

行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 94-00-5-08

木材在生態工法應用時之設計與維護
Design and Maintenance of Wood Applied in
Ecological Engineering



委託機關：行政院農業委員會林務局

執行機關：國立台灣大學

中華民國 94 年 12 月

<研究團隊>

計畫主持人：台灣大學森林環境暨資源學系王松永 教授

計畫聯絡人：台灣大學森林環境暨資源學系洪崇彬 博士後研究

計畫工作人員：

機 關 名 稱	單 位 名 稱	研 究 人 員	職 稱
國立台灣大學	森林環境暨資源學系	王松永	教 授
國立台灣大學	森林環境暨資源學系	洪崇彬	博士後研究
國立台灣大學	森林環境暨資源學系	羅盛峰	博士班研究生
國立台灣大學	森林環境暨資源學系	楊德新	博士班研究生
國立台灣大學	森林環境暨資源學系	陳勁豪	博士班研究生
國立台灣大學	森林環境暨資源學系	林昱廷	碩士班研究生
國立台灣大學	森林環境暨資源學系	孫上平	碩士班研究生
國立台灣大學	森林環境暨資源學系	蔡明秀	碩士班研究生

木材在生態工法應用時之設計與維護

台大森林環境暨資源學系 生物材料物理實驗室

王松永 教授 洪崇彬 博士後研究

生物材料物理實驗室 全體研究生

【摘要】本計畫之目標係透過生態工法之設施之設計與維護管理系統，期能提高生態工法設施所使用之木材之耐久性，以維持資源之永續性。本年度選定羅東林管處太平山遊樂區聯外道路宜專 1.72km 蝕溝，配合林務局提供之柳杉(*Cryptomeria japonica*)疏伐木，進行疏伐木之加工與防腐處理，除部分作為土木用材之備料外，規劃設計木格框節制壩兩座，最後編纂「木材生態工法施工設計與維護手冊」。

計畫中，將柳杉疏伐中小徑木，以旋切機(Rotary lathe)旋切加工成直徑約為 12 cm 圓木棒，利用 O&D 工法，並以 ACQ 防腐劑加壓注入處理成滲透度高、耐用年限可達 40 年之 K-4 處理材，並於選定地點施作完成兩座木格框節制壩，作為示範推廣之用。建造完成之兩座木格框節制壩，當與混凝土節制壩比較時，可使 CO₂ 排放削減效果達 36,697.3 kg。此外並編撰完成「木材生態工法施工設計與維護手冊」。

【關鍵詞】疏伐木、生態工法、木格框節制壩、O&D 工法、ACQ。

Design and Maintenance of Wood Applied in Ecological Engineering

School of Forestry and Resource Conservation

Song-Yung Wang, Chung-Pin Hung

【Abstract】 The purpose of this plan was to develop the design and maintenance management to increase the durability of wood applied in ecological engineering. In the study, Japanese cedar was applied in order to expand and utilization of thinned logs. Two wooden check dams were constructed and located at the Tai-Ping-Shan forest recreation area, Lo-Tung Forest District Office for demonstration and extension. The Handbook of the Design, Construction, and Maintenance of Wood-Based Materials by Ecological Engineering Method was edited after the end of the study.

First, the thinned logs of Japanese cedar were manufactured to round log with diameter of 10 cm by rotary lathe. Then, they were preserved with ACQ (Alkaline Copper Quaternary) by pressure processes in order to meet K-4 requirement with 40 years life. These round logs were constructed two check dams. Comparison of wooden checks dams with concrete ones, they could decrease the amount of CO₂ emission to 36,697.3 kg by the substitution.

【Keywords】Thinned logs, Ecological Engineering Methods, Wooden frame check dam, Out Door Wood, Alkaline Copper Quaternary.

一、 前言

最近在公園、景觀設施等公共事業之計畫，就管理者而言，著重在維護管理比較容易之非木質系設施，而利用者則著重在良好質感且外觀優雅木製設施，尤其在都會區，因人們生活在人工的環境裏，所以在公園或景觀設施中，希望能使用木材或自然石礫的期望會較為強烈。因此，近年來在都市附近之河川，隨著下水道之完備及河川水質已相當淨化外，以往之混凝土護岸亦進行全面改修，將土、自然石礫及木材等相互配合，將流域整體逐步的改變成親水化公園。像這樣的場所，已建造各種木橋作為地景，或配置沿著河川之木板步道(board walk)或長椅(bench)，目的在讓民眾感到親切。

為因應週休二日與國建 2008 旅客倍增計畫，在森林區，鄉村區增加不少休閒遊樂區與景觀區。其設施如護坡、步道、隔音牆、欄杆、樓梯、涼亭等為能與生態環境相搭配，進而提高其品質，許多均使用自然材料之木材。對於外構用木材所期望之耐用年數，依設施之種類而有很大差異。如公園樹木之支柱，一般約 5-6 年，涼亭或木橋為 20 年以上，一般公園設施約 15 年會修建，以此作為耐用年數之指標。台灣因氣溫高、多雨，要滿足此要求並不容易，實際上有許多案例為約 4-6 年就已腐朽，致使從近 10 年來木材之使用經驗，設計者及使用者對防腐處理木材之品質不信任感提高，轉而使用高耐久性素材。

為何在這些設施希望以木材替代混凝土材料？此係因京都議定書在俄國國會通過後，已具法律效力，全球需將溫室氣體排放量減低至 1990 年水準，再減 5.2%。而木材不但加工能源低，因此 CO₂ 排放量少，其更會固定 CO₂ 在木材內部，因此多使用木材，多造林將可達到 CO₂ 減量之目標。

二、 本年度工作內容

比起住宅，外構設施所有部位，部材均容易腐朽。尤其在木構部材因會經常暴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，於三年內均會劣化。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。本計畫之目標係透過生態工法之設施之設計與維護管理系統，期

能提高生態工法設施所使用之木材之耐久性，以維持資源之永續性。本年度選定羅東林管處太平山遊樂區聯外道路宜專 1.72km 蝕溝，配合林務局提供之柳杉 (*Cryptomeria japonica*) 疏伐木，進行疏伐木之加工與防腐處理，除部分作為土木用材之備料外，並邀請日本技師輔導及規劃設計節制壩兩座，最後編纂「木材生態工法施工設計與維護手冊」。

為提高生態工法之耐久性，對於材料之選擇、構造、施工及維護管理等四項措施能適當的實施。本計畫擬協助並輔導森林遊樂區對其外構設施於設計時，及施工時能確實的作到上述四項構施。本年度擬繼續進行木材在生態工法施作時之設計與維護管理。工作項目如下。

- (1) 使用林務局羅東林區管理處之疏伐柳杉材，旋切加工成直徑 12 cm，長度為 1m 及 2m，經 O&D 工法(OutDoor Wood) (壓縮至 80%) 後，再加壓注入 ACQ 防腐劑(Alkyl Copper Quaternary)，使達 CNS3000-K4 標準 (吸收量 5.2kg/m^3) 後，於太平山遊樂區之聯外道路兩旁，進行野溪治理或坑溝整治處，選擇適當地點。首先配合林務局提供之疏伐木，進行疏伐木之加工與防腐處理，並邀請日本技師輔導及規劃設計，再由羅東林區管理處配合施工施作節制壩二座。O&D 防腐處理方法，可使得 ACQ 防腐劑均勻侵入木材內部，使得此類材料在室外設施之土木構材之耐用年限達 40 年。日本廠商提供資料得知，該材料施作之攔砂壩所需使用木材量為 6m^3 ，而與其相當尺寸之混凝土攔砂壩所需混凝土量為 24.68m^3 ，由於木製攔砂壩代替混凝土攔砂壩可使得 CO_2 排放量減少 14,315kg，而此 CO_2 量相當於 45 個人在一年內所呼出的 CO_2 量。而達到京都議定書要求 CO_2 減量之目標。
- (2) 製作土木用材 (直徑 12 cm，長度 1m 及 2m) 經 O&D 工法處理，再加壓注入 ACQ 防腐劑，達 CNS3000-K4 標準，以作為天然災害發生時，提供道路、設施緊急修護用之備料。
- (3) 利用柳杉疏伐木製作各種標示牌、步道、壁板、課桌椅等所需材料。搭配生態工法擋土牆或節制壩之建造，可使森林遊樂區之土木設施能配合自然環境，達到公園親水化之目標。
- (4) 木材在生態工法應用之設計與維護解說手冊之編訂。木材在生態工法應用之設計

與維護解說手冊將提供一般民眾瞭解木材或疏伐木應用於生態工法之重要性，進一步瞭解生態工法之意義與作法；亦能提供木材加工業者，在利用木材進行生態工法設施時之實際作法與參考範例。

三、計畫執行情形

1. 生態工法木格框節制壩施工台灣案例

- (1) 選擇羅東林區管理處之太平山森林遊樂區宜專一線 1.72km 道路旁進行木格框節制壩施作工程，係以柳杉疏伐木為材料，所取得材積數為 250 立方公尺，供作加工用。經現場勘查後，將美觀與實用的因素一併考慮。
- (2) 藉助日本技師之經驗與規劃設計方式，施工方法大致如下：
 - a. 將柳杉疏伐中小徑木，以旋切機(Rotary lathe)旋切加工成圓木棒，其直徑為 120~150mm 之間，長度分為 1m 及 2m 兩種。並在 1m 長圓木棒各距兩端部 10cm 處加工成 2cm 之凹槽，作為節制壩施作時作為控材之用。
 - b. 因提供室外、接觸土壤、且會遭遇水濕等惡劣環境處使用，為提高其耐久性，延長使用年限，特以壓縮機械進行圓木棒之壓縮加工(壓縮率 20%，可使部分細胞壁之閉塞壁孔破壞)，再依 CNS3000，施以 ACQ (Alkaline Copper Quaternary) 或 AAC (Acid Copper Chromate)防腐劑之加壓注入處理，藥劑吸收量需達 CNS3000-K4 標準，ACQ 為 5.2kg/m^3 。因柳杉經此壓縮加工後，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 40 年左右，特稱之為 O&D 工法木材(Out Door Wood)。
 - c. 施工之際，首先沿著坡面清理基地土石或挖土，挖深至岩層並挖寬至適當寬度，接著可將節制壩基礎以圓木棒打樁後再於基礎上方將兩支 2m 長圓木棒互成平行，間隔約 80cm，使用螺栓固定在基礎上面。
 - d. 然後，在 2m 長橫向圓木棒上，每間隔 60cm，放置 1m 長圓木棒，意即將 3 支 1m 長圓木棒之凹槽處，放置在距 2m 長圓木棒之各端部 10cm 處及中央部位，

使成井字型，之後依此作業步驟，延長其長度或寬度與高度，直至預定長度或寬度與高度。

- e. 最後於節制壩木格框間回填現場土石，鞏固節制壩使之穩定，並利於排水，完成木格框節制壩工程。

依此工法之原理可應用於河川護坡堤，多段推積木工沉床工程，攔砂壩、河床護基等工程，以改善各種坡地之水土保持工程，使能近於自然狀態，並且固定碳素於材料內，有助 CO₂ 之減量。

2. 生態工法節制壩施工現場勘查

計畫執行之初，會同林務局羅東林區管理處、昆晉實業等相關人員，於太平山森林遊樂區進行實地勘查，初步選定施作地點於羅東林區管理處蘭台苗圃道路旁上邊坡，雖然似乎為草生地，然該區域為侵蝕溝，有施作節制壩之必要。預計施作蝕溝節制壩兩座，作為執行「木材在生態工法應用時之設計與維護」計畫之預定地。

然因兩次颱風襲台，宜專一線 6.20Km 處路基坍塌嚴重，至年底前可能無法完工通行，圖 1~圖 4 為原預定施作地點勘查情形，圖 5~圖 8 為原預定施作地點因颱風而路基損壞情形。因此改選定宜專一線 1.72Km 處之蝕溝，作為節制壩施作地點，仍施作兩座節制壩。圖 9~圖 11 為原預定施作地點勘查情形，圖 12、13 為平面圖，圖 14 為流心縱斷面圖。



圖 1、原預定施工現場勘查 1



圖 2、原預定施工現場勘查 2



圖 3、原預定施工現場勘查 3



圖 4、原預定施工現場航照圖



圖 5、宜專 6.2km 蘭台苗圃路基崩塌 1



圖 6、宜專 6.2km 蘭台苗圃路基崩塌 2



圖 7、宜專 6.2km 蘭台苗圃路基崩塌 3



圖 8、宜專 6.2km 蘭台苗圃路基崩塌 4



圖 9、宜專 1.72km 施作地點 1



圖 10、宜專 1.72km 施作地點 2



圖 11、宜專 1.72km 施作地點 3

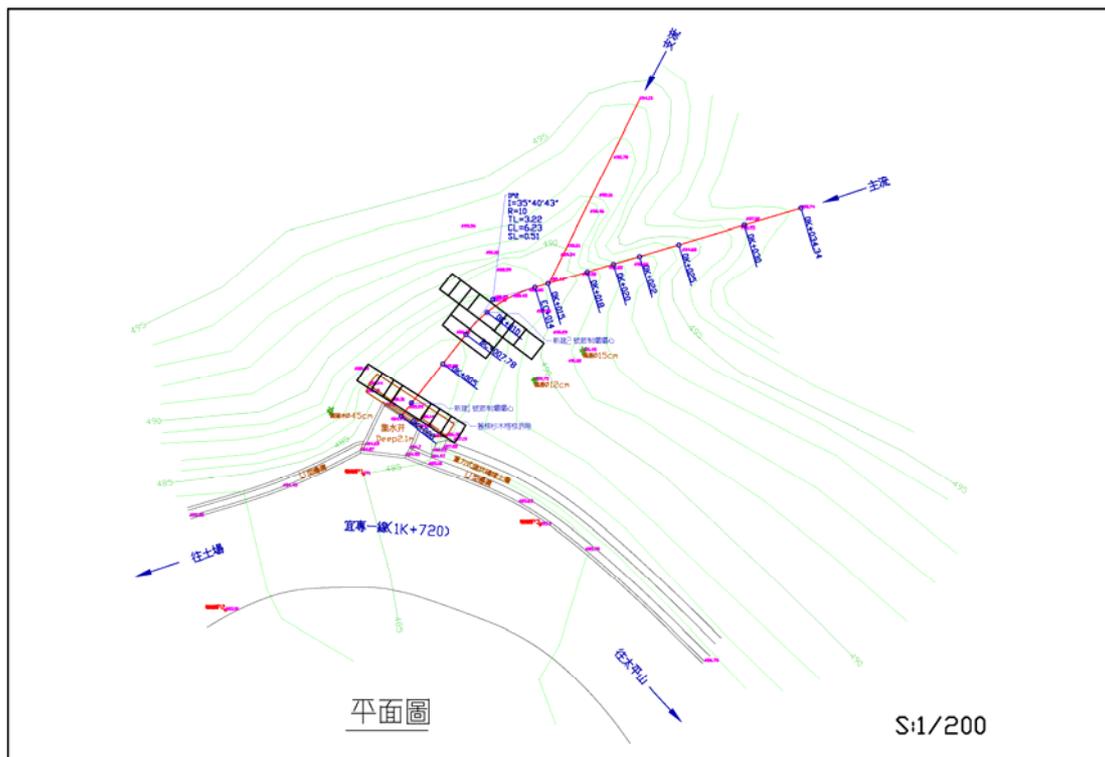


圖 12、宜專 1.72km 施作地點平面圖及壩體位置 1

3. 國產材疏伐木 O&D 工法加工過程

本年度申請林務局提供之 250m³ 柳杉疏伐木，於 94 年 9 月 20 日起陸續運送至昆晉實業股份有限公司木材及防腐加工廠，經過原木剝皮、裁切、製材與 O&D 工法處理後進行防腐處理工作。

欲將國產疏伐木作為戶外土木工程用圓木材料，採用 O&D 工法進行防腐處理時，注意要點與加工過程如下。

- (1) 加工之圓木經去皮並依設計長度切斷後應符合 CNS-444 製材之分等標準。加工前圓徑(末徑)尺寸應比設計尺寸大 20mm 以上，先縱切成八邊型桿，再經車床車成圓木，以去除外環幼齡木質部。
- (2) 圓木在素材經車圓加工後，其直徑(φ)誤差範圍±2mm、長度(L)誤差範圍±3mm、控材圓弧凹樺±2mm。且防腐處理前之含水率經乾燥應達 30% 以下。
- (3) 素材八面體壓縮之機械加工(壓縮率 10~20%)，直徑 90mm 圓木素材壓縮量應達 18mm (即 20%)；直徑 120mm 圓木素材壓縮量應達 18mm (即 15%)。而真空加壓防腐處理後圓木回復率應達 97% 以上。
- (4) 防腐處理係採用真空加壓注入法，處理方式如下。
 - a. 防腐藥劑使用 A.C.Q 烷基銅銨化合物(Alkaline Copper Quaternary)。其藥劑組成成分需符合 CNS14495 木材防腐劑之標準，作業液內 A.C.Q(濃度 wt%)達 6.0 以上。
 - b. 防腐處理方式需使用真空加壓處理方式；加壓方式需符合 CNS3000 之標準。其前排氣真空度(MPa)=0.08 以上，(mm Hg)= 600 以上，(時間 min)= 20~30。加壓&內壓 (MPa)= 1.2~1.5，(Kgf/cm²)= 12~15，(時間 min)= 120 以上。最後之後排氣真空度(MPa)=0.08 以上，(mm Hg)= 600 以上，(時間 min)= 20~30。
 - c. 因為使用於戶外設施，材料之藥劑吸收量應達 5.2(Kg/m³)以上，並符合 CNS3000 木材之加壓注入防腐處理方法 K4 等級標準。
 - d. 藥劑滲透度，在邊材部份 80% 以上，及從材面至深度 10mm 為止之心材部份之滲透度在 80% 以上，並符合 CNS3000 K4 等級標準。

- (5) 防腐處理後素材之乾燥養護，若非使用於河川，需置於不受日曬雨淋之適當場所 5~7 日(或使用人工乾燥)；若使用於河川，則需置於不受日曬雨淋之適當場所 7 日以上(或使用人工乾燥)。
- (6) 五金配件方面，需選用不銹鋼(sus304)或熱浸鍍鋅處理之材料，並依施工圖及施工說明書上所述之標準施工。

圖 15~20 顯示 O&D 工法之加工過程，圖 21 為熱浸鍍鋅處理之木螺釘。



圖 15、壓縮木材機械



圖 16、圓木棒壓縮加工 1(上下加壓壓縮率 15%)



圖 17、圓木棒壓縮加工 2(上下加壓壓縮率 15%)



圖 18、圓木棒壓縮加工成品



圖 19、圓木棒壓縮加工成品 2



圖 20、圓木棒壓縮後進行 ACQ 加壓注入處理(K4 標準)



圖 21、熱浸鍍鋅處理木螺釘

4. 生態工法木格框節制壩施工

本次施作之木格框節制壩共兩座，分為 1 號壩與 2 號壩，2 號壩又分為 A、B、C 三區。1 號壩設計圖與完成尺寸如圖 22、23 所示，需求材積數如表 1 所示，所需毛料 2340.74 才，需求材積 1807.68 才；2 號壩設計圖與完成尺寸如圖 24、25 所示，需求材積數如表 2 所示，所需毛料 5238.13 才，需求材積 4045.12 才，換算為立方公尺材積如表 3 所示，原木利用率概估為 40%，製材前原木平均直徑 19cm，換算為所需原木材積，在 1 號節制壩為 24.3 m³，2 號節制壩為 54.3 m³，構架用圓木總材積則 1 號節制壩為 3.87 m³，2 號節制壩為 8.66 m³，共計總材積為 12.53 m³。單價分析表則如表 4 所示。加工後之圓木包括橫材、斜材與控材，各材料之直徑均為 12.0cm，長度依安裝位置而有不同，控材加工型式則有三種，如圖 26 所示，控材均需再加工刻出 2cm 凹槽。

現場施作時間於 94 年 11 月 24 日挖土機挖深挖寬整地開始，至 94 年 12 月 2 日組立完工為止，歷時 9 天完成兩座節制壩之施作，流程如圖 27~70 所示。

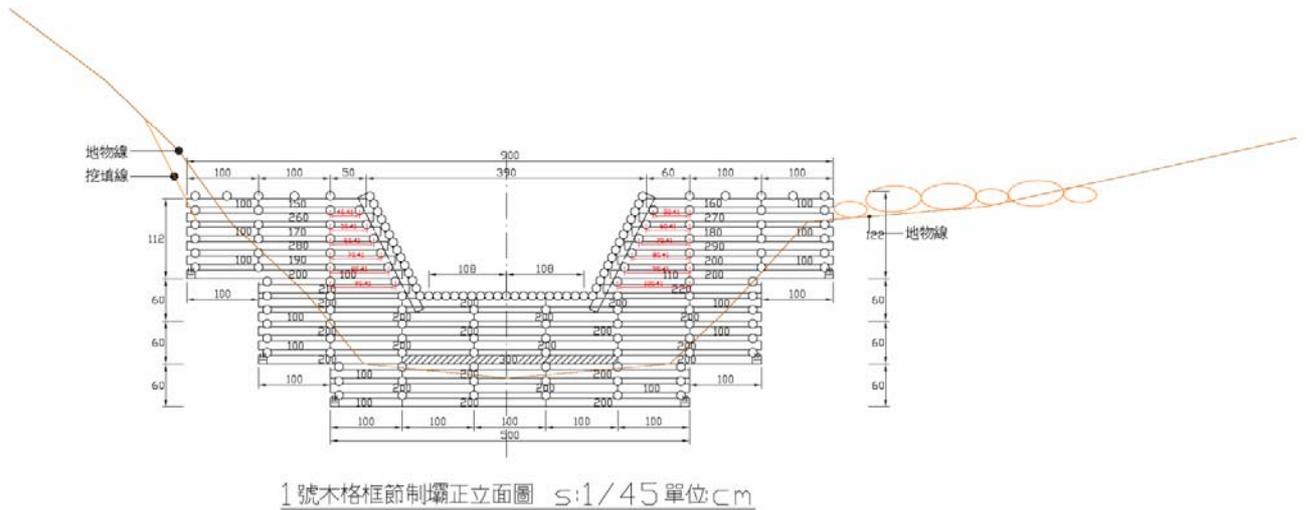
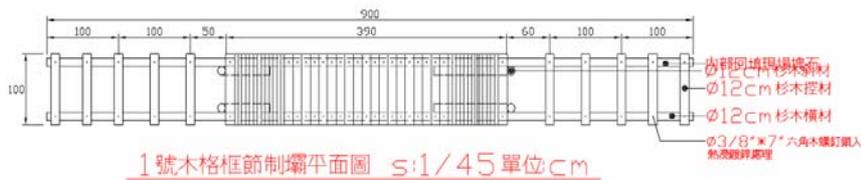
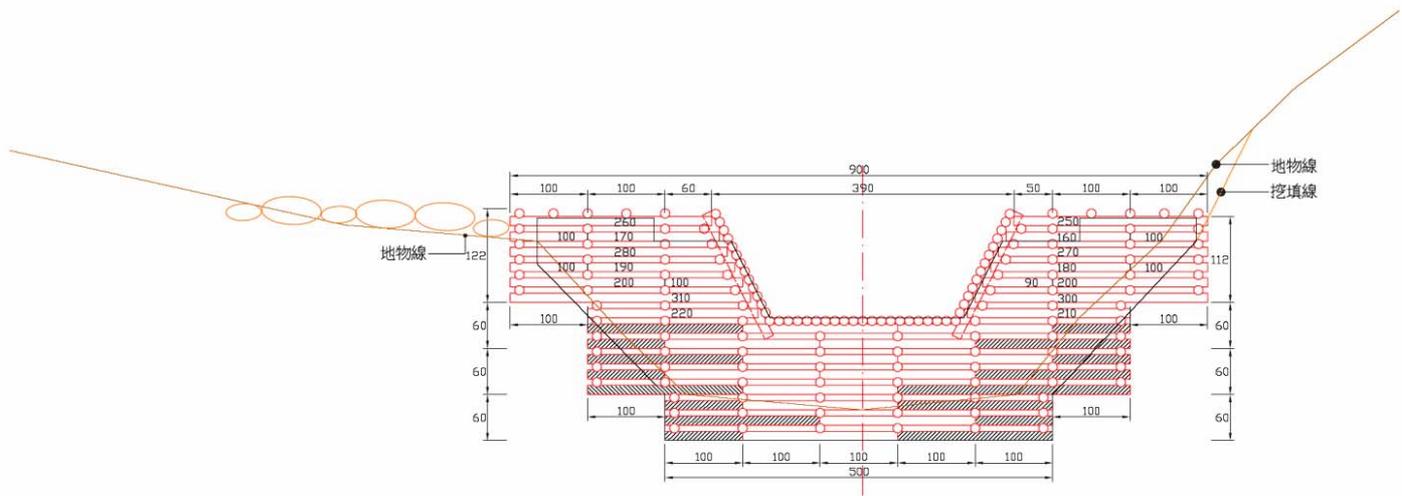
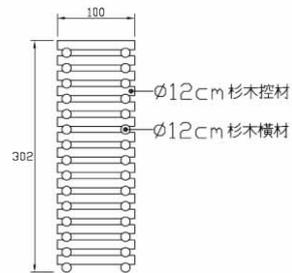


圖 22、1 號壩平面與正立面設計圖

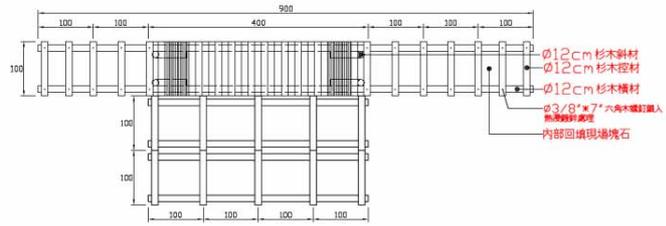


1號木格框節制壩背立面圖 s:1/45單位cm

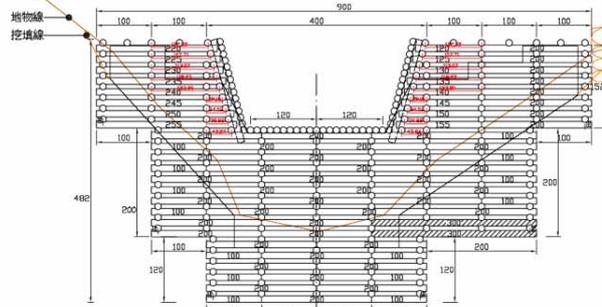


1號木格框節制壩側立面圖 s:1/30單位cm

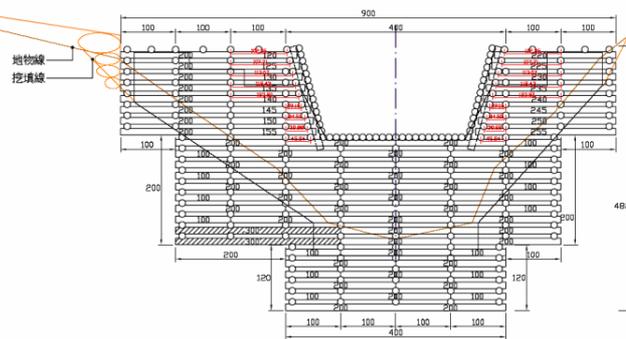
圖 23、1 號壩背立面與側立面設計圖



2號木格框節制壩平面圖 s:1/30單位cm

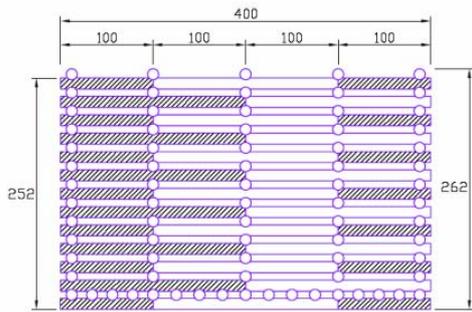


2號木格框節制壩正立面圖(A區) s:1/45單位cm

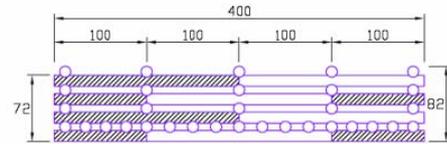


2號木格框節制壩背立面圖(A區) s:1/45單位cm

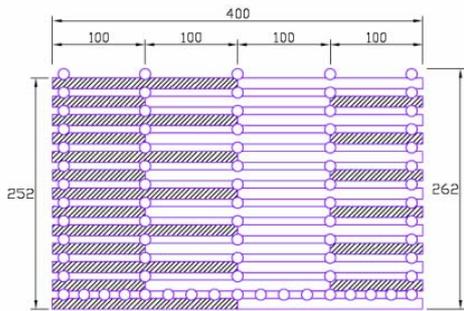
圖 24、2 號壩 A 區平面、正立面與背立面設計圖



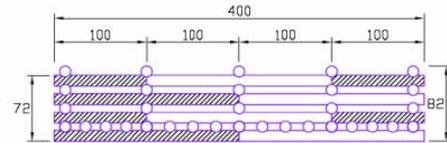
2號木格框節制壩正立面圖(B區) s:1/35單位cm



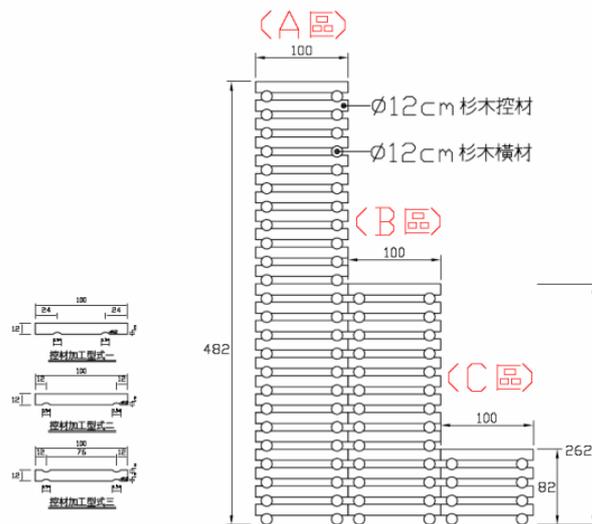
2號木格框節制壩正立面圖(C區) s:1/35單位cm



2號木格框節制壩背立面圖(B區) s:1/35單位cm



2號木格框節制壩背立面圖(C區) s:1/35單位cm



2號木格框節制壩側立面圖s:1/30單位cm

圖 25、2 號壩 B 區與 C 區正立面與背立面及 2 號壩側立面設計圖

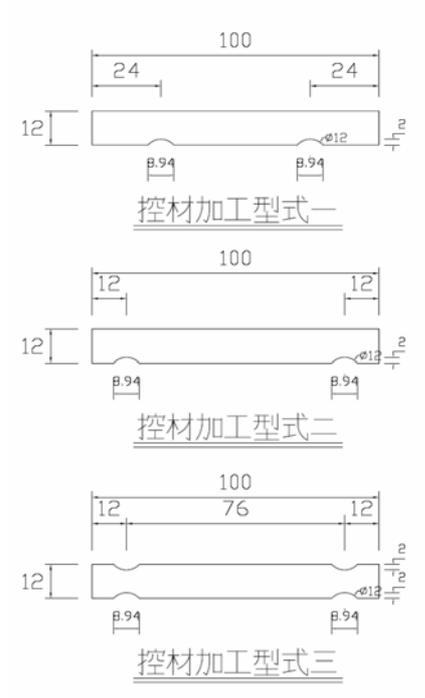


圖 26、木格框節制壩控材加工型式

表 1、一號木格框節制壩材料需求表

項次	使用細目 (用途名稱)	需求尺寸			需求尺寸			數量	材積	毛料尺寸			數量	材積	備註
		長(cm)	寬(cm)	厚(cm)	長(尺)	寬(寸)	厚(寸)			長(尺)	寬(寸)	厚(寸)			
一號木格框壩															
1	橫材	310.0	12.0	12.0	10.2	4.0	4.0	1	16.32	10.3	4.5	4.5	1	20.86	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
2	橫材	300.0	12.0	12.0	10.0	4.0	4.0	3	48.00	10.1	4.5	4.5	3	61.36	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
3	橫材	290.0	12.0	12.0	9.6	4.0	4.0	1	15.36	9.7	4.5	4.5	1	19.64	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
4	橫材	280.0	12.0	12.0	9.2	4.0	4.0	2	29.44	9.3	4.5	4.5	2	37.67	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
5	橫材	270.0	12.0	12.0	9.0	4.0	4.0	2	28.80	9.1	4.5	4.5	2	36.86	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
6	橫材	260.0	12.0	12.0	8.6	4.0	4.0	2	27.52	8.7	4.5	4.5	2	35.24	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
7	橫材	250.0	12.0	12.0	8.3	4.0	4.0	1	13.28	8.4	4.5	4.5	1	17.01	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
8	橫材	220.0	12.0	12.0	7.3	4.0	4.0	2	23.36	7.4	4.5	4.5	2	29.97	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
9	橫材	210.0	12.0	12.0	7.0	4.0	4.0	2	22.40	7.1	4.5	4.5	2	28.76	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
10	橫材	200.0	12.0	12.0	6.6	4.0	4.0	45	475.20	6.7	4.5	4.5	45	610.54	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
11	橫材	190.0	12.0	12.0	6.3	4.0	4.0	2	20.16	6.4	4.5	4.5	2	25.92	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
12	橫材、斜材	180.0	12.0	12.0	6.0	4.0	4.0	6	57.60	6.1	4.5	4.5	6	74.12	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
13	橫材	170.0	12.0	12.0	5.6	4.0	4.0	2	17.92	5.7	4.5	4.5	2	23.09	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
14	橫材	160.0	12.0	12.0	5.3	4.0	4.0	2	16.96	5.4	4.5	4.5	2	21.87	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
15	橫材	150.0	12.0	12.0	5.0	4.0	4.0	1	8.00	5.1	4.5	4.5	1	10.33	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
16	橫材	110.0	12.0	12.0	3.6	4.0	4.0	1	5.76	3.7	4.5	4.5	1	7.49	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
17	橫材	100.0	12.0	12.0	3.3	4.0	4.0	26	137.28	3.4	4.5	4.5	26	179.01	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
17	控材加工型式一	100.0	12.0	12.0	3.3	4.0	4.0	28	147.84	3.4	4.5	4.5	28	192.78	削八角+乾燥+車圓+缺圓刻凹+八面體壓縮+ACQ
17	控材加工型式二	100.0	12.0	12.0	3.3	4.0	4.0	29	153.12	3.4	4.5	4.5	29	199.67	削八角+乾燥+車圓+缺圓刻凹+八面體壓縮+ACQ
17	控材加工型式三	100.0	12.0	12.0	3.3	4.0	4.0	102	538.56	3.4	4.5	4.5	102	702.27	削八角+乾燥+車圓+缺圓刻凹+八面體壓縮+ACQ
18	橫材	90.0	12.0	12.0	3.0	4.0	4.0	1	4.80	3.1	4.5	4.5	1	6.28	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ

需求材積 1807.68 才

毛料材積 2340.74 才

表 2、二號木格框節制壩材料需求表

項次	使用細目 (用途名稱)	需求尺寸			需求尺寸			數量	材積	毛料尺寸			數量	材積	備註
		長(cm)	寬(cm)	厚(cm)	長(尺)	寬(寸)	厚(寸)			長(尺)	寬(寸)	厚(寸)			
二號木格框壩 A 區															
1	橫材	300.0	12.0	12.0	9.9	4.0	4.0	4	63.36	10.0	4.5	4.5	4	81.00	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
2	橫材	255.0	12.0	12.0	8.5	4.0	4.0	2	27.20	8.6	4.5	4.5	2	34.83	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
3	橫材	250.0	12.0	12.0	8.3	4.0	4.0	2	26.56	8.4	4.5	4.5	2	34.02	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
4	橫材	245.0	12.0	12.0	8.1	4.0	4.0	2	25.92	8.2	4.5	4.5	2	33.21	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
5	橫材	240.0	12.0	12.0	8.0	4.0	4.0	2	25.60	8.1	4.5	4.5	2	32.81	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
6	橫材	235.0	12.0	12.0	7.8	4.0	4.0	2	24.96	7.9	4.5	4.5	2	32.00	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
7	橫材	230.0	12.0	12.0	7.6	4.0	4.0	2	24.32	7.7	4.5	4.5	2	31.19	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
8	橫材	225.0	12.0	12.0	7.4	4.0	4.0	2	23.68	7.5	4.5	4.5	2	30.38	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
9	橫材	220.0	12.0	12.0	7.4	4.0	4.0	2	23.68	7.5	4.5	4.5	2	30.38	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
10	橫材	200.0	12.0	12.0	6.6	4.0	4.0	90	950.40	6.7	4.5	4.5	90	1221.08	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
11	斜材	195.0	12.0	12.0	6.4	4.0	4.0	4	40.96	6.5	4.5	4.5	4	52.65	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
12	橫材	155.0	12.0	12.0	5.1	4.0	4.0	2	16.32	5.2	4.5	4.5	2	21.06	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
13	橫材	150.0	12.0	12.0	5.1	4.0	4.0	2	16.32	5.2	4.5	4.5	2	21.06	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
14	橫材	145.0	12.0	12.0	4.8	4.0	4.0	2	15.36	4.9	4.5	4.5	2	19.85	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
15	橫材	140.0	12.0	12.0	4.6	4.0	4.0	2	14.72	4.7	4.5	4.5	2	19.04	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
16	橫材	135.0	12.0	12.0	4.5	4.0	4.0	2	14.40	4.6	4.5	4.5	2	18.63	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ

(續表 2)

17	橫材	130.0	12.0	12.0	4.3	4.0	4.0	2	13.76	4.4	4.5	4.5	2	17.82	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
18	橫材	125.0	12.0	12.0	4.1	4.0	4.0	2	13.12	4.2	4.5	4.5	2	17.01	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
19	橫材	120.0	12.0	12.0	4.0	4.0	4.0	2	12.80	4.1	4.5	4.5	2	16.61	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
20	橫材	100.0	12.0	12.0	3.3	4.0	4.0	28	147.84	3.4	4.5	4.5	28	192.78	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
21	控材加工型式一	100.0	12.0	12.0	3.3	4.0	4.0	30	158.40	3.4	4.5	4.5	30	206.55	削八角+乾燥+車圓+缺圓刻凹+八面體壓縮+ACQ
22	控材加工型式二	100.0	12.0	12.0	3.3	4.0	4.0	33	174.24	3.4	4.5	4.5	33	227.21	削八角+乾燥+車圓+缺圓刻凹+八面體壓縮+ACQ
23	控材加工型式三	100.0	12.0	12.0	3.3	4.0	4.0	170	897.60	3.4	4.5	4.5	170	1170.45	削八角+乾燥+車圓+缺圓刻凹+八面體壓縮+ACQ
二號木格框霸 B 區															
24	橫材	100.0	12.0	12.0	3.3	4.0	4.0	26	137.28	3.4	4.5	4.5	26	179.01	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
25	橫材	200.0	12.0	12.0	6.6	4.0	4.0	39	411.84	6.7	4.5	4.5	39	529.13	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
26	控材加工型式二	100.0	12.0	12.0	3.3	4.0	4.0	5	26.40	3.4	4.5	4.5	5	34.43	削八角+乾燥+車圓+缺圓刻凹+八面體壓縮+ACQ
27	控材加工型式三	100.0	12.0	12.0	3.3	4.0	4.0	72	380.16	3.4	4.5	4.5	72	495.72	削八角+乾燥+車圓+缺圓刻凹+八面體壓縮+ACQ
二號木格框霸 C 區															
28	橫材	100.0	12.0	12.0	3.3	4.0	4.0	8	42.24	3.4	4.5	4.5	8	55.08	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
29	橫材	200.0	12.0	12.0	6.6	4.0	4.0	12	126.72	6.7	4.5	4.5	12	162.81	削八角+乾燥+車圓+八面體壓縮+ACQ
30	控材加工型式二	100.0	12.0	12.0	3.3	4.0	4.0	5	26.40	3.4	4.5	4.5	5	34.43	削八角+乾燥+車圓+缺圓刻凹+八面體壓縮+ACQ
31	控材加工型式三	100.0	12.0	12.0	3.3	4.0	4.0	27	142.56	3.4	4.5	4.5	27	185.90	削八角+乾燥+車圓+缺圓刻凹+八面體壓縮+ACQ

需求材積 4045.12 才

毛料材積 5238.13 才

表 3、木格框節制壩材料數量計算表

項次	名稱	計算式	單位	設計數量
一、原木材積				
1.	圓木直徑	D=0.12m	M	0.12
2.	圓木斷面積	$3.1416*0.12*0.12/4$	M ²	0.01131
3.	製材前原木平均直徑	D=0.19	M	0.19
4.	原木平均斷面積	$3.1416*0.19*0.19/4$	M ²	0.02835
5.	原木利用率	概估約 40%		0.40
6.	單位長度圓木所需原木材積	原木平均斷面積×1m/利用率	M ³	0.0709
二、木格框節制壩所需木料材積(1 號壩體)				
1.	橫材、斜材總長	(詳表 1)	M	183
2.	控材總長	(詳表 1)	M	159
3.	構架需用圓木總長	183+159	M	342
4.	構架需用圓木總材積	$0.01131*342$	M ³	3.8681
5.	構架需用原木總材積	$0.0709*342$	M ³	24.3
木格框節制壩所需木料材積(2 號壩體)				
1.	橫材、斜材總長	(詳表 2)	M	423.8
2.	控材總長	(詳表 2)	M	342
3.	構架需用圓木總長	423.8+342	M	765.8
4.	構架需用圓木總材積	$0.01131*765.8$	M ³	8.6612
5.	構架需用原木總材積	$0.0709*765.8$	M ³	54.3
三、本案木格框節制壩所需木料材積合計(1 號壩體、2 號壩體)				
1.	橫材、斜材總長	183+423.8	M	606.8
2.	控材總長	159+342	M	501
3.	構架需用圓木總長	606.8+501	M	1107.8
4.	構架需用圓木總材積	$0.01131*1107.8$	M ³	12.5293
5.	構架需用原木總材積	$0.0709*1107.8$	M ³	78.6

表 4、單價分析表

(單位：元)

項目	名稱	單位	數量	成本單價	成本複價
1	台灣省產柳杉材料(含運至加工廠)	才	7,578.87	48.00	363,785.76
2	車圓加工(含四面鉋)	才	7,578.87	11.00	83,367.57
3	凹槽加工(含端頭切整)	才	2,645.28	8.00	21,162.24
4	八面體壓縮加工	才	5,852.80	9.00	52,675.20
5	ACQ 真空加壓防腐處理	才	5,852.80	12.00	70,233.60
6	現場組裝、含小五金、現場土方回填	才	5,852.80	28.00	163,878.40
7	小搬運及運費(怪手吊運及現場配合)	才	5,852.80	18.00	105,350.40
8	雜項費用及損耗	式	1.00	2546.83	2546.83
	合計				863,000.00

備註：本分析表不包含材料之損耗



圖 27、現場測量

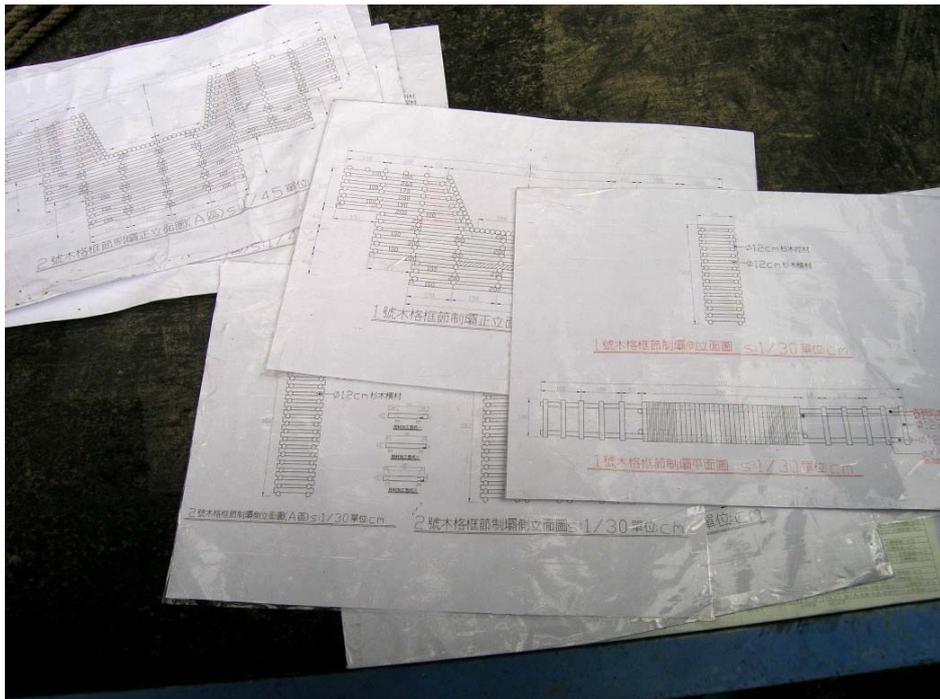


圖 28、施工現場依設計圖進行施作工程



圖 29、挖土機整地挖土、石 1



圖 30、挖土機整地挖土、石 2



圖 31、2 號壩基地挖深與挖寬



圖 32、測量開挖深度



圖 33、節制壩基地上方蝕溝現況



圖 34、O&D 防腐處理圓木棒進場 1



圖 35、O&D 防腐處理圓木棒進場 2



圖 36、2 號節制壩 O&D 防腐處理圓木棒進場 1



圖 37、2 號節制壩 O&D 防腐處理圓木棒進場 2



圖 38、2 號節制壩 O&D 防腐處理圓木棒進場 3



圖 39、2 號節制壩基礎定位



圖 40、2 號節制壩基礎定位後丈量



圖 41、2 號節制壩基礎丈量



圖 42、2 號節制壩 A 區基礎定位後逐層組立



圖 43、2 號節制壩 B 區組立



圖 44、2 號節制壩 C 區組立



圖 45、2 號節制壩持續加高



圖 46、2 號節制壩基礎至預定高度先填土與石礫



圖 47、2 號節制壩基礎填土與石礫後持續組裝



圖 48、2 號節制壩組裝過程不斷填土與石礫 1



圖 49、2 號節制壩組裝過程不斷填土與石礫 2



圖 50、2 號節制壩邊緣部分組裝



圖 51、2 號節制壩體外觀已具雛形



圖 52、2 號節制壩邊緣部分填土與石礫



圖 53、2 號節制壩表層圓木組裝



圖 54、1 號節制壩組裝前搭設安全圍籬



圖 55、1 號節制壩基地開挖



圖 56、1 號節制壩基礎放樣 1



圖 57、1 號節制壩基礎放樣 2



圖 58、1 號節制壩組裝



圖 59、1 號節制壩組裝時依圖面尺寸確定裝設位置



圖 60、1 號節制壩以熱浸鍍鋅木螺釘固定



圖 61、1 號節制壩組裝過程隨時填土與石礫



圖 62、1 號節制壩持續組立加高



圖 63、1 號節制壩邊緣與坡面



圖 64、1 號節制壩表層圓木組裝 1



圖 65、1 號節制壩表層圓木組裝 2



圖 66、1 號節制壩回填石礫



圖 67、1 號節制壩組立完成



圖 68、節制壩完成圖 1



圖 69、節制壩完成圖 2



圖 70、節制壩完成後與自然景觀極為協調

5. 木製生態工法節制壩與混凝土製工法 CO₂ 排放量之比較

此兩座節制壩使用圓木棒之控材、橫材與斜材共 846 根，其材積 12.53m³；而相當尺寸之混凝土製擋土牆需使用混凝土量 1 號壩為 22.70m³；2 號壩為 44.30m³，合計 67 m³。

(1) CO₂ 排放量

防腐處理木材： $66 \times 12.53 \text{m}^3 = 827 \text{kg}$

混凝土： $440 \times 67 \text{m}^3 = 29,480 \text{kg}$

(2) 碳素 (C) 之固定量

(A) 防腐處理木材： $642 \times 12.53 \text{m}^3 = 8,044.3 \text{kg}$

如木材未經防腐處理，則在 23 年便會腐朽而產生 CO₂ 排放至大氣中，以柳杉材比重為 0.35 計，其含碳量為 175kg/m³（此係木材碳素比例為 50% 計），換算成 CO₂ 時，則因腐朽所引起 CO₂ 發生量為 175×3.67kg/m³，即 642 kg/m³。但是經防腐處理則這些 CO₂ 將固定在木材中至少 30 年以上。

(B) 混凝土：0kg

建造擋土牆工程時，如以木材（疏伐木）取代混凝土時，可使 CO₂ 削減效果達 36,697.3 kg

CO₂ 發生量 = 排放量 - 固定量，則

$$29,480 + 8,044.3 - 827 = 36,697.3 \text{kg}$$

每位國人在一年內因呼吸所排出 CO₂ 量約為 320kg，因此這兩座木格框節制壩約相當於 115 位國人在一年之 CO₂ 呼出量。

6. 木材生態工法施工設計與維護手冊編寫

編撰木材生態工法施工設計與維護手冊，將疏伐木有效應用方式編定成手冊，包括護坡工程、攔砂壩工程等之應用，以利民眾方便參考與閱讀，並教育與推廣疏伐木之有效利用。

完成之木材生態工法施工設計與維護手冊如附冊。

四、 結論

1. 將柳杉疏伐中小徑木，以旋切機(Rotary lathe)旋切加工成直徑約為 12 cm 圓木棒，利用 O&D 技術，並以 ACQ 防腐劑加壓注入處理成滲透度高、耐用年限可達 40 年之 K-4 處理材，再於羅東林區管理處太平山森林遊樂區宜專一線 1.72km 處，施作兩座節制壩，作為示範推廣之用。
2. 建造兩座節制壩之工程，以木材(疏伐木)取代混凝土擋土牆時，可使 CO₂ 排放削減效果達 36,697.3 kg。
3. 編撰完成「木材生態工法施工設計與維護手冊」。

五、 參考文獻

1. 陳阿興 (2002) 台灣柳杉人工林之現況，綠色矽島系列研討會-柳杉人工林經營研討會論文集，P9-16，中華林學會 台北
2. 王松永 (2002) 台灣古蹟及木構造建築物應如何防治腐朽菌才能符合地球的訴求，木質建築 6，P99-114，中華民國木質構造建築協會
3. 王松永 (2002) 綠建築與優質居家環境之健康建材，木質建築 6，中華民國木質構造建築協會出版
4. 王松永、洪崇彬 (2005) 疏伐木材在生態工法擋土牆之建造，台灣林業 31(4):15-28
5. 王松永、林法勤、洪崇彬 (2005) 疏伐木在生態工法應用對於 CO₂ 減量效應，森林經營對二氧化碳吸存之貢獻研討會論文集，p.230-244
6. 北海道水產林務部木材振興課 (2002) 土木用木材・木製品設計マニュアル，pp.161，北海道木材協會
7. 北海道水產林務部木材振興課 (2004) 土木用木材・木製品設計マニュアル追加版，pp.85，北海道木材協會
8. 矢田茂樹 (1997) 外構用材料の耐久信賴性，木材の科學と利用技術 V，5，木質材料の耐久信賴性と木質住宅の耐用性の向上，日本木材學會會編，P75-84。

9. 信田聰，孫雨果，谷川信江，原内真樹，青井秀樹，林尚志 (2000) エクステリアウツドの利用と評價(第9報) イペ，ボンゴシ，ケブラチヨ，ウリン材の強度ー，木材工業 55 (2)：67-70。
10. 屋我嗣良，河内進策，今村祐嗣編 (1997) 木材科學講座 12，保存，耐存性，海青社出版，P193-197。
11. 菊地俊一 (1999) 土木設施への木材の利用，木材の科學と利用技術VI，る，環境修復材料としての木材，日本木材學會編 P2-6。