

國產木材治山防災 20 年 宜專一線工程的永續實踐

文、圖／趙偉成（國立中興大學森林學系博士後研究員）
楊德新（通訊作者 | 國立中興大學森林學系教授）
鄧江山（林業及自然保育署宜蘭分署副分署長）
洪福順（林業及自然保育署宜蘭分署集水區治理科科长）
黃至用（林業及自然保育署宜蘭分署科長退休）
陳駿銘（林業及自然保育署宜蘭分署集水區治理科技正）

永續防災新素材 國產木材在治山防災工程的應用

在治山防洪工程的多元工法中，木構造工程因其重量輕、施工便利、可融入環境景觀等特性，逐漸成為適用於山區中小型防災治理的重要選項。與鋼筋混凝土等剛性構造相比，木構造對地形切削影響較小，在林業及自然保育署（簡稱林業保育署）推動國產材多元利用之際，更可利用國產材作為治山防災的木構造工程材料，以推動在地木材利用，減少材料取得、運輸與生產加工的碳足跡。然而，木材暴露在自然環境，特別是在高濕與接地環境下，有加速木材腐朽、劣化與蟲害的風險，倘若缺乏適當的保存處理與後續維護，更將影響結構安全與使用生命週期。

林業及自然保育署宜蘭分署（簡稱宜蘭分署）自 2005 年起即積極推動國產木材在治理工程的應用，並導入八面壓縮工法與保存處理技術，確保木材保存處理的品質，進而提升木構造工程的耐久性與穩定

性，在確保防災功能的同時，落實國產材永續利用與生態保育的目標。本文以宜蘭分署所轄的太平山「宜專一線」沿線治山防災工程為例，其設置至今已屆 20 年，透過木構造工程實地現況與構件檢測結果，分享保存處理木材於高濕度及不同海拔環境中的使用現況，期能提供後續林業工程人員參考，促進國產木材在公共工程領域的應用。

太平山宜專一線沿線治山防災工程的發展

宜專一線公路早期為太平山林道，肩負造林、保林、育林與伐木等林業作業功能。日治時期，太平山為臺灣三大林場之一，林產運輸主要仰賴太平山森林鐵路，直到 1978 年鐵路因颱風侵襲中斷，因維修經費龐大與林業政策調整，於 1979 年全線停駛。根據李瑞宗著作《再凝望 - 戰後太平山》及《路觀圖 - 太平山公路與林道》記載，鐵路停駛前即已規劃修築太平山林道作為

替代運輸路線。1974年3月，羅東林區管理處（今宜蘭分署）開始太平山林道新線測量，作為林道網主幹線，以供木材搬運及造林、林政業務之需；1975年9月動工，1977年展開太平山國家森林遊樂區規劃，並逐步改善林道，歷時12年完成由林道至一般公路的轉換。

宜專一線沿線橫跨蘭陽溪與和平溪兩大流域，位於太平山區山腹地帶。北向匯入蘭陽溪的主要支流包括多望溪與天狗溪（田古爾溪），東南向則有南澳北溪、南溪與茂興溪等河川。地質屬第三紀黏板岩系，由頁岩與火成岩構成，岩層劈理發達且山勢陡峻，河川向源侵蝕力強，加上颱風豪雨與地震頻仍，極易發生崩塌。土壤除部分礫質壤土外，多為深厚肥沃的腐質壤土，雖有利森林植被生長，但在極端降雨下，坡面穩定性仍相當脆弱。

隨著國民旅遊與森林遊憩活動的推廣，宜專一線的角色已超越林業運輸功能，成為連結太平山國家森林遊樂區的重要道路，同時肩負取締盜伐與盜獵、災後復建、防救災及森林火災通行等多元任務。面對集水區上游頻繁的崩塌與蝕溝災害，宜蘭分署自2005年起，配合生態工程推廣與節能減碳政策，強化疏伐材等自然材料的應用，並在宜專一線沿線選定適當地點施作野溪治理及坑溝整治工程。部分工程並邀請日本技師協助規劃設計，引進木格框節制壩與木構擋土牆等工法，期望在確保防災功能的同時，兼顧生態與景觀。

工程採用柳杉 (*Cryptomeria japonica*) 圓材，為提升防腐性並促進現地材料有效利用，由宜蘭分署提供柳杉原木，經旋切加工成直徑12公分、長度1公尺及2公尺的圓木棒，經八面壓縮工法進行前壓縮處

宜專一線沿線木構造治理工程發展概要

點位	整治年代	整治原因	工程類型	八面壓縮工法
1.9K	2015	道路邊坡崩塌	節制壩與擋土牆	否
2.5K	2005	蝕溝整治	節制壩	是
11K	2009	道路穩定整治	擋土牆	否
11.5K	2005	海棠颱風後的崩塌	節制壩	是
13.5K	2010	蝕溝整治	節制壩	否
16K	2006	道路邊坡擋土設施	擋土牆	否
		蝕溝整治	節制壩	是
16.5K	2006	蝕溝整治	節制壩	是
	2020	上游拆除重建	節制壩	否
23.5K	2006	蝕溝整治	節制壩	是
24.5K	2006	蝕溝整治	節制壩	是

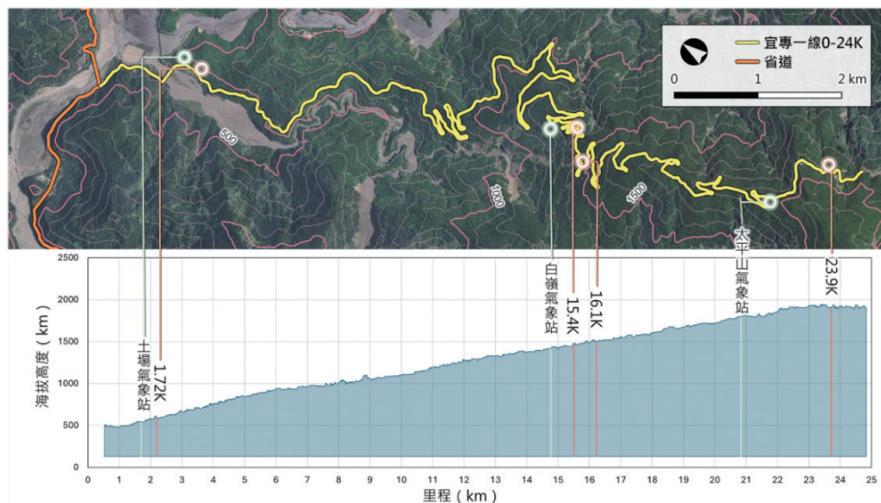
理，並以 ACQ 防腐藥劑進行加壓注入，製成符合 CNS 3000 標準規範 K4（總吸收量 5.2kg/m^3 ）等級的防腐處理材（王松永，2005），以強化在高濕與接地環境下的耐久性。

經整理相關紀錄，宜蘭分署歷年完成的整治工程涵蓋道路邊坡崩塌、蝕溝整治及颱風後災害修復等多種類型，例如 1.9K 與 16K 的邊坡崩塌治理、2.5K 與 23.5K 的蝕溝整治，以及 11.5K 在海棠颱風後辦理的崩塌修復等。各點位依現地條件採用節制壩或擋土牆等木構造工法，並搭配防腐處理國產材與生態工法，以降低邊坡切削及減少對環境的干擾。沿線治山防災工程多設置於蝕溝、邊坡或溪流上游，以木格框節制壩與木構擋土牆為主，材料多採國產柳杉，經 ACQ 或 CuAz 防腐處理，並視需求搭配八面壓縮前處理以增進藥劑吸收與留存能力。自 2005 年起陸續建置，部分至今已屆 20 年，為國產材應用於高濕山區治山防災的重要示範案例。

宜專一線沿線環境與工程背景簡介

宜蘭分署治山防災工程木構造物主要分布於宜專一線沿線，另有少數設置於太平山國家森林遊樂區各景點周邊，為國內首次大規模將國產柳杉導入治山防災工程的案例，具重要示範意義。尤其太平山國家森林遊樂區宜專一線海拔落差顯著，溫濕度變化劇烈，並長期受強降水等複雜環境因子影響，已屆 20 年的木構造工程現況實證更顯重要，更可作為後續應用的參考基礎。

本文監測區域涵蓋宜蘭縣大同鄉太平山國家森林遊樂區宜專一線沿線的木格框節制壩與擋土牆，調查位置分別為 2.5K（原 1.72K）、16K（原 15.4K）、16.5K（原 16.1K）及 24.5K（原 23.9K），因宜專一線里程的變動，後續說明均以 2.5K、16K、16.5K 與 24.5K 進行表示。沿線設有 3 處氣象站：土場氣象站（C0UA0）、白嶺氣象站（C0UA3）及太平山氣象站（C0U71）。太平山國家森林遊樂區長年受太平洋海

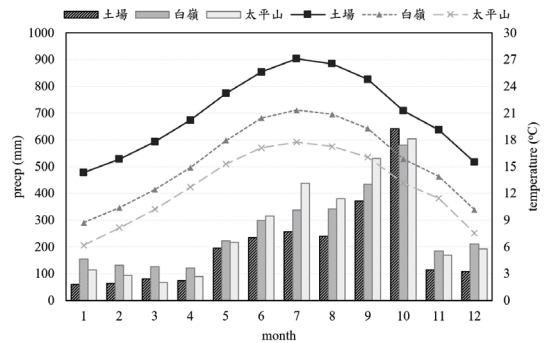


宜專一線沿線治山防災工程樣區位置圖

風及東北季風影響，全年平均濕度超過 88%，年降雨日數超過半年，常年處於霧雨繚繞環境。

海拔 392 公尺的土場站年均溫約 20.9°C、年雨量約 2,558mm；海拔 1,397 公尺的白嶺站年均溫約 15.5°C、年雨量約 3,174mm；海拔 1,942 公尺的太平山站年均溫約 12.6°C、年雨量約 3,310mm。隨海拔上升，氣溫遞減而降雨量增加，呈現明顯的地形氣候特徵。

不同海拔的氣候條件直接影響植被型態與生態系統分布：低海拔區域以亞熱帶常綠闊葉林為主，中海拔為闊葉林與針葉林交錯帶，高海拔則以高山針葉林與苔原植被為主。長期的高濕度環境亦促進苔蘚、蕨類及真菌的繁茂生長，形成獨特的微生態系統。

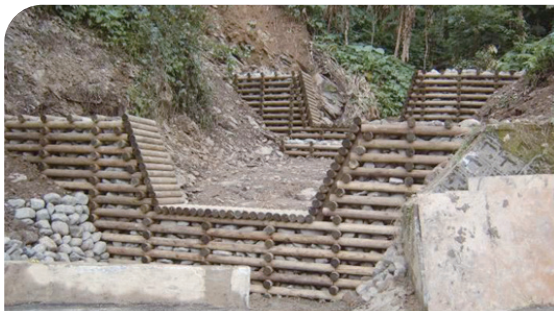


2018-2024 年 3 處氣象站月雨量及氣溫 (中央氣象署, 2024)

真菌與微生物分解枯枝落葉並釋放養分，維持高效率的養分循環。然而，對於木構造物而言，這樣的高濕、多雨、溫度變化明顯的環境，意味著防腐藥劑的淋失與生物性劣化風險將顯著增加，特別是在直接接地或長期受潮的木構件，更容易在中長期使用期間，出現強度衰退與表層腐朽的缺點。

木構造物調查點概要

點位區域	建造年分	木構造材料與防腐處理	備註
2.5K	2005	國產柳杉；ACQ 防腐處理 K4 標準 (含八面壓縮前處理工法)	木構連續性節制壩 高 2.4m，長 6m
16K	2006	國產柳杉；ACQ 防腐處理 K4 標準 (節制壩含八面壓縮前處理工法，擋土牆則無)	木構節制壩與擋土牆 表面呈現蕨類與草本植物覆蓋
16.5K	2006	第 1 座：國產柳杉；ACQ 防腐處理 K4 標準 (含八面壓縮前處理工法)	上游節制壩拆除重新建置
	2020	第 2-6 座：國產柳杉；CuAz 防腐處理 K4 標準	木構節制壩有逕流水
24.5K	2006	國產柳杉；ACQ 防腐處理 K4 標準 (含八面壓縮前處理工法)	木構節制壩 設有上下 2 座節制壩 上游：高 4.3m，寬 10m 下游：高 2.6m 寬 10m



■ 宜專一線 2.5K 木構節制壩 2005 年施工完成（王松永，2005）



■ 宜專一線 2.5K 木構節制壩 2025 年現況



■ 宜專一線 16K 木構節制壩 2006 年施工完成（昆管實業股份有限公司提供）



■ 宜專一線 16K 木構節制壩 2025 年現況

本文以宜專一線沿線 4 處木構節制壩為例，包括 2.5K、16K、16.5K 及 24.5K，相關調查概要如表，並分述如次：

宜專一線 2.5K 木構節制壩

宜專一線 2.5K 木構節制壩位於土場收費站之前，於 2005 年施工完成；屬於連續性木構造壩體，共有 2 座節制壩，分為 1 號壩與 2 號壩，1 號壩位於下游；2 號壩位於上游，木構材料為國產柳杉，經八面壓縮工法與 K4 等級的 ACQ 處理材。

宜專一線 16K 木構節制壩

位於白嶺苗圃區段，當地設有解說牌，於 2006 年施工完成，為早期生態工程示範點位。包括兩座木製節制壩，分為 1 號壩與 2 號壩，1 號壩位於下游；2 號壩位於上游，上游側以混凝土為主要建築材料設置，下游側以國產柳杉緊貼著混凝土面設置，

形成單一壩座。另於下游的 1 號壩右側亦有以國產柳杉建置的複數格擋土牆體，擋土牆與節制壩建造時使用的疏伐材係以 K4 等級的 ACQ 處理進行保存處理，惟僅後者曾進行八面壓縮前處理。

宜專一線 16.5K 木構節制壩

位於白嶺苗圃區段，為系列壩體，自上游端至下游端合計 6 座節制壩，2020 年時於保留最下游一座壩體基礎上，施工重建上游端的第 2-6 座節制壩，均為單一壩座。木構材為國產柳杉，保留的下游端第一座壩體為經八面壓縮前處理的 K4 等級 ACQ 處理材，其餘 5 座上游端壩體於重建時均以 K4 等級的 CuAz 處理材建造。

宜專一線 24.5K 木構節制壩

於 2006 年施工完成；此點位設有一混凝土壩 3 座，與木構節制壩 1 座，於木構

節制壩緊鄰第二座防砂壩的下游面，其量體尺寸與木構節制壩相同。木構節制壩下方鋪置蛇籠、集水井、道路橫向排水及涵管。木構材料為國產柳杉，且均為經八面壓縮前處理的 K4 等級 ACQ 處理材。

宜專一線沿線治山防災工程木構造物性質評估

太平山國家森林遊樂區宜專一線沿線木構造物治山防災工程，在 2013-2025 年間經非破壞與微破壞檢測所得的平均結果，長期監測數據的結果顯示，各座木構造物治山防災工程普遍出現劣化的趨勢，各木構件的超音波速值、抗壓強度與鑽孔阻抗值均有下降，而表面腐朽深度則持續增加，顯示長期戶外暴露對材質性能影響顯著。

由近 10 年太平山氣象站的月平均降水量可知，本區全年高濕度，年降雨天數超過

250 天，使木構件含水率長期維持在 30% 以上，屬於高生物性危害風險環境。在此條件下，除 2020 年重建的 16.5K 上游節制壩外，其餘木構造工程的木構件超音波速值皆呈現下降，其中 16K 擋土牆衰減幅度最大，自 2013 年的 3302m/s 降至 2025 年的 1982m/s（衰減率 40.0%），而 24.5K 節制壩則僅衰減 7.9%。此差異除與木構件是否經八面壓縮前處理有關外，海拔高度亦可能是影響因子，如 2.5K 節制壩的衰減率僅次於 16K 擋土牆，顯示高海拔的低溫環境或許有助於抑制蟲害與腐朽菌生長，延緩劣化。

微壓縮試驗的抗壓強度測值與音速檢測結果趨勢一致。2025 年 16K 擋土牆木構件的抗壓強度為 15.4MPa，衰減 54.6%。24.5K 節制壩的木構件抗壓強度衰減率最低，為 19.2%。整體而言，經妥善保存處理的木構件經過近 20 年戶外使用上，強度保留率仍可達 50% 以上。



■ 2006 年的宜專一線 16.5K 木構節制壩（昆晉實業股份有限公司提供）



■ 宜專一線 16.5K 木構節制壩 2025 年現況



■ 宜專一線 24.5K 木構節制壩 2006 年施工完成（林信輝，2012）



■ 宜專一線 24.5K 木構節制壩 2025 年現況

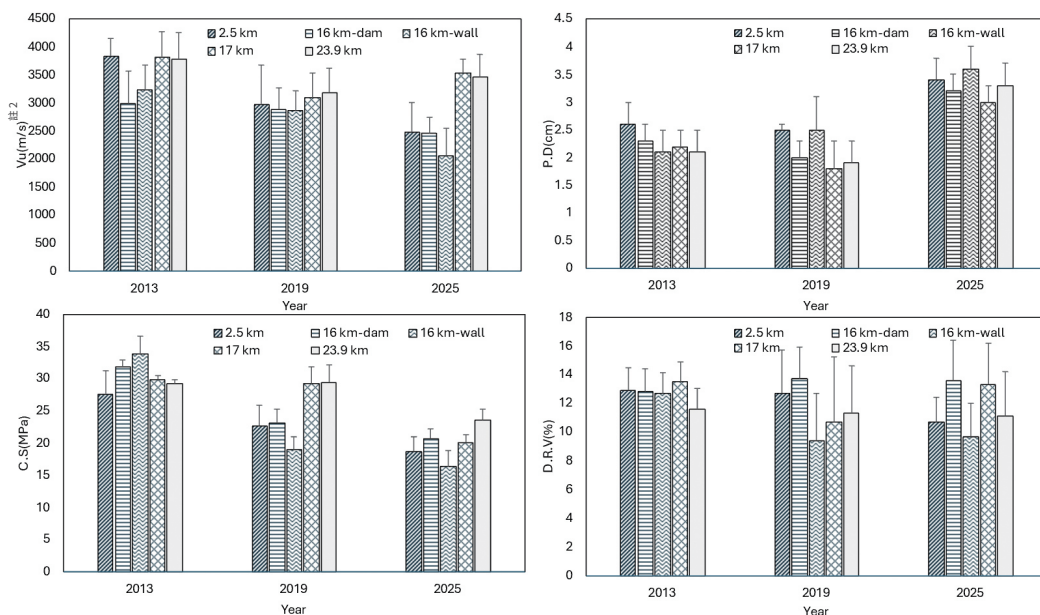
比較同海拔的 16K 節制壩與 16K 擋土牆的木構件，可見經八面壓縮前處理後的防腐處理，能有效延緩木構件的劣化。兩者在建造時的防腐藥劑吸收量均符合 K4 等級（ $\text{CuO} \geq 2.33\text{kg/m}^3$ 、 $\text{BKC} \geq 1.83\text{kg/m}^3$ 、總吸收量 $\geq 5.2\text{kg/m}^3$ ），但經八面壓縮前處理的 16K 節制壩，其木構件的超音波速與抗壓強度衰減率分別為 17.6% 與 35.4%，顯著優於未經處理的 16K 擋土牆（36.8%、54.6%）。此亦顯示八面壓縮前處理可強化木構件防腐藥劑的滲透度與均勻分布性，進而延長木構件使用年限，對未來高濕度地區的國產材應用具重要參考價值。

在本文調查的木構造治山防災工程中，除 16.5K 處 2-6 號上游節制壩於 2020 年重建外，其餘節制壩與擋土牆均為 2005-2006 年間建造，使用年限已近 20 年。此外，除 16.5K 處 2-6 號上游節制壩與 16K

擋土牆外，其餘工程皆採用經八面壓縮前處理的木構件施工。

樹芯取樣分析顯示，多數經八面壓縮前處理的木構件防腐藥劑留存量維持在 CNS 3000 所規範環境危害等級 K3 的藥劑有效吸收量（ $\text{CuO} \geq 1.16\text{kg/m}^3$ 、 $\text{BKC} \geq 0.92\text{kg/m}^3$ 、總吸收量 $\geq 2.6\text{kg/m}^3$ ）。其中，16.5K 處 1 號下游節制壩與 24.5K 節制壩雖在主要成分含量上均高於最低吸收基準，但總吸收量略低於 CNS 3000 標準規範，因此等級判定為 K2 級。此外，16K 處的擋土牆已無法檢測出主要有效成分，此與木構件直接接觸土壤層有關，長期與高含水率土壤接觸下，加速木構件的防腐藥劑的淋失，此情況亦與前述該木構造工程的木構件在各項非破壞檢測值均較低相符。

再則，16.5K 上游的 2-6 號節制壩體為 2020 年後重建，使用的樹種雖為國產



註 1：本研究團隊過去針對健全 ACQ-1 保存處理木樁的各項測值：Vu:4497±454m/s、D.R.V.:13.5±1.2%、P.D.:13.3±4.0mm、C.S.:36.7±2.2MPa。

註 2：Vu 為超音波速值、P.D 為表面腐朽深度、C.S 為抗壓強度、D.R.V 為鑽孔抵抗值。

宜專一線木構造治山防災工程的藥劑留存量

	形式	建造年分	BKC 吸收量 (kg/m ³)	CuO 吸收量 (kg/m ³)	現行藥劑危害等級	自建成後監測時長
2.5K	上游節制壩	2005	1.560	2.257	K3	19.4
	下游節制壩	2005	1.429	2.080	K3	19.4
16K	下游節制壩	2006	1.710	1.783	K3	18.9
	上游節制壩	2006	1.149	1.535	K3	18.9
	擋土牆	2006	ND	ND	<k2	18.9
16.5K	1 號下游節制壩	2006	0.929	1.217	K2	18.9
	2-6 號上游節制壩	2020	0.039 ^{註3}	4.292 ^{註3}	K2	4.5
24.5K	節制壩	2006	1.177	1.206	K2	19.0

註3：依文內說明，16.5K 上游採用 CuAz 系列防腐劑，數據為 Cu 成分吸收量，以及 Tebuconazole 的吸收量。

柳杉，然使用的木材防腐劑為銅唑化合物 (CuAz)，其主要成分中 95% 以上為銅化合物 (以 Cu 計)，僅 3.2-4.6% 為鐵布可唑 (Tebuconazole) 生物抑制劑。故表中額外標示其有效成分的吸收量，取樣檢測結果顯示，其有效成分中的 Cu 留存量為 4.292kg/m³，Tebuconazole 留存量為 0.039kg/m³。雖參照 CNS 3000 的標準規範，其 Cu 的有效成分留存量仍在 K5 等級以上，然其生物抑制劑 Tebuconazole 則於建造 5 年後降至 K2 等級，此現象很可能與藥劑成分內的有效成分濃度偏低，以致取樣檢測較為不易，以及遇高濕度環境上較易淋失等因素有關，故於戶外木構造工程的防腐處理藥劑選用上，建議仍須注意所使用的保存藥劑以及藥劑有效成分比例。

木構造工程耐久性評估與啟示

本文以太平山國家森林遊樂區宜專一線沿線多座木構造治山防災工程為例，調

查 20 年來木構造工程的使用現況，結果顯示，防腐處理的國產柳杉在高濕度山區環境中，若配合適當的前處理與符合 CNS 3000 規範的防腐藥劑吸收量，即便使用近 20 年，仍能維持相當良好的木材性質與藥劑留存量，對抗生物性劣化具有明顯效益，此正值林業保育署推動國產材的多元應用以及國產木材標章，未來在木構造工程中，可多推動應用具 CAS 標章的保存處理木材進入工程案例中，因 CAS 標章的木製材品項中，設有防腐木材產品，可確保所使用的木材具有相對應的防腐藥劑吸收量與品質，此有益於對木構件耐久性的信賴性。綜合上述調查結果，防腐處理國產木材在治山防災工程中具備良好的應用潛力，若配合適宜的前處理技術與品質管理制度，更有助於推廣木構造於更多公共工程領域的應用，並促進國產木材永續利用的政策目標。🌱

(參考文獻請逕洽作者)