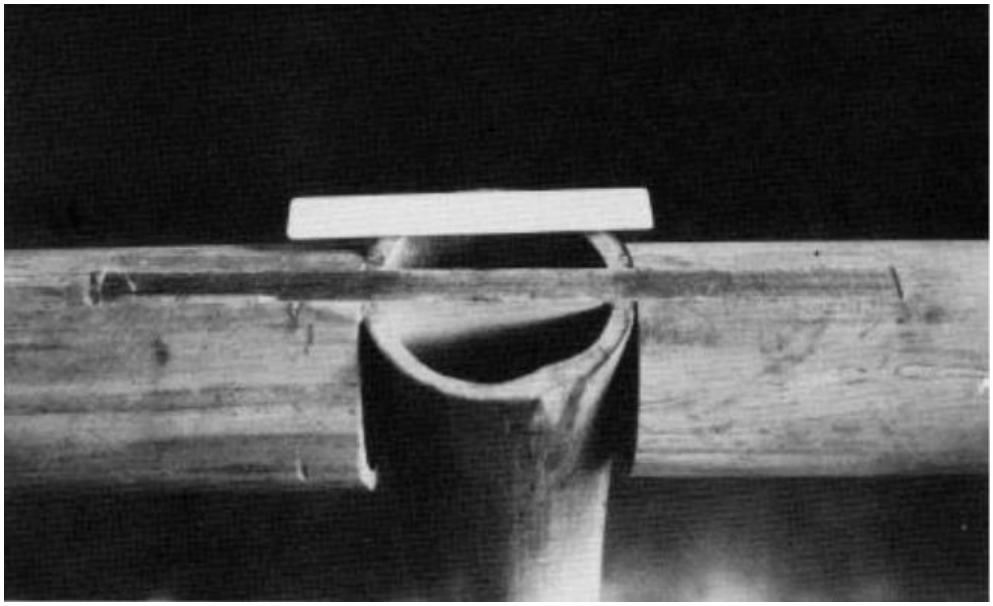


圖 8.5 內嵌式接合[23]

8.1.2 補強方式

竹構造接合可依補強方式分為填充及圍束，可以避免竹材因應力集中而產生劈裂。

1. 「填充補強」： 在竹材內部填充環氧樹脂或混凝土以增加強度並可傳遞應力避免應力集中，但此舉亦會使竹構材重量增加，如圖 8.6 所示。

圖 8.6 填充混凝土之竹構接合[23]

2. 「圍束補強」： 使用繩材或鐵件圍束接合，增加接合強度及避免劈裂破壞，如圖 8.7 與圖 8.8 所示。

圖 8.7 以鐵件圍束之竹構接合[22]

圖 8.8 以鋼纜圍束之竹構接合
(取自 https://greenmedia.today/events/2020/bamboo-house/)

8.1.3 用途

竹構造接合可依用途方式分為續接、橫接及支承端。

1. 「續接」： 指接合兩端竹材纖維方向平行，通常使用在單根竹材長度不夠時，如圖 8.9 所示。

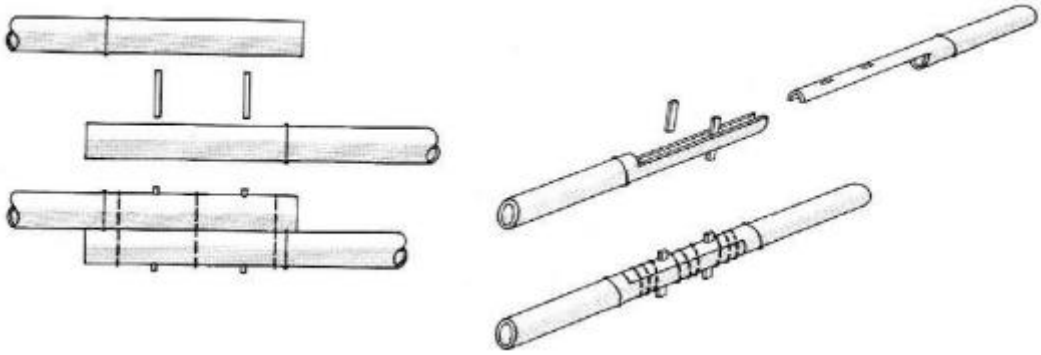


圖 8.9 使用木榫接合的軸向續接[23]

1123425

2. 「橫接」： 指接合兩端竹材纖維方向存在夾角，其形式類似於建築中的大小樑或是桁架系統，如圖 8. 10 所示。

圖 8. 10 以鐵線綁紮之正交橫接[22]

3. 「支承端接合」： 表示竹材與支承的接合，竹結構之基礎設計應避免竹材直接接觸地面而受到水氣影響，一般採用混凝土構造作為基礎，並設計使竹構件高於可能淹水的高度，竹構件與基礎間通常利用鋼製中介構件轉換接合，如圖 8. 11 所示。亦有將竹構件直接埋入混凝土之案例。

圖 8. 11 大藏聯合建築師事務所設計之支承端接合[22]

1123425

8.1.4 幾何形式

竹構造接合可依幾何形式分為共平面及不共平面，根據幾何形式的不同，接合的傳力機制也會不同。

1. 「共平面」：指兩竹材落在同一平面，如圖 8. 12 所示。

圖 8. 12 以金屬側板接合的共平面接合[21]

2. 「不共平面」：指兩竹材不落在同一平面，如圖 8. 13 所示。

圖 8. 13 以尼龍繩綁紮接合之不共平面接合[21]

8.2 竹構接合之新式構造接合之可能性

竹結構建築的接合是其結構設計的關鍵，因此研究接合破壞模式可以揭示出結構的特點和弱點，進而優化設計，提高結構的安全性和耐用性。傳統竹結構可用 8.1 單元之螺栓、綁紮、鐵件支承方式來達成，然而未來竹結構之發展在新式結構接合的組合方式仍可能與過往傳統竹結構方式有所不同，故本節提出有別傳統竹結構接合方法下之新式構造接合可能方式，並希望提出對應於新式構造接合之可行研究，以下列出一些可能的研究方法：

1. 「整體試驗法」： 將竹結構建築樣品帶有接合的部分進行實驗，測試接合在加載下的破壞情況，如斷裂、拉伸、彎曲等。通過數據分析可以確定接合破壞的類型和行為，例如判斷是因為竹材本身強度不足還是接合設計不當等因素引起的。
2. 「模型分析法」： 使用有限元分析等方法對竹結構建築的接合進行分析，包括荷載分析、應力分析和變形分析等，來模擬和預測接合的破壞情況。透過詳細的分析和比較，可以識別和改進不良設計。
3. 「微觀觀察法」： 使用顯微鏡、掃描電子顯微鏡等技術對竹材接合進行觀察，以分析材料的微觀結構和特徵，評估接合的性能和強度，以及影響接合耐久性的因素。
4. 「局部接合試驗法」： 建立一系列的竹結構建築樣本，對每一個樣本進行不同的接合設計，並對該樣本進行壓力測試和材料試驗。透過這種實驗方法可以探究接合的結構，並比較出性能優的接合。

研究接合破壞模式需要綜合運用多種方法，從不同角度進行觀察和實驗，從而清晰地了解接合的特點和問題。此外，需提高革新與技術創新的能力，探究新

的建構方法並提高設計方案的可塑性，研究之目的在於建構新式構造接合的可能，並在新的結構規劃與設計當中可以作為設計者的結構設計依據使用。

8.2.1 集束管接合

集束管接合是透過許多細小支竹之間形成一種連續的連接行為，進而產生桿件的連續形成源源不斷地直線或曲線，小支竹彼此之間藉由黏接膠合的方式固定，中間利用較輕的 PV 塑膠管達到小支竹可以定型方式，數十支小支竹再透過一層一層的黏膠與固定達到「看不到接合部位」新式構造接合的可能方式。

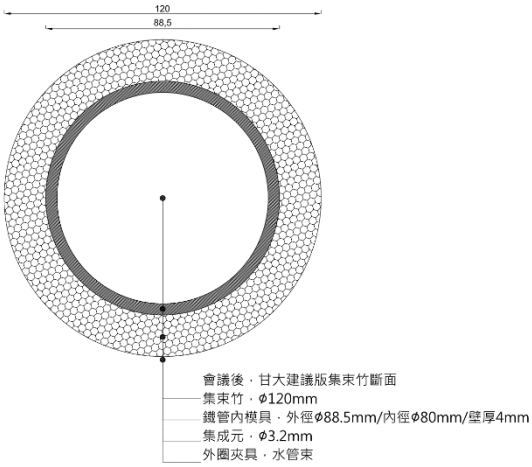


圖 8. 14 以小支竹構成的連續接合方式

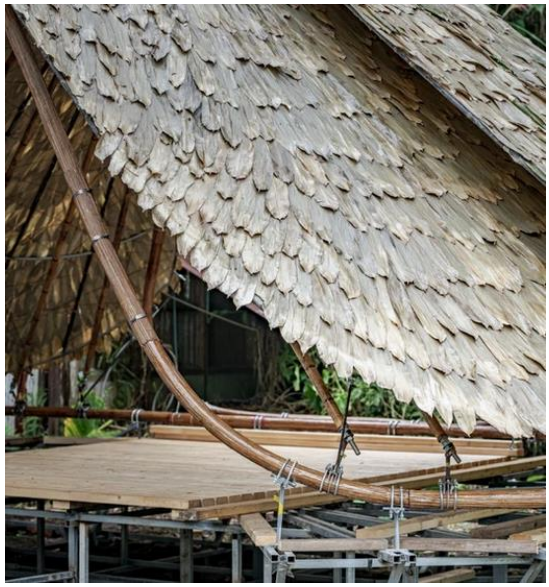


圖 8. 15 小支竹完全連續的膠合形成新的接合關係

8.2.2 竹包管接合

竹包管雖然是一種古老的傳統工法，但卻可以是一種新式接合方式。這種工法利用竹子的天然特性和獨特的原理，以及一系列的施工製作步驟來建造堅固且可靠的結構接合。竹包管施工藉由將竹子剖開，去除節點並清除內部的髓部。這樣可以確保管道內部的平滑度和流通性，再進行切割和連接，使得橫向竹挖空的部分得以包絡縱向竹管的全部，竹子的韌性使得這樣的構造接合相當獨特。

竹包管的傳統工法結合了竹子的自然特性和人們的智慧，以創造出一種環保、耐用且可靠的結構接合方式。這種工法在一些善用竹子的地區獲得廣泛的應用，特別是在鄉村地區或資源匱乏的地方，因為竹子作為材料相對容易取得且成本低廉。

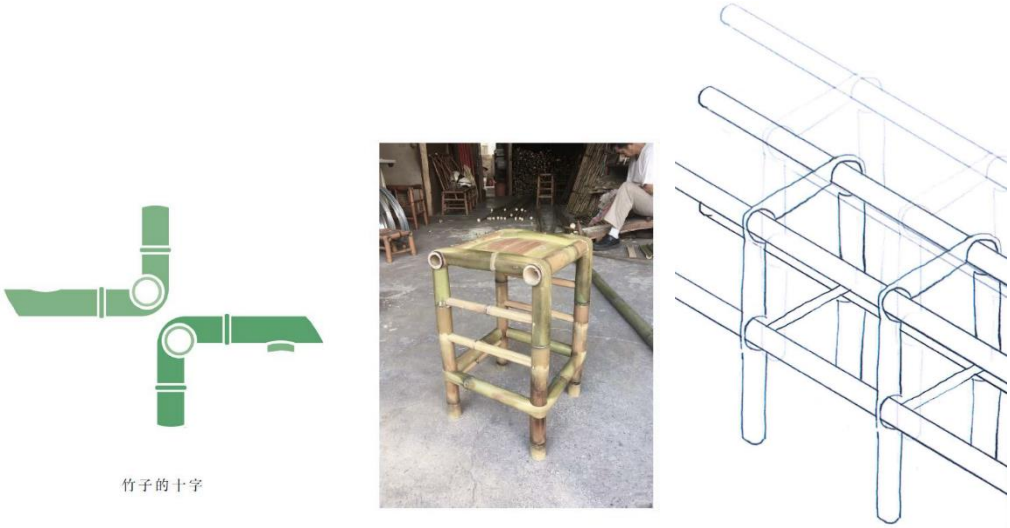


圖 8. 16 竹包管結構接合方式

8.2.3 竹片榫接接合

榫接的接合方式常用於木工結構技術，對於竹子這樣的自然管材也同樣適用。榫接接合基於卡榫原理和一些基本的原則，以實現強大的連接，用於桿件之間的連接以形成穩固的結構。榫接原理是指將構件的凹槽（稱為榫）與另一構件的突出部分（稱為榫頭）相互嵌合，以實現連接的穩定性和強度。榫接的目的是使兩塊木材緊密結合，減少它們之間的移動和搖晃，並在結構中分擔荷載。

基本原則如下：

1. 「榫的形狀」： 榫的形狀通常是長方形、正方形或楔形。這些形狀提供了更大的表面積，增加了連接的接觸面，從而提高了結構的強度。
2. 「榫頭的形狀」： 榫頭的形狀應該與榫的凹槽相對應，以實現緊密的嵌合。常見的榫頭形狀包括榫頭突出或榫頭舌狀。
3. 「配合度」： 榫頭和榫的配合度應該既不太鬆散也不太緊密。鬆散的配合度可能導致結構不穩定，而過於緊密的配合度則可能導致結構難以組裝或拆卸。

1123425

4. 「接觸面」： 榫接結構的強度取決於榫和榫頭之間的接觸面積。接觸面越大，連接越牢固。因此，榫的長度和寬度應該根據結構的需求和荷載來決定。

5. 「附加補強」： 為了增加榫接結構的強度，可以使用附加的補強方法。這包括使用螺釘、釘子、木榫等補強材料，以增加連接的穩定性和耐久性。

榫接結構的原理和原則使得木材在沒有使用螺釘、膠水或其他附加物的情況下能夠牢固連接。它不僅提供了美觀的木工結構，還展示了木材的天然特性和工匠的技藝。這種傳統技術在建築、家具製作和木工藝品等領域得到廣泛應用。

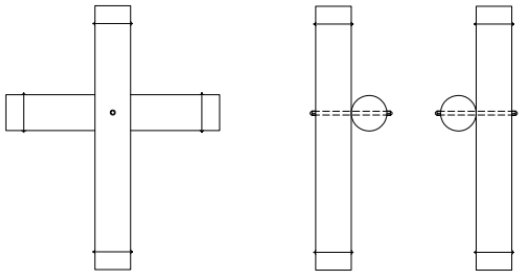
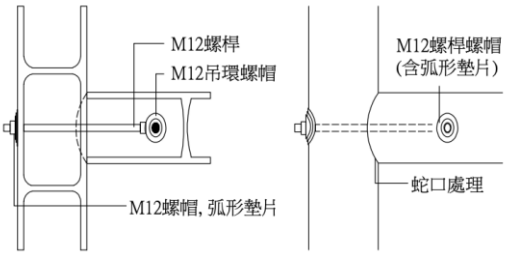
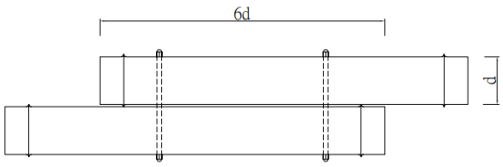
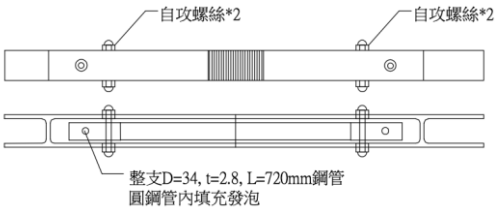
圖 8. 17 竹片榫接的新式構造接合方式

8.3 竹桿件接合初步試驗形式

8.3.1 一般接合

本計畫將上述的竹桿件接合方式依用途與幾何兩大方式組合成四種不同的接合方式，分別為橫接-不共平面、橫接-共平面、續接-不共平面與續接-共平面等四種接合方式，在依構造方式以及補強方式細分，如表，在此稱為一般接合。

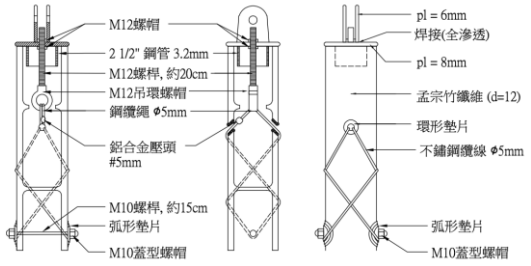
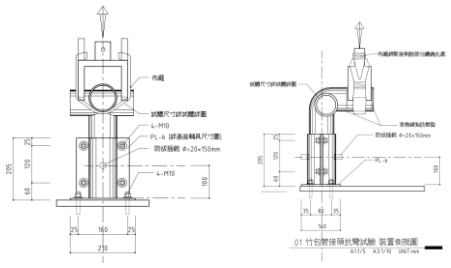
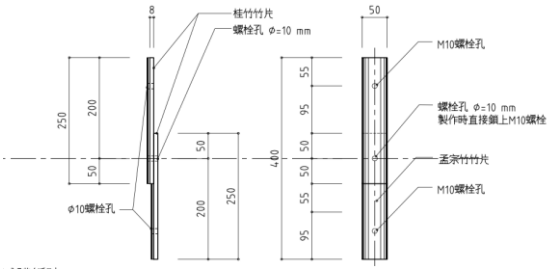
表 8.2 竹桿件一般接合設計分類

	圖示	分類項目	敘述
一般接合		用途	橫接
		幾何	不共平面
		構造方式	螺栓/鐵絲綁紮/尼龍繩綁紮
		補強方式	無/填充/圍束/填圍
		用途	橫接
		幾何	共平面
		構造方式	螺栓
		補強方式	無/填充/圍束/填圍
		用途	續接
		幾何	不共平面
		構造方式	螺栓/鐵絲綁紮/尼龍繩綁紮
		補強方式	無/填充/圍束/填圍
		用途	續接
		幾何	共平面
		構造方式	螺栓
		補強方式	填充/填圍

8.3.2 特殊接合

竹桿件接合中，還有一些不常看到的竹接合形式，本計畫中，會介紹三種不同的特殊竹接合形式，分別是鋼索預拉螺栓接合、竹包管接合以及竹片接合等三種。

表 8.3 特殊接合形式

特殊接合	**鋼索接合**		
		**用途**	支承端與鉸接端
		幾何	共平面
		構造方式	螺栓+鋼索
		補強方式	無
	竹包管接合		
		**用途**	橫接
		幾何	共平面
		構造方式	竹管刨空、包覆
		補強方式	RC 灌注/綁紮
	竹片接合		
		**用途**	竹片桿件續接、支承端
		幾何	不共平面
		構造方式	螺栓
		補強方式	繩索綁紮/玻璃纖維圍束

8.3.2.1 鋼索預拉螺栓接合

鋼索預拉螺栓接合為一種不常見的特殊接合方式，常用於與支承端接合，利用鋼索纏繞竹管並與竹管內的螺桿接合如圖 8.18。

圖 8. 18 鋼索預拉螺栓接合

8.3.2.2 竹包管接合

竹包管抗彎接合如所示圖 8. 19，竹包管為臺灣傳統竹管工藝技術，作法上首先將竹管局部刨空，確保管內平滑後將其包覆在另一相互垂直的竹管外側，早期主要使用於傢具。竹包管用於結構上可視為一種具有抗彎性能的橫接接合構造，接合受力時外側的刨空竹管與內側受包覆的竹管各自產生內力，此兩內力形成力偶進而提供接合抗彎強度。

圖 8. 19 竹包管抗彎接合

8.3.2.3 竹片接合

臺灣使用的竹種皆為空心竹，因此時常可見將竹管加工成竹片使用的狀況，對於竹片構造而言，最直接的續接及支承端施作方式就是將竹片疊合後以螺栓鎖固如

圖 8. 20，此類接合方式屬於剪力接合，可將竹片桿件的軸力及剪力傳至另一根桿件或支承端，受力時接合處的螺栓承受剪力，竹片端部則承受局部壓力。

圖 8. 20 竹片接合試體

第九章 竹桿件接合強度與勁度之初步試驗方法與結果

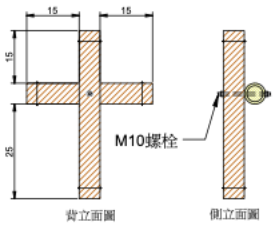
上個章節介紹了竹桿件接合的分類形式，本章節主要介紹竹桿件接合強度與勁度的分析，分成一般接合與特殊接合兩種不同的接合形式進行分析，竹接合試驗中的所有試體皆採用 6.1 節提到的竹身段進行製作。

9.1 一般接合

9.1.1 橫接-不共平面

由兩根竹桿件交叉的方式，不在同一平面進行接合，此種接合方法有七種，分別是螺栓-無填充、螺栓-填充混凝土、玻璃纖維圍束-無填充、玻璃纖維圍束-填充混凝土、鐵絲綁紮(垂直)、鐵絲綁紮(平行)以及尼龍繩綁紮共七種，依受力方式又分為面內及面外受力兩種 ，如表 9.1，本節會依兩種不同加載方式介紹。

表 9.1 橫接-不共平面之竹桿件接合

	圖示	分類項目	敘述	接合樣式	試驗組合	試體總數
第一種接合		用途	續接	1×4(螺栓：無填充+三種補強)+2×1(鐵絲綁紮，2 種纏繞：無填充)+1×1(尼龍繩綁紮，1 種纏繞：無填充)=7	7×2(兩種加載方式)=14	14×2× 3(一次試驗進行一組兩個試體，共進行 3 次試驗)=84
		幾何	不共平面			
		構造方式	螺栓(無填充/填充/圍束/填圍)；鐵絲綁紮(無填充)；尼龍繩綁紮(無填充)			
		加載方式	剪力(面內)/剪力(面外)			

9.1.1.1 剪力(面內)

橫接-不共平面的竹桿件接合試驗，由兩組試體一起進行試驗，如圖 9.1 與圖 9.2，考量本試驗是由兩組試體一起進行試驗 ，其接合強度 F_{max} 與勁度 K 之計算公式如下：

$$F_{max} = \frac{F_{ult}}{2} \tag{9.1}$$

$$K = \frac{F_{60} - F_{20}}{\Delta_{60} - \Delta_{20}} \tag{9.2}$$

1123425

其中

F_{ult}： 最大載重強度

F_{60}： 最大載重強度的 60%

F_{20}： 最大載重強度的 20%

Δ_{60}： 最大載重強度 60%的位移量

Δ_{20}： 最大載重強度 20%的位移量

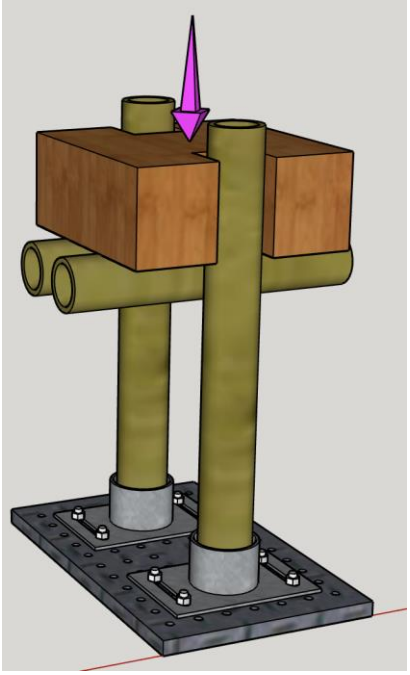


圖 9. 1 橫接-不共平面(面內)抗剪示意圖

圖 9. 2 橫接-不共平面(面內)試驗圖

此類型試驗中，每種樣式各有三組試體 ，表 9. 2 為試驗結果，表 9. 3 為試體破壞後的照片。由於各試驗皆只有三筆數據，應能計算特徵值與設計值，但非本計畫之重點，因此本研究只計算各項試驗之平均值。

接合勁度的計算方法為取其最大強度值的 60%及 20%的兩個強度值，並取該兩個強度值對應到的位移量進行計算。舉例說明如下，螺栓-無填充的第二組試體，該試驗最大強度為 F_{ult} = 5123 N。最大試驗強度的 60%為 F_{ult_60}=3073N，其對應位移量為Δ_{60} = 4.18 mm。最大試驗強度的 20%為 F_{ult_20}=1024 N (圖 9.3)，其對應位移量為Δ_{20}= 2.07 mm。

由於單一竹接合強度是試驗強度的 1/2，試驗強度必須除以 2 才為單一竹接合之強度。因此單一竹接合之最大強度及其 60%及 20%之強度，分別為 Fmax = 2561N、F_{max_60}=1536N 及 F_{max_20}=512N。將其代入式(9.2) 得接合勁度 K = (1536-512) / (4.18-2.07) = 486 N/mm。以此類推各組試驗之接合強度與接合勁度如表 9. 2。

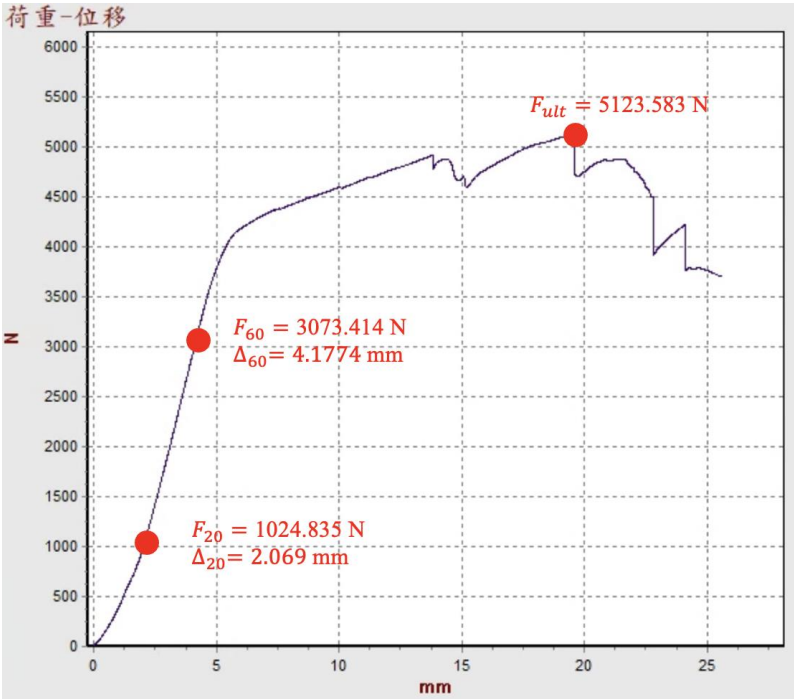


圖 9. 3 最大強度與 60%及 20%強度之荷重-位移圖

1123425

表 9. 2 橫接-不共平面(面內)試驗結果

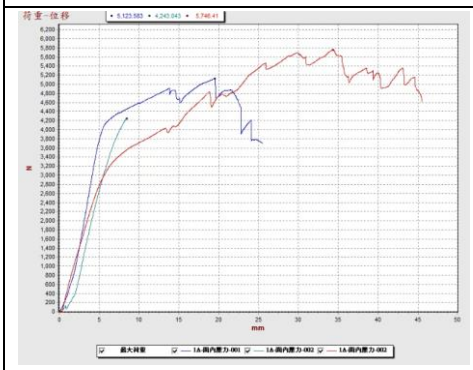
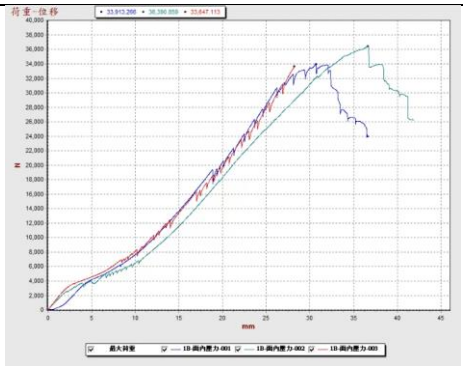
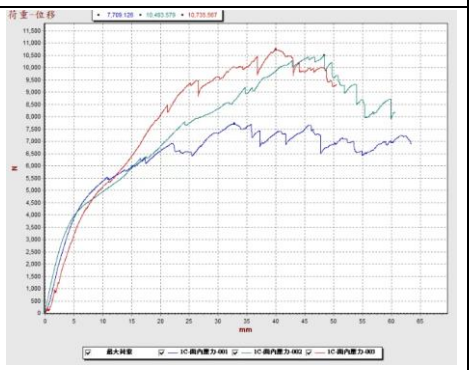
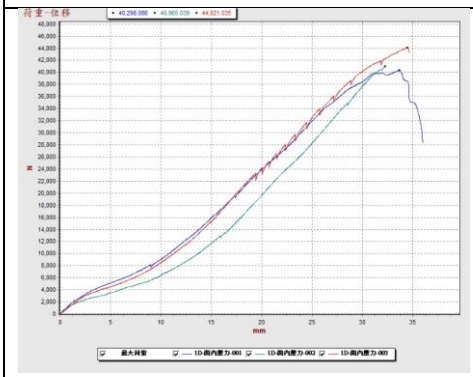
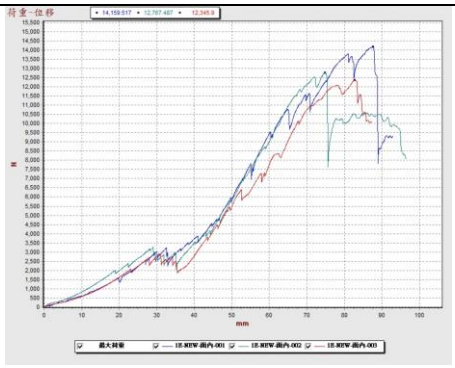
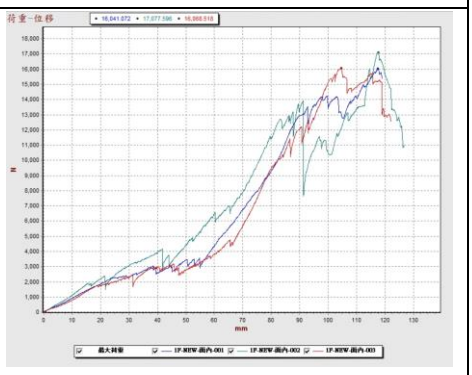
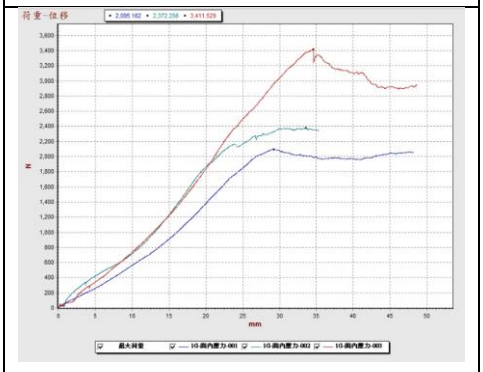
	編號	最大位移 (mm)	接合強度 F_{max} (kN)	勁度 K (kN/m)	破壞行為
1A-螺栓-無填充	**1**	20.2	2.74	346	竹管裂開
	2	19.6	2.56	486	竹管裂開
	3	34.4	2.87	271	竹管裂開
	平均值	**24.7**	**2.73**	**368**	
1B-螺栓-無收縮混凝土補充	**1**	30.7	17.0	660	竹管裂開
	2	36.6	18.2	665	竹管裂開
	3	28.2	16.8	646	竹管裂開
	平均值	**31.9**	**17.3**	**657**	
1C-螺栓-玻璃纖維圍束	**1**	32.8	3.85	351	螺栓拉長
	2	48.4	5.25	307	竹管裂開
	3	40.0	5.37	195	螺栓拉長
	平均值	**40.4**	**4.82**	**284**	
1D-螺栓-無收縮混凝土+玻璃纖維圍束	**1**	33.7	20.1	773	螺栓斷裂
	2	32.3	20.5	826	螺栓斷裂
	3	34.4	22.0	786	竹管裂開
	平均值	**33.5**	**20.9**	**795**	
1E-鐵絲綁紮-平行	**1**	87.6	7.08	97.1	竹管承壓破壞
	2	74.9	6.38	130	竹管承壓破壞
	3	82.7	6.17	121	竹管承壓破壞
	平均值	**81.8**	**6.55**	**116**	
1F-鐵絲綁紮-垂直	**1**	118	8.02	125	竹管壓潰
	2	118	8.53	106	竹管壓潰
	3	105	8.03	121	竹管壓潰
	平均值	**113**	**8.20**	**117**	
1G-尼龍繩綁紮	**1**	29.2	1.05	43.4	尼龍繩滑移
	2	33.6	1.19	60.4	尼龍繩滑移
	3	34.6	1.71	57.0	尼龍繩滑移
	平均值	**32.5**	**1.31**	**53.6**	

表 9.3 橫接-不共平面破壞行為

竹管裂開	
螺栓拉長	
螺栓斷裂	
鐵絲滑移	
尼龍繩滑移	

1123425

表 9.4 橫接-不共平面荷重-位移圖

螺栓-無填充	螺栓-無收縮混凝土補充	螺栓-玻璃纖維圍束
		
螺栓-無收縮混凝土+玻璃纖維圍束	鐵絲綁紮-平行	鐵絲綁紮-垂直
		
尼龍繩綁紮		
		

尼龍繩綁紮試驗中，由於綁紮方向與受力方向平行，當外力達到一定強度時，尼龍繩會開始滑移，如表 9.4 尼龍繩綁紮荷重-位移圖，當達到最大強度後，荷重-位移關係會成水平的延伸，此時尼龍繩已經開始滑移，故不再繼續進行試驗。

9.1.1.2 剪力(面外)

上小節以兩個試體為一組，以輔具對橫接的竹桿進行抗剪試驗，本節加載方式是將竹桿放置於輔具上，對中間直桿進行抗剪試驗，如圖 9. 4。其接合強度與接合勁度計算公式如下：

$$F_{max} = F_{ult} \tag{9.3}$$

$$K = \frac{F_{60} - F_{20}}{\Delta_{60} - \Delta_{20}} \tag{9.4}$$

其中

F_{ult}： 最大載重強度

F_{60}： 最大載重強度的 60%

F_{20}： 最大載重強度的 20%

Δ_{60}： 最大載重強度 60%的位移量

Δ_{20}： 最大載重強度 20%的位移量

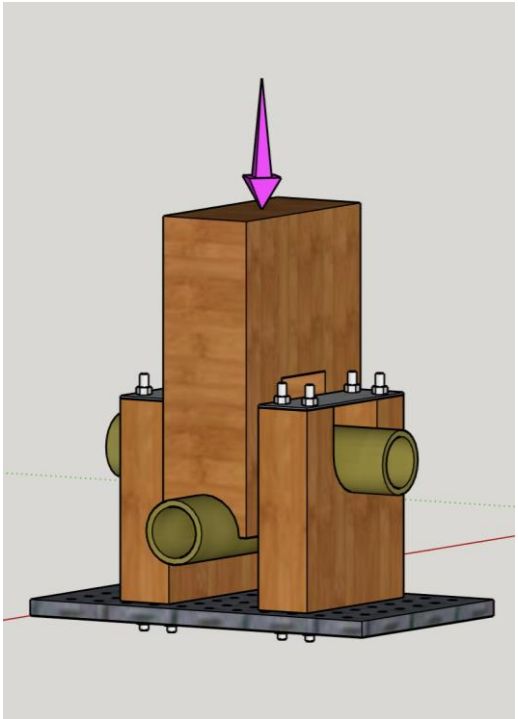


圖 9. 4 橫接-不共平面(面外)試驗示意圖

圖 9.5 橫接-不共平面(面外)試驗

此類型試驗中，每種樣式各有三組試體，表 9.5 為試驗結果，表 9.6 為試體破壞後的照片。其中接合強度及接合勁度的算法，由於本試驗為單一試體進行試驗，因此不需除以 2，因此最大強度 F_{ult} 即為接合強度 F_{max}，以螺栓-無收縮混凝土+玻璃纖維圍束的第二個試體來舉例，F_{ult} 為 21847 N，其接合強度 F_{max} 即為 21847 N，最大試驗強度的 60%強度 F_{max_60} 為 13117 N，對應的位移量Δ_{60}為 7.00 mm，最大試驗強度的 20%F_{max_20} 為 4371 N，其對應位移量Δ_{20}為 2.47 mm，經公式(9.4)計算後可得 1929 N/mm，以此計算方式可得各次試驗的接合勁度。

1123425

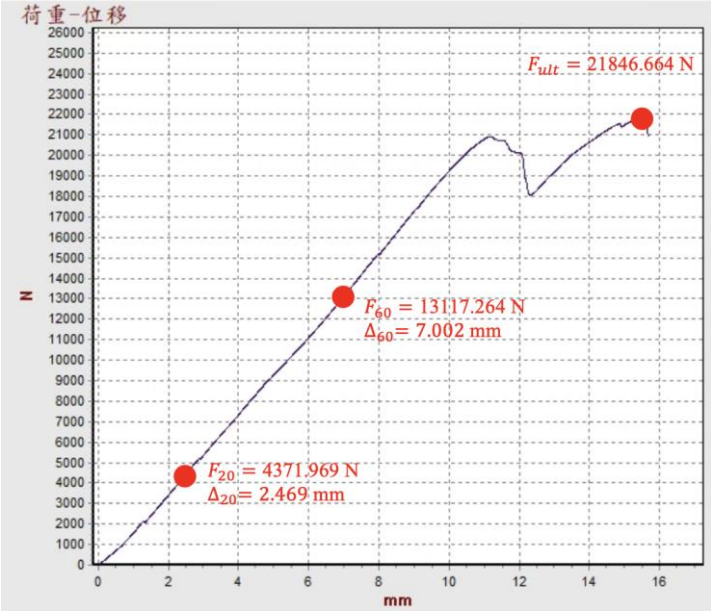


圖 9. 6 螺栓-無收縮混凝土+玻璃纖維圍束的第二個試體之荷重-位移圖

表 9.5 橫接-不共平面(面外)試驗結果

		最大位移 (mm)	接合強度 F_{max} (kN)	勁度 K (kN/m)	破壞行為
1A-螺栓-無填充	**1**	10.4	2.38	461	竹管裂開
	2	5.62	1.56	583	竹管裂開
	平均值	**8.03**	**1.97**	**522**	
1B-螺栓-無收縮混凝土補充	**1**	12.3	21.1	2725	螺栓拉長
	2	13.9	17.1	2042	螺栓拉長
	3	10.6	11.1	1054	竹管裂開
	平均值	**12.2**	**16.4**	**1941**	
1C-螺栓-玻璃纖維圍束	**1**	17.2	3.34	519	竹管裂開
	2	14.4	4.48	745	竹管裂開
	3	14.3	4.06	554	螺栓拉長
	平均值	**15.3**	**3.96**	**606**	
1D-螺栓-無收縮混凝土+玻璃纖維圍束	**1**	11.5	26.0	2633	螺栓拉長
	2	15.5	21.9	1977	螺栓斷裂
	3	15.2	28.5	3714	螺栓拉長
	平均值	**14.0**	**25.4**	**2774**	
1E-鐵絲綁紮-平行	**1**	17.6	8.42	465	鐵絲鬆脫
	2	15.3	8.47	450	鐵絲鬆脫
	3	14.7	9.77	637	鐵絲鬆脫
	平均值	**15.9**	**8.88**	**518**	
1F-鐵絲綁紮-垂直	**1**	11.0	5.93	550	鐵絲鬆脫
	2	15.9	7.67	428	鐵絲鬆脫
	3	12.5	6.39	405	鐵絲鬆脫
	平均值	**13.1**	**6.66**	**461**	
1G-尼龍繩綁紮	**1**	43.3	11.0	305	竹管爆裂
	2	36.8	12.0	337	竹管爆裂
	3	28.3	10.0	354	竹管裂開
	平均值	**36.2**	**11.0**	**332**	

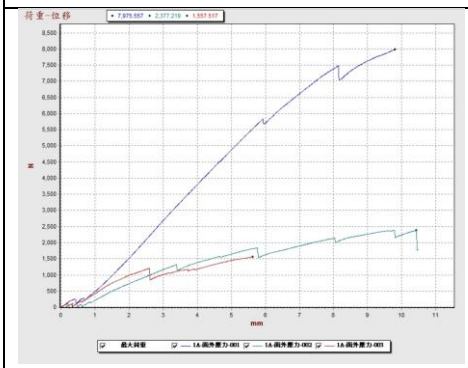
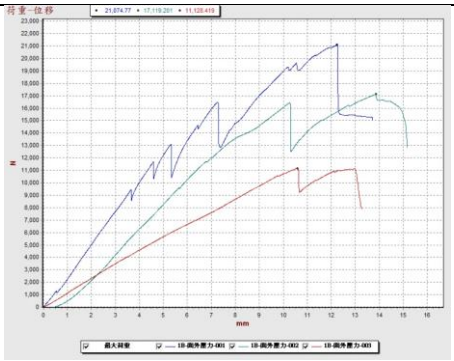
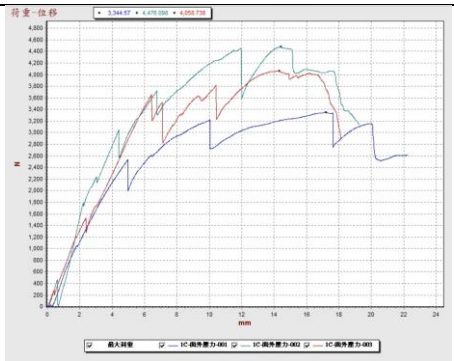
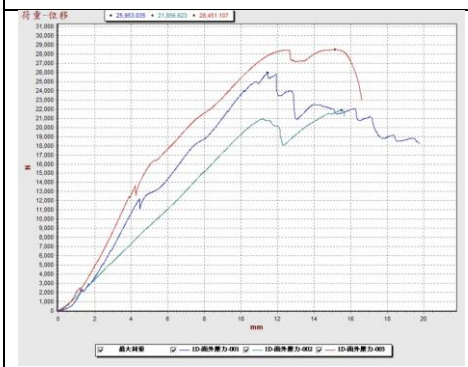
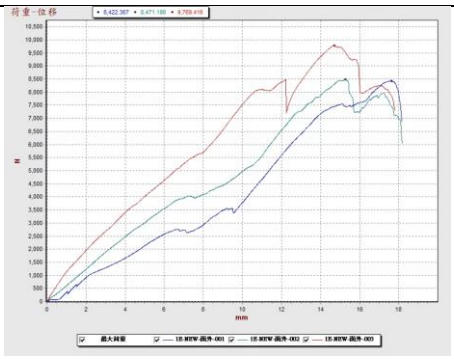
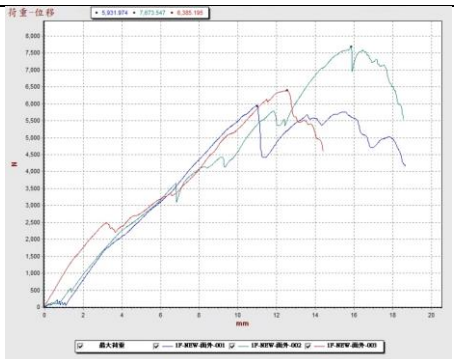
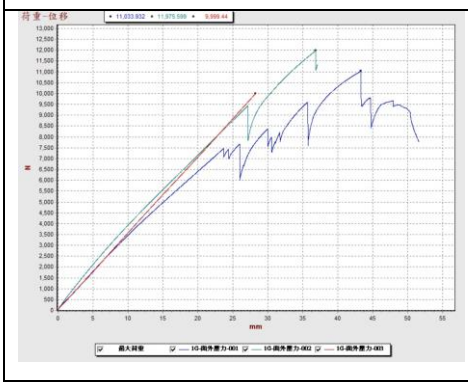
1123425

表 9.6 橫接-不共平面(面外)破壞行為

竹管裂開	螺栓拉長	螺栓斷裂
		
鐵絲鬆脫	竹管爆裂	
		

1123425

表 9.7 橫接-不共平面(面外)荷重-位移圖

螺栓-無填充	螺栓-無收縮混凝土補充	螺栓-玻璃纖維圍束
		
螺栓-無收縮混凝土+玻璃纖維圍束	鐵絲綁紮-平行	鐵絲綁紮-垂直
		
尼龍繩綁紮		
		

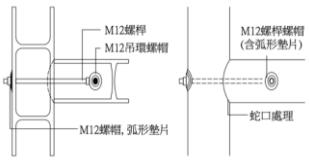
從表 9.7 螺栓-無填充的圖中，有一筆試驗數據其強度遠大其餘兩個試體，原因為方向放反，導致強度過大，此筆數據不列入考慮，鐵絲綁紮的平行與垂直兩圖中，皆有一筆數據因鐵絲鬆脫，使得後續強度並無繼續增加，其最大強度為該試體之接合強度。

1123425

9.1.2 橫接-共平面

上個章節討論完橫接-不共平面之竹桿件接合，本章節將討論橫接-共平面試驗，橫接-共平面為竹桿件接合時，並非以一直線，而是呈現一個有角度的方式接合，並且兩根桿件接合時，會在同一平面上進行接合，稱為橫接-共平面接合。此總接合方法有七種，分別是螺栓-無填充、螺栓-填充混凝土、螺栓-玻璃纖維圍束-無填充與螺栓-玻璃纖維圍束-填充混凝土共四種，依受力方式又分為拉力-直桿、拉力-橫桿與剪力等三種，如表 9. 8，本節會依三種不同加載方式介紹。

表 9. 8 橫接-共平面之竹桿件接合

	圖示	分類項目	敘述	接合樣式	試驗組合	試體總數
第一種接合		用途	橫接	1×4(螺栓：無填充+三種補強)=4	4×2(兩種拉力加載方式)+4×1(1種拉力加載方式)=12	12×3(各三個試體)=36
		幾何	共平面			
		構造方式	螺栓(無填充/填充/圍束/填圍)；			
		加載方式	拉力(面內(直桿、橫桿))/剪力			

9.1.2.1 直桿抗拉

從圖 9. 7 橫接-不共平面之直桿 中，紅圈起來的竹桿件，稱為橫接-共平面的直桿。

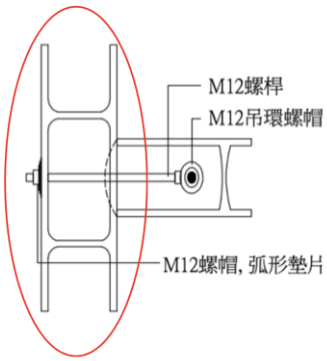


圖 9. 7 橫接-不共平面之直桿

本計畫對此直桿之螺桿進行抗拉試驗，其示意圖以及試驗圖如圖 9. 8 與圖 9. 9。接合強度與接合勁度計算公式如下：

$$F_{max} = F_{ult} \tag{9.5}$$

1123425

$$K = \frac{F_{60} - F_{20}}{\Delta_{60} - \Delta_{20}} \tag{9.6}$$

其中

F_{ult}： 最大載重強度

F_{60}： 最大載重強度的 60%

F_{20}： 最大載重強度的 20%

Δ_{60}： 最大載重強度 60%的位移量

Δ_{20}： 最大載重強度 20%的位移量

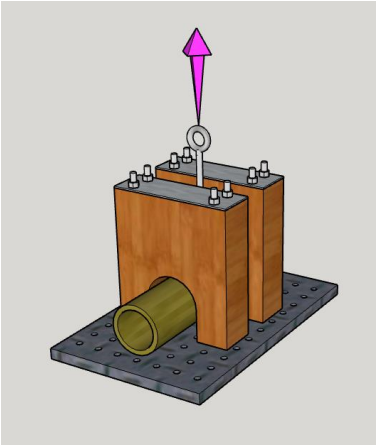


圖 9. 8 橫接-共平面之直桿抗拉示意圖

圖 9. 9 橫接-共平面之直桿抗拉試驗

此類型試驗中，每種樣式各有三組試體，表 9. 9 為試驗結果，表 9. 10 為試體破壞後的照片。其接合強度與接合勁度計算方式與 9.1.1.2 節之計算方式相同。

1123425

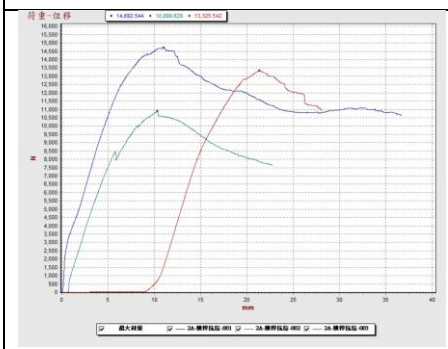
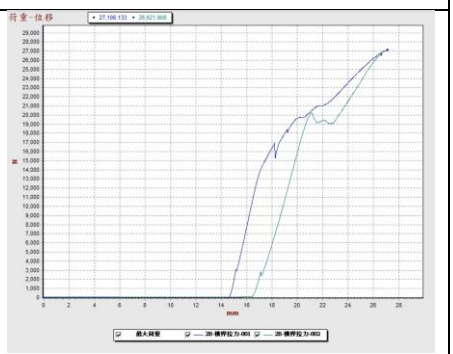
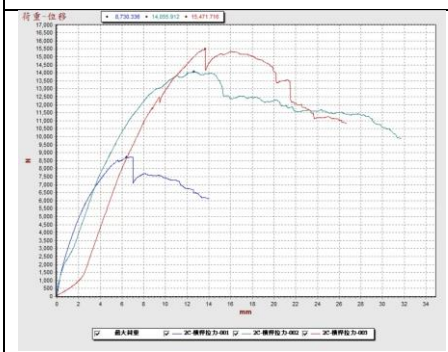
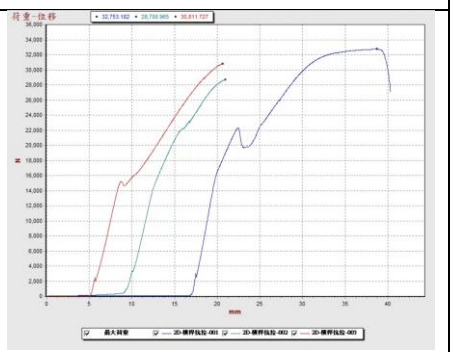
表 9.9 橫接-共平面之直桿抗拉試驗結果

	編號	位移量 (mm)	接合強度 F_{max} (kN)	勁度 K (kN/m)	破壞行為
2A-螺栓-無填充	**1**	11.0	14.7	1701	竹管裂開
	2	10.4	10.9	1631	竹管裂開
	3	21.3	13.3	1689	竹管裂開
	平均值	**14.2**	**13.0**	**1673**	
2-螺栓-無收縮混凝土補充	**1**	27.1	27.1	6311	竹管裂開
	2	26.6	26.6	5070	竹管裂開
	3	33.1	31.3	5641	螺桿斷裂
	平均值	**28.9**	**28.4**	**5674**	
2C-螺栓-玻璃纖維圍束	**1**	6.44	8.73	1988	竹管裂開
	2	12.6	14.1	1766	竹管裂開
	3	13.7	15.5	1806	竹管裂開
	平均值	**10.9**	**12.8**	**1853**	
2D-螺栓-無收縮混凝土+玻璃纖維圍束	**1**	38.8	32.8	5417	螺桿斷裂
	2	21.0	28.7	4085	竹管裂開
	3	20.7	30.8	4859	螺桿斷裂
	平均值	**26.8**	**30.8**	**4787**	

表 9. 10 橫接-共平面直桿抗拉試驗

竹管裂開	螺桿斷裂
	

表 9. 11 橫接-共平面直桿抗拉荷重-位移圖

無填充	無收縮混凝土補充
	
玻璃纖維圍束	玻璃纖維圍束＋無收縮混凝土
	

從破壞行為來看，無混凝土的試體會因拉力關係導致竹管破裂，含混凝土的試體因複合強度過大，螺桿撐不住抗拉行為導致斷裂，而從表 9. 11 可看出有無收縮混凝土的曲線大多都達到最大強度即破壞，此為螺桿斷裂情形。

1123425

9.1.2.2 橫桿抗拉

紅色圈起的部分為橫接-共平面接合中的橫桿。

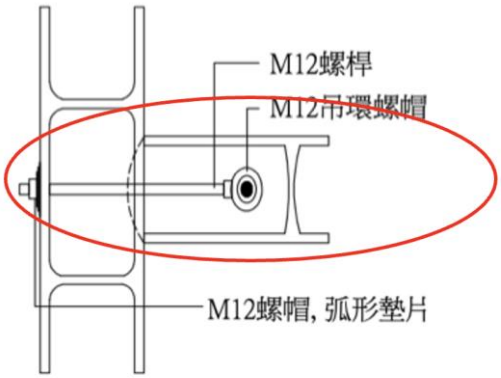


圖 9. 10 橫接-共平面之橫桿

本計畫對此橫桿之螺桿進行抗拉試驗，為容易進行試驗，本計畫採用對稱的方式進行，其示意圖以及試驗圖如圖 9. 11 與圖 9. 12。接合強度與接合勁度計算公式如下：

$$F_{max} = F_{ult} \tag{9.7}$$

$$K = \frac{F_{60} - F_{20}}{\Delta_{60} - \Delta_{20}} \tag{9.8}$$

其中

F_{ult}： 最大載重強度

F_{60}： 最大載重強度的 60%

F_{20}： 最大載重強度的 20%

Δ_{60}： 最大載重強度 60%對應的位移量

Δ_{20}： 最大載重強度 20%對應的位移量

1123425

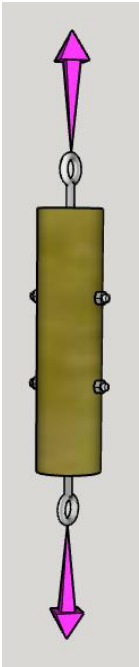


圖 9. 11 橫接-共平面橫桿抗拉試驗示意圖

圖 9. 12 橫接-共平面橫桿抗拉試驗

此類型試驗中，每種樣式各有三組試體，表 9. 12 為試驗結果，表 9. 13 為試體破壞後的照片。其接合強度與接合勁度計算方式與 9.1.1.2 節之計算方式相同。

表 9. 12 橫接-不共平面橫桿抗拉結果

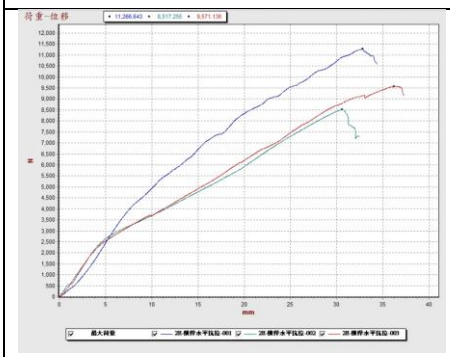
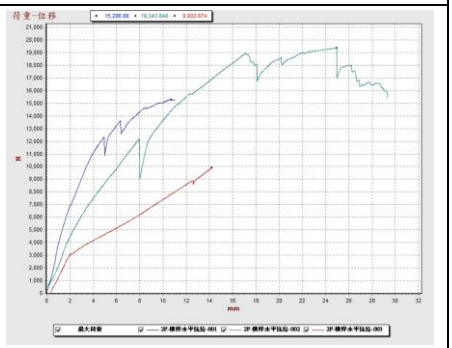
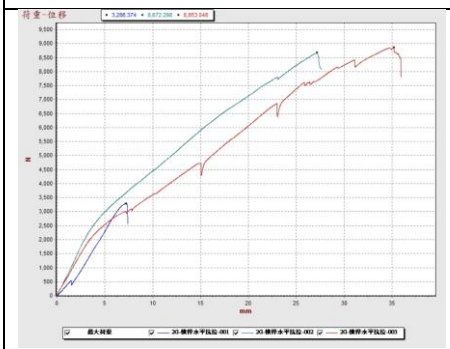
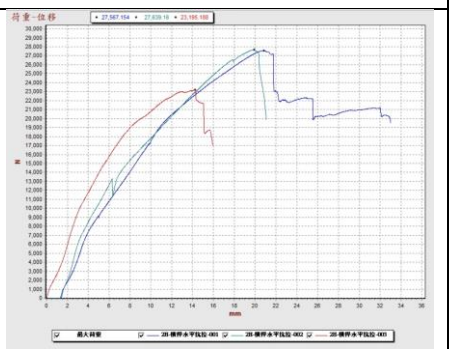
	編號	位移量 (mm)	接合強度 F_{max} (kN)	勁度 K (kN/m)	破壞行為
2E-橫桿抗拉-無填充	**1**	32.8	11.3	328	竹管裂開
	2	30.6	8.52	213	內部螺桿斷裂
	3	36.2	9.57	244	竹管裂開
	平均值	**33.2**	**9.79**	**261**	
2F-橫桿抗拉-無收縮混凝土補充	**1**	10.7	15.3	2667	竹管裂開
	2	25.0	19.3	1314	竹管裂開
	3	14.2	9.90	531	竹管裂開
	平均值	**16.6**	**14.8**	**1504**	
2G-橫桿抗拉-玻璃纖維圍束	**1**	7.24	3.29	563	竹管裂開
	2	27.2	8.67	273	竹管裂開
	3	35.2	8.85	248	竹管裂開
	平均值	**23.2**	**6.94**	**361**	
2H-橫桿抗拉-無收縮混凝土+玻璃纖維圍束	**1**	20.9	27.6	1685	竹管裂開
	2	19.9	27.6	1704	竹管裂開
	3	14.3	23.2	1906	竹管裂開
	平均值	**18.4**	**26.1**	**1765**	

表 9. 13 橫接-共平面橫桿抗拉破壞行為

竹管裂開	內部螺桿斷裂
	

1123425

表 9. 14 橫接-共平面橫桿抗拉荷重-位移圖

無填充	無收縮混凝土補充
	
玻璃纖維圍束	玻璃纖維圍束＋無收縮混凝土
	

橫桿抗拉試驗中，大多破壞都是螺桿造成竹桿跟內部混凝土的破壞，只有一個試體中間的螺桿被拉斷，在表 9. 14 中，玻璃纖維圍束的荷重位移圖中，有一個試體可能因製作上不夠完善，力量上去沒多久就產生破壞，但在斜率上，與其他兩者相差不大。

9.1.2.3 橫桿-共平面抗剪

本計畫對此橫接-共平面接合進行抗剪試驗，為容易進行試驗，本計畫採用對稱的方式進行，其試驗圖如圖 9. 13。接合強度與接合勁度計算公式如下：

$$F_{max} = F_{ult} \tag{9.9}$$

$$K = \frac{F_{60} - F_{20}}{\Delta_{60} - \Delta_{20}} \tag{9.10}$$

其中

F_{ult}： 最大載重強度

1123425

F_{60}：　最大載重強度的 60%

F_{20}：　最大載重強度的 20%

Δ_{60}：　最大載重強度 60%對應的位移量

Δ_{20}：　最大載重強度 20%對應的位移量

圖 9. 13 橫接-共平面接合抗剪試驗

此類型試驗中，各樣式有三組試體，表 9. 15 為試驗結果，表 9. 16 為試體破壞後的照片。其接合強度與接合勁度計算方式與 9.1.1.2 節之計算方式相同。

表 9. 15 橫接-共平面接合抗剪試驗結果

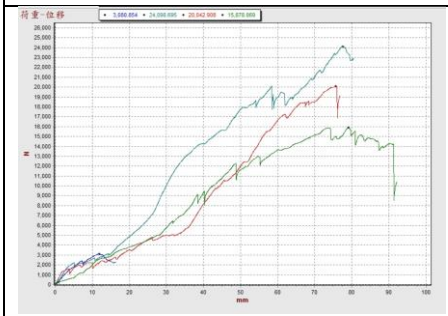
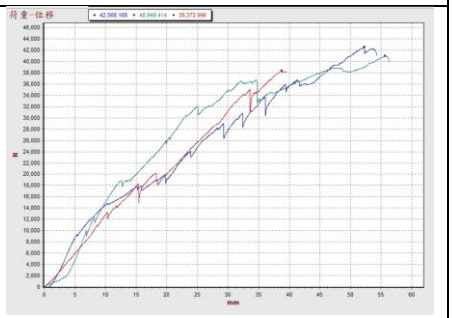
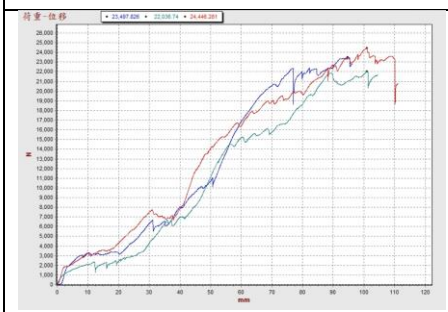
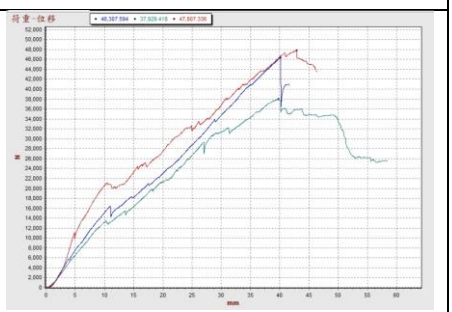
	編號	位移量 (mm)	接合強度 F_{max} (kN)	勁度 K (kN/m)	破壞行為
2E-橫桿抗拉-無填充	**1**	77.7	24.1	509	橫接竹管沉陷
	2	75.7	20.0	433	橫接竹管沉陷
	3	79.2	15.9	293	橫接竹管沉陷
	平均值	77.5	20.0	**412**	
2F-橫桿抗拉-無收縮混凝土補充	**1**	52.3	42.6	1573	竹管破壞
	2	55.6	41.0	1369	竹管破壞
	3	38.8	38.4	972	竹管破壞
	平均值	48.9	40.6	**1304**	
2G-橫桿抗拉-玻璃纖維圍束	**1**	94.1	23.5	430	橫接竹管沉陷
	2	101	22.0	385	橫接竹管沉陷
	3	101	24.5	325	竹管破壞
	平均值	98.7	23.3	**380**	
2H-橫桿抗拉-無收縮混凝土+玻璃纖維圍束	**1**	40.2	46.3	1108	竹管破壞
	2	39.8	37.9	973	竹管破壞
	3	42.9	47.8	952	竹管破壞
	平均值	41.0	44.0	**1011**	

表 9. 16 橫接-共平面抗剪破壞行為

竹管破壞	橫接竹管沉陷
	

1123425

表 9. 17 橫接-共平面抗剪荷重-位移圖

無填充	無收縮混凝土補充
	
玻璃纖維圍束	玻璃纖維圍束＋無收縮混凝土
	

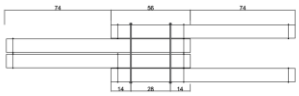
在抗剪試驗中，竹管內有填充混凝土的試體，其破壞行為都是螺桿斷裂導致竹管破壞，無填充混凝土的試體則是橫接竹管沉陷。

9.1.3 續接-不共平面

續接-不共平面接合為兩根竹管成一直線的方式綁紮或用螺栓接合，但這兩根竹子並不在同一平面上，依受力方式又分為面內壓力與面內彎矩受力兩種，其中各有六種不同的接合方式，分別是螺栓-無填充、螺栓-混凝土填充、玻璃纖維圍束、玻璃纖維-混凝土填充、鐵絲綁紮以及尼龍繩綁紮共六種接合，如表 9. 18。

1123425

表 9. 18 續接-不共平面

	圖示	分類項目	敘述	接合樣式	試驗組合	試體總數
第一種接合		用途	續接	1×4(螺栓：無填充+三種補強)+2×1(兩種綁紮：無填充)=6	6×2(兩種加載方式)=12	6×3(抗彎試驗各 3 個試體)＋6×2× 3 (抗壓試驗一次進行一組 2 個試體，共進行 3 次試驗)=54
		幾何	不共平面			
		構造方式	螺栓(無填充/填充/圍束/填圍)；鐵絲綁紮(無填充)；尼龍繩綁紮(無填充)			
		加載方式	壓力(面內)/彎矩(面內)			

9.1.3.1 續接-不共平面抗彎

在抗彎試驗中，為了容易進行抗彎試驗，本計畫將試體製作成對稱形式，而施力點位於中央交界處外，如圖 9. 14 與圖 9. 15，其接合彎矩以及接合勁度公式如下:

$$M_{ult} = \frac{F_{ult} \times a}{2} \tag{9.11}$$

$$K_{\theta} = \frac{M_{60} - M_{20}}{\theta_{60} - \theta_{20}} \tag{9.12}$$

$$\theta_{60} = \text{atan}\left(\frac{\Delta_{60}}{a}\right), \theta_{20} = \text{atan}\left(\frac{\Delta_{20}}{\text{a}}\right) \tag{9.13}$$

其中

F_{ult}： 最大載重強度 (N)

a： 支承端到施力點的距離 (mm)

M_{60}： 最大彎矩的 60%

M_{20}： 最大彎矩的 20%

θ_{60}： 最大彎矩 60%的角度

θ_{20}： 最大彎矩 20%的角度

Δ_{60}： 最大載重強度 60%的位移量

Δ_{20}： 最大載重強度 20%的位移量

1123425

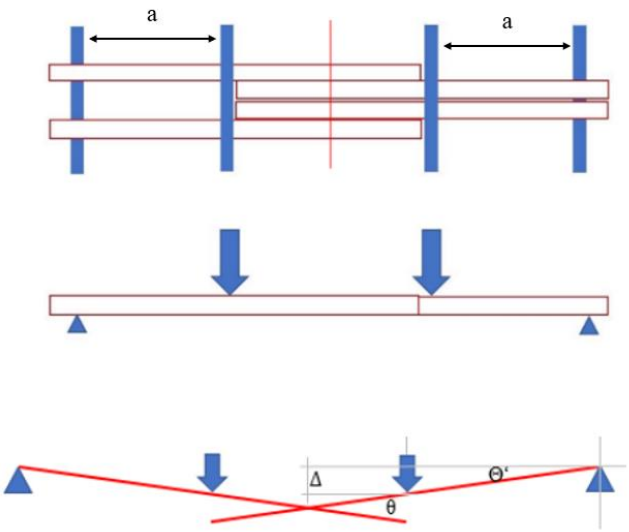


圖 9. 14 續接-不共平面抗彎試驗示意圖

圖 9. 15 續接-不共平面抗彎試驗

以螺栓-無綁紮的第一個試體來舉例，最大強度為 10214 N，套公式(9.11)，最大彎矩也就是接合彎矩為 3064295 N-mm，最大荷重的 60%為 6190 N，其位移量為 20 mm；最大荷重的 20%為 2064 N，其對應位移量為 9 mm；60%荷重所算出之 60%彎矩為 1856893 N-mm，60%荷重的旋轉角θ_{60}為 0.03 rad，20%荷重計算出之彎矩為 619114N-mm，20%荷重的旋轉角θ_{20}為 0.02 rad，透過公式(9.12)可求得K_θ為 67557146 N-mm/rad 或 67.6 kN-m/rad，以此類推求得全部接合彎矩與接合勁度，如表 9. 19，破壞行為如表 9. 20。

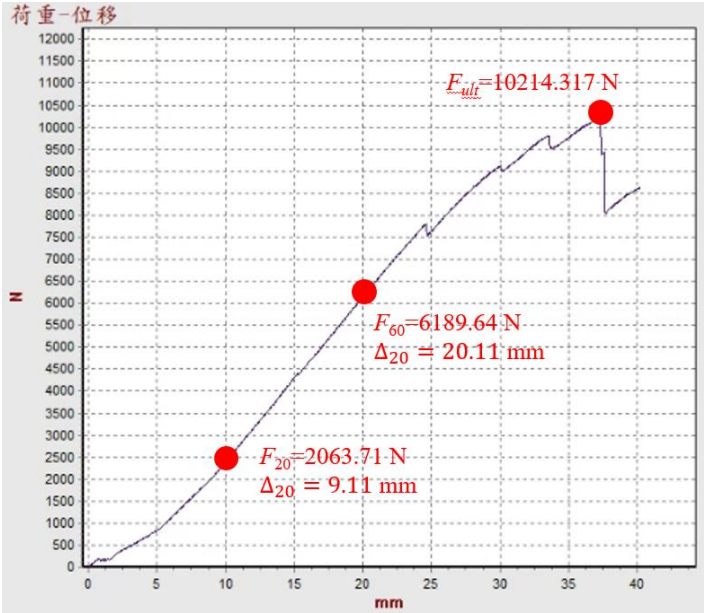


圖 9. 16 荷重位移圖

1123425

表 9. 19 續接-不共平面抗彎試驗結果

		位移量 (mm)	最大彎矩 M_{ult} (kN-m)	角度 θ(rad)	勁度 K (kN-m/rad)	破壞行為
3A-抗彎 螺栓-無填充	1	37.1	3.06	0.06	67.6	竹管破壞
	2	48.6	2.72	0.08	48.0	竹管破壞
	3	39.1	3.09	0.07	56.2	竹管破壞
	平均值	**41.6**	**2.96**	**0.07**	**56.6**	
3B 抗彎 螺栓-無收縮混凝土填充	1	32.0	3.00	0.05	64.3	竹管破壞
	2	30.7	3.57	0.05	83.0	竹管破壞
	3	53.3	4.05	0.09	83.3	竹管破壞
	平均值	**38.7**	**3.54**	**0.06**	**76.8**	
3C-抗彎 螺栓-玻璃纖維圍束	1	54.2	4.85	0.09	78.7	竹管破壞
	2	56.4	4.14	0.09	67.1	竹管破壞
	3	49.4	3.86	0.08	62.1	竹管破壞
	平均值	**53.3**	**4.28**	**0.09**	**69.3**	
3D-抗彎 螺栓-無收縮 混凝土填充+玻璃纖維圍束	1	45.8	4.99	0.08	87.0	竹管破壞
	2	42.4	5.57	0.07	98.4	竹管破壞
	3	35.3	4.26	0.06	80.0	竹管破壞
	平均值	**41.2**	**4.94**	**0.07**	**88.8**	
3E-抗彎 鐵絲綁紮	1	76.0	2.18	0.13	18.3	竹管破壞
	2	109	2.65	0.18	15.3	竹管破壞
	3	120	3.26	0.2	18.9	竹管破壞
	平均值	**102**	**2.69**	**0.17**	**17.4**	
3F-抗彎 尼龍繩綁紮	1	226	3.76	0.36	13.6	尼龍繩鬆脫+竹管破壞
	2	236	5.19	0.37	19.0	尼龍繩鬆脫+竹管破壞
	平均值	**231**	**4.48**	**0.37**	**16.3**	

表 9. 20 續接-不共平面抗彎破壞行為

竹管破壞	尼龍繩鬆脫＋竹管破壞
	

表 9. 21 續接-不共平面荷重-位移圖

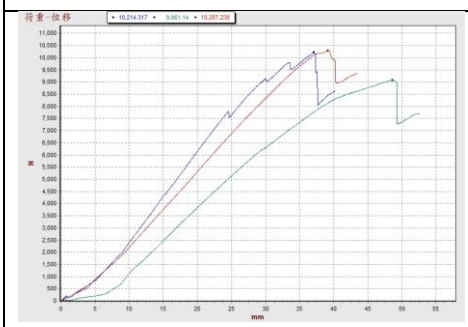
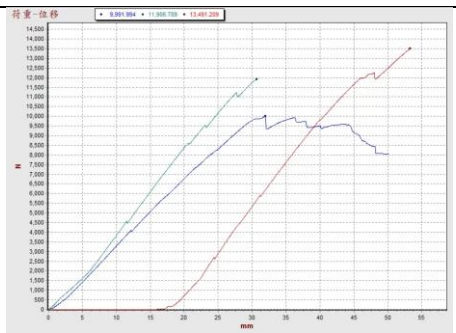
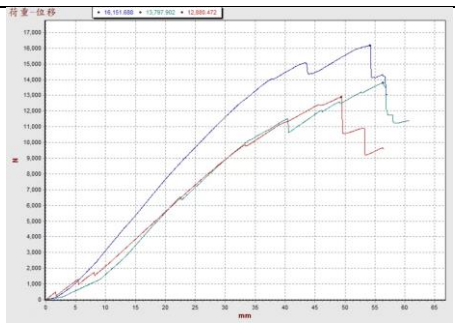
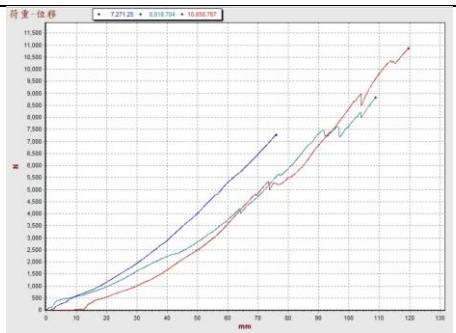
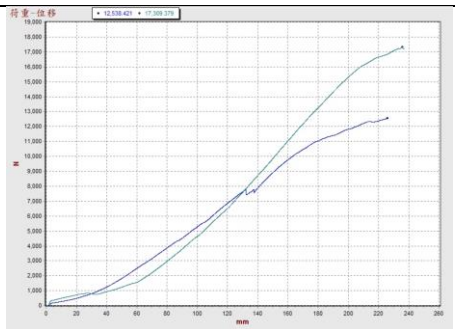
螺栓-無填充	螺栓-無收縮混凝土補充	螺栓-玻璃纖維圍束
		
螺栓-無收縮混凝土+玻璃纖維圍束	鐵絲綁紮	尼龍繩綁紮
		

表 9. 21 中，在尼龍繩綁紮中，由於尼龍繩纏繞後並無進行任何補強，使得有一組試體尚未進行試驗，尼龍繩就產生滑移，使得試驗無法進行，其餘的試體大多都是綁紮或螺栓接合造成竹管破壞。

9.1.3.2 續接-不共平面抗剪

抗剪試驗中為了讓竹管能進行試驗，此試驗如 9.1.1.1 橫接-不共平面的面內抗剪試驗一樣，採用一次兩組試體進行試驗，如圖 9. 17 與圖 9. 18，其接合公式如下:

$$F_{max} = \frac{F_{ult}}{2} \tag{9.14}$$

$$K = \frac{F_{60} - F_{20}}{\Delta_{60} - \Delta_{20}} \tag{9.15}$$

其中

F_{ult}： 最大載重強度

F_{60}： 最大載重強度的 60%

F_{20}： 最大載重強度的 20%

Δ_{60}： 最大載重強度 60%對應的位移量

Δ_{20}： 最大載重強度 20%對應的位移量

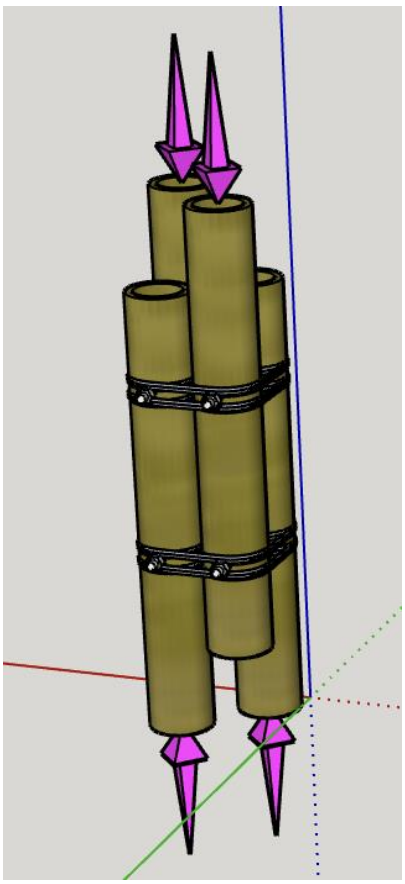


圖 9. 17 續接-不共平面抗剪試驗示意圖

1123425

圖 9. 18 續接-不共平面抗剪試驗

此類型試驗中，每種樣式各有三組試體 ，表 9. 22 為試驗結果，表 9. 23 為試體破壞後的照片。其接合強度與接合勁度計算方式與 9.1.1.2 節之計算方式相同。

表 9.22 續接-不共平面抗剪試驗結果

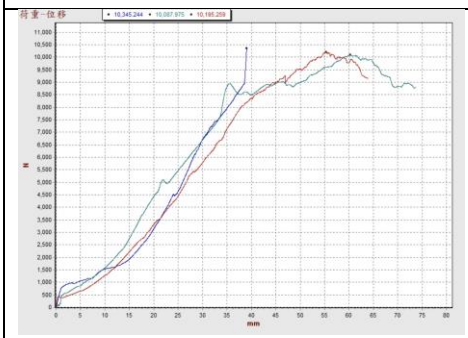
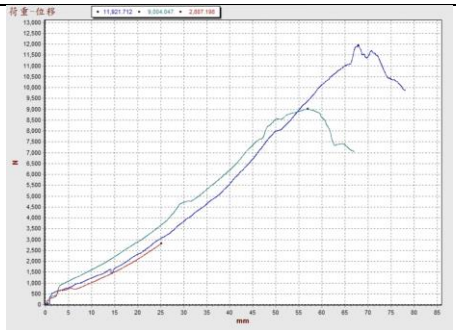
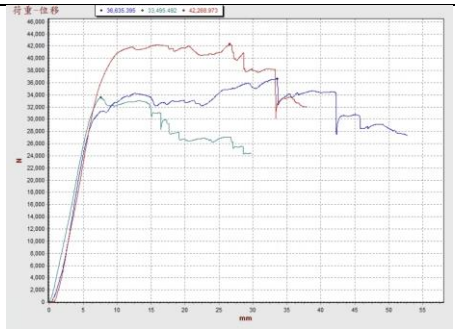
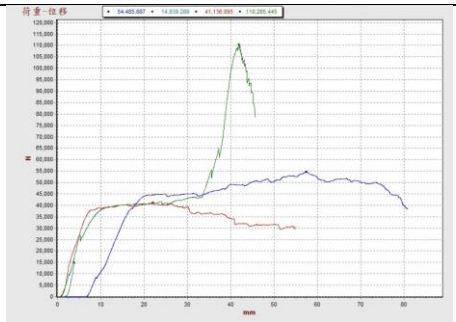
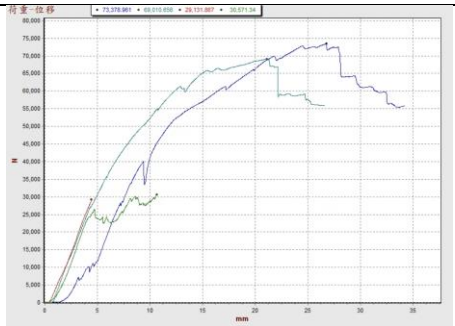
		位移量 (mm)	接合強度 F_{max} (kN)	勁度 K (kN/m)	破壞行為
3G-抗壓 鐵絲綁紮	1	39.0	5.17	323	竹管滑移
	2	60.2	5.04	253	竹管滑移
	3	55.3	5.10	245	竹管滑移
	平均值	**51.5**	**5.11**	**274**	
3H -抗壓 尼龍繩綁紮	1	67.9	5.96	194	竹管滑移
	2	57.0	4.50	155	竹管滑移
	3	25.1	1.40	105	竹管滑移
	平均值	**50.0**	**3.96**	**151**	
3I-抗壓 螺栓-無補強	1	33.6	18.3	6531	螺桿變形
	2	7.66	16.8	5456	螺桿變形
	3	26.6	22.1	5975	螺桿變形
	平均值	**22.6**	**19.1**	**5987**	
3J-抗壓 螺栓-無收縮混凝土填充	1	15.2	20.3	3394	竹管破壞
	2	11.7	25.5	7257	竹管破壞
	3	12.5	25.3	6976	竹管破壞
	平均值	**13.1**	**23.7**	**5875**	
3K-抗壓 螺栓-玻璃纖維圍束	1	57.5	27.2	4257	竹管破壞
	2	22.0	20.6	6724	竹管破壞
	3	41.9	55.1	4894	竹管破壞
	平均值	**40.5**	**34.3**	**5292**	
3L-抗壓 螺栓-無收縮混凝土填充 + 玻璃纖維圍束	1	26.8	36.7	5154	竹管破壞
	2	21.1	34.5	5109	竹管破壞
		15.1	29.9	7133	竹管破壞
	平均值	**21.0**	**33.7**	**5799**	

1123425

表 9. 23 續接-不共平面抗剪破壞行為

竹管滑移	螺桿變形	竹管裂開
		

表 9. 24 續接-不共平面抗剪試驗荷重-位移圖

螺栓-無填充	螺栓-無收縮混凝土補充	螺栓-玻璃纖維圍束
		
螺栓-無收縮混凝土+玻璃纖維圍束	鐵絲綁紮	尼龍繩綁紮
		

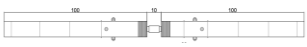
在表 9. 24 中，鐵絲綁紮有一個試體因為進行試驗時束帶鉤到鐵絲，使得強度又再度往上增加，因此不考慮後段強度。鐵絲綁紮跟尼龍繩綁紮都達到最大強度後就會滑移，所以都有很明顯的荷重沒增加，位移卻一直增加的情形。

1123425

9.1.4 續接-共平面

續接-共平面為兩根竹管在同一直線上且不分層，此種接合常以續接器進行續接，依受力方式又分為拉力與彎矩受力兩種，各受力方式皆有兩種綁紮方式，分別為螺栓綁紮，連接處有無玻璃纖維，下表為續接-共平面的資訊，見表 9. 25。此接合會分成兩種外力方式進行介紹。

表 9. 25 續接-共平面

	圖示	分類項目	敘述	接合樣式	試驗組合	試體總數
第一種接合		用途	續接	1×2(螺栓：兩種補強)=2	2×2(兩種加載方式)=4	4×3(各三個試體)=12
		幾何	共平面			
		構造方式	螺栓(填充/填圍)；			
		加載方式	拉力/彎矩			

9.1.4.1 續接共平面抗彎

續接-共平面試體為兩根裡面有混凝土填充的試體用續接器續接起來，進行抗彎試驗，如圖 9. 19 與圖 9. 20。本次試驗只討論抗彎所受的彎矩，並無討論續接器連接處所承受的剪力，第二年計畫時會再加以討論。

$$M_{ult} = \frac{F_{ult} \times a}{2} \tag{9.16}$$

其中

F_{ult}： 最大載重強度 (N)

a： 支承端到施力點的距離 (mm)

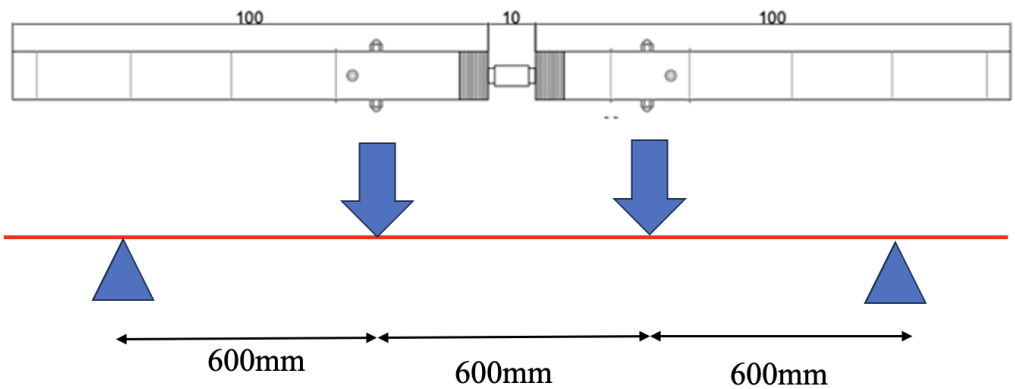


圖 9. 19 續接-共平面抗彎試驗示意圖

1123425

圖 9. 20 續接-共平面抗彎試驗

此類型試驗中，每種樣式各有三組試體，其計算方式與 9.1.3.1 節的抗彎試驗之接合彎矩計算方式相同，在此不再贅述。

表 9. 26 續接-共平面抗彎試驗結果

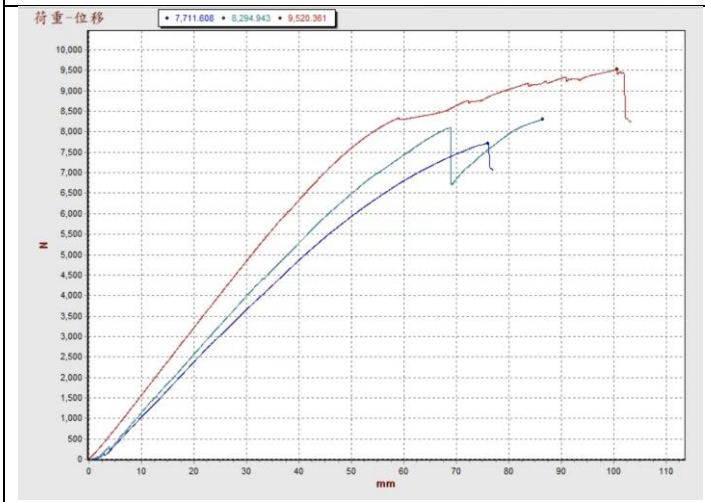
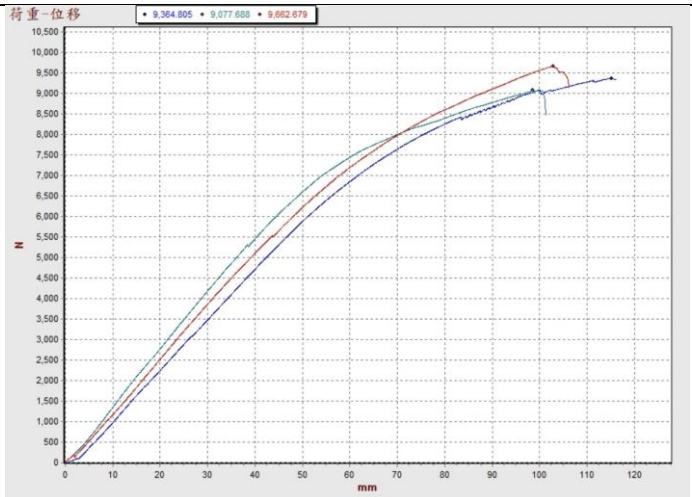
	No.	位移量 (mm)	支承端到施力點距離 a (mm)	最大彎矩 M_{ult} (kN-m)
有玻璃纖維	**1**	115	600	28.1
	2	98.6	600	27.2
	3	103	600	29.0
	平均值	**106**	**600**	28.1
無玻璃纖維	**1**	76.1	600	23.1
	2	86.4	600	24.9
	3	101	600	28.6
	平均值	**87.7**	**600**	25.5

表 9. 27 續接-共平面抗彎破壞行為

竹管破壞


1123425

表 9. 28 續接-共平面荷重-位移圖

有玻璃纖維	無玻璃纖維
	

在此抗彎試驗中，所有試體都在連接處端產生破壞，荷重-位移圖上各個曲線趨勢都近似，在明年度計畫時，會將中間兩個施力點的間距縮短以觀察剪力對接合的影響 。

9.1.4.2 續接-共平面抗拉

續接-共平面接合的抗拉試體，中間並不是用續接器續接起來，而是將鋼棒及螺栓串接起來，裡面再填充混凝土，交界處分成無玻璃纖維補強+螺帽切除以及有玻璃纖維補強+保留螺帽兩種，其試驗示意圖如圖，其接合強度與勁度計算公式如下:

$$F_{max} = F_{ult} \tag{9.17}$$

$$K = \frac{F_{60} - F_{20}}{\Delta_{60} - \Delta_{20}} \tag{9.18}$$

其中

F_{ult}： 最大載重強度

F_{60}： 最大載重強度的 60%

F_{20}： 最大載重強度的 20%

Δ_{60}： 最大載重強度 60%對應的位移量

Δ_{20}： 最大載重強度 20%對應的位移量

1123425

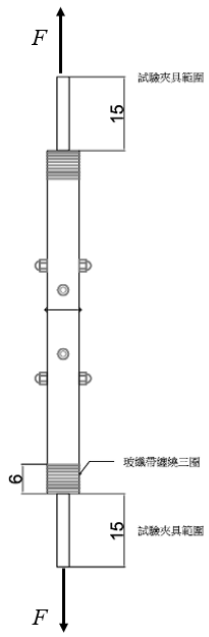


圖 9. 21 續接-共平面抗拉試驗示意圖

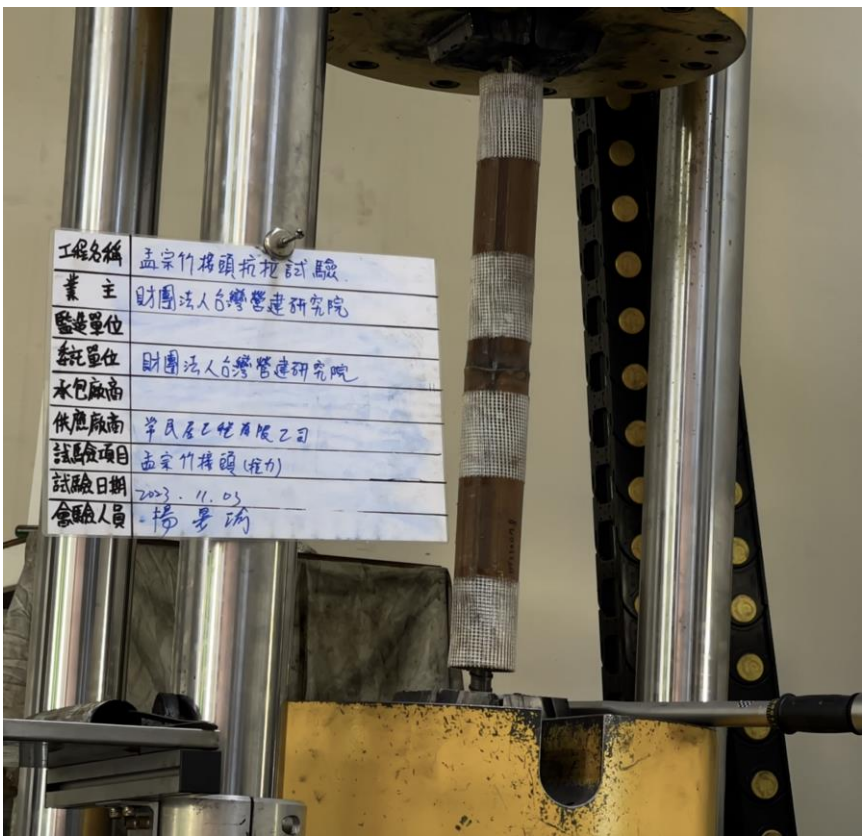


圖 9. 22 續接-共平面抗拉試驗

此類型試驗中，每種樣式各有三組試體，其計算方式與 9.1.1.2 節試驗之接合強度與勁度計算方式相同，在此不再贅述。

1123425

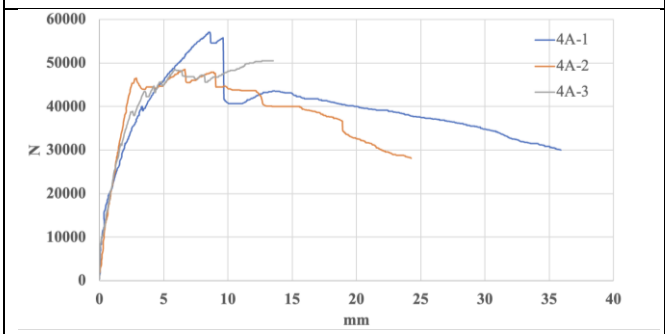
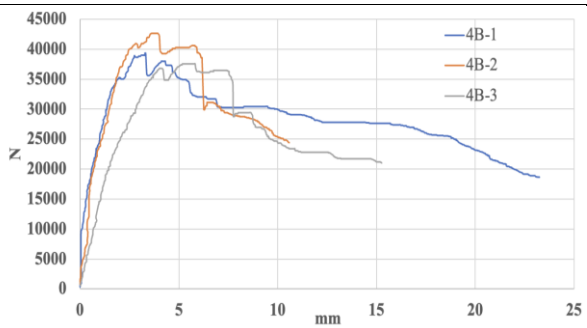
表 9. 29 續接-共平面抗拉試驗結果

	編號	位移量 (mm)	接合強度 F_{max} (kN)	勁度 K (kN/m)	破壞行為
無玻璃纖維圍束+螺帽保留	1	8.49	58.1	6792	竹管裂開
	2	6.64	49.5	17882	竹管裂開
	3	12.7	54.2	14914	竹管裂開
	平均值	**9.26**	**54.0**	**13196**	
有玻璃纖維圍束+羅帽切除	1	3.29	39.3	13479	竹管裂開
	2	3.61	42.6	12384	竹管裂開
	3	5.18	27.7	7993	竹管裂開
	平均值	**4.02**	**36.6**	**11285**	

表 9. 30 續接-共平面抗拉試驗破壞行為

竹管破壞


表 9. 31 續接-共平面抗拉荷重-位移圖

無玻璃纖維+螺帽保留	有玻璃纖維+螺帽切除
	

從荷重-位移圖中，兩組試驗三個試體在彈性範圍段相差不大，無玻璃纖維圍束+螺帽保留的試體其強度約含圍束+螺帽切除試體的 1.4 倍，第二年計畫時玻璃纖維圍束會增加螺帽進行試驗，並與無玻璃纖維+保留螺帽的互相比較。

9.2 特殊接合

前面章節介紹完畢一班接合的接合試驗，本章節主要是針對特殊接合的竹桿件接合進行分析，在本計畫中，竹桿件接合分成三種，支承端特殊接合、竹包管接合與竹片接合，下面分別對此三種接合試驗進行分析。

9.2.1 鋼索預拉螺栓接合

鋼索預拉螺栓接合主要用於竹構造與混凝土基礎之接合或其他鉸接點。該接合先用鋼索拉住抗剪螺桿於竹管外側之兩端，螺旋纏繞半圈後重新收攏於竹管內並與竹管底部之抗拉螺桿接合，並利用該螺紋旋緊鋼索產生圍束效果。此接合以抗拉試驗進行，其示意圖 (圖 9. 23) 與計算公式如下:

$$F_{max} = F_{ult} \tag{9.17}$$

$$K = \frac{F_{60} - F_{20}}{\Delta_{60} - \Delta_{20}} \tag{9.18}$$

其中

F_{ult}： 最大載重強度

F_{60}： 最大載重強度的 60%

F_{20}： 最大載重強度的 20%

Δ_{60}： 最大載重強度 60%對應的位移量

Δ_{20}： 最大載重強度 20%對應的位移量

1123425

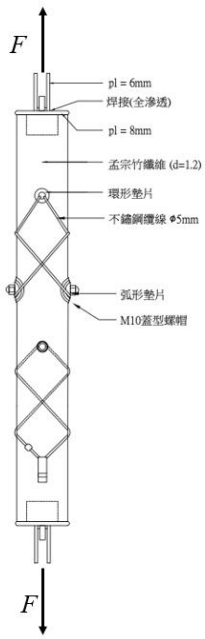


圖 9. 23 鋼索預拉螺栓接合抗拉試驗示意圖

圖 9. 24 鋼索預拉螺栓接合抗拉試驗

本試驗共有三組試體，其計算方式與 9.1.1.2 節試驗之接合強度與勁度計算方式相同，在此不再贅述。

1123425

表 9. 32 鋼索預拉螺栓接合抗拉試驗結果

	編號	位移量 (mm)	接合強度 F_{max} (kN)	勁度 K (kN/m)	破壞行為
鋼索預拉螺栓接合	**1**	49.8	21.7	621	鋼索斷裂
	2	38.2	16.1	581	儀器強制停止
	3	57.3	29.3	702	螺桿斷裂
	平均值	**48.4**	**22.4**	**635**	

表 9. 33 鋼索預拉螺栓接合抗拉試驗破壞行為

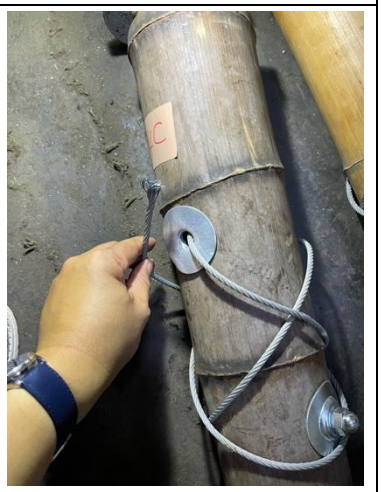
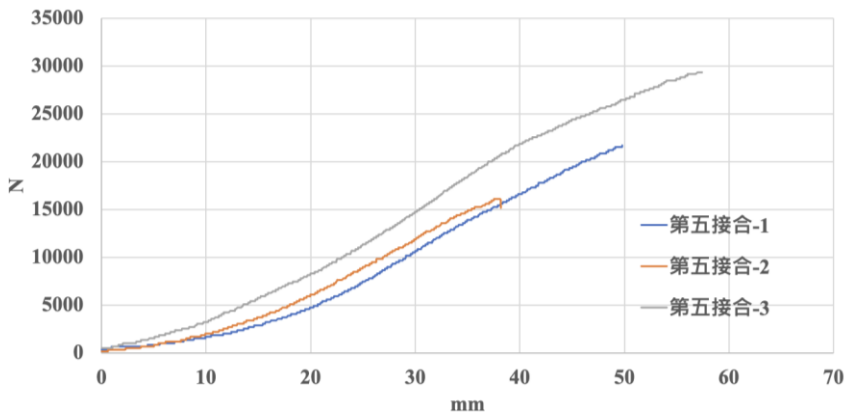
螺桿斷裂	鋼索斷裂
	

表 9. 34 鋼索預拉螺栓接合之荷重-位移圖

支承端特殊接合



本次試驗由於試體長度過長，再進行第二組試驗時，拉到儀器最高的位置還尚未破壞，故該次試驗失敗，第三次試驗為拉斷螺桿，與第一次的鋼索斷裂不一樣，此接合試驗會於第二年計畫時，在大量進行並討論。

9.2.2 竹包管接合

竹包管接合適用於兩根共平面竹管與另一根相互垂直竹管交會之接點，將共平面的兩根竹管改以單根竹管加工後包覆於另一根不共平面的竹管外側即構成竹包管接合，受包覆的水平竹管構材以下以「內管」稱之，經刨切處理後包覆於外側的竹材部分以下稱「外覆竹材」。圖 9. 25 為試體配置圖，以萬能試驗機施加垂直集中力於試體懸臂端，施力處安裝吊繩分散應力以防止竹管於加載處直接開裂，底端以套筒束制，並於套筒與竹管之間的縫隙填充墊片以確保轉角發生在竹包管接合處。

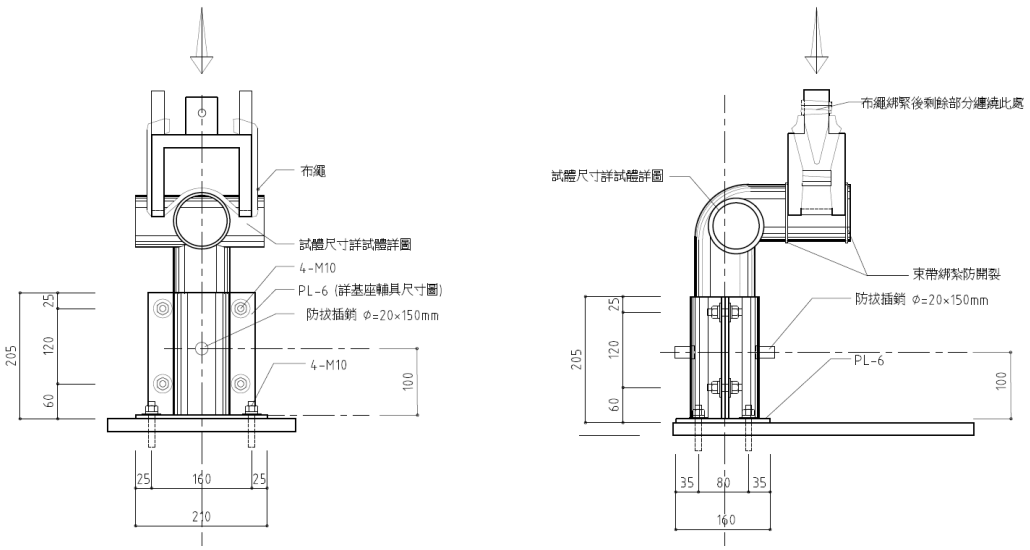


圖 9. 25 竹包管試體配置圖

試體分為 8 種類型如圖 9. 26，分類方式包括有無圍束(N/C)、有無 RC 灌注補強(1/0)以及竹種使用桂竹(K)或孟宗竹(M)，每種類型施做兩次共 16 組試體。

1123425

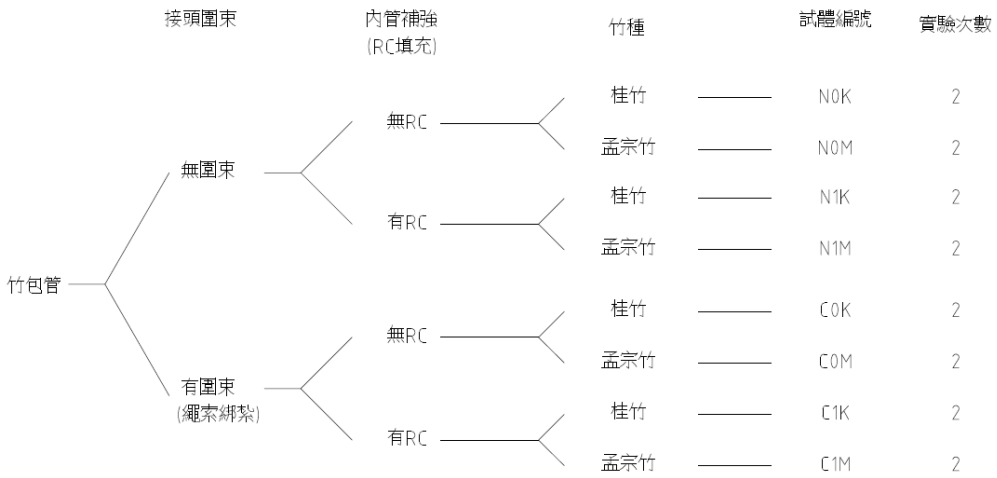


圖 9. 26 竹包管試體規劃樹狀圖

表 9. 35 與表 9. 36 分別為試驗彎矩-轉角關係曲線(以下簡稱 M-θ 曲線)及試驗結果，實驗加載力量 F、加載處垂直位移 Δ 如圖 9. 27 所示，其中 M-θ 曲線與實驗結果的 M、θ、勁度 K 計算如下：

$$M = K\theta \tag{9.19}$$

$$\theta = \frac{\Delta}{L} \tag{9.20}$$

其中

M： 接合所受彎矩

θ： 接合轉角

$$M_{max} = M_{ult} \tag{9.21}$$

$$K = \frac{M_{60} - M_{20}}{\theta_{60} - \theta_{20}} \tag{9.22}$$

其中

M_{ult}： 最大抗彎強度

M_{60}： 最大抗彎強度的 60%

M_{20}： 最大抗彎強度的 20%

θ_{60}： 60%最大抗彎強度所對應的轉角

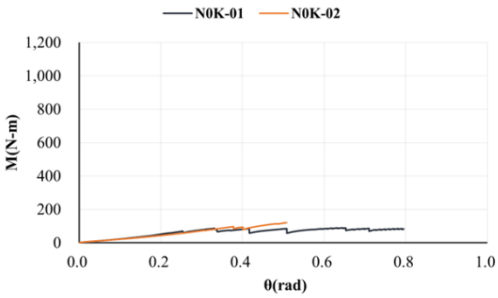
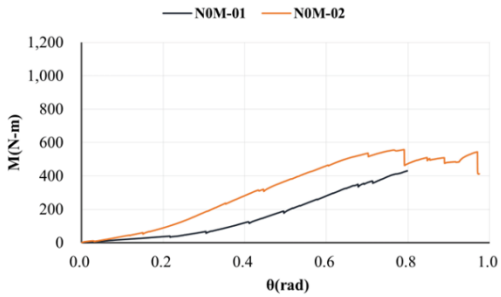
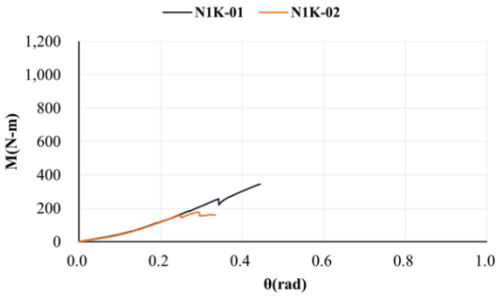
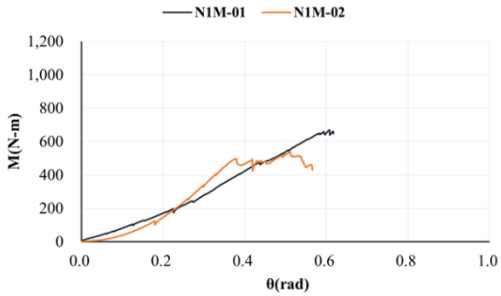
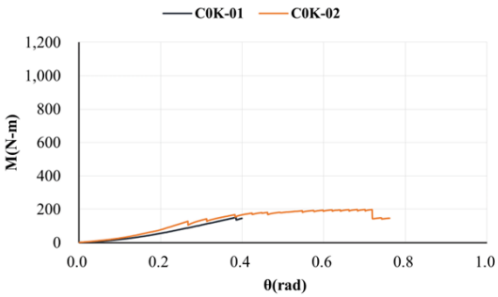
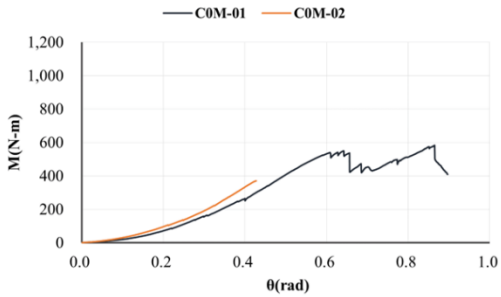
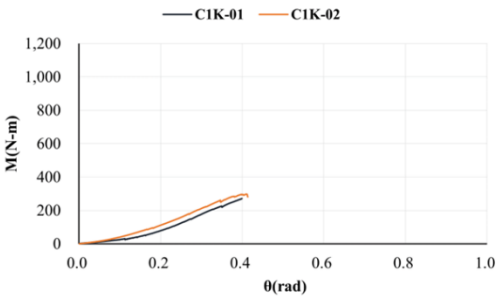
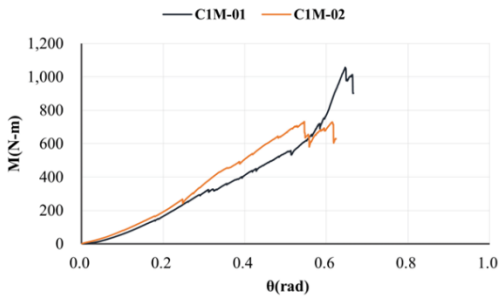
θ_{20}： 20%最大載重強度所對應的轉角

所有試體於加載初期剛度較低，接合轉角約 0.08 rad 時，勁度會隨著接合處的接觸趨於緊密而上升，多數試體於轉角達 0.112 rad 後開始出現零星聲響，推測是外管因刨切加工而影響部分纖維的強度，使該處在較小的位移量時就產生

1123425

局部纖維斷裂，當轉角達 0.16 rad 後，依各組試體變因而產生不同行為，最終破壞模式有兩種，分別為內管壓潰及外覆竹材斷裂。

表 9. 35 竹包管接合抗彎試驗 M-θ 關係曲線

	桂竹	孟宗竹
無綁紮-無補強 (N0K/N0M)		
無綁紮-混凝土 (N1K/N1M)		
有綁紮-無補強 (C0K/C0M)		
有綁紮-混凝土 (C1K/C1M)		

1123425

表 9. 36 竹包管接合抗彎試驗試驗結果

		編號	位移量 Δ (mm)	最大強度 F_{ult} (N)	接合處彎矩 M_{ult} (N-m)	勁度 K (N-m)
桂竹	無綁紮-無補強 (N0K)	1	80.8	710.5	69.0	242.83
		2	63.6	965.3	120.7	262.30
		平均值	**72.2**	**837.9**	**94.8**	**252.57**
	無綁紮-混凝土 (N1K)	1	55.5	2752.6	344.1	882.24
		2	36.5	1429.3	178.7	717.08
		平均值	**46.0**	**2091.0**	**261.4**	**799.66**
	有綁紮-無補強 (C0K)	1	48.1	1215.9	152.5	453.87
		2	85.3	1592.3	199.0	630.19
		平均值	**66.7**	**1404.1**	**175.8**	**542.03**
	有綁紮-混凝土 (C1K)	1	52.3	2273.8	271.3	901.83
		2	51.3	2389.6	298.7	843.42
		平均值	**51.8**	**2331.7**	**285.0**	**872.62**
孟宗竹	無綁紮-無補強 (N0M)	1	99.8	3433.0	146.6	309.74
		2	98.8	4461.2	557.7	945.17
		平均值	**99.3**	**3947.1**	**352.1**	**627.46**
	無綁紮-混凝土 (N1M)	1	76.0	5362.9	474.9	1006.87
		2	63.9	4305.9	538.2	1722.34
		平均值	**70.0**	**4834.4**	**506.6**	**1364.61**
	有綁紮-無補強 (C0M)	1	108.1	4672.8	323.7	878.85
		2	53.5	2965.1	370.6	962.68
		平均值	**80.8**	**3818.9**	**347.2**	**920.76**
	有綁紮-混凝土 (C1M)	1	80.7	8451.3	469.6	1304.55
		2	68.2	5857.4	732.2	1594.58
		平均值	**74.5**	**7154.4**	**600.9**	**1449.56**

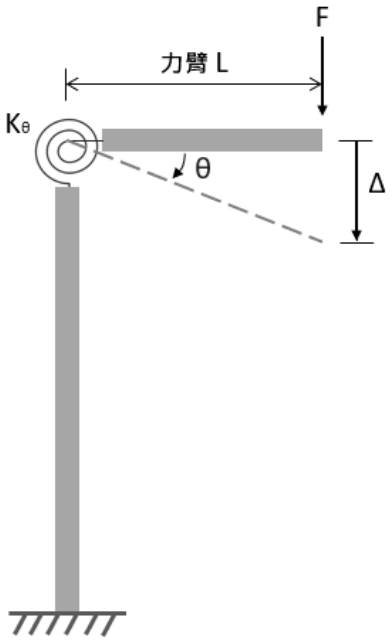


圖 9. 27 竹包管抗彎接合試體加載示意圖

9.2.2.1 繩索綁紮之影響

圖 9. 28 為繩索綁紮試體照片，比較 N0K、C0K 試體與 N0M、C0M 試體，桂竹經繩索綁紮後強度提升 85.4%，孟宗竹有無繩索綁紮在強度上無明顯差異，由實驗加載過程可看出，NOK 試體在轉角超過 0.24 rad 之後內管開始破裂，每增加一道裂痕就會伴隨強度突然下降，直到最終產生壓潰破壞，C0K 試體同樣會在轉角超過 0.24 rad 之後發生內管破裂，但破裂後力量立即轉稼至圍束繩索上，對應 M-θ 曲線趨勢，C0K 試體於內管破裂後伴隨的強度下降幅度明顯較小，且強度回升較快，即使裂縫數量逐漸增加，內管仍被繩索束制而大致維持圓管形狀而不致壓潰，因此強度大幅提升。孟宗竹試體由於管壁較厚，內管於加載前期只會產生小裂紋，直到轉角超過 0.4 rad 以上才開始出現明顯開裂，此時面內外管的垂直及水平部分已經開始產生裂縫，因此 N0M 與 C0M 試體在強度其勁度的表現沒有顯著差異，儘管強度及勁度差異不大，由圖 9. 29 仍可看出繩索綁紮有助於維持內管於開裂後保持圓管狀而非直接壓潰。

1123425

圖 9. 28 繩索綁紮試體照片

圖 9. 29 無圍束及有圍束竹包管於受包覆竹材開裂後之變形狀況

9.2.2.2 RC 灌注補強之影響

圖 9. 30 為 RC 灌注補強試體照片，比較 N0K、N1K 及 N0M、N1M 試體，有 RC 灌注補強的試體強度及勁度均有明顯提升，N1K 較 N0K 提升 175%強度及 217%勁度，N1M 則較 N0M 提升 43.9%強度及 117%勁度，無 RC 試體 M-θ 曲線在內管破裂後趨勢呈現水平發展，有 RC 試體則是維持線性直到外側包覆竹材斷裂或沿纖維方向劈裂而產生脆性破壞，圖 9. 31 為 N1K 試體之破壞照片。

圖 9. 30 RC 灌注補強之竹包管試體

圖 9. 31 N1K 試體破壞情形

9.2.2.3 桂竹與孟宗竹之行為差異

桂竹與孟宗竹因材種差異導致尺寸不易控制在相近範圍，因此不直接比較桂竹與孟宗竹竹包管接合的性能差異，僅列出實驗時觀察到的行為差異進行比對。孟宗竹試體因管壁較厚，內管承壓能力也較桂竹佳，因此無 RC 灌注的孟宗竹試體發生內管破裂時的位移量通常較桂竹試體大，且在壓潰發生前外覆竹材通常已經開始產生局部破裂或纖維斷裂。

9.2.3 竹片接合

竹片接合試體如圖 9. 32 所示，試體由兩片竹片藉單顆 M10 螺栓鎖固，上下兩端與萬能試驗機連接後對試體施加拉力，為測出接合處完整力量-位移曲線，試體與試驗機連接處之螺栓採用較大的邊距避免竹材劈裂。對於接合處而言，接合傳遞桿件軸力與剪力，螺栓本身則承受剪力。試驗試體分成三種類型，分別為無圍束試體、玻璃纖維圍束試體與尼龍繩綁紮試體，竹種皆使用孟宗竹。

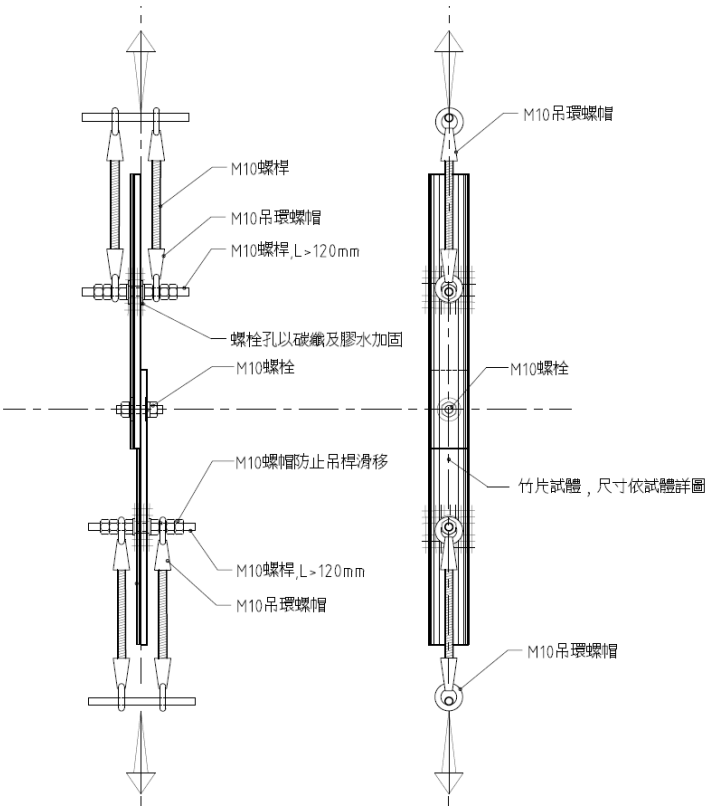


圖 9. 32 竹片試體配置圖

表 9. 37 與表 9. 38 分別為試驗荷重-位移曲線及試驗結果，試驗結果中的各項數值計算方式如下：

$$F = K\Delta \tag{9.23}$$

$$F_{max} = F_{ult} \tag{9.24}$$

$$K = \frac{F_{60} - F_{20}}{\Delta_{60} - \Delta_{20}} \tag{9.25}$$

其中

F_{ult}： 最大載重強度

F_{60}： 最大載重強度的 60%

1123425

F_{20}： 最大載重強度的 20%

Δ_{60}： 最大載重強度 60%的位移量

Δ_{20}： 最大載重強度 20%的位移量

所有竹片接合試體在位移小於 10mm 時，力量-位移關係接近線彈性，隨後進入降伏段直至破壞。

表 9. 37 竹片接合試體力量-位移關係

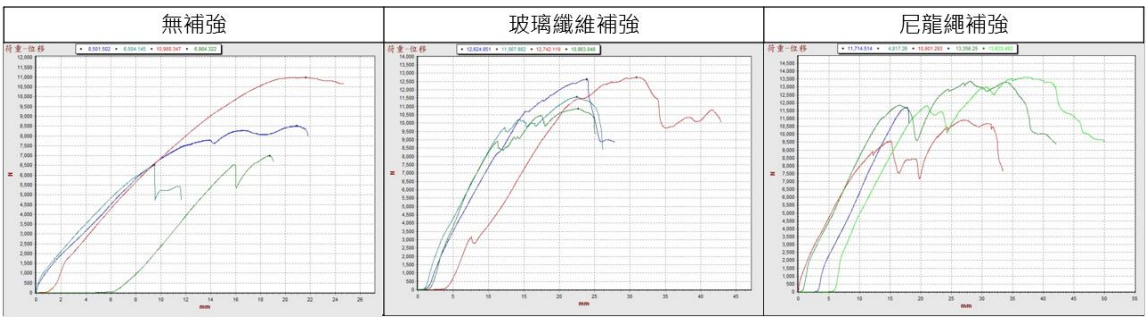


表 9. 38 竹片抗剪接合試體實驗結果

	編號	位移量 (mm)	接合強度 F_{max} (N)	勁度 K(N/m)	破壞模式
無補強	1	20.91	8501.50	645.69	接合處竹片剪壞
	2	9.49	6504.15	684.69	接合處竹片剪壞
	3	21.66	10980.35	632.97	接合處竹片剪壞
	4	18.74	6984.32	755.80	接合處竹片剪壞
	平均值	**17.70**	**8242.58**	**679.79**	
玻璃纖維	1	23.89	12624.85	790.55	竹片開列、玻璃纖維拉斷
	2	22.51	11567.98	833.44	接合處竹片剪壞
	3	30.94	12742.12	658.59	試驗機接合處開裂
	4	22.67	10863.85	988.58	玻璃纖維拉斷
	平均值	**25.00**	**11949.70**	**817.79**	
尼龍繩綁紮	1	17.71	11714.51	837.38	上下螺孔擴孔破壞
	2	27.01	10901.29	680.86	上下螺孔擴孔破壞
	3	28.17	13356.25	791.02	上下螺孔擴孔破壞
	4	37.47	13633.45	771.32	上下螺孔擴孔破壞
	平均值	**27.59**	**12401.38**	**770.15**	

1123425

9.2.3.1 無補強試體(BM)

無補強試體在位移大於 10mm 之後勁度開始下降，直到接合處受螺栓擠壓而產生剪切破壞如圖 9. 34，此破壞模式屬於脆性破壞。

圖 9. 33BM 試體破壞情形

9.2.3.2 玻璃纖維圍束試體(CM)

CM 試體如圖 9. 35 所示，使用玻璃纖維進行接合處圍束補強，強度較 BM 試體提升 45%，勁度提升 20.3%，由於有玻璃纖維共同分擔接合處受力，使 CM 試體在位移量大於 10mm 後力量仍然能緩慢上升且不致於直接發生竹片剪壞，當位移量達 20 至 25mm 時，玻璃纖維開始沿竹片交會面陸續產生斷裂如圖 9. 36，部分試體在玻璃纖維斷裂的期間伴隨竹材破裂。

1123425

圖 9. 34 CM 試體照片

圖 9. 35 試驗過程玻璃纖維斷裂情形

9.2.3.3 尼龍繩綁紮試體(RM)

RM 試體如圖 9. 37 所示，使用尼龍繩進行接合處圍束補強，強度較無補強試體 BM 提升 50.4%，勁度則提升 13.3%，竹片接合使用尼龍繩綁紮後強度大幅提升，致使 RM 試體最終皆在與試驗機的接合處發生螺栓孔擴孔破壞)而無法完整測出接合部性能。受力行為方面，RM 試體在竹片發生相對位移之後明顯被拉緊，除了共同分擔受力之外，圍束效果也確實保護竹片不因與螺栓接觸而產生剪切破壞，在位移量大於 10mm 時，外側的線圈會開始因為變形量過大而脫

1123425

離，此時測得強度突然下降，力量重新分配至未脫離線圈上，接著強度會再次回升直到下一個外側線圈脫離，但所有 RM 試體最終都沒有發生尼龍繩段裂破壞，顯示尼龍繩在強度上仍有餘裕，雖然沒有測出完整性能，但從測得數據及受力行為判斷尼龍繩綁紮是常見且有效的竹片接合補強方式，建議後續加強試體與試驗機的接合強度後側出完整的 RM 試體接合性能。

圖 9. 36 RM 試體照片

圖 9. 37 RM 試體破壞情形

9.3 小結

1. 一般接合中，同一樣式同一補強方式的試體的可能有不同的破壞行為，但其強度與勁度差異不大。
2. 在橫接-不共平面抗剪試驗中，無填充混凝土的試體容易受到螺栓的破壞造成竹管劈裂，而含混凝土的試體，由於複合強度提升，易使得螺栓先被破壞，鐵絲綁紮方面，鐵絲綁紮會牽動自攻螺絲造成竹管破壞，而抗剪(面外)試驗中，當受力達到最大強度後，由於鐵絲延展性關係，鐵絲鬆脫竹管並未破壞，強度會衰減的很快。
3. 橫接-共平面試驗中，無填充混凝土試體中，螺栓會破壞竹管，若內部含有混凝土，螺栓及螺桿會因拉力大於其強度，進而造成螺栓或螺桿先被破壞。
4. 續接-不共平面試驗中，在抗彎試驗上，尼龍繩綁紮易於鬆脫，這為第二年應注意補強之處，其餘鐵絲綁紮及螺栓接合的情況，因抗彎試驗會使得竹管被破壞；抗剪試驗中，螺栓因剪力被嵌入竹管中，進而破壞竹管。在鐵絲綁紮跟尼龍繩綁紮方面，由於竹管受到剪力，產生滑移，其鐵絲綁紮與尼龍繩綁紮的強度較螺栓綁紮小。
5. 續接-共平面試驗中，在抗拉試驗時，含玻璃纖維的接合處其螺帽被切除之竹管，其拉力會由內部的混凝土承受，使得有玻璃纖維的試體強度較無玻璃纖維的低；抗彎試驗中，所有試體都因續接器端受到彎矩，使之竹管破壞，第二年度可以縮短兩端施力點，進而探求續接器端的受剪行為。
6. 在一般接合試驗中，發現用鐵絲(無自攻螺絲)或尼龍繩綁紮進行抗剪的試驗，由於不易觀察出試體是否遭到破壞，往往都是很明顯的發現位移了，才緊急停止試驗，若應用在真實竹構造上，易因為接合滑移，無法產生設計預料之接合強度，因此在使用鐵絲或尼龍繩綁紮時，需多加注意。
7. 鋼索預拉螺栓接合試驗中，由於試體過長，使得儀器無法進行試驗，其餘兩個試體一個超過螺桿強度斷在螺桿，另一個內部鋼索斷裂。由於試體數量過少，無法準確的認知到此接合破壞處為螺桿還是鋼索，須於第二年進行大量實驗，以便確認。

8. 本次竹包管實驗，試體受力行為與破壞模式符合預期，內管受壓與外覆竹材受拉形成力偶使接合產生抗彎能力，破壞模式主要為內管壓潰、外覆材斷裂及垂直內管的竹管端部局部承壓破壞或劈裂。
9. RC 灌注補強能有效提升內管抗壓能力，使桂竹竹包管接合強度及勁度分別提升 175%及 217%，對於內管本身抗壓能力較好的孟宗竹而言，強度及勁度也有顯著提升，顯示內管承壓強度的提升有助於增加竹包管接合抗彎性能。
10. 繩索綁紮的竹包管有助於延緩內管壓潰，同時也能延緩垂直於內管的垂直及水平竹管開裂，有助於維持竹包管接合的受力穩定性。
11. 本次竹包管實驗僅進行內管受壓方向加載，然而實際結構通常需能承受雙向負載，建議從施作構造上(如不同綁紮連接方式、膠合連接等)賦予竹包管反向抗彎能力，並於下一年度詳細規劃。
12. 竹包管內管是否有竹節以及竹節位置可能對內管承壓能力有顯著影響，建議將內管竹節影響列入下一年度之試體設計考量。
13. 本次竹片試驗，未補強試體全數產生接合部剪力破壞，玻璃纖維補強試體(CM)強度及勁度較無補強試體(BM)分別提升 45.0%及 20.3%，尼龍繩綁紮試體(RM)強度及勁度分別提升 50.4%及 13.3%。
14. 本次竹片試驗中，CM 試體破壞模式較不固定，RM 試體破壞位置皆發生在接合以外位置，顯示 RM 試體的補強幅度超出原先實驗預期，建議明年度加強試體與試驗機的接合部，以測出完整接合性能。
15. CM 與 RM 試體的破壞模式均具有相當延展性，然而其施作品質可能對實驗結果影響甚大，其中 CM 試體雖然不致發生突然斷裂，但最終破壞模式較難以預期，而 RM 試體在本次實驗中受力行為穩定，顯示若能確保施工品質，尼龍繩綁紮會是慣用且有效的補強方式。

1123425

第十章 竹薄殼構造模擬要點

竹構造與台灣常見的鋼構造與鋼筋混凝土構造不同，竹木構造的接合通常既不是固接也不是完美的鉸接，在模擬時必需考量其接合的勁度才能正確的計算出各構件的內力與變位量。

在結構模擬中，愈高的接合勁度雖然可以使結構更穩定，使變位量較小，但是同時也會吸收更多內力至接合中。設定接近真實的接合勁度才會得到接近真實狀態的內力，其值通常較固接與完美鉸接所得的內力小得多，讓設計檢核不會因為考量了不合理的內力而無法繼續。

此外，設定接近真實的接合勁度才能正確考量結構的穩定性與變位量，避免對結構穩定性產生過於樂觀的評估。

在竹網格結構中，當不同方向的竹管橫搭接合在一起就會被視為一個橫接接合，最常見的橫接接合有螺栓接合與綁紮接合兩種(圖 10. 1)。在模擬中，對於竹管橫接接合最重要的考量事項為:

- 橫向勁度設定
- 兩向竹管之主軸彎矩 MY 不應相互傳遞(圖 10. 1、圖 10. 2)
- 兩向竹管之副軸彎矩 MZ 不應相互傳遞
- 避免發生不穩定型態

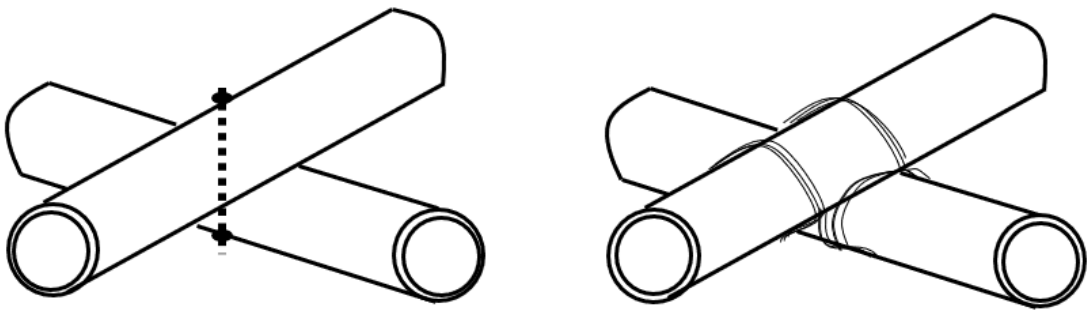


圖 10. 1 橫接接合: 左為螺栓接合，右為綁紮接合

1123425

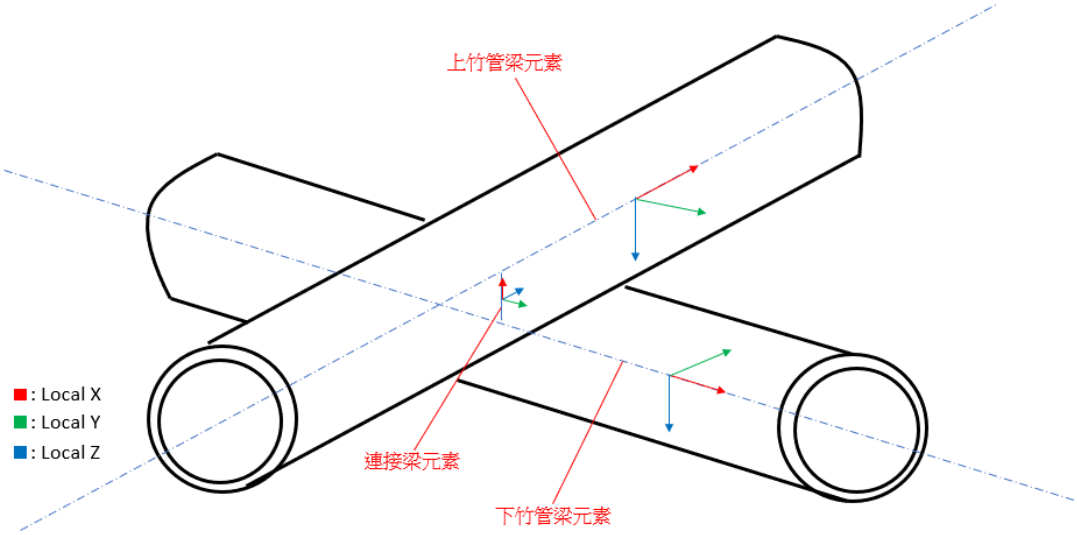


圖 10. 2 模擬竹管與連接之元素與對應之區域座標定義

10.1 橫向接合中之橫向勁度設定

橫向接合之橫向勁度可以透過實驗求得，歐洲木構造規範也有提供接合勁度的簡易計算式，請參考文獻杜怡萱 2021[3]、游家誠 2009[6]、歐洲木構造 EN 1995-1-1:2004[24]與本報告第七章。

橫向接合之橫向勁度 KY 與 KZ 遠比其軸向的勁度 KX 來的重要，其原因可以透過木質複合梁的整體抗彎勁度計算中關於各項勁度之設定來理解(EN 1995-1-1:2004[24]): 在計算複合梁整體抗彎勁度時，最重要的是接合面抗水平剪力的勁度(圖 10. 3)，而垂直於纖維方向的接合勁度對於複合梁整體抗彎勁度是沒有影響的。

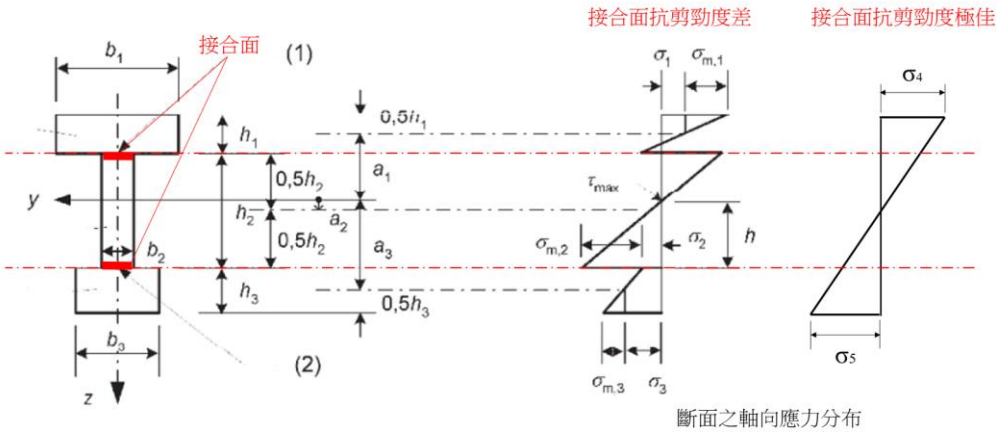


圖 10. 3 木質複合梁斷面主軸的抗彎勁度與接合面的抗剪強度正相關 [24]

1123425

接合勁度之模擬可透過設定彈簧元素或梁元素來達成:

1. 彈簧元素方法

設定彈簧元素於兩節點間來模擬接合之勁度。此方法的好處是接合的每個主要方向的勁度皆可獨立設定，但壞處是彈簧元素之方向設定比較繁瑣。由於竹網格常應用於曲面結構，故其彈簧元素之指向會隨曲面變化，因此必須撰寫前處理程式以輸入每個彈簧方向(圖 10. 4)。

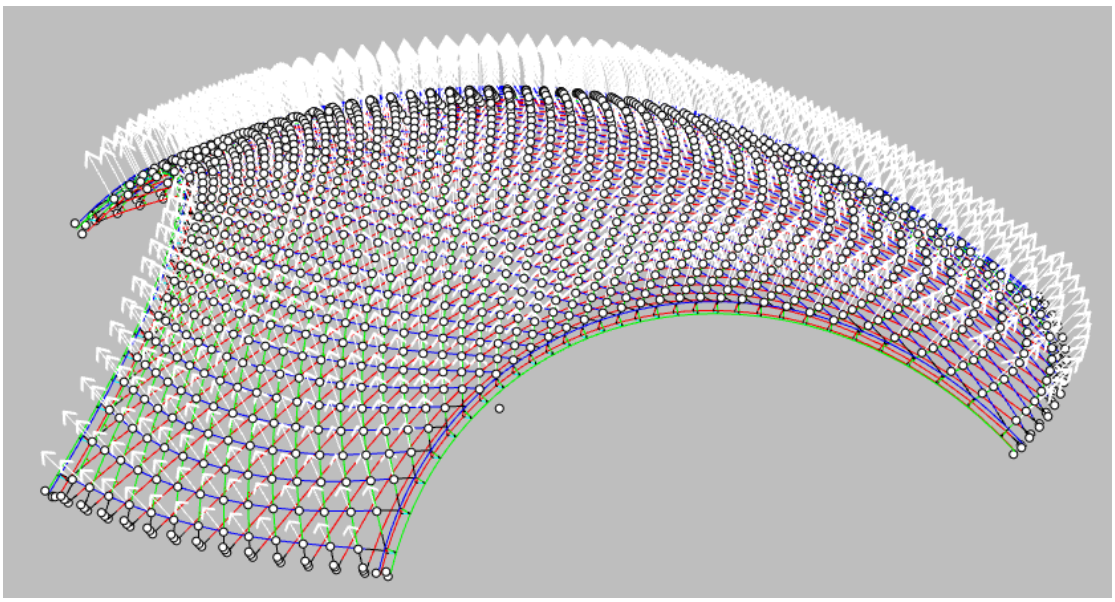


圖 10. 4 彈簧元素之指向(白色箭頭)隨曲面變化

1123425

2. 梁元素方法

與方法一比較起來，方法二可能對於多數人較為直觀且容易設定：其方法是在兩向竹管之間設兩個梁元素來模擬所有接合性質。本法中先假設該梁元素與竹管具有相同斷面，再透過模擬中對該梁元素勁度的折減來擬合橫向勁度至理想值。至於為何是兩個梁元素而不是一個，會在接下來的章節中說明。

假設竹管斷面為 80x8 mm ，其斷面慣性矩I為 1187070 mm^2，設兩竹管中心線的最短距離，同時也為連接梁元素的長 l ，其值為 80 mm。竹材平行纖維彈性模數E_0為 9 GPa。該梁元素受橫力作用下之受力與水平位移之比例，可用懸臂梁變位公式計算(10.1 式):

$$K' = \frac{F}{\Delta} = \frac{3EI}{l^3} \tag{10.1}$$

K'值經計算為 62599 kN/m。

K'值需擬合至橫接接合之勁度K。依據 9.1.1 節對綁紮接合之實驗結果的觀察，這裡假設K值為 40 kN/m。在模擬中對該梁元素勁度的折減比例即為兩勁度的比值:

$$c = \frac{K}{K'} \tag{10.2}$$

c值經計算為 1/1565。

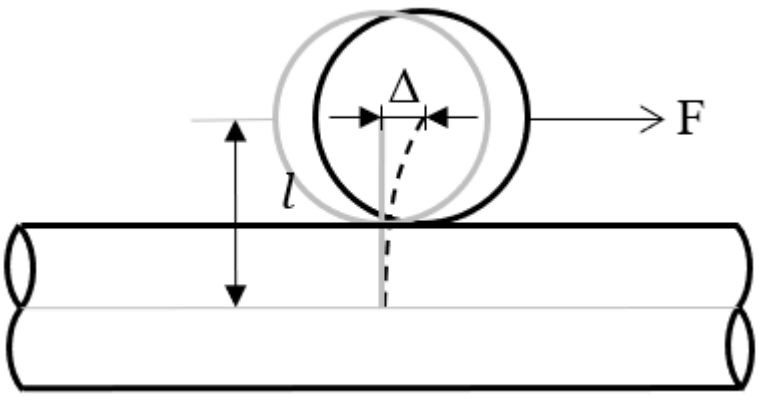


圖 10. 5 利用懸臂梁變位計算橫向位移

1123425

10.2 兩向竹管之主軸彎矩不可相互傳遞

因為鐵絲綁紮橫接或螺栓橫接甚難傳遞竹管之彎矩，故無論以彈簧元素或梁元素作為模擬接合的方法時，皆應該正確釋放某些彎矩，以阻斷橫接竹管間的彎矩相互傳遞。為了方便理解，此處先介紹梁元素釋放彎矩的設定方法，接著再介紹彈簧元素的對應方法。

1. 梁元素方法

如圖 10. 2 所示，兩正交橫接竹管由一梁元素連接，該連接梁元素的Y向與上方竹管的Y向同向。為了要阻斷上方竹管內的主軸彎矩向下傳遞，應在連接梁元素的上方或下方釋放 MY 彎矩。然而，正確的做法是在下方釋放 MY 彎矩，因為若在上方釋放 MY 彎矩，當竹網格距離固接端過遠時，結構容易失穩，產生如圖 10. 6 所示之失穩形態，而這樣的形態在實際情況中是不會發生的。同理，要阻斷下方竹管的主軸彎矩向上傳遞，應當在連接梁元素的上方，釋放連接梁元素的 MZ 彎矩。

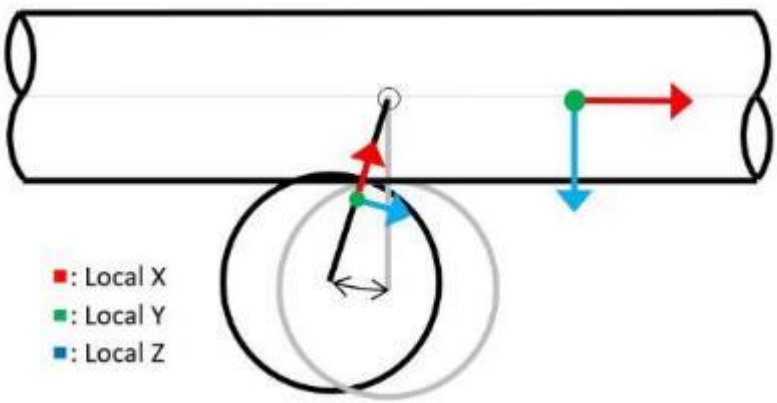


圖 10. 6 在實際情況中不會出現的失穩型態

在圖 10. 2 所展示之情形中，上下竹管呈現正交狀態，所以只需要一個連接梁元素就能正確阻斷彎矩傳遞。然而，在大多數情形下，上下竹管並非是正交狀態，這時就需要設置兩個連接梁元素圖 10. 7 才能正確設定所需要阻斷的彎矩:下方的連接梁元素之Y向需與上方竹管的Y向一致，而上方的連接梁元素之Y向需與下方竹管的Y向一致，兩個連接梁元素皆釋放其端點之 MY 彎矩。

1123425

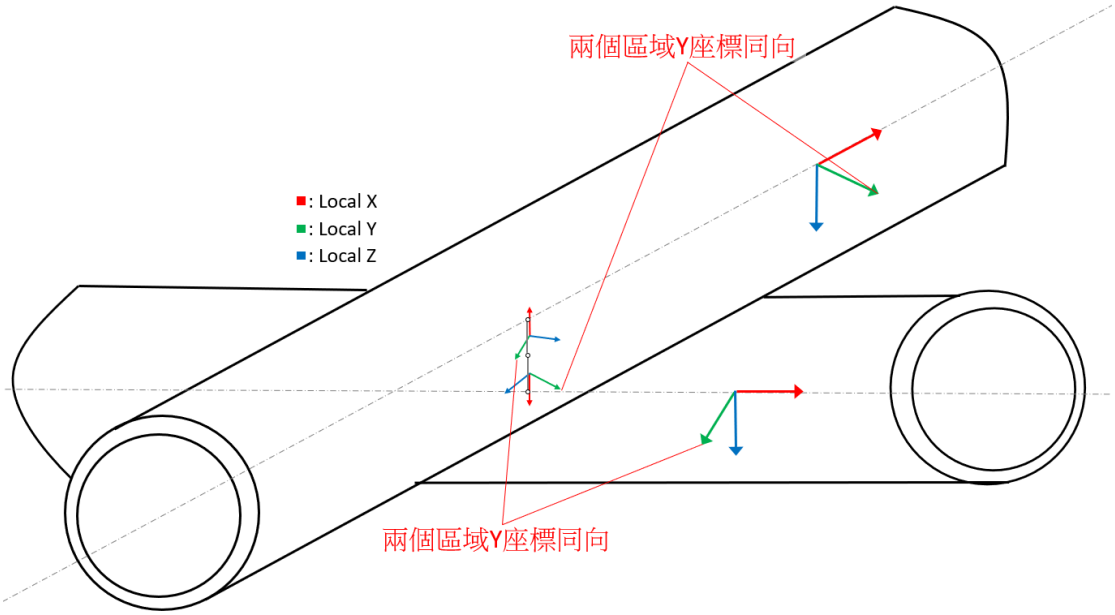


圖 10. 7 兩個連接梁元素與對應之區域座標定義

2. 彈簧元素方法

與梁元素方法不同的是，為了維持接合在模擬中之穩定性與避免發生真實情況中不存在的失穩情況，必須設置某些轉動彈簧，以傳遞特定的彎矩。而沒有設置轉動彈簧的自由度，其彎矩自然就會被阻斷而無法傳遞。

彈簧元素也須設定特定方向(圖 10. 8 與圖 10. 9): A 點對 B 點須設置傳遞上方竹管 MZ 彎矩之轉動彈簧，該轉動彈簧的方向與上方竹管的軸向相同。同樣的，B 點對 A 點也需要設置傳遞下方竹管 MZ 彎矩之轉動彈簧，該轉動彈簧的方向與下方竹管的軸向相同。沒有設轉動彈簧的自由度，其彎矩自然就無法傳遞。

1123425

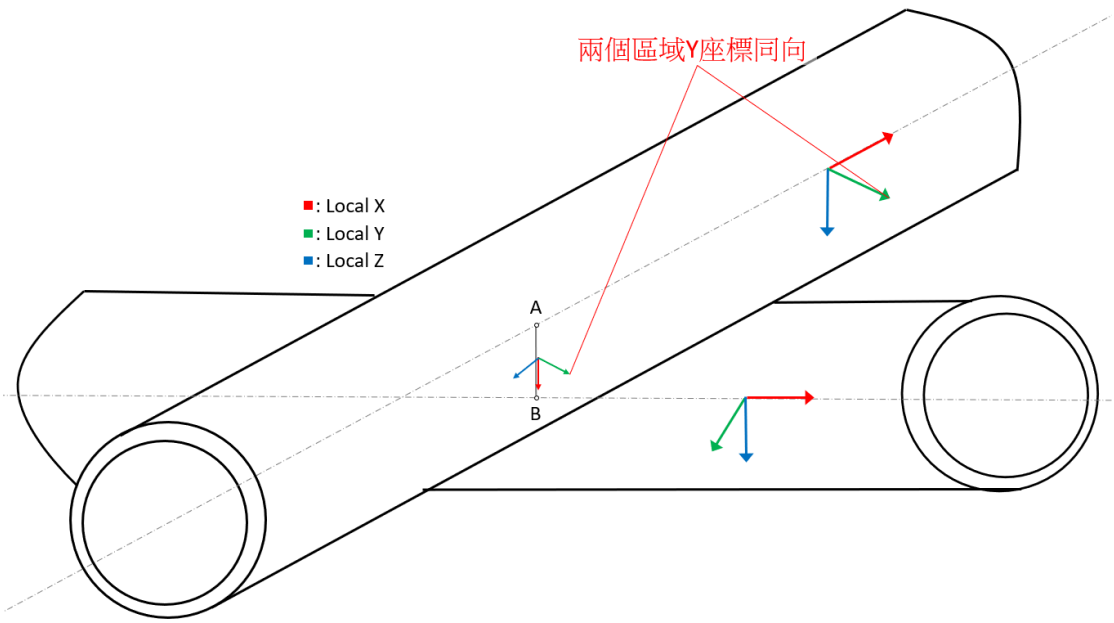


圖 10. 8 A 點對 B 點之彈簧區域座標定義

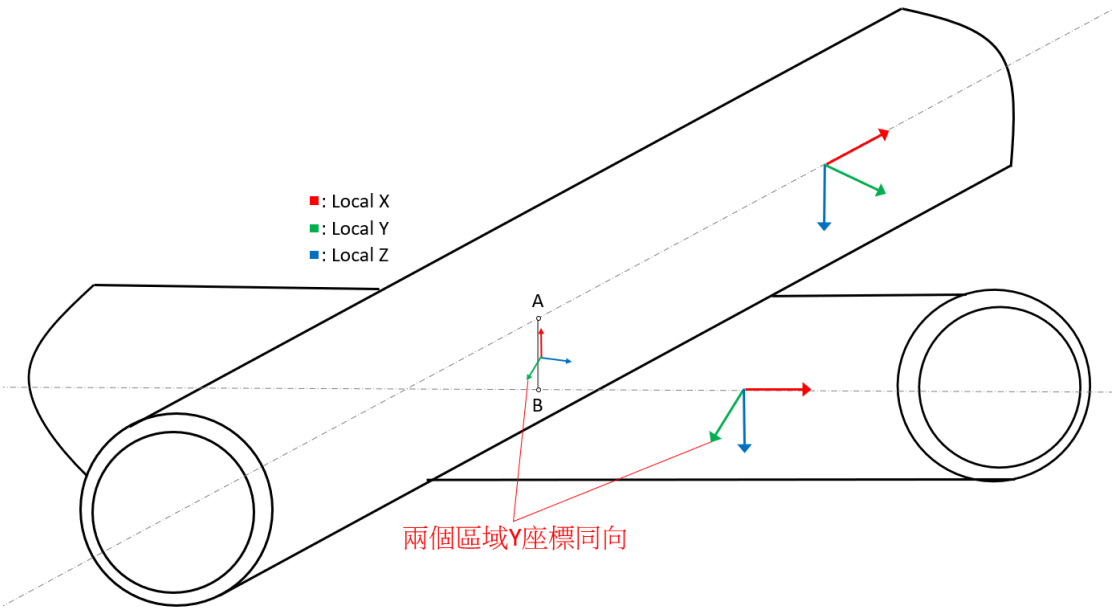


圖 10. 9 B 點對 A 點之彈簧區域座標定義

轉動彈簧勁度 K_{MZ} 之值，在本研究中設為:

$$K_{MZ} = c\frac{M}{\theta} = c\frac{EI/r}{l/r} = c\frac{EI}{l} \tag{10.3}$$

其中E、I和l與連接梁元素之設定相同，而r與θ為梁彎曲時中性軸之弧長與對應的轉角，c值可用來調校K_{MZ}至實際之轉動勁度。由於此勁度並不關鍵，其

主要作用是要維持系統不發生失穩，又因目前暫無相關實驗數據，該c值暫定為1/1565。

橫向移動彈簧勁度之設定為 $K_{VY} = K_{VZ} = 40/2 = 20$ kN/m。軸向移動彈簧勁度 K_N 之設定為也為 20 kN/m。

10.3 兩向竹管之副軸彎矩不可相互傳遞

同樣的，橫接竹管間之副軸彎矩 MZ 也不應該相互傳遞，其兩種模擬方法介紹如下:

1. 梁元素方法

釋放兩個連接梁元素的其中一個的 MT(MX)彎矩即可達成此目的。

2. 彈簧元素方法

不去設置 A 與 B 兩點之間的軸向彎矩彈簧，自然就無法傳遞橫接竹管間的 MZ 彎矩。

10.4 材料參數假設及使用的元素類型

探討材料時有三項重要的參數，分別為楊氏模數 E (Young's Modulus)、柏松比ν (Poisson's Ratio) 及剪力模數 G (Shear Modulus)，而這三項參數分別對應卡氏座標(Cartesian Coordinates)的三個方向各有三個對應的值，而這九個值可以組合成一正交各異向性的材料(Orthotropic Material)，而竹材這類的纖維材料就是典型的正交各異向性材料。在考慮竹材的材料行為時，因為其本身形狀，一般會使用圓柱座標(Cylindrical Coordinates) 來表達材料的三個方向，分別為軸向 L (Longitudinal)、切向 T (Tangential) 及徑向 R (Radial)，但在經過相關的文獻探討後，發現切向 T 及徑向 R 的差異相較於兩者與軸向的差異較小(切向 T 及軸向 R 最多會差距到 2 倍，但切向 T 及徑向 R 與軸向 L 的差距通常在 15 倍以上)，所以在此簡化材料模型：將使用橫向 T (Transverse) 代替切向 T 及徑向 R。

在模擬竹材的材料參數應用於竹薄殼結構上時，因主要關心的變形會與受力方向相同，而柏松比效應的影響對於竹薄殼結構的設計而言重要性並不大，故在此簡化材料模型而假設竹材的柏松比 $\nu = 0$。

1123425

以下兩項案例模擬皆使用 Timoshenko 梁元素(Beam Element)，而有限元素軟體針對 Timoshenko 梁元素的材料參數設定只與軸向 L 的參數(E_L、G_{LT})有關，而橫向 T 有關的參數(E_T、G_{TT})的改變並不會對結果產生任何影響。

在上述條件下，對於竹材而言只剩下兩項材料參數待決定：E_L = 9GPa、G_{LT} = 0.621GPa (在做本報告的模擬時，實驗也在同步進行，因此在此設定一假設值於此，詳細設定需參考本報告實驗的相關數據)。竹材的密度 ρ 則是參考社團法人臺灣竹會出版的「竹構築指南」內的竹材密度值，在本模擬中假設竹材密度 $\rho = 800\ kg/m^3$。

10.5 橫向接合的設定

10.5.1 橫向接合的假設

在竹網格結構中，當不同方向的竹管橫搭接合在一起時，形成橫向接合。最常見的橫向接合方式包括螺栓接合和綁紮接合 (見第 8 章關於兩種不同接合的圖)。在模擬過程中，針對竹管橫向接合，最重要的考慮事項為橫向勁度設定。

10.5.2 橫向接合的等值楊氏模數計算

在本模擬中，會使用梁元素來代表橫向接合，會根據第 8 章及第 9 章的實驗及分析結果針對橫向接合做出合理的勁度折減，並進行折減前後的比對。

從本報告第 8 章及第 9 章的內容有包含各項接合經過實驗後，可以藉由力量-位移曲線的關係得到對應的接合勁度k_{exp}，本次模擬會使用第一種接合面內抗剪的兩種接合形式：螺栓+玻璃纖維圍束及鐵絲綁紮的勁度當作檢核值。

本模擬會把橫向接合假設成一端固定端，另一端對旋轉跟軸向位移束制，而對可滑動端的位移自由度上對應的勁度值如右圖。該種梁的勁度$k_{beam} = \frac{12E_{eq}I}{L^3} = k_{exp}$，其中$E_{eq}$為等值楊氏模數，而計算完成後將該值設定為橫向接合梁元素的軸向楊氏模數E_L(其中 I 是斷面的慣性矩、L 是梁元素長度)。

1123425

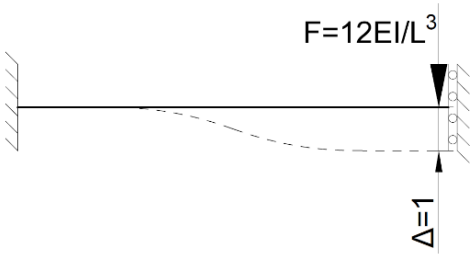


圖 10. 橫向接合的假設及對應自由度的勁度值

10.6 竹薄殼模擬的三個檢核面向

1. **位移分析:**

   結構受載重組合下，不同的接合形式所產生的整體變形量。位移限制在所有案例分析皆為 $\Delta/L \leq 1/200$。

2. **桿件設計:**

   使用 ISO-22157 極限強度設計法的桿件設計，檢核桿件強度及穩定性。

3. **接合設計:**

   不同接合形式下，桿件橫接處的剪力 V_{max} 需小於接合的極限設計強度。

10.7 設計參考規範

以下兩章節之設計案例的設計細節參考了以下規範:

(1) 建築技術規則[25]

(2) 建築物耐震設計規範及解說[26]

(3) 建築物耐風設計規範及解說[27]

(4) 混凝土工程設計規範與解說[28]

(5) 鋼構造建築物鋼結構設計技術規範[20]

(6) 建築物基礎構造設計規範[29]

(7) ISO 22156:2021, Bamboo Structures – Bamboo Culms – Structural Design[1]

10.8 有限元素分析軟體 Abaqus

以下內容參考自 SIMULIA 官方網站中關於 Abaqus 的介紹內容：

Abaqus 為達梭系統 SIMULIA 產品線旗下 CAE 結構分析軟體，提供強大而完整的模擬分析解決方案，解決複雜的工程問題。例如：汽車行業，工程團隊可使用單一的模型數據搭配整合的求解器來考慮整車負載、動態振動、多體系

1123425

統、碰撞/落摔、非線性靜態、熱耦合和聲固耦合的相關問題。使用 Abaqus 能輔助企業制定並管理其設計分析流程，進而降低成本並提高效率以獲得競爭優勢。

前後處理器 Abaqus/CAE：借助 Abaqus/CAE，使用者能在視覺化的操作介面快速有效地創建、編輯、監測、診斷、並執行 Abaqus 分析。其直觀的環境界面，整合了建模、分析、作業管理和結果後處理功能，初學者易於學習，而對有經驗的用戶來說，工作效率會更高。Abaqus/CAE 支援常見的交互式 CAE 工程概念，例如基於特徵值、參數化建模、交互式的腳本化操作，及 GUI 客制化。

求解器 Abaqus/Standard：Abaqus/standard (隱式求解器) 使各種線性和非線性工程模擬能夠有效、精確、可靠的實現。廣泛的分析能力、優越的性能、完備的使用者指南、高品質一流的技術支援，使得 Abaqus/Standard 成為分析許多工程問題的有效工具。此外許多常見的建模前後處理軟體都支援 Abaqus。

第十一章 竹薄殼分析案例一

11.1 設計案說明

本案主要結構為一鋼竹混合構造之直徑約為 18 公尺的開放式球型棚頂。大竹棚有三個由鋼拱所支撐大開口，其跨距約為 11m。鋼拱基腳與竹棚封閉端落於三個圓弧形鋼筋混凝土基礎之上。

11.1.1 結構分析模擬與設計原則

整體結構模型採 Timoshenko Beam Element 進行模擬，載重組合於後續介紹，載重形式將轉換成等值載重作用於結構模型的節點上。因支承為鋼拱基腳與竹棚封閉端落於混凝土基腳上，簡化模型假設邊界條件為固定端(fixed)。

對於薄殼結構，通常由風力來控制結構的變形行為，而在風力加載的分析時會考慮意外扭矩；而各斷面的構件斷面設計依法規規定之設計方法檢核之。

11.2 結構系統

11.2.1 材料規格及參數

模擬採用的材料強度採用本計畫報告中關於各項竹材試驗歸納出的極限設計強度(本報告的第七章)，而竹材料的彈性參數如 10.4 節所述，各項材料的強度及彈性參數如下：

<u>孟宗竹管：</u>

- 平行纖維抗剪強度 $f_v = 4$ [MPa]
- 抗彎強度 $f_{m,0} = 45$ [MPa]
- 楊氏模數 $E_L = 9$ [GPa]
- 柏松比 $\nu = 0$
- 剪力模數 $G_{LT} = 0.621$ [GPa]
- 材料密度 $\rho = 800$ [kg/cm^3]

<u>結構鋼材：</u>

- 楊氏模數 $E_L = 210$ [GPa]

1123425

- 柏松比　　$\nu = 0.3$
- 剪力模數　　$G_{LT} = 80.8$ [GPa]
- 膨脹係數　　$\alpha = 0.0000115$ [1/°C]
- 鋼材種類　　CNS SN490B/C，Fy ≥ 350 [MPa]

橫向接合：

表 11. 1 本案模擬使用的兩種接合形式及等值楊氏模數

Type	螺栓+玻璃纖維圍束	鐵絲綁紮
k_{exp}(N/mm)	246.5	110.5
E_{eq}(N/mm^2)	17.30	7.754

11.2.2 斷面性質

孟宗竹 80x8 mm：

A = 1810 mm^2

I = 1187070 mm^4

組合拱之鋼圓管 114.4x6 mm：

A = 2044 mm^2

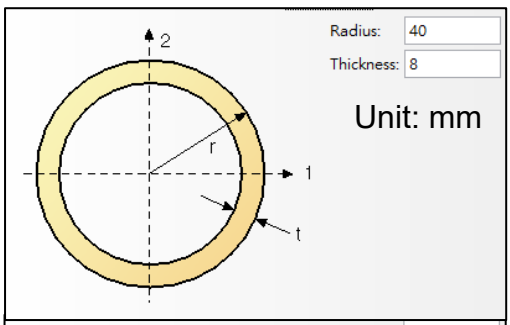
I = 3013750 mm^4

組合拱之鋼圓管間連結的鋼板 100x10 mm：

A = 1000 mm^2

I_1 = 8333 mm^4

I_2 = 833333 mm^4



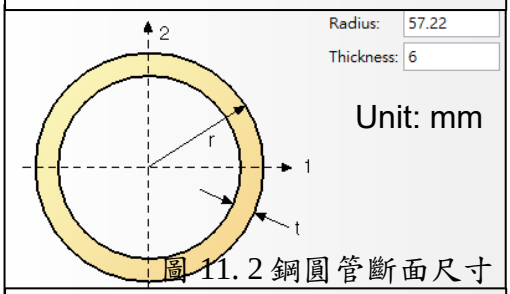


圖 11. 2 鋼圓管斷面尺寸

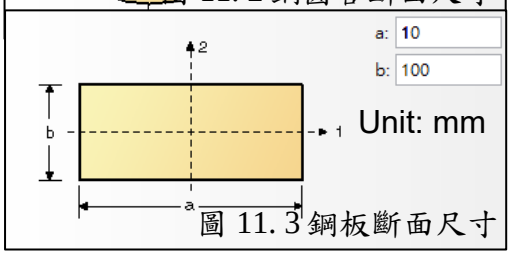


圖 11. 3 鋼板斷面尺寸

11.2.3 結構模型與組成

結構的主要部分是一個由鋼和竹混合構成的開放球型棚頂。鋼構被用作邊梁，而球型結構由三向三層的竹管網格構成。竹管網格的開放端與鋼拱固定（剛性固定），而封閉端則與基礎連接。計算模型可參見下圖(因此結構同大跨距竹薄殼研究[30]案例一的結構形式，故在此引用該結構模型及組成的示意圖)：

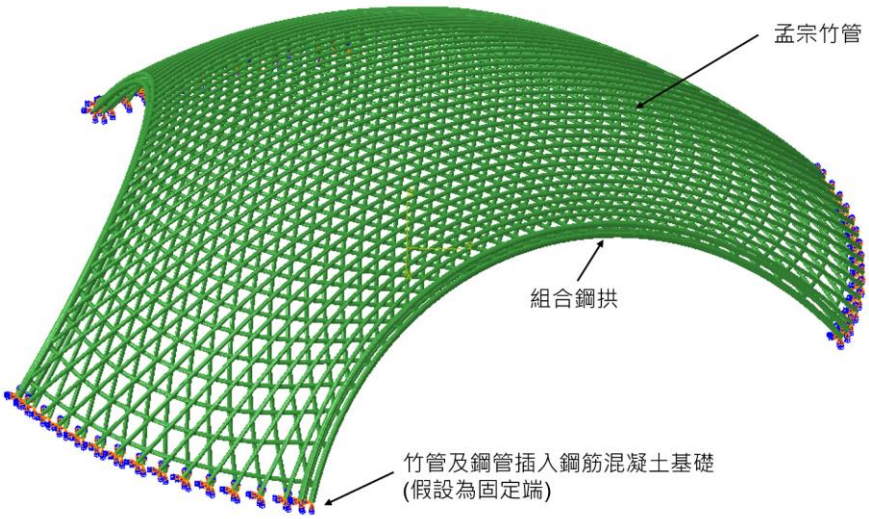


圖 11. 4 結構組成

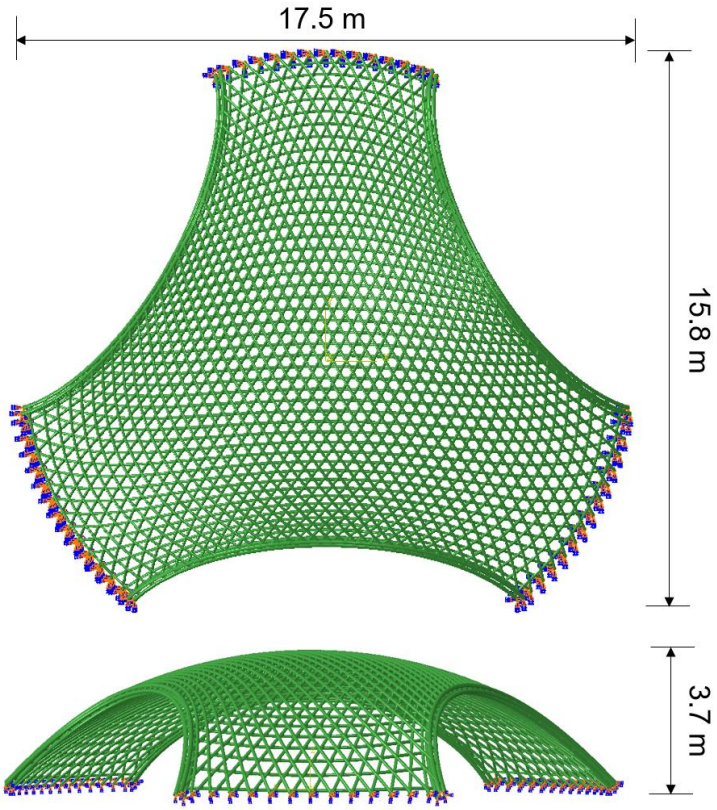


圖 11. 5 整體結構尺寸

11.3 設計載重

11.3.1 靜載重與活載重

結構體的竹構、鋼構和 RC 基礎的重量都是由結構計算軟體自動計算得出的。然而，其他非結構體的重量，例如屋頂鋪面系統和活載重，則需要額外進行考量，其具體數值列於下方：

1123425

表 11. 2 外加靜載重與活載重

各式空間 [-]	外加靜載重 [kgf/m^2]	活載重 [kgf/m^2]
屋面	25	60

11.3.2 地震力

依據鑽探報告，雖本案距離第一類大尖山活動斷層 5.51 公里，本案需考量近斷層因子，但依據大跨距竹薄殼研究[30]案例一的分析結果可知，地震力並非竹薄殼結構的控制載重，故本案的設計載重並不會將設計地震力考慮進去載重組合內。若需要觀看本案設計地震力的計算(上部結構的水平、垂直設計地震力及地震意外扭矩)，可以直接查閱大跨距竹薄殼研究[30]第 10.3.2 章節。

11.3.3 風力

1. <u>地況種類及對應之參數</u>

根據建築物耐風設計規範及解說[27]關於地況種類的分類說明，如下圖所示，本案位於山坡地上方，且四周並無民舍及障礙物，屬於地況 C。

地況種類依建築物所在位置及其附近地表特性而定，分成以下三類：

(1)地況 A： 大城市市中心區，至少有 50%之建築物高度大於 20 公尺者。建築物迎風向之前方至少 800 公尺或建築物高度 10 倍的範圍(兩者取大值)係屬此種條件下，才可使用地況 A。

(2)地況 B： 大城市市郊、小市鎮或有許多像民舍高度（10~20 公尺），或較民舍為高之障礙物分布其間之地區者。建築物迎風向之前方至少 500 公尺或建築物高度 10 倍的範圍（兩者取大值）係屬此種條件下，方可使用地況 B。

(3)地況 C： 平坦開闊之地面或草原或海岸或湖岸地區，其零星座落之障礙物高度小於 10 公尺者。

若附近地況為介於地況 A 與地況 B 間或地況 B 與地況 C 間之過渡地況，原則上應採用會產生較大風力之地況，但也可利用可信賴之合理分析法，決定此一過渡地況之風速垂直分布。

圖 11. 6 建築物耐風設計規範及解說內關於地況分類之規定

而下表為地況種類所對應的參數：

1123425

表 11.3 建築物耐風設計規範及解說內關於不同地況分類對應之參數

地況	α	z_g (m)	$\bar{b}$	c	$\lambda(m)$	$\bar{\varepsilon}$	z_{min} (m)
A	0.32	500	0.45	0.45	55	0.5	18
B	0.25	400	0.62	0.30	98	0.33	9
C	0.15	300	0.94	0.20	152	0.20	4.5

本案屬於地況 C，藉由這些參數計算以下各項模擬所需的參數。

2. 基本風壓計算

參數名稱	數值	單位
建築物高度 z	3.7	m
梯度高度 z_g	300	m
相對於 10 分鐘平均風速之垂直分布法則的指數 α	0.15	-
10 公尺高之風速 V_{10} (雲林縣古坑鄉)	27.5	m/s
用途係數 I (第五類建築物)	1.0	-
風速壓地況係數 $K(z) = 2.774(z/z_g)^{2\alpha}$; z 需 ≥ 5 m	0.812	-
K_1(地況 C、山脊處，$H/L_h = 650/1300 = 0.5$)	0.72	-
K_2(山脊處，$x/L_h = 250/1300 = 0.19$ 取 0)	1.0	-
K_3(山脊處，$z/L_h = 4/1300 = 0.00285$ 取 0)	1.0	-
地形修正係數 $K_{zt} = (1 + K_1K_2K_3)^2$	2.96	-
風速壓 $q(z) = 0.06K(z)K_{zt}[IV_{10}(C)]^2$	109 1.07	kgf/m^2 kN/m^2

3. 開放式建築物之外風壓

參數名稱	數值	單位
z_{Ac}處之風速壓 $q(z_{Ac})$(因 $z_{Ac} < 5$ 所以等同於q(z))	1.07	kN/m^2
特徵面積A_c形心高度 $z_{Ac} = 2z/3$	2.47	m
風力係數C_f $(0.1 \le \phi \le 0.29\,;\, D\sqrt{q(z)} = 0.486 < 1.70)$	1.3	-
陣風反應因子G (普通建築物)	1.88	-
單位特徵面積設計風力(外風壓) $F/A_c = q(z_{Ac})GC_f$	2.613	kN/m^2

4. 風力扭矩

參數名稱	數值	單位
水平投影面積(特徵面積) A_c	51.1	m^2
受風面寬 B	17.5	m
受風進深 L	3.7	m
受風面平均高度 h	2.9 < 18	m
$h/\sqrt{BL}$	0.36 < 3	-
L/B	0.21 < 5	-
正向風合力 F	133.54	kN
風力扭矩 $T = 0.28BF$	654.36	kN-m

1123425

5. 各方向風載重分布形式

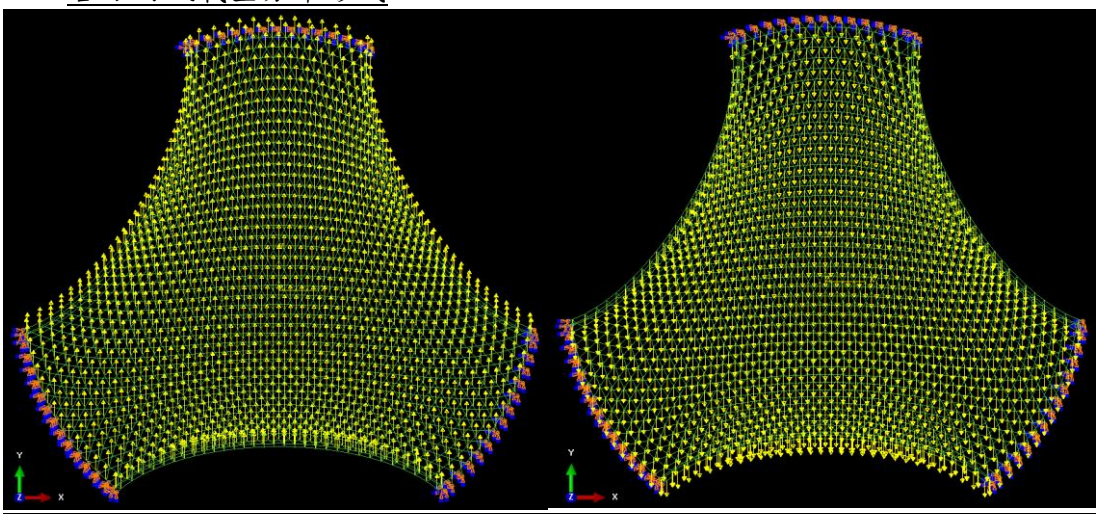


圖 11. 7 正負 Y 方向的風力 (風力轉換之節點載重)

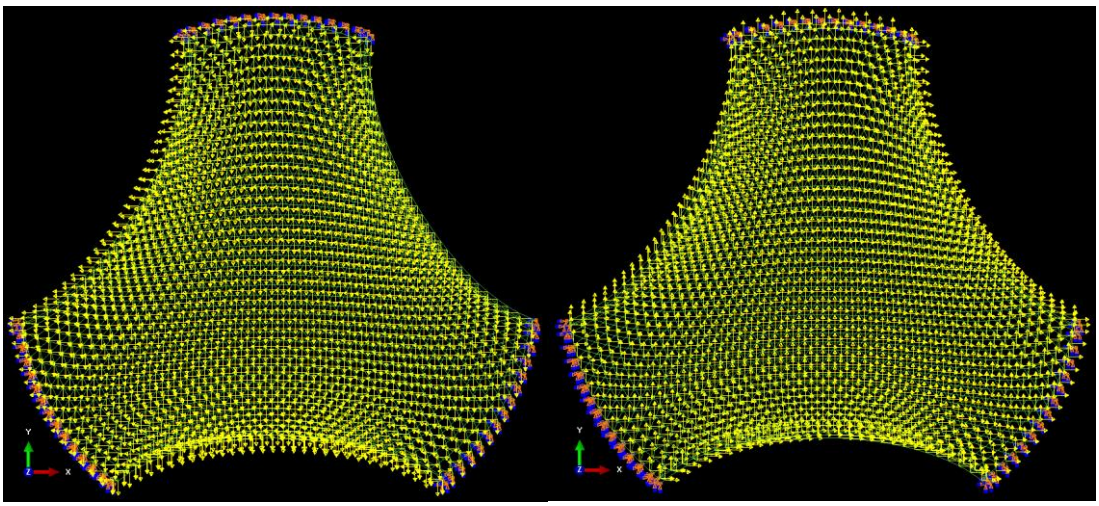


圖 11. 8 正 150°及負 30°的風力 (風力轉換之節點載重)

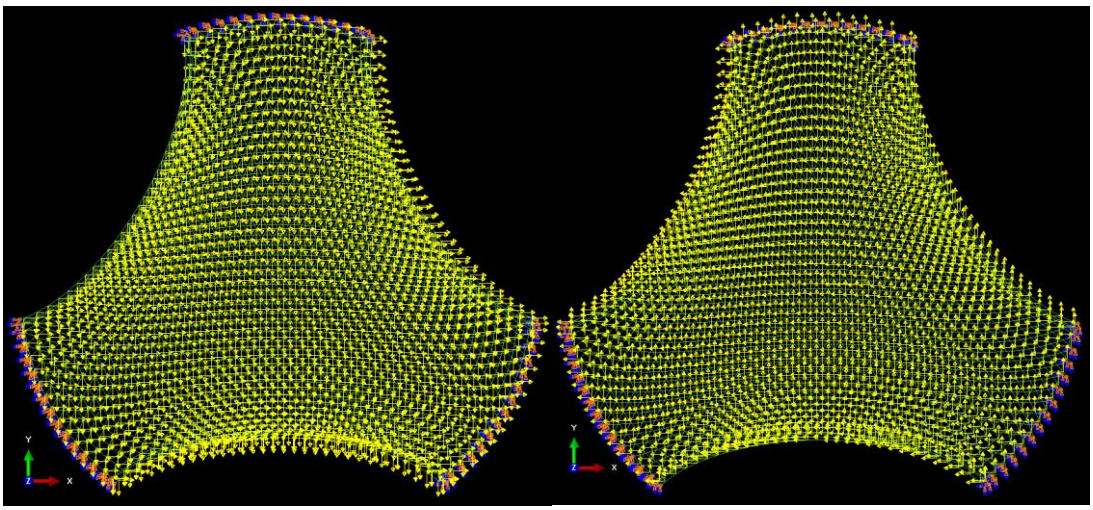


圖 11. 9 正 30°及負 150°的風力 (風力轉換之節點載重)

1123425

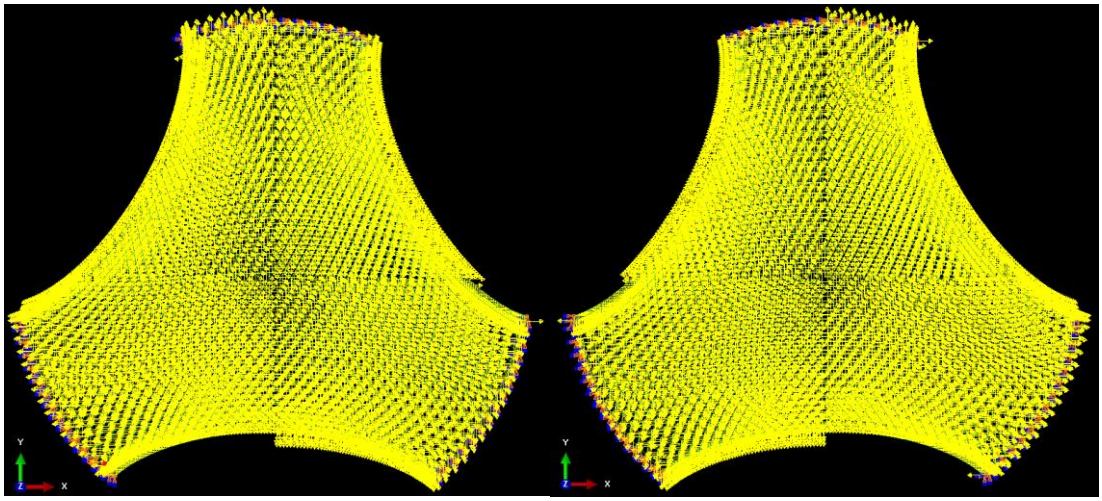


圖 11. 10 正負 X 方向的風力 (風力轉換之節點載重)

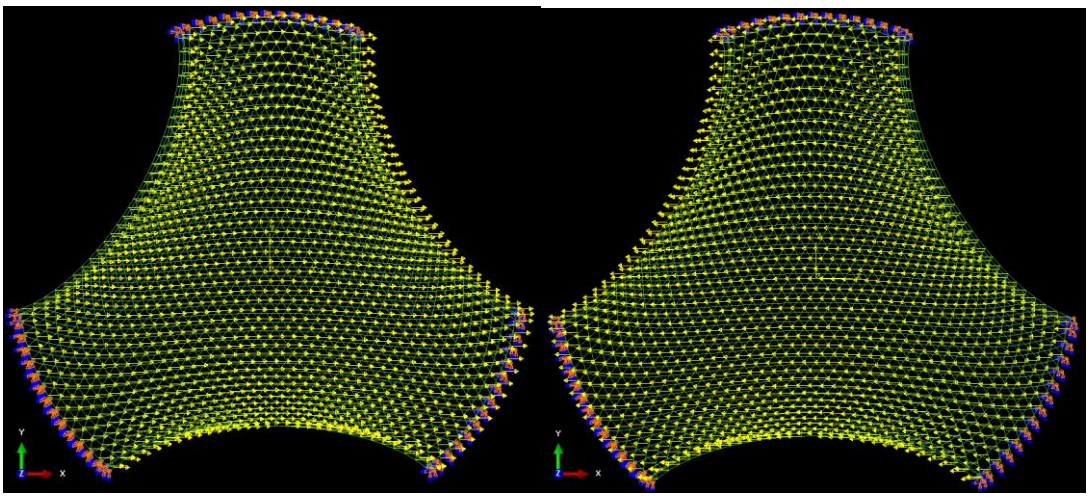


圖 11. 11 順時針/逆時針方向的風力扭矩 (扭矩轉換之節點載重)

11.4 載重組合

11.4.1 分析載重之簡稱

DL　結構自身重量
SDL　外加靜載重
D　總靜載重 (DL+SDL)
LL　樓板活載重
Lr　屋頂活載重
W1　來自方向 X 之風力
W2　來自方向 Y 之風力
W3　來自方向 Z 之風力
Wt　風力扭矩
W　總水平風力 (W1、W2 或 W3，並包含 Wt 之作用)
Ex　X 方向之水平地震力
Ey　Y 方向之水平地震力

1123425

Ev　　Z 方向之垂直地震力
Er　　質量偏心造成之靜態扭矩地震力
Eh　　總水平地震力 (Ex 或 Ey，並包含 Er 之作用)

其中，關於地震力的載重只是用於 10.5.2 節中針對包含地震力的載重組合，根據去年的大跨距竹薄殼研究[30]中的分析結果顯示，地震力並不會控制本案結構體的主要位移(主要原因為結構體的高度比跨度還小且自重較輕，自然頻率遠高於地震的頻率，難以發生共振產生危害)，於此列出是用於顯示本案使用的極限強度設計法中有針對地震力的載重組合，但其不是控制破壞的主因，所以各項結果並不會有包含地震力的載重組合。關於地震力的相關設定、計算及討論可以參閱大跨距竹薄殼研究[30]。

11.4.2 極限強度設計法 LRFD 的載重組合

本案中考慮的極限強度設計法 LRFD 之載重組合是用於竹構造及鋼構造。關於 RC 基礎及土壤反力的部分，根據大跨距竹薄殼研究[30]中的內容，兩者皆遠小於對應的檢核值，並非控制破壞的主要原因，故在此報告中簡化模型將 RC 基礎及土壤假設為與竹管及鋼管固定端的邊界條件，如此可以大幅減少建模、分析時間並減少報告中重要性低的篇幅。

載重組合列表如下：

表 11. 4 極限強度設計法的載重組合 (竹構造及鋼構造)

No.	載重組合
1	1.4D
2	1.2D + 1.6L + 0.5Lr
3	1.2D + 1.6Lr + 0.8W
4	1.2D + 1.6W +0.5Lr
5	1.2D + E + L + 0.2S
6	0.9D + 1.6W
7a	0.9D + (Eh - 0.3Ev)
7b	0.9D + (0.3Eh - Ev)

因竹薄殼結構從分析中得知會主要受到風力控制，所以本設計關心的載重組合分別為 No.3, No.4, No.6。所以本案中總共需要考慮 3 種載重組合、8 個風力的方向以及 2 個轉動方向的風力扭矩，總共有 $3 \times 8 \times 2 = 48$ 個載重組合案例需要考慮，但會控制結構變形、桿件強度及接合內力的僅會有數個載重組合，故本案的分析會先以某一種接合形式對橫向接合的梁元素進行勁度折減過後，將

1123425

所有的載重組合案例都跑過一遍後，分別依據桿件(包含竹管跟鋼圓管)最大應力以及接合最大內力，找出 3 個最為關鍵的載重組合案例，並對此進行後續針對多種不同接合形式(不同接合勁度)進行結構分析及討論。

11.5 變形量檢核

針對除了地震力之外的分析載重作用於結構上，從中挑出變形量最大的結果用以進行比較。本案例中為由 -Y 方向往 +Y 方向的風力荷載為使結構產生最大變形量的分析載重，兩種橫向接合分別對應的變形量結果如下圖所示：

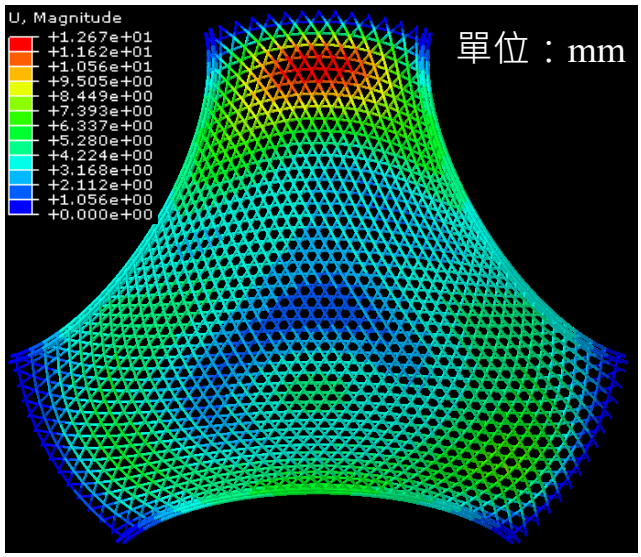


圖 11. 12 接合為螺栓+玻璃纖維圍束時，受+Y 方向風力荷載下的位移場

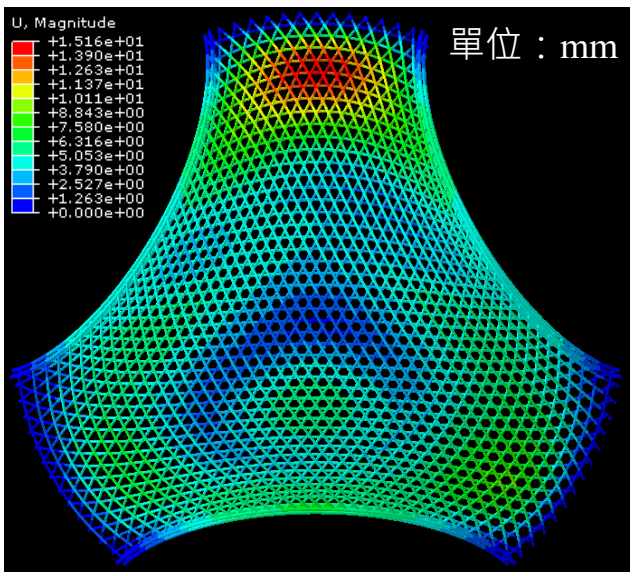


圖 11. 13 接合為鐵絲綁紮時，受+Y 方向風力荷載下的位移場

1123425

對於兩項結果的整理及檢核如表 11. 5 所示：

表 11. 5 兩種接合形式受+Y 方向風力荷載下的最大變形量及檢核

接合種類	最大變形量 Δ_{max}	變形量檢核
螺栓+玻璃纖維圍束	12.67 mm	$\frac{\Delta_{max}}{L}=\frac{12.67}{4500}=\frac{1}{355}<\frac{1}{200}\Rightarrow OK$
鐵絲綁紮	15.16 mm	$\frac{\Delta_{max}}{L}=\frac{15.16}{4500}=\frac{1}{337}<\frac{1}{200}\Rightarrow OK$

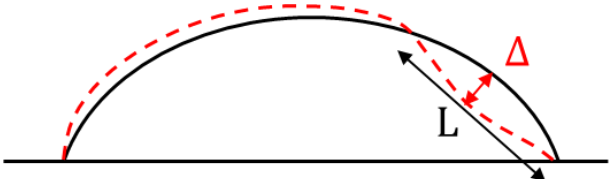


圖 11. 14 結構變形量計算示意圖

11.6 桿件檢核

11.6.1 竹管軸向應力及剪應力

雖竹管在檢核結果時會分別依據軸向應力及剪應力來檢核結果，但在初步分析下還是使用 Mises 等效應力去選取關鍵的載重組合。因本案的風力荷載已經考慮兩個方向的力量，所以在風力意外扭矩的部分就只考慮單一方向，故在此採取逆時鐘方向的風力意外扭矩，所以以下共會有 24 個載重組合案例，並從中挑選出 1 個最高應力值當作分析的載重組合，為了能夠同時代表兩種不同的接合勁度，所以在初步分析選取載重組合案例時，採用的橫向接合軸向楊氏模數$E_L = 10$ MPa，介於兩者之間。表 11. 6 為初步分析結果，紅色標記為最大應力，載重組合案例為 LC-4-2，所以在進行分析及檢核時將會使用該載重組合案例。

表 11. 6 挑選竹管桿件設計的載重組合案例 Mises 應力初步分析結果(MPa)

LC-3-1	LC-3-2	LC-3-3	LC-3-4	LC-3-5	LC-3-6	LC-3-7	LC-3-8
4.504	8.172	6.849	5.869	5.925	3.745	4.826	6.217
LC-4-1	LC-4-2	LC-4-3	LC-4-4	LC-4-5	LC-4-6	LC-4-7	LC-4-8
6.607	11.23	8.626	6.606	7.212	4.266	4.551	7.674
LC-6-1	LC-6-2	LC-6-3	LC-6-4	LC-6-5	LC-6-6	LC-6-7	LC-6-8
7.298	10.12	7.594	5.865	6.575	4.667	4.961	6.963

該組載重組合案例內考量的風力荷載方向與結構設計一樣為由 -Y 方向往+Y 方向，其中「LC」的意思為載重組合案力(Load Cases)、「4」的意思為表 11. 4 中第 4 組的載重組合，「2」的意思為第 2 組風力荷載。

1123425

以下為兩種不同的接合勁度在受到載重組合案例 LC-4-2 時，竹管的軸向應力及剪應力結果及檢核分別如圖 11. 15～圖 11. 18 以及表 11. 7 與表 11. 8 所示。

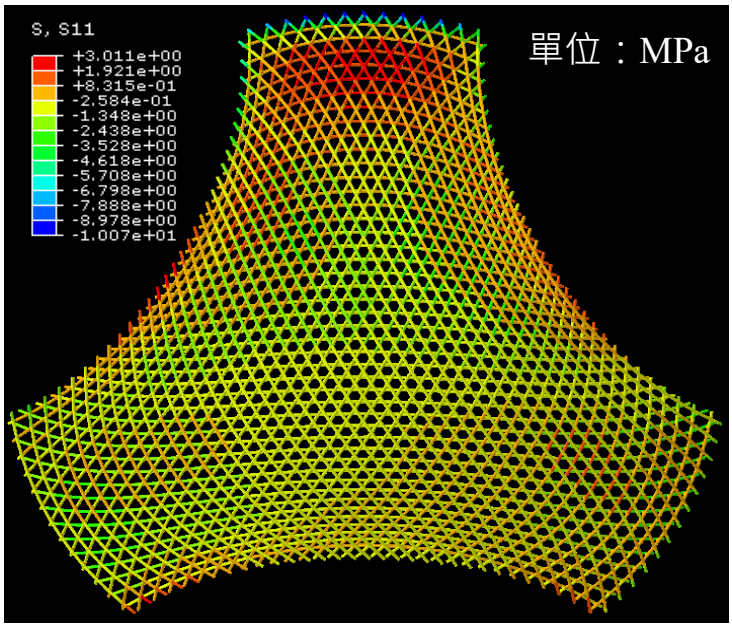


圖 11. 15 接合為螺栓+玻璃纖維圍束時，受 LC-4-2 下的竹管軸向應力場

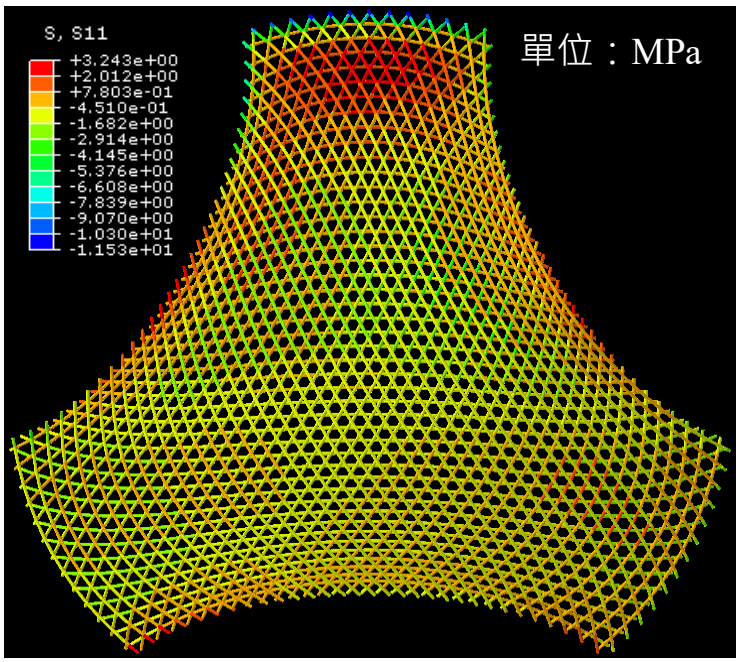


圖 11. 16 接合為鐵絲綁紮時，受 LC-4-2 下的竹管軸向應力場

1123425

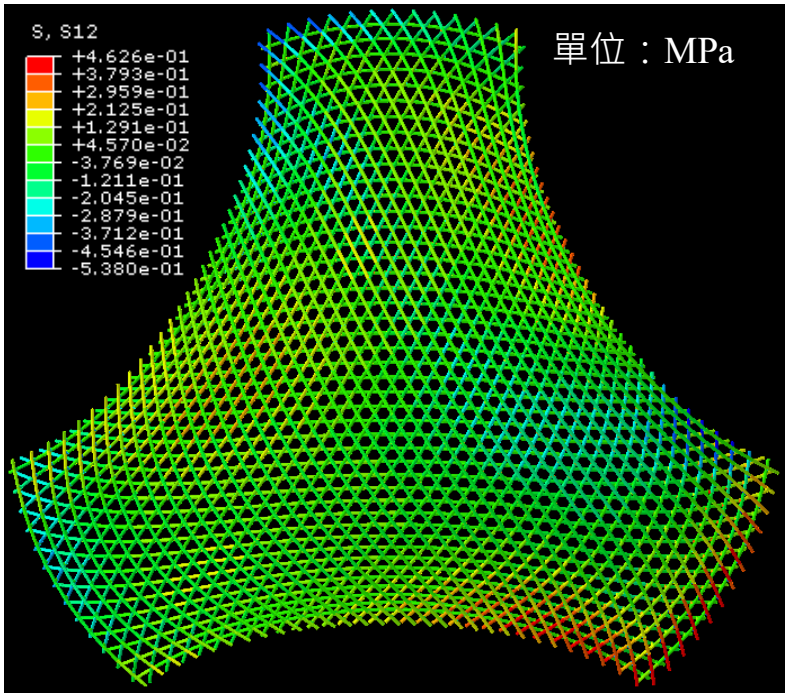


圖 11. 17 接合為螺栓+玻璃纖維圍束時，受 LC-4-2 下的竹管剪應力場

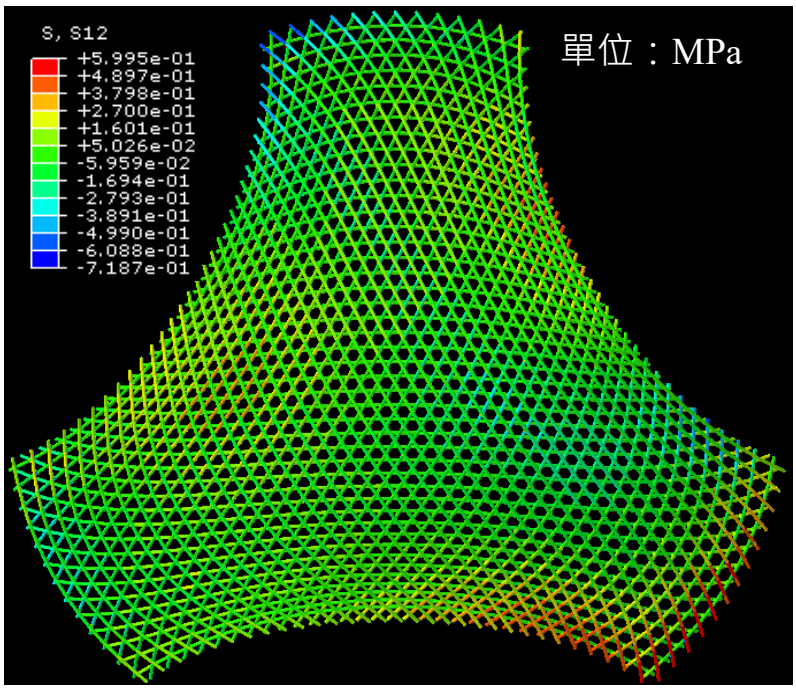


圖 11. 18 接合為鐵絲綁紮時，受 LC-4-2 下的竹管剪應力場

表 11. 7 兩種接合形式受 LC-4-2 下的竹管軸向應力及檢核

接合種類	最大軸向應力	軸向應力檢核
螺栓+玻纖圍束	10.07 MPa	$\max(S11) = 10.07\ \text{MPa} < f_{m,0} = 38\ \text{MPa} \Rightarrow \text{OK}$
鐵絲綁紮	11.53 MPa	$\max(S11) = 11.53\ \text{MPa} < f_{m,0} = 38\ \text{MPa} \Rightarrow \text{OK}$

1123425

表 11. 8 兩種接合形式受 LC-4-2 下的竹管剪應力及檢核

接合種類	最大剪應力	軸向應力檢核
螺栓+玻纖圍束	0.538 MPa	$\max(S12) = 0.538\ \text{MPa} < f_v = 3.4\ \text{MPa} \Rightarrow \text{OK}$
鐵絲綁紮	0.719 MPa	$\max(S12) = 0.719\ \text{MPa} < f_v = 3.4\ \text{MPa} \Rightarrow \text{OK}$

此處竹管檢核的 $f_{m,0}$ 及 f_v 是 LRFD 中，服務等級二$C_{DF} = 0.85$的設計值。

11.6.2 鋼圓管等效應力

表 11. 9 為初步分析結果，紅色標記為最大應力，載重組合案例為 LC-4-8。

表 11. 9 挑選鋼圓管桿件設計的載重組合案例 Mises 應力初步分析結果(MPa)

LC-3-1	LC-3-2	LC-3-3	LC-3-4	LC-3-5	LC-3-6	LC-3-7	LC-3-8
71.72	107.4	107.2	115.1	108.4	107.6	115.4	118.9
LC-4-1	LC-4-2	LC-4-3	LC-4-4	LC-4-5	LC-4-6	LC-4-7	LC-4-8
115.3	163.1	169.6	181.4	185.6	165.9	184.0	187.4
LC-6-1	LC-6-2	LC-6-3	LC-6-4	LC-6-5	LC-6-6	LC-6-7	LC-6-8
118.3	152.3	160.0	174.7	178.9	155.4	176.4	179.3

該組載重組合案例內考量的風力荷載方向為由 -X 向往 +X 向。以下為兩種不同的接合勁度在受到載重組合案例 LC-4-8，鋼圓管的 Mises 等效應力結果及檢核分別如圖 11. 19、圖 11. 20 以及表 11. 10 兩種接合形式受 LC-4-8 下的鋼圓管 Mises 等效應力及檢核所示。

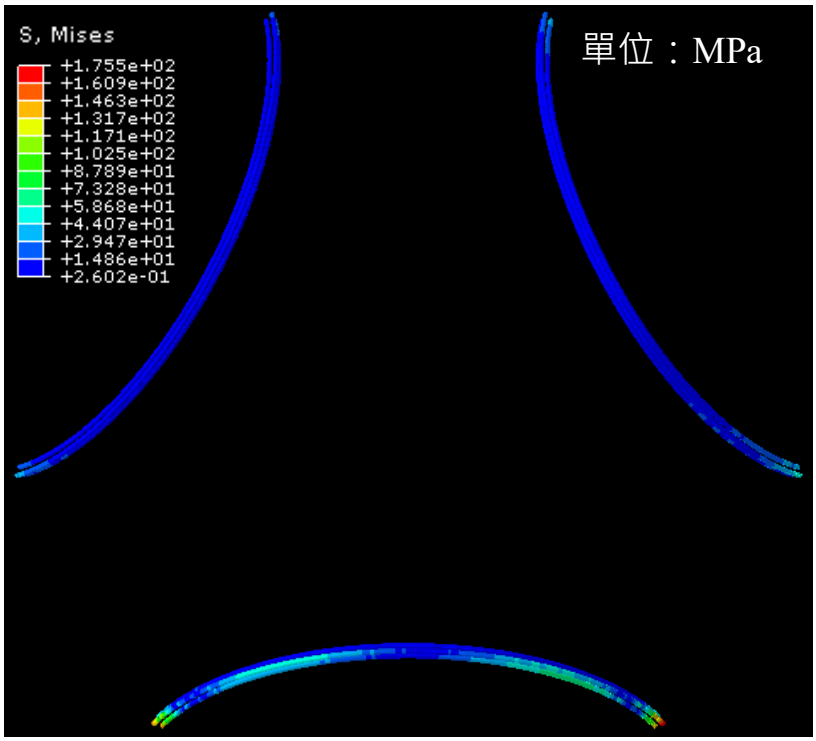


圖 11. 19 接合為螺栓+玻璃纖維圍束時，受 LC-4-8 下的鋼圓管 Mises 等效應力場

1123425

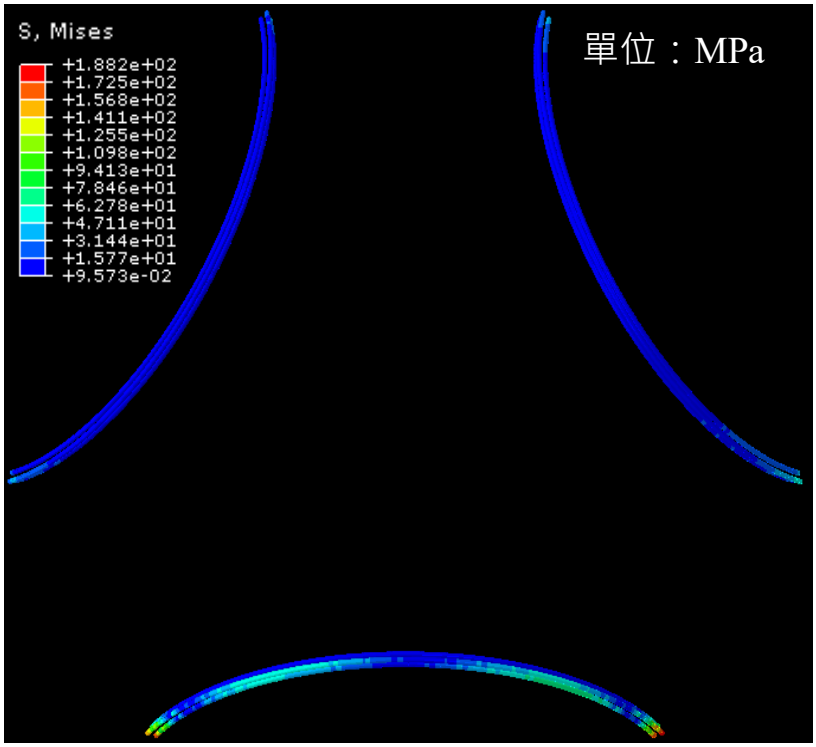


圖 11. 20 接合為鐵絲綁紮時，受 LC-4-8 下的鋼圓管 Mises 等效應力場

表 11. 10 兩種接合形式受 LC-4-8 下的鋼圓管 Mises 等效應力及檢核

接合種類	最大等效應力	Mises 等效應力檢核
螺栓+玻纖圍束	175.5 MPa	$\max(S_{Mises}) = 175.5\ \text{MPa} < f_y = 350\ \text{MPa} \Rightarrow \text{OK}$
鐵絲綁紮	188.2 MPa	$\max(S_{Mises}) = 188.2\ \text{MPa} < f_y = 350\ \text{MPa} \Rightarrow \text{OK}$

因施加的載重組合已在各項分析載重前乘上各自的放大係數，所以無需對降伏強度做任何的折減，此處的 $f_y = 350$ MPa 為 C350 鋼管的降伏強度。

11.7 接合設計強度檢核

本案竹管間橫向接合處採與竹管同斷面但楊氏模數有折減之梁元素假設之。而此種接合形式為第一種接合的面內抗剪，故僅需要檢核剪力強度是否滿足要求即可。表 11. 10 為初步分析結果，此處使用剪應力的原因為：梁元素斷面皆相同，且在有限元素軟體的結果中只能得到各方向的內力，而剪應力一定程度上反應的接合的內力，又沒有方向性的問題，所以用來當作初步分析的標準。從表中可以得知所選用的載重組合案例為 LC-4-5，風力荷載風向為由 -150° 方向往 +30° 方向。

以下為兩種不同的接合勁度在受到載重組合案例 LC-4-5，接合兩個剪力方向的結果及對最大剪力的檢核分別如圖 11. 21～圖 11. 24 以及表 11. 12 所示。

1123425

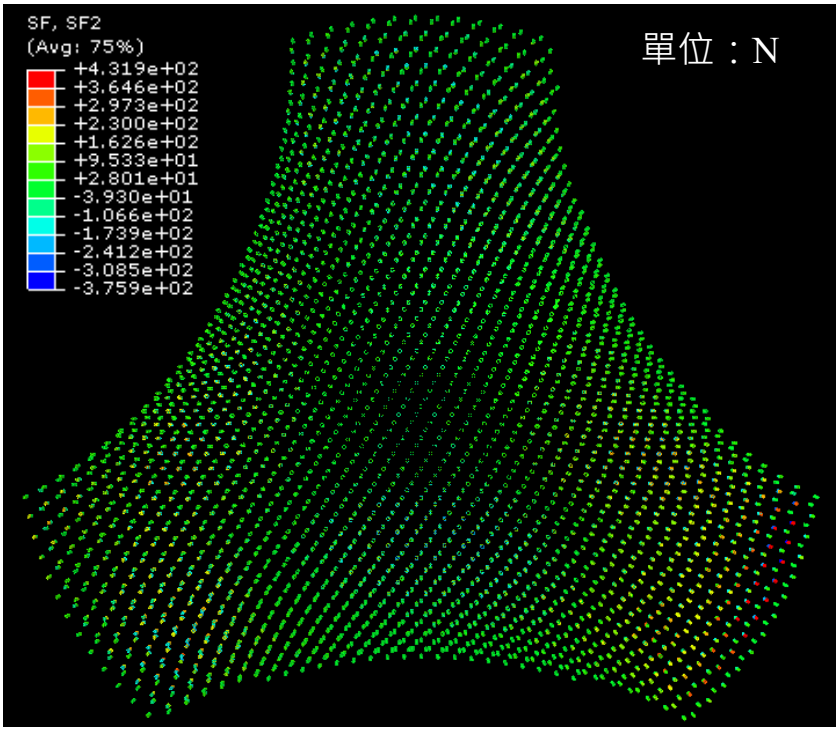


圖 11. 21 接合為螺栓+玻璃纖維圍束時，受 LC-4-5 下的斷面 Y 方向接合剪力場

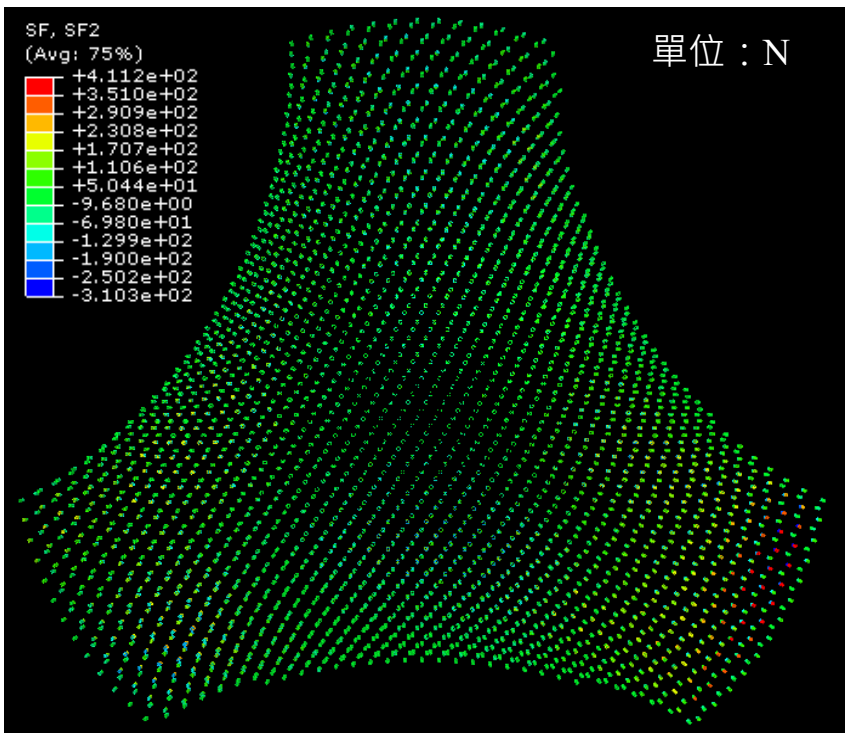


圖 11. 22 接合為鐵絲綁紮時，受 LC-4-5 下的斷面 Y 方向接合剪力場

1123425

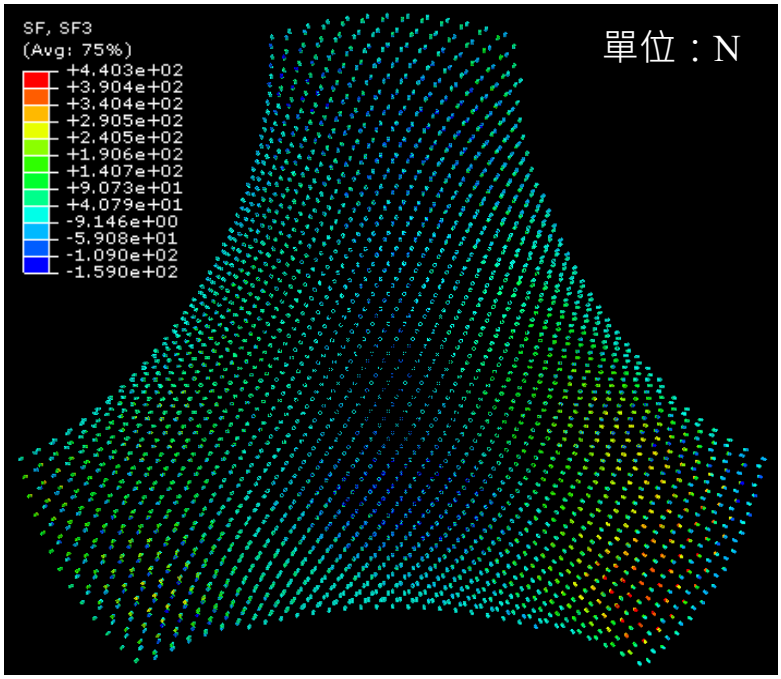


圖 11. 23 接合為螺栓+玻璃纖維圍束時，受 LC-4-5 下的斷面 Z 方向接合剪力場

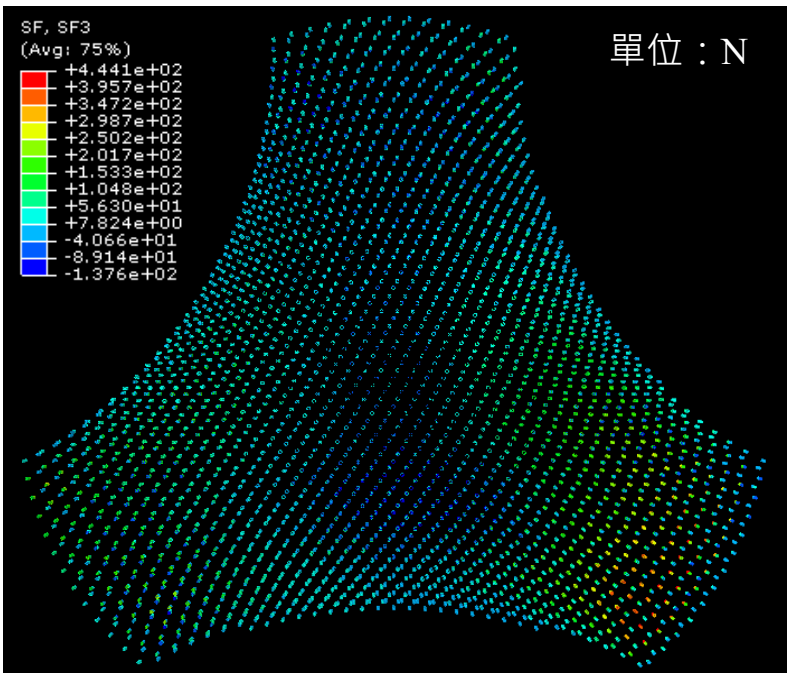


圖 11. 24 接合為鐵絲綁紮時，受 LC-4-5 下的斷面 Z 方向接合剪力場

表 11. 11 挑選接合設計的載重組合案例剪應力初步分析結果(MPa)

LC-3-1	LC-3-2	LC-3-3	LC-3-4	LC-3-5	LC-3-6	LC-3-7	LC-3-8
0.5436	0.8450	0.8259	0.8335	1.221	0.7478	0.8408	1.117
LC-4-1	LC-4-2	LC-4-3	LC-4-4	LC-4-5	LC-4-6	LC-4-7	LC-4-8
0.7489	1.190	1.196	1.190	1.955	1.179	1.246	1.747
LC-6-1	LC-6-2	LC-6-3	LC-6-4	LC-6-5	LC-6-6	LC-6-7	LC-6-8
0.8046	1.090	1.105	1.115	1.856	1.269	1.156	1.652

1123425

表 11. 12 兩種接合形式受 LC-4-5 下的接合剪力及檢核

接合種類	接合最大剪力檢核
螺栓+玻璃纖維圍束	$V_{max1} = \sqrt{V_{SF2}^2 + V_{SF3}^2} = 0.617\ \text{kN} < F_{v1} = 1.254\ \text{kN} \Rightarrow \text{OK}$
鐵絲綁紮	$V_{max2} = \sqrt{V_{SF2}^2 + V_{SF3}^2} = 0.605\ \text{kN} < F_{v2} = 2.037\ \text{kN} \Rightarrow \text{OK}$

因施加的載重組合已在各項分析載重前乘上各自的放大係數，所以無需對接合試驗得到的剪力強度做任何的折減，此處F_{v1}及F_{v2}第一種接合面內剪力強度的設計值，計算方法如下：$F_v = F \times C_{DF}/FS_{LRFD}$。其中$F$為實驗獲得的極限強度的特徵值、服務等級二下的強度與載重持續時間修正係數$C_{DF} = 0.85$、$FS_{LRFD} = 3.0$為極限強度設計法中對於接合的安全係數。以下為兩種接合種類的剪力強度設計值計算：螺栓+玻璃纖維圍束$F_{v1} = F_1 \times C_{DF}/FS_{LRFD} = 4.425 \times 0.85/3.0 = 1.254$ N；鐵絲綁紮 $F_{v2} = F_2 \times C_{DF}/FS_{LRFD} = 7.189 \times 0.85/3.0 = 2.037$ N。

11.8 結論

此結構為三個方向對稱的結構，所以風力的考慮方向會主要以三個開口方向為主(另外包含 X 方向)。對於構件設計及接合設計的部分，較為關鍵的載重組合為表 11. 4 的第 4 列 1.2D+1.6W+0.5Lr，可見得於本結構而言風載重的影響甚鉅。而對於竹管構件設計方面，含 Y 方向風力的載重組合會造成最大應力，在分別經過軸向應力跟剪應力的檢核後都有在極限設計法的抗彎強度及抗剪強度的範圍內。鋼圓管的Mises等效應力最大值是發生在X方向的風力載重組合，因分析的結果已考慮載重組合，所以直接對降伏應力做檢核即可。最後是接合的部分，因接合部分的梁元素斷面尺寸及元素長度均相同，為了可以瞭解斷面受到的所有剪切行為，初步先以剪應力找出最大的載重組合，風力荷載風向為由 -150° 方向往 +30° 方向，並提取梁斷面兩個方向的剪力值平方和開根號當作最大剪力並對實驗得到第一種面內接合的強度值做檢核，結果都在實驗的剪力強度範圍內。

1123425

第十二章 竹薄殼分析案例二

12.1 設計案說明

本案的主結構是一個由鋼和竹混合構成的開放球型棚頂，棚頂的開放側由鋼拱支撐，跨度約為 19 公尺。棚頂的封閉側直接連接到鋼筋混凝土基礎上，並設有兩個通道開口。

12.1.1 結構分析模擬與設計原則

整體結構模型採 Timoshenko Beam Element 進行模擬，載重組合於後續介紹，載重形式將轉換成等值載重作用於結構模型的節點上。因支承為鋼拱基腳與竹棚封閉端落於混凝土基腳上，簡化模型假設邊界條件為固定端(fixed)。

對於薄殼結構，通常由風力來控制結構的變形行為，而在風力加載的分析時會考慮意外扭矩；而各斷面的構件斷面設計依法規規定之設計方法檢核之。

12.2 結構系統

12.2.1 材料規格及參數

模擬採用的材料強度採用本計畫報告中關於各項竹材試驗歸納出的極限設計強度(見第七章)，而竹材料的彈性參數如 10.4 節所述，各項材料的強度及彈性參數如下：

<u>桂竹管：</u>

- 平行纖維抗剪強度 $f_v = 4$ [MPa]
- 抗彎強度 $f_{m,0} = 60$ [MPa]
- 楊氏模數 $E_L = 9$ [GPa]
- 柏松比 $\nu = 0$
- 剪力模數 $G_{LT} = 0.621$ [GPa]
- 材料密度 $\rho = 800$ [kg/cm^3]

<u>結構鋼材：</u>

- 楊氏模數 $E_L = 210$ [GPa]

1123425

- 柏松比　　$\nu = 0$
- 剪力模數　　$G_{LT} = 80.8$ [GPa]
- 鋼材種類　　CNS SN490B/C，Fy ≥ 350 [MPa]

<u>橫向接合：</u>

表 12. 1 本案模擬使用的兩種接合形式及等值楊氏模數

Type	螺栓+玻璃纖維圍束	鐵絲綁紮
k_{exp}(N/mm)	246.5	110.5
E_{eq}(N/mm^2)	11.81	5.295

12.2.2 斷面性質

<u>桂竹 60x6 mm：</u>

A = 1018 mm^2

I = 375596 mm^4

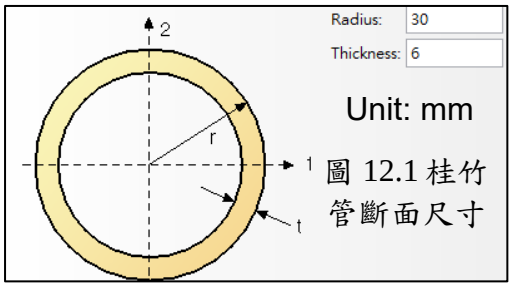


圖 12.1 桂竹管斷面尺寸

<u>組合拱之鋼圓管 114.4x6 mm：</u>

A = 2044 mm^2

I = 3013750 mm^4

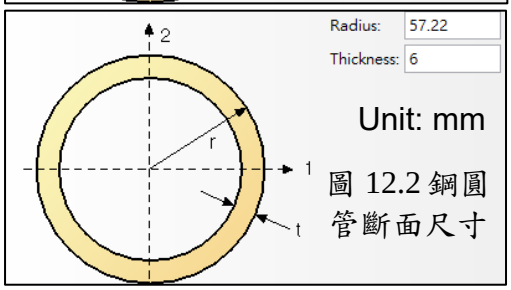


圖 12.2 鋼圓管斷面尺寸

<u>組合拱之鋼圓管間連結的鋼板 100x10 mm：</u>

A = 1000 mm^2

I_1 = 8333 mm^4

I_2 = 833333 mm^4

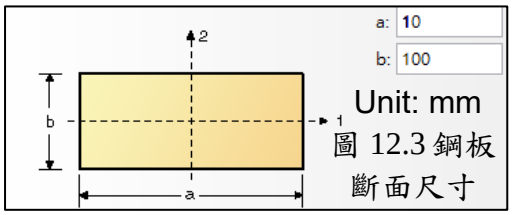


圖 12.3 鋼板斷面尺寸

<u>T 形斷面：</u>

A = 2350 mm^2

I_1 = 1736000 mm^4

I_2 = 2826000 mm^4

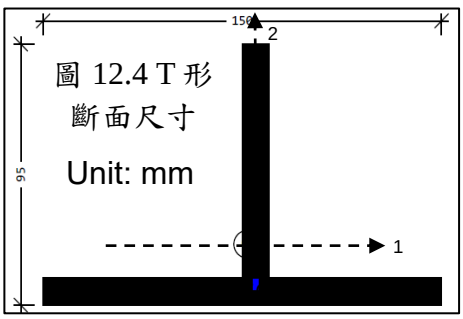


圖 12.4 T 形斷面尺寸

Unit: mm

鋼組合斷面：

A = 8460 mm^2

I_1 = 12290000 mm^4

I_2 = 140400000 mm^4

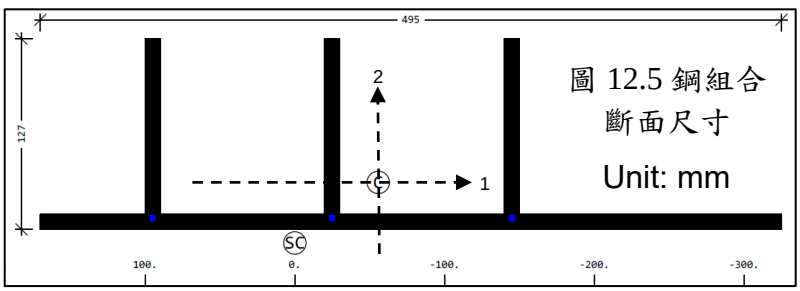


圖 12.5 鋼組合斷面尺寸

Unit: mm

1123425

12.2.3 結構模型及組成

這個結構的主體是一個由鋼和竹混合構成的開放式球型棚頂。鋼構用作邊梁，形成雙向六層的竹管網格，構成了球面的主要結構。竹管網格的開放端與鋼拱固定，而封閉端則與基礎及通道開孔上的組合鋼樑固定。有關尺寸和構造的詳細資訊請參考建築結構平面圖，計算模型可參見下圖(因此結構同大跨距竹薄殼研究[36]案例二的結構形式，故在此引用該結構模型及組成的示意圖)：

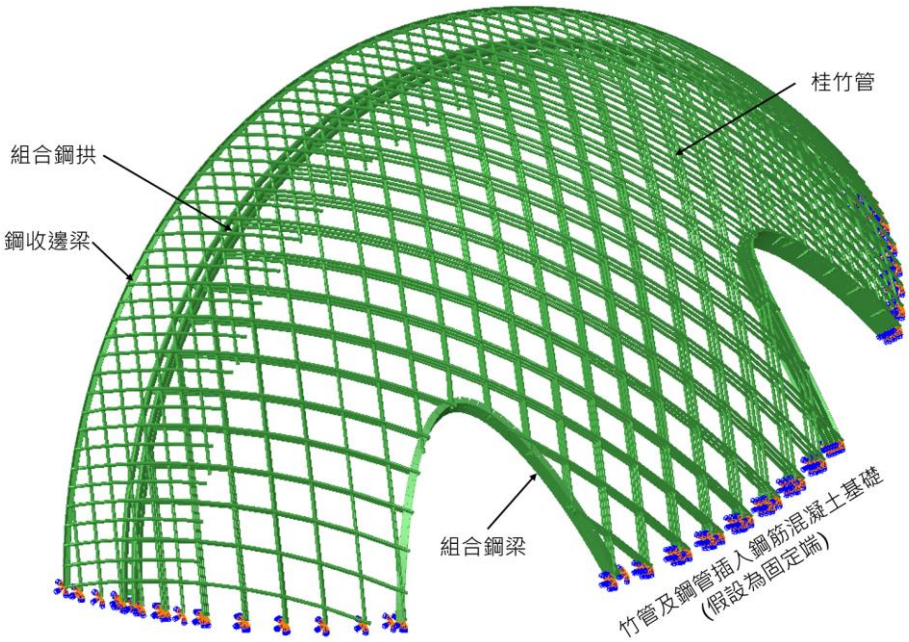


圖 12. 6 結構組成

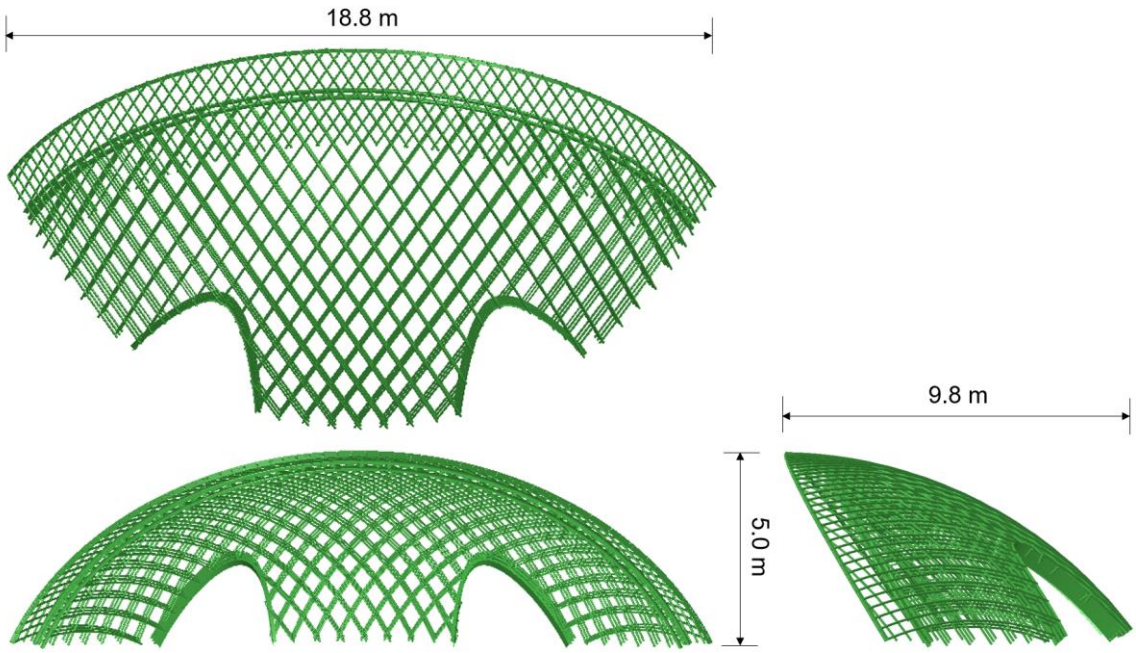


圖 12. 7 整體結構尺寸

12.3 設計載重

1123425

12.3.1 靜載重及活載重

結構體的竹構、鋼構和 RC 基礎的重量都是由結構計算軟體自動計算得出的。然而，其他非結構體的重量，例如屋頂鋪面系統和活載重，則需要額外進行考量，其具體數值列於下方：

表 12. 2 外加靜載重與活載重

各式空間 [-]	外加靜載重 [kgf/m^2]	活載重 [kgf/m^2]
屋面	25	60

12.3.2 地震力

依據鑽探報告，雖本案距離湖口斷層 9.37 公里。因該斷層為第二類活動斷層且距離甚遠，所以地震計算力不需考量近斷層因子，但依據大跨距竹薄殼研究[36]案例二的分析結果可知，地震力並非本次模擬結構的控制載重，故本案的設計載重並不會將設計地震力考慮進去載重組合內。若需要觀看本案設計地震力的計算(上部結構的水平、垂直設計地震力及地震意外扭矩)，可以直接查閱大跨距竹薄殼研究[36]第 11.3.2 章節。

12.3.3 風力

1. <u>地況種類及對應之參數</u>

根據建築物耐風設計規範及解說[27]關於地況種類的分類說明，如下圖所示，本案位於山坡地上方，且四周並無民舍及障礙物，屬於地況 C。

地況種類依建築物所在位置及其附近地表特性而定，分成以下三類：

(1)地況 A： 大城市市中心區，至少有 50%之建築物高度大於 20 公尺者。建築物迎風向之前方至少 800 公尺或建築物高度 10 倍的範圍(兩者取大值)係屬此種條件下，才可使用地況 A。

(2)地況 B： 大城市市郊、小市鎮或有許多像民舍高度（10~20 公尺），或較民舍為高之障礙物分布其間之地區者。建築物迎風向之前方至少 500 公尺或建築物高度 10 倍的範圍（兩者取大值）係屬此種條件下，方可使用地況 B。

(3)地況 C： 平坦開闊之地面或草原或海岸或湖岸地區，其零星座落之障礙物高度小於 10 公尺者。

若附近地況為介於地況 A 與地況 B 間或地況 B 與地況 C 間之過渡地況，原則上應採用會產生較大風力之地況，但也可利用可信賴之合理分析法，決定此一過渡地況之風速垂直分布。

圖 12. 8 建築物耐風設計規範及解說內關於地況分類之規定

1123425

下表為地況種類所對應的參數：

表 12.3 建築物耐風設計規範及解說內關於不同地況分類對應之參數

地況	α	z_g (m)	$\bar{b}$	c	$\lambda(m)$	$\bar{\varepsilon}$	z_{min} (m)
A	0.32	500	0.45	0.45	55	0.5	18
B	0.25	400	0.62	0.30	98	0.33	9
C	0.15	300	0.94	0.20	152	0.20	4.5

本案屬於地況 C，藉由這些參數計算以下各項模擬所需的參數。

2. 基本風壓計算

參數名稱	數值	單位
建築物高度 z	5	m
梯度高度 z_g	300	m
相對於 10 分鐘平均風速之垂直分布法則的指數 α	0.15	-
10 公尺高之風速 V_{10} (新竹縣湖口鄉)	37.5	m/s
用途係數 I (第五類建築物)	1.0	-
風速壓地況係數 $K(z) = 2.774(z/z_g)^{2\alpha}$; z 需 ≥ 5 m	0.812	-
地形修正係數 K_{zt}	1.0	-
風速壓 $q(z) = 0.06K(z)K_{zt}[IV_{10}(C)]^2$	68.5 0.672	kgf/m^2 kN/m^2

3. 開放式建築物之外風壓

參數名稱	數值	單位
z_{Ac}處之風速壓 $q(z_{Ac})$(因 $z_{Ac} < 5$ 所以等同於$q(z)$)	0.672	kN/m^2
特徵面積A_c形心高度 $z_{Ac} = 2z/3$	3.33	m
風力係數C_f $(0.1 \le \phi \le 0.29\,;\, D\sqrt{q(z)} = 0.486 < 1.70)$	1.3	-
陣風反應因子G (普通建築物)	1.88	-
單位特徵面積設計風力(外風壓) $F/A_c = q(z_{Ac})GC_f$	1.64	kN/m^2

4. 風力扭矩

參數名稱	數值	單位
水平投影面積(特徵面積) A_c	56.3	m^2
受風面寬 B	18.9	m
受風進深 L	8.1	m
受風面平均高度 h	11.1 < 18	m
$h/\sqrt{BL}$	0.9 < 3	-
L/B	0.43 < 5	-
正向風合力 F	92.48	kN
風力扭矩 $T = 0.28BF$	489.4	kN-m

1123425

5. 方向風載重分布形式

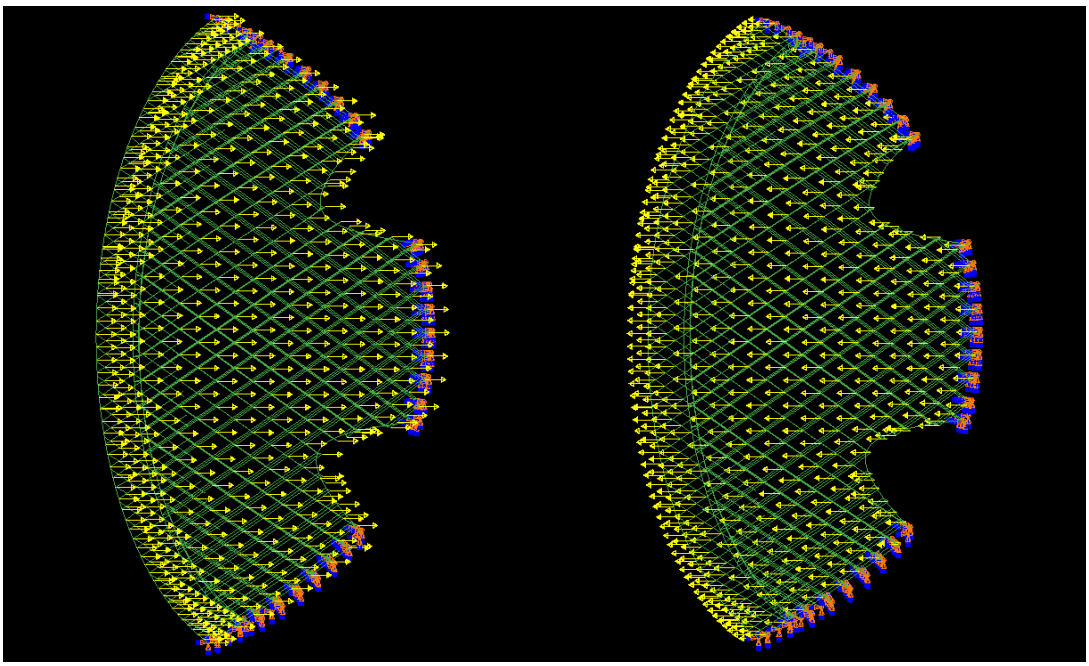


圖 12. 9 正負 X 方向的風力 (風力轉換之節點載重)

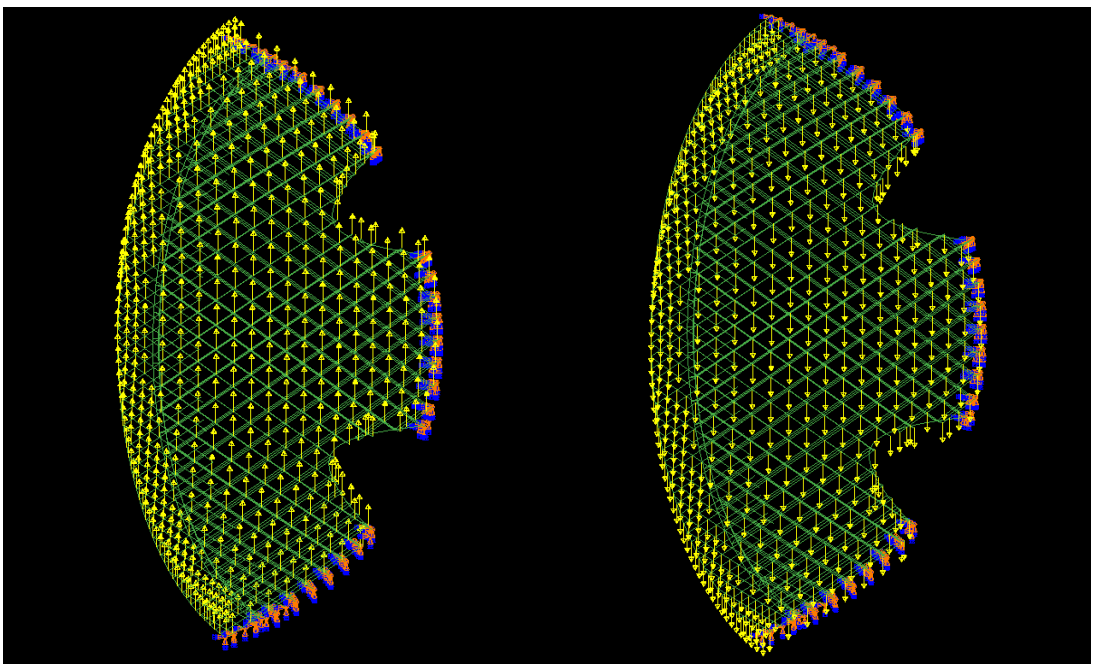


圖 12. 10 圖向的風力 (風力轉換之節點載重)

1123425

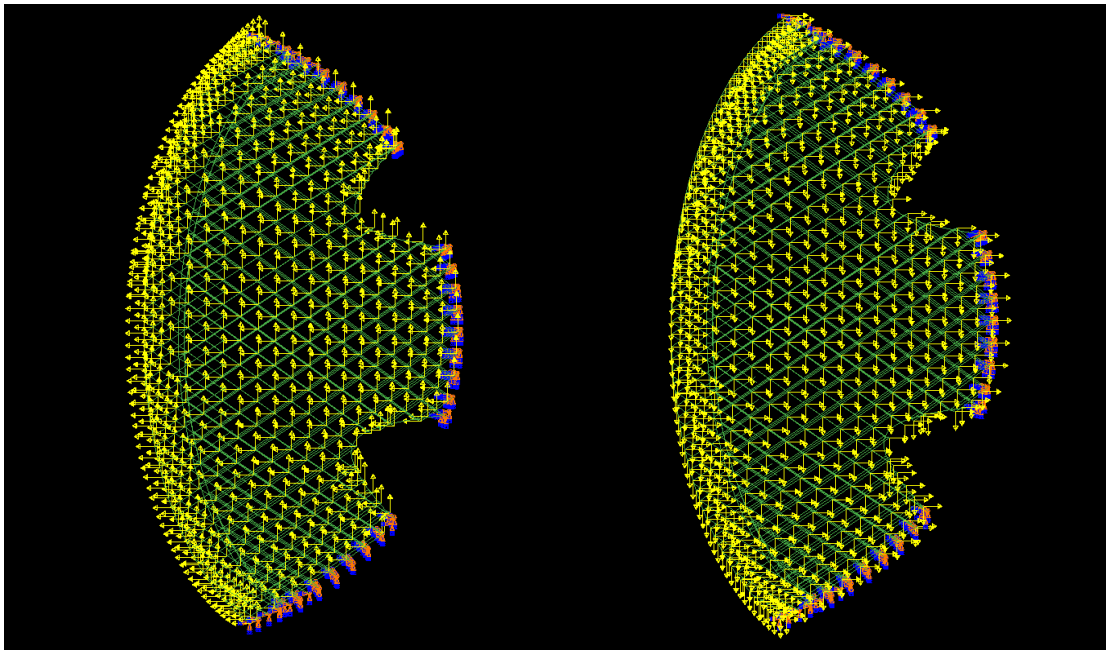


圖 12. 11 正 135°及負 45°的風力 (風力轉換之節點載重)

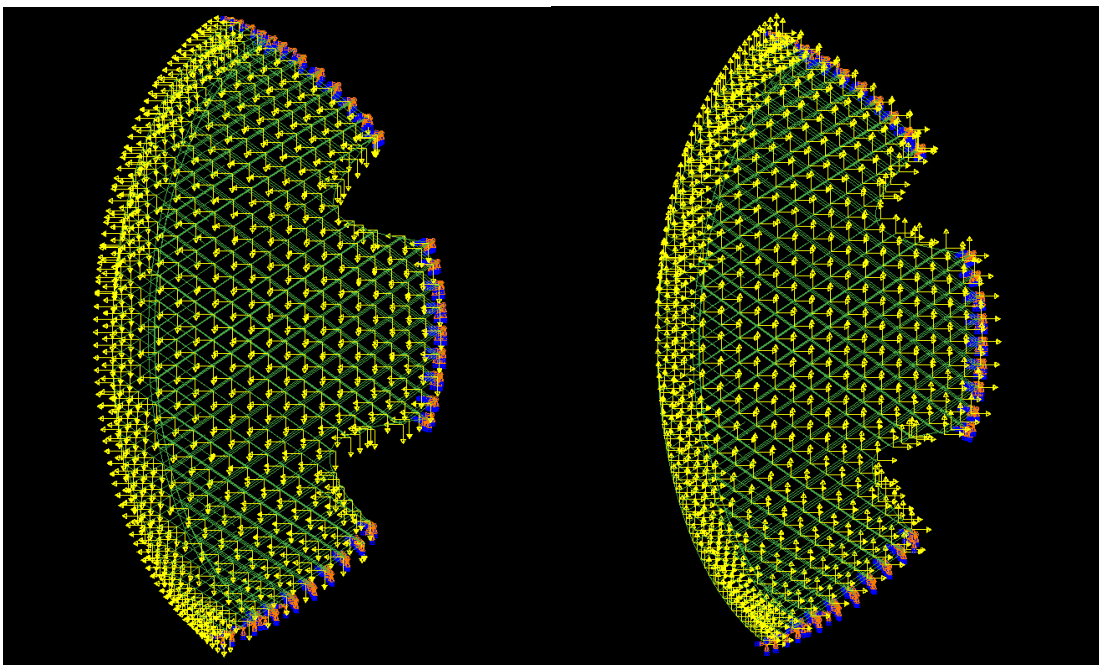


圖 12. 12 正 45°及負 135°的風力 (風力轉換之節點載重)

1123425

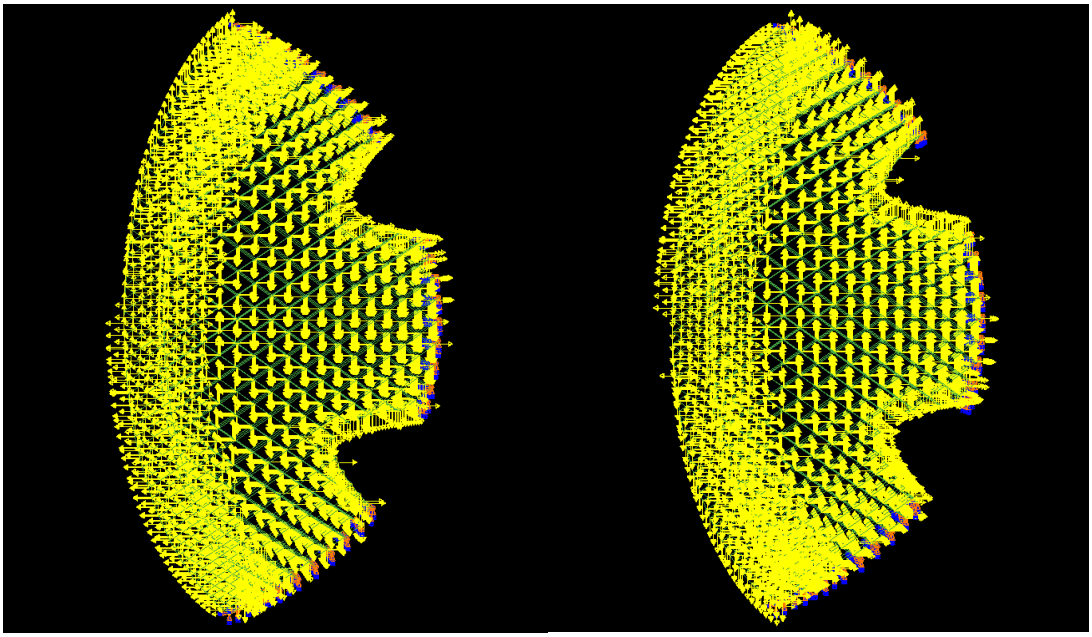


圖 12. 13 順時針/逆時針方向的風力扭矩 (扭矩轉換之節點載重)

12.4 載重組合

12.4.1 分析載重之簡稱

DL　結構自身重量
SDL　外加靜載重
D　總靜載重 (DL+SDL)
LL　樓板活載重
Lr　屋頂活載重
W1　來自方向 X 之風力
W2　來自方向 Y 之風力
W3　來自方向 Z 之風力
Wt　風力扭矩
W　總水平風力 (W1、W2 或 W3，並包含 Wt 之作用)
Ex　X 方向之水平地震力
Ey　Y 方向之水平地震力
Ev　Z 方向之垂直地震力
Er　質量偏心造成之靜態扭矩地震力
Eh　總水平地震力 (Ex 或 Ey，並包含 Er 之作用)

其中，關於地震力的載重只是用於 12.4.2 節中針對包含地震力的載重組合，根據去年的大跨距竹薄殼研究[30]中的分析結果顯示，地震力並不會控制本案結構體的主要位移(主要原因為結構體的高度比跨度還小且自重較輕，自然頻率

1123425

遠高於地震的頻率，難以發生共振產生危害)，於此列出是用於顯示本案使用的極限強度設計法中有針對地震力的載重組合，但其不是控制破壞的主因，所以各項結果並不會有包含地震力的載重組合。關於地震力的相關設定、計算及討論可以參閱大跨距竹薄殼研究[30]。

12.4.2 極限強度設計法 LRFD 的載重組合

本案中考慮的極限強度設計法 LRFD 之載重組合是用於竹構造及鋼構造。關於 RC 基礎及土壤反力的部分，根據大跨距竹薄殼研究[30]中的內容，兩者皆遠小於對應的檢核值，並非控制破壞的主要原因，故在此報告中簡化模型將 RC 基礎及土壤假設為與竹管及鋼管固定端的邊界條件，如此可以大幅減少建模、分析時間並減少報告中重要性低的篇幅。

載重組合列表如下：

表 12. 4 極限強度設計法的載重組合 (竹構造及鋼構造)

No.	載重組合
1	1.4D
2	1.2D + 1.6L + 0.5Lr
3	1.2D + 1.6Lr + 0.8W
4	1.2D + 1.6W +0.5Lr
5	1.2D + E + L + 0.2S
6	0.9D + 1.6W
7a	0.9D + (Eh - 0.3Ev)
7b	0.9D + (0.3Eh - Ev)

因竹薄殼結構從分析中得知會主要受到風力控制，所以本設計關心的載重組合分別為 No.3, No.4, No.6。所以本案中總共需要考慮 3 種載重組合、8 個風力的方向以及 2 個轉動方向的風力扭矩，總共有 $3 \times 8 \times 2 = 48$ 個載重組合案例需要考慮，但會控制結構變形、桿件強度及接合內力的僅會有數個載重組合，故本案的分析會先以某一種接合形式對橫向接合的梁元素進行勁度折減過後，將所有的載重組合案例都跑過一遍後，分別依據桿件(包含竹管跟鋼圓管)最大應力以及接合最大內力，找出 3 個最為關鍵的載重組合案例，並對此進行後續針對多種不同接合形式(不同接合勁度)進行結構分析及討論。

1123425

12.5 變形量檢核

針對除了地震力之外的分析載重作用於結構上，從中挑出變形量最大的結果用以進行比較。從表 12.5 的 8 個風力方向的最大變形量可以得知(接合為鐵絲綁紮的勁度)，本案例中為由 -X 方向往 +X 方向的風力荷載為使結構產生最大變形量的分析載重，兩種橫向接合分別對應的變形量結果如圖 12.14 所示以及對於項結果的整理及檢核如表 12.6 所示：

表 12.5 接合為鐵絲綁紮時，8 個風力方向的最大變形量(mm)

風力方向	-X → +X	-Y → +Y	-45° → +135°	-135° → +45°
最大變形量(mm)	80.23	28.93	57.45	56.71
風力方向	+X → -X	+Y → -Y	+135° → -45°	+45° → -135°
最大變形量(mm)	80.23	28.93	57.45	56.71

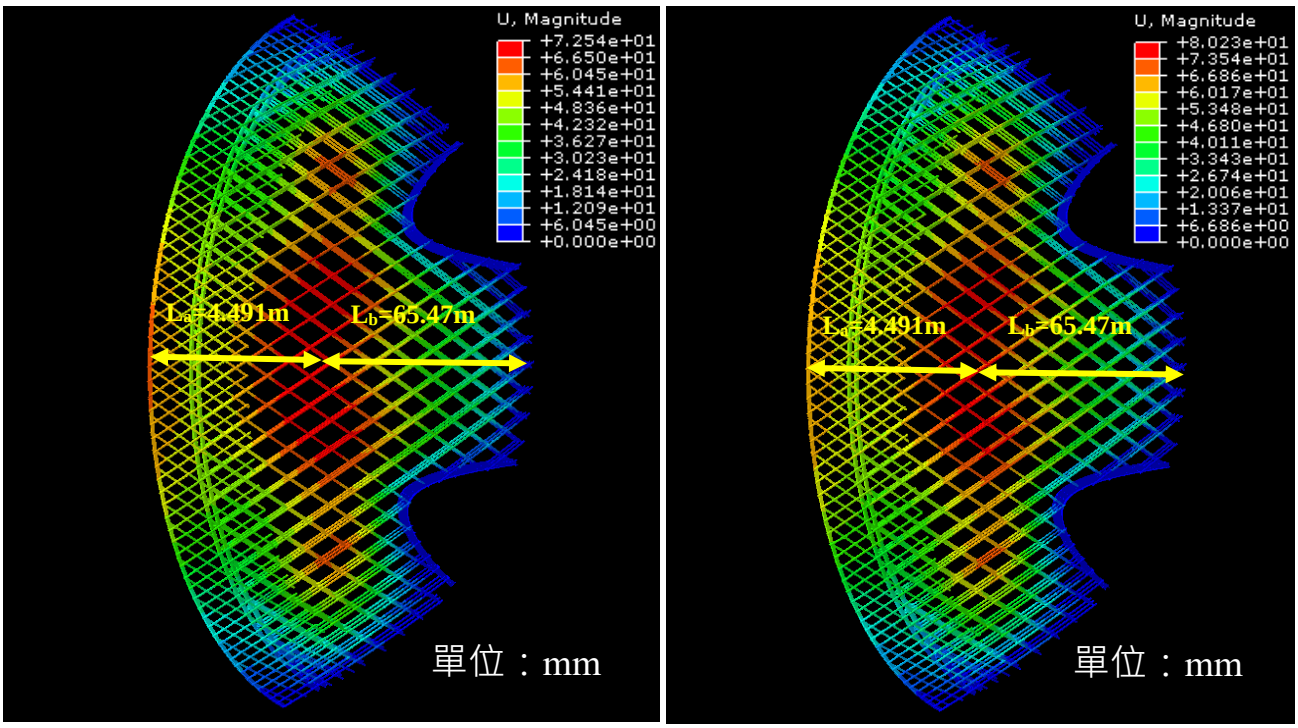


圖 12.14 受+X 方向風力荷載的位移場(左:螺栓+玻璃纖維圍束、右:鐵絲綁紮)

表 12.6 兩種接合形式受+X 方向風力荷載下的最大變形量及檢核

接合種類	h_c	最大變形量 Δ_{max}	相對變形量Δ	變形量檢核
螺栓+玻璃纖維圍束	24.41mm	72.54 mm	48.13mm	$\frac{\Delta_1}{L}=\frac{48.13}{11038}=\frac{1}{229}<\frac{1}{200}\Rightarrow \text{OK}$
鐵絲綁紮	26.58mm	80.23 mm	53.65mm	$\frac{\Delta_2}{L}=\frac{53.65}{11038}=\frac{1}{206}<\frac{1}{200}\Rightarrow \text{OK}$

1123425

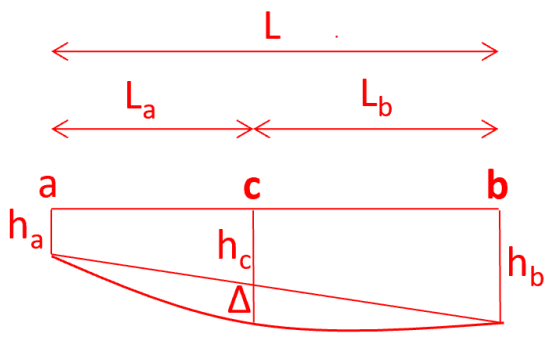


圖 12. 15 結構變位計算示意圖

$$\Delta = \Delta_{max} - h_c$$

$$\Delta / L \leq 1/200$$

$$L_a = 4.491 \text{ m}$$

$$L_b = 6.547 \text{ m}$$

$$L = L_a + L_b = 11.038 \text{ m}$$

$$h_c = \frac{h_b \cdot L_b + h_a \cdot L_a}{L}$$

$$h_{c1} = \frac{59.95 \cdot 6547 + 0}{11038} = 24.41 \text{ mm}$$

$$h_{c2} = \frac{65.33 \cdot 6547 + 0}{11038} = 26.58 \text{ mm}$$

12.6 構件設計

12.6.1 竹管軸向應力及剪應力

雖竹管在檢核結果時會分別依據軸向應力及剪應力來檢核結果，但在初步分析下還是使用 Mises 等效應力去選取關鍵的載重組合。因本案的風力荷載已經考慮兩個方向的力量，所以在風力意外扭矩的部分就只考慮單一方向，故在此採取逆時鐘方向的風力意外扭矩，所以以下共會有 24 個載重組合案例，並從中挑選出 1 個最高應力值當作分析的載重組合。在初步分析選取載重組合案例時，採用的接合為鐵絲綁紮軸向楊氏模數$E_L = 5.295$ MPa，介於兩者之間。表 12. 7 為初步分析結果，紅色標記為最大應力，載重組合案例為 LC-4-2，所以在進行分析及檢核時將會使用該載重組合案例。

表 12. 7 挑選竹管桿件設計的載重組合案例 Mises 應力初步分析結果(MPa)

LC-3-1	LC-3-2	LC-3-3	LC-3-4	LC-3-5	LC-3-6	LC-3-7	LC-3-8
34.06	54.08	46.63	43.38	52.61	36.58	48.63	37.92
LC-4-1	LC-4-2	LC-4-3	LC-4-4	LC-4-5	LC-4-6	LC-4-7	LC-4-8
13.70	49.18	38.71	27.38	49.09	14.00	38.03	18.13
LC-6-1	LC-6-2	LC-6-3	LC-6-4	LC-6-5	LC-6-6	LC-6-7	LC-6-8
16.34	38.27	27.83	18.56	38.20	16.22	29.21	14.67

該組載重組合案例內考量的風力荷載方向為由 +X 方向往 -X 方向。從上表初步分析結果可以發現，載重組合 3 對竹管構件的應力影響較為明顯；而第 1 組與第 2 組的差異只在於風力方向的正負號而已，但因此結構形狀為 1/4 橢球殼狀，靜載重+活載重的方向與風力的互制關係就變得明顯，第 1 組因風力方向是往殼內吹，所以會提供結構向上的力量與靜載重+活載重抵銷，而第 2 組則相反，風力作用於殼外，會提供結構向下的力量，反而會增長結構向下的變形，所以

1123425

兩者構件的硬力才會差距較大。以上兩者均可以從後續的鋼圓管構件等值應力及接合剪應力的初步分析結果中觀察到類似的關係。

以下為兩種不同的接合勁度在受到載重組合案例 LC-3-2 時，竹管的軸向應力及剪應力結果及檢核分別如圖 12. 16、圖 12. 17 以及表 12. 8、表 12. 9 所示。

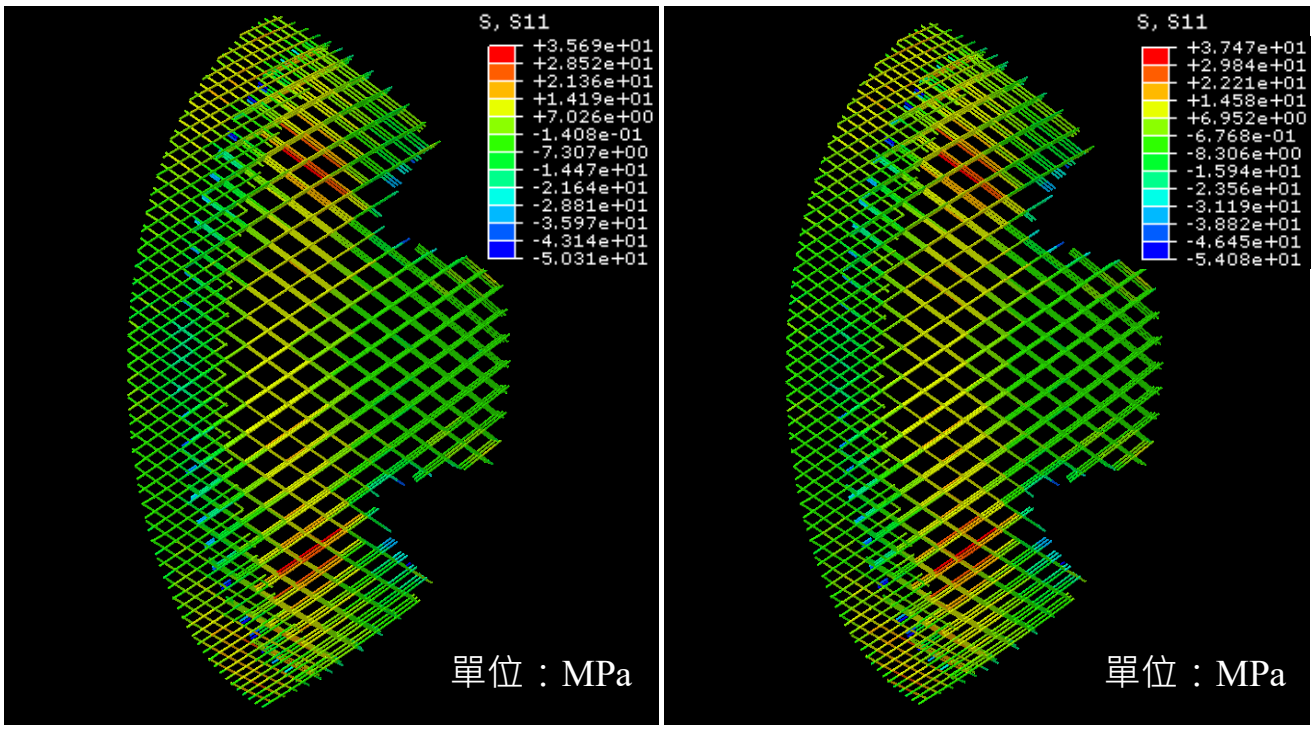


圖 12. 16 受 LC-3-2 下的竹管軸向應力場(左:螺栓+玻璃纖維圍束、右:鐵絲綁紮)

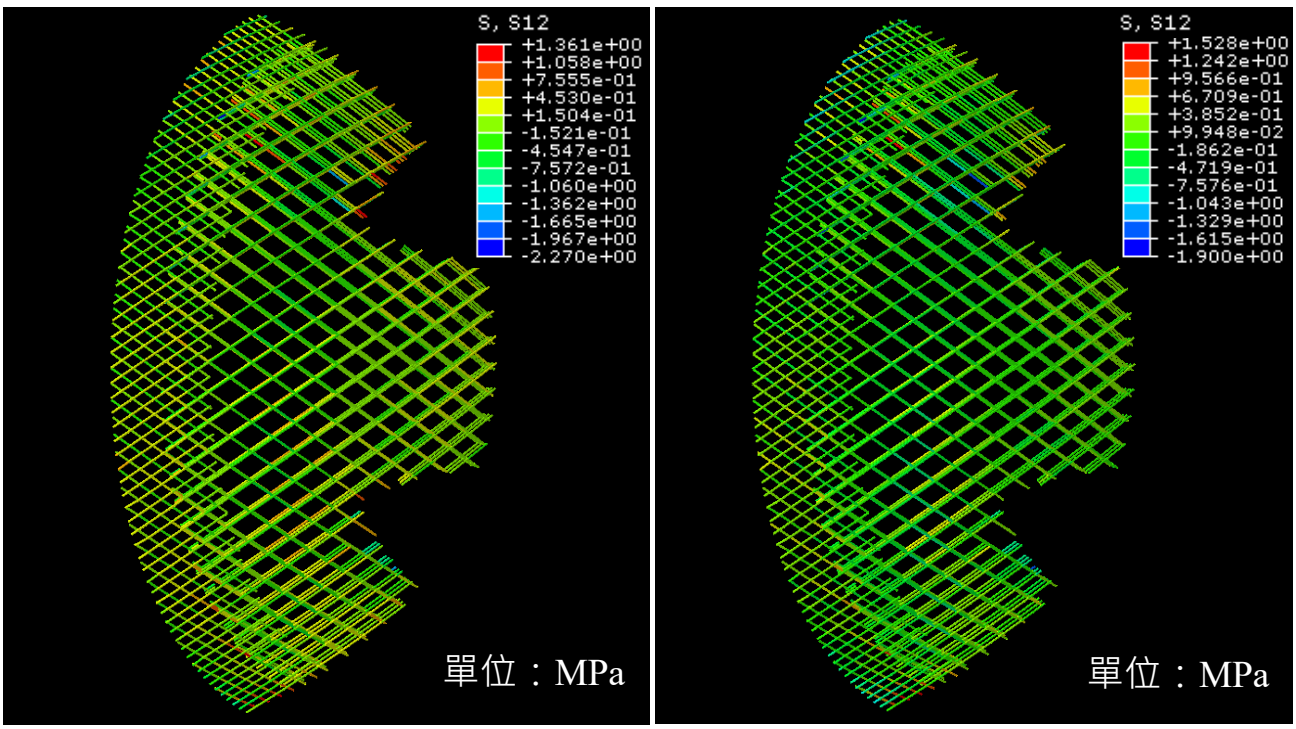


圖 12. 17 受 LC-3-2 下的竹管剪應力場(左:螺栓+玻璃纖維圍束、右:鐵絲綁紮)

1123425

表 12. 8 兩種接合形式受 LC-3-2 下的竹管軸向應力及檢核

接合種類	最大軸向應力	軸向應力檢核
螺栓+玻纖圍束	50.31 MPa	$\max(S11) = 50.31\ \text{MPa} < f_{m,0} = 55\ \text{MPa} \Rightarrow \text{OK}$
鐵絲綁紮	54.08 MPa	$\max(S11) = 54.08\ \text{MPa} < f_{m,0} = 55\ \text{MPa} \Rightarrow \text{OK}$

表 12. 9 兩種接合形式受 LC-3-2 下的竹管剪應力及檢核

接合種類	最大剪應力	軸向應力檢核
螺栓+玻纖圍束	2.27 MPa	$\max(S12) = 2.27\ \text{MPa} < f_v = 3.5\ \text{MPa} \Rightarrow \text{OK}$
鐵絲綁紮	1.90 MPa	$\max(S12) = 1.90\ \text{MPa} < f_v = 3.5\ \text{MPa} \Rightarrow \text{OK}$

此處竹管檢核的 $f_{m,0}$ 及 f_v 是 LRFD 中，服務等級二$C_{DF} = 0.85$的設計值。

12.6.2 鋼圓管等效應力

表 12. 10 為各個載重組合案例 Mises 應力的初步分析結果，紅色標記為最大應力，載重組合案例同竹管為 LC-3-2。鋼圓管的 Mises 等效應力結果及檢核分別如圖 12. 18 以及表 12. 11 所示。

表 12. 10 挑選鋼圓管桿件設計的載重組合案例 Mises 應力初步分析結果(MPa)

LC-3-1	LC-3-2	LC-3-3	LC-3-4	LC-3-5	LC-3-6	LC-3-7	LC-3-8
138.1	255.8	234.3	205.6	245.5	147.5	229.8	177.5
LC-4-1	LC-4-2	LC-4-3	LC-4-4	LC-4-5	LC-4-6	LC-4-7	LC-4-8
49.85	244.7	244.1	176.3	244.4	59.76	192.5	130.0
LC-6-1	LC-6-2	LC-6-3	LC-6-4	LC-6-5	LC-6-6	LC-6-7	LC-6-8
86.61	190.8	198.8	131.4	198.5	52.51	138.6	129.5

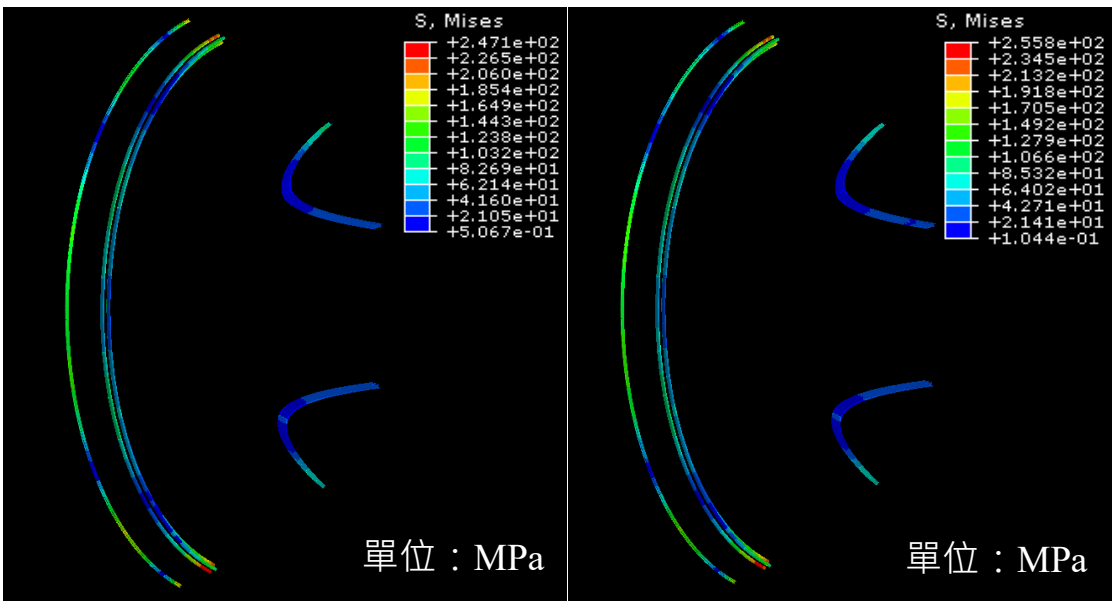


圖 12. 18 受 LC-3-2 的鋼圓管等效應力場(左:螺栓+玻璃纖維圍束、右:鐵絲綁紮)

1123425

表 12. 11 兩種接合形式受 LC-3-2 下的鋼圓管 Mises 等效應力及檢核

接合種類	最大等效應力	Mises 等效應力檢核
螺栓+玻纖圍束	247.1 MPa	$\max(S_{Mises}) = 247.1\ \text{MPa} < f_y = 350\ \text{MPa} \Rightarrow \text{OK}$
鐵絲綁紮	255.8 MPa	$\max(S_{Mises}) = 255.8\ \text{MPa} < f_y = 350\ \text{MPa} \Rightarrow \text{OK}$

因施加的載重組合已在各項分析載重前乘上各自的放大係數，所以無需對降伏強度做任何的折減，此處的 f_y = 350 MPa為 C350 鋼管的降伏強度。

12.7 接合設計強度檢核

本案竹管間橫向接合處採與竹管同斷面但楊氏模數有折減之梁元素假設之。而此種接合形式為第一種接合的面內抗剪，故僅需要檢核剪力強度是否滿足要求即可。表 10.12 為所有載重組合案力的剪應力初步分析結果，此處使用剪應力的原因與案例一的理由相同。從表中可以得知所選用的載重組合案例為 LC-3-2，與竹管及鋼圓管的構件設計相同，代表在本案例中，該載重組合案例是影響甚鉅的風力方向及載重配置，這與結構本身的形狀很有關聯，也符合直覺判斷。

以下為兩種不同的接合勁度在受到載重組合案例 LC-3-2，接合兩個剪力方向的結果及對最大剪力的檢核分別如圖 12. 19、圖 12. 20 以及表 12. 12 所示。

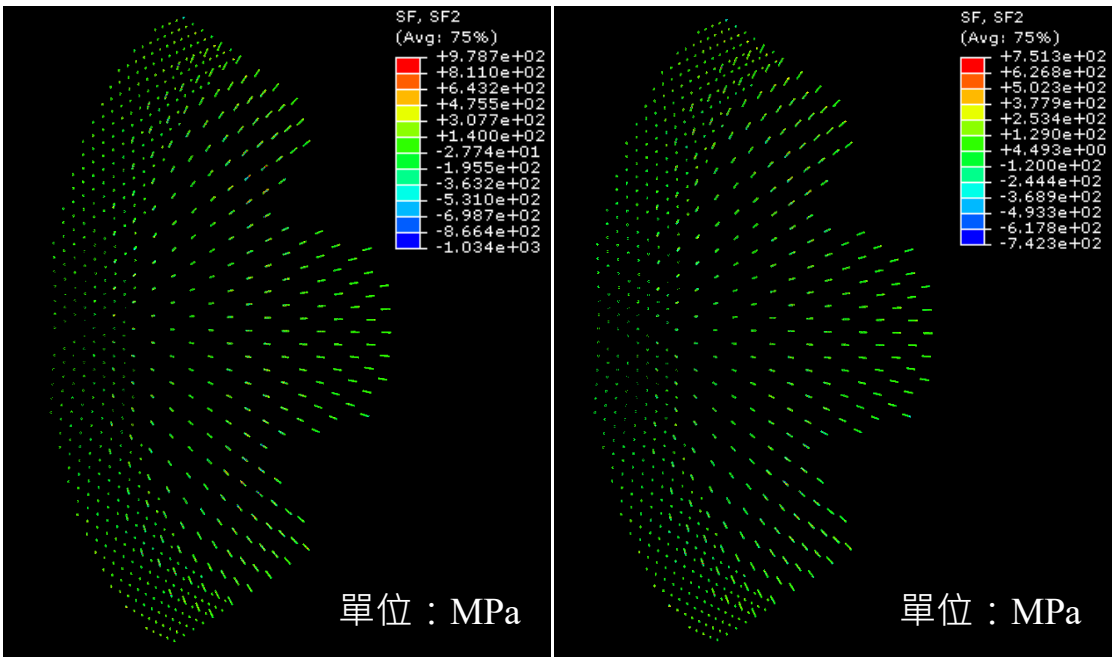


圖 12. 19 受 LC-3-2 的斷面 Y 方向剪力場(左：螺栓+玻璃纖維圍束、右：鐵絲綁紮)

1123425

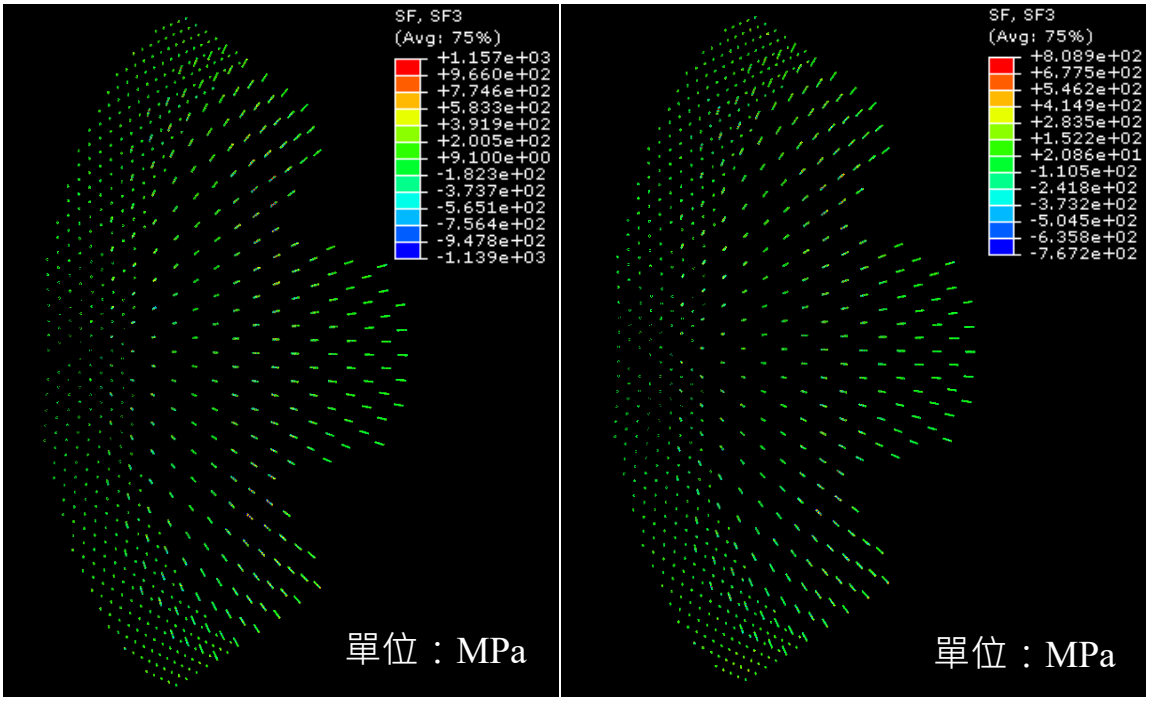


圖 12. 20 受 LC-3-2 的斷面 X 方向剪力場(左：螺栓+玻璃纖維圍束、右：鐵絲綁紮)

表 12. 12 挑選接合設計的載重組合案例剪應力初步分析結果(MPa)

LC-3-1	LC-3-2	LC-3-3	LC-3-4	LC-3-5	LC-3-6	LC-3-7	LC-3-8
1.952	3.397	2.814	2.562	3.231	2.105	3.098	2.211
LC-4-1	LC-4-2	LC-4-3	LC-4-4	LC-4-5	LC-4-6	LC-4-7	LC-4-8
1.589	3.098	1.875	1.968	2.707	1.290	2.502	1.206
LC-6-1	LC-6-2	LC-6-3	LC-6-4	LC-6-5	LC-6-6	LC-6-7	LC-6-8
1.875	2.439	1.581	1.371	2.073	1.506	1.796	0.926

表 12. 13 兩種接合形式受 LC-4-5 下的接合剪力及檢核

接合種類	接合最大剪力檢核
螺栓+玻璃纖維圍束	$V_{max1} = \sqrt{V_{SF2}^2 + V_{SF3}^2} = 1.552\ \text{kN} > F_{v1} = 1.254\ \text{kN} \Rightarrow$failed
鐵絲綁紮	$V_{max2} = \sqrt{V_{SF2}^2 + V_{SF3}^2} = 1.104\ \text{kN} < F_{v2} = 2.037\ \text{kN} \Rightarrow \text{OK}$

因施加的載重組合已在各項分析載重前乘上各自的放大係數，所以無需對接合試驗得到的剪力強度做任何的折減，此處F_{v1}及F_{v2}第一種接合面內剪力強度的設計值，計算方法如案例一中關於接合設計最後的部分已有詳細說明。

12.8 結論

此結構為對 X 軸對稱的結構，約為 1/4 橢球殼形狀，風力的考慮方向會主要以四個開口方向為主：分別是 X、Y 向及 45°及 135°方向，但因結構形狀的關係，最大變形及內力還是會發生在當風向跟重力對 Z 方向同向聯合作用下產生。

1123425

最大變形量的部分需要注意的是：因為懸臂端也會有相對於原先位置的位移，對於最大位移點而言並不是整體結構的相對變形，這樣在計算最大變形時會高估，所以需考慮懸臂端的位移並計算最大位移點需要扣除的值得到相對位移。對於構件設計及接合設計的部分，較為關鍵的載重組合為表 12. 4 的第 3 列 1.2D+1.6Lr+0.8W，而且都發生在風力為+Y 方向往-Y 方向加載，相較於案例一而言，靜載重及活載重造成的影響較大。而對於竹管構件及鋼圓管構件設計方面，前者在分別經過軸向應力跟剪應力、後者經過 Mises 等效應力的檢核後，前者在極限設計法的抗彎強度、抗剪強度的範圍內，而後者在降伏應力的範圍內。接合的部分，因接合部分的梁元素斷面尺寸及元素長度均相同，為了可以瞭解斷面受到的所有剪切行為，初步先以剪應力找出最大的載重組合，並提取梁斷面兩個方向的剪力值平方和開根號當作最大剪力並對實驗得到第一種面內接合的強度值做檢核，但對於螺栓+玻璃纖維圍束的部分而言，該接合的最大剪力值大於接合的強度約 20%，沒有通過。本案例雖檢核兩種不同的接合形式，但本案為已建置之結構，使用的橫向接合為鐵絲綁紮，在上頁的檢核中是通過的，所以並無安全性疑慮，就真實結構的設計及配置也都通過規範規定的檢核標準。而因本次接合試驗用於初步檢核，3個試體數量僅供參考用途，所以明年的計畫得到的接合設計值應較為具有代表性，於此將會重新進行檢核是否滿足該項要求。

1123425

參考文獻

1. ISO 22156:2021, Bamboo structures — Bamboo culms — Structural design, Geneva, Switzerland.
2. ISO 22157:2019, Bamboo structures — Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms — Test methods, Geneva, Switzerland.
3. 杜怡萱(2021)，竹構造建築物設計技術研究資料蒐集分析報告，內政部建築研究所建築工程技術發展與整合應用計畫。
4. 林家荷(2015)，竹材應用於薄膜式完全張力體之研究，碩士論文，國立成功大學建築系。
5. 馬子斌(1964)，臺灣產主要竹材之物理性質及力學性質，台灣省林業試驗所報告第 106 號。
6. 游家誠(2009)，古蹟歷史建築修復施作過程竹材保護棚架系統之研擬與應用，碩士論文，國立成功大學建築系。
7. Jules J. A. Janssen (1981), Bamboo in Building Structures.
8. Christopher Davies (2008), Bamboo Connections.
9. Roberval Bráz Padovan (2010), O Bambu Na Arquitetura: Design De Conexões Estrutuai.
10. Oscar Hidalgo López (1981), Manual de Construccion con Bamboo. Bogotá: Estudios Técnicos Colombianos.
11. Jules J. A. Janssen (2000), Design and Building with Bamboo, Beijing: International Network for Bamboo and Rattan (INBAR).
12. Tania Cerrón Oyague (2014), Manual de Construcción de Estructuras con Bambú, Lima: SCENICO [11].
13. Jorge Morán Ubidia (2015), Construir con Bambú Manual de Construcción, Beijing: INBAR [12].
14. American Society of Civil Engineers, AF&PA/ASCE 16-95(1996), Standard for Load and Resistance Factor Design (LRFD) for Engineered Wood Construction, New York, USA.
15. 中華民國內政部營建署，(2003)，木構造建築物設計及施工技術規範。
16. 中國工程建設協會標準，(2016)，圓竹結構建築技術規程：CECS434。

1123425

17. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2017), Norma Técnica E.100 para el uso de Bambú.
18. ISO 12122-1:2014, Timber structures — Determination of characteristic values —Part 1:Basic requirements, Geneva, Switzerland.
19. ASCE/SEI 7-16(2017), Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures.
20. 中華民國內政部營建署，(2007)，鋼構造建築物鋼結構設計技術規範。
21. Munir Vahanvati (2015), The Challenge of Connecting Bamboo, Proceedings of the 10th World Bamboo Congress, Korea
22. 杜怡萱(2019)，竹構接頭設計委託試驗期末報告，行政院農業委員會林業試驗所委託試驗。
23. Christopher Davies(2008), “Bamboo Connections”, Master Thesis, University of Bath.
24. EN 1995-1-1 (2004), Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings.
25. 中華民國內政部營建署，(2022)，建築技術規則。
26. 中華民國內政部營建署，(2022)，建築物耐震設計規範及解說。
27. 中華民國內政部營建署，(2014)，建築物耐風設計規範及解說。
28. 中華民國內政部營建署，(2023)，混凝土工程設計規範與解說。
29. 中華民國內政部營建署，(2023)，建築物基礎構造設計規範。
30. 巒中丕、呂良正(2022)，竹構造於大跨距殼建築結構設計方法研究，內政部建築研究所建築工程技術發展與整合應用計畫。

附錄一

期中審查意見回覆

王松永委員

問題	回覆
1. p.5 依 ISO 標準，預期竹材會被使用在環境為服務等級 3(含水率 20%以上)及服務等級 1(含水率 12%以下)，因此，試材應分別放置在此種環境內調濕後再試驗。	本研究將裁切好的乾燥竹及生竹試體分別放入乾室(環境濕度 65%以下)與濕室 (環境濕度 85%以上) 裡，藉以調節試體的含水率。見報告第 19 頁
2. p.8，乾燥材不易吸水，再本試驗似乎經過特殊處理(在溫度 160ºC 環境加熱處理)，此已將竹材原始性質改變，理論上已不能做為試材。正常竹材係為生材狀態(含水率很高，甚至於 100～200%)經人工乾燥將其含水率降低至使用環境之需求。如本實驗係將含水率降至為 22%含水率附近取出部分竹材做為服務等級 3 之試材用，其他再繼續乾燥至 12%含水率做為服務等級 1 之試用材。試驗前與上述試材分別再設置服務等級 3 及服務等級 1 之環境內進行調濕其含水率。	本研究使用之乾燥材為德豐林業協助乾燥之竹材，其乾燥窯溫度為 100～110 度，並不會破壞竹材原始性質，經乾燥後的竹材在進行裁切試體並放入乾室與濕室裡調節試體的含水率。見報告第 17 頁
3. 本實驗係在高含水率(生材)狀態下，放入 160ºC 烘箱內加熱處理，此達到竹材主成分之一的半纖維素之玻璃轉移點，而使其部分降解，會使得其質量減低，因此在吸濕會較困難。在竹材內部水分區分成結合水(bound water)與自由水(free water)，前者為氣態，係與細胞壁組成分鍵結，依擴散現象移動。而後者為液態，與細胞壁成分沒有鍵結現象，依毛細管現象移動。一般依含水率為 25%～35%，平均 30%為境界，以下為結合水，以上為自由水 。	本研究所使用之烘箱，為試驗前確認試體含水率使用之儀器，其烘乾後的試體並未進行試驗而是直接廢棄。
4. 在此環境服務等級 3(20%以上)，相當於國內之氣乾含水率 15～17%，而環境服務等級 1(12%以下)相當室內之平衡含水率。在此含水率範圍水分之移動均依賴擴散理論進行 。	感謝委員說明。
5. 抗拉試片係以全長為等斷面進行，在木材之抗拉試驗會將試片長度中央部位縮小其斷面尺寸，目的希望在此	夾具端破壞與中間端破壞之強度差異甚小。（個別統計數據，比較差

1123425

<table>
<tr><td>部位被破壞以求得實質強度，而在兩夾具部位會加以補強，此係縱向抗拉強度較其橫向抗壓強度大甚多，因此夾具部位較其中央部位容易破壞，若破壞在此即表示該次試驗為失敗。</td><td>異），基於理由，本研究並未對試體端部補強。
見報告第 47 頁</td></tr>
<tr><td>6. 竹材利用前，一般需先進行竹青除油處理，有兩種方法：(1)乾式法，即將竹青進行火烤，達到滲出油分或蠟成分，當然火烤處理亦可使竹桿易彎曲。(2)濕式法，係以低度苛性鹼水溶液(NaOH：0.02~0.04%)經煮沸處理，以除油質及蠟質部分，亦有硬化竹桿之效果 。</td><td>感謝委員說明，本研究所採用之乾燥竹為委託德豐林業進行乾燥，其採用方法應屬於濕式法。見報告第 17 頁</td></tr>
<tr><td>本實驗試材含水率為 12%左右(服務等級 1)，此意味係在室內使用之情況，大於 20%以上(服務等級 3)，此意味係在室外使用的情況。含水率減低至 20%以下，應是結合水藉由內擴散現象以氣態水蒸氣的移動，因此需利用人工乾燥窯進行控制，才能在短時間內降低所需含水率，其乾燥進行需依據乾燥基準表進行，如下述：
1. 桂竹桿材基準表，竹桿長度180cm
<table><tr><th>竹種</th><th>乾球溫度(℃)</th><th>乾濕球溫度差(Δ9℃)</th><th>試材入窯含水率(%)</th><th>試材出窯含水率(%)</th><th>乾燥時間(hr)</th><th>表面耐裂(%)</th></tr><tr><td rowspan="3">桂竹</td><td>70</td><td>20</td><td rowspan="3">58.2
(54.1~62.7)</td><td rowspan="3">10.8
(10.3~11.2)</td><td>44</td><td rowspan="3">0</td></tr><tr><td>80</td><td>30</td><td>16</td></tr><tr><td>80</td><td>7</td><td>23</td></tr></table>
2. 孟宗竹桿材基準表，竹桿長度180cm
<table><tr><th>溫度調節階段</th><th>乾球溫度(℃)</th><th>相對濕度(%)</th><th>乾燥時間(hr)</th><th>備註</th></tr><tr><td>1</td><td>常溫-90</td><td>100</td><td>4</td><td rowspan="2">乾燥時間依竹桿需求含水率作調整</td></tr><tr><td>2</td><td>110</td><td>100</td><td>10~30</td></tr></table>
竹桿人工乾燥需有乾燥窯，此係專業廠商，購入試材需向對方要求含水率須降至多少。因竹桿乾燥容易發生沿著縱向割裂，如此則無法作為構材使用。報告提到乾室與濕室，其溫濕度不同，主要是放置經人工乾燥後之竹桿，能維持在所需之含水率狀況，以免影響到竹桿使用時含水率發生變化。</td><td>感謝委員說明，本研究所採用之乾燥竹為委託德豐林業進行乾燥，其含水率降至 5~8%；乾室及濕室為調節試體的含水率，使其滿足服務等級 1(環境濕度 65%以下或平衡含水率 12%以下)，及服務等級 3(環境濕度 85%以上或平衡含水率 20%以上)。見報告第 17 與 19 頁</td></tr>
<tr><td>8. 有關試片含水率之檢測：
(1) 依 CNS14630「針葉樹結構用製材」之規定，從每批量 1000 支以下者，隨機抽取 5 支試樣試材。試片係從試樣兩端部向內側約 30cm 處，切取質量 20g 以上各 1 片，竹材可在中央部位，再切取 1 片作為試片。
(2) 進行試驗前先量測試片質量，將其</td><td>本研究求得試體含水率流程如報告書 p.27，與委員敘述檢測方法相近，試驗結果取 97%信賴區間，約取樣 30 個試體，超過此區間的試驗數據皆已刪除，確保實驗的準確性，變異係數也於 20%之內(見報告第 129 頁)，且試體於乾室與濕室溫度接於 25 度左右，皆滿足試驗結果判定(見報告第 20 頁)。</td></tr>
</table>

置入烘箱中，以(103±2) ℃進行乾燥，再測定達到恆量(每 6h 測定時之質量差在試片質量之 0.1%以下時稱之)之質量為絕乾質量(m0)。絕乾質量測定後，將同一試樣切取試片之含水率的平均值，依下列公式計算至 0.1%單位： 含水率(%)=$\frac{m1-m0}{m0}\times 100$ 式中，m1：試片乾燥前質量(g) m0：試片絕乾質量(g) (3) 試驗結果之判定，從每批量製材(竹桿)所採取之試樣進行試驗，合格之數目為總數 90%以上時，表示該批量試驗合格，如未滿總數之 70%者，表示該批量試驗不合格，如為總數之 70%以上，未滿 90%時，即該批量應重新加倍取樣再試驗，如合格數在 90%以上時，視為合格否則為不合格。本計畫考慮的參數很多，因此所得資料(數字)相當龐大，少數數字偏離較大，建議可排除掉，再進行各群試片之結果統計分析(因生物材料變異較大)，由其平均值與標準差計算變異係數是在 20%以內。為考慮到實際應用時，材料(竹材)的來源，包含數量及設計之方便性，建議將影響參數減少至竹材種類(如桂竹或孟宗竹)含水率為 12%(ISO 服務等級 1)及 20%以上(ISO 服務等級 3)來就各種強度試驗所得資料，進行統計分析，求出其平均值與標準差、變異係數。再以此資料作為基礎分析其他設計所需之數值。	

楊德新委員

問題	回覆
1. 請確認孟宗竹學名，請參考 CNS11667 標準，另有關竹材取得、製作，建議可再補充。	孟宗竹學名為：Phyllostachys edulis，竹材試體為常民居構築工程有限公司委託元立竹業購買，並委託德豐林業進行乾燥，試體製作滿足規範要求。回覆於第 17 頁
2. 有關乾溼室尺寸請補充尺寸說明，另在測定含水率時建議參考標準進	乾濕室尺寸如表 5.1，見第 19 頁。

行。目前設計 160℃似乎太高，可能影響竹材性質。另測定時，竹材尺寸及生材含水率亦有影響，故未來有關含水率測定應以乾燥至恆重為止 。	含水率本計畫分成測定儀含水率及秤重含水率兩種方法，其中秤重含水律法為參考國際規範 ISO 22157 方式進行，見第 29 頁。 160 度為烘箱溫度，進行含水率試驗時使用的器材，並非進行乾燥時，所使用的器材，本研究委託德豐林業進行乾燥處理。
3. 有關各項竹材試驗，請確認內容尺寸、含水率，如抗壓試驗長度是否過小 。	本研究所使用的試體規格皆參考國際規範 ISO 22157 進行製作，並無試體長度過小問題。
4. 後續有關接合部分項目相當多且豐富，期待後續成果 。	謝謝委員的指教。

李台光委員

問題	回覆
1. 研究成果可考量納入竹構造設計規範附錄，供設計者參考 。	感謝委員的肯定。
2.本案研究團隊應加強與內政部建築研究所(以下簡稱本所)相關研究案團隊資訊交流，使研究資源效應最大化 。	本團隊會與相關研究案團隊進行資訊交流。
3. 本所研究案竹材取得地區為臺南市龍崎區，而本案竹材取得地區為桃園、新竹、南投及雲林等地區，較為廣泛且無重複 。	竹材產地廣泛無重複才能使設計者不侷限於單一產地進行設計。
4. 本所竹材試驗材料僅為生材，未經人為乾燥處理，本案請增加乾燥處理成本之討論。	本研究委託德豐林業進行乾燥處理，乾燥孟宗竹 1 支 8 米為 1800 元，乾燥桂竹 1 支 8 米為 450 元。

附錄二

期末審查意見回覆

王松永委員

問題	回覆
1. 竹材之強度性質受含水率影響大，高於纖維飽和點時，水分增加或減少，對強度不會影響，而纖維飽和點(25%)以內，水分增(減)，其強度會減(增)，纖維平行方向壓縮強度減(增)6%，彎曲強度減(增)4%，剪斷強度減(增)3%，彈性模數減(增)2%。基本上試材應從生材(高含水率)調整成含水率為等級3(20%)及等級1(12%)兩種狀態後，分別進行試驗，而含水率分散時，建議進行含水率與強度之回歸分析，由其回歸式求出含水率在12%時的強度作為基準，再調整其他含水率試片的強度值。 營建署公告之「木構造建築設計與施工規範」，其材料、木材之長期容許應力基準，即依木材含水率 12%者為依據。 本來希望本計畫之強度值可作為設計應利用，但因試材含水率變化太大，需要再探討。	感謝委員的提點指教。 本研究以含水率及強度、含水率及楊氏模數等兩種，以線性迴歸方式進行迴歸，並以含水率 12%時計算求得強度與楊氏模數值，見 7.6 節。由於本團隊所記錄之含水率，皆為測定儀含水率，其值與秤重含水率所求得之值仍有誤差存在，因此本團隊所迴歸求得之數值，僅供參考。
2. 本試驗試材依竹種、產地、部位等區分成群進行試驗，但對於強度性質最主要影響者為竹種、等級(即含水率)，即桂竹等級1、桂竹等級2或孟宗竹等級 2 等。將來作為設計規範所利用之容許應力值，可能僅會引用如桂竹含水率12%之強度值。 最後容許應力之檢討所依據之強度值，依目前之規範是依含水率 12%之值，即等級 1，也許有需要可考慮到等級 3(含水率 20%)，但報告所示資料，試材之準備不完整，其含水率均不在 12%或 20%，故此如欲做為設計規範之容許應力值，可能有問題。	由於竹材為生物材，難於將各個試體之含水率精控制於在 12%及 20%狀態。考慮實務上多為使用服務等級 1 之乾燥竹竹材作為建材，而本案中等級 1 乾燥竹之含水率皆有符合規範標準(小於 12%)，所求出的強度與楊氏模數是具有參考價值的。 由於ISO 22156已經提供服務等級2的強度及楊氏模數折減係數。而本研究亦有提供服務等級 3 之強度與楊氏模數折減係數。若設計者考量竹材在長時間使用下，含水率可能會上升，強度及楊氏模數會受到影響，可以使用服務等級 2 或 3 折減係數進行較保守的設計。

楊德新委員

問題	回覆
1. 本計畫已依預定工作項目及評核要求完成，內容成果值得肯定，後續可供產業參考。	感謝委員的肯定。
2. 請修正孟宗竹學名，本計畫竹子分為乾燥竹材與生材二種，請補充說明生材是否乾燥。	孟宗竹學名為 Phyllostachys pubescens，本計畫所使用之生材為經砍伐後，並未進行任何乾燥處理的材料，以修正於 p.17。
3. 全竹長 8m，去除竹首、竹末取 6m，並分為竹尾 2m 與竹頭 2m 進行試驗，竹身 2m 未使用，建議團隊可一併考量，以提升竹材利用。請補充竹材為幾年生竹材，另請補充竹桿抗彎試驗之取材方式(與 6.1 不同)。	本計畫所使用的無論是乾燥材還是生材，皆為 4 年生之竹材；竹桿抗彎試驗中，兩種竹材之竹桿的試體取材方式略有不同，由於桂竹的竹桿試體試驗段為 1.8 m，故將試體裁切成 2 m，沿用 6.1 節的方式，竹頭去除 0.5 m，竹尾去除 1.5 m，剩餘 6 m 在裁切成 3 等分，竹頭與竹尾即是試體。而孟宗竹試體試驗段長達 3 m，試體所需至少 3.4 m 長，全竹 8 m，竹頭端去除 0.4 m，竹尾端去除 0.8 m，剩餘 6.8 m 在對半裁切，分成竹頭及竹尾兩段試體。已補述於 P.111。
4. 特徵值及容許應力為本計畫重點之一，本案首取 97%信賴區間排除離散值，惟 k 值之取得即已考量其分散性，是否刪除可在考量。另在討論特徵值時均多為受水分影響或標準差過大，未來在這部分須再考量水分對各項性質之影響。	本團隊已補述不考慮 97%信賴區間之特徵值比較，由於不考慮信賴區間，特徵強度較有信賴區間之特徵強度小，差異達 42%，因此設計上會太過於保守，故本研究建議採用較合理的 97%信賴區間所得之值，見 P.153。
5. p.35 表 6.2 MJDT 編號 8 之含水率為 0，請再統一檢視各表性質。	感謝委員提醒，此含水率為測定儀多次檢測皆為 0%，已在表格作標記，見 P.36, P.37。其餘表格經檢視後，含水率為 0%的皆有註記。

李台光委員

問題	回覆
1. 本研究成果可納為竹構造建築物設計及施工技術規範內容，供設計者參考。	感謝委員的肯定。
2. 明年度內政部建築研究所規劃進行傳統竹構造接頭實驗研究，與本研究後續研究成果可供竹構規範採納參考。	本團隊會與相關研究案團隊進行資訊交流。
3. 接頭之施工工藝是否影響其強度表現？	接頭之施工工藝還是會影響強度表現，見表 9.2，1E, 1F 皆為鐵絲綁紮接合，其綁紮方式不同，水平綁紮與垂直綁紮兩種工藝，在勁度上差異不大，但在強度差，垂直綁紮卻是平行綁紮的 1.25 倍，因此可從這看出，工藝是會影響強度的。

森林產業組：

問題	回覆
1. 建議可與農糧署輔導之休閒農場合作，推廣竹構建築。	本團隊樂意與休閒農場合作，推廣竹構建築。

附錄三
112 年 12 月 5 日成果分享會

「綠色減碳竹構造發展」研討會

主辦單位：財團法人臺灣營建研究院

協辦單位：國立臺灣大學土木工程學系

研討日期：2023 年 12 月 5 日(星期二)

研討地點：國立臺灣大學土木工程學系 220 室 (台北市大安區羅斯福路 4 段 1 號)

參與人數：45 人

研討會重點：

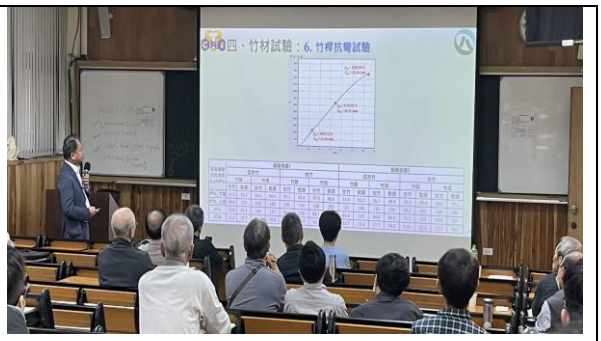
第一個主題由呂良正院長及李建敏經理兩位共同發表今年度所做的計畫內容，其中談到六大類竹材強度試驗、求得設計強度、設計楊氏模數、分類並設計各式竹桿件接合及兩個實際案例模擬；第二場演講由大藏聯合建築師事務所負責人甘銘源建築師分享三個竹構造的實際案例與設計及建造過程。

議程表

時間	講題	主講人	主持人
9:00~9:25	報 到		
9:25~9:40	主席致詞：財團法人臺灣營建研究院 呂良正 院長 貴賓致詞：農業部林業與自然保育署 許賢斌 科長 內政部建築研究所工程技術組 蔡綽芳 組長		財團法人臺灣營建研究院 呂良正 院長
9:40~10:40	竹構造之整合試驗與設計: 由材料至接合到整體結構設計	財團法人臺灣營建研究院 呂良正 院長 knippershelbig 結構設計顧問公司 李建敏 經理	財團法人臺灣營建研究院 呂良正 院長
10:40~11:00	休息 交流討論		
11:00~12:00	耐候竹建築	大藏聯合建築師事務所 甘銘源 建築師	財團法人臺灣營建研究院 呂良正 院長
12:00~	賦 歸		

1123425

會議照片



1123425