



柳杉疏伐木製材用於蝕溝控制之實例探討 —以太平山國家森林遊樂區為例

文、圖 ■ 游械誠 ■ 國立宜蘭大學土木工程學系副教授

林鴻忠 ■ 林務局羅東林區管理處處長

黃至用 ■ 林務局羅東林區管理處治山課技正 / 國立宜蘭大學土木工程學系研究生（通訊作者）

一、前言

近年來行政院公共工程委員會大力推動生態工程，林務局羅東林區管理處遂自2005年起，陸續於辦理太平山國家森林遊樂區之沖蝕溝治理工程時，將更貼近自然的素材及設計構想，融入整體治理工程規劃當中，以期在導入人為工程為大地療傷之後，不再留下難看的傷疤。

上述工程之治理規劃構想，係利用柳杉疏伐木、塊石、植生基材等元素，並以結構低矮化、坡度平緩化、表面粗糙化為設計原則，利用結構多孔特性，提供生物棲息所需生活空間，同時配合兩側植物立地條件的改善，以加速植物入侵及自然演替的速度，並在未來木本植物入侵後，形成具生命力的水土保持永續工程。

以柳杉疏伐材作為節制壩的框架，內填天然塊石，在符合結構安全考量原則下，於完工初期可大幅軟化傳統混凝土壩給人冰冷、生硬的印象，同時利用柳杉疏伐材作為節制壩框架基材，也進一步為森林疏伐後的林木找到一個有效再利用的全新方向。同時在蝕溝內側鋪設平緩的箱籠護墊，並設置低矮的箱籠固



▲照片1 太平山國家森林遊樂區專用道23.9k旁木格框壩冬季積雪，與週遭景觀較為相容。



▲照片2 太平山國家森林遊樂區專用道23.9k旁木格框壩，豪大雨過後溢洪口溪水溢流情形。

床工，除避免坑溝侵蝕日益擴大，並有效約束水流之外，並利用鋪設植生基材及草種方式，加速植生防止裸坡表土沖蝕，藉由適地植物的入侵及自然演替，將人為的治理痕跡掩蓋殆盡，給大地一個不見傷痕的自然療程。

二、取材與製材

比起住宅，外構設施所有部位的部材均容易腐朽。尤其在木構部材因會經常曝露在陽光及降雨環境下，最容易發生劣化。一般而言，所有樹種之邊材均無耐朽性，於3年內均會劣化。但心材之耐久性中庸者或低者，在4~7年後會腐朽掉，故需保存處理後再使用（王松永，2007）。因此，本次用於木格框節制壩之所有木料加工製材，均經O&D（Out Door Wood）工法處理後，再以CNS3000真空加壓注入ACQ防腐劑使達k4標準，以達所需之耐久性。

（一）取材

本案探討之6處節制壩，除部分由承商自行向木材加工廠價購外，均統一由羅東林區管理處提供疏伐材原木，並由負責製材及防腐處理之加工廠商，於疏伐木儲木場領用柳杉原木進行加工製材作業，取材標的以直徑15~20 cm柳杉疏伐材為對象，並依所需尺寸及數量進行製材、乾燥及防腐作業，挑選之素材尚須符合下列之規定：

1. 素材標準應符合CNS - 444之規範。
2. 圓木加工前圓徑尺寸應為150 mm以上。
3. 素材加工防腐處理前乾燥含水率應達25%以下。

（二）加工製材

符合規定之素材以旋車機（Rotary Lathe）處理，依規格加工成圓木棒，並在部分圓木棒距端部10 cm處刻出加工出2 cm之弧狀凹槽，作為節制壩施作時控材之用（如圖1）。另因

製材成品係提供相關治山防災及林道維護之用，將與土壤、雨水、水氣及霜雪等惡劣天候環境長時間接觸，為提高其耐久性，延長使用年限，成品須符合參考CNS及行政院公共工程委員會訂頒之「公共工程綱要規範」所擬定之下列標準：

1. 素材車圓加工後標準：
 - （1）直徑（ ϕ ）誤差範圍 ± 2 mm。
 - （2）長度（L）誤差範圍 ± 3 mm。
 - （3）彎曲度範圍（ $L \times 0.2$ ）以下。
 - （4）素材缺圓刻凹樺加工須依圖面所標示尺寸施作。
2. 素材使用壓縮機械加工時之標準（壓縮率20%）：
 - （1）直徑90 mm圓木素材壓縮量應達18 mm。
 - （2）直徑120 mm圓木素材壓縮量應達24 mm。
 - （3）真空加壓防腐後圓木回復率應達97%以上。
3. 防腐標準：
 - （1）防腐藥劑需使用A.C.Q（Alkaline Copper Quaternary）烷基銅銨化合物。
 - （2）藥劑組成成分需符合CNS14495之標準。
 - （3）作業液內A.C.Q（濃度wt%）= 6.0以上。
 - （4）素材之藥劑吸收量應達 5.2 kg/m^3 以上，並符合CNS3000 K4等級標準。
4. 防腐處理方式需使用真空加壓處理方式；加壓方式須符合CNS3000之標準。



表1 主要壩體地點水理資料比較表

地點	完工年別	海拔高度	集水區面積	溪流長度	年平均雨量	洪峰流量 (清水)
15.4 k	2006	H=1,430 m	10.23公頃	605 m	3,822.50 mm	2.79 cms
23.9 k	2007	H=1,920 m	21.7公頃	660 m	4,124.32 mm	8.55 cms
22.8 k	2009	H=1,950 m	23.2公頃	526 m	4,124.32 mm	9.94 cms

(1) 前排氣真空度 (MPA) = 0.08 以上, (mm Hg) = 600 以上, (時間min) = 20~30。

(2) 加壓 & 內壓 (MPA) = 1.2~1.5, (kgf/cm²) = 12~15, (時間min) = 120 以上。

(3) 後排氣真空度 (MPA) = 0.08 以上, (mm Hg) = 600 以上, (時間min) = 20~30。

5. 素材養護標準:

(1) 非河川用, 置於不受日曬雨淋之適當場所5~7日或使用人工乾燥。

(2) 河川用, 置於不受日曬雨淋之適當場所7日以上或使用人工乾燥。

三、現場施工

木材與其他營建材料諸如鋼材、混凝土及聚酯化合物等, 在材質的均質性上明顯有極大的落差, 也因此其單一材料之力學性質具相當的不確定性。而木格框節制壩基本上屬框架式結構, 當壩體處於蝕溝之自然環境中, 各部分獨立構件較易受水流中之塊石、土砂衝擊等外力作用而受損, 致影響整體結構之穩定, 故如屬較小集水面積且洪峰流量及水流含土砂量

相對小者(如表1), 可考慮採用「全木格框壩體」, 如集水區面積較大或水流含砂石量相對大者, 基於安全考量建議可採用「混凝土與木格框混合壩體」方式構築。

以下將以專用道22.8 k蝕溝為例, 就其構築方式進行說明, 該壩體含基礎之全寬為9.24 m、高度為3.42 m、深度為1.8 m(如圖1)。

(一) 全木格框壩體

1. 材料進場: 依構造物所需材料量體, 由管理處提供或由承商自行購置符合上述防腐處理標準之木料, 並與適當儲存堆置。材料進場後, 由監造單位會同林管處及承造商就材料進行現場查驗, 並加以取樣(數量超過100支時, 每100支抽取1支樣品進行檢測)後, 將成品從中截斷, 送相關學術機構檢驗, 判斷防腐藥劑是否實際滲入木材內部, 俟合於規定後方得使用。

2. 基礎開挖及整平: 就設計位址進行基礎開挖, 並應隨時檢核不得有超挖情事, 於基礎開挖至設計高程並整平後, 除由監造單位進行停留點查驗工作外, 並應適時檢視基礎有無腐木、樹根等雜物, 以及地質情況是否具足夠之承載力。

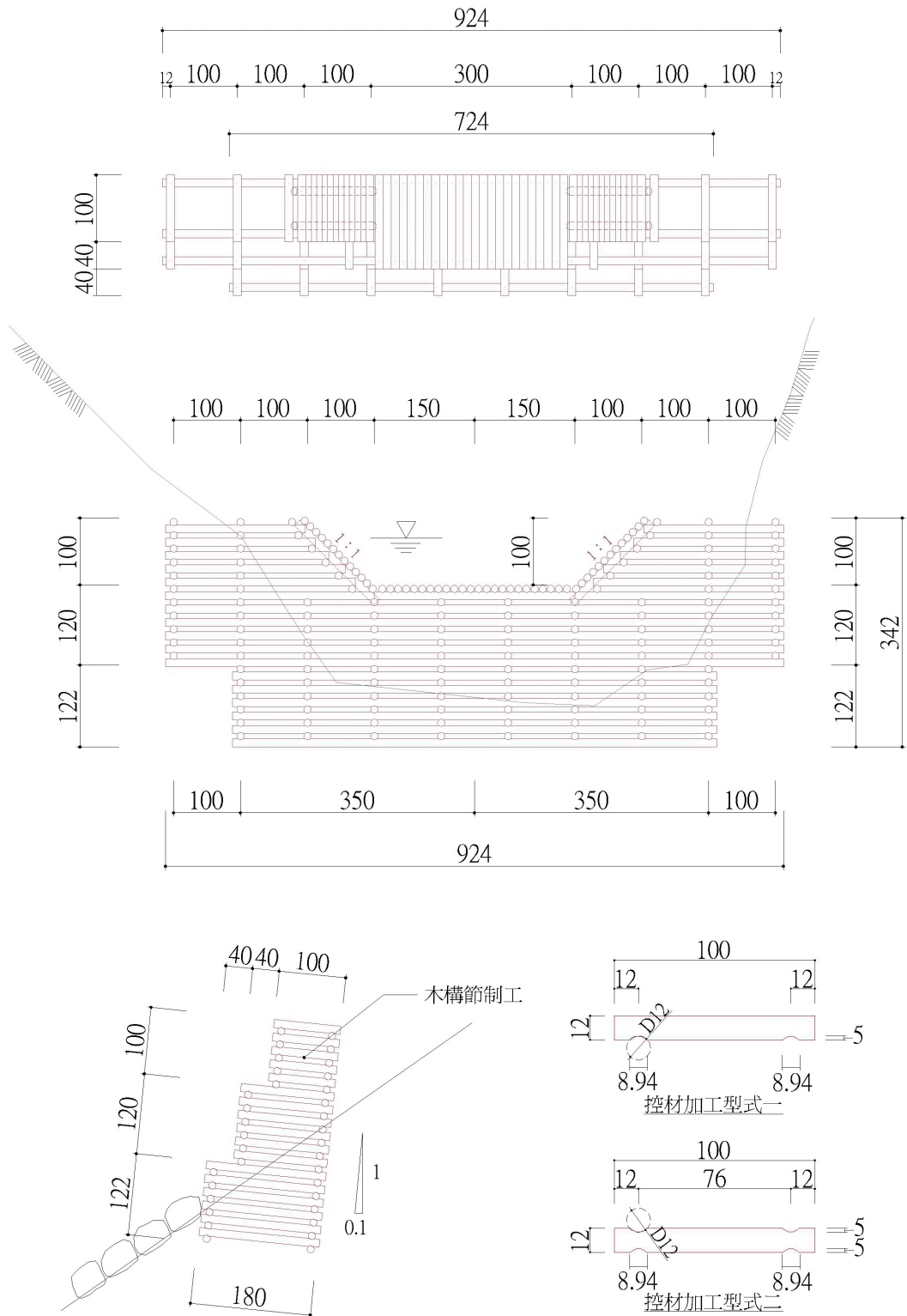


圖1 全木格框壩體詳圖。



3. 如基礎顯有承载力不佳之情形，應考慮變更增設鋼筋混凝土底板，或配合打設鋼軌樁加以因應。

4. 木格框節制壩之木構件組裝時，每處木料接點皆需預為鑽孔，並各鎖入1支熱浸鍍鋅六角木鍊及木攻螺絲。木格框壩之構件組裝用螺絲及五金，原則上採用熱浸鍍鋅鋼材或不鏽鋼材，以避免鏽蝕致影響接點強度。

5. 組裝後所有木構表面需均勻塗布護木油二度。

6. 於組裝後木格框內部回填塊石，塊石長徑需有80%介於15至25 cm間。

(二) 混凝土與木格框混合壩體

以此方式構築之壩體，上游側以混凝土為主材料進行構築，下游側則以木格框緊貼著混凝土面組構，所成為之單一壩座。此種做法主要係利用木格框結構取代部分混凝土，除仍具有全木格框壩之優點外，另對於水流及土砂之衝擊具更高的抵抗性。以此方式構築之壩體，其施工方式除於上游側應先完成混凝土或鋼筋混凝土重力壩，並預置木格框組立所需混凝土底板外，後續之木格框施工方式則與全木格框壩體相同。圖2所示剖面圖，係採用上述工法構築，實際運用於太平山專用道15.4 k蝕溝控制之施工圖。

四、成果比較與分析

(一) CO₂削減量比較

以宜專一線22.8 k木格框節制壩之尺寸為標準，並以下列4項基準進行混凝土壩與木格框壩，碳素及CO₂排放量分析(王松永，2007)：

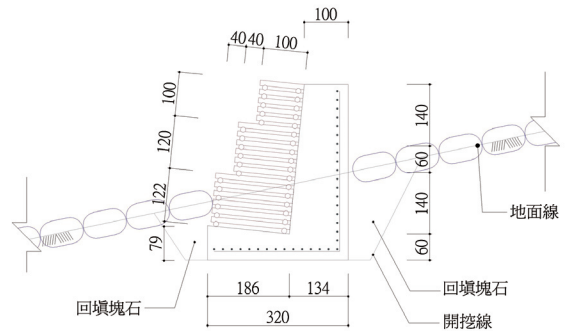


圖2 混合壩體剖面圖。

基準一：混凝土碳素排放量為120 kg/m³，即CO₂排放量為440 kg/m³。

基準二：杉木防腐處理碳素排放量為18 kg/m³，即CO₂排放量為66 kg/m³。

基準三：杉木比重以0.35計，其含碳量為175 kg/m³，即因防腐所固定於木材之CO₂含量為642.25 kg/m³。

基準四：CO₂產生量 = 排放量 - 固定量。

1. 混凝土壩體

所需混凝土體積：43.19 m³

CO₂產生量 (19,003.6 kg) = 排放量 (440 × 43.19) - 固定量 (0)。

2. 木格框壩體

所需木材體積：8.5 m³

CO₂產生量 (-4898 kg) = 排放量 (66 × 8.5) - 固定量 (642.25 × 8.5)。

即採木格框壩體除不會立即產生CO₂排放量，同時還能將CO₂固存於木材中至少達30年。

(二) 建造費用比較 (依實際發包金額)

1. 混凝土壩體每座造價計新台幣：

159,751元

造價 (159,751元/座) = 混凝土價金

(107,975元/座) + 模板價金 (26,276元/座) + 零星工料 (25,500元/座)。

2 · 木格框壩體每座造價計新台幣： 258,074元

造價 (258,074元/座) = 木格框價金 (164,413元/座) + 內填塊石價金 (43,778元/座) + 五金及零星工料 (49,883元/座)。

(三) 施工性比較

1 · 混凝土壩體

採傳統污工濕式施工方法進行，相關主體結構物原則均採現場組模澆製，故結構體完成後之品質，極易受現地氣候條件影響。

2 · 木格框壩體

採現場組立乾式施工方法進行，木格框主體結構之構築，原則上係利用於工廠已完成製材及防腐處理之圓木成品，於現場利用螺栓及適當之五金進行組裝後並內填卵塊石，故結構體完成後之品質，較不易受現地氣候條件影響。

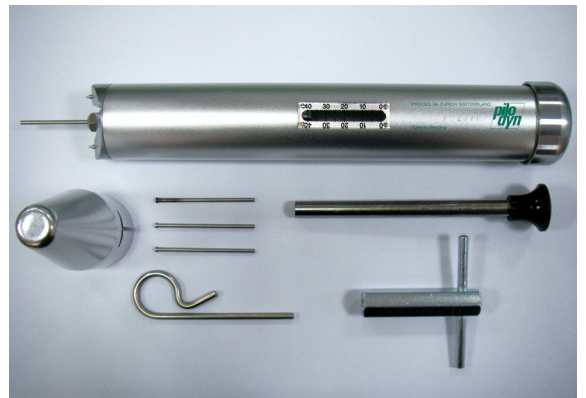
(四) 使用年限比較

1 · 混凝土壩體

一般而言，混凝土之正常使用年限為50年，惟部分混凝土長期暴露於室外受天候環境影響（紫外線、雨水及溫度等），亦會逐年劣化，然本次進行探討之混凝土使用年限，仍採用上述標準進行比較。

2 · 木格框壩體

(1) 所有樹種之邊材均無耐朽性，於3年內均會劣化，但心材之耐久性中庸者或低者，也會在4~7年後會腐朽掉。而柳杉經



▲照片3 木材腐朽測試器PILODYN - 6J。

此壓縮加工後，ACQ之浸透度不但可較深，且藥劑之分布亦較均勻，預定可使處理材之使用年限長達30年左右（王松永，2007）。另依據林務局委託國立中興大學「以木構造辦理國有林地治理工程之研究」，採加壓注入防腐處理並用於陸域結構之大概耐用年限為10年以上。

(2) 本次探討研究，特別沿用羅東林區管理處委託國立台灣大學之研究計畫「疏伐木材在生態工程應用時之設計與維護」所使用的木材腐朽測試器（Wood Tester PILODYN - 6J，如照片3），實地進行外部腐朽的簡易測試，並與2007年台灣大學團隊之研究報告進行資料比對。該項木材腐朽測試原理係利用精密彈簧所產生的固定彈力，將直徑2.5 mm的撞針以6J的能量擊入待測木材中，藉由撞針進入木材的深度，用以評估外部腐朽的情形（如照片4）。經測試結果，所設置的木格框壩木材元件除15.6 k之控材有較大變異外，大部並無明顯差異（如圖3），顯示截至目前尚符合原期待需求。



▲照片4 16.1 k現場測試情形。

(五) 景觀衝擊比較

1. 混凝土壩體

於壩體完成初期，灰白光滑的混凝土表面，與兩側綠意盎然的植被形成強烈對比，對於森林遊樂區內之視覺景觀衝擊相當強烈，甚至於數十年後亦復如此。

2. 木格框壩體

而木格框壩體於完成初期，因材料選用係採取天然木料與石材，且壩面受圓木組構及陰影影響，平面視覺線條受到切割，故整體視覺之壓迫感將大幅降低；且歷經數年後，現地草、木本植物將因其壩體具粗糙且多孔的特性，得輕易相繼入侵，壩體亦將逐漸掩沒於植被之下，與周邊景觀完全相容。以15.4 k之木格框壩為例，在工程完成迄今僅約4年的時間，壩翼已被現地植被所入侵及覆蓋（如照片

表2 優缺點比較表

項目 壩體材料	CO ₂ 削減量比較	建造費用比較	施工性比較	使用年限比較	景觀衝擊比較
混凝土壩體		◎		◎	
木格框壩體	◎		◎		◎

◎比較後較為優異之選項

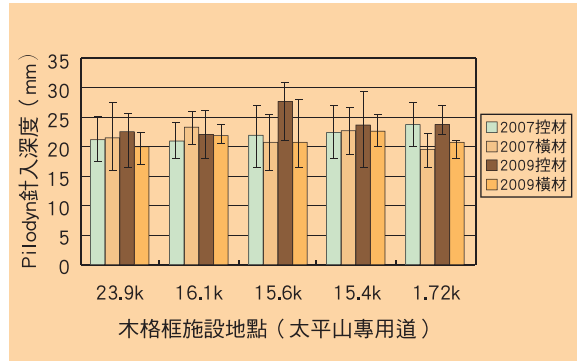


圖3 木格框壩表面腐朽狀況圖。

5、6），幾乎已看不見壩體的存在。

依據上述5項指標進行比較分析結果，將其優缺點整理詳如表2，由表中顯示，於森林區內進行蝕溝控制時，在適當條件下，採用木格框節制壩將優於傳統混凝土壩。

五、結論與建議

(一) 林班地內之坑溝整治工程，其施工機具之可及性與材料的搬運，往往較一般山坡地或平原地區來得困難，如採用傳統混凝土壩之施工方式，除上述問題外，混凝土相關機具於施工過程中，往往需佔用部分車道來進行作業，如此，常影響往來遊樂區遊客與車輛的順暢與安全。

(二) 以太平山專用道23.9 k及22.8 k為例，其海拔高度均位處1,900 m以上，離最近



▲照片5 太平山專用道15.4 k旁木格框壩完工1年後情形。



▲照片6 太平山專用道15.4 k旁木格框壩完工4年後情形。

之混凝土預拌廠亦超過30 km以上，預拌混凝土運距與混凝土初凝時間的控制，以及冬季可能低於5°C以下的溫度，均在考驗混凝土壩之完工品質。

(三) 坡面蝕溝控制工程之規劃，其首要仍以防災功能的可靠性與安全性為主，本文所探討之多處蝕溝之集水區面積均未超過25公頃，且上游無崩塌地或崩塌地業經適當治理，其土、砂下移量相對較少。未來如應用於較大集水區時，基於安全考量，可考慮與混凝土構造物進行共構方式處理，或採用太平山專用道23.9 k及22.8 k模式，於蝕溝上游先行構

築混凝土壩進行部分土砂控制後，再於其下游接近公路側設置木格框壩，除能保有木格框之優點外，同時能提高壩體功能的可靠性，亦可達到混凝土減量的功效。

(四) 木格框節制壩於施作完成後，歷經2008年3個颱風（鳳凰、辛樂克、薔蜜）及2009年的莫拉克及芭瑪颱風侵襲，太平山年雨量更於2008年創下高達6,397 mm的水準，目前其結構體尚無明顯損壞情形。另依據木材腐朽測試結果，木材整體腐朽情形變化不大，惟仍有少數木材單體之針入度>30 cm以上，經判斷應屬製材前於堆置場選料時，部分材料內部已出現微幅腐朽徵兆而未見，導致後續耐久性較差現象，故爾後應加強選材之標準。

(五) 林務局所轄18個國家森林遊樂區，目前已成為國內生態旅遊的優質場域，於遊樂區內進行相關治山防洪工程時，除考量應有的安全性外，建議能多考慮類似工法，以兼顧生態與景觀等面向。▲



(圖片／高遠文化)