



疏伐木材在生態工法擋土牆之建造

文、圖 ■ 王松永 ■ 國立臺灣大學森林環境暨資源學系教授

■ 洪崇彬 ■ 國立臺灣大學森林環境暨資源學系博士後副研究員

一、前言

疏伐是適度調整森林之密度，而以適當之間隔進行伐採者，如不實施疏伐時，則光線無法充分到達森林內，會妨礙到地面生長之草或低灌木等（下層植生）之生育，降雨等容易引起土砂的流出，過密時則多數會形成直徑細小且衰弱之林木，容易受到風害或雪害等。因此，為水資源之涵養，土砂之流出，崩塌之防止，CO₂之涵存等森林所具有之各種公益機能，可高度的發揮，培育成健全具有活力之森林之目標，疏伐是不可或缺的作業。（王松永，1999）

現在，國有林之天然林是禁止伐採，而人工林並未實施適當的經營管理作業，致使森林之立木蓄積量偏低，依林務局資料，國有林柳杉林地面積62,507公頃，現存柳杉林地除柳杉外，尚包含早期混植其他針、闊葉樹，或天然下種林木等，柳杉林地之林木總蓄積量（含針、闊葉樹）為10,034,244m³，平均每公頃蓄積量為160m³，而柳杉蓄積量為7,771,161m³，平均每公頃蓄積量只有124m³（陳阿興，2002）。為提高國產材之自給率，人工林實施中後期撫育措施是需要的

作業。而林務局各林區管理處在這十年的經營計畫，均規劃有中後期撫育計畫，隨著計畫之推動，疏伐木之生產是必定會產生。現階段若搬出利用往往利不及費，因而留存於林地，雖可供作野生動物之棲息所需，或增進地力，但另一方面則可能成為森林火災發生之燃料。而且近年常有集中豪雨，容易引起土石流，棄置於林地之疏伐木，順流而下，形成漂流木，將會阻礙河道，反而加重災情。因此，適度的搬出利用，將增加國內木材之資源。

疏伐木以往大部分是作為梱包、運輸用資材、混凝土用模板，但今後這些疏伐木材更可當作土木用資材應用於各種公園、景觀設施，尤其在都會區，因生活在人工環境裏，人們是期待這些設施能使用親切感、溫暖感之素材與設計。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。

為何這些構造物希望以疏伐木材代替混

凝土材料？此係京都議定書於今年（94年）2月生效，全球溫室氣體排放量需較1990年水準減低5.2%。而木材不但加工能源低，因此CO₂排放量少，更重要者係木材構成元素中有50%碳素，其會將有機碳固定在木製品中，不使其回歸大氣中，所以使用更多木材，進行更多造林，將可達到CO₂減量，而符合京都議定書要求溫室氣體減量之目標。

二、木材作為土木材料利用的意義

「木材」作為土木資材，歷史相當久，但由於土木技術之進步，與混凝土、鋼材相比較時，從木材之強度特性，耐久性等問題，造成木材只能使用於被限制條件中，各種土木構造之材料的主軸，及施工性或維護管理方面，均以混凝土、或鋼材為主。但近年來，從社會層面來看，CO₂之增加等之地球環境問題，或地球景觀維護等環境問題，已成為重要的緊急課題。即使對於土木構造

物亦被要求是一種「機能+環境顧慮」之時代。在此背景下，自然環境、景觀維護等人們周圍之環境保護聲浪隨之提高，從天然素材之親切感和地域景觀之調和性，或野生動物之棲息，生態環境之保護，創造等之觀點，木材作為土木材料之利用意義已逐漸再被認同。

近年來，林務局為將人工林培育成健全，且具有活力之循環型森林，中後期撫育所生產之疏伐木乃是重要的土木材料，加以活用是具很深的意義。當作土木材料之木材，一般由於天然資材外觀的親切感、暖感和感之景觀設計，而且對環境之負荷更少等優點，最近在被稱為「近自然工法」之土木工法或各種木製結構物之利用，已逐漸的增加。有關作為土木材料之木材的特徵，依其特性區分，就其優點與缺點可歸納於表1。（北海道水產林務部木材振興課，2002、2004）

表1 作為土木用資材之木材的特徵

特性區分	優點	缺點	缺點之對策
景觀性	<ul style="list-style-type: none"> * 與周圍之自然環境相調和（無違和感）。 * 為天然素材對環境負荷少。 * 當作素材之外觀有溫暖氣氛 * 當作有機材料，易土壤化。 		
材質性	<ul style="list-style-type: none"> * 比強度大。 * 熱、電傳導性小。 * 對音、機械之振動的吸收性大 * 易發生材質之缺陷 * 廢棄容易 * 容易更新 * 可貯藏CO₂ 	<ul style="list-style-type: none"> * 腐朽、劣化較快。 * 木材強度不均一 * 易發生割裂、扭曲 * 易燒燃 	<ul style="list-style-type: none"> * 施以防腐處理 * 依使用目的及設置場所、環境選定適當之工法
加工性	<ul style="list-style-type: none"> * 有可撓性 * 施工時間無限定 * 運搬加工容易 	<ul style="list-style-type: none"> * 木材大小受限制 	<ul style="list-style-type: none"> * 使用特定工法
供給性	<ul style="list-style-type: none"> * 豐富易取得 	<ul style="list-style-type: none"> * 均質之數量不易。 	<ul style="list-style-type: none"> * 使用特定工程種類
經濟性	<ul style="list-style-type: none"> * 便宜（加工簡單之情形） 		



三、土木工程用材料之製造能源與CO₂排放量

所有的材料從資材之採取、加工，以致於使用，均需消費能源，木材亦不例外，製造加工需消耗石化燃料，進而會排放CO₂，造成大氣中溫室氣體濃度之增加。而CO₂之最大發生源是燃燒石化燃料，即人類燃燒石化燃料作為製造產品之能源。當比較木質材料與其他材料製造時，所消費之能源，如表2所示（王松永，2002）。木質材料雖然隨加工層次之增加，所消費能源亦會增加，但其比鋼材、鋁小甚多。製造時碳素排放量由表2亦可看出，木質材料亦比其他材料低甚多。

而最具意義的是木材構成元素為50%碳。因此如木質材料能以固體狀態使用時，可將其重量之一半的碳元素以有機質化合物狀態固定在材料內部，不會釋放至大氣中。如密度（或比重）350kg/m³之柳杉材，即會貯藏175kg/m³之碳素。但其在製造時會消費能源980MJ/m³，進而排放碳素20kg/m³，所以碳素之排放量與貯藏量相抵，淨碳素貯存量為155kg/m³（175kg/m³~20kg/m³）。所有木質材料均屬於碳素貯藏型材料。但鋼材、鋁、混凝土等材料均為碳素排放型材料。（王松永，2002）

（一）木製生態工法與鋼筋混凝土製工法CO₂排放量之比較

表2 各種材料製造時消耗之能源及碳素排放量

材料種類	石化燃燒 MJ/kg	能源消費量 MJ/m ³	製造時碳素排放量		淨碳素貯存量 kg/m ³
			kg/t	kg/m ³	
天然乾燥材 (密度500kg/m ³)	1.5	750	30	15	-235
防腐處理材	1.8	900	36	18	-232
人工乾燥材 (密度500kg/m ³)	2.8	1,390	56	28	-222
合板 (密度550kg/m ³)	12	6,000	218	120	-155
集成材 (密度500kg/m ³)		4,500		82	-168
粒片板 (密度650kg/m ³)	20	10,000	308	200	-125
結構鋼材		448,000	8,132	8,117	
鋼材	35	266,000	700	5,320	5,320
鋁	435	1,100,000	8,700	22,000	22,000
混凝土	2.0	4,800	50	120	120
鋼筋混凝土		7,300		182	182

淨碳素貯存量 = 製造時碳素排放量 - 材料之碳素貯存量

註：木材之構成元素為50%碳、43%氧、6%氫、其他1%為20多種元素，因此密度500kg/m³之木材，其中一半為碳素，即會貯存250kg/m³之碳素，所以人工乾燥木材之淨碳素貯存量為-222kg/m³。

1. 擋土牆（擁壁）工程之場合

正面積20.00m²為單位，

使用經室外用防腐處理（ACQ處理，K4標準吸收量5.2kg/m³）所建造之圓棒框架（校倉式）擋土牆（擁壁）工程，如圖1所示。需要使用木材量為3.4m³。（日本KOSHII株式會社，肥後明人，2004）

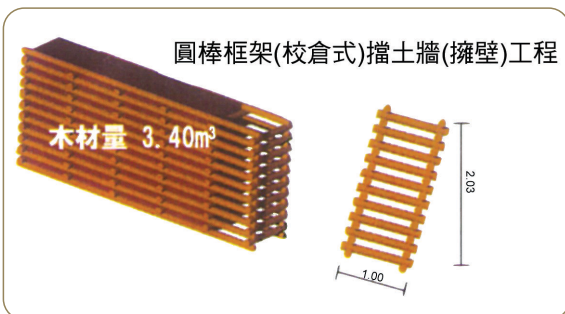


圖1 圓棒框架(校倉式)擋土牆(擁壁)工程(日本KOSHII株式會社)

而使用鋼筋混凝土建造之擁壁工程，如圖2所示。需要使用混凝土8.9m³。

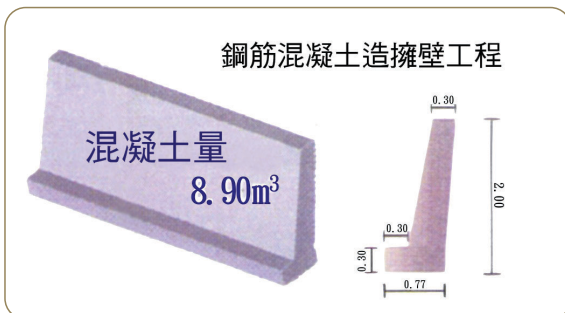


圖2 鋼筋混凝土造擁壁工程(日本KOSHII株式會社)

(1) CO₂排放量

a. 防腐處理木材： $66 \times 3.4\text{m}^3 = 224\text{kg}$

b. 混凝土： $440 \times 8.9\text{m}^3 = 3,916\text{kg}$

(2) 碳素 (C) 之固定量

a. 防腐處理木材： $642 \times 3.4\text{m}^3 = 2,183\text{kg}$

如木材未經防腐處理，則在2~3年便會腐

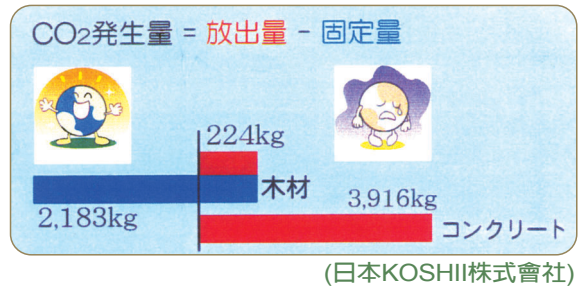
朽而產生CO₂排放至大氣中，以柳材比重為0.35計，其含碳素量為175kg/m³（此係以木材碳素比例為50%計），換算成CO₂時，則因腐朽所引起CO₂發生量為175×3.67kg/m³，即642kg/m³。但如經防腐處理則這些CO₂將固定在木材中至少達30年以上。

b. 混凝土：0kg

建造擁壁工程時，如以木材（疏伐木）取代混凝土時，可使CO₂之削減效果達5,875kg。

CO₂發生量=排放量-固定量，即

$$3,916\text{kg} + 2,183\text{kg} - 224\text{kg} = 5,875\text{kg}$$



2. 攔砂壩工程之場合

如圖3所示，使用木材量為6.0m³，混凝土量為24.68m³

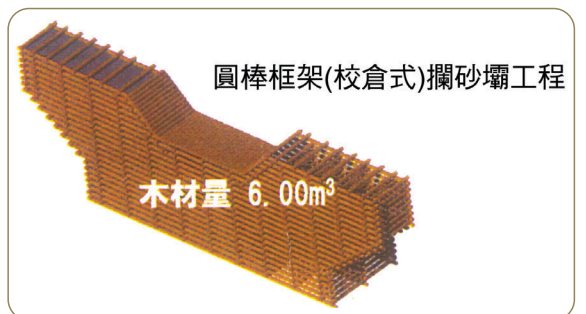


圖3 圓棒框架(校倉式)攔砂壩工程(日本KOSHII株式會社)



(1) CO₂排放量

a. 防腐處理木材： $66 \times 6.0\text{m}^3 = 396\text{kg}$

b. 混凝土： $440 \times 24.68\text{m}^3 = 10,859\text{kg}$

(2) 碳素 (C) 之固定量

a. 防腐處理木材： $642 \times 6.0\text{m}^3 = 3,852\text{kg}$

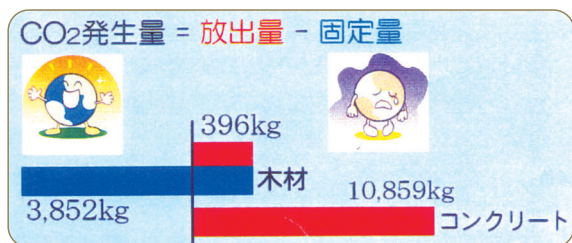
b. 混凝土：0kg

建造攔砂壩工程時，如以木材（疏伐木）取代混凝土結果，可使CO₂之削減效果達14,315kg。

$$10,859\text{kg} + 3,852\text{kg} - 396\text{kg} = 14,315\text{kg}$$



圖4 鋼筋混凝土造攔砂壩工程(日本KOSHII株式會社)



(日本KOSHII株式會社)

四、木材防腐處理

外構設施所有部位、構材均處於室外，經常曝露在陽光與降雨環境下，很容易引起腐朽而劣化。一般而言，所有樹種之邊材均無耐朽性，於三年內均會劣化。但心材之耐朽性中庸者或低者，在4~7年後均會腐朽掉，故需進行木材之防腐處理後再使用。（王松永，2002）

有關木材加壓注入防腐處理可依CNS3000規定。在此使用ACQ（銅烷基鉍化合物系）木材防腐劑，先調節成濃度（wt%）為6.0%以上，將經加工後之柳杉疏伐木（其圓棒直徑約10~15cm），裝置在真空防腐處理槽內密閉後，先進行前排氣，真空度為0.08 MPa（600mmHg）以上，維持時間20~30分鐘後，進行加壓處理，加壓內壓為1.2~1.5MPa（12~15kgf/cm²），維持時間120分鐘以上，再進行後排氣處理，真空度為0.08MPa（600mmHg）以上，維持時間20~30分鐘。防腐處理材之養護時間以天然乾燥者需14天以上，此係放在不受日曬雨淋之適當場所者，如人工乾燥者需5天以上，此係在溫度60~80°C條件下乾燥處理者。

ACQ加壓注入處理須達CNS3000之K4標準，即木材對ACQ吸收量須達5.2kg/m³。雖然柳杉防腐處理材之ACQ吸收量可達K4標準，但因柳杉材之管胞重緣壁孔對會形成孔拖（torus），此孔拖在心材形成時會發生偏向，即形成閉塞壁孔對，此會影響到ACQ向柳杉材內部之均勻滲透，而出現局部ACQ無法滲入之情況。如此防腐處理材於室外使用時，有可能先發生腐朽菌之侵入而引起腐朽進而縮短其耐久時間。為解決此問題，現在日本KOSHII公司提出一種稱之「O&D木材」工法，即對於木材施以「壓縮加工+加壓注入處理」技術，可增加木材防腐劑滲透深度之特殊壓縮處理方法。在此「O&D木材」即是室外（out door）用木材之意義。其係將加工完成之柳杉圓木棒在高含水率狀態下先



圖5 擋土牆護坡工程實例(擁壁法)



圖6 擋土牆護坡工程實例(擁壁法)

利用壓縮機進行壓縮加工，壓縮率為20%，如直徑12cm圓木棒壓縮量為24mm，在此壓縮作用時可將部分發生閉塞壁孔對之孔拖壓潰掉，可改善防腐劑之侵入，所以壓縮加工後再進行木材加壓注入防腐處理。經此「O & D木材」工法，其防腐藥劑雖然仍是K4標準，但防腐劑可較均勻，且較深的滲透進木材內部，提高木材之使用期間達40年以上。

經ACQ防腐劑處理之柳杉材可依CNS14773規定，於木材長度中央附近採取厚度10mm以上之試片（圓盤形），在試片外面塗以由0.5g之Chrome Azurols (C₂₃H₁₃C₁₂Na₃O₉S) 與乙酸鈉5g溶解於500mL水中所成之指示劑，濕潤後測定其呈深藍色部分長度，將其合計長度當作滲透長度。



圖7 木製攔砂壩工程實例



圖8 木製河川步道工程實例

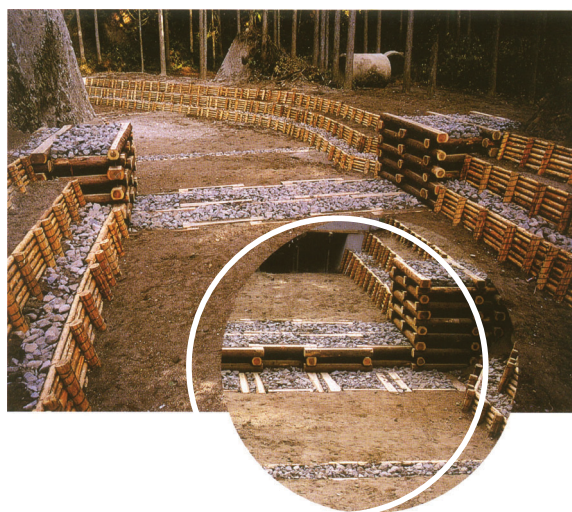


圖9 木製校倉式擋土牆實例

KOSHII公司利用此類「O & D木材」已在日本各地施作許多案例之擋土牆（擁壁）、攔砂壩、河床固定工、河川擋土牆等如圖5～圖9。（肥後明人，2004）



五、生態工法擋土牆土木工程施

《案例1》D-Log原木結構擋土牆建造

本木製生態工法施作於林務局東勢林區管理處八仙山森林遊樂區入口處，小型崩塌地，相鄰接有鋼筋混凝土（RC）造板模擋土牆與蛇籠石網擋土牆兩種工法。本生態工法施作成1m寬、3m高、55m長之D-log原木結構之生態工法擋土牆。（王松永等，2003）

（一）製材作業

所使用之柳杉疏伐木是取自東勢林管處，搬運至製材工廠（南投縣鹿谷鄉宏昌木材行）進行製材加工，因這批原木放置在林地土場已超過一年半以上，發現其邊材部分已經腐朽不堪使用，因此其製材率偏低。依實際狀況製材成兩種斷面之材料，即6"×6"（15cm×15cm）及6"×5"（15cm×12cm）之D型原木（D-Log），長度為180cm。製材品約38.3m³（約13,800才），其製材率約24.6%。製材後於廠內進行天然乾燥，俟其含水率降低至20%左右。

（二）D-Log材料之防腐處理

將D-Log材料搬運至木材防腐工廠（昆儀實業股份有限公司台中廠）進行銅烷基鉍化合物木材防腐劑（ACQ）處理。其處理方法是依前述第四節之加壓注入防腐處理方法進行。本實驗採用K4標準，ACQ吸收量為5.2kg/m³。

（三）生態工法擋土牆施作

1. 於92年11月5日在現場由本計畫執行人員，東勢林管處人員及施工廠商共同討論確定位置與施作方式後，再由挖土機進行

基礎開挖，整理出1m寬×55m長×30cm深之基礎座溝，於當天下午4：00進行水溝灌漿，以2000PCS之水泥混凝土，約18m³灌漿量，基礎施工至當天下午7：30才完工。

2. 於92年11月10日，現場混凝土之穩定度已適合施工，後由木工技術人員進行木工施工，先放樣W型牆壁底座，再鑽入混凝土深度15~18cm，以18mm直徑（6分）螺釘配合植筋膠固定底座水平D-Log原木墊底完工後，再依序堆疊，第二層每間隔1m長預留24cm×13cm滲水口，第三層再全層使用D-Log原木密合，第四層再每間隔1m長預留24cm×13cm滲水口，如次依序堆疊，即在偶數層均每間隔1m長，預留24cm×13cm大小之滲水口，如此施作至第十九層高度已接近3m高度。於92年11月16日完工，共耗時7天，共28人工日。施工步驟如圖10~圖25所示。
3. 本計畫共使用18mm（6分）直徑螺釘28kg，鍍鋅10"直徑Log螺釘約120支，直徑8"木螺釘約2,100支，其費用約新台幣15,000元。



圖10 施工基地整地



圖11 混凝土基礎完成



圖12 ACQ防腐處理D-Log原木



圖13 施工線丈量



圖14 施工線打樣



圖15 螺栓孔鑽孔



圖16 螺栓高度丈量



圖17 以二液型速乾塑鋼土(VMK235)固定螺栓



圖18 螺栓固定於混凝土基礎



圖19 圓木放置於基礎上，確認鋸切尺寸



圖20 最底層D-Log原木鑽孔



圖21 鎖上螺帽固定底層D-Log原木



圖22 log釘固定完成



圖23 第二層以上D-Log原木間隔25~30cm孔隙以利排水，並逐層組立



圖24 木造檔土牆施工完成

(四) 三種擋土牆工法成本分析比較

在此就生態工法D-Log原木結構、鋼筋混凝土造及蛇籠堆砌造等三種擋土牆工法施作3公尺高，1公尺寬，1公尺長度所需單價進行分析比較時，如表3所示，可看出三種擋土牆工法是以D-Log原木結構工法為最低成本，其分別為鋼筋混凝土造擋土牆之89%，



圖25 D-Log木造檔土牆融入自然景觀兼具美觀與功效

表3 鋼筋混凝土造、蛇籠堆砌造與D-Log原木結構造等三種擋土牆之施作成本分析比較

擋土牆工法	項目說明	單位	數量	單價 (元)	總價 (元)
(A) 鋼筋混凝土造	(1) 基礎放樣與水泥 (RC) 澆灌打底 (非重力式基礎)	m	0.5m ³	1300	650
	(2) 挖土機施作	m	1式	30	30
	(3) 雙面模板	m ²	6	250	1500
	(4) 鋼筋鐵材 (一般規格含綁工)	m	120kg16	1920	
	(5) 3000PSC水泥澆灌	m	4.5m ³	1300	5850
	(6) 小搬運等管理損耗 9950×7%	m	1式	697	697
	(7) 合計				
(B) 蛇籠堆砌造	(1) 空籠牆體組立及綁紮 1m×1m×1m單層	l	0.9	2000	1800
	(2) 分層堆排石整理	l	0.75	2000	1500
	(3) 機編石籠1m×1m×1m (含塑膠覆鐵絲網)	m ²	16.5	250	4125
	(4) ≥20cm ψ卵石	m ³	3	350	1050
	(5) 組合膜帶	kg	2.5	50	125
	(6) 機械投石	時	0.8	1000	800
	(7) 工具損耗與管理支出 9400×15%	m ²	1式		1410
(8) 合計					10810
(C) D-Log原木結構工法	(1) 基礎放樣、挖土機施作與水泥RC澆灌打底	1m	0.3m ³	1700	510
	(2) 2"×6" 防腐材 (基礎預埋螺釘及抓水平用)	1m	1m	99	99
	(3) 木材 (柳杉平均末徑12cm估計)	3m ²	160才(0.444m ³)	12	1920
	(4) 撐壁或拉扯材 (柳杉末徑9cm估計)	3m ²	15才(0.042m ³)	11	165
	(5) 木材加工費 (含製材與ACQ防腐處理)	3m ²	165才(0.458m ³)	24	3965
	(6) 現場施作費	3m ²	0.7工	2200	1540
	(7) 現場搭架與搬運費	3m ²	1式	120	360
	(8) 預埋螺釘與鍍鋅 Log釘	3m ²	1式	100	300
	(9) 管理損耗 8854×7%	3m ²	1式		620
	(10) 合計				

蛇籠堆砌造擋土牆之87.6%。而D-Log原木結構造擋土牆，因木材成本佔有20%，若此木材由林務局提供是可減去此20%之成本。從此觀點評估時，D-Log原木結構造擋土牆工法是值得推廣。

(五) 木製生態工法擋土牆與混凝土製工法 CO₂排放量之比較

本座木製生態工法擋土牆，寬1m，高3m，長55m，所使用之D-log原木製材成15cm×15cm (6"×6") 及15 cm×12cm (6"×5") 之 (D-log) 原木長度3m。其製材品材積約38.3m³。而與其相當尺寸之混凝土擋土牆需使用混凝土量為192.5m³。

1. CO₂排放量

a. 防腐處理木材：66×38.3m³=2527.8kg

b. 混凝土：440×192.5m³=84,700kg

2. 碳素 (C) 之固定量

a. 防腐處理木材：642×38.3m³=24,588.6kg

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106,760.8kg。

CO₂發生量=排放量-固定量，則

84,700+24,588.6-2,527.8=106,760.8kg

每位國人在一年內因呼吸所排出CO₂量



約為320kg，因此本座木製生態工法擋土牆約相當於337位國人在一年之CO₂呼出量。

《案例2》木製校倉式井字型擋土牆（擁壁）建造

本生態工法建造於羅東林區管理處仁澤溫泉附近，規模為寬度1m，高度1.5m，長度20m。（王松永等，2004）

（一）製材與加工作業

作為木製校倉式井字型擋土牆（擁壁）工法之圓木棒材料，柳杉疏伐木自羅東林區管理處取得後，搬運至蘇澳昆儀實業股份有限公司，進行加工處理。原木經剝皮切取為段木，如圖26～圖28所示，再製材為毛料，如圖29所示，最後經乾燥、刨光之整體利用率為25.33%。將柳杉疏伐中小徑木，以旋切機（Rotary lathe）旋切加工成圓木棒，如圖30所示。其設定直徑為12cm，長度分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，如圖31所示。製材後於廠內進行天然或人工（乾燥窯）乾燥，俟其含水率降低至20%左右才加以利用。

（二）防腐處理

將製材好之圓木棒依前述第四節，施以銅烷基銨化合物木材防腐劑（ACQ）之加壓注入處理，藥劑吸收量達CNS3000-K4標準之5.2kg/m³。

（三）生態工法擋土牆之施作

生態工法擋土牆之施作係於民國93年12月15日在現場由本計畫執行人員，羅東林管處人員及防腐處理廠商與施工廠商確定施工位置後，直接進行施工，於93年12月21日完工，共耗時7天。施作過程如圖32～圖39所



圖26 柳杉疏伐木原木裁切



圖27 柳杉疏伐木原木



圖28 柳杉疏伐木原木剝皮



圖29 柳杉疏伐木原木製材



圖30 柳杉疏伐木旋切成圓木棒



圖31 柳杉疏伐木圓木棒凹槽加工

示。施作步驟如下，而成本分析如表4所示。

1. 清理基地於基礎上方將兩支2m長圓木棒間隔80cm成平行，以螺栓固定於基礎上方。
2. 將3支1m長圓木棒之凹痕處，置於距2m長圓木棒之端部10cm處及中央部位（間隔60cm），使成井字型。
3. 依此作業步驟，逐步增加其長度、高度，直至預定尺寸為止。
4. 井字型擋土牆內部與岩層間逐層回填良質土壤並壓實至80~85%，最後植栽以鞏固邊坡與擋土牆，即完成擋土牆護坡工程。

完成木製校倉式井字型生態工法（擁壁）擋土牆大小為1m寬，1.5m高，20m長，圖

37~圖39所示，兼具美觀與實用，近於自然狀態，固定碳素於材料內，助CO₂減量。本座木製校倉式井字型擋土牆用材需求材積表，總計數量為449根，毛料材積10.114m³，完成之成品材積7.836m³，如表5所示。

（四）木製生態工法擋土牆與混凝土製工法CO₂排放量之比較

本座木製校倉式（井字型）擋土牆使用直徑12cm，長度2m，圓木棒之壁材84根，其材積2.419m³，直徑12cm，長度1m，圓木棒之壁材與橫柱材309根，其材積4.450m³，直徑12cm，長度1.2m，圓木棒之壁材56根，其材積0.968m³，共計使用材積

表4 木製校倉式(井字型)擋土牆（擁壁）工法施作成本分析表

擋土牆工法	項目說明	單位	數量	單價(元)	總價(元)
木製校倉式擋土牆（擁壁）工法	(1) 現場開挖、基礎放樣、挖土機具施作（含基礎模板組立）、水泥R.C.澆灌打底	3m	1.08 m ³	4,537	4,900
	(2) 木材（柳杉平均末徑12cm估計）	3m	520.2才 (1.445m ³)	15	7,803
	(3) 木材加工費（含製材、乾燥、車圓、凹槽加工、ACQ防腐處理）	3m	520.2才 (1.445m ³)	35	18,207
	(4) 現場施作費	3m	0.86工	2,400	2,064
	(5) 鍍鋅木攻螺絲	3m	132支	1.5	198
	(6) 鍍鋅木鍊螺絲	3m	24支	10	240
	(7) 管理損耗58382×7%	3m	1式	4,087	2,339
	(8) 運費	1式	3,500	3,500	
	(9) 合計				



表5 柳杉疏伐木之木製校倉式(井字型)擋土牆設施用材需求量表

用途名稱	長度(cm)	寬度(cm)	厚度(cm)	數量	毛料材積(m ³)	需求材積(m ³)	加工處理
壁材(圓徑12cm)	200	12	12	84	3.119	2.419	乾燥+車圓+ACQ
壁材(圓徑12cm)	120	12	12	56	1.260	0.968	乾燥+車圓+ACQ
壁材(圓徑12cm)	100	12	12	85	1.578	1.224	乾燥+車圓+ACQ
橫柱材(圓徑12cm)	100	12	12	224	4.158	3.226	乾燥+車圓+ACQ +凹槽加工
小計				449	10.114	7.836	



圖32 施工基地及ACQ防腐處理圓木棒

圖35 近坡面底層圓木棒之組立
(基礎上方兩支2m長圓木棒間隔80cm互成平行，以螺絲固定於上方，成井字型)

圖33 最底層圓木棒以木攻螺絲固定



圖36 依前述作業步驟，延長擋土牆長、寬、高，直至預定尺寸



圖34 底層圓木棒以鍍鋅木攻螺絲垂直向組立



圖37 完成木製校倉式擋土牆之組立



圖38 木製校倉式擋土牆完成圖

7.836m³。而相當尺寸之混凝土製擋土牆需使用混凝土量 $1.5 \times 1 \times 20 = 30\text{m}^3$ 。

1. CO₂排放量

a. 防腐處理木材：

$$66 \times 7.836\text{m}^3 = 517.2\text{kg}$$

b. 混凝土： $440 \times 30\text{m}^3 = 13,200\text{kg}$

2. 碳素（C）之固定量

a. 防腐處理木材：

$$642 \times 7.836\text{m}^3 = 5,030.7\text{kg}$$

b. 混凝土：0kg

建造擋土牆工程，以木材（疏伐木）取代混凝土時，使CO₂削減效果達17,713.5kg。

CO₂發生量=排放量 - 固定量，則

$$13,200 + 6,233.8 - 517.2 = 17,713.5\text{kg}$$

每位國人在一年內因呼吸所排出CO₂量約為320kg，因此本座木製校倉式擋土牆約相當於55位國人在一年之CO₂呼出量。

六、結語

近年，從社會層面來看，CO₂之增加等之地球環境問題，或地球景觀維護等環境問題，已成重要的緊急課題。即使對於土木構造物亦被要求是種「機能+環境顧慮」之時



圖39 木製校倉式擋土牆完成圖

代。此背景下，自然景觀、環境維護等人們周圍之環境保護聲浪隨之提高，從天然素材之親切感和地域景觀之調和性，或野生動物之棲息，生態環境之保護、創造等觀點，木材作為土木材料之利用意義逐漸再被認同。

在本報告之案例一：D-Log原木結構擋土牆（寬1m、高3m、長55m）之建造，比起相當尺寸之混凝土擋土牆之建造，可減少106.8公噸CO₂之排放，並可固定24.6公噸之碳元素於材料內部。而案例二：木製校倉式井字型擋土牆（寬1m、高1.5m、長20m）之建造，比起相當尺寸之混凝土擋土牆之建造，可減少17.7公噸CO₂之排放，並可固定5公噸碳元素於材料內部。且兩者之建造費用相差不多。又依環保署之估計，國內每減少1公噸CO₂的成本約400美元，而京都議定書今年二月已開始生效，因此從減低CO₂排放量觀點，這些「近自然工法」之木製生態工法設施是值得推廣與應用。♻️

參考文獻（請逕洽作者）