

國立臺灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系

碩士論文

School of Forestry and Resource Conservation

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

木質生態工程之劣化；植物復育及環境效益之探討

The Study on Deterioration, Vegetation Restoration,
and Environment Efficiency of Wooden Eco-Engineering



簡沂如

Yi-Ju Chien

指導教授：林法勤 博士

Advisor: Far-Ching Lin, Ph.D.

中華民國 97 年 6 月

June, 2008

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

木質生態工程之劣化；植物復育及環境效益之探討

The Study on Deterioration, Vegetation Restoration,
and Environment Efficiency of Wooden Eco-Engineering

本論文係簡沂如君 (R95625040) 在國立臺灣大學森林環境暨資源學系、所完成之碩士學位論文，於民國九十七年六月十八日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

林法勤

(指導教授)

王松永

陳載永

林信輝

衛強

系主任、所長

羅漢強



誌謝

果真是光陰似箭。回想當初還讚嘆別人如何能寫出一整本論文，並懷疑自己能否達成目標，轉眼之間，自己竟也磨出一本了！兩年的碩士班生涯，最要感謝的當然是指導教授林法勤老師。不但在課業給予教導，也提供了論文寫作上的意見及思考方向；更親力親為，安排時間帶我上山進行實驗。感謝老師願意提攜我不才學生，也很高興能進入老師門下，有這樣的好老師真的是我的福氣。

感謝口試委員台灣大學王松永教授、中興大學陳載永教授、中興大學林信輝教授以及台大實驗林衛強博士細心批閱本論文，並於口試時指出缺失和提供許多改進的建議，使內容更加完整。特別感謝衛博士在學生實驗期間多次給予意見及解惑，同時也要謝謝台大森林系邱祈榮助理教授慷慨出借專門的統計軟體，讓我實驗與分析更能順利進行。在此向你們致上誠摯的謝意！

感謝實驗室共患難的夥伴們：互相扶持打拚論文並陪我上山的阿寶、為實驗室帶來歡樂的崇曜、彥佑，熱心幫忙的學妹品叡、亦瑱以及學弟子賢等；還有照顧我的楊德新、張豐丞、鄭惟仁學長，以及可愛的同學佩翎。特別還要感謝建融不辭麻煩，指導我這門外漢如何進行實驗的分析討論。因為你們，讓我研究之路能更順遂，並充滿歡樂的回憶，非常謝謝大家。

當然，也謝謝一路走來始終是我身心依歸的土風舞社好夥伴：高中以來就認識的詠玉、家宜，91 級可愛的好搭檔閔琪、和吟、羚瑋，還有許多照顧我的學長姐以及可愛的學弟妹們，你們讓我的學生生涯更豐富精采，超愛土風舞社的大家！

此外，也要感謝男友江瑋一直以來的支持陪伴。從開始時的好舞伴，到當兵後新訓時的鼓勵電話，以及假日帶我出遊散心、設計活動等，還要聽我牢騷抱怨，當個可憐的「垃圾桶」，真難為你這兼職的「心理醫生」了，謝謝你。

最後，謝謝爸爸、媽媽、奶奶、外婆、姑姑和弟弟等愛我的家人們，因為你們長久以來的支持、鼓勵及包容，我才有這樣一點小小的成就，真的很愛你們，僅以此文獻給你們。

摘要

台灣地區近年來陸續受到 1999 年的九二一集集大地震、2001 年桃芝及納莉颱風引發的土石流侵襲，中部地區災況嚴重。有關單位投入了大量的資源進行復建工作。部分的復建工程採行「因地制宜、就地取材」原則，如砌石護岸、蛇籠、格柵式擋土牆等生態工程進行。這當中，一些以木質生態材料建造之復建工程也已通過後續如 2004 年敏督利颱風及其他強颱豪雨等的考驗。然而，台灣地區有關利用木質材料製作之生態工程案例，仍少有針對其工法設計、後續監測與評估或植物復育狀況進行較深入的探討及研究。故本研究即以此為目標，希望透過調查，能有明確的數據，讓一般大眾對木質生態工程的使用更具信心。

研究中針對行政院農委會林務局、水土保持局以及臺大實驗林管理處於災後在宜蘭縣與南投縣興建之節制壩、擋土牆以及河道護岸等木質生態工程結構物進行分析。包括結構物的腐朽程度、後續之結構變位、碳素貯存量及建造完成後植生覆蓋之效益。調查結果顯示，木質結構物雖歷經後續之颱風豪雨侵襲，不過材料的腐朽強度仍維持良好狀態，即使有部分腐朽較嚴重，但結構監測點的變位仍屬輕微，表示工程具相當程度的穩定性；而取代傳統硬式混凝土工程之木質材料生態工程，不但有助於碳素固定，可有效降低二氧化碳排放，於完工之後更利於植物的生長被覆，顯示其對植生復育具有正面之效益，且可讓工程結構物更融入週遭環境，一舉數得。本研究並能提供未來利用木質材料進行生態工程設計時之重要參考。

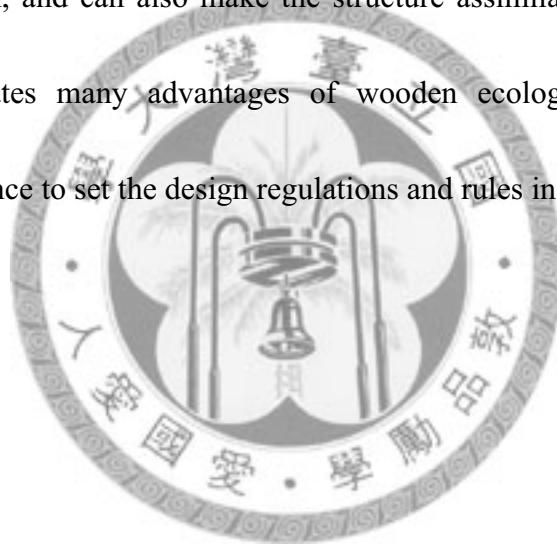
【關鍵詞】：木質材料、生態工程、節制壩、擋土牆、護岸、碳素貯存量

Abstract

Recently, debris flows resulted from Chi-Chi Earthquake in 1999, Typhoon Toraji and Nali in 2001, have caused severe damages to Taiwan, especially in the central area. Rehabilitation work was undergoing by the authorities who invested a lot of money and resources. Part of the work adopted ecological techniques to reconstruct the facilities, such as the articulated blocks bank, gabion and geogrid walls, by following the "local material was first chosen to utilize" principle to reduce the usage of concrete. Among these facilities, some of them was made by plantation wood and had suffered from Typhoon Mindulle in 2004. However, there are less studies focusing on the design, following monitor, and assessment, and vegetation restoration of the ecological engineering cases by using wooden materials in Taiwan. In this study, by collecting explicit data through investigation, hopefully the results can increase confidence in using wooden ecological engineering to common populace.

This study analyzes several kinds of wooden ecological works, including decay level, the following displacement, carbon sequestration, and the coverage of plants after construction. These cases which include check dams, retaining walls, and revetments were constructed by the Forest Bureau, Water and Soil Conservation Bureau, and the Experimental Forest of National Taiwan University in Yilan and Nantou County, respectively. The investigation results showed that after the following typhoons and

heavy rain attacks, the residual strength of wooden structures remains in well condition. Despite part of them may decay more seriously, the monitored point displacement was slightly, and indicated that wooden structures were still in stability. Meanwhile, replacement of traditional RC structure by wooden ecological engineering not only is helpful to carbon sequestration which can effectively reduce the emission of carbon dioxide, but also favors to plants growth. The results also show that it benefits to vegetation restoration, and can also make the structure assimilate to the environment. This research indicates many advantages of wooden ecological engineering, and provides a key reference to set the design regulations and rules in the future.



【Key Words】 : wooden material, ecological technique, check dam, retaining wall, revetment, carbon sequestration

目 錄

口試委員會審定書

誌謝

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
第一章 前言.....	1
第二章 文獻探討.....	3
2.1 木質材料.....	3
2.2 生態工程.....	4
2.2.1 生態工程之意義.....	4
2.2.2 生態工程正名的意涵.....	5
2.2.3 生態工程與傳統工程之差異.....	6
2.3 植生調查研究.....	6
第三章 試驗材料與方法.....	8
3.1 木材腐朽程度調查.....	8
3.1.1 木材腐朽測試器(Wood Tester PILODYN-6J)	8
3.1.2 鑽孔抵抗儀(Drilling Resistance Measurement)	9
3.1.3 刺針型含水率計(BD-2100 Moisture Meter)	11
3.2 結構變位監測.....	12
3.3 碳素貯存量.....	12
3.3.1 試驗材料與地點.....	15
3.3.1.1 傳統框架工法之工程調查.....	15
3.3.1.2 圓木棒狀 O&D 工法之木格框壩體.....	16
3.3.1.3 正方柱狀新工法之柳杉節制壩.....	19
3.3.1.4 圓柱狀新工法之木質河道護岸.....	20

3.3.2 碳素貯存量計算.....	21
3.4 木構件植生復育狀況調查.....	22
3.4.1 重要值指數(IVI)計算.....	22
3.4.2 資料分析.....	24
3.4.2.1 矩陣群團分析(Cluster Analysis)	24
3.4.2.2 降趨對應分析(Detrended Correspondence Analysis, DCA)	24
第四章 結果與討論.....	25
4.1 木材腐朽程度調查.....	25
4.1.1 南投地區木材腐朽程度調查.....	25
4.1.1.1 調查之工程地點.....	25
4.1.1.2 擋土牆工程之現況.....	27
4.1.1.3 南投地區木格框擋土牆腐朽狀況(一)	31
4.1.1.4 南投地區木格框擋土牆腐朽狀況(二)	33
4.1.2 溪頭大學坑木材腐朽程度調查.....	36
4.1.3 宜蘭太平山木材腐朽程度調查.....	40
4.2 結構變位監測.....	42
4.2.1 溪頭大學坑.....	43
4.2.2 宜蘭太平山地區.....	46
4.3 碳素貯存量計算.....	47
4.4 木構件植生復育狀況調查.....	50
4.4.1 重要值指數(IVI)計算.....	51
4.4.2 總樣區資料分析.....	54
4.4.2.1 矩陣群團分析(Cluster Analysis)	54
4.4.2.2 降趨對應分析(DCA)	54
4.4.3 太平山樣區資料分析.....	56

4.4.3.1 矩陣群團分析(Cluster Analysis)	56
4.4.3.2 降趨對應分析(DCA)	57
4.4.4 南投樣區資料分析.....	58
4.4.4.1 矩陣群團分析(Cluster Analysis)	58
4.4.4.2 降趨對應分析(DCA)	59
第五章 結論.....	60
參考文獻.....	63
附錄一 擋土牆工程現況.....	66
附錄二 第一年度各樣區植物重要值指數計算表.....	71
附錄三 第二年度各樣區植物重要值指數計算表.....	83



圖目錄

圖 1 木材固定 CO ₂ 示意圖 (王松永, 2002)	3
Fig.1 The schema of carbon dioxide sequestration (Wang, 2002)	3
圖 2. 木材腐朽測試器 (Pilodyn) 之圖片	9
Fig.2 Pictures of Pilodyn	9
圖 3. 木材腐朽測試器的使用方法及測量狀況示意圖 (PROCEQ SA)	9
Fig.3 The operation of Pilodyn (PROCEQ SA)	9
圖 4. 鑽孔抵抗儀之圖片	10
Fig.4 Picture of drilling resistance measurement (Resistograph)	10
圖 5. 鑽孔抵抗儀使用狀況及紀錄紙的紀錄情形	10
Fig.5 The operation of drilling resistance measurement	10
圖 6. 刺針型木材含水率計	11
Fig.6 Pictures of BD-2100 moisture meter	11
圖 7. 雷射經緯儀之圖片及使用狀況	12
Fig.7 The displacement monitoring of wooden structure by laser theodolite	12
圖 8. 傳統框架工法之擋土牆	15
Fig.8 The wooden retaining wall constructed by traditional method	15
圖 9. 增加工程穩定性的螞蝗釘及鐵絲	15
Fig.9 The connection of retaining wall by leech staple and wire to increasing structure stability	15
圖 10. O&D 工法之製材情形	16
Fig.10 Manufacturing the logs material by O&D technique	16
圖 11. 柳杉防腐處理狀況	17
Fig.11 Preservative treatment of Japanese cedar	17
圖 12. 使用 O&D 工法施作工程之現場狀況	18
Fig.12 The construction process of retaining wall by O&D technique	18
圖 13. O&D 工法製作之節制壩及近拍照	18
Fig.13 The overview of check dam constructed by O&D technique	18
圖 14. O&D 工法製作之擋土牆及近拍狀況	18
Fig.14 The overview of retaining wall constructed by O&D technique	18
圖 15. 使用新工法所製作之節制壩	19
Fig.15 The check dam constructed by a new method in University Gully	19
圖 16. 大學坑木質河岸護坡及近拍照	20
Fig.16 Wooden revetments in University Gully	20
圖 17. 植生調查時圈選之 1 m × 1 m 小樣區	22
Fig.17 The 1m × 1 m sample plot for vegetation investigation	22

圖 18. 所調查的工程地點(大圖上的英文部分)，右下角為南投縣地圖(深色部分為信義鄉及水里鄉)	26
Fig.18 The engineering sites in Nantou County	26
圖 19. 水保局建造之木格框壩體木材腐朽狀況圖(一)	31
Fig.19 Rottenness of wooden retaining wall structures by SWCB (I)	31
圖 20. 水保局建造之木格框壩體木材腐朽狀況圖(二)	33
Fig.20 Rottenness of wooden retaining wall structures by SWCB (II)	33
圖 21. 水保局建造之木格框壩體木材平均腐朽狀況圖(一)	33
Fig.21 Average rottenness of wooden retaining wall structures by SWCB (I)	33
圖 22. 水保局建設之木格框壩體木材腐朽狀況圖(三)	34
Fig.22 Rottenness of wooden retaining wall structures by SWCB (III)	34
圖 23. 水保局建設之木格框壩體木材平均腐朽狀況圖(二)	34
Fig.23 Average rottenness of wooden retaining wall structures by SWCB (II)	34
圖 24. 大學坑木質護岸(右岸)之木材腐朽狀況圖.....	37
Fig.24 Rottenness of right revetment bank in University Gully	37
圖 25. 大學坑木質護岸(左岸)之木材腐朽狀況圖.....	37
Fig.25 Rottenness of left revetment bank in University Gully	37
圖 26. 大學坑木質護岸(右岸)樁材木材腐朽狀況圖.....	38
Fig.26 Rottenness of piles at right revetment t bank in University Gully	38
圖 27. 大學坑木質護岸(左岸)樁材木材腐朽狀況圖.....	38
Fig.27 Rottenness of piles at left revetment bank in University Gully	38
圖 28. 大學坑木格框護岸樁材之含水率與腐朽深度迴歸圖.....	39
Fig.28 Regressive relationship between EMC and rotten depth of piles in revetments in University Gully	39
圖 29. 太平山木格框壩體木材表面腐朽狀況圖.....	40
Fig.29 Rottenness of wooden retaining wall structures in Tai-Ping Shan	40
圖 30. 溪頭大學坑之生態工程.....	43
Fig.30 The overview of the ecological engineering in University Gully, Sitou	43
圖 31. 大學坑監測點位置.....	43
Fig.31 Locations of monitoring points at University Gully	43
圖 32. 大學坑木質建物接點之平均位移變化量(上圖為水平方向，下圖為垂直方向)	44
Fig.32 The average displacement of joints at the wooden structures in University Gully (The top is horizontal direction, and the bottom is vertical direction)	44
圖 33. 植生復育情形(一)	50
Fig.33 Vegetation restoration (I)	50
圖 34. 植生復育情形(二)	50
Fig.34 Vegetation restoration (II)	50

圖 35. 植生復育情形(三)	50
Fig.35 Vegetation restoration (III)	50
圖 36. 植生復育情形(四)	50
Fig.36 Vegetation restoration (IV)	50
圖 37. 總樣區群團分析結果圖	54
Fig.37 Cluster analysis of all experimental sites	54
圖 38. 各樣區在分布序列第一軸及第二軸平面之分布圖	55
Fig.38 The DCA of all sites	55
圖 39. 太平山樣區群團分析結果圖	56
Fig.39 Cluster analysis of all sites in Tai-Ping Shan	56
圖 40. 太平山樣區在分布序列第一軸及第二軸平面之分布圖	57
Fig.40 The DCA of all sites in Tai-Ping Shan	57
圖 41. 南投樣區群團分析結果圖	58
Fig.41 Cluster analysis of all sites in Nantou County	58
圖 42. 南投樣區在分布序列第一軸及第二軸平面之分布圖	59
Fig.42 The DCA of all sites in Nantou County	59
圖 A.1 工程 A，左 3 圖為近照，仍可見部分壩體；右圖為從遠處照	66
Fig.A.1 The overview of the Work A	66
圖 A.2 工程 B，未看到任何木格框壩體存在	66
Fig.A.2 The overview of the Work B	66
圖 A.3 工程 D，木格框壩體幾乎融入自然之中	66
Fig.A.3 The overview of the Work D	66
圖 A.4 工程 E，植生復育狀況良好	66
Fig.A.4 The overview of the Work E	66
圖 A.5 工程 G，可看出當地環境較乾燥，由左圖可見旁邊建有蛇籠	67
Fig.A.5 The overview of the Work G	67
圖 A.6 工程 H，擋土牆上方的禾本科植物生長十分茂密	67
Fig.A.6 The overview of the Work H	67
圖 A.7 工程 I，共 2 座木格框擋土牆，路旁 1 座，草叢裡另有 1 座(右圖)	67
Fig.A.7 The overview of the Work I	67
圖 A.8 工程 J，植生的復育狀況良好	67
Fig.A.8 The overview of the Work J	67
圖 A.9 工程 K，在台 16 線彎道上，植生較少較乾燥。右 2 圖分別為擋土牆的左右兩端	68
Fig.A.9 The overview of the Work K	68
圖 A.10 工程 L，在台 16 線上，環境較乾燥，植生較少	68
Fig.A.10 The overview of the Work L	68

圖 A.11 工程 M，在台 16 線上，共 3 座擋土牆，下 3 圖分別是 3 座擋土牆之 照片.....	68
FigA.11 The overview of the Work M	68
圖 A.12 工程 N，上方植生極茂盛，側邊較少，但也有部分側邊植生生長良好	69
FigA.12 The overview of the Work N	69
圖 A.13 工程 O，上方植生茂密，側方植生少，環境較乾燥.....	69
FigA.13 The overview of the Work O	69
圖 A.14 工程 P，上方植生茂密，側邊較少。但側方少部分區域植物生長佳.....	69
FigA.14 The overview of the Work P	69
圖 A.15 工程 Q。與隧道相接，有積水。植物生長茂盛，但靠近隧道處側邊植 生較少.....	69
FigA.15 The overview of the Work Q	69
圖 A.16 工程 R。位於民和明隧道後。上方植生茂密，側方的植物生長多寡卻 壁壘分明.....	70
FigA.16 The overview of the Work R	70

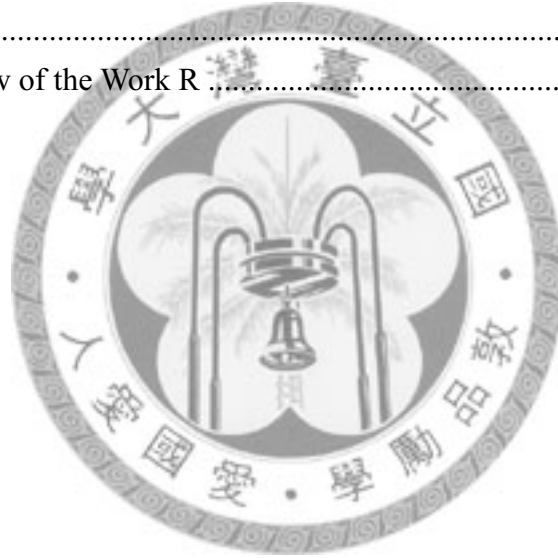


表 目 錄

表 1. 各種材料製造時消耗之能源及碳素排放量.....	13
Table1. The energy consumption and carbon emission of various material	13
表 2. 水保局建造之木格框擋土牆工程.....	25
Table2. The retaining walls constructed by SWCB	25
表 3. 太平山木格框材料含水率同質性分析表.....	41
Table3. The homogenous analysis of wood frame material MC used in Tai-Ping Shan	41
表 4. 變位監測區域基本資料.....	42
Table4. The basic information of displacements monitoring sites	42
表 5. 大學坑木質結構物變位量(m)	44
Table5. The displacements (m) of wooden structures in University Gully	44
表 6. 太平山木質結構物變位量平均值(mm)	46
Table6. The displacements (mm) of wooden structures in Tai-Ping Shan	46
表 7. 木質工程取代混凝土之 CO ₂ 削減量表.....	47
Table7. The reduction of CO ₂ while wooden structures replacing RC structures	47
表 B.1 宜專一線 1.72k 節制壩植物重要值指數.....	71
TableB.1 The IVI of check dam at the 1.72 k of Route Yichuan No.1	71
表 B.2 宜專一線 15.4k 節制壩植物重要值指數.....	72
TableB.2 The IVI of check dam at the 15.4 k of Route Yichuan No.1	72
表 B.3 宜專一線 15.6k 節制壩植物重要值指數.....	73
TableB.3 The IVI of check dam at the 15.6 k of Route Yichuan No.1	73
表 B.4 宜專一線 23.9k 節制壩植物重要值指數.....	74
TableB.4 The IVI of check dam at the 23.9 k of Route Yichuan No.1	74
表 B.5 鳩之澤擋土牆植物重要值指數.....	75
TableB.5 The IVI of retaining wall in Jioujihze	75
表 B.6 太平山五樣區合併計算之植物重要值指數.....	76
TableB.6 The IVI of fivesites in Tai-Ping Shan	76
表 B.7 安山四號橋旁擋土牆植物重要值指數.....	78
TableB.7 The IVI of retaining wall in the road near the Anshan No.4 Bridge	78
表 B.8 安山四號橋旁溪流右側護岸植物重要值指數.....	79
TableB.8 The IVI of right revetment bank in the creek near the Anshan No.4 Bridge	79
表 B.9 羅羅格橋旁擋土牆植物重要值指數.....	80
TableB.9 The IVI of retaining wall near the RoRoGe Bridge	80
表 B.10 台 16 線 22.9k 大灣擋土牆植物重要值指數.....	80
TableB.10 The IVI of retaining wall at 22.9 k of the Provincial Road No.16	80

表 B.11 南投四樣區合併計算之植物重要值指數.....	81
TableB.11 The IVI of fivesites in Nantou County	81
表 C.1 宜專一線 1.72 k 節制壩植物重要值指數.....	83
TableC.1 The IVI of check dam at the 1.72 k of Route Yichuan No.1	83
表 C.2 宜專一線 15.4 k 節制壩植物重要值指數.....	84
TableC.2 The IVI of check dam at the 15.4 k of Route Yichuan No.1	84
表 C.3 宜專一線 15.6 k 節制壩植物重要值指數.....	85
TableC.3 The IVI of check dam at the 15.6 k of Route Yichuan No.1	85
表 C.4 宜專一線 23.9 k 節制壩植物重要值指數.....	86
TableC.4 The IVI of check dam at the 23.9 k of Route Yichuan No.1	86
表 C.5 鳩之澤擋土牆植物重要值指數.....	87
TableC.5 The IVI of retaining wall in Jioujihze	87
表 C.6 太平山五樣區合併計算之植物重要值指數.....	88
TableC.6 The IVI of fivesites in Tai-Ping Shan	88
表 C.7 安山四號橋旁擋土牆植物重要值指數.....	90
TableC.7 The IVI of retaining wall in the road near the Anshan No.4 Bridge	90
表 C.8 安山四號橋旁溪流右側護岸植物重要值指數.....	90
TableC.8 The IVI of right revetment bank in the creek near the Anshan No.4 Bridge	90
表 C.9 羅羅格橋旁擋土牆植物重要值指數.....	91
TableC.9 The IVI of retaining wall near the RoRoGe Bridge	91
表 C.10 台 16 線 22.9k 大灣擋土牆植物重要值指數.....	92
TableC.10 The IVI of retaining wall at 22.9 k of the Provincial Road No.16	92
表 C.11 南投四樣區合併計算之植物重要值指數.....	93
TableC.11 The IVI of fivesites in Nantou County	93

第一章 前言

京都議定書 (Kyoto Protocol) 已於 2005 年 2 月 16 日生效，當前首要目標即在降低 CO₂ 濃度，全球溫室氣體排放量須較 1990 年水準降低 5.2 %。其中，森林已被承認具有碳匯 (carbon sink) 之功能；木材的加工能源低，因此 CO₂ 排放量少，更重要的是木材中約有 50 % 碳素，會將有機碳固定在木製品中，使其不回歸至大氣。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之溫室氣體減量目標。由生態環境的保育觀點而言，木材作為結構材料對 CO₂ 減量的貢獻已受到重視並重新予以評價。(王松永，2002)

除了有固定 CO₂ 的優點，木質材料在製作時也可省能源。由所排放之碳素來比較木質材料與鋼材及混凝土在製造建物時的耗能，鋼材或混凝土皆數倍於木材，顯示使用木質材料能夠節省能源。且木質材料的比強度較 RC (混凝土) 高，使用上具有一定的強度及安全性，並不會比使用 RC 來做構建差。又木質材料的比熱大，能保持溫度穩定。在夏日時若使用比熱小的 RC 材料會吸熱快、往往溫度上升過高使得寸草不生，但若使用木質材料則可避免此問題，運用在生態工程上能對生態保育有顯著的功效。

在上述優點之外，木材為天然的生物材料，具有優美的紋理，應用在景觀及工程上能與環境相諧調融合、不突兀，又如木材在製作建物前即可以篩選、藥劑處理等方式去除本身的缺點而增加耐用性。由以上種種情況看來，使用木質材料在景觀及生態工程上是可行且有益的，這些木製生態工程設施確實值得推廣及應用。

但雖可事先進行篩選，不過木質材料的變異性大、強度較不穩定之特性，在利用上往往仍是令人擔心之議題。另外，對於實際的木質工程施作情形，現在有使用「O&D技術工法」(Out Door Wood)，此為使疏伐木有效利用而開發之「高耐久化處理木材」技術。方法是先壓縮木材，破壞木材的閉塞壁孔，使防腐藥劑容易滲透，處理完後木材回復尺寸(回復率達97%以上)，藥劑仍有效保留於木

材內，增加防腐處理效果。雖然此方法可解決大部分「藥劑殘留」問題，加上前人研究的證實，吾人也已確定木質材料可固定碳素於其中，達到CO₂減量的要求。但目前木材應用在戶外工程設施上仍舊有許多問題尚未明瞭。如構建之強度、工程建造完成後的結構穩定性以及耐腐朽性、還有對生態復育的評估等，這些也是使用者在應用上所擔心疑惑之部分。為了解決這些問題，本研究將進行試驗，來評估木質材料應用在戶外工程上所面臨的挑戰及分析造成其破壞之原因；還有建造數年後植物的生長情況以及分析造成各地區有所差異的因素，同時也判斷各區域內的植物優勢種類。希望能有明確的結果，讓使用者在利用上更為安心與接受，而能夠更順利推廣與應用此種「近自然工法」之木製生態工程。



第二章 文獻探討

2.1 木質材料

木材構成元素為 50 % 碳，因此如木質材料能在固體狀態使用時，可將其重量一半的碳素以有機質化合物狀態固定在材料內而不釋放至大氣中。木材在生長過程中是反公害的，或可以說它反而會發揮極大的環境保護機能。因為木材生長是藉著固定大氣中的 CO_2 而來，為得到 1 噸碳水化合物，需吸收 1.6 噸 CO_2 ，並釋出 1.2 噸 O_2 。所有木質材料均屬於碳素貯藏型材料，而鋼材、鋁、混凝土等材料均為碳素排放型材料。(王松永，2002)

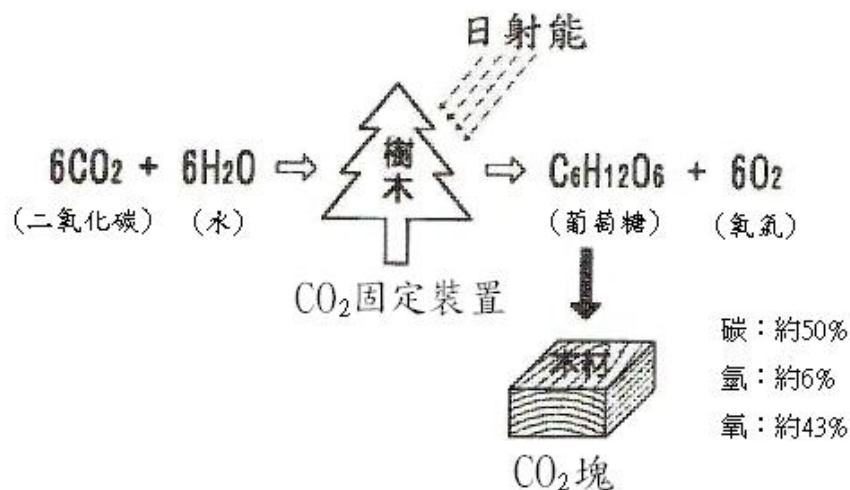


圖 1 木材固定 CO_2 示意圖 (王松永，2002)

Fig.1 The schema of carbon dioxide sequestration (Wang, 2002)

木材是種藉自然資源與本身的生命力而省能源，並且可大量再生之生物資源，這在其他資源是無法得見的。從原料轉換成製品、材料的加工能源比其他材料少許多。又因木材具有燃燒性、生物分解性，故廢棄時不但省能源且不造成公害。最終製品的木質住宅在建設、使用、解體、廢棄等各項所需的能源均較其他建物為少。

各種材料之鋼材、混凝土與木材之製造時消耗能源依所排放碳素相比較時，鋼材為木材的 10-20 倍，混凝土為木材的 1-2 倍。依國內已做的相關研究，每單位建築面積鋼筋混凝土構造建築物 (RC 構造) 與鋼構造建築物 (S 構造) 的 CO_2

排放量各為木構建築之 4.03 倍及 3.23 倍。若以木質構造建築取代 RC 與 S 構造建築物而削減 CO₂ 排放量，每平方公尺約為 377.48 kg/m² 與 328.31 kg/m²，顯示木構造建築在 CO₂ 減量與碳素固定上具顯著效果。(王松永、塗三賢，2005)

儘管木材可能有腐朽、劣化較早、易燃、強度均一性較缺乏等缺點，但可以用防腐處理、或依使用目的而選擇不同材料等方式將缺點削減至最低。

2.2 生態工程

起初，政府機關的正式用語將之稱作「生態工法」，此為國際專業用語 Eco-engineering 翻譯而來。亦即為保持生態環境之完整，以維持多樣化生物之生存權，須避免棲息地及遷徙路徑等之破壞，則在尊重當地天然條件，及人為設施與環境不相衝突前提下，妥適導入人類在環境生活中為提供安全所利用的土木工程構造，這些均可謂「生態工法」。但自民國 95 年 6 月 21 日起，行政院公共工程委員會已將「生態工法」更名為「生態工程」。因應政府機關的更名，本論文也統一採用「生態工程」一詞。

2.2.1 生態工程之意義

(1) 學術研究及文獻的定義：

所謂「生態工程」，廣義的內涵是對於環境中各種自然生態及生物棲息地的尊重，所做的環境保存、維護、永續利用、復舊及改良工程。包括以生物與非生物材料之最適當應用，而達到環境之和諧性。狹義的內涵則指「採用天然資材為主要材料，以融合周邊地形自然景觀，減少造成生態環境之衝擊為理念設計，建築可供動植物棲息、營造生物多樣性生存空間，創造兼具防災及生態復育功能之工程」，又統稱生態工程或近生態工程。其基本精神是「以安全為基礎、生態為導向、永續為目標」。

(2) 政府機關之定義：

依據 2002 年 8 月 14 日行政院公共工程委員會生態工法諮詢小組會議決議，生態工程的定義為「基於對生態系統之深切認知與落實生物多樣性保育及永續發展，而採取以生態為基礎、安全為導向的工程方法，以減少對自然環境造成傷害」。

(3) 新增編水土保持手冊之定義：

水土保持維護與處理之生態工法，係基於水土資源保育與環境安全保護的前提下，並對於生態系統之認知，及營造多樣化棲息地之必要，所採取的配套工法。

2.2.2 生態工程正名的意涵

原本所謂的「生態工法」，指的是為維護生態環境之永續性及生物多樣性所採取的方法，而「生態工程」(Ecological Engineering)則是完成生態工法之工程手段，因此生態工法的實施不一定要做工程，但生態工程之實施則必須符合生態工法之原則。

但行政院公共工程委員會在推動生態工程的過程中，由於以往採用的「生態工法」一詞，常遭人誤以為是一種工法（即施工方法）而滋生爭議，為了讓這項政策能持續順利地推動，並與國際專業用語 Eco-engineering 接軌，因此工程會自 95 年 6 月 21 日起，正式將「生態工法」更名為「生態工程」。

仔細探究「生態工程」所強調的目標，除了促進產業及經濟發展外，更在創造優質永續的生活環境。因此，生態工程即在推動，所有的公共工程應融合生態系統與工程技術，從問題根源著手，兼顧環境的永續經營。而實際的作法是，除了考量原有的功能、安全之外，更要對環境、生態、景觀、甚至文化等進行考量，以促使硬體工程建設與整體環境相融合，並維護生物多樣性。

自九二一大地震之後，生態工程開始應用於災區的土石流、崩塌地的整治，並且逐漸推廣至河溪整治、道路工程等。更名後的「生態工程」，將工程考量範圍延伸擴展至對整體環境、生態與文化，在推動經濟與生態的發展上皆能兼顧，達到人與自然的永續和諧。

2.2.3 生態工程與傳統工程之差異

台灣在光復初期，在「人定勝天」的觀念下，大舉開發山林及河床灘地，造成土石崩塌、河川氾濫等災害不斷發生。探究原因，人類自以為是的不當設計開發是主因，不透水的鋪面水泥塊擋土牆、截彎取直的河川，以及河床、護岸均受到混凝土覆蓋之「三面光」河流水道等，均為破壞的元兇之一，這些沒有考慮生態環境的「剛性工程」確實對自然環境帶來不小的威脅；相較之下，近年來所推動之生態工程，即是一種考量當地生態環境、利用當地材料、結合當地文化的一種在地性施作方法，強調「省能源、低成本」的永續性利用，減少對自然資源的破壞與浪費，為一種「柔性工程」或「近自然工程」。

2.3 植生調查研究

植群生態學 (Vegetation ecology) 是生態學的分支，主要研究特定地區內的植物社會特性，如植群的類型 (Type)、分布 (Distribution)、結構 (Structure)、形相 (Physiognomy) 及組成 (Composition) 等等，並探討植群與其生育地各環境因子間的關係。研究結果除了直接提供林業研究者在育林作業及林業經營的參考外，對於農業經營、土地利用、遊樂規劃以及環境保育等領域，亦間接提供理論基礎。

對於台灣地區，早在日據時代就有如加藤、初島、鈴木及福山等多位植物學者前往烏來地區研究當地植物，然對於植群描述多憑主觀紀錄，並未設樣區調查。直至 1938 年，日人鈴木時夫始於現今桶後溪流域應用歐洲 Blaun-Blanquet 的分類系統及方法進行樣區調查，為該處植群分析研究之始，而後也漸有許多學者前往不同地區進行植物的採集研究並對植群加以分類，台灣地區各地的植群調查結果遂逐漸完整。

不過隨著環境變遷等各種人為因素干擾，原本存在之原生植群產生改變，即所謂的林相變遷。像是一些低海拔區或原住民村落經過開墾耕植；或是森林地區

施業致使林相改良、林相變更等因素，造成境內許多林地受到極大的人為干擾，產生原生林形相的改變。

台灣的森林植群研究，長久以來多以接近原始狀態的原始林或天然林為主要研究對象。根據第三次台灣森林資源及土地利用調查報告中顯示，人工林及竹林面積占台灣森林蓄積量之 27.3 %，而森林經營時除了對原生植群的種類及分布須詳細瞭解之外，對於該區域之各種不同林相分布及土地利用分類更亦須有豐富之基礎資料，方可從事適切的經營管理。

但就現狀而言，較少有施作生態工程後，關於植生復育的調查成果資料分析及評估，仍多以判別林相差異為主。故本研究擬探討生態工程的植生復育成果，希望能藉由調查植物的生長復育狀況，加以確定、評估施作生態工程的益處，也更能讓一般大眾對於生態工程的推廣具有更大的信心。



第三章 試驗材料與方法

3.1 木材腐朽程度調查

設施處於室外，經常曝露在陽光與降雨環境下，很容易引起腐朽而劣化，故須進行木材防腐處理後再使用。一般而言，戶外用的木質材料，若未經適當之防腐處理，非常容易受到微生物的影響而產生軟腐（Soft Rot）現象，這些木材外觀看似正常，事實上強度已變得相當低，稍微再施加外力便會立即斷裂。例如一支直徑 25 cm、高 11 m 的木柱，一般約需 9 kN 的力方能使其斷裂；但若外部軟腐 2 cm，即僅剩 21 cm 的有效直徑時，則僅需 3.8 kN 的外力便可折斷！本實驗所欲測定的木材腐朽狀況分別為行政院農委會林務局、水土保持局以及臺大實驗林管理處於災後在宜蘭與南投縣所興建之木質生態工程結構物。實驗以木材腐朽測試器(Wood Tester PILODYN-6J)及鑽孔抵抗儀(Drilling Resistance, 或稱 Resistograph)進行木材腐朽狀況的檢測。

3.1.1 木材腐朽測試器 (Wood Tester PILODYN-6J)

木材腐朽測試器（以下簡稱 Pilodyn）為瑞士 PROCEQ 公司所生產檢測木柱與立木外部腐朽的簡易測試器，如圖 2 及圖 3。原理係利用一精密彈簧所產生的固定彈力，將一直徑 2.5 mm 的撞針以 6 焦耳（Joule）的能量擊入待測木材中，藉由撞針進入木材之深度來評估木材的外部（表面）腐朽情形。

Pilodyn 之使用方法如下：

- (1) 移除撞針的護蓋後，將撞針套上輔助工具並推入機器內部，直至固定於扳機上。
- (2) 將機器前端置於待測物表面，直至其尖端進入表面。
- (3) 壓下底部扳機以擊發撞針，待撞針進入待測物內部後，讀取其深度。
- (4) 將撞針緩緩抽出，即完成一次測試。



圖 2. 木材腐朽測試器 (Pilodyn) 之圖片
Fig.2 Pictures of Pilodyn



圖 3. 木材腐朽測試器的使用方法及測量狀況示意圖 (PROCEQ SA)

Fig.3 The operation of Pilodyn (PROCEQ SA)

3.1.2 鑽孔抵抗儀 (Drilling Resistance Measurement)

鑽孔抵抗儀是由德國Instrumenta Mechanik Labor GmBH公司所生產，用以檢測木柱與立木內部腐朽的測試器，又有人稱其為Resistograph，可參考圖4所示。其規格如下：

- | | |
|-----------------------------|----------------------|
| (1) 解析度：0.1 mm | (4) 重量：3.86 kg |
| (2) 針桿直徑：1.5 mm | (5) 最大長度：500 mm |
| (3) 儀器尺寸：102 × 305 × 406 mm | (6) 迴轉速度：0-55 cm/min |

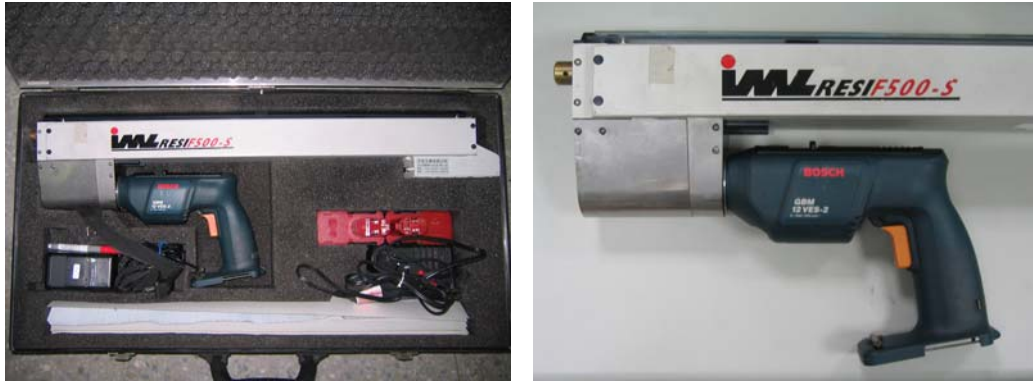


圖4. 鑽孔抵抗儀之圖片

Fig.4 Picture of drilling resistance measurement (Resistograph)

鑽孔抵抗技術的目的是為了要瞭解木材內部的腐朽位置及該木材是否仍堪用。原理係利用鑽孔抵抗儀迫使一細針進入待測試材內，測定細針於迴轉時的鑽孔抵抗值。針頭是一近似魚尾的形狀，鑽孔抵抗集中在尖端，寬度為針桿寬度的兩倍，針之迴轉速度會隨鑽孔材料不同而異。密度高的木材會較密度低的木材耗電。並利用軟體（IML-Software F-TOOLS），將處理數據轉至電腦紀錄成為鑽孔抵抗量變曲線（Drilling profile），解析度為0.1 mm。鑽孔抵抗值與密度間有密切的相關性存在，可以將抵抗量變曲線再進一步轉變成密度量變曲線（Density profile）。對於氣乾狀態木材，鑽孔抵抗主要依賴其密度，不過使用儀器在材料檢測時，對於鑽孔的實施具有固定轉數及推進速度。

關於鑽孔抵抗儀實際使用的情況可參考圖5之左圖。右圖則為鑽孔抵抗儀在使用時紀錄紙的反應情形。



圖5. 鑽孔抵抗儀使用狀況及紀錄紙的紀錄情形

Fig.5 The operation of drilling resistance measurement

3.1.3 刺針型含水率計 (BD-2100 Moisture Meter)

本試驗中使用的是美國DELMHORST公司生產之BD-2100型電阻式木材含水率計，可參考下圖6所示。其內置探針，故又可稱為刺針型含水率計。本儀器最多可累積50筆數據，並自動計算平均值；亦可預設上下限，超過範圍時會自動警告。此含水率計能測量範圍可區分如下：

- (1) 含水率 6% - 40% 適於量測木材，如：木質地板、建築材料、木質間柱、托樑、外壁木板。
- (2) 含水率 0.2% - 6% 應用於石膏。

研究中利用此含水率計量測木質生態工程的材料表面含水率，方法是將儀器頂上之探針刺入木材中，再按鈕測試，木材的含水率數值將顯示於面板上。因實驗中測試的材料為杉木或柳杉，屬於第一類材料，故最大值以40%計。



圖6. 刺針型木材含水率計

Fig.6 Pictures of BD-2100 moisture meter

3.2 結構變位監測

建構於室外之生態工程，若遭遇山崩、土石流等自然災害，可能因此產生工程破壞或位移的狀況。為確保構件穩定，必須每隔一段時間對構造物進行變位監測。檢測方法是使用「雷射經緯儀」，如圖 7 所示。結構變位的測量方式是在距離構造物壩體之一段位置選擇兩參考點，並對結構物的釘接部分進行相對距離之測量而後紀錄。參考點須位於混凝土設施上方，以確保參考點本身能維持穩定，當時間經過，參考點仍不產生位移或是位移量極小，不影響實驗。將雷射經緯儀豎立於參考點上方，經緯儀會對測點照射雷射光，經由發射與接收到反射光間的時間差可換算兩點（參考點與測點）間之相對距離。當一參考點測定完後，再換另一參考點進行相同測點之測定。如此，對於同一測點，能得到與兩參考點的相對距離，兩次測量時，即可得知是否測點位置具有位置變化。所選擇的測點包含構造物的頂端、底部，並且平行約 1.8 m 進行測定。每經過一段時間，依照上述方式對所選定的測點進行相對距離測量，並分析是否參考點與測點間的相對距離有所變化。若變化小甚至沒有改變，表示結構穩定，沒有明顯位移；但若相對距離改變甚多，則表示可能壩體的結構不穩，或是該處的地層結構較不緊密，容易鬆動致使構造物產生位移。變位監測的試驗對象為宜蘭太平山宜專一線道上之 1.72 k、15.4 k、1.56 k 及 23.9 k 處的四座木格框節制壩工程，以及溪頭大學坑的柳杉節制壩、孟宗竹樁壩和木質河道護岸。



圖 7. 雷射經緯儀之圖片及使用狀況

Fig.7 The displacement monitoring of wooden structure by laser theodolite

3.3 碳素貯存量

木材構成元素為 50 % 碳。因此若木質材料以固體狀態使用時，可將其重量一半之碳素以有機質化合物的狀態固定在材料內而不釋放至大氣中。以密度（或比重） 350 kg/m^3 的柳杉材為例，會貯藏 175 kg/m^3 碳素，但其在製造時會消費能源 980 MJ/m^3 ，而排放碳素約 20 kg/m^3 ，碳素之排放量與貯藏量相抵即得淨碳素貯存量為 -155 kg/m^3 ($-155 \text{ kg/m}^3 = 20 \text{ kg/m}^3 - 175 \text{ kg/m}^3$ ，負值代表貯存)。所有木質材料均屬於碳素貯藏型材料，鋼材、鋁、混凝土等材料均為碳素排放型材料。如表 1 所示。(王松永，2002)

表 1. 各種材料製造時消耗之能源及碳素排放量

Table1. The energy consumption and carbon emission of various material

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 kg/t	製造時碳素排放量 kg/m ³	淨碳素貯存量 kg/m ³
天然乾燥材 (密度 500 kg/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 500 kg/m^3)	2.8	1,390	56	28	-222
合板 (密度 550 kg/m^3)	12	6,000	218	120	-155
集成材 (密度 500 kg/m^3)		4,500		82	-168
粒片板 (密度 650 kg/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 500 kg/m^3 之木材，其中一半為碳素，即會貯存 250 kg/m^3 之碳素，所以人工乾燥木材之淨碳素貯存量為 -222 kg/m^3 。

依據北海道水產林務部木材振興課所做的研究，比較以正面積 20.00 m^2 為單位之擋土牆工程。經室外用防腐處理（ACQ 處理，K4 標準吸收量 5.2 kg/m^3 ）所建造之圓木棒框架（木格框）擋土牆工程須要使用的木材量為 3.4 m^3 ，使用鋼筋混凝土建造之擋土牆工程則須要使用混凝土 8.9 m^3 。在此情況下，計算 CO_2 排放量，防腐處理木材： $66 \times 3.4 \text{ m}^3 = 224 \text{ kg}$ ；混凝土： $440 \times 8.9 \text{ m}^3 = 3,916 \text{ kg}$ 。碳素固定量方面為混凝土 0 kg ；防腐處理木材： $642 \times 3.4 \text{ m}^3 = 2,183 \text{ kg}$ 。

因此建造正面積 20.00 m^2 為單位之擋土牆工程時，若以木材（疏伐木）取代混凝土，可使 CO_2 之削減效果達 $5,875 \text{ kg}$ 。即 CO_2 發生量 = 排放量 - 固定量， $3,916 \text{ kg} + 2,183 \text{ kg} - 224 \text{ kg} = 5,875 \text{ kg}$ 。（北海道水產林務部木材振興課，2002）

在本研究中所要計算的木材碳素貯存量即是以北海道水產林務部木材振興課所做的研究為依據，比較使用經室外用防腐處理所建造之圓木棒框架（木格框）擋土牆工程及使用鋼筋混凝土建造的擋土牆工程之碳素貯存量。



3.3.1 試驗材料與地點

實驗中共探討四種不同的木質生態工程之施工方法對碳素貯存量的差異。所採用之材料為杉木或柳杉。四種工法分別為：(1)傳統工程之就地取材施作方式；(2)先將材料鋸切成相同尺寸圓木棒再行組裝的木格框擋土牆；(3)先切成正方柱狀再組立之木格框節制壩；(4)部分去皮但保持圓柱狀之木格框護岸。

3.3.1.1 傳統框架工法之工程調查

在傳統框架工法的調查方面，共調查了由水保局所建造，位於南投縣信義鄉及水里鄉之 9 座木格框擋土牆工程。所使用的材料為杉木 (China fir, *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)，皆是直接取用當地的木材，因此材料都未先經過防腐、去皮、以及統一規格等處理，僅直接鋸成一定的長度即進行施工。邊建造時邊調整，挑選合適大小的木材來利用。施工方式是先將木材平行山壁（即橫材）排列成三層，並橫向延長至所要求的長度，相鄰兩橫材間以螞蝗釘固定。每段橫材長為 2.5 m 或 3.6 m，視施工地點而有所不同。橫材排列至所需長度後於其上垂直堆疊一層 2 m 的材料（即控材），間距為 0.5 m 或 1 m，同樣視施工地點的需要來調整。之後，重複上述步驟將材料堆疊至適當高度，平均約 1.6 m。不同層間之控材交錯排列，並且於堆疊完後在擋土牆內部填入土石並壓實，且橫材與控材間也釘上螞蝗釘及使用鐵絲固定，增加工程的穩定度。

傳統框架工法所建設的工程圖片可參考下圖 8 及圖 9 所示，其中圖 8 為台 16 線上編號 2 之擋土牆。



圖 8. 傳統框架工法之擋土牆
Fig.8 The wooden retaining wall constructed by traditional method



圖 9. 增加工程穩定性的螞蝗釘及鐵絲
Fig.9 The connection of retaining wall by leech staple and wire to increasing structure stability

3.3.1.2 圓木棒狀 O&D 工法之木格框壩體

O&D 技術工法 (Out Door Wood) 為使疏伐木有效利用而開發之「高耐久化處理木材」技術。方法是先壓縮木材至 80 %以破壞木材的閉塞壁孔，使防腐藥劑容易滲透，處理完後木材回復尺寸，回復率達 97 %以上，但藥劑仍有效保留於木材內，以增加防腐處理效果。

因外構設施所有部位、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，於三年內會產生劣化。但心材之耐久性中庸或低者，在 4-7 年後亦會腐朽掉，故須進行木材之防腐處理後再使用。

本研究所使用之木材為柳杉 (Japanese cedar, *Cryptomerioids japonica* (L.f.) D.Don)。施工之前，柳杉原木先經裁切、剝皮，而後以旋切機 (Rotary lathe) 加工成直徑 12 cm 之圓木棒，如圖 10 所示。並將材料又分為完全呈圓柱狀之橫材及在縱斷面兩側距端點 10 cm 處另外內削成 2 cm 凹槽之控材等兩種形狀的材料。製材後將木材於廠內進行天然或人工 (乾燥窯) 乾燥，待含水率降低至 20 %左右才加以利用。



圖 10. O&D 工法之製材情形

Fig.10 Manufacturing the logs material by O&D technique

木材製作完成後即進行防腐處理。所注入之防腐藥劑為 ACQ (銅烷基銨化合物系) 木材防腐劑，使重量百分比達 6.0 %以上，將經加工後之柳材疏伐木裝置在真空防腐處理槽內，如下圖 11。防腐槽密閉後，先進行前排氣，真空度為 0.08 MPa (600 mmHg) 以上，維持時間 20-30 min 後，進行加壓處理，加壓內壓為 1.2-1.5 MPa

(12-15 kgf/cm²)，維持時間 120 min 以上，再進行後排氣處理，真空度 0.08 MPa (600 mmHg) 以上，維持時間 20-30 min。防腐處理材之養護時間，放置在不受日曬雨淋之適當場所進行天然乾燥者，需 14 天以上；而在溫度 60-80 °C 條件下作乾燥處理進行人工乾燥者則需 5 天以上。



圖 11. 柳杉防腐處理狀況

Fig.11 Preservative treatment of Japanese cedar

防腐藥劑的吸收量依 CNS 3000 規定，採用 K4 標準，木材對 ACQ 之吸收量達 5.2 kg/m³。其使用環境為木材處於室外，並直接受天候劣化，但無持續接觸水與（或）地；或木材處於室內潮濕處。

而 O&D 工法木格框節制壩及擋土牆之調查地點位於宜蘭太平山的宜專一線上，共計 3 座，分別位於 1.72 k、23.9 k 及鳩之澤。施作過程如下：

- (1) 確定施工位置後先清理基地，在基礎上方將兩支 2 m 長圓木棒（即橫材）間隔 80 cm 互成平行，以螺栓固定於基礎上方。而後將 3 支 1 m 具凹槽的圓木棒（即控材）之凹痕處，置於距 2 m 長圓木棒之端部 10 cm 處及中央部位（間隔 60 cm），使成井字型。
- (2) 依上述之作業步驟，逐步增加壩體的長度、高度，直至各地點的預定尺寸為止。
- (3) 設施完成後，在壩體內部填充岩石，並在設施與岩層間逐層回填良質土壤且壓實至 80-85 %，即完成 O&D 工法之生態工程，又稱木製校倉式井字

型生態工法。

工程施作的狀況可見下圖 12 所示，而於其下方的圖 13 及圖 14 分別是使用 O&D 工法所建造之節制壩（位於宜專一線 23.9 k）和擋土牆（位於鳩之澤）以及其近拍情形。



圖 12. 使用 O&D 工法施作工程之現場狀況

Fig.12 The construction process of retaining wall by O&D technique



圖 13. O&D 工法製作之節制壩及近拍照

Fig.13 The overview of check dam constructed by O&D technique



圖 14. O&D 工法製作之擋土牆及近拍狀況

Fig.14 The overview of retaining wall constructed by O&D technique

3.3.1.3 正方柱狀新工法之柳杉節制壩

此為臺大實驗林管理處於溪頭大學坑所設置之柳杉材料生態工程節制壩。有別於以往材料皆為圓柱型式，柳杉在使用前均先切削成橫斷面為 $15 \times 15 \text{ cm}$ 及 $10 \times 10 \text{ cm}$ 之正方柱狀型式再行組裝。依節制壩所需的跨距及寬度，首先分別選擇適當長度、橫斷面為 $15 \times 15 \text{ cm}$ 的木柱垂直打入土內（即樁材），並保持每支樁材間的距離為 1.8 m 。而後於樁材內，以水平方式但垂直河道方向排列橫斷面為 $10 \times 10 \text{ cm}$ 之木柱（即橫材）。再於橫材上層，垂直橫材方向水平堆疊橫斷面為 $10 \times 10 \text{ cm}$ 之木柱（即控材），且控材堆疊時皆左右夾住樁材。將橫材及控材重複向上堆疊至節制壩所需高度，並使用螺栓釘接，再於壩體內填充土石，完成柳杉節制壩。因這是甫發展的木質生態工程型式，故暫時稱之為新工法。而所使用的柳杉在建造工程前也未預先進行防腐處理。

有關新工法所建造的生態工程節制壩圖片，可參考下圖 15，左為節制壩整體的狀況（橫跨河道者），右則是近拍的木材排列及釘接情形。



圖 15. 使用新工法所製作之節制壩

Fig.15 The check dam constructed by a new method in University Gully

3.3.1.4 圓柱狀新工法之木質河道護岸

此亦為臺大實驗林管理處在溪頭大學坑所設置之木質生態工程。緊鄰在上述的柳杉節制壩兩側，如圖 16 所示。材料同樣使用柳杉，施作方式亦與新工法的節制壩相同。唯相異的一點是使用的材料為直徑 15 cm 或 10 cm 之圓柱（直徑較大者為樁材，其餘按適當長度分配為橫材或控材），並非鋸切成橫斷面為正方形的木柱。所使用的柳杉材事先未行防腐處理，但透過去皮與否來調整木材的徑級至相似尺寸，再將之堆疊、釘接，建造成木質護岸。護岸全部共分左右兩邊，呈對稱排列，因此本實驗在計算上，僅須瞭解其中一座的材積，再乘上兩倍，即可得到全體大學坑木質河道護岸之材積。



圖 16. 大學坑木質河岸護坡及近拍照

Fig.16 Wooden revetments in University Gully

3.3.2 碳素貯存量計算

欲推估利用木材取代混凝土而削減之 CO₂ 含量，必須先計算所使用的木材材積。在 O&D 工法木格框壩體、正方柱狀新工法節制壩及圓柱狀新工法護岸的場合，實驗均能利用設計圖或材料表直接計算所利用之柳杉的材積，但傳統框架工法擋土牆的施作因是直接取用現有之杉木，徑級未統一，故僅能依據工程尺寸來推估所使用杉木的總材積。

計算出使用之木材材積後，同時計算若以混凝土建設同尺寸之工程設施所耗用的混凝土總體積。對於擋土牆的情形，是以正面積 20 m² 會耗用混凝土 8.9 m³ 之標準擋土牆為基礎作推估；至於節制壩因尚未有統一之比較基準，故計算若以等體積實心混凝土工程做建設，其混凝土使用的體積。而後，進行 CO₂ 排放量(kg)的計算。若木材有經過防腐處理，則 1 m³ 之木材 CO₂ 排放量為 66 kg；對於混凝土而言，體積 1 m³ 的混凝土，其 CO₂ 排放量則為 440 kg。

另外，計算碳素固定量(kg)。因為混凝土絕對無法固定 CO₂ 於其中，因此這部分混凝土為 0 kg；至於木材的 CO₂ 固定量則視材料不同而有所差異。就本研究中所使用的材料為柳杉及杉木而論，將柳杉比重以 0.35 計，其含碳素量為 175 kg/m³（以木材碳素比例為 50 %計），換算成 CO₂ 時，因腐朽所引起之 CO₂ 發生量為 175 × 3.67 kg/m³（列式中的 3.67 是以 44 / 12 而得，即當碳素轉換成 CO₂ 時所得到的重量），即 642 kg/m³；同理，若以杉木比重為 0.36 計，則可得因腐朽所引起的 CO₂ 發生量為 180 × 3.67 kg/m³，即 660.6 kg/m³。因此，若所使用的材料為杉木，碳素固定量的計算法為 660.6(kg/m³) × 木材材積(m³)；若材料是柳杉，則為 642(kg/m³) × 木材材積(m³)。

最後便是計算建造工程時，若使用木材來取代混凝土之 CO₂ 削減效果。即 CO₂ 發生量 = 排放量 - 固定量，也就是混凝土 CO₂ 排放量 + 木材 CO₂ 固定量 - 木材 CO₂ 排放量。若施作過程中木材未經過防腐處理，則就不必減去木材 CO₂ 排放量這一項（如依照傳統框架工法所建造的工程）。

3.4 木構件植生復育狀況調查

3.4.1 重要值指數 (IVI) 計算

相較於鋼筋混凝土設施，使用木質材料建造的木格框結構可以提供生物較適宜的生存環境，故稱作「生態工程」。但生物生長復育的狀況仍須經過評估才能得到判斷其是否生長良好之依據。一般而言，植被的恢復情況在生態學研究上有正面效益。深根性植物之豐多性和覆蓋度於生態學工作上顯示與環境狀況達到和諧、護岸穩定、汙染物質的滲入及減少表面流失，同時提供野生生物棲息以及民眾的度假區。本研究進行木質生態工程之植被調查分析時，是待工程結構物建造後超過一年半，植栽生長情況趨於穩定。再分別對所採樣區進行不同時間的兩次植生調查。

實際調查方面，根據木結構的實際尺寸和長度，將各個欲調查樣區圈選出數塊 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 之小樣區進行調查，如下圖 17 所示。待樣區選定後，調查植物的相對密度、相對頻度和相對覆蓋度（或相對優勢度）三種介量。



圖 17. 植生調查時圈選之 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 小樣區

Fig.17 The $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ sample plot for vegetation investigation

雖然當以上三種植物社會調查之基本介量（即密度、頻度及覆蓋度）單獨使用時，也可代表植物社會的某一特性。如覆蓋度（或稱優勢度）可顯示一植物在該社會中所佔的重要性；密度能表示一族群的大小；頻度則可以表示植物在該社會中的分布情形。但因植物個體的大小差異相當大，若單獨使用某一介量，常無法很清楚瞭解植物社會中各種類之適應情形及該植物社會中資源被分配的狀況。因此一般甚少僅使用一種介量，而係以其中若干個介量加以組合來表示之。

重要值指數（Importance value index, IVI）即用以表示基本植物介量之組合，就是把上述三種介量的平均百分比來代表植物群社會的構成。因密度、頻度及覆蓋度三種基本介量均有其不同單位，故指數大小並無一定範圍，且此三種介量為不同單位之數值。因此，IVI 指數的計算是採用上述三種基本介量，但用其相對值作計算。算法是將三種介量的相對值相加再除以三，故一植物社會中，所有植物之重要值指數恆為 100。不過計算上有時也會省略最後「除以三」之算式，如此則同植物社會中，所有植物重要值指數恆為 300。IVI 實際的計算方法如下：

$$\text{相對密度(Relative density, R.D.)(\%)} = \frac{\text{某植物之株數}}{\text{全部植物之株數}} \times 100$$

$$\text{相對頻度(Relative frequency, R.F.)(\%)} = \frac{\text{某植物之頻度}}{\text{樣區中全部植物之頻度}} \times 100$$

$$\text{相對覆蓋度(Relative coverage, R.C.)(\%)} = \frac{\text{某植物覆蓋度之和}}{\text{全部植物覆蓋度之和}} \times 100$$

$$\text{重要值指數} = (\text{相對密度} + \text{相對頻度} + \text{相對覆蓋度}) / 3$$

$$\text{IVI} = (\text{R.D.} + \text{R.F.} + \text{R.C.}) / 3$$

對於木本植物，在相對覆蓋度方面，一般上是使用相對優勢度（Relative dominance, R.D.）作計算。算法如下：

$$\text{相對優勢度(R.D.)(\%)} = \frac{\text{某植物之底面積}}{\text{全部植物之底面積}} \times 100$$

底面積以胸高直徑（DBH）的曲線來推斷。如果在樣區內的植被是草本植物，因草本之走莖或爬藤類交錯生長，使得相對密度在計算上有實質困難，則重要值

的計算僅採用相對頻度及相對覆蓋度之平均。若以上調查方法在執行上仍有困難，則採豐多度 (Abundance) 表示植物的多寡。

本實驗的調查對象為南投地區安山四號橋旁的擋土牆、安山四號橋附近的護岸、羅羅格橋旁擋土牆以及台 16 線上 22.9 k 大灣處的擋土牆，還有宜蘭太平山宜專一線道上 1.72 k、15.4 k、15.6 k 及 23.9 k 處之節制壩和位於鳩之澤的擋土牆，共 9 個研究對象。調查上述區域在建造完成後經過一年至五年不等之植生復育情形。儘管生長的植物除了常見之草本植物外也不乏一些木本植物，但因這些木本植物仍為小苗，無法量測胸高直徑 (DBH)，視為草本處理。因此計算 IVI 時統一使用相對頻度與相對覆蓋度之平均。

$$\text{即 } \text{IVI} = (\text{R.F.} + \text{R.C.}) / 2$$

3.4.2 資料分析

3.4.2.1 矩陣群團分析 (Cluster Analysis) :

植群分類的目的是將植物種類組成相類似之樣區歸為同一群，以代表不同的植群分布。本實驗收集的調查資料將利用套裝軟體 PC-ORD 進行矩陣群團分析，利用 Euclidean distance 計算各樣區間的距離，再進行樣區的歸群而畫出樹狀圖。

3.4.2.2 降趨對應分析 (Detrended Correspondence Analysis, DCA) :

同樣利用套裝軟體 PC-ORD 輔助，進行分布序列法之降趨對應分析 (Detrended Correspondence Analysis, DCA)，將各樣區排成序列軸，再以 DCA 各軸與環境因子做相關測試，分析造成植群分布狀況不同之環境因子。

第四章 結果與討論

4.1 木材腐朽程度調查

4.1.1 南投地區木材腐朽程度調查

4.1.1.1 調查之工程地點

本實驗初次調查的 18 座水保局木格框擋土牆工程如表 2 所示，而所調查的地圖範圍則如圖 18 所示：

表 2. 水保局建造之木格框擋土牆工程
Table2. The retaining walls constructed by SWCB

編號	工程名稱	工程內容	鄉鎮別	村里別	備註
A	投 59 線 15.5 k 處路旁坡腳穩固工程	木頭壩組立 30 m	信義鄉	新鄉村	崩塌
B	投 59 線 15 k 處路旁坡腳穩固工程	木頭壩組立 46 m	信義鄉	新鄉村	找不到
C	投 59 線 10.5 k 處路旁坡腳穩固工程	木頭壩組立 75 m	信義鄉	新鄉村	找不到
D	上安 8 鄰三部路安山四號橋旁治理工程	裂縫填補.種子撒播.稻草席鋪設.木頭壩組立.機械整地	水里鄉	上安村	
E	上安 8 鄰三部路安山四號橋旁治理工程	木頭壩組立	水里鄉	上安村	
F	上安 8 鄰三部路安山三號橋旁治理工程	坡頂排水.裂縫填補.種子撒播.稻草席鋪設.木頭壩組立.機械整地	水里鄉	上安村	失敗
G	人倫林道 4 k+050 處上方崩塌地處理工程	裂縫填補.種子撒播.稻草席鋪設.木頭壩組立.機械整地	水里鄉	新山村	
H	羅羅格橋往洽石波橋 1 km 處崩塌地工程	木頭壩組立 40 m	信義鄉	人和村	
I	民生路靜和高枝井 7 分 8 旁坡腳穩固工程	木頭壩組立 30 m	信義鄉	人和村	2 座
J	民生路旁人倫橋前工程	木頭壩組立	信義鄉	人和村	1 層
K	台 16 線旁工程-編號 1	木頭壩組立	水里鄉	民和村	隧道前
L	台 16 線旁工程-編號 2	木頭壩組立	水里鄉	民和村	隧道前
M	台 16 線旁工程-編號 3	木頭壩組立	水里鄉	民和村	隧道前
N	台 16 線旁工程-編號 4	木頭壩組立	水里鄉	民和村	隧道前
O	台 16 線旁工程-編號 5	木頭壩組立	水里鄉	民和村	隧道前
P	台 16 線旁工程-編號 6	木頭壩組立	水里鄉	民和村	隧道前
Q	台 16 線旁工程-編號 7	木頭壩組立	水里鄉	民和村	隧道前
R	台 16 線旁工程-編號 8	木頭壩組立	水里鄉	民和村	隧道後

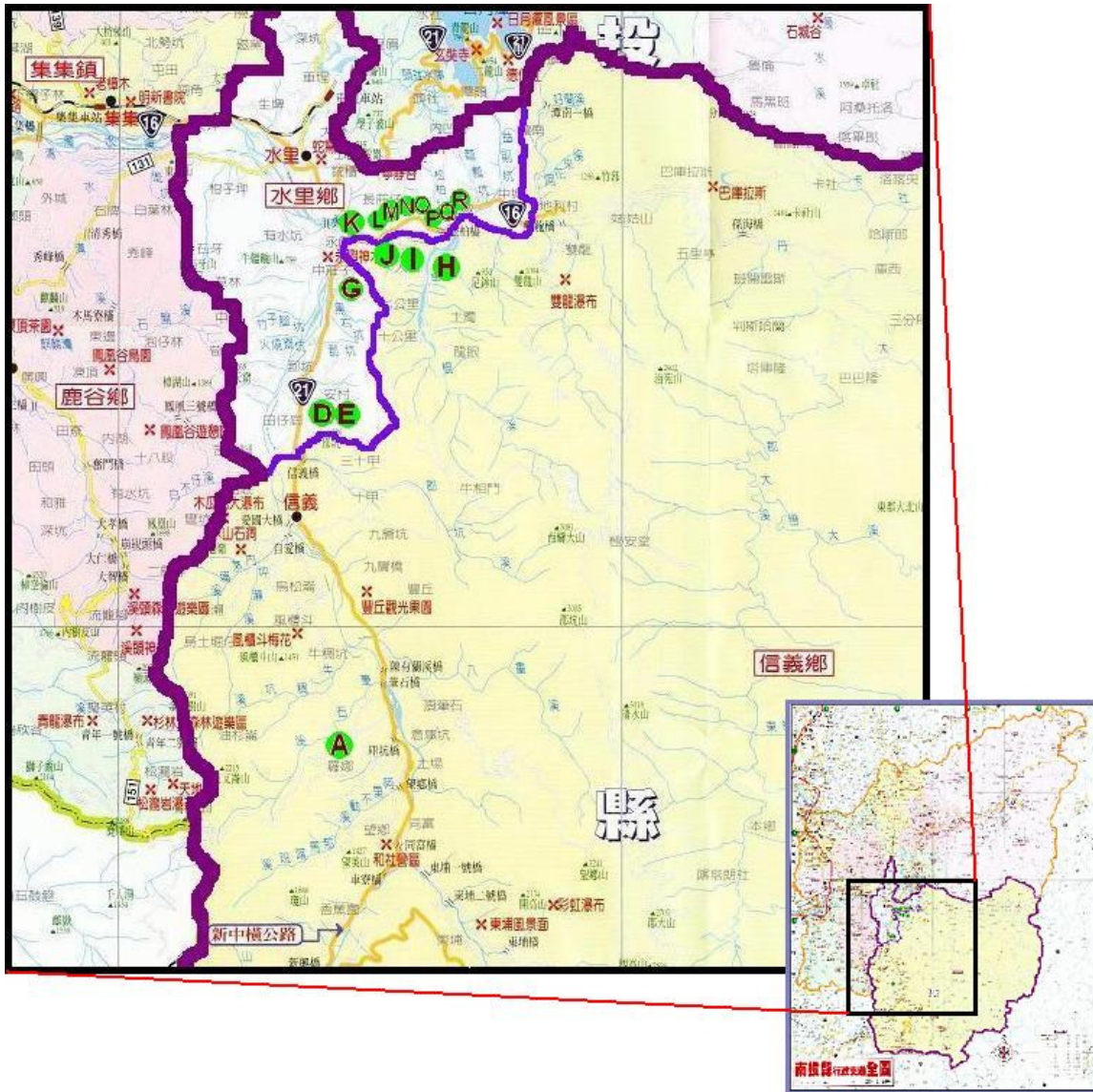


圖 18. 所調查的工程地點(大圖上的英文部分)，
 右下角為南投縣地圖(深色部分為信義鄉及水里鄉)

Fig.18 The engineering sites in Nantou County

4.1.1.2 擋土牆工程之現況

將初次調查之 18 座水保局設立的木格框擋土牆現況以文字描述，圖片則列於附錄一以供參考。

(1) 工程 A

位於投 59 線 15.5 k 處的路旁坡腳穩固工程，水保局之工程序號為 92ES3-483。不過受颱風等因素影響，上方土石崩落下來而將之壓潰。基本上該處工程破壞並非本身結構不穩定，而是遭崩落的土石所壓裂損壞。可見附錄一的圖 A.1。

(2) 工程 B

位於投 59 線 15 k 處路旁坡腳穩固工程，水保局所編的工程序號為 92ES3-484。但是至現場查看，卻無發現任何工程跡象，也沒有土石崩落的現象，如附錄一中圖 A.2 所示。簡而言之為「失蹤」。推測是因地圖座標與工程紀錄位置不吻合而使調查時找不到。

(3) 工程 C

同樣是位於投 59 線上的路旁坡腳穩固工程。工程地點為投 59 線 10.5 k 處，水保局所編的工程序號為 92ES3-485。但是現場卻也沒見到任何工程跡象，亦無土石崩落的現象，同樣是「失蹤」。也推測是因地圖座標與工程紀錄位置不吻合所致。

(4) 工程 D

位於水里鄉上安村的上安八鄰三部路安山四號橋旁治理工程，水保局的工程序號為 92ES3-474。工程至今，植生的復育狀況良好，若不仔細查看，幾乎無法察覺植生底下有木格框壩體組立。幾可稱得上完全融入自然景觀之中，詳細情況可見附圖一中圖 A.3。

(5) 工程 E

同樣位於上安八鄰三部路，安山四號橋旁的治理工程。其建構於混凝土牆的基底上，但亦有許多植生復育，唯擋土牆側邊的植生稍微少一些，如附錄一中圖 A.4 所示。

(6) 工程 F

上安八鄰三部路安山三號橋旁治理工程，水保局工程序號為 92ES3-475。但工程失敗，也未有照片紀錄。

(7) 工程 G

現況可見附錄一的圖 A.5。位於水里鄉新山村，人倫林道 4 k+050 處的上方崩塌地處理工程，水保局工程序號為 92ES3-477。木格框擋土牆壩體建構於混凝土牆上，並且在木格框擋土牆旁邊另設有蛇籠工程。本木格框工程有少許植生復育，且多生長在壩體上方，壩體側邊的植生很少，但由圖 A.5 也可看出該處為較乾燥之地點，故植物復育的情形較不佳。

(8) 工程 H

位於信義鄉人和村，羅羅格橋往洽石波橋 1 km 處崩塌地工程。水保局的工程序號為 92ES3-486，可參考附錄一的圖 A.6。擋土牆上方的植生復育非常茂密，多禾本科五節芒一類的植物；但側邊的植生沒有很多，仍可明顯見到擋土牆工程。

(9) 工程 I

位於信義鄉人和村，民生路靜和高枝井 7 分 8 旁坡腳穩固工程。此工程共有兩座木格框擋土牆，分別是路旁一座，離道路約 10 m 深處另有一座，水保局工程序號為 92ES3-482。位於路旁之工程右邊還建有混凝土擋土牆。此處工程的植生復育茂密，並有許多蕨類植物生長，屬於較潮濕的地點，詳細狀況可見附錄一的圖 A.7。

(10) 工程 J

位於民生路旁，人倫橋前的工程，附近為檳榔園，此擋土牆工程的植生復育狀況十分良好，植物生長非常茂盛，可參考附錄一的圖 A.8 所示。

(11) 工程 K

位於台 16 線旁的工程。本研究在台 16 線上共調查了 8 座木格框擋土牆。以線道上的民和明隧道為分界，分別在隧道前有 7 座、隧道後有 1 座擋土牆工程。工程 K 即是隧道前第 1 座木格框擋土牆，因此將其編為 1 號。該工程位於彎道上，植生的復育狀況少，多生長在擋土牆的上方，而側邊的植生甚少，並且由附錄一的圖 A.9 也可看出此處屬於較乾燥之區域。

(12) 工程 L

台 16 線上民和明隧道前的第 2 座擋土牆工程，將之編為 2 號。由附錄一中圖 A.10 可看出此處植生較工程 K 更少，幾乎都是在擋土牆上方生長，且多為禾本科植物，而擋土牆的側邊植生復育狀況非常稀少，該處也屬於較乾燥的地點。

(13) 工程 M

台 16 線上民和明隧道前之第 3 座擋土牆工程，編號 3。此處所建的擋土牆共 3 座：靠近路旁有 2 座，草叢中一塊大石後面還有 1 座，可參考附錄一的圖 A.11。此處的植生復育十分茂密，應屬台 16 線上所有木格框擋土牆中植生復育最多的地點。

(14) 工程 N

圖片可參考附錄一的圖 A.12。為台 16 線上民和明隧道前的第 4 座擋土牆工程。位於台 16 線上 22.9 k 處（大灣），將之編為 4 號。工程上方植生復育狀況十分良好，也很茂密；而雖然側邊的植生復育較少，但仍有部分工程範圍側方的植物生長茂密。

(15) 工程 O

台 16 線上民和明隧道前的第 5 座擋土牆工程，編號 5。於其旁另有 1 座混凝土擋土牆工程。由附錄一中的圖 A.13 可見此木格框擋土牆上方的植生很茂密，復育狀況良好，但側邊的植生復育很少；且由土壤等狀況看來，可判斷出此處應是較乾燥的地區。

(16) 工程 P

台 16 線上民和明隧道前的第 6 座木格框擋土牆工程，因此令其編號為 6。在其旁邊同樣另建有 1 座混凝土擋土牆。由附錄一圖 A.14 可見，與大多數木格框擋土牆植生復育狀況相似，在該擋土牆上方的植生復育較完整，側邊較少。但這座擋土牆側邊的植物較工程 O（台 16 線 5 號）稍多，且側邊某些部分的植物生長也十分茂密。

(17) 工程 Q

台 16 線上民和明隧道前的第 7 座木格框擋土牆工程，編號為 7，亦是隧道前最後一座木格框擋土牆。鄰接在隧道旁，且地上有積水，可看出此處環境較為潮濕。同樣在擋土牆上方植生較茂密，而側邊部分雖然植物較少，卻也有幾區塊植生復育狀況佳，但與隧道接觸的那一側植生復育較少。詳細狀況可見附錄一的圖 A.15。

(18) 工程 R

台 16 線上，民和明隧道後的木格框擋土牆工程，編號 8。也是研究中於台 16 線上所調查的最後一座工程壩體。鄰接在隧道後，但擋土牆另一側則緊鄰一座混凝土工程。由附錄一圖 A.16 可見此木格框擋土牆上方的植生復育非常茂密，並且側邊的植生復育亦很多，但在擋土牆的中段及靠近混凝土擋土牆的一小部分卻植物非常稀少。至於造成此種現象的原因，推測應和坡面底下的水文狀況有關。

4.1.1.3 南投地區木格框擋土牆腐朽狀況(一)

前述之 18 座由水保局所建造的木格框擋土牆工程中，本實驗有使用木材腐朽測試器 Pilodyn 調查表面腐朽狀況的工程共有 6 座，分別是工程編號 E、工程 G、工程 H、工程 I、工程 J 及工程 K。其中除了工程 H 是調查左、中、右三部分再平均、以及工程 K 是調查左右兩部分再取平均，其餘皆是選取中段部分進行調查。

將調查的結果作成圖表如下圖 19：

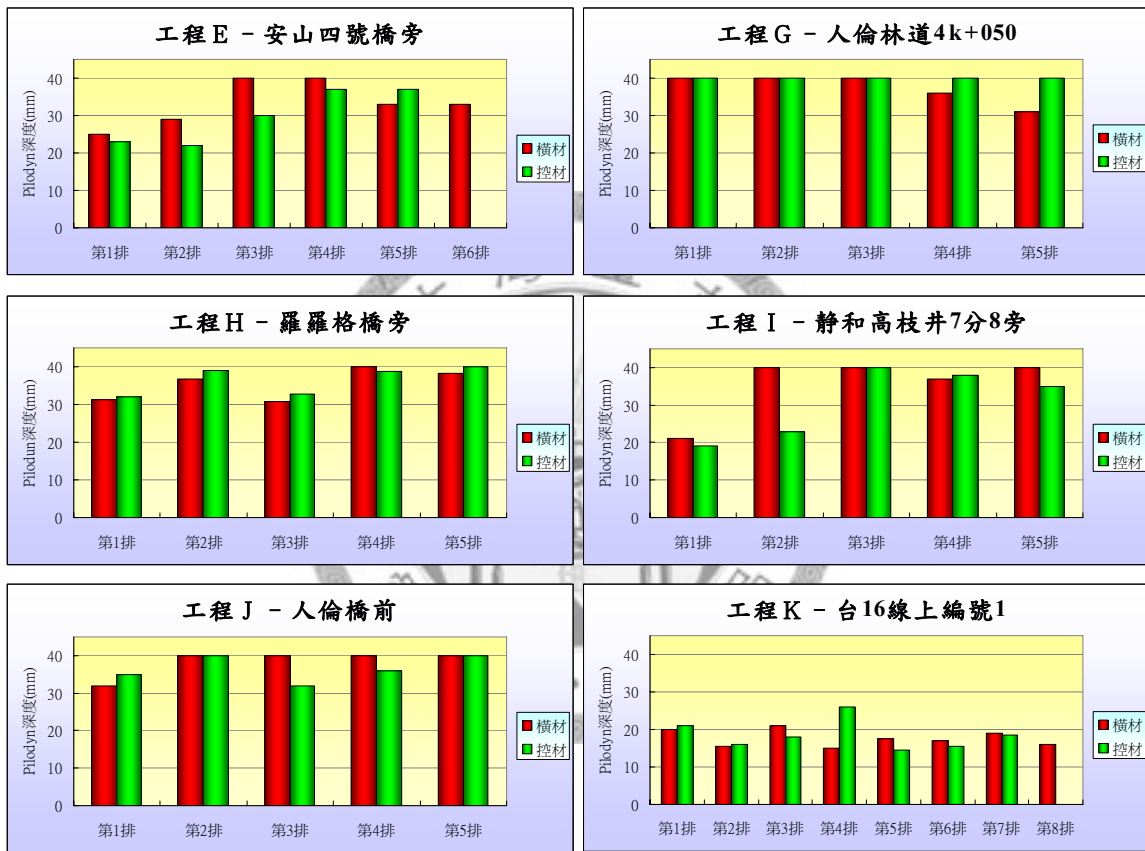


圖 19. 水保局建造之木格框壩體木材腐朽狀況圖(一)

Fig.19 Rottenness of wooden retaining wall structures by SWCB (I)

由圖 19 可見，除了工程 K（即台 16 線上編號 1 之工程）的表面腐朽程度較低以外，大部分地區木材的 Pilodyn 打孔深度值都介於 30 - 40 mm 之間。相較於杉木健全材的 Pilodyn 打孔深度值為 18.15 ± 0.66 mm，能發現所調查工程的 Pilodyn 深度幾乎都比健全材大很多，表示表面腐朽狀況嚴重（Pilodyn 最深僅可鑽孔至 40 mm）。

進一步觀察，可發現圖表顯示出的結果大致上呈現下方材料之 Pilodyn 打孔深度較上方材料深的趨勢。推估原因，可能因為較靠近下方的木材與土壤接觸部分較多，受土壤含水率的影響較深，進而造成靠近下方的木材表面腐朽較嚴重。至於台 16 線上工程 K 腐朽程度較輕微的因素，對照現場調查狀況看來，可發現工程 K 的環境較為乾燥、植生復育少，故工程施作地點應該是影響擋土牆腐朽狀況之主要原因。

但再行深入探討，會發現造成實驗誤差的原因還有很多。除了環境因子以外，工程本身的材料變異就很大；又進行 Pilodyn 試驗的對象為抽樣而得，加上 Pilodyn 只能檢測木材表面腐朽，腐朽最大值僅能以 40 mm 計，若超過 40 mm 也只能當作 40 mm 來處理。加上樣本數少，分析並不算完整，故僅能稍加推測造成此種趨勢的原因。

不過整體情況而言，只要工程仍存在，每一座工程植生復育的情形尚稱良好，但造成復育多寡差異的因素則視當地環境狀況而有所不同，如坡向、有無水流經、植物的種類……等，這些同樣也顯示出環境因素的影響很大。

4.1.1.4 南投地區木格框擋土牆腐朽狀況(二)

為了進行較完整的分析，本實驗另於 2007 年的 8 月 28 日及 2008 年 3 月 7 日挑選原先 18 座擋土牆工程中的四個地點進行較完整之追蹤檢測。由於之前以 Pilodyn 測試時，受限於儀器最多只能打孔至表面下 40 mm，若腐朽深度超過此值則無法有效評估，本次改使用鑽孔抵抗儀進行木材的表面腐朽判定。如此，若是木材腐朽狀況較嚴重，實驗時仍可得知確切的木材表面腐朽深度。

將 2007 年 8 月 28 日於南投測得之橫材鑽孔抵抗數據製成圖表，如圖 20 及 21：

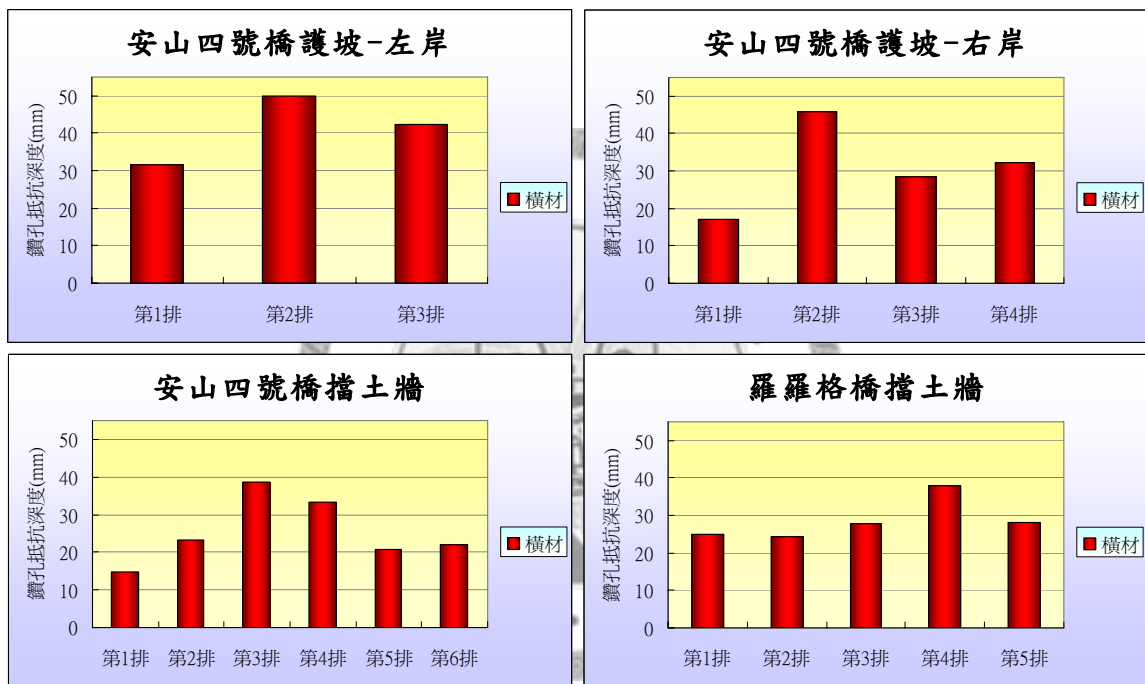


圖 20. 水保局建造之木格框壩體木材腐朽狀況圖(二)

Fig.20 Rottenness of wooden retaining wall structures by SWCB (II)

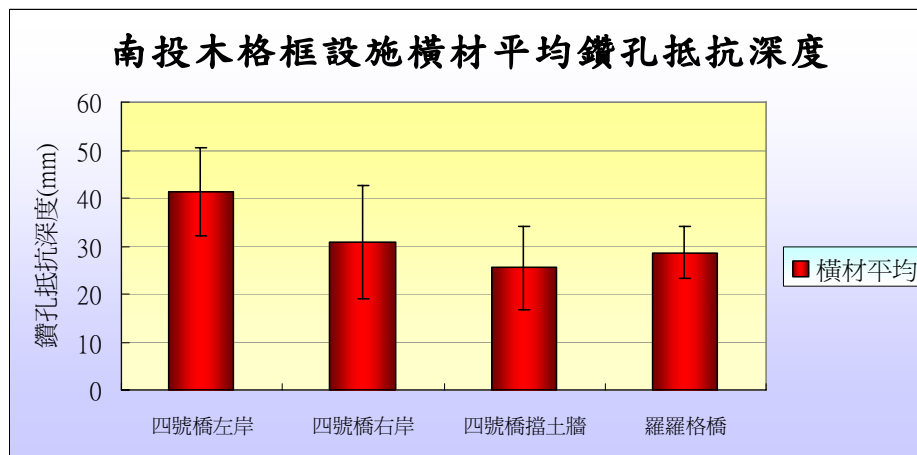


圖 21. 水保局建造之木格框壩體木材平均腐朽狀況圖(一)

Fig.21 Average rottenness of wooden retaining wall structures by SWCB (I)

研究以上數圖，似乎並無觀察到明顯的腐朽趨勢，但可發現大致上都是位於中間的材料腐朽深度較大。並且，將縱座標調整為相同尺寸，可發現安山四號橋左岸的腐朽深度最大。對照擋土牆現場狀況來看，四號橋左岸因為建於溪流旁邊，正好有水流經，應是含水率較高之處，故推測含水率的多寡對於木材的腐朽狀況也有影響。

至於 2008 年 3 月 7 日所做之調查則顯示於圖 22 及圖 23：

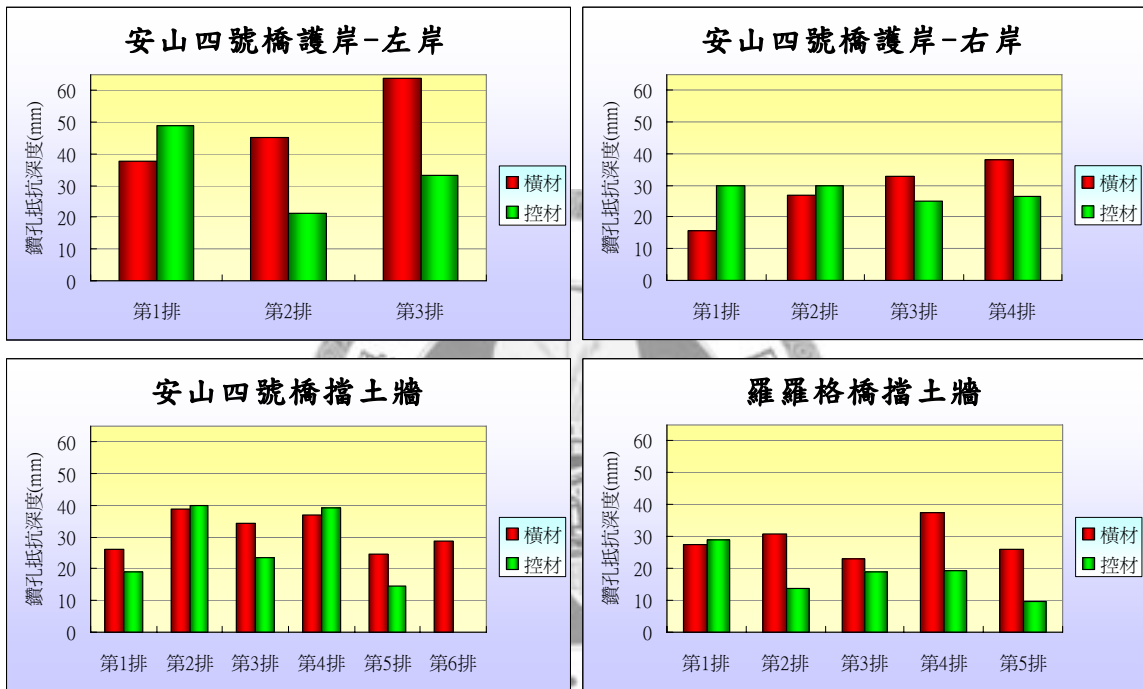


圖 22. 水保局建設之木格框壩體木材腐朽狀況圖(三)

Fig.22 Rottenness of wooden retaining wall structures by SWCB (III)

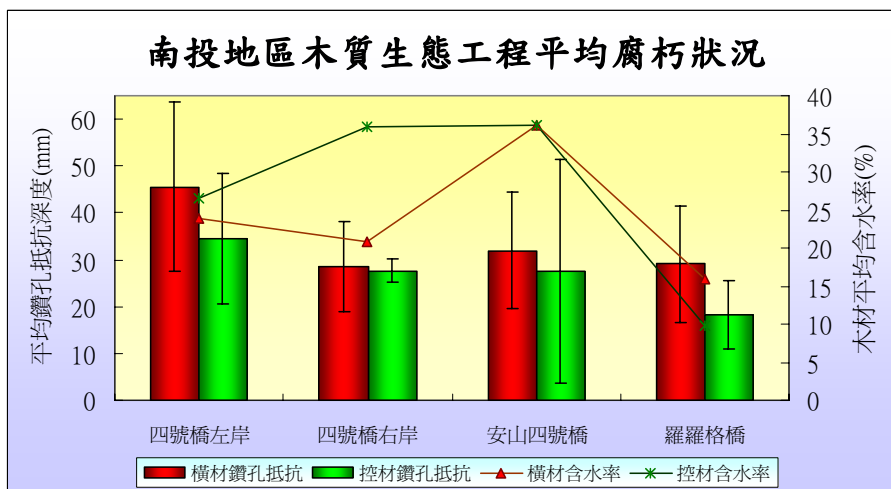


圖 23. 水保局建設之木格框壩體木材平均腐朽狀況圖(二)

Fig.23 Average rottenness of wooden retaining wall structures by SWCB (II)

與前一次的調查結果相較，其實腐朽程度大約維持相似的狀況。此外，由圖 23 可見，控材的鑽孔深度大多較橫材淺，表示控材的木材表面腐朽情況較不嚴重。可能因為鑽取控材時皆是鑽取擋土牆外側部分，木材無直接接觸土面，受土壤含水率的影響較小，但橫材因大約有一半會與土壤接觸，受到土壤含水率及微生物的影響較大，造成橫材的腐朽狀況嚴重，而控材的平均腐朽深度則較淺。



4.1.2 溪頭大學坑木材腐朽程度調查

相較南投地區水保局建造的木格框擋土牆工程而言，位於溪頭大學坑的木質生態工程因為經過去皮、製材等處理，且完工時間亦是最晚，因此表面腐朽狀況都較淺。以 Pilodyn 打孔，數值都可維持在 40 mm 之下，故對於大學坑地區，皆使用 Pilodyn 進行木材表面的腐朽程度測試，不須使用鑽孔抵抗儀進行調查。

(1) 大學坑柳杉節制壩

大學坑節制壩因為橫跨河道兩側，處於直接抵抗水流的位置，經統計分析後發現材料並無明顯的腐朽變化趨勢。但由平均來看，節制壩整體的樁材平均 Pilodyn 深度為 17.1 ± 3.8 mm，而橫材略高，為 18.2 ± 4.7 mm。比起柳杉健全材的 Pilodyn 深度為 17.0 ± 1.3 mm，可以說幾乎沒有發生腐朽狀況。另外，與南投地區的調查結果相較，會發現同樣是橫材的腐朽深度較大。推測原因，可能因為樁材位於壩體較外側部分，而橫材置於內側，會持續與土壤接觸，如此即使當地沒下雨或溪流中無水，橫材仍受土壤含水率的影響較大所致。

(2) 大學坑木質護岸

將大學坑兩側的柳杉護岸調查結果製成圖表（參考後圖 24 及圖 25）。可以發現大致呈現右岸的木材 Pilodyn 鑽孔深度較左岸高，對照含水率的曲線來看，也發現右岸的木材含水率的確相較之下比左岸高，推測是因為地理位置影響。並且，對照現實狀況來看，緊鄰右岸的區域即是一片樹林，左岸的旁邊則為草地，兩處所含存的水量應是樹林較高，因此所處環境亦影響了木材的腐朽狀況。

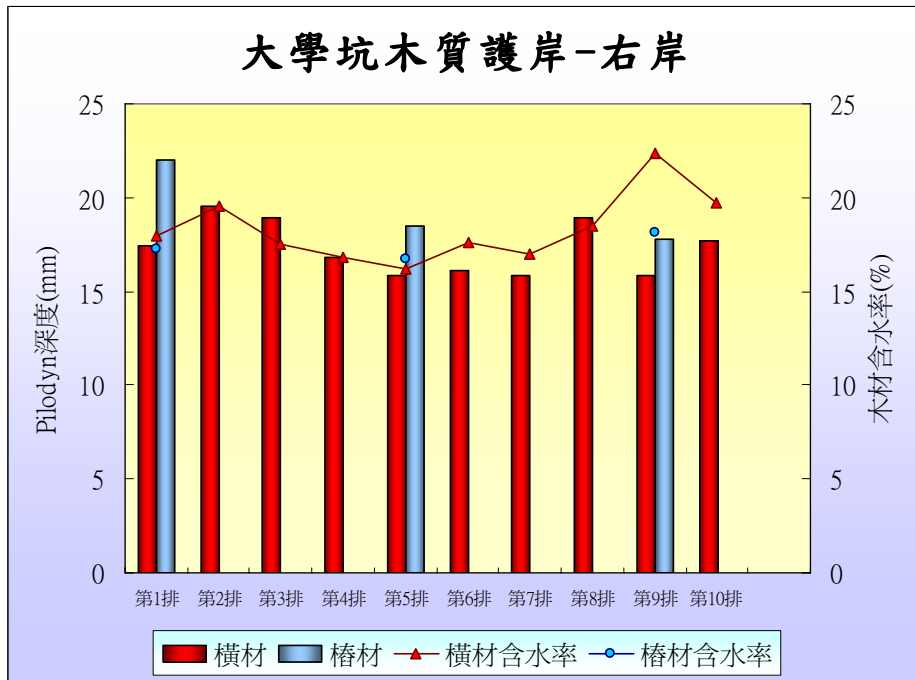


圖 24. 大學坑木質護岸（右岸）之木材腐朽狀況圖
 Fig.24 Rottenness of right revetment bank in University Gully

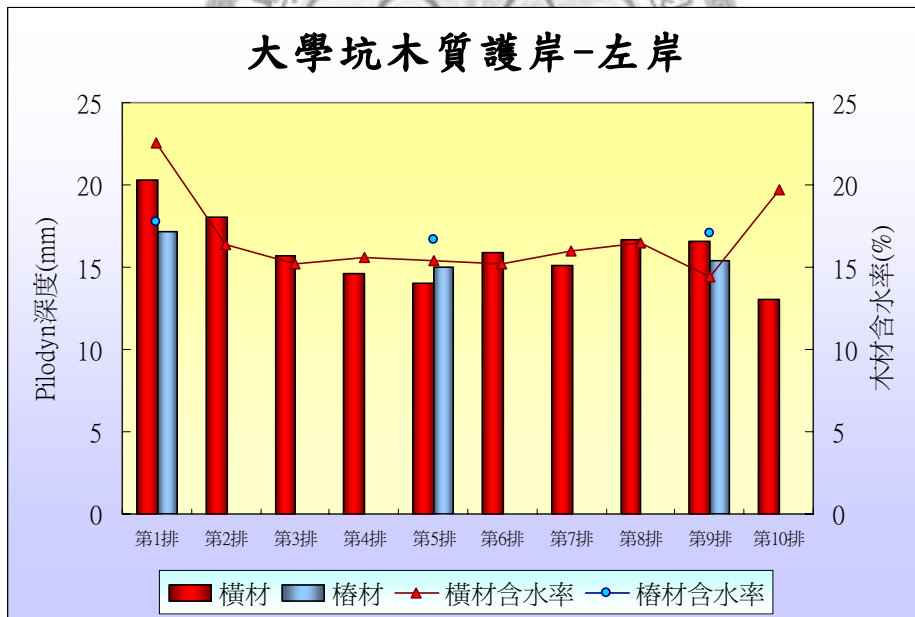


圖 25. 大學坑木質護岸（左岸）木材腐朽狀況圖
 Fig.25 Rottenness of left revetment bank in University Gully

再稍加詳細研究，發現橫材由上至下的 Pilodyn 打孔深度值改變幅度較大，但趨勢不明顯，不過樁材似乎有愈接近上層，打孔深度愈深的趨勢。故特別將樁材的實驗結果再獨立出來另作圖表（見圖 26 及圖 27）。

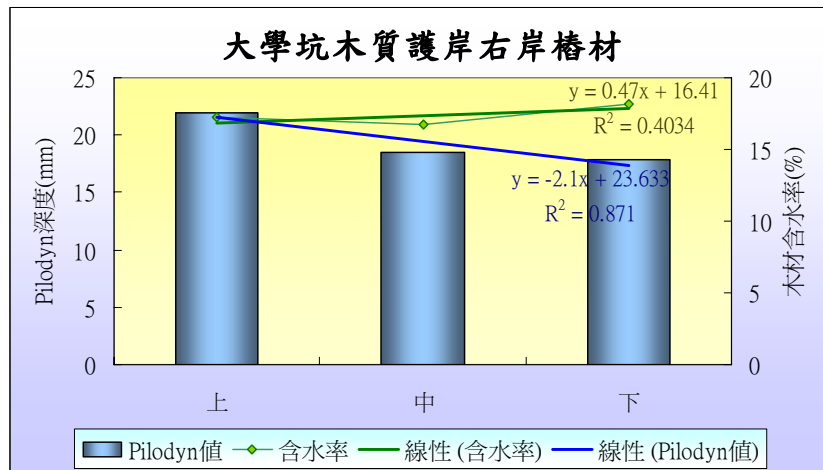


圖 26. 大學坑木質護岸（右岸）樁材木材腐朽狀況圖

Fig.26 Rottenness of piles at right revetment t bank in University Gully

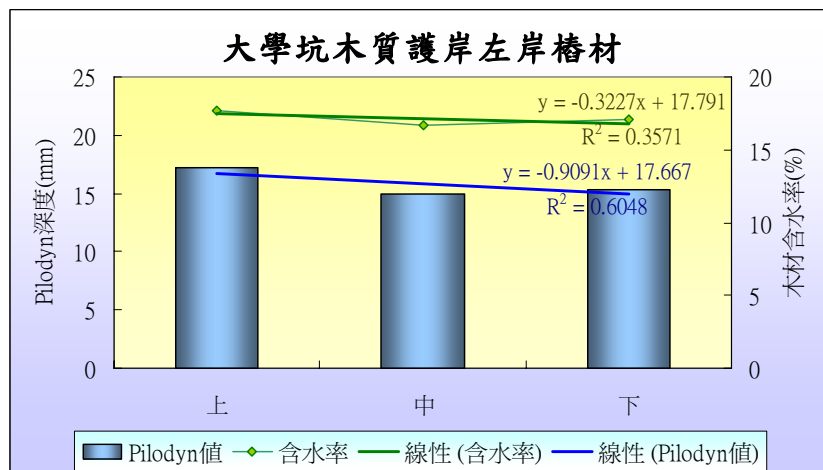


圖 27. 大學坑木質護岸（左岸）樁材木材腐朽狀況圖

Fig.27 Rottenness of piles at left revetment bank in University Gully

從圖 26 及 27 中可發現：的確樁材大致上呈現愈靠近上層，腐朽深度愈大，靠近下層則腐朽深度較淺之趨勢。並且由此 2 圖就可以很明顯看出的確右岸的腐朽深度也較大。

此外，探討木材含水率的多寡是否亦會影響木材的表面腐朽狀況，本實驗對資料進行迴歸（信賴度 95 %）。結果可發現，無論是大學坑護岸的右岸或左岸，樁材的含水率與 Pilodyn 深度值兩者間皆有顯著關係（ p -value < 0.01），尤其右岸達極顯著水準。而由線性趨勢線所推算的公式，如圖 28 所示，都呈現隨含水率上升，木材的 Pilodyn 深度也隨之增加的趨勢。顯示木材的含水率亦影響其表面腐朽狀況。

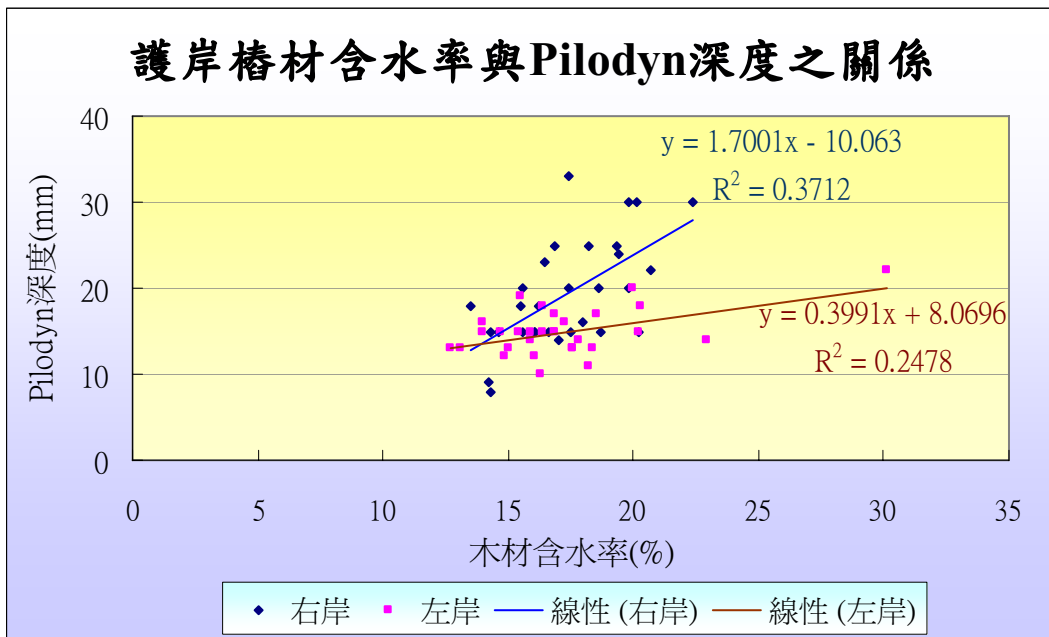


圖 28. 大學坑木格框護岸樁材之含水率與腐朽深度迴歸圖

Fig.28 Regressive relationship between MC and rotten depth of piles in revetments in University Gully

另外，以單因子變異數分析 ($\alpha = 0.05$) 檢測是否左右護岸為同群，結果發現兩側的含水率差異不顯著 ($p = 0.772$)，但 Pilodyn 打孔深度卻達極顯著差異水準 ($p = 0.0073$)。表示對於大學坑兩側護岸，在含水率方面並無明顯差異，可視為同一區；但樁材表面腐朽部分卻兩區有所不同；又由之前所列圖表顯示右岸的樁材 Pilodyn 深度較左岸大，推測可能因為右岸旁邊緊鄰樹林，土壤含水率較高而造成木材的腐朽狀況較嚴重。

4.1.3 宜蘭太平山木材腐朽程度調查

太平山地區的木格框壩體，在建造前經過剝皮、切削等製材作業，以及 O&D 工法處理，並使用 ACQ 藥劑防腐過，材料的腐朽情況不嚴重，使用 Pilodyn 即可測試木材的表面腐朽狀況。本研究先將 2007 年 9 月 28 日於太平山所調查的木格框工程結果，按材料上至下順序排列分析，但卻無明顯的腐朽變化趨勢，因此就各區域的平均狀況進行探討。

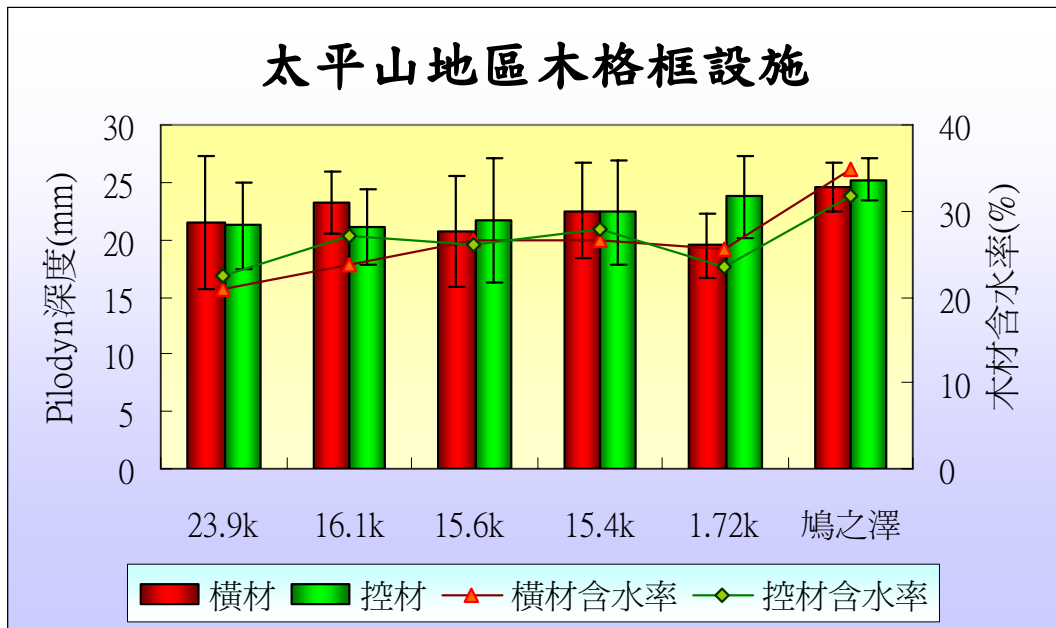


圖 29. 太平山木格框壩體木材表面腐朽狀況圖

Fig.29 Rottenness of wooden retaining wall structures in Tai-Ping Shan

將太平山各地點木格框設施的材料平均狀況製作成圖 29，可以發現太平山地區的木材腐朽狀況都不太嚴重，Pilodyn 深度值大約都介於 20-25 mm 之間。且大致上呈現隨著木材含水率愈高，Pilodyn 深度也愈深的趨勢。但經迴歸分析後，木材含水率與 Pilodyn 深度並無顯著相關，顯示太平山地區木質結構物的含水率對其 Pilodyn 打孔深度的影響不大。

另外，以 SPSS 對資料進行分群，如後表 3 所示，發現太平山 6 個樣區中各區域的 Pilodyn 深度其實沒有差異，顯示這幾區的木材表面腐朽狀況相似；但若探討材料的含水率，則發現以橫材或是全體材料作比較，宜專一線道上的 5 個節制壩

大約可分成兩群，而位於鳩之澤的擋土牆另獨立成為一群。對照現場調查結果，可發現鳩之澤旁邊有溪流流經，是濕度較大的區域，植物生長也相對茂密，因此木材含水率較高，獨立成一區。但若分析各樣區的控材，結果卻顯示這幾個樣區在含水率上至多分為兩群。推究其原因，可能因為鳩之澤當地的環境較潮濕，導致材料的含水率較大，可是因為實驗對控材進行含水率計檢測時是位於木格框外側部分，該處受土壤含水率的影響相對較橫材小，因此所測得之控材含水率數值較低，造成鳩之澤的含水率並不顯示特別高，不至於獨立成一區。儘管以不同方式分析會使結果產生些許差異，但仍可顯示出隨著工程建造地點不同，含水率的多寡亦會有所差異。

表 3. 太平山木格框材料含水率同質性分析表

Table3. The homogenous analysis of wood frame material MC used in Tai-Ping Shan

	宜專 23.9 k	宜專 16.1 k	宜專 15.6 k	宜專 15.4 k	宜專 1.72 k	鳩之澤
總體	21.72±2.98 ^a	25.41±5.31 ^{ab}	26.35±4.54 ^b	27.22±5.00 ^b	24.37±3.90 ^{ab}	33.30±4.90 ^c
橫材	20.88±3.52 ^a	23.71±2.41 ^{ab}	26.70±5.25 ^b	26.61±5.01 ^{ab}	25.43±4.18 ^{ab}	34.94±3.62 ^c
控材	22.56±2.17 ^a	27.10±6.88 ^{ab}	26.03±3.40 ^{ab}	27.83±5.16 ^{ab}	23.46±3.70 ^a	31.66±5.68 ^b

4.2 結構變位監測

本研究共對兩個區域進行木質生態工程設施的結構變位監測，分別是溪頭大學坑的節制壩與護岸、以及宜蘭太平山的四座木格框節制壩工程。將調查地點的基本資料整理如下。

表 4. 變位監測區域基本資料

Table4. The basic information of displacements monitoring sites

調查區域		第 1 區	第 2 區
縣市		南投縣	宜蘭縣
地理位置	鄉鎮	鹿谷鄉	大同鄉
	地點	大學坑	宜專一線道上
木格框形式		節制壩、護岸	節制壩
木格框材料		柳杉、孟宗竹	柳杉
座標位置(m)	TM2 X	227494	299897
	TM2 Y	2618229	2717440
海拔高(m)		1230	483
所屬流域		北勢溪	蘭陽溪
設立年份		2006	2005
設立單位		臺大實驗林管理處	農委會林務局

4.2.1 溪頭大學坑

對於大學坑的木格框結構，本研究分別在 2006 年的 3 月 8 日、7 月 13 日、10 月 30 日及 2007 年的 2 月 14 日跟 6 月 22 日做了 5 次測量。並且為了分析回填於節制壩內岩石的影響，另於柳杉及孟宗竹節制壩的上游邊增加 5 個額外的監測點。下圖 30 及圖 31 分別是大學坑的木格框設施以及監測結果圖。



圖 30. 溪頭大學坑之生態工程

Fig.30 The overview of the ecological engineering in University Gully, Sitou

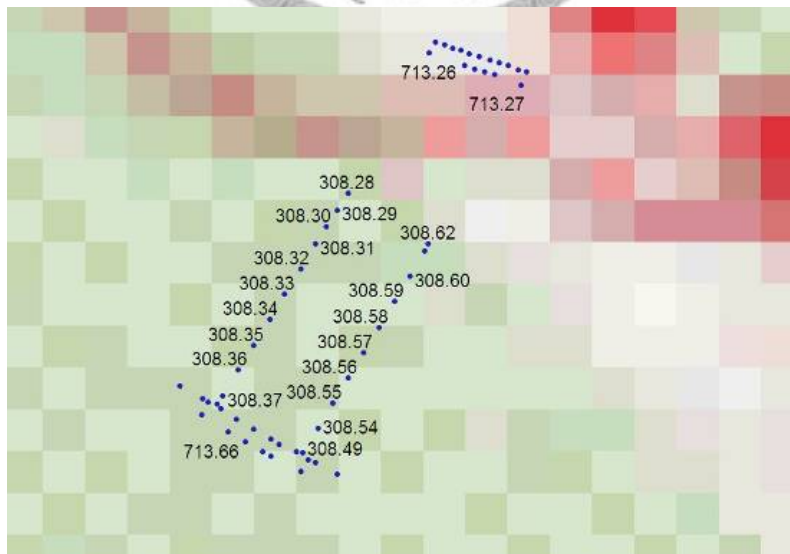


圖 31. 大學坑監測點位置

Fig.31 Locations of monitoring points at University Gully

另外，將大學坑地區木格框結構的位移結果分別顯示於表 5 及圖 32，圖表中第 1、第 2、第 3 及第 4 次分別表示第 2 至 5 次測量與第 1 次測量結果的相對位移。

表 5. 大學坑木質結構物變位量 (m)

Table5. The displacements (m) of wooden structures in University Gully

	水平方向				垂直方向			
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次
護岸左岸	0.023	0.034	0.024	0.031	0.014	-0.006	0.011	0.036
護岸右岸	0.071	0.083	0.085	0.097	0.013	-0.005	-0.009	0.037
孟宗竹樁壩上游	-	0.047	0.034	0.039	-	0.018	0.010	0.032
孟宗竹樁壩下游	0.043	0.107	0.040	0.050	0.043	0.004	0.027	0.053
柳杉節制壩上游	-	0.025	0.010	0.016	-	0.010	0.013	0.035
柳杉節制壩下游	0.062	0.080	0.072	0.081	0.003	-0.016	0.003	0.027
總計	0.050	0.068	0.049	0.058	0.018	-0.002	0.009	0.037

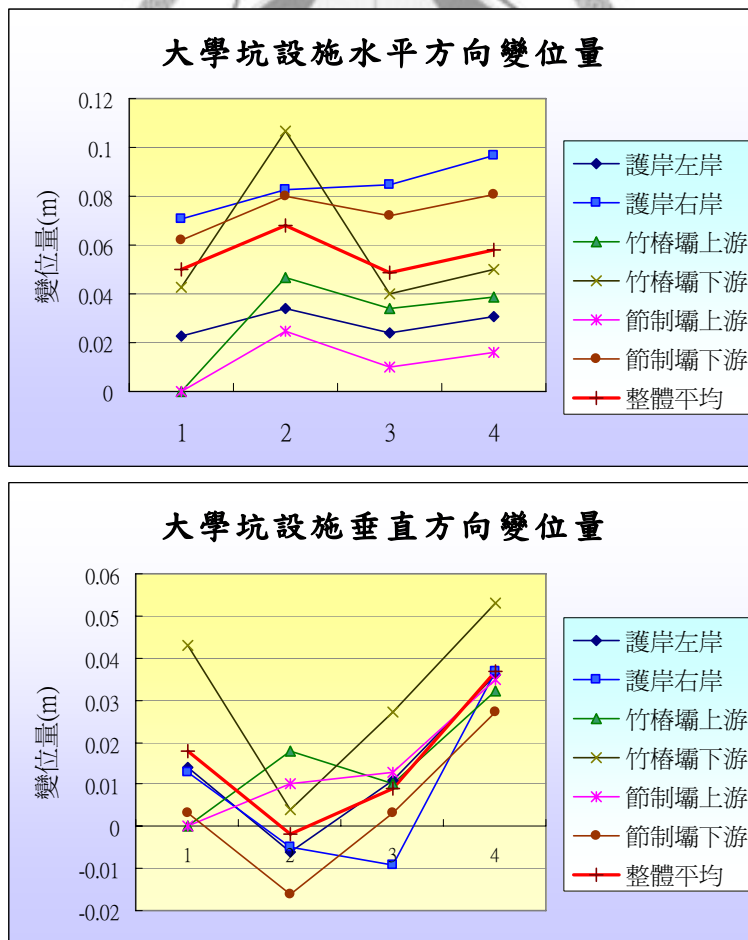


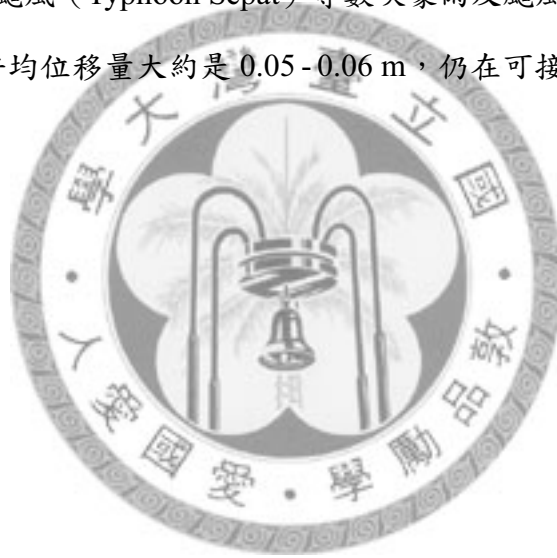
圖 32. 大學坑木質建物接點之平均位移變化量(上圖為水平方向，下圖為垂直方向)
 Fig.32 The average displacement of joints at the wooden structures in University Gully
 (The top is horizontal direction, and the bottom is vertical direction)

由表 5 可以發現，主要變位發生在護岸右岸和柳杉節制壩下游。前者的位移量從最初的 0.071 m 增加至 0.097 m，後者增加的範圍則從 0.062 m 到 0.081 m。

探討護岸右岸會比左岸有較大位移量的原因，可能是之前提到，右岸的後面緊臨著樹林，或許因為林地的土壤壓力，造成右岸的位移量較大。另外，也可能是因為經過的車輛以及遊客的活載重造成護岸左岸位移的反作用力。

而比起節制壩的下游處，在上游處的竹樁壩及柳杉節制壩監測點則有較小之位移量，分別是第四次水平方向的 0.039 m 及 0.016 m。

儘管經過 2006 年的六九水災、7 月 14 日之碧利斯颱風(Typhoon Bilis)及 2007 年 8 月 18 日之聖帕颱風(Typhoon Sepat)等數次豪雨及颱風考驗，但溪頭大學坑木質構造物的整體平均位移量大約是 0.05 -0.06 m，仍在可接受的範圍內。



4.2.2 宜蘭太平山地區

關於宜蘭太平山地區，本研究分別於 2007 年的 9 月 19-20 日、及 11 月 26-27 日對宜專一線道上的 4 個節制壩工程進行過兩次雷射經緯儀測量。將兩次間的變位結果列成表 6 如下：

表 6. 太平山木質結構物變位量平均值 (mm)

Table6. The displacements (mm) of wooden structures in Tai-Ping Shan

	水平方向	垂直方向
宜專一線 1.72 k	0.350	0.817
宜專一線 15.4 k	2.050	1.000
宜專一線 15.6 k	-0.930	0.392
宜專一線 23.9 k	0.483	0.075

由表 6 可以發現，太平山地區的四個木格框節制壩的位移量都非常小，幾乎沒有發生變位。相較於溪頭大學坑地區，太平山木質構造物的結構穩定，受颱風豪雨的影響非常輕微。探究原因，除了因為兩個地區本身的木質構造物設計原本就不同，最重要的因素是因為太平山地區的木格框節制壩都有水泥基礎，使得基地較穩固，也因此上方的木格框生態工程本體相對之下較不易產生變位。

儘管目前的結果顯示溪頭及太平山地區的變位都在可容許範圍內，但是對於這些木質構造物的位移仍應繼續進行後續之調查測量，以得到更多的評估及分析，確保木質材料在生態工程使用上的實用性。

4.3 碳素貯存量計算

依第三章 3.3.2 所列之算式(參考北海道水產林務部木材振興課所做的研究),算出各個所調查工程的材積以及木材取代混凝土之 CO₂ 削減量。將計算的結果製作成表 7。

表 7. 木質工程取代混凝土之 CO₂ 削減量表

Table 7. The reduction of CO₂ while wooden structures replacing RC structures

擋土牆位置	安山四號橋旁	羅羅格橋旁	台 16 線 4 號 (22.9 k 大灣)	台 16 線 1 號
施工方法	傳統框架	傳統框架	傳統框架	傳統框架
使用材料	杉木	杉木	杉木	杉木
設施長(m)	48.5	40.9	80.4	29.0
設施高(m)	2.2	1.6	1.6	2.2
木材材積(m ³)	38.11	17.89	37.34	18.97
混凝土替代之體積(m ³)	47.48	29.12	57.24	28.39
木材 CO ₂ 固定量(kg)	25,177	11,816	24,667	12,533
防腐之 CO ₂ 排放量(kg)	0	0	0	0
混凝土 CO ₂ 排放量(kg)	20,892	12,813	25,188	12,492
木材取代混凝土之 CO ₂ 削減量(kg)	46,069	24,630	49,855	25,025

擋土牆位置	台 16 線 2 號	台 16 線 5 號	台 16 線 6 號	台 16 線 7 號	台 16 線 8 號
施工方法	傳統框架	傳統框架	傳統框架	傳統框架	傳統框架
使用材料	杉木	杉木	杉木	杉木	杉木
設施長(m)	21.5	23.0	64.8	38.0	29.4
設施高(m)	1.7	2.2	2.2	2.05	2.05
木材材積(m ³)	9.69	15.00	41.65	21.49	16.41
混凝土替代之體積(m ³)	16.26	22.52	63.44	34.67	26.82
木材 CO ₂ 固定量(kg)	6,401	9,911	27,513	14,197	10,840
防腐之 CO ₂ 排放量(kg)	0	0	0	0	0
混凝土 CO ₂ 排放量(kg)	7,156	9,907	27,913	15,253	11,801
木材取代混凝土之 CO ₂ 削減量(kg)	13,558	19,818	55,427	29,450	22,641
擋土牆位置	宜專 23.9k	宜專 1.72k	鳩之澤	大學坑 節制壩	大學坑 護岸
施工方法	O&D 工法	O&D 工法	O&D 工法	新工法	新工法
使用材料	柳杉	柳杉	柳杉	柳杉	柳杉
設施長(m)	14.0	9.0	20.0	19.5	25.0
設施高(m)	4.0	2.92	1.5	3.1	2.0
木材材積(m ³)	11.29	5.02	7.84	11.21	22.13
混凝土替代之體積(m ³)	55.68	18.09	13.35	50.78	44.50
木材 CO ₂ 固定量(kg)	7,248	3,223	5,031	7,406	14,621
防腐之 CO ₂ 排放量(kg)	745	331	517	0	0
混凝土 CO ₂ 排放量(kg)	24,499	7,958	5,874	22,344	19,580
木材取代混凝土之 CO ₂ 削減量(kg)	31,002	10,850	10,388	29,750	34,201

由表 7 可知，無論何種施工方法，一旦以木質材料取代混凝土進行工程，皆能達到 CO₂ 削減。若木材有預先進行防腐處理，因防腐過程中會產生 CO₂ 排放，因此最後計算 CO₂ 削減量時，還要再減去因防腐所造成之 CO₂ 排放量。外構設施之所有部位及構材均處於室外，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。但心材之耐久性中庸或低者，在 4 - 7 年後也會腐朽掉，故建議先進行木材防腐處理後再行使用。雖說防腐過程同時也造成 CO₂ 排放，但經過防腐處理的木材卻可以在室外保存更長時間，換言之更能保持長久之碳素固定量，甚而達 30 年左右。比起未經防腐的材料，或許短時間就自然腐朽而又使 CO₂ 回歸大氣中，經過防腐處理的材在碳素固定上能得到更佳的效果。

另外，以一位國人每年約呼出 320 kg 的 CO₂ 來估算，這些工程施作後，各約相當於數十至百餘位不等之國人每年的 CO₂ 呼出量，再加上這些設施的構材均取自人工林的疏伐木，不但可以充分利用，間接也促使森林中的樹木生長更茁壯，因而增加林內的 CO₂ 吸收與固定，達到更大的碳吸存量，一舉數得。因此，使用木質材料取代混凝土來進行構建的施作的確有推廣之價值。

4.4 木構件植生復育狀況調查

生態工程為與環境親和的「近自然工程」，一般竣工不久就漸漸有植物生長，約 3-5 年即可完全被植生覆蓋而回復自然狀況。故約半年調查一次植物的生長情形，至植物生長穩定，觀測生態恢復狀況。下圖 33 至圖 36 則為木質工程建造完成後，植生復育的情況。



圖 33. 植生復育情形(一)

Fig.33 Vegetation restoration (I)



圖 34. 植生復育情形(二)

Fig.34 Vegetation restoration (II)



圖 35. 植生復育情形(三)

Fig.35 Vegetation restoration (III)



圖 36. 植生復育情形(四)

Fig.36 Vegetation restoration (IV)

4.4.1 重要值指數 (IVI) 計算

本實驗對宜蘭縣太平山及南投地區的木質生態工程壩體，調查建造完工後一段時間之植生復育情況。針對每個生態工程皆分別有兩次不同時間的調查，由所計算的重要值指數來看（見附錄二及附錄三），可主觀判定出兩地區共 9 個樣區中的優勢種植物如下（以 IVI 指數大於 10 為標準）。

對於第一次的調查，植生復育後生長之優勢植物為：

- (1) 宜專一線 1.72 k 處節制壩區域：復育的植生中最優勢植物是多花黑麥草，次優勢植物是芒、第三則為白花柳葉箬；
- (2) 宜專一線 15.4 k 的節制壩地區：以多花黑麥草為最優勢種，其次為戟葉蓼，再來為糯米團；
- (3) 宜專一線 15.6 k 處節制壩區域：所復育的最優勢植物是多花黑麥草，次優勢植物則為糯米團，第三是細尾冷水麻；
- (4) 宜專一線 23.9 k 處的節制壩地區：植生復育情況以多花黑麥草為最優勢種，火炭母草次之，第三為苔蘚植物；
- (5) 鳩之澤木格框擋土牆：復育後以短穎馬唐為最優勢植物，其次為昭和草，之後則是假毛蕨；
- (6) 安山四號橋擋土牆：復育的植物以大花咸豐草為最優勢種類，其次為紫花霍香薊；
- (7) 安山四號橋右護岸：所復育的最優勢植物是葛藤，次優勢植物則為大花咸豐草；
- (8) 羅羅格橋擋土牆：所復育的最優勢植物是五節芒，次優勢植物則為葛藤，第三是九芎，第四則是小白花鬼針草；
- (9) 台 16 線 22.9 k 大灣擋土牆：植生復育後最優勢植物為小白花鬼針草，第二則是小花蔓澤蘭。

而將第一次調查的植生復育結果合併分析，可知太平山地區的幾個木格框壩

體的植物復育情形，以多花黑麥草的 IVI 指數達 17.14 為最優勢植物，第二是短穎馬唐，IVI 指數為 10.21，第三則是糯米團，但 IVI 指數不及 10，僅 5.71。至於南投地區的生態工程植物復育情形，則以大花咸豐草為最優勢的植物，IVI 指數達 12.48，其次是紫花霍香薊，但 IVI 指數未達 10，僅 9.61，至於第三優勢種類則是小花蔓澤蘭，IVI 指數為 6.88。

而對於第二次的植生調查結果，將優勢植物列述如下：

- (1) 宜專一線 1.72 k 處節制壩區域：復育的植生中最優勢植物是細尾冷水麻，次優勢植物是棕葉狗尾草、再來為芒以及闊葉樓梯草；
- (2) 宜專一線 15.4 k 的節制壩地區：以多花黑麥草為最優勢種，其次為戟葉蓼及細尾冷水麻；
- (3) 宜專一線 15.6 k 處節制壩區域：所復育的最優勢植物是多花黑麥草，次優勢植物則為細尾冷水麻，再來是火炭母草及糯米團；
- (4) 宜專一線 23.9 k 處的節制壩地區：植生復育情況以多花黑麥草為最優勢種，而苔蘚植物次之；
- (5) 鳩之澤木格框擋土牆：植生復育狀況則以瓦氏鳳尾蕨為最優勢植物；
- (6) 安山四號橋擋土牆：所復育的最優勢植物是小白花鬼針草，次優勢植物則為五節芒，再來是葛藤；
- (7) 安山四號橋右護岸：以葛藤為所復育之最優勢植物，次優勢物種則為非洲鳳仙花，第三是木賊；
- (8) 羅羅格橋擋土牆：所復育之最優勢植物是五節芒，次優勢植物則為小白花鬼針草，再來是葛藤；
- (9) 台 16 線 22.9 k 大灣擋土牆：復育後的最優勢植物是小白花鬼針草，小花蔓澤蘭次之，第三則是水竹葉。

將樣區資料合併統整，可知第二次植生調查時，太平山地區的幾個木格框壩體的植物復育情形，以細尾冷水麻的 IVI 指數是 12.23 為最優勢的植物，其次是多

花黑麥草，第三則是芒，但後兩種的 IVI 指數分別為 9.74 及 5.07，皆未達 10。而南投地區幾個木質生態工程的植物復育情形，則以小白花鬼針草為最優勢植物，IVI 指數是 19.77，其次是 IVI 指數為 13.9 的五節芒，第三則是葛藤，但其 IVI 指數是 9.96，尚未達 10。

將兩次的調查結果互相比較，會發現隨著時間的改變，各地區的優勢植物種類亦有所不同，表示植物的生長狀況仍受環境影響。較早調查時所判定的優勢種，性質上應較屬於先驅植物，需要較大量的光照方能大量生長；但待植生漸漸茂密後，轉而變成屬耐陰植物較適宜的環境，自然優勢種也隨之改變。並且，由附錄二及附錄三所列的 IVI 指數表，會發現第二次調查時的植物平均而言 IVI 指數都較低，較少數值特別大者，表示植物生長的狀況比較平均，因此相對而言不會顯示特別明顯的優勢物種。此亦表示當地的植物生長狀況漸趨穩定。



4.4.2 總樣區資料分析

4.4.2.1 矩陣群團分析 (Cluster Analysis)

對於宜蘭太平山及南投地區，行植生調查的區域分別為 5 樣區及 4 樣區，並且各有兩次針對同一地點進行調查，以瞭解是否隨著時間演進，植物復育狀況會有所不同。首先，將所有調查的結果，以 PC-ORD 軟體進行群團分析，便於瞭解植群的分布狀況。

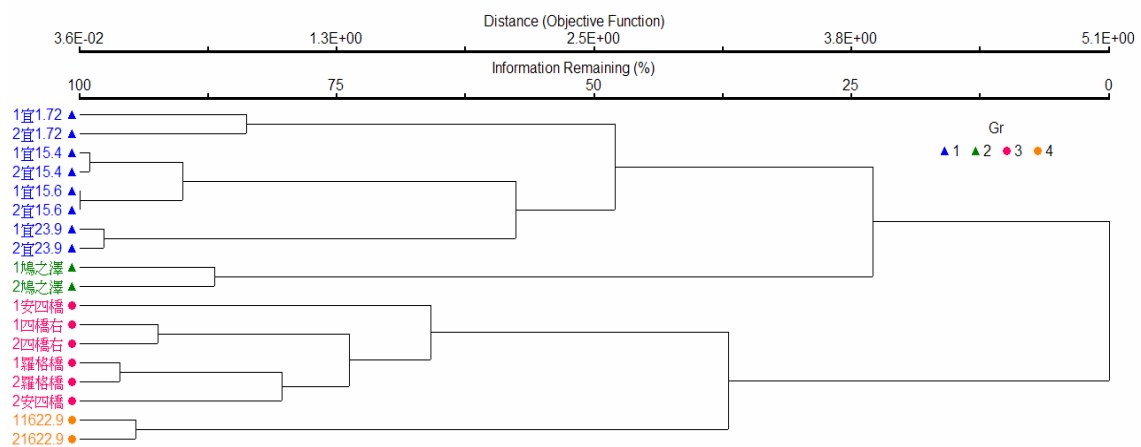


圖 37. 總樣區群團分析結果圖

Fig.37 Cluster analysis of all experimental sites

將整體的群團分析結果列成圖 37，可以明顯發現太平山及南投地區的植生復育狀況差異最大，顯示確實兩地點的植物生長狀況不相同，表示地理因素的確可能造成兩地的環境因子不同，進而使得植物復育狀況也不一樣。

4.4.2.2 降趨對應分析 (DCA)

對全體的植生調查結果進行降趨對應分析 (Detrended Correspondence Analysis, DCA)，結果可導出兩個軸，如圖 37 所示。兩軸代表植群的變異方向，並且可互相比較，以瞭解其重要性以及解釋變異的能力。從圖上可看到第一軸 (橫軸) 的長度大於第二軸 (縱軸)，表示植群之變異能力遞減，可知第一軸是代表植群變異的主要方向。

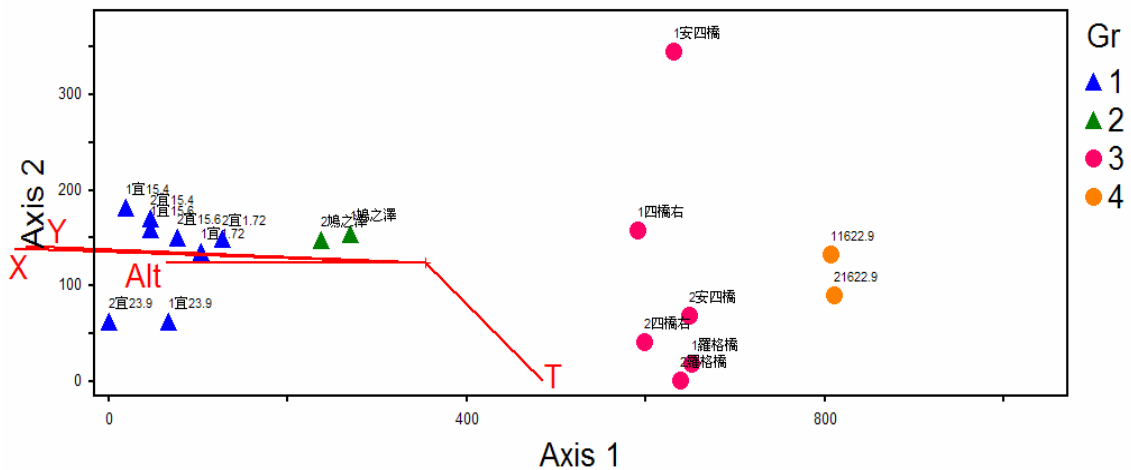


圖 38. 各樣區在分布序列第一軸及第二軸平面之分布圖

Fig.38 The DCA of all sites

由圖 38，可以發現植物的分布狀況明顯分為兩群，並且針對每個樣區而言，能發現第二次調查的結果都比第一次分布在較下方，表示時間的確也是造成植物生長情形不同的影響因子，但或許因為植物復育時間不夠長，時間的影響因子仍遠不及地理因素的影響。

另外，可以發現 X、Y 座標及海拔高這三個因子幾乎與第一軸（主要變異軸）平行，表示這三項因子是造成變異的主要因素，尤其經緯座標的兩變異軸最長，代表是造成變異最大之影響因子。但就實際狀況而言，往往經緯座標反映的意義是地理環境不同，像是地形、溫溼度、海拔、土壤類型……等，因而造成因座標位置的不同，使得不同地區的植物生長表現不一樣，但造成實際差異的原因卻非座標本身，而是其他因素。故依照本實驗結果，應屬海拔高是造成變異的最大因子，但可能有還更大的因素沒有被實際反應於圖中。

不過，由圖 38 仍可看出，X、Y 座標及海拔高皆與第一軸呈負相關，表示分布在圖中左方的區域其地理位置較靠東北方，海拔亦較高。對照現實而言，的確分布於圖左方的地區位於宜蘭太平山；而右方的區域分布於南投，因此圖上的變異因子也符合實際的地理狀況。

4.4.3 太平山樣區資料分析

4.4.3.1 矩陣群團分析 (Cluster Analysis)

由 4.4.2 的分析結果，已知太平山地區及南投地區的植生可分兩群，因此以下即將兩地區的植生狀況分開討論。將太平山地區的植物復育之群團分析結果列於後 (參考圖 39)，可發現大致上能將這些樣區分為四群。並且調查時間對於植群分化的影響不大，即使分為兩次調查，同一地區的植物仍可分成同一群。表示時間的影響力對植群分化仍屬輕微，還不足以造成植物生長狀況不同。而由圖 39 中可見宜專一線 15.4 k 及 15.6 k 的植生狀況很快就能歸化為同一群，幾乎沒有差異。對照現場情況來看，發現兩地點不但地理位置接近，連竣工時間、調查時間都相同，自然也造成該二處的植生復育狀況相似。

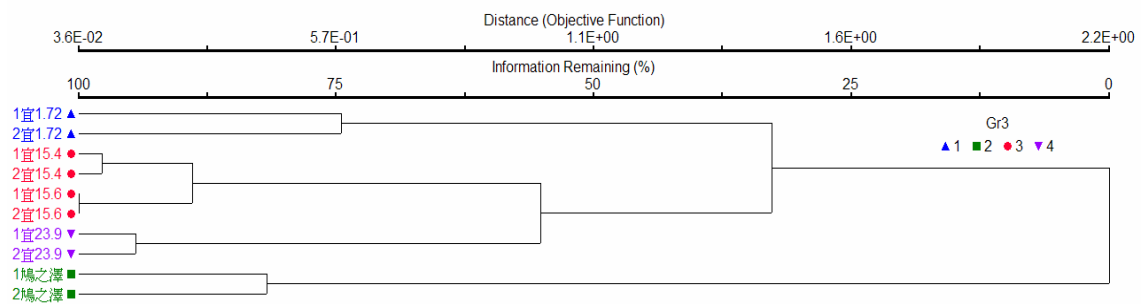


圖 39. 太平山樣區群團分析結果圖

Fig.39 Cluster analysis of all sites in Tai-Ping Shan

4.4.3.2 降趨對應分析 (DCA)

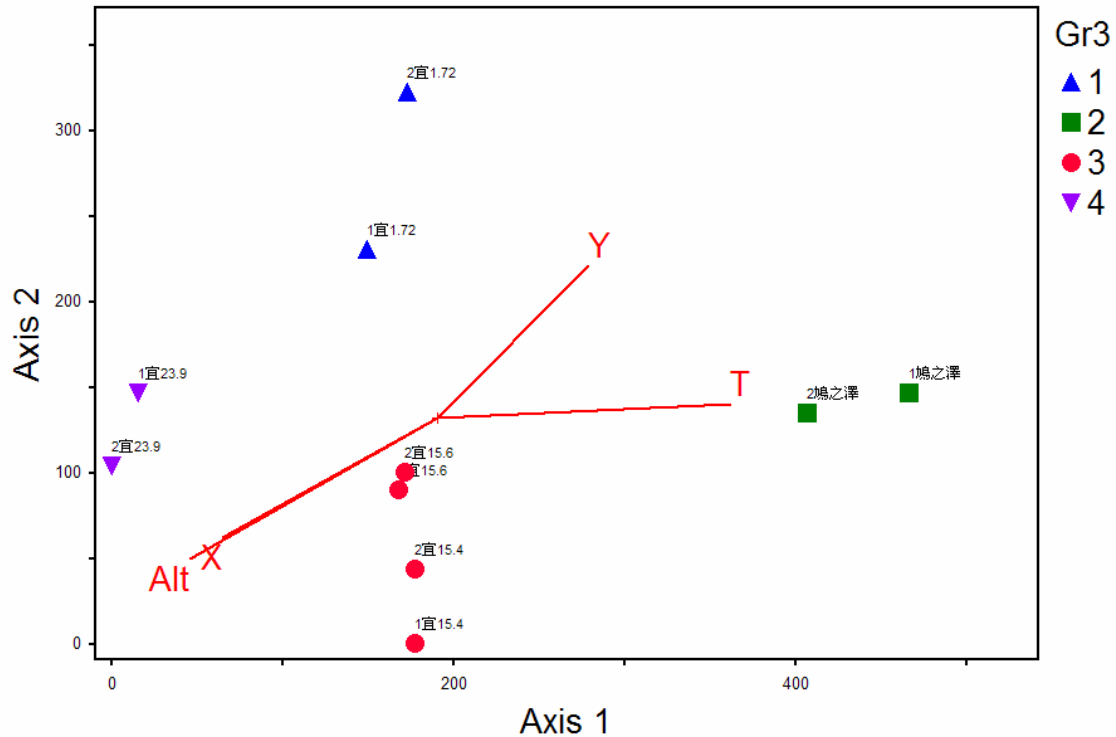


圖 40. 太平山樣區在分布序列第一軸及第二軸平面之分布圖

Fig.40 The DCA of all sites in Tai-Ping Shan

另外，進行降趨對應分析 (DCA)，如上圖 40。可發現時間的影響因子相對較明顯，並且也近於平行第一軸，表示在圖中分布愈靠右邊，建造完成至調查的時間愈長，靠左則反之。對照實際狀況，確實鳩之澤擋土牆是經過時間最長，而宜專一線 23.9k 節制壩則為最短者。另一明顯之影響因子則為海拔高，在第一軸是愈往左方、在第二軸則是愈往下方的區域海拔較高，對照現況亦符合實際情形，也因此可見宜專一線 15.4k 及 15.6k 分布最接近。另外從圖中又可觀察到海拔高與經度呈正相關，與緯度負相關，表示愈往東方及南方，海拔高度會較高，這可能也顯示了山區道路的開發方向。

4.4.4 南投樣區資料分析

4.4.4.1 矩陣群團分析 (Cluster Analysis)

最後，對南投地區的植生調查結果進行群團分析（可參考圖 41），由圖亦大致能將南投地區的木質生態工程之植生復育情況分群為四區。由圖 41 顯示，概略而論，時間因子仍不足以造成植群的變異或混合，兩次調查間，大部分地區是沒有明顯差異的。唯安山四號橋是一特殊狀況，第一次的調查結果可將之獨立成一群，但第二次的調查結果卻與羅羅格橋相似，分成同一群。對照現實狀況而言，會發現因為安山四號橋擋土牆的第一次調查時間距離其竣工僅 18 個月，是經過時間最長者，而其他地區第一次植生調查距完工時間至少都達 42 個月以上。如此可能因為安山四號橋的第一次植生調查時植物生長仍稀少、不穩定，使其植群與其他地點有明顯差異。但至第二次調查時，因為經過時間已達 33 個月，植物生長已稍達穩定階段，因此植群與其他地區會比較相似。至於其生長狀況是與羅羅格橋較同類型而非與地理位置較接近的安山四號橋右岸擋土牆相近，推測原因是因為四號橋右岸旁有水流經，溼度較高，使得植群類型會生長較多喜高溼度之植物，但四號橋擋土牆的水分較低，較不適合相同的植物生長，故反而四號橋擋土牆的植生會與羅羅格橋旁擋土牆的植生較類似。不過，因為行植生調查時並無同時檢測如含水率等其他因素，故尚無法進行確實原因的判斷。

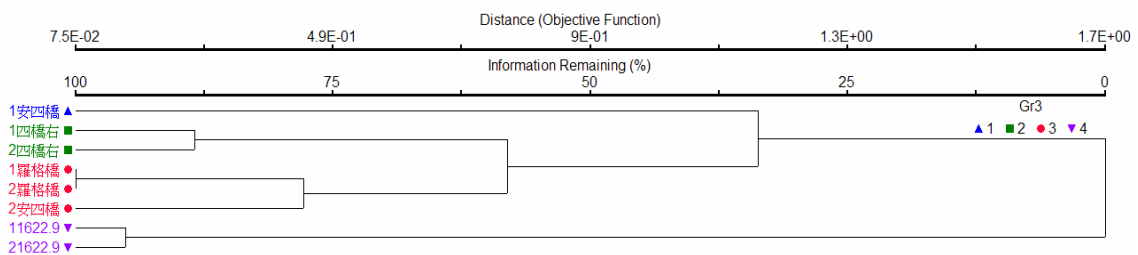


圖 41. 南投樣區群團分析結果圖

Fig.41 Cluster analysis of all sites in Nantou County

4.4.4.2 降趨對應分析 (DCA)

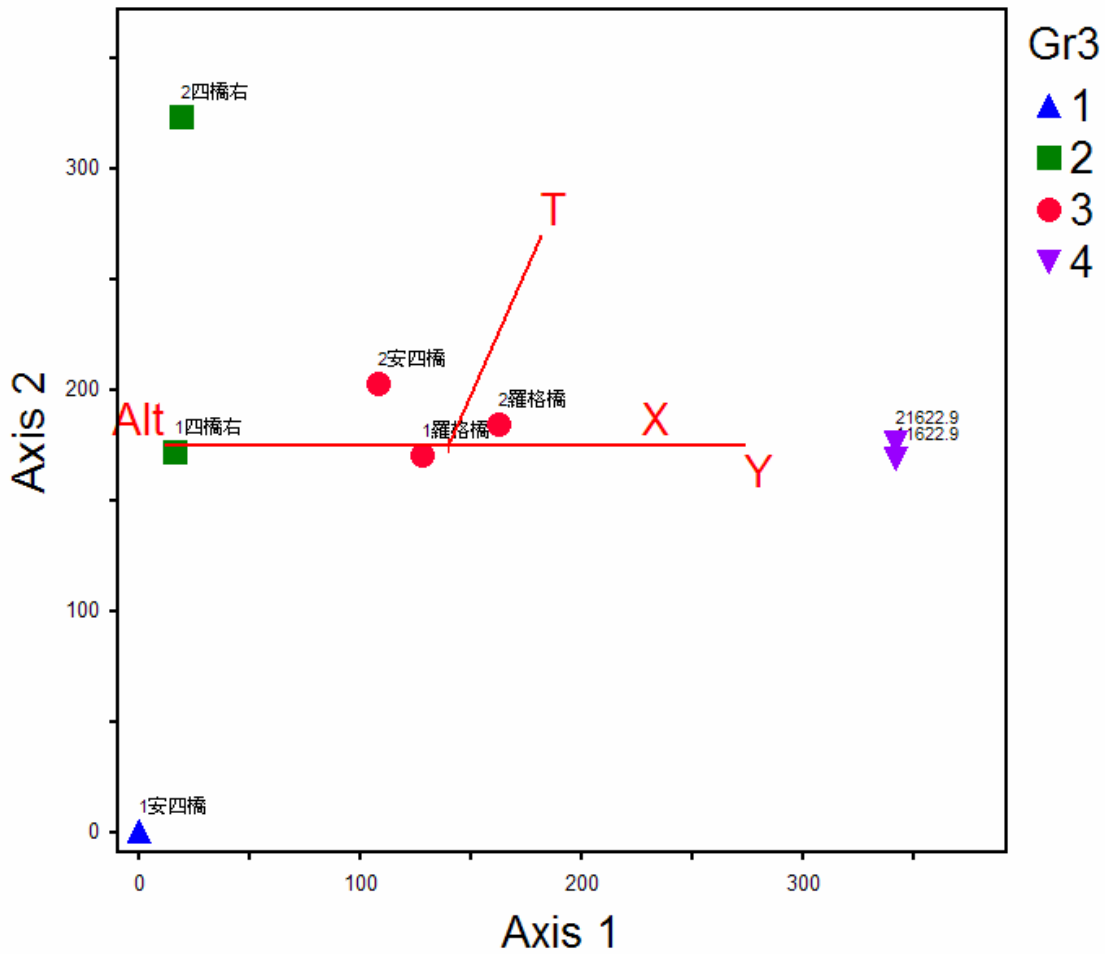


圖 42. 南投樣區在分布序列第一軸及第二軸平面之分布圖

Fig.42 The DCA of all sites in Nantou County

另外，對南投地區四個植生調查樣區行降趨對應分析，如上圖 42，發現 X、Y 座標重疊，並與海拔高呈負相關，且此三因子皆平行第一軸，表示主要變異方向是地理位置及海拔高度。並且愈靠西南方向，海拔愈高。但又可以發現另有一影響因子是時間，此亦將安山四號橋之第一次調查結果獨立成一群。對照現實狀況，上述情形都可得到相對應的解釋。不過，其他仍有很多可能的影響因子，如溫溼度、坡向、地形、土壤類型……等，但因調查時沒有列入檢測範圍，故影響狀況無法顯示在圖表上。

第五章 結論

近年來，隨著環境保護意識的抬頭，大眾愈來愈重視生態保育的觀念，CO₂ 增加或景觀維護等環境問題已成為當前重要且緊急之課題。因此，對於土木構造物，除了有強度上的考量外，更開始重視環境上的評估。本研究裡共調查了 24 座建造於南投地區及 6 座建造在宜蘭太平山地區之室外木質生態工程結構物，針對材料的腐朽狀況、變位量、碳素貯存量及植生復育情況進行調查與分析。

由調查結果可發現，木材的腐朽狀況會受環境影響，當木材置於溼度較高、或是持續接觸土壤的地區，往往材料的腐朽情況較嚴重。但事前的製材作業也同時強烈影響是否造成木材腐朽。研究結果發現，南投地區由水保局建造的生態工程，因為木材都未先經製材作業，相較宜蘭太平山或是溪頭大學坑地區有先經過製材作業之生態工程，材料的腐朽狀況都嚴重許多。因此材料在利用之前，若先經切削、統一尺寸之處理，較不容易有嚴重的腐朽情況發生；對於利用木質材料進行工程，本研究建議在進行工程建造前須對木材進行製材及防腐等前處理。若無預算或前處理之計畫，至少也須將木材去皮，方可使材料在使用上能更耐朽、維持強度更久。

另外，對結構物進行位移量的調查，能發現這些木質生態工程結構物雖然經過不少颱風及豪雨等的考驗，但位移狀況並不嚴重。大學坑的平均最大水平位移為第三次調查之 0.0658 m，垂直位移則是第四次調查的 0.037 m；太平山地區的最大水平及垂直位移發生於宜專一線 15.4 k，分別是 2.05 mm 及 1 mm，皆在可接受的範圍內。表示這些生態工程具相當之穩定性，且實際利用上，更具有明確數據，得以讓使用者安心。不過，就調查結果而言，建議不要僅單純使用木材來建造生態工程壩體，而是在建設前，於最底下先設立混凝土基礎，而後再於其上構建生態工程。如此，可確保該處的工程能夠處於較穩定的狀況，並且同時能兼具植生復育、碳吸存以及美觀等優點。

在研究中也對各個木質生態工程的碳素貯存量進行探討。結果發現，一旦使

用木質材料建造生態工程，必定能固定 CO₂ 於其中，並且若取代混凝土工程，會發現明顯的 CO₂ 削減效果。以工程所使用的木材材積與相對應體積之混凝土工程比較，結果得到最大的 CO₂ 削減量發生在台 16 線編號 6 號之擋土牆，削減量達 55,427 kg，即使最少的鳩之澤擋土牆亦有 10,388 kg 之 CO₂ 削減量。雖然計算時對於節制壩的狀況是以同體積之實心混凝土工程來比較，可能高估了木質生態工程之 CO₂ 削減能力（因混凝土工程所需厚度較小），但由計算式及整體的實驗結果，仍能確知使用木質材料取代混凝土工程可得到 CO₂ 削減效果。此結果對於京都議定書要求之 CO₂ 減量無疑是良好且積極的作法。而因為一般木質材料長時間處於室外，遭受天候劣化，易使材料腐朽而使 CO₂ 又回歸大氣。因此，材料在使用前要先經過防腐處理，如此腐朽狀況較不嚴重，且可將 CO₂ 貯存於其中更長的時間。

本研究最後也對木質生態工程結構物進行植生調查。由結果可知木質材料在生態學工作上可行的且意義重大。這些生態工程建造一段時間後，皆有植物復育狀況，比起其他建築材料，木構造建物對於植被的復育的確有正面且顯著的效果。儘管每階段的植物復育情形並不完全相同，但只要只用木質材料進行生態工程，都能發現利於植物生長與復育。植生的復育狀況評估方法，研究中是以重要值指數 (IVI) 來判斷各樣區內的優勢植物。另外，加上 PC-ORD 程式分析，可發現南投及宜蘭地區之樣區內復育的植群狀況並不相同，顯示此二地區的環境能造成不同的植群相。又宜蘭太平山五樣區及南投的四樣區本身皆又可分為四類，表示即使位於相近區域，但隨著各地點之地理因素差異，或植生復育時間的長短不同，植物的生長狀況也會不一樣。但儘管植群生長狀況有異，不過就結果而言，都明顯可看出這些木結構設施在建造完成後能有豐富的植物復育情形，對生態環境的改善確實有正面之功效，值得信賴並予以推廣。

歸納而言，本研究中除了確定木質材料有碳吸存、植生復育等優點，另外也能得知如何使材料在使用上更為耐久，並也知道這些生態工程具有相當之穩定性，得以禁得起強颶及豪雨考驗。但因這些工程多是 1999 年集集大地震及 2001

年納莉及桃芝颱風引發的土石流侵襲之災後復建工程，自竣工至調查的時間仍屬短暫，故仍須繼續進行調查以及後續之討論分析，方能使研究結果更完備，讓民眾在利用上更能信任與接受。



參考文獻

- 王立志 (1987) 臺灣北部烏來地區天然植群之多變數分析，台灣大學森林學研究所碩士論文，82 頁。
- 王松永 (1999) 促進疏伐中小徑木之用途開發，人工林生態系永續經營與利用研討會論文集，中華木質構造建築協會，p.65-81。
- 王松永 (2001) 木質材料對二氧化碳固存的環境效應，木質建築 5，中華木質構造建築協會，p.158-169。
- 王松永 (2002) 綠建築與優質居家環境之健康建材，木質建築 6，中華木質構造建築協會，p.85-98。
- 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，中華木質構造建築協會，p.99-114。
- 王松永 (2003) 木質材料利用對二氧化碳涵存之效應，木質建築 7，中華木質構造建築協會，p.106-109。
- 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.230-235。行政院農委會林務局、國立台灣大學森林環境暨資源學系主辦，2005 年 10 月 19 日 - 20 日，台北。
- 王松永、洪崇彬、郭宗欽 (2005) 疏伐木在生態工法節制壩之建造，中華木質構造建築協會，木質建築 9，p.48-79。
- 行政院農業委員會 (1992) 水土保持手冊植生篇，p.47-49
- 林振榮、蔡明哲、王松永 (2005) 建築物木質構件保存的非破壞性評估法林業研究專訊 Vol.12 No.5
- 邱創益、陳慶雄、謝杉舟 (1993) 水庫裸露邊坡植生穩定之研究(一)，行政院國家科學委員會防災科技研究報告 82-05 號，國立屏東技術學院，p.8-9。
- 邱創益、葉慶龍、楊勝任 (1988) 新中橫公路沿線植生演進之調查，行政院國家科

- 學委員會防災科技研究報告 77-10 號，國立屏東農專水土保持科，p.6-10。
- 吳輝龍 (2004) 台日治山防災推動與展望，2004 台日治山防洪與環境生態研討會論文集，p.8-9。行政院農委會水保局、國立中興大學主辦，2004 年 7 月 6 日，台中。
- 陳明義、呂金城 (1990) 覆蓋植物調查技術，水土保持植生材料及其應用專題研討會論文集，p.1-4。國立台灣大學地理系、國立中興大學水土保持系合辦，1990 年 2 月 6 日，台中。
- 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，中華林學會，p.9-16。
- 教學研究組 (2005) 國立台灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處 94 年度試驗研究計劃書，p.42-49。
- 張勵婉 (2002) 烏來事業區植群及珍貴稀有植物調查研究，台灣大學森林學研究所碩士論文，81 頁。
- 塗三賢、王松永 (2005) 木質建築物在 CO₂ 減量與碳貯存之貢獻，森林經營對二氧化碳吸存之貢獻研討會論文集，p.258。行政院農委會林務局、國立台灣大學森林環境暨資源學系主辦，2005 年 10 月 19 日-20 日，台北。
- 楊正釗 (1993) 台北縣烏來鄉桶后溪濱溪植群之研究，台灣大學森林學研究所碩士論文，77 頁。
- 謝長富、楊國禎、謝宗欣、林淑梅 (1990) 中橫公路沿線植生演進之調查(二)，行政院國家科學委員會防災科技研究報告 78-63 號，國立台灣大學植物學系。
- 森 滿範 (2002) 木製土木構造物の耐朽性を予測する，林産試だより，pp.3。
- 鈴木時夫 (1938) 台灣北部桶後溪地域の照葉喬木林を形成する群叢に就へ (豫報) 生態學研究 4(4):297-314。
- Hung C.P., Wang S.Y., Lin F.C. (2006) 木質材料應用於生態工程中的二氧化碳減量與碳涵存貢獻，2006 International Symposium on Ecological Engineering.

p.293-298. Public Construction Commission, Executive Yuan, Taipei.

Lin Hsin-Huey, Chang Chun-Yen, (2005) Landscape Ecology and Vegetation Engineering. 324pp. Ming Wen Press Ltd, Taipei. (in Chinese)

Lin Jen-Yang, Chen Yen-Chang, Wu Min-Shen, (2004) Stream Ecological Engineering Methods. 376pp. Ming Wen Press Ltd, Taipei. (in Chinese)

Wang S.Y., (2002) The strategy for prevention of ort for historical building and wooden structures in Taiwan. Wooden Structure (6):99-164, Chinese Wood Structure Association. (in Chinese)

Wang S.Y., Hung C.P., Lin F.C., Chan C.P., Tseng Y.S., (2005) Application of Eco-technical Retaining Wall by using Thinned Logs, Taiwan-Japan Joint Conference on Watershed Disaster Prevention and Vegetation Engineering, Taichung.

Wei Chiang, Lin Far-Ching, Lee Chin-Ling, Tseng Yu-San, Chien Yi-Ju, (2008) Assessment and Monitoring of Wooden Material Applied on Ecological Technique in Taiwan (accepted)

William J. Mitch and Sven Erik Jorgensen, (2004) Ecological Engineering and Ecosystem Restoration. 411pp. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.

附錄一 擋土牆工程現況



圖 A.1 工程 A，左 3 圖為近照，仍可見部份壩體；右圖為從遠處照

FigA.1 The overview of the Work A



圖 A.2 工程 B，未看到任何木格框壩體存在

FigA.2 The overview of the Work B



圖 A.3 工程 D，木格框壩體幾乎融入自然之中

FigA.3 The overview of the Work D



圖 A.4 工程 E，植生復育狀況良好

FigA.4 The overview of the Work E



圖 A.5 工程 G，可看出當地環境較乾燥，由左圖可見旁邊建有蛇籠

FigA.5 The overview of the Work G



圖 A.6 工程 H，擋土牆上方的禾本科植物生長十分茂密

FigA.6 The overview of the Work H



圖 A.7 工程 I，共 2 座木格框擋土牆，路旁 1 座，草叢裡另有 1 座（右圖）

FigA.7 The overview of the Work I



圖 A.8 工程 J，植生的復育狀況良好

FigA.8 The overview of the Work J



圖 A.9 工程 K，在台 16 線彎道上，植生較少較乾燥。
右 2 圖分別為擋土牆的左右兩端

FigA.9 The overview of the Work K



圖 A.10 工程 L，在台 16 線上，環境較乾燥，植生較少

FigA.10 The overview of the Work L



圖 A.11 工程 M，在台 16 線上，共 3 座擋土牆，下 3 圖分別是 3 座擋土牆之照片

FigA.11 The overview of the Work M



圖 A.12 工程 N，上方植生極茂盛，側邊較少，但也有部分側邊植生生長良好

FigA.12 The overview of the Work N



圖 A.13 工程 O，上方植生茂密，側方植生少，環境較乾燥

FigA.13 The overview of the Work O



圖 A.14 工程 P，上方植生茂密，側邊較少。但側方少部分區域植物生長佳

FigA.14 The overview of the Work P



圖 A.15 工程 Q。與隧道相接，有積水。
植物生長茂盛，但靠近隧道處側邊植生較少

FigA.15 The overview of the Work Q



圖 A.16 工程 R。位於民和明隧道後。

上方植生茂密，側方的植物生長多寡卻壁壘分明

FigA.16 The overview of the Work R



附錄二 第一年度各樣區植物重要值指數計算表

表 B.1 宜專一線 1.72 k 節制壩植物重要值指數

Table B.1 The IVI of check dam at the 1.72 k of Route Yichuan No.1

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
大葉楠	<i>Machilus japonica</i> var. <i>kusanoi</i>	1.4779
小花蔓澤蘭	<i>Mikania micrantha</i>	1.2713
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i>	4.2270
白花柳葉箬	<i>Isachne albens</i>	10.0419
多花黑麥草	<i>Lolium multiflorum</i>	22.4268
早田氏爵床	<i>Justicia procumbens</i> var. <i>hayatae</i>	0.9822
竹葉草	<i>Oplismenus compositus</i>	5.6016
冷清草	<i>Elatostema lineolatum</i> var. <i>majus</i>	1.2713
芒	<i>Miscanthus sinensis</i>	13.6561
刺柄碗蕨	<i>Dennstaedtia scandens</i>	1.4779
長梗紫麻	<i>Oreocnide pedunculata</i>	2.3361
長葉木薑子	<i>Litsea acuminata</i>	3.6075
阿里山天胡荽	<i>Hydrocotyle setulosa</i>	1.1681
青楓	<i>Acer serrulatum</i>	1.2713
台閩苴苔	<i>Titanotrichum oldhamii</i>	1.9942
假毛蕨	<i>Cyclosorus esquirolii</i>	1.1681
密葉卷柏	<i>Selaginella involvens</i>	1.0648
細尾冷水麻	<i>Pilea matsudai</i>	5.5373
棕葉狗尾草	<i>Setaria palmifolia</i>	6.2923
台灣紫花鼠尾草	<i>Salvia formosana</i>	2.2329
山葛	<i>Pueraria montana</i>	3.0590
漢氏山葡萄	<i>Ampelopsis brevipedunculata</i> var. <i>hancei</i>	1.2713
薄葉野山藥	<i>Dioscorea japonica</i>	1.4779
闊葉樓梯草	<i>Elatostema platyphyloides</i>	5.0853
總計		100

表 B.2 宜專一線 15.4 k 節制壩植物重要值指數

Table B.2 The IVI of check dam at the 15.4 k of Route Yichuan No.1

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
阿里山落新婦	<i>Astilbe macroflora</i>	1.9671
台北附地草	<i>Trigonotis formosana</i> var. <i>elevatovenosa</i>	1.3560
台灣款冬	<i>Petasites formosanus</i>	1.6539
白花柳葉箬	<i>Isachne albens</i>	0.9836
光風輪	<i>Clinopodium gracile</i>	1.2815
光囊紫柄蕨	<i>Pseudophegopteris subaurita</i>	1.2815
多花黑麥草	<i>Lolium multiflorum</i>	30.7194
波氏星蕨	<i>Microsorium buergerianum</i>	3.0327
虎葛	<i>Cayratia japonica</i>	2.1161
金毛耳草	<i>Hedyotis chrysotricha</i>	1.2815
阿里山天胡荽	<i>Hydrocotyle setulosa</i>	4.3067
台灣山酢漿草	<i>Oxalis acetocella</i> subsp. <i>griffithii</i> var. <i>formosana</i>	0.9240
斜方複葉耳蕨	<i>Arachniodes rhomboides</i>	0.9836
細尾冷水麻	<i>Pilea matsudai</i>	2.5630
蛇眼菊(外來種)	<i>Sanvitalia procumbens</i>	3.0252
野毛蕨	<i>Cyclosorus dentatus</i>	4.4557
生芽狗脊蕨	<i>Woodwardia unigemmata</i>	1.9671
戟葉蓼	<i>Polygonum thunbergii</i>	13.3191
絞股藍	<i>Gynostemma pentaphyllum</i>	2.5630
紫花鳳仙花	<i>Impatiens uniflora</i>	1.1325
紫花藿香薷	<i>Ageratum houstonianum</i>	1.5049
裂葉樓梯草	<i>Elatostema trilobulatum</i>	0.9836
黃菀	<i>Senecio nemorensis</i> var. <i>dentatus</i>	1.0581
橙葉懸鈎子	<i>Rubus alnifoliolatus</i>	1.1325
錢蒲	<i>Juncus leschenaultii</i>	1.1325
糯米團	<i>Gonostegia hirta</i>	13.2752
總計		100

表 B.3 宜專一線 15.6 k 節制壩植物重要值指數

Table B.3 The IVI of check dam at the 15.6 k of Route Yichuan No.1

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
阿里山落新婦	<i>Astilbe macroflora</i>	1.2229
台灣莓	<i>Rubus taiwanicolus</i>	0.9900
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i>	3.6688
台北附地草	<i>Trigonotis formosana</i> var. <i>elevatovenosa</i>	3.7388
台灣堇菜	<i>Viola formosana</i>	1.0366
台灣款冬	<i>Petasites formosanus</i>	1.8752
玉山箭竹	<i>Yushania niitakayamensis</i>	1.4093
白花柳葉箬	<i>Isachne albens</i>	5.1713
多花黑麥草	<i>Lolium multiflorum</i>	23.0149
芒	<i>Miscanthus sinensis</i>	7.0000
車前草	<i>Plantago asiatica</i>	1.2229
阿里山天胡荽	<i>Hydrocotyle setulosa</i>	4.1743
苔蘚	-	0.9527
斜方複葉耳蕨	<i>Arachniodes rhomboides</i>	2.0266
細尾冷水麻	<i>Pilea matsudai</i>	11.2163
細葉冷水麻	<i>Pilea somai</i>	5.2994
野毛蕨	<i>Cyclosorus dentatus</i>	4.2279
生芽狗脊蕨	<i>Woodwardia unigemmata</i>	0.9900
戟葉蓼	<i>Polygonum thunbergii</i>	2.0615
絞股藍	<i>Gynostemma pentaphyllum</i>	1.5025
台灣紫花鼠尾草	<i>Salvia formosana</i>	1.2229
黃菀	<i>Senecio nemorensis</i> var. <i>dentatus</i>	1.0832
台灣樹參	<i>Dendropanax dentiger</i>	0.9620
錢蒲	<i>Juncus leschenaultii</i>	0.9900
糯米團	<i>Gonostegia hirta</i>	12.9400
總計		100

表 B.4 宜專一線 23.9 k 節制壩植物重要值指數

Table B.4 The IVI of check dam at the 23.9 k of Route Yichuan No.1

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i>	24.9181
台灣堇菜	<i>Viola formosana</i>	2.3776
台灣繡線菊	<i>Spiraea formosana</i>	7.8456
高山懸鈎子	<i>Rubus rolfei</i>	2.3776
多花黑麥草	<i>Lolium multiflorum</i>	28.0085
芒	<i>Miscanthus sinensis</i>	8.2529
苔蘚	-	14.1636
烏皮九芎	<i>Styrax formosana</i>	2.4794
裂葉樓梯草	<i>Elatostema trilobulatum</i>	3.1922
獨行菜	<i>Lepidium virginicum</i>	2.6831
闊柱柳葉菜	<i>Epilobium platystigmatosum</i>	3.7014
總計		100



表 B.5 鳩之澤擋土牆植物重要值指數

Table B.5 The IVI of retaining wall in Jioujihze

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
九芎	<i>Lagerstroemia subcostata</i>	0.7616
大花咸豐草	<i>Bidens pilosa</i> var. <i>radiata</i>	0.9172
阿里山落新婦	<i>Astilbe macroflora</i>	1.5751
粗毛金星蕨	<i>Thelypteris torresiana</i>	0.8135
大葉溲疏	<i>Deutzia pulchra</i>	2.0938
毛蕨	<i>Cyclosorus acuminatus</i>	1.8345
山芋	<i>Dioscorea bulbifera</i>	2.2139
川上氏雙蓋蕨	<i>Diplazium kawakamii</i>	1.1766
木賊	<i>Equisetum ramosissimum</i>	5.1662
瓦氏鳳尾蕨	<i>Pteris wallichiana</i>	3.9283
光風輪	<i>Clinopodium gracile</i>	0.7098
芒	<i>Miscanthus sinensis</i>	0.8135
台灣狗脊蕨	<i>Woodwardia orientalis</i> var. <i>formosana</i>	2.2849
波氏星蕨	<i>Microsorium buergerianum</i>	0.7098
長梗紫麻	<i>Oreocnide pedunculata</i>	5.4160
阿里山天胡荽	<i>Hydrocotyle setulosa</i>	3.8341
台閩苴苔	<i>Titanotrichum oldhamii</i>	1.6270
昭和草	<i>Crassocephalum crepidioides</i>	11.1433
假毛蕨	<i>Cyclosorus esquirolii</i>	10.1523
斜方複葉耳蕨	<i>Arachniodes rhomboides</i>	0.7098
細尾冷水麻	<i>Pilea matsudai</i>	2.2494
野毛蕨	<i>Cyclosorus dentatus</i>	0.7098
翅軸假金星蕨	<i>Phegopteris decursivepinnata</i>	0.8135
短穎馬唐	<i>Digitaria setigera</i>	29.5889
紫花藿香薊	<i>Ageratum houstonianum</i>	1.5233
腎蕨	<i>Nephrolepis auriculata</i>	1.9901
華中瘤足蕨	<i>Plagiogyria euphlebia</i>	0.8135
黃菀	<i>Senecio nemorensis</i> var. <i>dentatus</i>	2.3368
橙葉懸鈎子	<i>Rubus alnifoliolatus</i>	2.0938
總計		100

表 B.6 太平山五樣區合併計算之植物重要值指數

Table B.6 The IVI of fivesites in Tai-Ping Shan

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
九芎	<i>Lagerstroemia subcostata</i>	0.2300
大花咸豐草	<i>Bidens pilosa</i> var. <i>radiata</i>	0.2855
阿里山落新婦	<i>Astilbe macroflora</i>	1.1501
粗毛金星蕨	<i>Thelypteris torresiana</i>	0.2485
大葉楠	<i>Machilus japonica</i> var. <i>kusanoi</i>	0.2855
大葉溲疏	<i>Deutzia pulchra</i>	0.6633
毛蕨	<i>Cyclosorus acuminatus</i>	0.5709
小花蔓澤蘭	<i>Mikania micrantha</i>	0.2485
台灣莓	<i>Rubus taiwanicolus</i>	0.2023
山芋	<i>Dioscorea bulbifera</i>	0.7475
川上氏雙蓋蕨	<i>Diplazium kawakamii</i>	0.3779
木賊	<i>Equisetum ramosissimum</i>	1.5926
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i>	2.3244
台北附地草	<i>Trigonotis formosana</i> var. <i>elevatovenosa</i>	1.0515
台灣堇菜	<i>Viola formosana</i>	0.4083
台灣款冬	<i>Petasites formosanus</i>	0.7558
台灣繡線菊	<i>Spiraea formosana</i>	0.6032
玉山箭竹	<i>Yushania niitakayamensis</i>	0.2855
高山懸鈎子	<i>Rubus rolfei</i>	0.1967
瓦氏鳳尾蕨	<i>Pteris wallichiana</i>	1.2343
白花柳葉箬	<i>Isachne albens</i>	3.1422
光風輪	<i>Clinopodium gracile</i>	0.4970
光囊紫柄蕨	<i>Pseudophegopteris subaurita</i>	0.2855
多花黑麥草	<i>Lolium multiflorum</i>	17.1377
早田氏爵床	<i>Justicia procumbens</i> var. <i>hayatae</i>	0.1967
竹葉草	<i>Oplismenus compositus</i>	1.0864
冷清草	<i>Elatostema lineolatum</i> var. <i>majus</i>	0.2485
芒	<i>Miscanthus sinensis</i>	4.7816
車前草	<i>Plantago asiatica</i>	0.2485
刺柄碗蕨	<i>Dennstaedtia scandens</i>	0.2855
台灣狗脊蕨	<i>Woodwardia orientalis</i> var. <i>formosana</i>	0.6900
波氏星蕨	<i>Microsorium buergerianum</i>	0.8665
虎葛	<i>Cayratia japonica</i>	0.4600
金毛耳草	<i>Hedyotis chrysotricha</i>	0.2855
長梗紫麻	<i>Oreocnide pedunculata</i>	2.1831
長葉木薑子	<i>Litsea acuminata</i>	0.7085

阿里山天胡荽	<i>Hydrocotyle setulosa</i>	3.1796
青楓	<i>Acer serrulatum</i>	0.2485
台閩苣苔	<i>Titanotrichum oldhamii</i>	0.8749
昭和草	<i>Crassocephalum crepidioides</i>	3.5570
苔蘚	-	1.3735
烏皮九芎	<i>Styrax formosana</i>	0.1986
台灣山酢漿草	<i>Oxalis acetocella</i> subsp. <i>griffinthii</i> var. <i>formosana</i>	0.1967
假毛蕨	<i>Cyclosorus esquirolii</i>	3.6822
密葉卷柏	<i>Selaginella involvens</i>	0.2115
斜方複葉耳蕨	<i>Arachniodes rhomboides</i>	0.8369
細尾冷水麻	<i>Pilea matsudai</i>	4.5653
細葉冷水麻	<i>Pilea somai</i>	1.0689
蛇眼菊(外來種)	<i>Sanvitalia procumbens</i>	0.6531
野毛蕨	<i>Cyclosorus dentatus</i>	2.0434
生芽狗脊蕨	<i>Woodwardia unigemmata</i>	0.6254
戟葉蓼	<i>Polygonum thunbergii</i>	3.5898
棕葉狗尾草	<i>Setaria palmifolia</i>	1.1891
翅軸假金星蕨	<i>Phegopteris decursivepinnata</i>	0.2485
短穎馬唐	<i>Digitaria setigera</i>	10.2129
絞股藍	<i>Gynostemma pentaphyllum</i>	0.8749
台灣紫花鼠尾草	<i>Salvia formosana</i>	0.6900
紫花鳳仙花	<i>Impatiens uniflora</i>	0.2485
紫花藿香薊	<i>Ageratum houstonianum</i>	0.8009
腎蕨	<i>Nephrolepis auriculata</i>	0.6264
華中瘤足蕨	<i>Plagiogyria euphlebia</i>	0.2485
裂葉樓梯草	<i>Elatostema trilobulatum</i>	0.4231
黃菀	<i>Senecio nemorensis</i> var. <i>dentatus</i>	1.1593
山葛	<i>Pueraria montana</i>	0.5894
漢氏山葡萄	<i>Ampelopsis brevipedunculata</i> var. <i>hancei</i>	0.2485
檜葉懸鈎子	<i>Rubus alnifoliolatus</i>	0.9118
台灣樹參	<i>Dendropanax dentiger</i>	0.1967
獨行菜	<i>Lepidium virginicum</i>	0.2023
薄葉野山藥	<i>Dioscorea japonica</i>	0.2855
錢蒲	<i>Juncus leschenaultii</i>	0.4508
闊柱柳葉菜	<i>Epilobium platystigmatosum</i>	0.2208
闊葉樓梯草	<i>Elatostema platyphylloides</i>	0.9940
糯米團	<i>Gonostegia hirta</i>	5.7072
總計		100

表 B.7 安山四號橋旁擋土牆植物重要值指數

TableB.7 The IVI of retaining wall in the road near the Anshan No.4 Bridge

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
葛藤	<i>Pueraria montana</i>	3.8508
大花咸豐草	<i>Bidens pilosa</i> var. <i>radiata</i>	15.3874
木賊	<i>Equisetum ramosissimum</i>	1.7907
昭和草	<i>Crassocephalum crepidioides</i>	1.6528
紫花霍香薊	<i>Ageratum houstonianum</i>	10.7028
腺萼懸鈎子	<i>Rubus sumatranus</i>	6.6829
五節芒	<i>Miscanthus floridulus</i>	5.2264
雞屎藤	<i>Paederiascandens</i>	0.8210
漢氏山葡萄	<i>Ampelopsis brevipedunculata</i> var. <i>hancei</i>	2.3352
竹葉草	<i>Oplismenus compositus</i>	2.0334
加拿大蓬	<i>Erigeron canadensis</i>	2.9880
苦苣菜	<i>Sonchus arvensis</i>	3.8076
小花蔓澤蘭	<i>Mikania micrantha</i>	8.7748
臺灣樂樹	<i>Koelreuteria henryi</i>	3.5169
葎草	<i>Humulus scandens</i>	2.3514
駁骨丹	<i>Buddleja asiatica</i>	8.9213
密毛小毛蕨	<i>Christella parasitica</i>	6.0258
颱風草	<i>Setaria palmifolia</i>	4.8118
山桂花	<i>Maesa tenera</i>	2.1683
冇骨消	<i>Sambucus formosana</i>	1.2350
銀合歡	<i>Leucaena leucocephala</i>	0.8534
印度田菁	<i>Sesbania sesban</i>	2.3730
廣葉鋸齒雙蓋蕨	<i>Diplazium dilatatum</i>	0.8682
黃花酢醬草	<i>Oxalis corniculata</i>	0.8210
總計		100

表 B.8 安山四號橋旁溪流右側護岸植物重要值指數

Table B.8 The IVI of right revetment bank in the creek near the Anshan No.4 Bridge

植物名稱	學 名	重要值指數(IVI)
葛藤	<i>Pueraria montana</i>	28.2715
大花咸豐草	<i>Bidens pilosa</i> var. <i>radiata</i>	11.0124
小白花鬼針草	<i>Bidens pilosa</i> var. <i>minor</i>	9.8456
木賊	<i>Equisetum ramosissimum</i>	6.9429
非洲鳳仙花	<i>Impatiens walleriana</i>	6.6802
昭和草	<i>Crassocephalum crepidioides</i>	4.9022
紫花霍香薊	<i>Ageratum houstonianum</i>	3.7220
檳榔	<i>Areca catechu</i>	3.3883
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i>	2.2775
細梗絡石	<i>Trachelospermum gracilipes</i>	2.2775
腺萼懸鈎子	<i>Rubus sumatranus</i>	1.8888
五節芒	<i>Miscanthus floridulus</i>	1.8888
山芹菜	<i>Sanicula lamelligera</i>	1.8888
雞屎藤	<i>Paederiascandens</i>	1.7221
落新婦	<i>Astilbe longicarpa</i>	1.6388
串鼻龍	<i>Clematis grata</i>	1.6110
漢氏山葡萄	<i>Ampelopsis brevipedunculata</i> var. <i>hancei</i>	1.5000
加拿大蓬	<i>Erigeron canadensis</i>	1.4444
竹葉草	<i>Oplismenus compositus</i>	1.4444
苦蕒菜	<i>Sonchus oleraceus</i>	1.4444
山苧蒿	<i>Conyza sumuntraensis</i>	1.4028
姑婆芋	<i>Alocasia macrorrhiza</i>	1.4028
龍葵	<i>Solanum nigrum</i>	1.4028
總計		100

表 B.9 羅羅格橋旁擋土牆植物重要值指數

TableB.9 The IVI of retaining wall near the RoRoGe Bridge

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
五節芒	<i>Miscanthus floridulus</i>	28.1127
九芎	<i>Lagerstroemia subcostata</i>	14.7524
紫花霍香薊	<i>Ageratum houstonianum</i>	8.0484
阿里山月桃	<i>Alpinia macrocephala</i>	2.4329
小白花鬼針草	<i>Bidens pilosa var. minor</i>	10.9019
淡竹葉	<i>Lophatherum gracile</i>	10.9243
臭辣樹	<i>Tetradium ruticarpum</i>	2.1967
葛藤	<i>Pueraria montana</i>	15.4979
加拿大蓬	<i>Erigeron canadensis</i>	1.8718
鷓鴣蔓	<i>Tylophora ovata</i>	1.7537
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i>	1.7537
小梗木薑子	<i>Litsea hypophaea</i>	1.7537
總計		100

表 B.10 台 16 線 22.9 k 大灣擋土牆植物重要值指數

TableB.10 The IVI of retaining wall at 22.9 k of the Provincial Road No.16

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
小白花鬼針草	<i>Bidens pilosa var. minor</i>	29.5952
淡竹葉	<i>Lophatherum gracile</i>	4.3417
葛藤	<i>Pueraria montana</i>	2.1213
鷓鴣蔓	<i>Tylophora ovata</i>	4.0939
大黍	<i>Panicum maximum</i>	7.9248
構樹	<i>Broussonetia papyrifera</i>	5.6797
小花蔓澤蘭	<i>Mikania micrantha</i>	18.3864
樹薯	<i>Manihot esculenta</i>	6.7794
馬纓丹	<i>Lantana camara</i>	5.4910
桑	<i>Morus alba</i>	2.1461
南美蟛蜞菊	<i>Wedelia trilobata</i>	5.0945
山煙草	<i>Solanum elaeagnifolium</i>	2.8150
龍眼	<i>Euphoria longana</i>	2.0222
狗尾草	<i>Setaria viridis</i>	3.5088
總計		100

表 B.11 南投四樣區合併計算之植物重要值指數

Table B.11 The IVI of fivesites in Nantou County

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
葛藤	<i>Pueraria montana</i>	6.7635
大花咸豐草	<i>Bidens pilosa</i> var. <i>radiata</i>	12.4768
小白花鬼針草	<i>Bidens pilosa</i> var. <i>minor</i>	4.9645
木賊	<i>Equisetum ramosissimum</i>	1.9195
非洲鳳仙花	<i>Impatiens walleriana</i>	1.4070
昭和草	<i>Crassocephalum crepidioides</i>	1.4994
紫花霍香薊	<i>Ageratum houstonianum</i>	9.6111
檳榔	<i>Areca catechu</i>	0.4912
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i>	0.7311
細梗絡石	<i>Trachelospermum gracilipes</i>	0.4010
腺萼懸鈎子	<i>Rubus sumatranus</i>	4.8844
五節芒	<i>Miscanthus floridulus</i>	6.0560
山芹菜	<i>Sanicula lamelligera</i>	0.3695
雞屎藤	<i>Paederiascandens</i>	0.6861
落新婦	<i>Astilbe longicarpa</i>	0.3492
串鼻龍	<i>Clematis grata</i>	0.3470
漢氏山葡萄	<i>Ampelopsis brevipedunculata</i> var. <i>hancei</i>	1.5771
加拿大蓬	<i>Erigeron canadensis</i>	2.4524
竹葉草	<i>Oplismenus compositus</i>	1.6762
苦蕒菜	<i>Sonchus oleraceus</i>	0.3335
山苧蒿	<i>Conyza sumuntraensis</i>	0.3301
姑婆芋	<i>Alocasia macrorrhiza</i>	0.3301
龍葵	<i>Solanum nigrum</i>	0.3301
苦苣菜	<i>Sonchus arvensis</i>	2.1133
小花蔓澤蘭	<i>Mikania micrantha</i>	6.8829
臺灣樂樹	<i>Koelreuteria henryi</i>	2.5819
葎草	<i>Humulus scandens</i>	1.2527
駁骨丹	<i>Buddleja asiatica</i>	6.0289
密毛小毛蕨	<i>Christella parasitica</i>	3.6104
颱風草	<i>Setaria palmifolia</i>	2.2406
山桂花	<i>Maesa tenera</i>	1.4554
冇骨消	<i>Sambucus formosana</i>	0.6759
銀合歡	<i>Leucaena leucocephala</i>	0.3571
印度田菁	<i>Sesbania sesban</i>	1.2707
廣葉鋸齒雙蓋蕨	<i>Diplazium dilatatum</i>	0.3695

黃花酢醬草	<i>Oxalis corniculata</i>	0.3301
九芎	<i>Lagerstroemia subcostata</i>	1.6154
阿里山月桃	<i>Alpinia macrocephala</i>	0.3560
淡竹葉	<i>Lophatherum gracile</i>	2.4130
臭辣樹	<i>Tetradium ruticarpum</i>	0.3470
鷓鴣蔓	<i>Tylophora ovata</i>	0.9992
小梗木薑子	<i>Litsea hypophaea</i>	0.3301
大黍	<i>Panicum maximum</i>	1.0848
構樹	<i>Broussonetia papyrifera</i>	0.7413
樹薯	<i>Manihot esculenta</i>	0.5497
馬纓丹	<i>Lantana camara</i>	0.4912
桑	<i>Morus alba</i>	0.3391
南美蟛蜞菊	<i>Wedelia trilobata</i>	0.4731
山煙草	<i>Solanum erianthum</i>	0.3695
龍眼	<i>Euphoria longana</i>	0.3335
狗尾草	<i>Setaria viridis</i>	0.4010
總計		100



附錄三 第二年度各樣區植物重要值指數計算表

表 C.1 宜專一線 1.72 k 節制壩植物重要值指數

Table C.1 The IVI of check dam at the 1.72 k of Route Yichuan No.1

植物名稱	學 名	重要值指數(IVI)
大頭艾納香	<i>Blumea riparia</i> var. <i>megacephala</i>	1.7048
山葛	<i>Pueraria montana</i>	2.4805
毛蕨	<i>Cyclosorus acuminatus</i>	3.4420
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i>	5.3930
冇骨消	<i>Sambucus formosana</i>	1.8906
台北肺形草	<i>Tripterosperrum alutaceifolium</i>	1.0544
台灣山桂花	<i>Maesa perlaria</i> var. <i>formosana</i>	1.0080
台灣紫花鼠尾草	<i>Salvia formosana</i>	2.3411
竹葉草	<i>Oplismenus compositus</i>	6.9444
肉穗野牡丹	<i>Sarcopyramis napalensis</i> var. <i>bodinieri</i>	1.9417
芒	<i>Miscanthus sinensis</i>	11.3109
刺柄碗蕨	<i>Dennstaedtia scandens</i>	1.8906
香楠	<i>Machilus zuihoensis</i>	2.3876
細尾冷水麻	<i>Pilea matsudai</i>	28.2887
細葉冷水麻	<i>Pilea somai</i>	1.1473
棕葉狗尾草	<i>Setaria palmifolia</i>	14.2233
絞股藍	<i>Gynostemma pentaphyllum</i>	1.2402
闊葉樓梯草	<i>Elatostema platyphylloides</i>	11.3109
總計		100

表 C.2 宜專一線 15.4 k 節制壩植物重要值指數

Table C.2 The IVI of check dam at the 15.4 k of Route Yichuan No.1

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
水麻	<i>Debregeasia orientalis</i>	0.8800
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i>	1.4587
冇骨消	<i>Sambucus formosana</i>	2.7727
台北附地草	<i>Trigonotis formosana</i> var. <i>elevatovenosa</i>	1.4587
台灣款冬	<i>Petasites formosanus</i>	2.5437
瓦氏鳳尾蕨	<i>Pteris wallichiana</i>	0.8076
光囊紫柄蕨	<i>Pseudophegopteris subaurita</i>	1.0970
多花黑麥草	<i>Lolium multiflorum</i>	22.5443
如意草	<i>Viola arcuata</i>	0.7498
波氏星蕨	<i>Microsorium buergerianum</i>	2.4301
金毛耳草	<i>Hedyotis chrysotricha</i>	1.6370
阿里山天胡荽	<i>Hydrocotyle setulosa</i>	3.1871
阿里山落新婦	<i>Astilbe macroflora</i>	1.9770
水辣菜	<i>Ranunculus cantoniensis</i>	0.7425
苔蘚	-	3.2667
斜方複葉耳蕨	<i>Arachniodes rhomboides</i>	0.8076
細尾冷水麻	<i>Pilea matsudai</i>	11.5851
細葉冷水麻	<i>Pilea somai</i>	0.9523
野毛蕨	<i>Cyclosorus dentatus</i>	4.0986
生芽狗脊蕨	<i>Woodwardia unigenmata</i>	2.8208
戟葉蓼	<i>Polygonum thunbergii</i>	14.7442
無心菜	<i>Arenaria serpyllifolia</i>	0.8438
腎蕨	<i>Nephrolepis auriculata</i>	0.8076
裂葉樓梯草	<i>Elatostema trilobulatum</i>	0.8076
黃菀	<i>Senecio nemorensis</i> var. <i>dentatus</i>	4.8943
橙葉懸鈎子	<i>Rubus alnifoliolatus</i>	2.2012
糯米團	<i>Gonostegia hirta</i>	7.8840
總計		100

表 C.3 宜專一線 15.6 k 節制壩植物重要值指數

Table C.3 The IVI of check dam at the 15.6 k of Route Yichuan No.1

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i>	11.3809
台北附地草	<i>Trigonotis formosana</i> var. <i>elevatovenosa</i>	2.6366
台灣款冬	<i>Petasites formosanus</i>	0.9803
台灣紫花鼠尾草	<i>Salvia formosana</i>	1.5861
玉山箭竹	<i>Yushania niitakayamensis</i>	1.1363
高山懸鈎子	<i>Rubus rolfei</i>	0.7541
多花黑麥草	<i>Lolium multiflorum</i>	15.9883
竹葉草	<i>Oplismenus compositus</i>	1.5263
芒	<i>Miscanthus sinensis</i>	5.4265
車前草	<i>Plantago asiatica</i>	0.8243
金毛耳草	<i>Hedyotis chrysotricha</i>	1.2923
長梗紫麻	<i>Oreocnide pedunculata</i>	1.1363
阿里山天胡荽	<i>Hydrocotyle setulosa</i>	8.0268
阿里山落新婦	<i>Astilbe macroflora</i>	1.9606
苔蘚	-	2.1244
斜方複葉耳蕨	<i>Arachniodes rhomboides</i>	1.5705
細尾冷水麻	<i>Pilea matsudai</i>	13.8717
細葉冷水麻	<i>Pilea somai</i>	2.7068
野毛蕨	<i>Cyclosorus dentatus</i>	2.8628
生芽狗脊蕨	<i>Woodwardia unigemmata</i>	1.8045
戟葉蓼	<i>Polygonum thunbergii</i>	4.6127
絨莖樓梯草	<i>Elatostema parvum</i>	1.3703
黃菀	<i>Senecio nemorensis</i> var. <i>dentatus</i>	1.9216
台灣樹參	<i>Dendropanax dentiger</i>	0.9023
錢蒲	<i>Juncus leschenaultii</i>	0.8243
糯米團	<i>Gonostegia hirta</i>	10.7726
總計		100

表 C.4 宜專一線 23.9 k 節制壩植物重要值指數

Table C.4 The IVI of check dam at the 23.9 k of Route Yichuan No.1

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i>	6.4148
台灣堇菜	<i>Viola formosana</i>	1.7330
台灣款冬	<i>Petasites formosanus</i>	2.2131
台灣澤蘭	<i>Eupatorium cannabinum</i> subsp. <i>asiaticum</i>	5.9269
台灣繡線菊	<i>Spiraea formosana</i>	1.7930
高山懸鈎子	<i>Rubus rolfei</i>	4.0139
多花黑麥草	<i>Lolium multiflorum</i>	24.6466
如意草	<i>Viola arcuata</i>	2.2131
芒	<i>Miscanthus sinensis</i>	4.4263
刺萼寒梅	<i>Rubus pectinellus</i>	2.2131
苔蘚	-	18.6733
裂葉樓梯草	<i>Elatostema trilobulatum</i>	8.8158
黃菀	<i>Senecio nemorensis</i> var. <i>dentatus</i>	4.3062
裡白蔥木	<i>Aralia bipinnata</i>	3.4059
鼠麴草	<i>Gnaphalium luteoalbum</i> subsp. <i>affine</i>	1.7330
闊柱柳葉菜	<i>Epilobium platystigmatosum</i>	5.7991
巒大蕨	<i>Pteridium aquilinum</i> subsp. <i>wightianum</i>	1.6729
總計		100

表 C.5 鳩之澤擋土牆植物重要值指數

Table C.5 The IVI of retaining wall in Jioujihze

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
九芎	<i>Lagerstroemia subcostata</i>	1.7243
大花咸豐草	<i>Bidens pilosa</i> var. <i>radiata</i>	3.4785
大葉金星蕨	<i>Thelypteris erubescens</i>	2.2652
大葉溲疏	<i>Deutzia pulchra</i>	1.2940
山芋	<i>Dioscorea bulbifera</i>	1.8035
木賊	<i>Equisetum ramosissimum</i>	3.0736
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i>	0.7277
台北肺形草	<i>Tripterispermum alutaceifolium</i>	0.5125
台灣狗脊蕨	<i>Woodwardia orientalis</i> var. <i>formosana</i>	1.7527
台灣莓	<i>Rubus taiwanicolus</i>	0.5125
台灣紫花鼠尾草	<i>Salvia formosana</i>	0.5125
瓦氏鳳尾蕨	<i>Pteris wallichiana</i>	11.9762
全緣卷柏	<i>Selaginella delicatula</i>	0.4641
芒	<i>Miscanthus sinensis</i>	4.7426
刺萼寒梅	<i>Rubus pectinellus</i>	0.5663
波氏星蕨	<i>Microsorium buergerianum</i>	1.5375
金毛耳草	<i>Hedyotis chrysotricha</i>	1.4676
長梗紫麻	<i>Oreocnide pedunculata</i>	2.2906
阿里山天胡荽	<i>Hydrocotyle setulosa</i>	8.9414
阿里山落新婦	<i>Astilbe macroflora</i>	3.1005
台閩苣苔	<i>Titanotrichum oldhamii</i>	1.0250
昭和草	<i>Crassocephalum crepidioides</i>	1.7243
飛機草	<i>Erechtites valerianifolia</i>	2.5058
茵陳蒿	<i>Artemisia capillaris</i>	0.7277
假毛蕨	<i>Cyclosorus esquirolii</i>	5.1700
細尾冷水麻	<i>Pilea matsudai</i>	4.8472
細葉冷水麻	<i>Pilea somai</i>	1.5346
野毛蕨	<i>Cyclosorus dentatus</i>	5.2522
普刺特草	<i>Lobelia nummularia</i>	3.0691
翅軸假金星蕨	<i>Phegopteris decursivepinnata</i>	2.6955
短穎馬唐	<i>Digitaria setigera</i>	7.4039
絞股藍	<i>Gynostemma pentaphyllum</i>	0.4695
腎蕨	<i>Nephrolepis auriculata</i>	4.2585
橙葉懸鈎子	<i>Rubus alnifoliolatus</i>	0.4856
齒葉矮冷水麻	<i>Pilea peploides</i> var. <i>major</i>	1.2940
雙花龍葵	<i>Lycianthes biflora</i>	3.6070
糯米團	<i>Gonostegia hirta</i>	1.1864
總計		100

表 C.6 太平山五樣區合併計算之植物重要值指數

Table C.6 The IVI of fivesites in Tai-Ping Shan

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
九芎	<i>Lagerstroemia subcostata</i>	0.5659
大花咸豐草	<i>Bidens pilosa</i> var. <i>radiata</i>	1.1515
大葉金星蕨	<i>Thelypteris erubescens</i>	0.7504
大葉溲疏	<i>Deutzia pulchra</i>	0.4272
大頭艾納香	<i>Blumea riparia</i> var. <i>megacephala</i>	0.2916
山芋	<i>Dioscorea bulbifera</i>	0.5865
山葛	<i>Pueraria montana</i>	0.4099
木賊	<i>Equisetum ramosissimum</i>	1.0160
毛蕨	<i>Cyclosorus acuminatus</i>	0.5628
水麻	<i>Debregeasia orientalis</i>	0.1876
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i>	4.2367
冇骨消	<i>Sambucus formosana</i>	0.9443
台北肺形草	<i>Tripterospermum alutaceifolium</i>	0.3405
台北附地草	<i>Trigonotis formosana</i> var. <i>elevatovenosa</i>	0.8735
台灣山桂花	<i>Maesa perlaria</i> var. <i>formosana</i>	0.1616
台灣狗脊蕨	<i>Woodwardia orientalis</i> var. <i>formosana</i>	0.5801
台灣莓	<i>Rubus taiwanicolus</i>	0.1702
台灣堇菜	<i>Viola formosana</i>	0.1564
台灣款冬	<i>Petasites formosanus</i>	0.9616
台灣紫花鼠尾草	<i>Salvia formosana</i>	0.8807
台灣澤蘭	<i>Eupatorium cannabinum</i> subsp. <i>asiaticum</i>	0.3838
台灣繡線菊	<i>Spiraea formosana</i>	0.1581
玉山箭竹	<i>Yushania niitakayamensis</i>	0.2396
高山懸鉤子	<i>Rubus rolfei</i>	0.3769
瓦氏鳳尾蕨	<i>Pteris wallichiana</i>	4.0563
光囊紫柄蕨	<i>Pseudophegopteris subaurita</i>	0.2396
全緣卷柏	<i>Selaginella delicatula</i>	0.1546
多花黑麥草	<i>Lolium multiflorum</i>	9.7356
如意草	<i>Viola arcuata</i>	0.3266
竹葉草	<i>Oplismenus compositus</i>	1.4897
肉穗野牡丹	<i>Sarcopyramis napalensis</i> var. <i>bodinieri</i>	0.3093
芒	<i>Miscanthus sinensis</i>	5.0714
車前草	<i>Plantago asiatica</i>	0.1702
刺柄碗蕨	<i>Dennstaedtia scandens</i>	0.3263
刺萼寒梅	<i>Rubus pectinellus</i>	0.3578
波氏星蕨	<i>Microsorium buergerianum</i>	1.0232
金毛耳草	<i>Hedyotis chrysotricha</i>	1.1082

長梗紫麻	<i>Oreocnide pedunculata</i>	0.9931
阿里山天胡荽	<i>Hydrocotyle setulosa</i>	5.2998
阿里山落新婦	<i>Astilbe macroflora</i>	1.8617
台閩苴苔	<i>Titanotrichum oldhamii</i>	0.3405
昭和草	<i>Crassocephalum crepidioides</i>	0.5659
水辣菜	<i>Ranunculus cantoniensis</i>	0.1546
苔蘚	-	2.4196
飛機草	<i>Erechtites valerianifolia</i>	0.8229
香楠	<i>Machilus zuihoensis</i>	0.3925
茵陳蒿	<i>Artemisia capillaris</i>	0.2396
假毛蕨	<i>Cyclosorus esquirolii</i>	1.6868
斜方複葉耳蕨	<i>Arachniodes rhomboides</i>	0.4934
細尾冷水麻	<i>Pilea matsudai</i>	12.2303
細葉冷水麻	<i>Pilea somai</i>	1.4550
野毛蕨	<i>Cyclosorus dentatus</i>	3.2049
生芽狗脊蕨	<i>Woodwardia unigemmata</i>	0.9813
戟葉蓼	<i>Polygonum thunbergii</i>	4.4173
普刺特草	<i>Lobelia nummularia</i>	0.9995
棕葉狗尾草	<i>Setaria palmifolia</i>	2.4955
無心菜	<i>Arenaria serpyllifolia</i>	0.1789
翅軸假金星蕨	<i>Phegopteris decursivepinnata</i>	0.8891
短穎馬唐	<i>Digitaria setigera</i>	2.4120
絞股藍	<i>Gynostemma pentaphyllum</i>	0.3613
絨莖樓梯草	<i>Elatostema parvum</i>	0.2916
腎蕨	<i>Nephrolepis auriculata</i>	1.5732
裂葉樓梯草	<i>Elatostema trilobulatum</i>	0.5313
黃菀	<i>Senecio nemorensis</i> var. <i>dentatus</i>	1.8181
裡白蔥木	<i>Aralia bipinnata</i>	0.3110
鼠麴草	<i>Gnaphalium luteoalbum</i> subsp. <i>affine</i>	0.1564
檜葉懸鈎子	<i>Rubus alnifoliolatus</i>	0.6425
齒葉矮冷水麻	<i>Pilea peploides</i> var. <i>major</i>	0.4272
台灣樹參	<i>Dendropanax dentiger</i>	0.1876
錢蒲	<i>Juncus leschenaultii</i>	0.1702
闊柱柳葉菜	<i>Epilobium platystigmatosum</i>	0.4865
闊葉樓梯草	<i>Elatostema platyphylloides</i>	1.9785
雙花龍葵	<i>Lycianthes biflora</i>	1.1729
糯米團	<i>Gonostegia hirta</i>	4.4203
巒大蕨	<i>Pteridium aquilinum</i> subsp. <i>wightianum</i>	0.1546
總計		100

表 C.7 安山四號橋旁擋土牆植物重要值指數

TableC.7 The IVI of retaining wall in the road near the Anshan No.4 Bridge

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
腺萼懸鉤子	<i>Rubus sumatranus</i>	6.2315
紫花霍香薊	<i>Ageratum houstonianum</i>	2.0304
加拿大蓬	<i>Erigeron canadensis</i>	1.2941
葛藤	<i>Pueraria montana</i>	11.1626
五節芒	<i>Miscanthus floridulus</i>	17.9996
颱風草	<i>Setaria palmifolia</i>	4.9167
冇骨消	<i>Sambucus formosana</i>	1.9778
木賊	<i>Equisetum ramosissimum</i>	6.3955
山芹菜	<i>Sanicula lamelligera</i>	1.1539
小白花鬼針草	<i>Bidens pilosa var. minor</i>	26.5514
竹葉草	<i>Oplismenus compositus</i>	1.2766
密毛小毛蕨	<i>Christella parasitica</i>	7.1077
銀合歡	<i>Leucaena leucocephala</i>	5.7231
苦楝	<i>Melia azedarach</i>	4.3939
台灣山桂花	<i>Maesa perlaria var. formosana</i>	1.7850
總計		100

表 C.8 安山四號橋旁溪流右側護岸植物重要值指數

TableC.8 The IVI of right revetment bank in the creek near the Anshan No.4 Bridge

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
腺萼懸鉤子	<i>Rubus sumatranus</i>	3.3366
葛藤	<i>Pueraria montana</i>	19.7575
五節芒	<i>Miscanthus floridulus</i>	2.9926
木賊	<i>Equisetum ramosissimum</i>	10.2665
小白花鬼針草	<i>Bidens pilosa var. minor</i>	9.5784
竹葉草	<i>Oplismenus compositus</i>	2.4192
密毛小毛蕨	<i>Christella parasitica</i>	4.3687
絡石	<i>Trachelospermum jasminoides</i>	6.8152
非洲鳳仙花	<i>Impatiens walleriana</i>	15.5909
檫	<i>Zelkova formosana</i>	6.2036
姑婆芋	<i>Alocasia macrorrhiza</i>	6.2036
大花咸豐草	<i>Bidens pilosa var. radiata</i>	2.5339
何首烏	<i>Polygonum multiflorum</i>	3.3748
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i>	2.6485
阿里山月桃	<i>Alpinia macrocephala</i>	3.9100
總計		100

表 C.9 羅羅格橋旁擋土牆植物重要值指數

TableC.9 The IVI of retaining wall near the RoRoGe Bridge

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
五節芒	<i>Miscanthus floridulus</i>	31.4411
紫花霍香薊	<i>Ageratum houstonianum</i>	1.7504
小白花鬼針草	<i>Bidens pilosa</i> var. <i>minor</i>	13.4707
淡竹葉	<i>Lophatherum gracile</i>	6.4329
葛藤	<i>Pueraria montana</i>	10.5730
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i>	6.5995
小梗木薑子	<i>Litsea hypophaea</i>	4.3502
小花蔓澤蘭	<i>Mikania micrantha</i>	4.8401
山黃麻	<i>Trema orientalis</i>	3.4048
海金沙	<i>Lygodium japonicum</i>	1.8029
苦楝	<i>Melia azedarach</i>	2.6695
蘆葦	<i>Phragmites australis</i>	4.8754
野牡丹	<i>Melastoma candidum</i>	2.1443
三角葉西番蓮	<i>Passiflora suberosa</i>	1.8292
腎蕨	<i>Nephrolepis auriculata</i>	2.0655
黃鵪菜	<i>Youngia japonica</i>	1.7504
總計		100



表 C.10 台 16 線 22.9 k 大灣擋土牆植物重要值指數

Table C.10 The IVI of retaining wall at 22.9 k of the Provincial Road No.16

植物名稱	學 名	重要值指數(IVI)
五節芒	<i>Miscanthus floridulus</i>	1.6832
小白花鬼針草	<i>Bidens pilosa</i> var. <i>minor</i>	22.2145
淡竹葉	<i>Lophatherum gracile</i>	1.3021
葛藤	<i>Pueraria montana</i>	3.0053
水竹葉	<i>Murdannia keisak</i>	10.5619
鷓鴣蔓	<i>Tylophora ovata</i>	5.4908
小花蔓澤蘭	<i>Mikania micrantha</i>	13.2880
馬纓丹	<i>Lantana camara</i>	9.1425
桑	<i>Morus alba</i>	2.0041
南美蟛蜞菊	<i>Wedelia trilobata</i>	9.5421
山煙草	<i>Solanum erianthum</i>	2.5055
龍眼	<i>Euphoria longana</i>	3.0655
兩耳草	<i>Paspalum conjugatum</i>	1.3021
金露華	<i>Duranta repens</i>	2.3651
千年桐	<i>Aleurites montana</i>	2.0041
腺萼懸鉤子	<i>Rubus sumatranus</i>	1.6029
山黃麻	<i>Trema orientalis</i>	5.2131
海金沙	<i>Lygodium japonicum</i>	1.7835
苦楝	<i>Melia azedarach</i>	1.9238
總計		100

表 C.11 南投四樣區合併計算之植物重要值指數
TableC.11 The IVI of fivesites in Nantou County

植物名稱	學名	重要值指數(IVI)
腺萼懸鈎子	<i>Rubus sumatranus</i>	3.0600
紫花霍香薊	<i>Ageratum houstonianum</i>	1.0557
加拿大蓬	<i>Erigeron canadensis</i>	0.4285
葛藤	<i>Pueraria montana</i>	9.9591
五節芒	<i>Miscanthus floridulus</i>	13.8992
颱風草	<i>Setaria palmifolia</i>	1.6303
冇骨消	<i>Sambucus formosana</i>	0.6564
木賊	<i>Equisetum ramosissimum</i>	3.7221
山芹菜	<i>Sanicula lamelligera</i>	0.3818
小白花鬼針草	<i>Bidens pilosa</i> var. <i>minor</i>	19.7736
竹葉草	<i>Oplismenus compositus</i>	0.8045
密毛小毛蕨	<i>Christella parasitica</i>	3.0376
銀合歡	<i>Leucaena leucocephala</i>	1.8991
苦楝	<i>Melia azedarach</i>	2.6081
台灣山桂花	<i>Maesa perularia</i> var. <i>formosana</i>	0.5921
絡石	<i>Trachelospermum jasminoides</i>	1.0537
非洲鳳仙花	<i>Impatiens walleriana</i>	2.4191
檫	<i>Zelkova formosana</i>	0.9602
姑婆芋	<i>Alocasia macrorrhiza</i>	0.9602
大花咸豐草	<i>Bidens pilosa</i> var. <i>radiata</i>	0.3993
何首烏	<i>Polygonum multiflorum</i>	0.5279
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i>	1.8699
阿里山月桃	<i>Alpinia macrocephala</i>	0.6097
淡竹葉	<i>Lophatherum gracile</i>	1.7901
小梗木薑子	<i>Litsea hypophaea</i>	0.9602
小花蔓澤蘭	<i>Mikania micrantha</i>	4.9474
山黃麻	<i>Trema orientalis</i>	2.2711
海金沙	<i>Lygodium japonicum</i>	0.9155
蘆葦	<i>Phragmites australis</i>	1.0771
野牡丹	<i>Melastoma candidum</i>	0.4694
三角葉西番蓮	<i>Passiflora suberosa</i>	0.3993
腎蕨	<i>Nephrolepis auriculata</i>	0.4519
黃鵪菜	<i>Youngia japonica</i>	0.3818
水竹葉	<i>Murdannia keisak</i>	3.0892
鷓鴣蔓	<i>Tylophora ovata</i>	1.6070

馬纓丹	<i>Lantana camara</i>	2.6684
桑	<i>Morus alba</i>	0.5863
南美蟛蜞菊	<i>Wedelia trilobata</i>	2.7872
山煙草	<i>Solanum erianthum</i>	0.7324
龍眼	<i>Euphoria longana</i>	0.8980
兩耳草	<i>Paspalum conjugatum</i>	0.3818
金露華	<i>Duranta repens</i>	0.6915
千年桐	<i>Aleurites montana</i>	0.5863
總計		100

