

行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 99-00-5-19

彰化縣編號 1703 號飛砂防止保安林
國土保安效益研究計畫

Study of National Protective Effect in No.1703
Sand-Binding Protection Forest of Changhua County



委託機關：行政院農委會林務局

執行機關：國立中興大學

中華民國 99 年 12 月

摘 要

本研究目的在於從事編號1703號飛砂防止保安林風速、飛砂及揚塵之觀測，並調查其生態環境，據以瞭解保安林之功效及其存在之必要性；為彌補現地調查及觀測之不足，再從事室內風洞試驗，探討分析砂粒粒徑、含水量及風速對飛砂運移機制之影響；最後根據調查資料，提出保安林營造之建議。

經調查分析結果得知：由於保安林無論任何季節，林帶內環境皆屬於舒適的等級，為一處極佳之天然遮蔽場所，且對於減風及揚塵抑制功效，亦皆高達80%以上，因此，為防止強風及飛砂侵害，保安林仍有必要繼續存置；又為讓民眾多方面瞭解保安林功能，應極力推廣教育宣導，成立保安林戶外教室，並結合「社區林業」以達到「永續發展」的願景。

由風洞實驗結果得知：當砂粒粒徑介於 0.25~0.84mm 時，起動風速為 5~13m/s，運動型態多以滾動及跳躍為主；而粒徑小於 0.25 mm 時，起動風速為 4m/s，運動型態主要為懸浮；又砂粒含水率介於 0.77%~1.70%時，水分子對砂粒運動產生顯著抑制作用。

關鍵詞：保安林、飛砂、揚塵、風洞、滾動、跳躍、懸浮。

Abstract

The object of this study is to observe the wind speed, Aeolian sand and fugitive dust in No.1703 sand-binding protection forest and investigate the eco-environment there whereby to understand the effects and the necessity of existence of the protection forest. To complement the insufficiency of on-site survey and observation, wind tunnel tests were conducted to explore and analyze the effects of grain sizes, moist content of the sand and wind speed on the mechanism of Aeolian sand transport. Lastly, recommendation for building protection forests was presented based on the data from the investigation.

The investigation and analysis results indicate that the protection forest provides a type of environment that is of comfortable level in any season, making great natural shelter, while working to reduce the wind and inhibit fugitive dust by over 80%. Hence, in view to prevent the hazard of strong wind and Aeolian sand, the necessity of keeping the protection forest remains. Also, in order to let people know more about its function, it is necessary to put intense efforts in promoting education and propaganda, including the setup of outdoor classroom of protection forest, and the cooperation with “community forestry” to achieve the vision of “sustainable development”.

The results of wind tunnel experiments indicate that when the sand grain sizes are in a range of 0.25-0.84mm, the starting wind speed is 5-13m/s and the motion pattern is chiefly roll and jump, whereas when the grain size is 0.25 mm, the starting wind speed is 4m/s the motion pattern is mainly suspension; and when moist content in sand is between 0.77%-1.70%, the water molecules significantly inhibit the sand movement.

Keyword: protection forest, Aeolian sand, fugitive dust, wind tunnel, roll, jump, suspension.

目 錄

第一章 主題、緣起與目的	1
1.1 主題	1
1.2 緣起	1
1.3 計畫目的	1
1.4 工作範圍	2
1.5 工作內容	2
第二章 彰化環境概述	4
2.1 地形	4
2.2 地質	5
2.2.1 沖積層	5
2.2.2 階地堆積層	5
2.2.3 頭崙山層	6
2.2.4 紅土台地堆積	7
2.3 土壤	7
2.4 氣候	9
2.5 水文	10
2.6 生態環境	11
2.6.1 大肚溪口野生動物保護區	11
2.6.2 台灣獼猴	13
2.6.3 山陵、森林	14
2.6.4 伸港、漢寶、王功等濱海地區海岸景觀資源	15
第三章 基地環境概述	16
3.1 地理位置及環境	16
3.2 保全對象	18

3.3 編號 1703 號飛砂防止保安林地理位置圖	18
第四章 研究方法	19
4.1 樁號現況比對調查	19
4.2 現地風速及微氣候觀測	20
4.3 現地飛砂及揚塵觀測	22
4.4 砂粒物性分析	24
4.4.1 砂粒密度分析	25
4.4.2 砂粒含水率	26
4.4.3 砂粒粒徑	27
4.4.4 砂粒質地	28
4.5 風洞試驗	29
4.5.1 試驗設備	29
4.5.2 粒徑及風速與飛砂量關係之觀測	30
4.5.3 砂粒含水率與飛砂量關係之觀測	31
4.6 保安林營造之探討	32
第五章 結果與討論	35
5.1 保安林生態環境現況調查結果	35
5.1.1 樁號現況比對調查結果	35
5.1.2 保安林減風功效觀測結果	40
5.1.3 微氣候觀測結果	48
5.2 現地飛砂及揚塵觀測結果	58
5.2.1 風速垂直剖面與飛砂量之關係	58
5.2.2 飛砂量與揚塵量 (PM ₁₀) 之關係	59
5.3 室內分析及實驗結果	63
5.3.1 砂粒物理性質分析結果	63
5.3.2 室內風洞實驗結果	64

5.4 保安林營造之建議.....	68
5.4.1 保安林機能檢測結果	68
5.4.2 保安林林帶更新之建議方案	70
5.4.3 分段式保安林之建議方案	74
5.4.4 海岸保安林連貫之建議方案	75
5.4.5 保安林經營管理之建議方案	76
第六章 結論與建議	77
6.1 保安林生態環境方面	77
6.1.1 保安林生態環境方面	77
6.1.2 微氣候調查與分析方面	78
6.1.3 現地飛砂及揚塵觀測方面	78
6.1.4 室內分析及實驗結果方面	79
6.2 建議.....	79
參考文獻	81
附錄一 期中、期末簡報委員意見回覆表	85
附錄二 研究團隊說明	90
附錄三 樁號現況比對圖	93
附錄四 風速觀測分析表	100
附錄五 飛砂量觀測資料表	104

圖 目 錄

圖 1-1 彰化縣保安林面積分佈百分比	3
圖 2-1 彰化縣地質圖	5
圖 2-2 彰化縣土壤圖	9
圖 2-3 彰化縣水系圖	11
圖 2-4 小雲雀	12
圖 2-5 大白鷺	12
圖 2-6 洋燕	12
圖 2-7 紅鳩	12
圖 2-8 大肚溪口野生動物保護區範圍	13
圖 2-9 台灣獼猴	13
圖 2-10 八卦山風景區	14
圖 2-11 百果山風景區	14
圖 2-12 松柏嶺遊憩區	14
圖 2-13 田中鎮森林公園	14
圖 2-14 王功漁港	15
圖 2-15 紅樹林	15
圖 2-16 伸港灘地	15
圖 2-17 台灣螻蛄蝦	15
圖 3-1 編號 1703 號飛砂防止保安林之現況	16
圖 3-2 木麻黃	16
圖 3-3 黃槿	16
圖 3-4 苗圃 (鵝掌藤)	17
圖 3-5 興工路	17
圖 3-6 農田	17
圖 3-7 堤防	17
圖 3-8 池溜	17
圖 3-9 編號 1703 號飛砂防止保安林之保護對象 (聚落及工業區)	18
圖 3-10 編號 1703 號飛砂防止保安林地理位置圖	18
圖 4-1 編號 1703 號飛砂防止保安林樁號位置圖	19
圖 4-2 多層風速計觀測情形	20
圖 4-3 林內外 DAVIS 及 TDR 觀測情形	21
圖 4-4 林帶減風及揚塵抑制功效測線位置圖	21
圖 4-5 多層風杯型風速計	22
圖 4-6 水平式集砂器	22
圖 4-7 BSNE (Big Spring Number Eight) 垂直式集砂器	23
圖 4-8 現地飛砂及揚塵觀測情形	23

圖 4-9 粉塵採樣器	24
圖 4-10 比重瓶	25
圖 4-11 水浴機	25
圖 4-12 電子秤重儀	25
圖 4-13 水分稱量盒	26
圖 4-14 烘箱	26
圖 4-15 雷射光繞射粒徑分析儀(Coulter LS230, Beckman)	27
圖 4-16 量筒、燒杯、篩網	28
圖 4-17 超音波分散器	28
圖 4-18 風洞設備示意圖	30
圖 4-19 風洞試驗段側邊之觀察視窗	30
圖 4-20 進氣口風速調節片	30
圖 4-21 粒徑及風速與飛砂量觀測	31
圖 4-22 防風定砂應用植物之選擇與設計原則	33
圖 5-1 河岸堤防與防汛道路	36
圖 5-2 工一路截彎取直解除區域	36
圖 5-3 保安林面積現況分佈百分比圖	37
圖 5-4 保安林面積現況分佈概略圖	37
圖 5-5 保安林複層林相情形	38
圖 5-6 工業區苗圃使用情形	38
圖 5-7 保安林樁號現況調查比對圖	38
圖 5-8 保安林寺廟占建情形	39
圖 5-9 保安林住家占建情形	39
圖 5-10 保安林農地濫墾情形	39
圖 5-11 保安林垃圾棄置情形	39
圖 5-12 迎風面林木枯萎情形	40
圖 5-13 林緣生長衰退情形	40
圖 5-14 林帶下風面測定點 1 減風效果比較圖	46
圖 5-15 林帶下風面測定點 2 減風效果比較圖	46
圖 5-16 林帶下風面測定點 3 減風效果比較圖	47
圖 5-17 林帶下風面測定點 4 減風效果比較圖	47
圖 5-18 林帶下風面測定點 5 減風效果比較圖	48
圖 5-19 平均溫度變化圖 (99.10.09)	51
圖 5-20 濕度變化圖 (99.10.09)	52
圖 5-21 氣壓變化圖 (99.10.09)	53
圖 5-22 林帶外不同深度之土壤水份圖 (99.10.09)	55
圖 5-23 林帶內不同深度之土壤水份圖 (99.10.09)	55
圖 5-24 林帶外不同深度之地溫圖 (99.10.09)	57
圖 5-25 林帶內不同深度之地溫圖 (99.10.09)	57

圖 5-26	$U_{0.25}$ 與 Q 之關係圖	59
圖 5-27	$\left(\frac{Q}{d_{50} \times U_{0.25} \times \sigma} \right)$ 與 $\left(\frac{U_{0.25}^2}{g \times d_{50} \frac{\sigma}{\rho}} \right)$ 關係圖	61
圖 5-28	飛砂量與揚塵量之關係	62
圖 5-29	砂粒粒徑分布圖	63
圖 5-30	砂粒含水率與飛砂量之關係	67
圖 5-31	林帶斷面示意圖	69
圖 5-32	海岸林帶寬度對防風功效影響示意圖	71
圖 5-33	不同橫斷面林帶之設計 (Woodruff 與 Zingg(1953))	72
圖 5-34	C 型防風林斷面配置示意圖	73
圖 5-35	三角形植栽配置圖	73
圖 5-36	分段式與 60 行未分段式防風林帶能量損失比較圖	74
圖 5-37	林帶缺口建議方案	75
圖 5-38	活動式擋風屏障示意圖	75

表 目 錄

表 1-1 彰化縣保安林面積分佈概況	3
表 2-1 彰化縣地形百分比	4
表 2-2 彰化縣土壤分布、面積、特性一覽表	8
表 2-3 鹿港自動氣象站觀測資料 (2000~2009)	10
表 5-1 保安林面積增減情形	36
表 5-2 保安林面積現況分佈一覽表	36
表 5-3 各測線對照點風速觀測值	42
表 5-4 測線 1 (空曠地) 測定點風速觀測值	42
表 5-5 測線 2 (住宅區) 測定點風速觀測值	42
表 5-6 測線 3 (工業區) 測定點風速觀測值	42
表 5-7 測線 1 (空曠地) 相對風速及減風效果結果表	43
表 5-8 測線 2 (住宅區) 相對風速及減風效果結果表	44
表 5-9 測線 3 (工業區) 相對風速及減風效果結果表	45
表 5-10 微氣候觀測值 (99.05.26)	48
表 5-11 微氣候觀測值 (99.07.13)	49
表 5-12 微氣候觀測值 (99.10.09)	49
表 5-13 自然光之照度表	50
表 5-14 飛砂量與 PM ₁₀ 觀測值	59
表 5-15 烏溪河口飛砂因次分析之結果	60
表 5-16 測線 1 (空曠地) 相對 PM ₁₀ 及揚塵抑制效果結果表 (99.12.04)	62
表 5-17 砂粒粒徑參數	63
表 5-18 不同砂粒粒徑及風速之飛砂量	65
表 5-19 不同砂粒含水率之飛砂量	66
表 5-20 林帶實際寬度與理論寬度對照表	70
表 5-21 C 型斷面樹種及樹高資料	72

第一章 主題、緣起與目的

1.1 主題

彰化縣編號 1703 號飛砂防止保安林國土保安效益研究計畫。

1.2 緣起

彰化濱海地區編號 1703 號飛砂防止保安林面積約 64 公頃，其設置為防止飛砂侵害全興、和興段一帶、防護工業區及村莊之安全，暨增進濱海之自然景觀而編入；既有防風林帶多屬複層林，對於防治飛砂、降低風速頗具功效，不但仍有繼續存置為保安林之必要，而且亟需積極營造，強化提升其功能。

由於本保安林自民國前 2 年編入至今已超過一世紀，其設置後因時移境遷，目前之生態環境與當初差異頗大，且因近年來在颱風侵襲下，局部林木受到毀損，如何確保和提昇原訂之功能，則為本研究之主要目標；另外由於部分林區現況已為河岸堤防、防汛道路等，可核符「保安林解除審核標準」第 2 條第 1 項第 1 款「森林法第 8 條第 1 項第 2 款：交通或水利用地所必要者。」所定情形，若解除後尚不影響保安林整體功能，是否能依法解除？基於以上背景緣由，本研究針對如何確保和提升本保安林功能，作必要之生態環境調查與規劃，並提出具體建議方案，做為爾後整體營造之參考依據。

1.3 計畫目的

研究調查編號 1703 號飛砂防止保安林生態環境，並從事現地風速、飛砂與揚塵移動狀況之觀測，據以瞭解保安林之功效及其存在之必要性；為彌補現地調查及觀測之不足，本研究再從事室內風洞試驗，探討分析砂粒粒徑、含水量及風速對砂粒起砂或揚塵機制之影響；最後根據調查資料研擬現有生態環境改善方案，期能提昇海岸空間利用價值，以營造符合該地區環境生態並具有國土保安之保安林。

1.4 工作範圍

彰化縣編號 1703 號飛砂防止保安林。

1.5 工作內容

1. 調查編號 1703 號飛砂防止保安林飛砂與揚塵移動現況。
2. 調查蒐集編號 1703 號飛砂防止保安林立地環境特性，並從事觀測，以擬定海岸防風林經營之有效對策。
3. 從事飛砂之室內風洞實驗，進而探討分析砂粒粒徑、含水量及風速對砂粒起砂或揚塵機制之影響。
4. 研擬現有生態環境改善方案，提昇海岸空間利用價值，以營造符合該地區環境生態並具有國土保安之保安林。

1.6 彰化林區保安林經營管理概況

彰化縣境內保安林總計 10 筆，總面積 2766.683 公頃，如表 1-1 所示；依功能不同，分為飛砂防止林、防風林、土砂捍止林、水源涵養林及風

景林五種，其中以 1704 土砂捍止林最大，佔總面積的 76.3%；本計畫區之 1703 號飛砂防止林，僅佔全部的 2.3%，如圖 1-1 所示。

表 1-1 彰化縣保安林面積分佈概況

編號	保安林種類	地點	面積(公頃)	百分比
第 1701 號	水源涵養林	彰化縣彰化市	220.074	7.90%
第 1702 號	飛砂防止林	彰化縣芳苑鄉	20.871	0.75%
第 1703 號	飛砂防止林	彰化縣伸港鄉、和美鎮	63.704	2.30%
第 1704 號	土砂捍止林	彰化縣社頭鄉、田中鎮、二水鄉、南投縣名間鄉	2111.117	76.30%
第 1705 號	水源涵養林	彰化縣花壇鄉	119.423	4.32%
第 1706 號	風景林	彰化縣彰化市	14.890	0.54%
第 1707 號	防風林	彰化縣芳苑鄉	46.422	1.68%
第 1709 號	防風林	彰化縣芳苑鄉、大城鄉	89.838	3.25%
第 1710 號	水源涵養林	彰化縣員林鎮	56.337	2.04%
第 1711 號	防風林	彰化縣芳苑鄉	24.007	0.92%
合計	10 筆		2766.683	100%

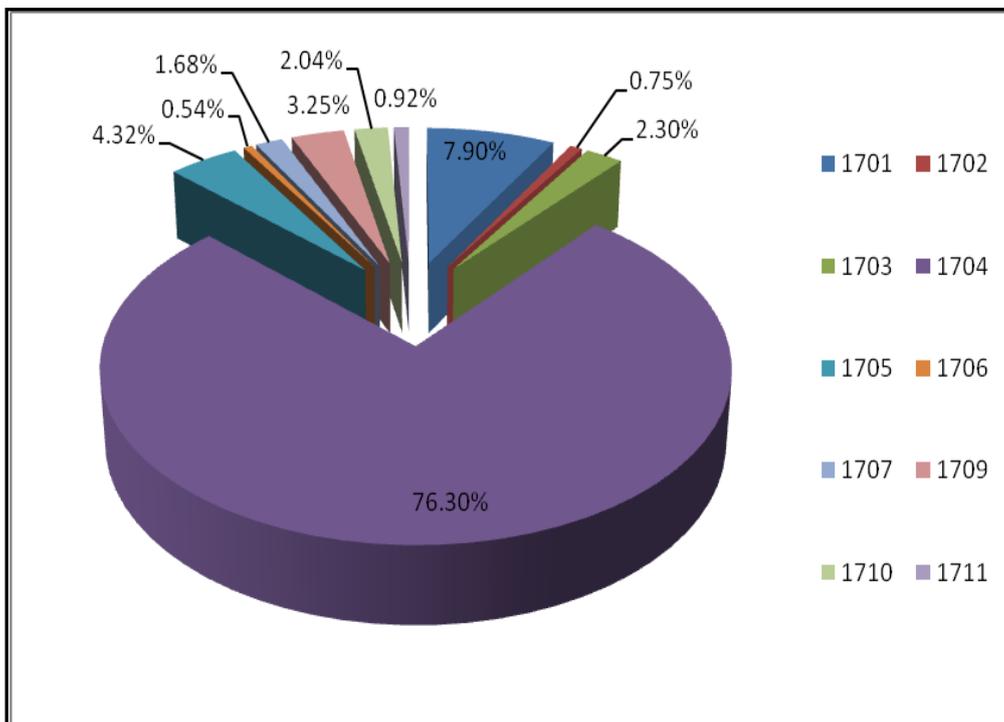


圖 1-1 彰化縣保安林面積分佈百分比

第二章 彰化環境概述

彰化縣位於台灣西部正中央，南北長 44 公里，北部東西寬約 12 公里，南部寬約 40 公里，面積 1,074.40 平方公里，佔全省土地面積 2.99%。彰化縣西臨台灣海峽，北以大肚溪與台中縣為界，南邊以寬廣的濁水溪與雲林縣遙遙相隔，東倚八卦山脈與南投縣為臨，茲就海岸特性、地形、地質、土壤、氣候、水文、及生態環境分述如下：

2.1 地形

彰化縣土地以彰化平原區面積最大，共約 94,240 公頃，佔 87.71%。其次為山坡地區，凡標高 100 公尺至 1,000 公尺下或未滿 100 公尺，而坡度在 5% 以上之丘陵地及淺山區域傾斜地區均屬之，面積為 10,020 公頃，佔 9.33%，主要分布於彰化縣東側之八卦山脈地區。

另外高山林區面積為 3,180 公頃，佔全縣面積 2.96%，主要分布於東部之社頭、田中、二水、員林、花壇及彰化等鄉鎮市，地勢陡峻，極少緩坡地，不適於農牧生產，為保安林地，如表 2-1 所示。

表 2-1 彰化縣地形分布百分比

地 形	百分比(%)	分 布 地 區
平 原	87.71	彰化縣中、西部各鄉鎮
山坡地	9.33	彰化縣東側八卦山脈
高 山	2.96	社頭、田中、二水、員林、花壇、彰化
總 計	100	

2.2 地質

彰化縣之地質由西至東分別為沖積層、階地堆積層、頭嵙山層、紅土台地堆積，其分布如圖 2-1 所示，而各地層之說明如下：



圖 2-1 彰化縣地質圖

2.2.1 沖積層

沖積層指沖積平原上堆積的岩體，部份也分佈在丘陵區或山地地區的平坦地形面上，其成份以黏土、粉砂、砂和礫石組成，大部份尚膠結不良，其最上部有相當大的部份常被風化成土壤，充分被利用於農業上，沖積層應也包含濱海地區的砂丘砂，呈灰色、淡灰黑色、淡棕黃色，其成份大部份為石英粒及板岩屑或其他岩屑，並且含有少量的磁鐵礦砂或火成岩源的礦物，但量不多。沖積層廣泛地覆蓋在臺灣西部海岸平原、屏東河谷、臺灣東北部的宜蘭平原、和東部縱谷的上面。沖積層也分布在臺灣較大的盆地區內，沖積層造成了許多主要河流的氾濫平原和現代台地，沖積層也包括海岸砂丘、現代湖泊和沼澤的沉積物、和石灰岩區內的洞穴沉積物，它們全部歸入地質圖中的沖積層內。

2.2.2 階地堆積層

階地堆積層分布在區內各主要河流之沿岸，呈零星而側向不連續

的分布，一般為河床下切或側向遷移所遺留之舊河道堆積，不整合覆於較老的地層之上。由未膠結之礫石為主，間夾薄砂層，層理面不明，偶可見到疊瓦狀的礫石排列，普遍淘選度不佳，未受紅土化作用影響，推測為更新世晚期以後的堆積物。有一地區出現紅土化現象，可能是侵蝕自紅土化地層之紅土礫石階地，如大肚東側的階地。

2.2.3 頭嵙山層

頭嵙山層的時代大約在更新世的初期，距今約 80-200 萬年，廣泛地分布於臺灣西部山麓地帶，以台中市東的頭嵙山為標準地。頭嵙山層一般可分為兩個岩相，一為礫岩相，另一為砂岩和頁岩相。八卦台地北部出露之頭嵙山層以砂岩和泥岩為主，夾雜礫岩。於南部出露的頭嵙山層則屬礫岩相，層理不明顯。礫石的種類以石英岩、變質砂岩、砂岩為主，且多有破裂之情形。礫石的形狀為圓形至次圓形，淘選度欠佳。礫岩相的頭嵙山層多分布於台地的西側或侵蝕溝的兩側，在地形上多發育為峻崖或陡壁。

台地的表層多為紅土礫石所覆蓋。台地中段的頂部有發育良好的紅土，厚達數公尺以上。這些台地堆積層大多由未經膠結的礫石及砂質或粉砂質的沈積物所組成，一般層理和淘選度都很差。紅土只是覆蓋在礫石層上的表土長期受雨水淋溶作用，殘餘的鐵經氧化產生氧化鐵而形成紅色的土壤。在含礫石的地層中，常見到礫石呈覆瓦狀的排

列，稱之為覆瓦構造(Imbricate structure)。被河流搬運來的礫石在堆積的過程中，受水流的影響呈疊覆屋瓦般的排列，因此，可以由其排列的方向推測古河流的流向。

2.2.4 紅土台地堆積

在沖積平原區及丘陵區和山地地區均有分佈，一般台地堆積常含有紅土的和不含紅土的，他們有相同的岩性特徵，只是一個頂部覆蓋有紅土表層，而另一個則沒有紅土覆蓋。此類堆積層大多數由未經膠結的礫石及夾在其中呈平緩的砂質或粉砂質組成，一般層理和淘選度都很差，礫石直徑的大小可以從幾公厘一直到二公尺左右，少於二公厘的顆粒則常為礦物和少量的岩石碎屑。礫石有各種不同岩石，種類隨著來源和地區的不同而異，通常以岩屑質砂岩和石英質砂岩比較多。礫石通常也和各種不同比例的砂、粉砂、黏土混雜在一起，有的台地堆積層的主要成份是細粒碎屑（砂、粉砂、黏土）夾著少許礫岩。

2.3 土壤

彰化平原即為一隆起海岸平原，濁水溪、大肚溪、八卦台地之新沖積物再蓋於其上而形成的。彰化平原又屬現代沖積層，係由濁水溪及大肚溪帶來河層沖積物，在沖積扇堆積，其質地以近上游，且距河道越近者，其粒子越粗。因此，以濁水溪老河床地及大肚溪南岸附近質地較粗，多為砂質壤土。新舊濁水溪河道間之沖積平原為粉質壤土和壤土之混合，舊濁水溪以北則為粉質壤土與粉土之混合。而八卦山台地地形中較

平緩安定之處多有紅棕色紅壤、黃紅色紅壤分布。在地形比較凸起的地區多為紅棕色紅壤，位置較低者為黃紅色紅壤。而本計畫區即位於和美、伸港部分，屬砂頁岩及粘板岩混合沖積土，各土壤分布、面積與特性如表 2-2 及圖 2-2 所示：

表 2-2 彰化縣土壤分布、面積、特性一覽表

土 壤	面積 (公頃)	主要分布鄉鎮	特 性
砂頁岩及粘板岩 混合沖積土	10,300	彰化、和美、線西、 伸港、芬園	底土質地適中，但排水情形不完全。土壤反應微酸至中性，透水性適中，灌溉流失量少。適宜種植水稻，早期適宜於裡作旱作物。
粘板岩新沖積土	15,241	溪湖、埤頭、大村、 竹塘、田中、二水、 二林	多屬粗地質，排水過剩至不完全。土壤反應為微鹼至中鹼，生產力頗低。
粘板岩老沖積土	51,961	永靖、二林、鹿港、 員林、秀水、大城、 福興、芳苑、花壇、 社頭、北斗、埔心	底土為中至細質土，排水情形不完全。土壤反應為中鹼至微鹼性。適宜種植水稻。
砂頁岩新沖積土	227	彰化、花壇等鄉鎮 山坡地範圍	分布於八卦山脈間谷底野溪兩旁，土壤質地相差很大。多利用為稻田及果園。
石質土	46	花壇之山坡地範圍	有機質含量高，養份含量多。分布於地勢陡峻地位，土壤不易安定。作農用時，水土保持為一大問題。
崩積土	2,131	彰化、花壇、員林 等鄉鎮山坡地範圍	淋溶作用強，土壤反應值偏酸，屬較貧瘠之土壤。本類土壤利用時，水土保持應列為首要工作，否則土壤及養分易於流失殆盡。
紅壤	8,865	彰化、花壇、員林、 芬園、社頭、二水、 田中等鄉鎮山坡地 範圍	本類土壤因形成年代較老，淋溶劇烈，土壤粘性強。土壤反應偏酸，鹽基性物質剩餘不多，為貧瘠之土壤。
黃壤	897	彰化、花壇、社頭 等鄉鎮山坡地範圍	土壤反應偏酸。
複合土壤	418	二林、員林、溪州、 福興	依種類不同特性各異。

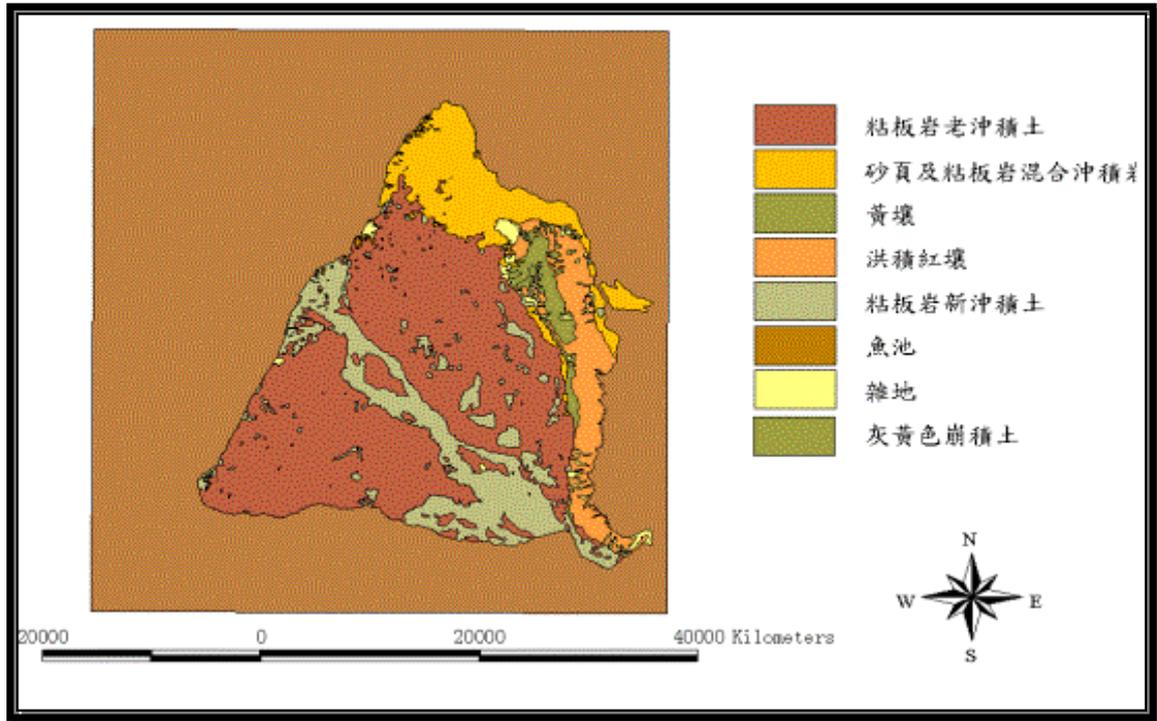


圖 2-2 彰化縣土壤分布圖

2.4 氣候

台灣位於最大陸地與最大海洋交接處的低緯地帶，因此氣候深受季風的影響，無明顯的四季，冬季受東北季風的影響，夏季受西南氣流和颱風的影響，夏、冬季之間，則為季風轉換的季節。

彰化縣中心約位於北緯 24°，東經 120°，屬於亞熱帶季風氣候區，全年氣溫以 7 月及 8 月為最高，2 月最低，年平均溫度約在 22°C 左右，氣候溫和怡人，冬季為乾季，以東北季風為主，夏季西南風盛行，7~9 月常有颱風侵襲，降雨量以 5 月及 6 月份梅雨季降雨量最多。氣象資料選用距試區最近之鹿港自動氣象站，如表 2-3 所示。

表 2-3 鹿港自動氣象站觀測資料 (2000~2009)

月份	平均氣溫 (°C)	平均風速 (m/s)	風向	降雨量(mm)
1	16.2	3.70	北	37.1
2	15.6	3.31	北北東	52.6
3	17.4	2.99	北北東	92.7
4	21.0	2.49	北北東	131.3
5	23.8	2.45	西南西	220.5
6	25.6	2.86	西南西	232.3
7	26.9	3.10	西南	178.5
8	26.9	1.95	西南	179.2
9	25.9	2.11	北北東	89.8
10	23.6	3.11	北北東	37.9
11	20.7	3.45	北北東	22.3
12	17.4	3.67	北北東	11.8
平均	22.2	2.93		年總量：1286

2.5 水文

長 1 彰化縣內主要河川有烏溪(大肚溪)、貓羅溪(烏溪支流)及濁水溪。

其餘的溪流有鹿港溪、漢寶溪、後港溪、二林溪與魚寮溪，如圖 2-3 所示。

濁水溪為本省最大最長之河流，總 86.6 公里，發源於合歡山東峰與主峰之間，流域面積 3156.9 平方公里，平均坡度 1:190，流經南投、嘉義、彰化、雲林等 4 縣 21 鄉鎮，挾帶泥砂特多；烏溪總長 119 公里，流域面積 2025.6 平方公里，平均坡度 1:92，流經台中、彰化、南投等 3 縣 10 鄉鎮，下游流灌海岸平原與台中盆地之部分占總長 1/3。此二溪因集水面積廣大，故終年皆有豐富水量，惟因山高水陡，水源涵蓋能力不強，大肚溪及濁水溪本流流量經灌溉圳路大量引進利用後，流經下游平原，經諸細流集匯而再重覆循環利用。

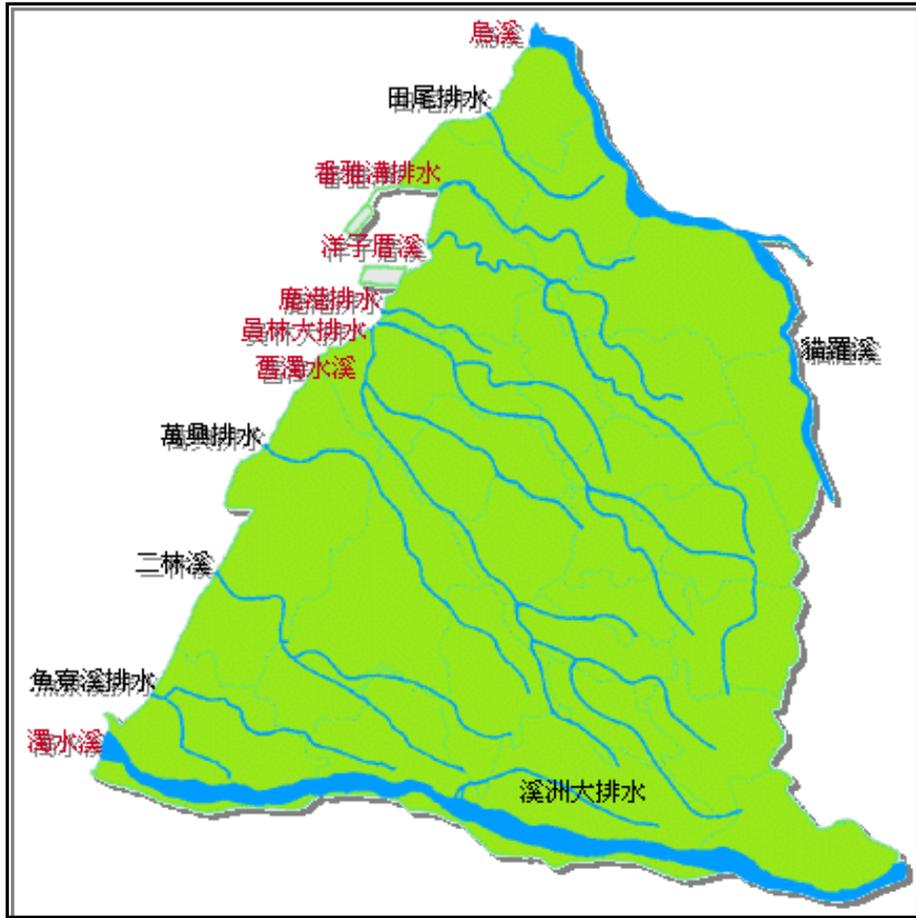


圖 2-3 彰化縣水系圖

2.6 生態環境

2.6.1 大肚溪口野生動物保護區

大肚溪又名烏溪，從台中縣龍井鄉麗水村與彰化縣伸港鄉之間流出台灣海峽，其河口坡度平緩擁有寬達四公里左右的潮間帶和高生產力的河口生態環境，因此動植物資源甚為豐富，遷移性水鳥眾多，如圖 2-4 至 2-7 所示。

大肚溪口水鳥保護區係依《野生動物保育法》於民國 87 年「大肚溪口野生動物保護區」成立公告劃設，北自龍井鄉台中火力發電廠北側之填海新生地，南至伸港鄉田尾大排水溝，東自出海口上朔約 10 公里至宏益採砂場旁之產業道路及龍井堤防上右側斷面樁為界，西邊

則為海岸外約 2 公里，如圖 2-8 所示。本區主要特色在於廣闊的泥質灘地和豐富的鳥類資源，是本區少數國際級之重要棲地之一。



圖 2-4 小雲雀



圖 2-5 大白鷺



圖 2-6 洋燕



圖 2-7 紅鳩



圖 2-8 大肚溪口野生動物保護區範圍

2.6.2 台灣獼猴

行政院農委會在二水鄉鼻子頭段劃設 94.02 公頃的國有林自然保護區，區內保護是台灣獼猴，如圖 2-9 所示。同時鳥類與蝶類資源亦相當豐富。



圖 2-9 台灣獼猴

2.6.3 山陵、森林

八卦山屬台中台地的一部份，彰化縣部份包含彰化市、花壇、員林等八個鄉鎮，地勢不高，森林密佈，已有多處開發為風景區，已開發有八卦山風景區、百果山風景區、二水鄉松柏嶺遊憩區及田中鎮森林公園，如圖 2-10 至 2-13 所示。



圖 2-10 八卦山風景區



圖 2-11 百果山風景區



圖 2-12 松柏嶺遊憩區



圖 2-13 田中鎮森林公園

2.6.4 伸港、漢寶、王功等濱海地區海岸景觀資源

彰化沿海分佈有多個漁村聚落，以往多屬產業發展，其海岸景觀及豐富的產業資源可發展休閒漁業。王功至漢寶間及芳苑鄉濱海處有一大片的人工紅樹林，復育成效頗佳，堤防外之沙灘及潮間帶濕地吸引許多鳥類及生物覓食，如圖 2-14 至 2-17 所示。



圖 2-14 王功漁港



圖 2-15 紅樹林



圖 2-16 伸港灘地



圖 2-17 台灣螞蛄蝦

第三章 基地環境概述

3.1 地理位置及環境

編號 1703 號保安林位於彰化縣伸港鄉全興段、和美鎮和興段及塗厝厝段塗厝厝小段，主要位在伸港鄉全興工業區與大肚溪口南側河堤之間，面積 63.704278 公頃，南北狹長形，長度約 3.97 公里，平均寬度約 164 公尺，地勢平緩，全區海拔高接近海平面，林帶現況如圖 3-1 所示。本保安林多屬木麻黃、黃槿等所構成之人工闊葉林，如圖 3-2 及 3-3 所示，部分為苗圃、道路、池溜、農田等，相鄰區域多為工業區、道路、堤防、農田，如圖 3-4 至 3-8 所示。



圖 3-1 編號 1703 號飛砂防止保安林之現況



圖 3-2 木麻黃

圖 3-3 黃槿



圖 3-4 苗圃 (鵝掌藤)



圖 3-5 興工路



圖 3-6 農田



圖 3-7 堤防



圖 3-8 池溜

3.2 保全對象

主要為防止飛砂侵害全興、和興段一帶並保護工業區及村莊之安全而設置。



圖 3-9 編號 1703 號飛砂防止保安林之保護對象（聚落及工業區）

3.3 編號 1703 號飛砂防止保安林地理位置圖

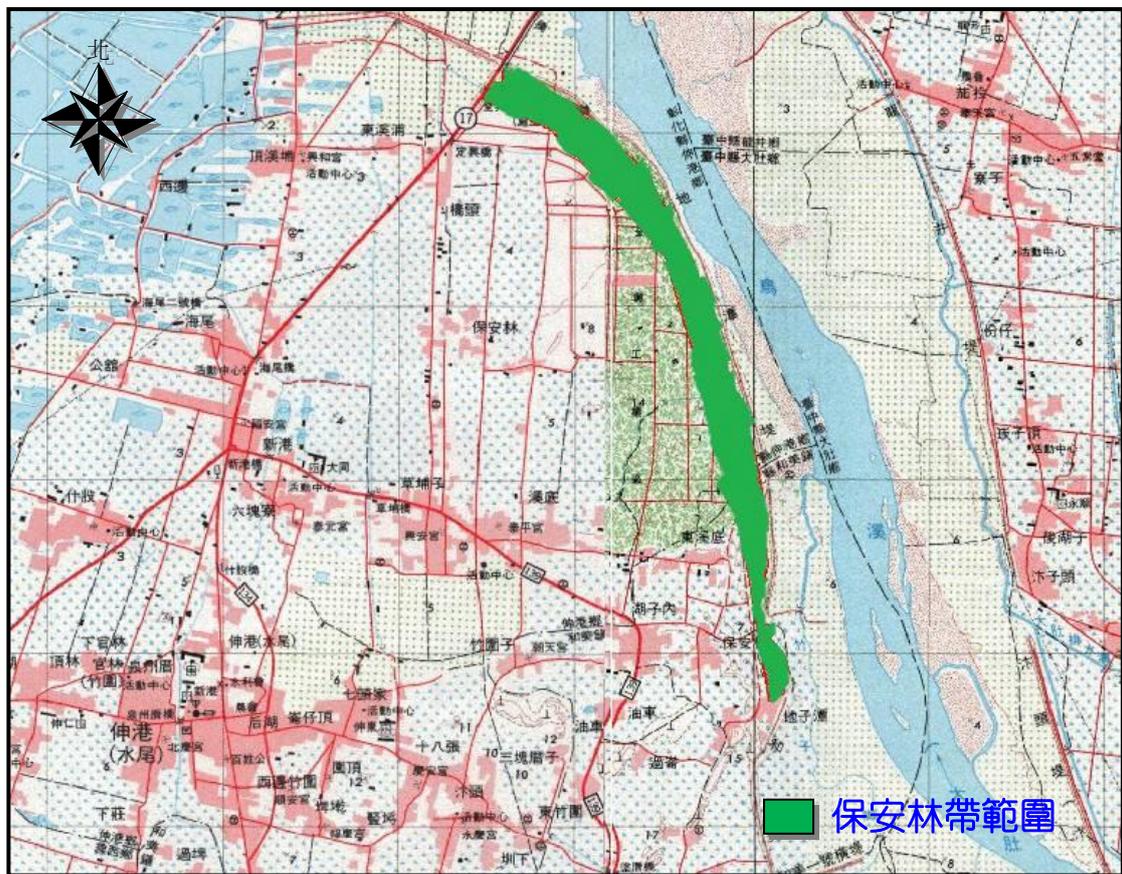


圖 3-10 編號 1703 號飛砂防止保安林地理位置圖

第四章 研究方法

4.1 樁號現況比對調查

本研究為深入瞭解彰化地區編號 1703 號保安林近年來變遷情形，除了參閱行政院農業委員會林務局南投林區管理處所編印之檢訂報告外，並實地運用 GPS 定位系統，依照樁號進行調查，同時拍攝週遭環境照片，再與檢訂報告內之照片相互比對，用以比對分析。

本區域之最新檢定報告於 95 年度完成，檢定時間為 95 年 1 月至 95 年 12 月止。本次調查於保安林區域鄰近內，引用地政機關、內政部及本處設置之 GPS 控制點共 11 處，如圖 4-1 所示。

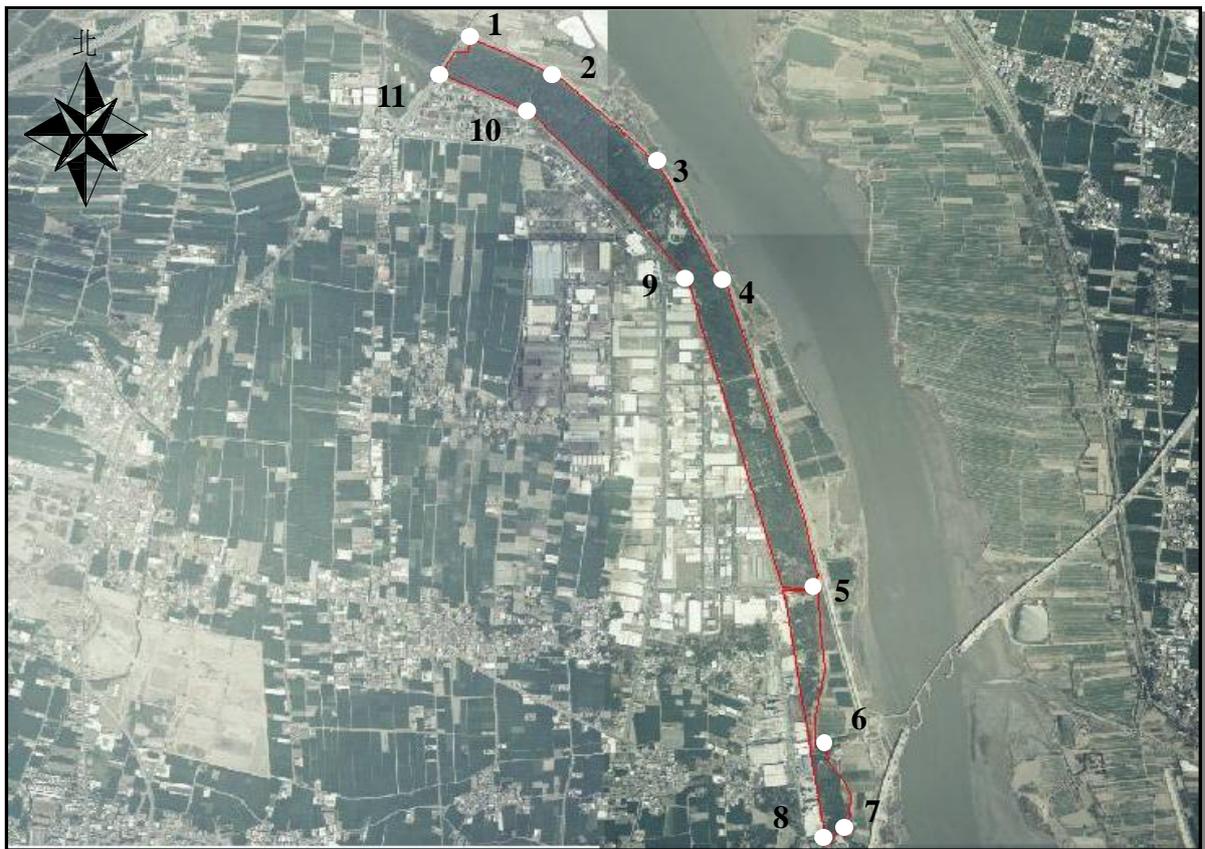


圖 4-1 編號 1703 號飛砂防止保安林樁號位置圖

4.2 現地風速及微氣候觀測

本研究為瞭解現存保安林對減風之功效及微氣候之影響，因而使用多層風速計與綜合氣象測定儀（DAVIS）和土壤水分測定儀（TDR），在保安林帶內外從事現地風速及微氣候觀測，如圖 4-2 及 4-3 所示。

保安林減風功效之觀測，如圖 4-4 所示，分別勘選三條測線，探討林帶背風面空曠地、住宅區及工業區等區域，風場之變化；多層風速計之觀測高度分別為 0.5、1.5、3.0、4.6 及 6.0 m 共 5 個剖面，每測回觀測時間 10 分鐘取其平均，並記錄於 CR10 自記式記錄器中，再以最小平方法求出其迴歸式與相關係數，進而推求出各測回風速之摩擦速度與地面之粗糙長度，據此可以瞭解風速垂直分布與地況之特性。

研究中溫度、濕度、氣壓及日輻射之觀測，係使用自記式記錄器(Davis Vantage PRO2)，而最高最低溫度與光照度之觀測則是使用非自記式儀表，至於土壤水分與地溫之觀測則是使用 CR10X 記錄器配合量測感應器(TDR)，同時蒐集土深 10cm、20cm、30cm、40cm 及 50cm 處之資料，測定時以每 30 秒讀取資料 1 次，再取 30 分鐘之平均值，此種取樣與量測方式將能符合夏禹久、楊之遠(1989)與梁亞忠(1994)所要求之穩定狀態。



圖 4-2 多層風速計觀測情形



圖 4-3 林內外 DAVIS 及 TDR 觀測情形

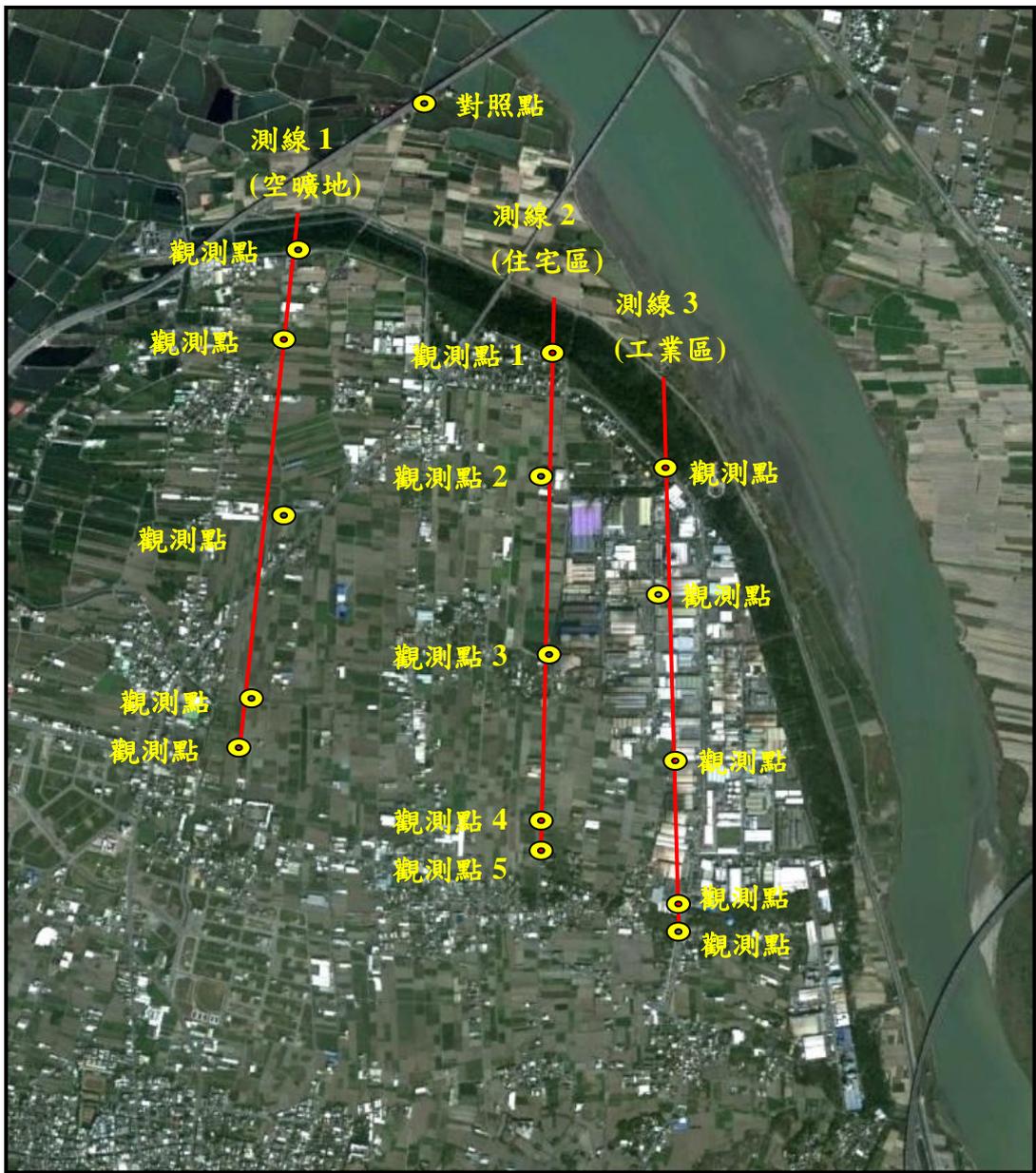


圖 4-4 林帶減風及揚塵抑制功效測線位置圖

4.3 現地飛砂及揚塵觀測

本研究另一項工作內容係從事現地飛砂與揚塵移動狀況之觀測，據以瞭解保安林之功效及其存在之必要性；現地集砂器與風杯型風速計所設置之高度分別為 0.05、0.25、0.3、0.4、0.7、1.0 及 1.3m，共 7 個剖面，觀測不同高度飛砂量之變化，如圖 4-5 至圖 4-8 所示。

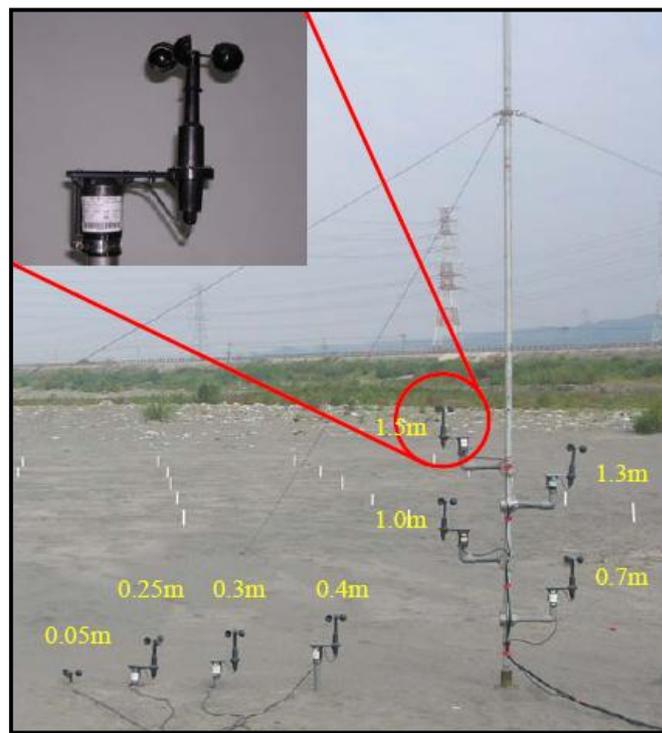


圖 4-5 多層風杯型風速計

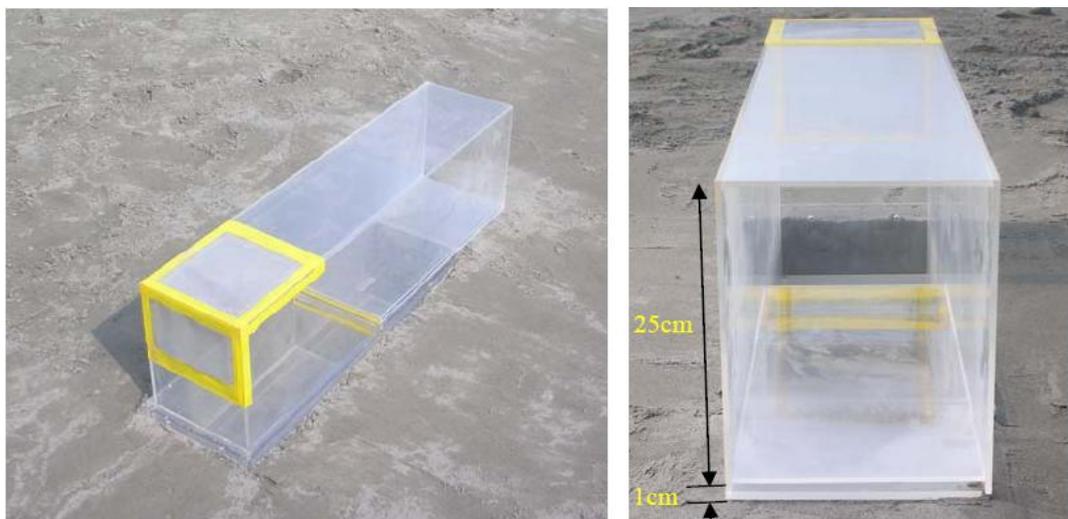


圖 4-6 水平式集砂器

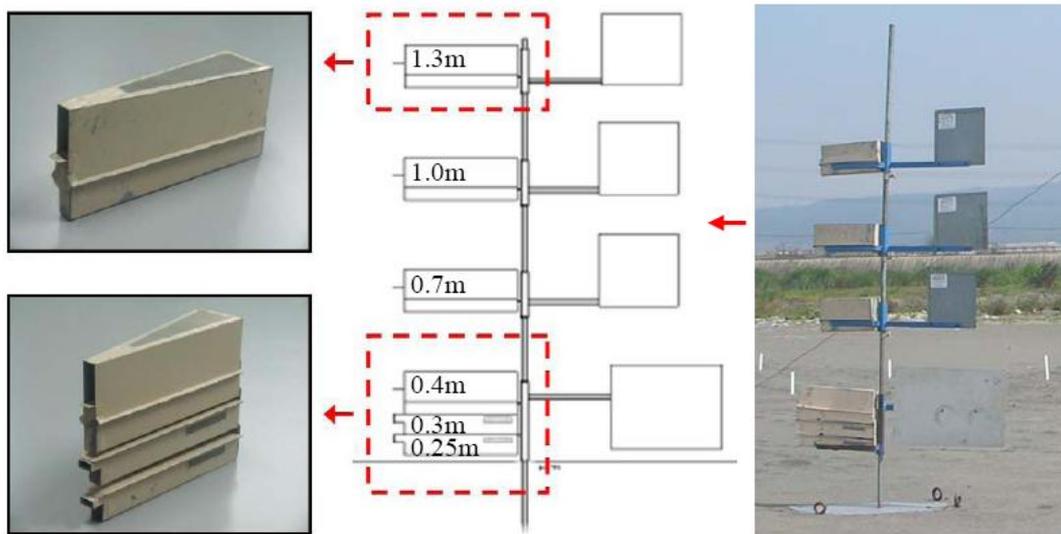


圖 4- 7 BSNE (Big Spring Number Eight) 垂直式集砂器



圖 4-8 現地飛砂及揚塵觀測情形

本研究飛砂量之觀測所使用之集砂器分別為水平式及 BSNE (Big Spring Number Eight) 垂直式兩種，如圖 4-6 及圖 4-7 所示；水平式集砂器埋置與地表面水平，以收集 0~0.01 m 及 0.01~0.25 m 高度之飛砂，其目的為收集滾動及跳躍型態之飛砂；垂直式集砂器架設高度分別為 0.25、0.3、0.4、0.7、1.0 及 1.3 m 共 6 層，其目的為收集懸浮型態之飛砂；飛砂收集時間為 40 分鐘收集一次，將各層收集之飛砂裝入密封袋內，攜回室內進行分析。

研究中保安林對揚塵抑制功效之觀測，如圖 4-4 所示，選擇林帶背風

面空曠地處之測線，探討林帶背風面揚塵衰減情形；觀測儀器係採用 TSI-8520 型直讀式粉塵計，如圖 4-9 所示，具有輕便、操作簡單及瞬間讀取等優點，其原理係將上方吸入孔吸入之粉塵，經由 90°雷射光散射，再藉由粉塵對雷射光的反射角度判讀粒徑大小及數量，並且於 LCD 顯示器直接顯示出粉塵的即時濃度，亦可於儀器內部設定兩組不同的觀測時間，待試驗結束，再由電腦將資料輸出。儀器量測範圍為 0.001~100 mg/m³，量測時間為每 30 秒記錄一筆資料，10 分鐘平均一次，可量測 PM₁₀、PM_{2.5} 和 PM_{1.0} 粒徑大小之懸浮微粒。由於懸浮微粒易對人體呼吸系統造成影響，一般成人口鼻高度約在 1.5 m，故本實驗以 1.5 m 作為粉塵採樣器之架設高度，如圖 4-8 所示。

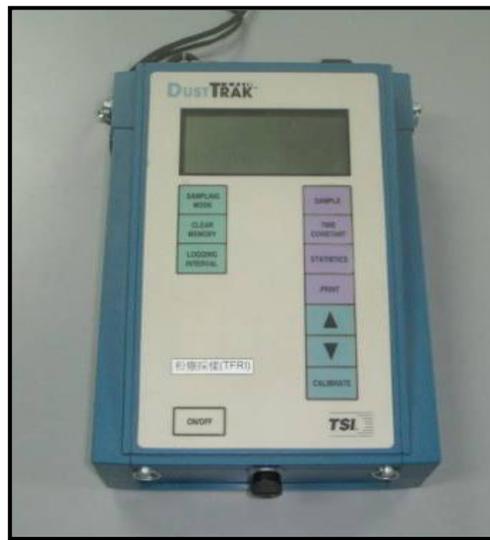


圖 4-9 粉塵採樣器

4.4 砂粒物性分析

本研究經由現地勘查，依現地狀況採集易造成飛砂區域之砂樣，參考環保署環檢所於 2005 年公告編號 S102.61B 之土壤採樣方法，以簡單隨機採樣方式，取得地表以下 5 cm 內之砂土 5 kg 樣本攜回實驗室，根據

萬鑫森（1987）及林俐玲等（2002）等人著作之試驗方法，從事砂粒密度、粒徑、質地及含水率等物理量之分析，分析方法如下所述：

4.4.1 砂粒密度分析

砂粒比重 G_s 為砂粒單位重 γ_s 與 4°C 水的單位重 γ_w 比。如式(4-1)：

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{\gamma_w V_s} \quad (4-1)$$

式中 W_s ：乾土重(g)

V_s ： W_s 所對應之土壤體積

在 (4-1) 式中 W_s 與 γ_w 易知，故求得 W_s 所對應之土壤體積 V_s

即可得知砂粒比重 G_s ，進而得知其密度。

1. 實驗設備：比重瓶（圖 4-10）、水浴機（圖 4-11）、電子秤重儀（圖 4-12）。



圖 4-10 比重瓶



圖 4-11 水浴機



圖 4-12 電子秤重儀

2. 實驗步驟：

- (1) 稱乾淨的比重瓶(涵蓋子)之重量 M_1 。
- (2) 稱約 10g 風乾土(<2mm)，將之倒入比重瓶內，並秤比重瓶與風乾土之重量 M_2 。
- (3) 利用水分係數計算比重瓶內烘乾土重(M_s)。

(4) 注入蒸餾水至比重瓶內八分滿，並轉動比重瓶使砂樣完全濕潤，取下瓶塞將比重瓶放入水浴機內 30 分鐘，加熱水溫至 60°C，並不時轉動比重瓶使氣泡排出。

(5) 30 分鐘後，待比重瓶降至室溫(可用水冷式降溫法)，將比重瓶注滿蒸餾水，並秤此時比重瓶之重量 M_3 。

(6) 將比重瓶內水與砂倒掉並重新注滿蒸餾水，在秤此時比重瓶之重量 M_4 。

3. 計算：

(1) 被砂粒取代之水重 = $M_4 - M_3 + M_s$ 。

(2) 被砂粒取代之水體積 $V_s = \frac{M_4 - M_3 + M_s}{\text{當時水之密度}}$ 。

(3) 砂粒密度 = $\frac{M_s}{V_s}$ (g/cm³)。

4.4.2 砂粒含水率

砂粒含水率為飛砂起動因子之中重要的因素，利用烘箱，使土砂粒表面空隙之水份蒸散後，與風乾土砂重量之差值即為水分含量。

1. 實驗設備：電子秤重儀(圖 4-12)、水分稱量盒(圖 4-13)、烘箱(圖 4-14)。



圖 4-13 水分稱量盒



圖 4-14 烘箱

2. 實驗步驟：

- (1) 稱水分稱量盒重 M_1 。
- (2) 加入風乾土砂並秤重 M_2 。
- (3) 放入 105°C 之烘箱內 24~48 小時。
- (4) 稱烘乾後的土砂與水分稱量盒重 M_3 。

3. 計算：

$$\text{土砂重量水分含量百分比}(\omega) : \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1} \times 100 \text{。}$$

4.4.3 砂粒粒徑

粒徑分佈分析係以雷射光繞射粒徑分析儀（Coulter LS230, Beckman）進行分析，其分析原理係以雷射光入射懸浮於分散項中之微粒，藉由大微粒繞射角度小，小微粒繞射角度大之差異，計算粉粒體之粒徑分佈。其繞射現象經透鏡後聚焦於一特定點上，再由光電偵測器計測其強度，經數據處理換算成粒徑分布。雷射光對粒子產生 Fraunhofer 繞射（假設粒子為圓球型不透明且散射效率相等）現象，量測 $0.4\sim 2000\mu\text{m}$ 區間之粒徑大小分佈，並由 Folk and Ward（1957）提出的粒度參數計算平均值、標準偏差及偏度。

1. 實驗設備：雷射光繞射粒徑分析儀（圖 4-15）



圖 4-15 雷射光繞射粒徑分析儀(Coulter LS230, Beckman)

2. 計算：採用（Folk and Ward,1957）提出的粒度參數計算。

$$\text{平均值：} M_z = \frac{(\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})}{3}。$$

上述各式中 ϕ_x 及相應於 $x\%$ 處的粒徑，稱之為百分位數。

4.4.4 砂粒質地

土壤機械分析是正確評定土壤質地量化之方法，本試驗採用吸管法；當實驗測得砂粒、黏粒與粉粒含量所佔比例時，即可判斷土壤質地。

1. 試驗設備：1000ml 之量筒、250ml 塑膠燒杯、325 網目篩（圖 4-16）、大漏斗、吸管、超音波分散器（圖 4-17）。



圖 4-16 量筒、燒杯、篩網



圖 4-17 超音波分散器

2. 試驗步驟：

- (1) 秤 30 g 乘以水份係數（MF）之風乾土，放置於 250 ml 之塑膠燒杯內，並加入 100 ml 蒸餾水，加入 5% 之 50 ml 偏磷酸鈉，再利用超音波分散器分散 10 分鐘。

(2) 除去砂粒，砂粒可用 325-mesh 之篩子從懸浮液中分離，未過篩之部分為砂粒，需送至烘箱烘乾後秤重，此重量為砂粒含量 M_1 。

(3) 將過篩之懸浮液部份，利用 1000 ml 量筒承接，取樣時間乃根據 Stokes' Law 計算不同粒徑下降 10cm 所需時間，當時間到時，利用吸管吸取 10 cm 處之懸浮液 20ml，並送至烘箱烘乾後，秤重再乘 50，為黏粒含量 M_2 。

3. 計算：

(1) 砂粒含量： M_1

(2) 黏粒含量： M_2

(3) 坩粒含量：30 g 乘以水份係數之風乾土- M_1 - M_2

(4) 對照質地三角圖即可得知基本質地分級。

4.5 風洞試驗

由於現地試驗受限於環境因素，觀測時亦需配合天候，使得資料收集倍加困難。風洞試驗主要目的係彌補現地資料之不足，本研究係利用風洞試驗探討砂粒之起動風速，以及從事砂粒在不同含水量、風速下，所產生的飛砂量與揚塵量之觀測，以瞭解砂粒之運移特性及含水量與風速對飛砂量與揚塵量之影響。研究所需之設備、材料與方法如下所述：

4.5.1 試驗設備

試驗所用之風洞為非循環吹出式風洞，整體結構包括收縮段、整流段、試驗段、擴散段，全長 10 m，試驗段截面積高 0.5m，寬 0.3m，長

4.8m，其側邊有高 0.5m，長 1m 之玻璃觀察視窗 4 扇，如圖 4-18 及圖 4-19 所示。此設備由 5hp 之馬達帶動風扇送風，進氣口處設有調節閥以控制風速之大小，如圖 4-20 所示，風速變化範圍為 0~20m/s。

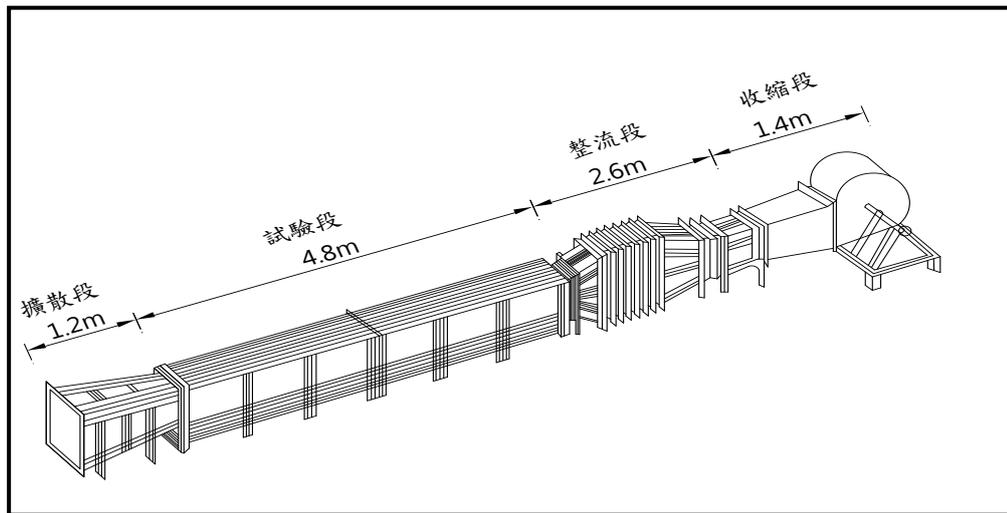


圖 4-18 風洞設備示意圖



圖 4-19 風洞試驗段側邊之觀察視窗



圖 4-20 進氣口風速調節片

4.5.2 粒徑及風速與飛砂量關係之觀測

將樣區所採集之砂攜回實驗室，使其自然風乾，再利用美國標準篩號#10、#20、#40、#60、#100、#140、#200 等，配合搖篩機過篩。

由於未通過#10 篩網之粒徑太大，無法從事風洞試驗；而通過#100 篩網之砂粒量又十分稀少，無法再以#140 以下的篩網細分，因此本試驗粒徑分佈範圍主要為 0.84~2.0 mm、0.42~0.84 mm、0.25~0.42 mm、0.15~0.25 mm 及 0.15 mm 以下(篩號#10~#20、#20~#40、#40~#60、#60~#100 及#100 以上)。取篩分後之砂粒樣本鋪設於風洞試驗段內，其鋪設範圍為高 3 cm、寬 30 cm 及長 200 cm，同時將 H-2 型水平集砂器設置於砂體鋪設段下游 100 cm 處，如圖 4-21 所示。實驗風速分別為 4 m/s、5 m/s、6 m/s、7 m/s、9 m/s、11 m/s、13 m/s 及 15 m/s，吹風時間 3 分鐘，重複 3 次，每測回結束後，為避免因集砂器前方的砂體高度過低，易產生誤差，且影響集砂效率，因而將集砂器前方的土砂重新鋪平，再行測試，記錄不同粒徑所測得之飛砂量，以供分析。

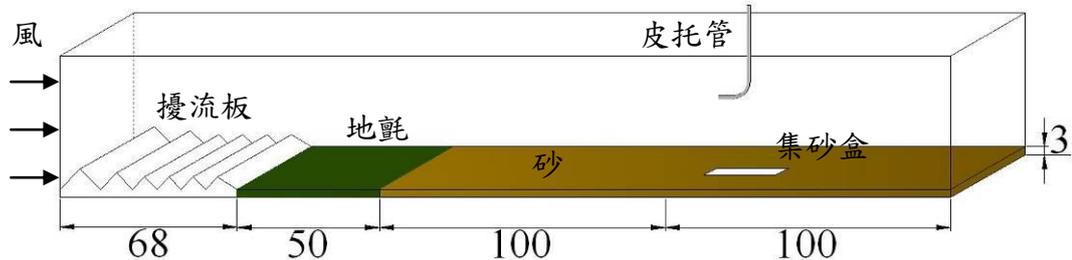


圖 4-21 粒徑及風速與飛砂量觀測

4.5.3 砂粒含水率與飛砂量關係之觀測

由於在風洞試驗時，砂體表面的含水率並非保持不變，為深入瞭解試驗過程中含水率的變化情形，因此，對於試驗前、試驗後及所收集到的飛砂，皆量測其含水率。含水率測定如式 (4-2)：

$$M_C = \frac{W_w - D_w}{D_w} \times 100\% \quad (4-2)$$

式中： M_C =砂粒含水率(%)。

W_w =含水砂重(g)。

D_w =烘乾砂重(g)

試驗前使用手持噴霧槍同時配合攪拌，讓砂粒與水充份攪拌均勻，並於實驗前取相同含水率之 50 g 砂樣本，進行含水率測定。將砂粒樣本鋪設於風洞試驗段內，其鋪設範圍為高 3 cm、寬 30 cm 及長 200 cm，同時將 H-2 型水平集砂器置於砂體鋪設段下游 100 cm 處，如同圖 4-21。實驗風速為 10 m/s，吹風時間 3 分鐘，每測回結束後，為避免因集砂器前方的砂體高度過低，易產生誤差，且影響集砂效率，因而將集砂器前方的土砂重新鋪平，再行測試。

4.6 保安林營造之探討

一般海岸生態包括陸域地形與植被景觀、動物及海域魚類兩大區塊，在本研究中則以陸域生態之營造為主，研究區內陸域地形景觀除了第一線的防衛設施，以海岸人工設施為主外，另一陸域植被即為保安林，係以防風及飛砂防止為目標而設立，也就是對於海岸人工設施所無法攔阻的飄鹽、飛砂及強風，能夠提供進一步之防護，屬於海岸第二線的防衛設施，此二個陸域因子間存在很微妙且很密切的互動關係。因此，除了要維護海岸人工堤之功能外，並應注重提升現有保安林功效，兩者間方能相輔相成，緊密結合，逐漸營造出優質的海岸生態環境。

以本區濱海特性而言，在陸域植被工法規劃設計上，以建造防風定砂之保安林為主，因此，在植物材料之選擇與設計規劃上亦應有所不同，如圖4-22所示，方可有效減少風砂危害。

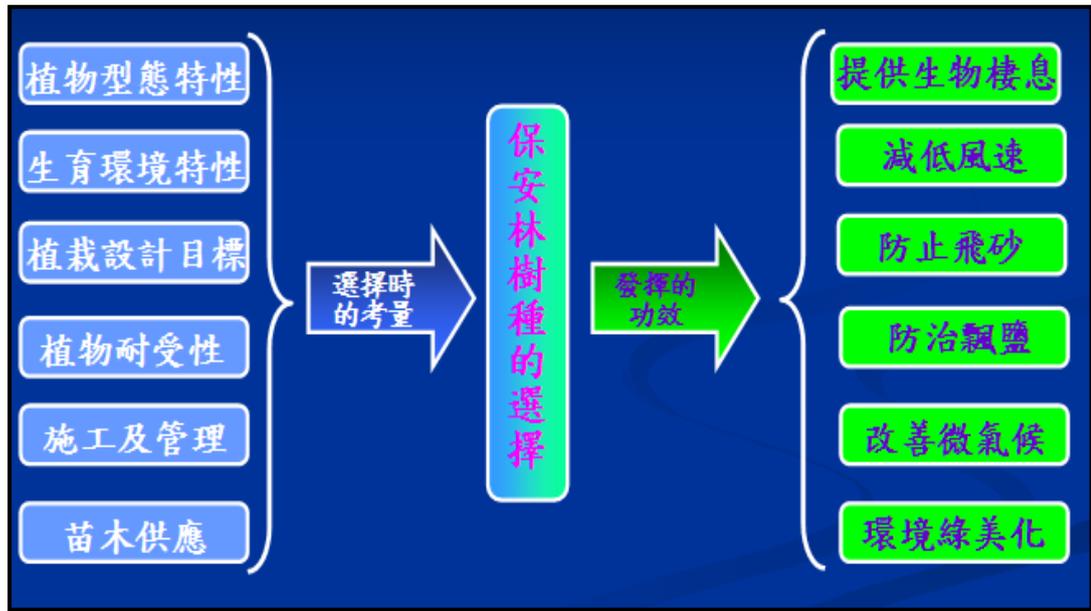


圖4-22 防風定砂應用植物之選擇與設計原則

基本上為適應海岸之生態環境，應導入適生之原生植物，而部分配合地被草花或園景綠化，則可少量酌以選取引進之綠化或美化植物。一般海岸防風林營造主要以木麻黃純林為主，但因木麻黃純林甚易衰退，且易受星天牛、黑角舞蛾等為害，故經營上多以混交造林方式，代替木麻黃純林，目前主要應用推廣之海岸防風林造林樹種有木麻黃、黃槿、草海桐，瓊崖海棠、海欖果、福木、檉柳及林投等；其他適生的植物種類包括大葉山欖、水黃皮、白水木、朴樹、楨梧、相思樹、苦楝、苦藍盤、茄苳、海桐、甜根子草、烏榕、榕樹、臺灣海棗、銀合歡、濱槐、鵝鑾鼻蔓榕、蘭嶼樹杞、鐵色、欖仁。

在生物多樣性保育及人類永續發展的原則下，當今的林業經營正面臨轉型，聯合國糧農組織於1970年代末，首先提出社區林業概念，並定義社區林業為當地民眾參與當地林業活動，以尋求社區與周遭自然生態環境資源的永續發展。因此，「林業已不是一個關於樹木的問題，而是一個關於人的問題」，林業工作除了著重自然生態系統之外，而應加強協調人與自然的關係，應超越局部環境，從整體社會發展角度，尋求人類共同利益的角度出發。

往昔由於人們對於保安林瞭解有限，觀念使然下，讓人們不敢接近保安林，也對其有所畏懼與冷漠，因而更加深保安林營造的難度，所以唯有落實社區林業，才能成功營造符合該區域自然生態的保安林，且在社區民眾積極參與下，此種保安林也才得以永續發展。

第五章 結果與討論

5.1 保安林生態環境現況調查結果

經由樁號現況比對及保安林減風功效與微氣候調查，初步所得結果如下：

5.1.1 樁號現況比對調查結果

本研究為深入瞭解保安林生態環境之變遷，除依照檢訂報告中的描述外，並參考 TWD97 座標，逐一找尋各樁號並拍照比對，再將調查所得各樁號周邊之比對照片，檢附於附錄二中。

本保安林最新檢訂報告於95年度（第四次）完成，前次檢訂則是於84年度（第三次）完成，此11年間保安林面積增減狀況如表5-1所示，目前總面積為63.704278公頃，較前次檢定減少0.836022公頃。其中解除面積計1.083757公頃，係因形成河岸堤防、防汛道路及闢建工業區連外道路系統非營林使用，如圖5-1與圖5-2所示。林相面積分佈經現況調查如表5-2及圖5-3與圖5-4所示，其中立木地面積為59.711757公頃，占全面積93.7%，主要為人工闊葉混交林，樹種包含木麻黃、黃槿、苦楝、構樹及綠竹等，如圖5-5所示，部分作為工業局苗圃使用，如圖5-6所示；至於無立木地則為池溜、道路、墾地、建地，面積合計為3.992521公頃，佔全面積6.3%。

經現地樁號比對調查結果發現，如圖5-7所示，近五年期間，較明顯變化的區段，由北而南分別是A031、告示牌1、告示牌2及保安林柱02，如圖5-7所示。由圖5-7得知，A031周遭草生地已被清除，告示牌1有經人為移動之跡象，而告示牌2已遺失，又保安林柱02周圍的草生地已被露出地面之樹根取代。

表5-1 保安林面積增減情形

年度	項目	編入面積 (公頃)	解除面積 (公頃)	訂正面積 (公頃)	面積合計 (公頃)	面積增減 (公頃)	檢定公告文號
84	檢訂 (第三次)	9.0998	12.4783	0	64.5403	-3.3785	84年12月19日府農林 字第112360號
95	檢訂 (第四次)	0	1.083757	+0.247735	63.704278	-0.836022	96年10月30日農授林 務字第0961730483號



圖5-1 河岸堤防與防汛道路



圖5-2 工一路截彎取直解除區域

表5-2 保安林面積現況分佈一覽表

土地用地種類	面積 (ha)	百分比 (%)
人工闊葉混合林	56.202761	88.22
苗圃	3.508996	5.51
池溜魚塢	0.142367	0.22
道路	0.629300	0.99
建地	1.639732	2.58
墾地	1.581122	2.48
合計	63.704278	100

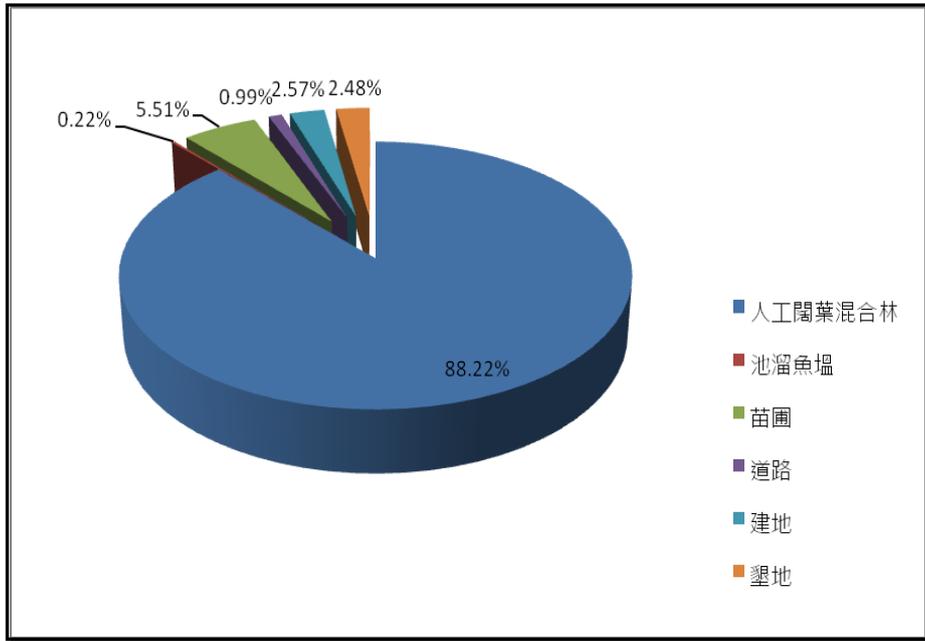


圖5-3 保安林面積現況分佈百分比圖

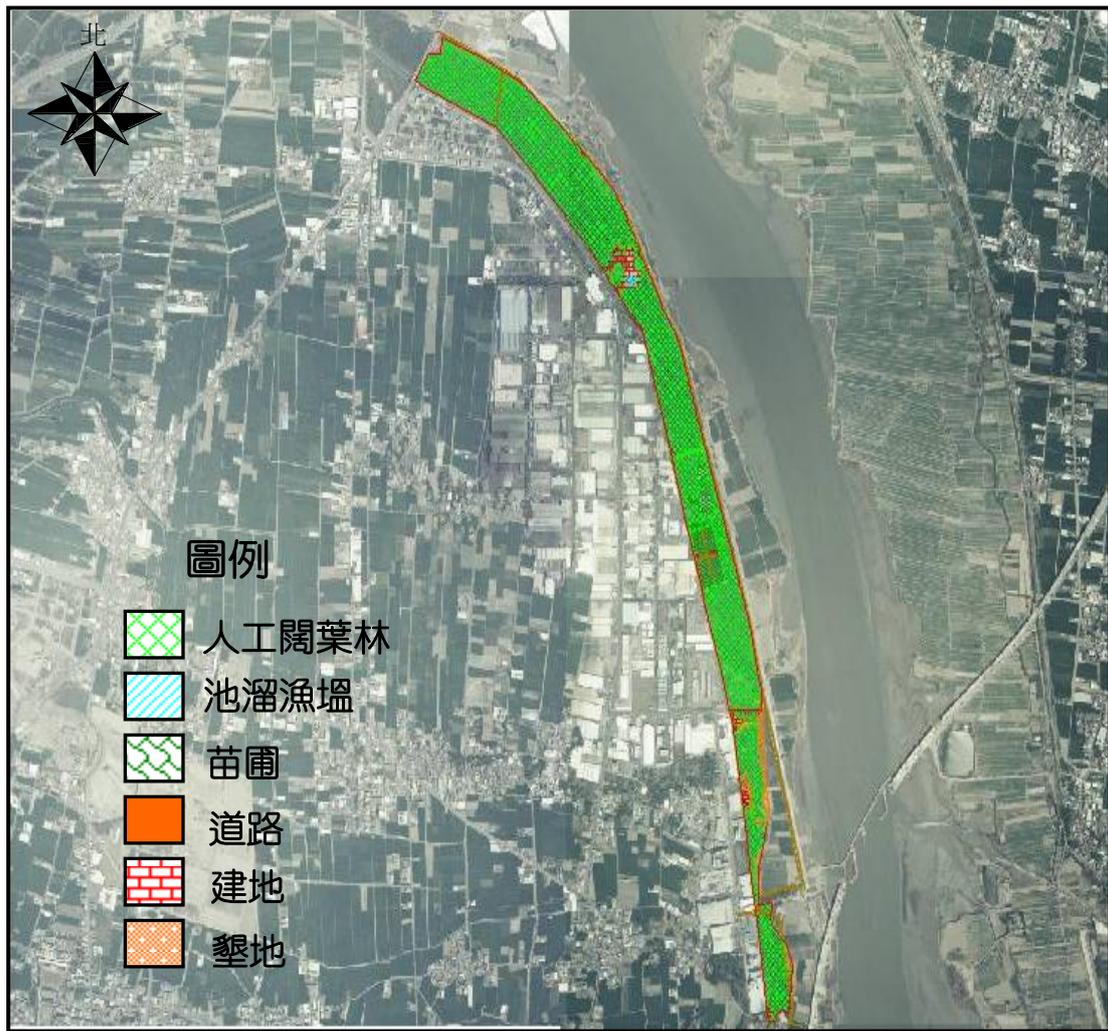


圖 5-4 保安林面積現況分佈概略圖



圖5-5 保安林複層林相情形



圖5-6 工業區苗圃使用情形



圖 5-7 保安林樁號現況調查比對圖

經調查保安林區域內占建部份，面積為 1.639732 公頃，其建物型態分別有寺廟、住家、公廁、倉庫、工寮等，如圖 5-8 與圖 5-9 所示；濫墾部份，面積為 1.581122 公頃，其型態主要為種植洋蔥、果樹，亦有少數圈圍成雞舍，如圖 5-10 所示；另有部份地區遭置放貨櫃屋，道路旁亦時有遭棄置或焚燒垃圾，如圖 5-11 所示。



圖5-8 保安林寺廟占建情形



圖5-9 保安林住家占建情形



圖5-10 保安林農地濫墾情形



圖5-11 保安林垃圾棄置情形

保安林迎風面之林木，受季節強風吹襲，樹勢生長有限，部分林緣地帶，已有生長衰退或枯死之現象，逐漸退化為草生地狀態，如圖

5-12 與圖 5-13 所示，建議提早規劃補植或更新，持續營造成為複層林，使保安林功能更加健全。又為消減暴潮的破壞力，建議在接近海岸之外緣林帶，於木麻黃枝下高處，增植林投等低矮密生灌木叢，以降低波浪之速度及衝擊，減少災害損失。至於保安林機能檢測結果，無論對於防治飛砂或降低風速，其機能完善頗具功效，因此，為防止飛砂侵害全興、和興段一帶、防護工業區及村莊之安全，仍有繼續存置為保安林之必要。



圖5-12 迎風面林木枯萎情形



圖5-13 林緣生長衰退情形

5.1.2 保安林減風功效觀測結果

保安林減風功效之觀測，如圖 4-4 所示，分別勘選三條測線，第一條測線為林帶背風面裸露地處，第二條測線為建物稀疏處，第三條測線為建物密集處，觀測所得結果如表 5-3 至表 5-6 所示，由表 5-3 至表 5-6 得知，測定點與對照點之相關係數皆達 1% 顯著水準，符合對數分佈法則，風況穩定，觀測數據可作為分析探討之用。

由測定點數據得知，當風越過保安林後，各測點風速值明顯遞減，由於風速隨時間不同而有所變化，各測點觀測時刻不同，所測得之風速無法代表該測點因地形影響而增減之風速百分比。故將觀測點與對照點標準風速相除，作為一相對風速，公式如下：

$$\text{某測點之相對風速(\%)} = \frac{\text{測定點風速}}{\text{同一時刻下，對照點之標準風速}} \times 100\%$$

為進一步便於瞭解保安林之功效，因此本研究以減風效果% 作為評估保安林功效之指標，減風效果之分析係根據相對風速，依下式求出測定點之減風效果，其結果如表 5-7 至表 5-9 所示。

$$\text{某測點之減風效果(\%)} = 100\% - \text{該測點之相對風速(\%)}$$

減風效果負值，則表示該測定點之風速大於對照點之風速，將表 5-7 至表 5-9 中之數據繪成減風效果比較圖，如圖 5-14 至圖 5-18 所示，由圖 5-14 至圖 5-18 得知：保安林之減風功效在三條測線皆高達 80% 以上（測定點 1 處），又減風功效隨距離遞增而遞減，在背風面 2.4 公里處，空曠地之減風功效僅剩 40%，而住宅區與工業區之減風功效仍有 60%；整體而言，三條測線中以空曠地之減風功效最差，風速隨距離遞增之趨勢極為明顯，而住宅區與工業區處，風場特性十分相似，各測點之減風效果亦相近，據此與空曠地相比，得知建物可以增加約 20% 減風功效。

表 5-3 各測線對照點風速觀測值 (99.12.04)

對照點	高度					a	b	r	風向
	0.5m	1.5m	3.0m	4.6m	6.0m				
對照點 1	4.7	5.8	6.8	7.6	8.4	5.476	3.319	0.964**	北北東
對照點 2	4.4	5.8	6.6	7.2	8.3	5.27	3.336	0.961**	北北東
對照點 3	5.1	6.3	7.3	8.3	8.9	5.936	3.487	0.971**	北北東
對照點 4	5.3	6.4	7.6	8.2	9.1	6.104	3.408	0.967**	北北東
對照點 5	4.8	6	6.8	7.7	8.5	5.591	3.278	0.961**	北北東

表 5-4 測線 1 (空曠地) 測定點風速觀測值 (99.12.04)

測定點	高度					a	b	r	風向
	0.5m	1.5m	3.0m	4.6m	6.0m				
測定點 1	0.8	1.1	1.4	1.5	1.7	1.01	0.812	0.982**	北北東
測定點 2	1.1	1.6	1.8	2	2.3	1.393	1.029	0.971**	北北東
測定點 3	1.8	2.5	2.9	3.3	3.8	2.241	1.736	0.963**	北北東
測定點 4	3.4	3.9	4.4	4.8	5.1	3.764	1.559	0.969**	北北東
測定點 5	3.1	3.6	4.2	4.6	4.8	3.484	1.615	0.975**	北北東

表 5-5 測線 2 (住宅區) 測定點風速觀測值 (99.12.04)

測定點	高度					a	b	r	風向
	0.5m	1.5m	3.0m	4.6m	6.0m				
測定點 1	0.6	1	1.5	1.6	1.7	0.899	1.068	0.98**	北北東
測定點 2	0.8	1.2	1.4	1.7	1.9	1.05	0.98	0.967**	北北東
測定點 3	1.4	1.7	1.9	2	2.2	1.591	0.699	0.979**	北北東
測定點 4	1.7	2	2.3	2.5	2.7	1.916	0.908	0.972**	北北東
測定點 5	1.6	1.9	2.2	2.4	2.6	1.816	0.908	0.972**	北北東

表 5-6 測線 3 (工業區) 測定點風速觀測值 (99.12.04)

測定點	高度					a	b	r	風向
	0.5m	1.5m	3.0m	4.6m	6.0m				
測定點 1	0.6	0.9	1.3	1.4	1.5	0.831	0.868	0.981**	北北東
測定點 2	0.4	0.8	1.4	1.6	1.7	0.724	1.277	0.974**	北北東
測定點 3	1.1	1.6	1.8	2.1	2.4	1.399	1.125	0.962**	北北東
測定點 4	1.8	2.2	2.4	2.6	2.9	2.045	0.94	0.958**	北北東
測定點 5	2.2	2.5	2.7	2.9	3.1	2.396	0.796	0.966**	北北東

[註] a: 常數項, b: 回歸係數, r: 相關係數。

“**” : 1%顯著水準。

表 5-7 測線 1 (空曠地) 相對風速及減風效果結果表

地點	與對照點水平距離	高度 (m)	測定點 平均風速(m/sec)	對照點	相對風速 (%)	減風效果 (%)
測定點 1	0.16km	6	1.7	8.4	20.24	79.76
		4.6	1.5	7.6	19.74	80.26
		3	1.4	6.8	20.59	79.41
		1.5	1.1	5.8	18.97	81.03
		0.5	0.8	4.7	17.02	82.98
測定點 2	0.58km	6	2.3	8.3	27.71	72.29
		4.6	2	7.6	27.78	72.22
		3	1.8	6.8	27.27	72.73
		1.5	1.6	5.8	27.59	72.41
		0.5	1.1	4.4	25	75
測定點 3	1.33km	6	3.8	8.9	42.7	57.3
		4.6	3.3	8.3	39.76	60.24
		3	2.9	7.3	39.73	60.27
		1.5	2.5	6.3	39.68	60.32
		0.5	1.8	5.1	35.29	64.71
測定點 4	2.14km	6	5.1	9.1	56.04	43.96
		4.6	4.8	8.2	56.1	43.9
		3	4.4	7.6	52.63	47.37
		1.5	3.9	6.4	60.94	39.06
		0.5	3.4	5.3	64.15	35.85
測定點 5	2.4km	6	4.8	8.5	56.47	43.53
		4.6	4.6	7.7	59.74	40.26
		3	4.2	6.8	61.76	38.24
		1.5	3.6	6	60	40
		0.5	3.1	4.8	64.58	35.42

表 5-8 測線 2 (住宅區) 相對風速及減風效果結果表

地點	與對照點水平距離	高度 (m)	測定點 平均風速(m/sec)	對照點	相對風速 (%)	減風效果 (%)
測定點 1	0.24km	6	1.7	8.4	20.24	79.76
		4.6	1.6	7.6	21.05	78.95
		3	1.5	6.8	22.06	77.94
		1.5	1	5.8	17.24	82.76
		0.5	0.6	4.7	12.77	87.23
測定點 2	0.76km	6	1.9	8.3	22.89	77.11
		4.6	1.7	7.6	23.61	76.39
		3	1.4	6.8	21.21	78.79
		1.5	1.2	5.8	20.69	79.31
		0.5	0.8	4.4	18.18	81.82
測定點 3	1.5km	6	2.2	8.9	24.72	75.28
		4.6	2	8.3	24.1	75.9
		3	1.9	7.3	26.03	73.97
		1.5	1.7	6.3	26.98	73.02
		0.5	1.4	5.1	27.45	72.55
測定點 4	2.28km	6	2.7	9.1	29.67	70.33
		4.6	2.5	8.2	30.49	69.51
		3	2.3	7.6	30.26	69.74
		1.5	2	6.4	32.25	67.75
		0.5	1.7	5.3	32.08	67.92
測定點 5	2.38km	6	2.6	8.5	30.59	69.41
		4.6	2.4	7.7	31.17	68.83
		3	2.2	6.8	32.35	67.65
		1.5	1.9	6	31.67	68.33
		0.5	1.6	4.8	33.33	66.67

表 5-9 測線 3 (工業區) 相對風速及減風效果結果表

地點	與對照點水平距離	高度 (m)	測定點 平均風速(m/sec)	對照點	相對風速 (%)	減風效果 (%)
測定點 1	0.41km	6	1.5	8.4	17.86	82.14
		4.6	1.4	7.6	18.42	81.58
		3	1.3	6.8	19.12	80.88
		1.5	0.9	5.8	15.52	84.48
		0.5	0.6	4.7	12.77	87.23
測定點 2	0.96km	6	1.7	8.3	20.48	79.52
		4.6	1.6	7.6	22.22	77.78
		3	1.4	6.8	21.21	78.79
		1.5	0.8	5.8	13.79	86.21
		0.5	0.4	4.4	9.09	90.91
測定點 3	1.33km	6	2.4	8.9	26.97	73.03
		4.6	2.1	8.3	25.3	74.7
		3	1.8	7.3	24.66	75.34
		1.5	1.6	6.3	25.4	74.6
		0.5	1.1	5.1	21.57	78.43
測定點 4	2.33km	6	2.9	9.1	31.87	68.13
		4.6	2.6	8.2	31.71	68.29
		3	2.4	7.6	31.58	68.42
		1.5	2.2	6.4	34.38	65.62
		0.5	1.8	5.3	33.96	66.04
測定點 5	2.45km	6	3.1	8.5	36.47	63.53
		4.6	2.9	7.7	37.66	62.34
		3	2.7	6.8	39.71	60.29
		1.5	2.5	6	41.67	58.33
		0.5	2.2	4.8	41.83	58.17

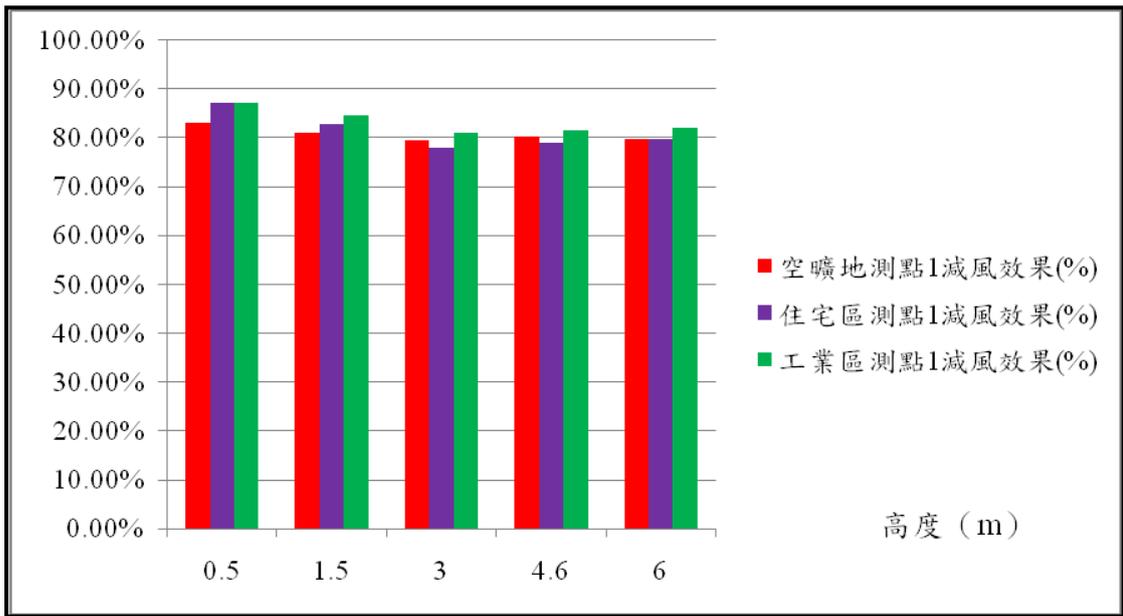


圖 5-14 林帶下風面測定點 1 減風效果比較圖

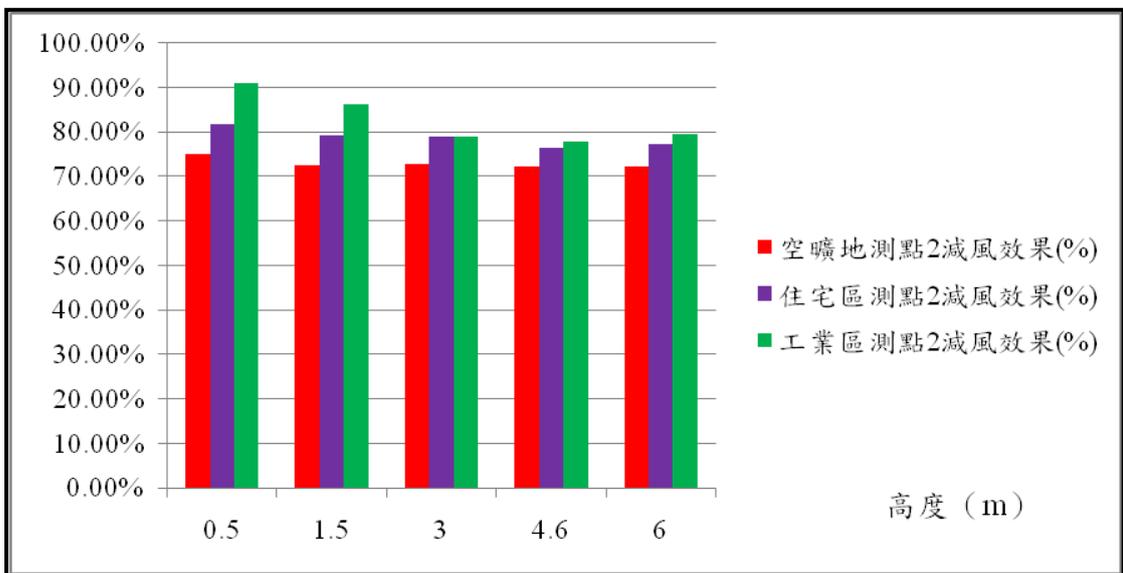


圖 5-15 林帶下風面測定點 2 減風效果比較圖

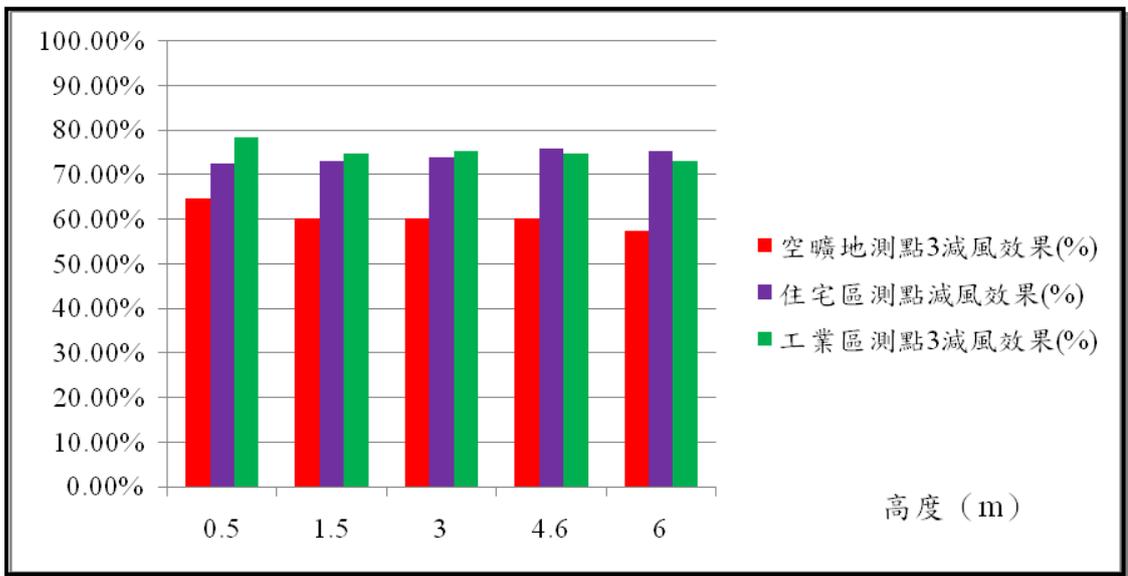


圖 5-16 林帶下風面測定點3 減風效果比較圖

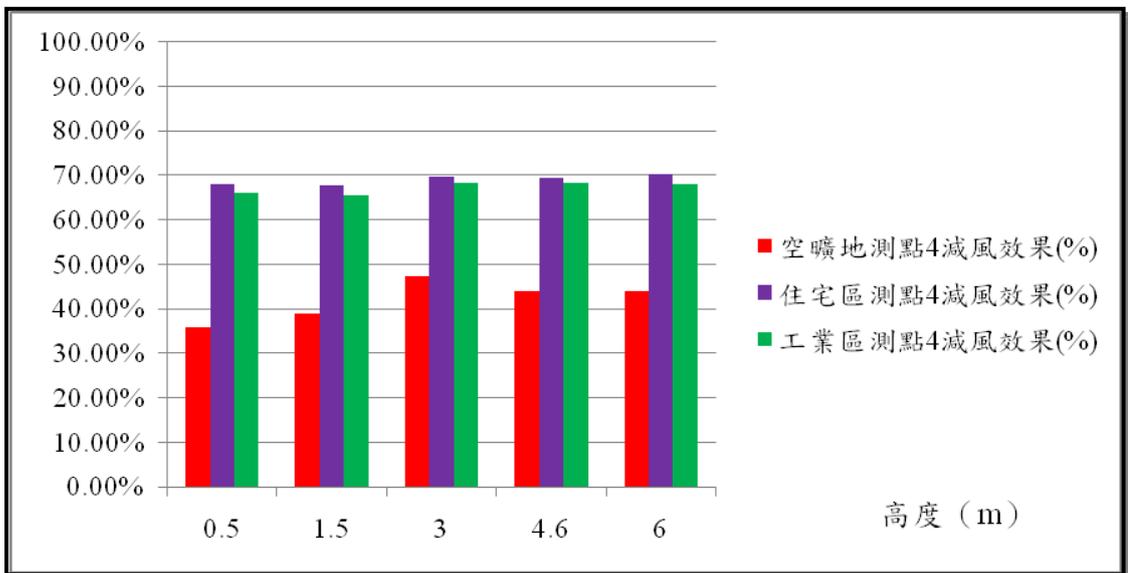


圖 5-17 林帶下風面測定點4 減風效果比較圖

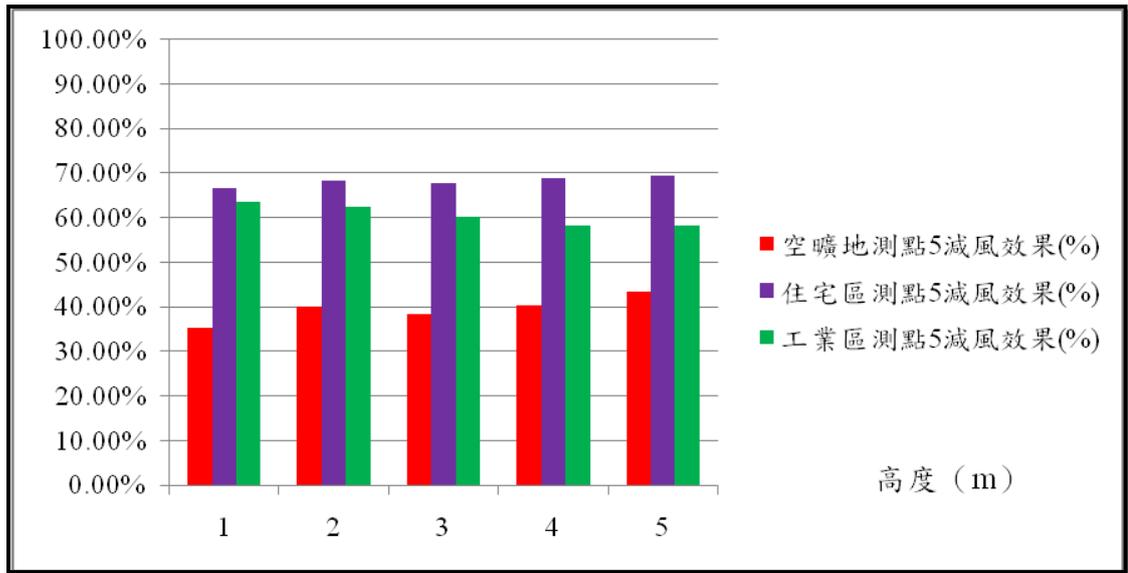


圖 5-18 林帶下風面測定點 5 減風效果比較圖

5.1.3 微氣候觀測結果

本項調查工作主要目的在於進一步提供保安林功效之相關資料，作為推廣教育宣導之依據，讓民眾多方面瞭解保安林功能及其存在之必要性。

為瞭解防風林帶內外微氣候等立地環境之差異，因而再進行林帶內外溫度、溼度、氣壓、最高與最低溫度、日輻射量、土壤水分及地溫等因子之觀測，結果如表 5-10 至表 5-12 所示。

表 5-10 微氣候觀測值 (99.05.26)

地點	平均照度 (lx)	日輻射量 (ly)	最高溫度 (°C)	最低溫度 (°C)	平均溫度 (°C)	平均氣壓 (mb)	平均溼度 (%)
林外	87000	95.14	32.2	26.6	29.4	999.4	75
林內	410	3.81	29.4	26.3	27.8	1006	84

表 5-11 微氣候觀測值 (99.07.13)

地點	平均照度 (lx)	日輻射量 (ly)	最高溫度 (°C)	最低溫度 (°C)	平均溫度 (°C)	平均氣壓 (mb)	平均溼度 (%)
林外	90000	95.87	33.9	27.0	30.5	1006	76
林內	420	4.03	28.2	25.4	26.8	1008	87

表 5-12 微氣候觀測值 (99.10.09)

地點	平均照度 (lx)	日輻射量 (ly)	最高溫度 (°C)	最低溫度 (°C)	平均溫度 (°C)	平均氣壓 (mb)	平均溼度 (%)
林外	79000	93.78	32.3	24.5	27.2	1013.5	67
林內	370	3.72	29.8	25.8	27.8	1015.2	81

1. 照度觀測結果

由表 5-10 至表 5-12 得知，林帶外照度約為林帶內 215 倍，由於人體若長時間曝曬在太陽下容易曬傷及中暑，故防風林區為一處極佳之天然遮蔽場所。

一般自然光之照度如表 5-13 所示，本次林帶外觀測值與中午太陽直射及露天地面之照度值 100000 lx 相近，達到極大值，而林帶內照度則與房屋中心相近，為最小值。

2. 日輻射量觀測結果

由表 5-10 至表 5-12 得知，林帶內之日輻射量為林帶外的 1/25，此係由於樹木枝葉具有吸收及遮蔽日輻射的功能，當太陽照到樹冠上時，有 30-70% 的太陽輻射量會被吸收，僅有一小部分透過林冠到達林內，且強度和性質都發生了變化。

表 5-13 自然光之照度表

氣候	照度
夏日中午太陽直射照度	100,000 lx
露天地面	100,000 lx
樹蔭	10,000 lx
建築物陰影	5,000 lx
接近窗戶區域	2,000 lx
房屋中心	100 lx
無雲晴天（藍天）	90,000 lx
薄雲陰天	30,000~50,000 lx
稍暗陰天	10,000~15,000 lx
暗雨天	7,000~10,000 lx

3. 最高及最低溫度觀測結果

由表 5-10 至表 5-12 得知，夏季時，林帶外最高溫度約高出林帶內 5.7°C，最低溫度則高於林帶內 1.6°C；冬季時，林帶外最高溫度高於林帶內 2.5°C，最低溫度則低於林帶內 1.3°C。

由於白天時，樹冠阻止太陽輻射，而樹木的比熱比土壤大，當樹葉表面蒸散時需吸收熱量，因而林帶內氣溫不會急劇升高，故最高溫度低於林外；又夜晚時，林冠像似一個大的保護罩，林地內的長波輻射被林冠阻擋，防止熱量迅速散失，故其最低溫度略高於林外。

4. 平均溫度觀測結果

由圖 5-19 及表 5-10 至表 5-12 得知，林帶內外溫度於清晨 6 點即開始緩慢上升，至下午 2 點達到最高，而後逐漸降低。一般夏季溫差較大，林帶外之平均溫度高於林帶內約 2.8°C；冬季溫差較小，林帶外之平均溫度低於林帶內約 0.6°C。

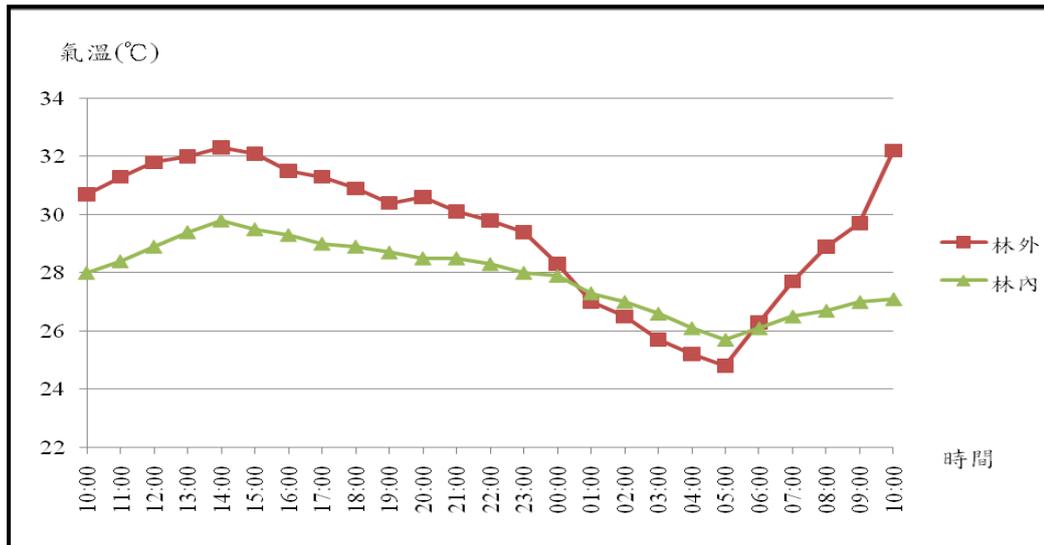


圖 5-19 平均溫度變化圖 (99.10.09)

5. 相對溼度觀測結果

由於溫度與濕度有反比之關係，當溫度降低會相應使相對溼度提高。根據圖 5-20 及表 5-10 至表 5-12 得知，林帶內平均相對溼度高出林帶外約 9-13%，此趨勢與唐琦(2005)、徐森雄(2003)研究結果相同。由於人類對周遭大氣環境的適應能力因年齡和身體狀況而有所不同，其中影響人體舒適程度的氣象要素包括氣溫、濕度和風等。而中央氣象局根據天氣預報之溫度及露點溫度等資料，依下式計算舒適度指數，並將指數劃分為六個等級的舒適度，當指數 10 以下為非常寒冷、11 至 15 為寒冷、16 至 19 為稍有寒意、20 至 26 為舒適、27 至 30 為悶熱及 31 以上為易中暑等。

$$THI = T - 0.55 \left[1 - \frac{\text{Exp}\left(\frac{17.269Td}{Td + 237.30}\right)}{\text{Exp}\left(\frac{17.269T}{T + 237.30}\right)} \right] (T - 14)$$

式中 THI：舒適度指數。

T：溫度。

Td：露點溫度。

由於從溫度及相對濕度可推求得露點溫度(黃隆明, 1997), 因此, 將表 5-10 至表 5-12 中林內外之平均溫度、平均濕度及推求而得之露點溫度, 代入上式中計算後, 得知林內之舒適度指數分別為 26.6、25.9 及 26.8, 皆屬於舒適的等級, 至於林外則分別為 27.3、28.3 及 24.8, 屬於悶熱與舒適的等級; 據此得知, 保安林帶內之環境屬於舒適的等級, 而林帶外於春、夏季則是悶熱等級。由此再次證實, 當氣溫較熱或較冷時, 防風林帶確實非常適合做為避寒與避暑的場所。

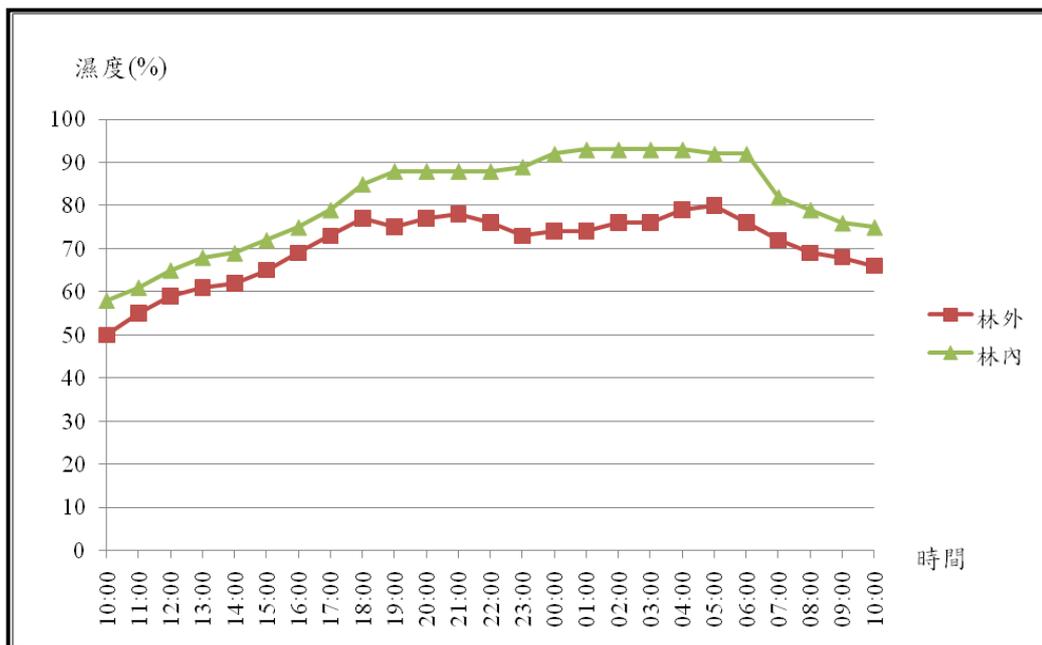


圖 5-20 濕度變化圖 (99.10.09)

6. 氣壓觀測結果

地面氣壓的日變化有單峰、雙峰和三峰等型式, 其中以雙峰型最為普遍, 其特點是一天中有一個最高值、一個次高值和一個最低值、一個次低值。一般而言, 最高與最低氣壓值出現的時間和變化幅度隨

緯度而有區別，熱帶地區氣壓日變化最為明顯，日較差可達 3 至 5mb。隨著緯度的增高，氣壓日較差逐漸減小，到緯度 50°日較差減至不到 1mb。然而，氣壓日變化的原因比較複雜，一般認為同氣溫日變化和大氣潮汐密切相關（張學文，2004）。

由本研究結果表 5-10 至表 5-12 得知，林帶內平均氣壓略高於林帶外 2mb。再由圖 5-21 得知，林帶內外之氣壓其日較差約為 4mb，且每日都有兩個高低循環變化，皆屬於雙峰型，其中又以林帶內氣壓之變化最為典型，於清晨時氣壓上升，9 至 10 時出現最高值，以後氣壓下降，到 15 至 16 時出現最低值，而後又逐漸升高，於 21 至 22 時出現次高值，以後再度下降，在次日 3 至 4 時出現次低值。蒲金標（2005）分析台灣南北部氣壓日變化曲線發現皆有兩次升降，最高氣壓發生在上午 9 時，次高氣壓發生在 22 時，此結果與本研究所得相似。

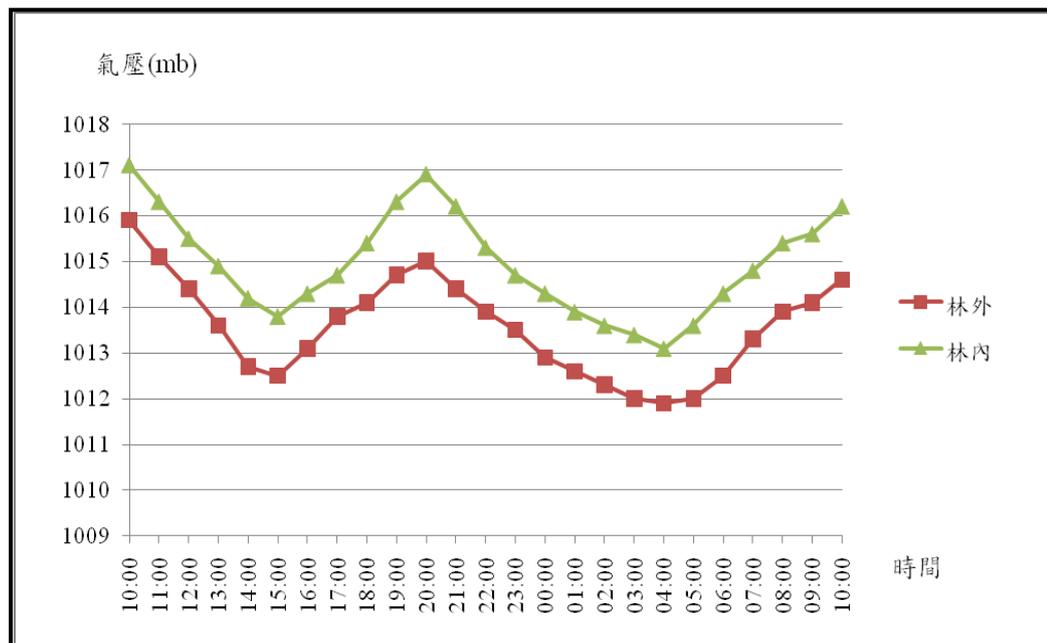


圖 5-21 氣壓變化圖 (99.10.09)

7. 土壤水份觀測結果

由於使用 TDR 方法量測土壤水份，其相關係數可達 0.9 以上 (周美珠，1989)，且比較沒有其他常見土壤水分測定方法之缺點 (高庭芳，2003)，因此本研究採用 TDR 方法從事土壤水份之量測。

由圖 5-22 及圖 5-23 得知，林帶內土壤含水量較林帶外高約 14%，差異頗大；而林帶內外土壤含水量大都集中在深度 40cm 處，且不同深度土壤含水量隨時間變化幅度極微；於 10 至 50cm 深的範圍內，土壤含水量維持在 10% 以上。由於林外之土壤質地以粗砂和細砂為主，粉粒和粘粒較少，因而土壤黏性小、孔隙大，通氣及透水性較強，蓄水和保肥性能差，所以含水量十分匱乏；而林內土壤質地較為接近壤土，粉粒和粘粒成分稍多，此為造成含水率差距之可能原因。

徐森雄(1982)觀測梅山地區山坡地土壤水分含量，發覺深度越深土壤水分含量越高，其差異在 10% 以內；高庭芳(2003)觀測福山試驗集水區水分移動特性，發覺不論乾溼季節，水份大多集中於土深 30cm 內之淺層土壤中，而當土深大於 30cm 時，其土壤含水率幾乎為定值，本實驗結果亦有相似的情況。

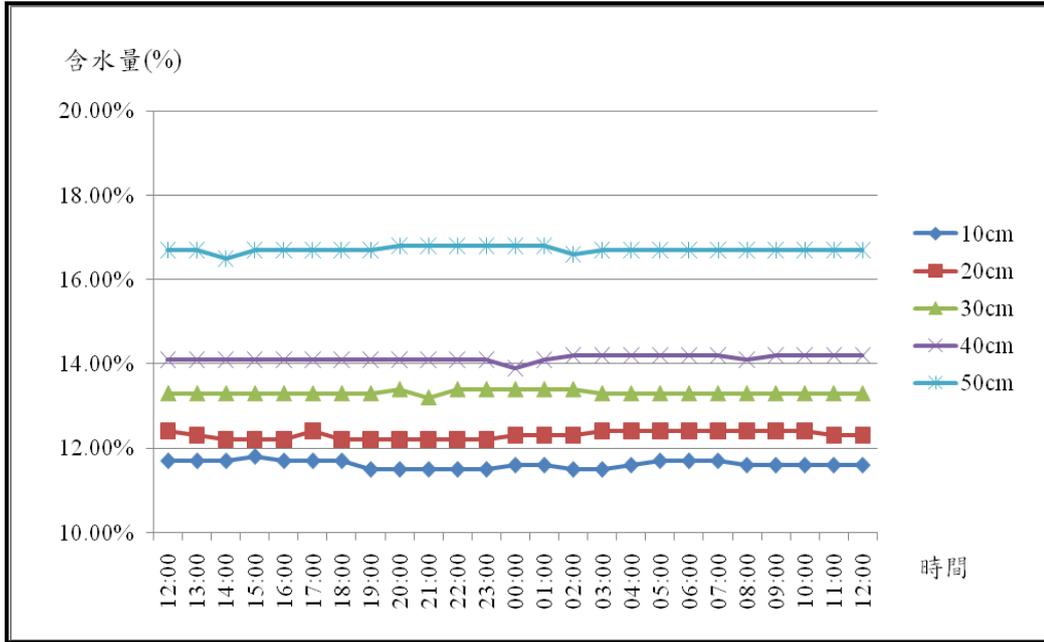


圖 5-22 林帶外不同深度之土壤水份圖 (99.10.09)

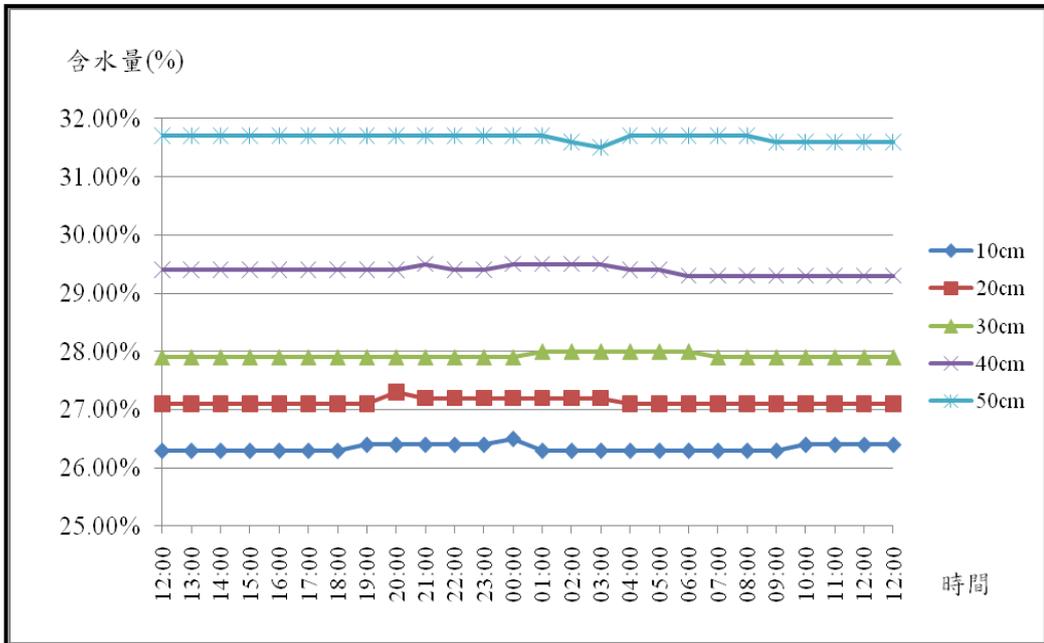


圖 5-23 林帶內不同深度之土壤水份圖 (99.10.09)

8. 土壤溫度觀測結果

土壤表層白天受陽光照射加熱，夜間又以長波輻射形式散熱，引起土壤溫度和大氣溫度強烈晝夜變化。一般淺層土壤溫度受日變化影響變動之振幅較為顯著，以表層 10cm 的土溫而言，早晨自日出開始土溫逐漸升高，至下午 2 時左右達到最高，而後又逐漸下降。但深層土壤則具有遲滯效應，變化波動較小，以土深 30 至 40cm 而言幾乎無日變化。

由圖 5-24 及圖 5-25 得知，林外因地表直接吸收太陽幅射，以淺層土深 10cm 處溫度起伏較大，但林內因有樹冠遮蔽陽光直接照射，吸收到較少之輻射量，不同深度之地溫變化不大。圖 5-9 顯示表層之地溫變化較大，白天土溫高於底層，此結果與鄒良棟 (2004) 研究所得相同；其餘不同深度之地溫變化並不大，在 10 至 50cm 深的範圍內，林帶內地溫差約 1°C，而林帶外地溫差達 2.5°C。

經由保安林帶內、外風速與微氣候調查分析結果顯示，無論任何季節保安林帶內，皆屬於令人感覺舒適的等級，為一處極佳之天然遮蔽場所，該項初步研究成果，可提供爾後成立保安林戶外教室推廣教育宣導之參考依據。

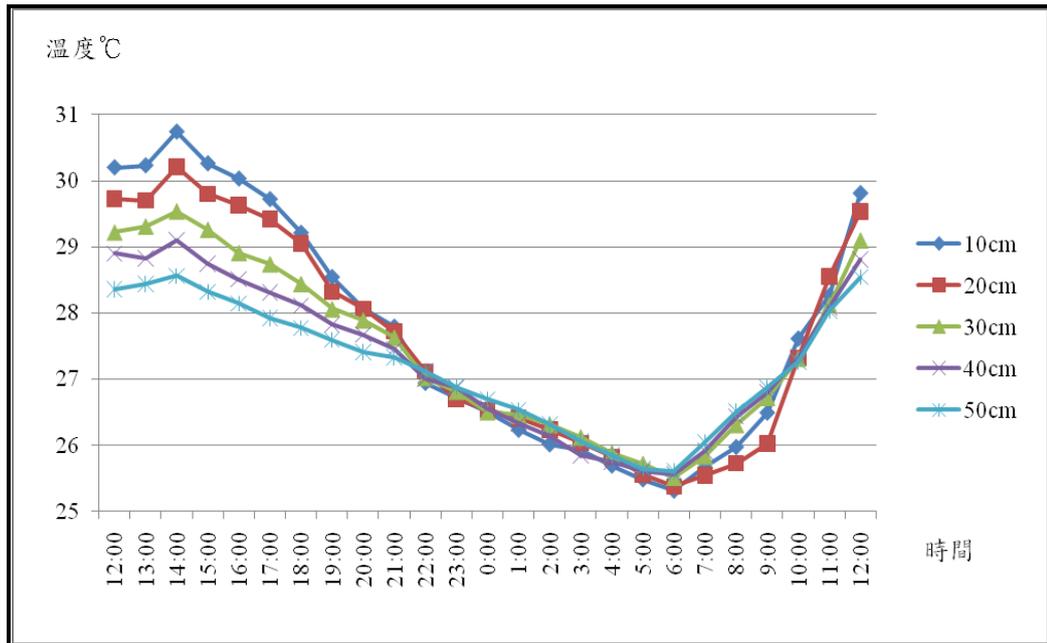


圖 5-24 林帶外不同深度之地溫圖 (99.10.09)

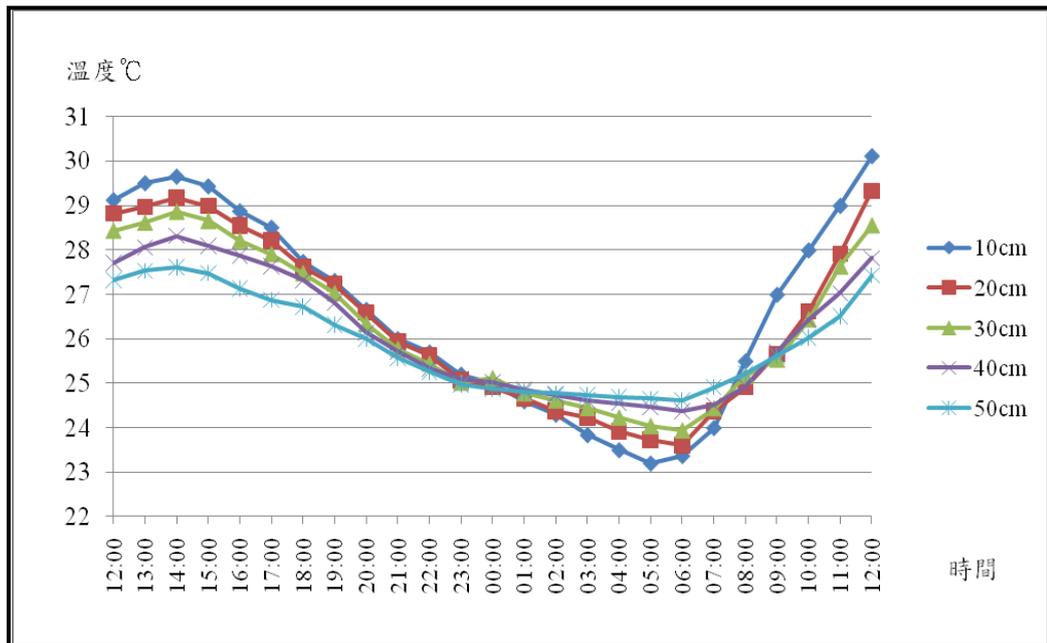


圖 5-25 林帶內不同深度之地溫圖 (99.10.09)

5.2 現地飛砂及揚塵觀測結果

本研究區東北側鄰近烏溪出海口，東北季風期間，常有飛砂及揚塵現象，由於現今河道流路較偏向左岸，而較大面積之裸露砂地則分布於右岸，因此，本項觀測工作採樣之對照點設置在右岸裸露砂地處，該項工作主要目的在於瞭解現地飛砂及揚塵運移之關係，以及保安林對揚塵之防治功效。

5.2.1 風速垂直剖面與飛砂量之關係

為瞭解風速垂直分布與飛砂量之關係，作為爾後定砂防治工法施作之依據，故利用多層風速計觀測所得之風速資料（如附錄三所示），與集砂器觀測所得之飛砂量資料（如附錄四所示），並積分求得 1.3 m 以下高度之總飛砂量，再進一步將總飛砂量與各高度之風速進行回歸分析，結果如（5-1）式所示。

$$Q = 2.6563 \times U_{0.25}^{2.4336}, \quad r = 0.899^{**} \quad (5-1)$$

式中 Q ：各測回斷面之飛砂量（g/m-sec）

$U_{0.25}$ ：現地 0.25 m 高度之風速（m/sec）

**：1% 顯著水準。

由於 0.05 m 高度之風速較貼近地面，易受地表因素影響，因此不考慮 0.05m 高度之風速，綜合比較 7 個高度之回歸分析後，得知在 0.25 m 高度之風速與 0~1.3 m 斷面之飛砂量關係最佳，呈線性正相關，如圖 5-26 所示，達 1% 顯著水準，故爾後相關之分析，可據此採 0.25 m 高度之風速為代表。

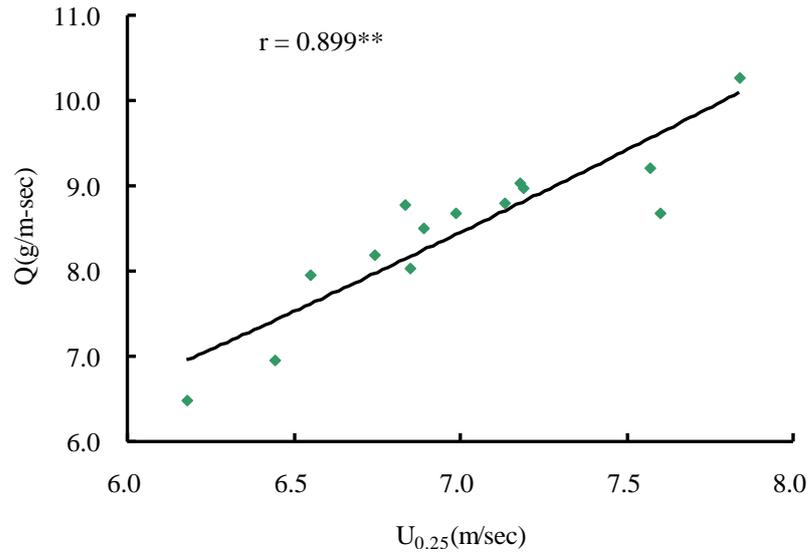


圖 5-26 $U_{0.25}$ 與 Q 之關係圖

5.2.2 飛砂量與揚塵量 (PM_{10}) 之關係

本實驗由現地觀測所獲得之飛砂量與揚塵量 (PM_{10}) 觀測值，如表 5-14 所示。

表 5-14 飛砂量與 PM_{10} 觀測值

測回	不同高度之飛砂量(g/m-s)								總飛砂量 (g/m-s)	揚塵量 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	<0.01m	0.01~ 0.25m	0.25m	0.3m	0.4m	0.7m	1.0m	1.3m		
1	83.9	13.2	15.4	10.6	2.8	2.1	2.8	1.8	8.2	1102
2	119.9	15.2	15.6	12.5	3.1	2.1	3.2	2.3	9.2	1206
3	74.3	13.4	17.5	10.8	3.5	2.0	3.0	2.6	8.7	1098
4	108.2	14.1	16.7	13.5	2.3	2.0	3.9	3.3	9.0	1125
5	67.8	13.2	14.6	13.3	2.3	2.2	2.6	2.3	8.0	1134
6	113.8	15.3	16.5	13.3	2.6	2.2	2.6	2.8	9.0	1124
7	112.9	16.9	18.5	14.8	3.1	3.0	2.6	2.2	10.3	1287
8	88.3	14.4	9.0	10.4	2.8	2.9	2.7	1.8	8.0	945
9	125.7	15.7	11.3	12.3	3.0	2.9	3.2	2.3	8.7	1069
10	97.1	12.2	11.0	10.6	3.5	2.8	3.0	2.6	8.8	1005
11	120.2	15.5	16.9	10.8	2.3	2.2	1.8	1.6	8.8	1056
12	111.2	14.3	16.5	13.3	2.2	1.9	1.8	1.5	8.5	1036
13	88.2	13.0	14.2	9.0	1.4	1.3	1.3	1.0	6.5	720
14	84.8	11.5	16.3	10.6	1.8	1.8	1.3	1.1	7.0	848
平均	99.7	14.1	15.0	11.8	2.6	2.2	2.6	2.1	8.5	1053

由中島 (1979) 及游繁結 (1989) 飛砂推估式得知，假設砂粒密度、砂粒含水率與飛砂量呈反比之關係，可將飛砂推估式改寫為 (5-2) 式。

$$\frac{Q}{d_{50} \times U_* \times \sigma} = F_1 \left(\frac{U_*^2}{g \times d_{50} \times \frac{\sigma}{\rho} \times \omega} \right) \quad (5-2)$$

根據林信輝、江永哲 (1979) 之試驗結果，含水率小於 1.2% 時，在相同風速條件下，飛砂量與含水率 ω 無關。而本實驗試區之砂粒含水率皆小於 1.2%，故可將 (5-2) 式中含水率 ω 去除；而將砂粒中值粒徑 d_{50} 、地面 0.25 m 高度之風速 $U_{0.25}$ 、砂粒密度 σ 、重力加速度 g 及空氣密度 ρ 帶入中島飛砂推估式，所得結果如表 5-15 所示。

表 5-15 烏溪河口飛砂因次分析之結果

風速 $U_{0.2}$ (m/s)	砂粒密度 σ (g/cm ³)	中值粒徑 d_{50} (mm)	空氣密度 ρ (g/cm ³)	$\frac{Q}{d_{50} \times U_{0.25} \times \sigma}$	$\frac{U_{0.25}^2}{g \times d_{50} \times \frac{\sigma}{\rho}}$
6.74	2.44	0.224	0.0012	0.002227	10.167032
7.57	2.44	0.224	0.0012	0.002225	12.825259
6.98	2.44	0.224	0.0012	0.002276	10.916486
7.19	2.44	0.224	0.0012	0.002284	11.569968
6.55	2.44	0.224	0.0012	0.002223	9.601896
7.18	2.44	0.224	0.0012	0.002306	11.537807
7.84	2.44	0.224	0.0012	0.002399	13.756455
6.85	2.44	0.224	0.0012	0.002145	10.501602
7.6	2.44	0.224	0.0012	0.002093	12.927114
6.83	2.44	0.224	0.0012	0.002352	10.440368
7.13	2.44	0.224	0.0012	0.002257	11.377673
6.89	2.44	0.224	0.0012	0.002260	10.624606
6.18	2.44	0.224	0.0012	0.001919	8.547741
6.44	2.44	0.224	0.0012	0.001979	9.282098

將計算所得之值，經由最佳化回歸分析，如圖 5-27 所示，即可求得試區之飛砂量估算式如下：

$$\frac{Q}{d_{50} \times U_{0.25} \times \sigma} = 1.1 \times 10^{-3} \times \left(\frac{U_{0.25}^2}{g \times d_{50} \times \frac{\sigma}{\rho}} \right)^{0.285}, \quad r = 0.563^* \quad (5-3)$$

*：5%顯著水準。

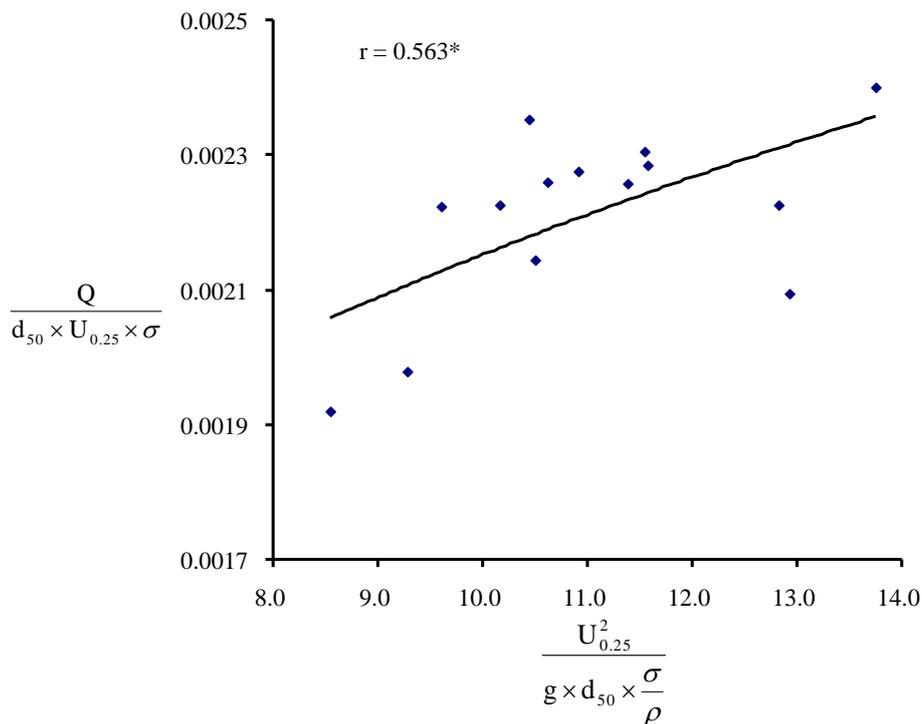


圖 5-27 $\left(\frac{Q}{d_{50} \times U_{0.25} \times \sigma} \right)$ 與 $\left(\frac{U_{0.25}^2}{g \times d_{50} \times \frac{\sigma}{\rho}} \right)$ 關係圖

為進一步瞭解現地飛砂量 (Q) 與揚塵量 PM₁₀ (Q') 之關係，特將總飛砂量與 1.5m 高度揚塵量進行各種線性迴歸與相關分析，分析結果如 (5-4) 式及圖 5-28 所示，由圖 5-28 得知，飛砂量與揚塵量呈極顯著線性相關，可以據此推求不同飛砂量時的揚塵量。

$$Q' = 85.608Q^{1.17} \quad r = 0.904^{**} \quad (5-4)$$

**：1%顯著水準。

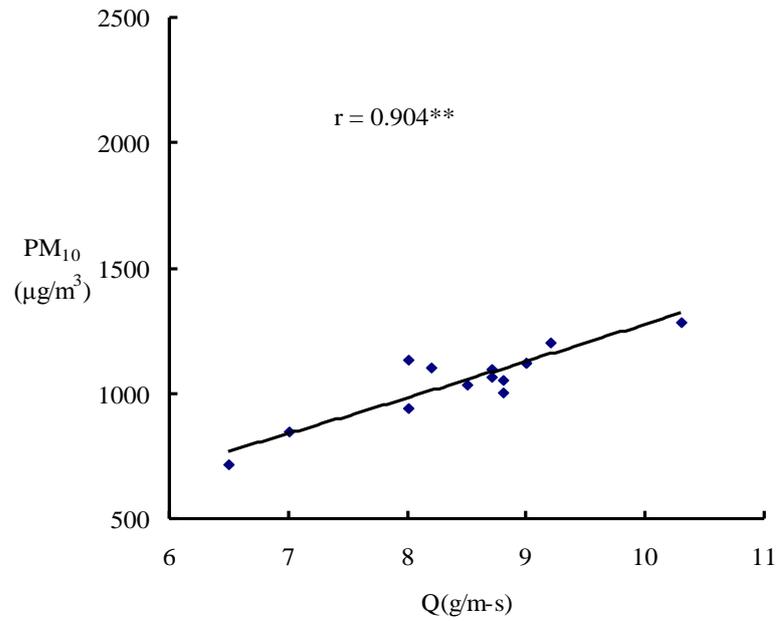


圖 5-28 飛砂量與揚塵量之關係

5.2.3 保安林對揚塵之防治功效

研究中保安林對揚塵抑制效果之觀測，如圖 4-4 所示，選擇林帶背風面空曠地處之測線，探討林帶背風面揚塵衰減情形，觀測結果如表 5-16 所示，揚塵抑制效果正值，則表示該測定點之 PM₁₀ 值小於對照點之 PM₁₀ 值，由表 5-16 得知，保安林對揚塵之抑制效果在林後（測定點 1 處）高達 85% 以上，而後隨距離增加略有遞減，但整體而言平均揚塵抑制效果亦高達 80% 以上，對揚塵之抑制極具功效。

表 5-16 測線 1 (空曠地) 相對 PM₁₀ 及揚塵抑制效果結果表 (99.12.04)

測點	距離 (km)	風速 (m/s)	測定點 PM ₁₀ (µg/m ³)	風速 (m/s)	對照點 PM ₁₀ (µg/m ³)	相對 PM ₁₀ (%)	揚塵抑制效果 (%)
1	0.16	1.1	43	5.8	335	12.8	87.2
2	0.58	1.6	51	5.8	367	13.9	86.1
3	1.33	2.5	86	6.3	402	21.4	78.6
4	2.14	3.9	91	6.4	409	22.3	77.7
5	2.40	3.6	75	6.0	387	19.4	80.6

5.3 室內分析及實驗結果

本項分析及實驗工作，主要在於瞭解試驗區（烏溪）砂粒之特性，並進一步利用風洞設備，觀測現地所無法進行之相關試驗，以瞭解飛砂之運移機制。

5.3.1 砂粒物理性質分析結果

首先採用比重瓶測定砂粒之密度為 2.44 g/cm^3 ，再將現地所採集之砂樣從事含水率分析，結果為 0.65% ；而後將採集之砂粒經由雷射光繞射粒徑分析儀進行分析，其結果如表 5-17 及圖 5-29 所示。

表 5-17 砂粒粒徑參數

砂粒 (%)	0.05~2.00 mm	96.9 (%)
粉粒 (%)	0.002~0.05 mm	2.41 (%)
黏粒 (%)	<0.002 mm	0.69 (%)
中值粒徑 d_{50}		0.224 mm
平均值 M_z		0.249 mm
標準偏差 σ_1		1.626

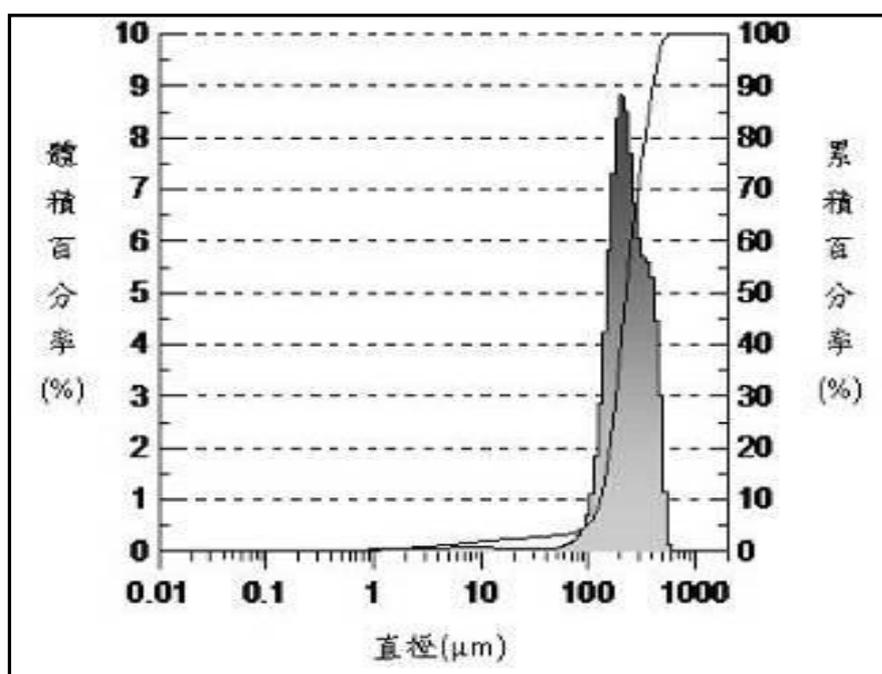


圖 5-29 砂粒粒徑分布圖

由表 5-17 中可得知，烏溪砂粒含量為 96.9%、粉粒含量為 2.4%、黏粒含量為 0.7%，並進一步用吸管法分析，經對照美國農業部之土壤質地三角圖，得知本研究區為砂土。

5.3.2 室內風洞實驗結果

在從事風洞模擬試驗時，需要在模擬試驗前製造出符合模擬地區環境之大氣紊流邊界層流場，經實驗得知風洞之邊界層厚度為 26 cm，風速量測位置於進氣口下游面 212 cm、高 26 cm 處。為避免邊壁效應影響實驗成果，因此，集砂盒大小及擺放位置已排除風洞邊壁效應影響範圍，設置於風洞橫斷面中心，其寬 5 cm。

1. 粒徑及風速與飛砂量關係之觀測結果

本試驗粒徑分佈範圍主要為 0.84~2.00 mm、0.42~0.84 mm、0.25~0.42 mm、0.15~0.25 mm 及 0.15 mm 以下，實驗風速依據前人相關研究及試區風速特性，選定為 4 m/s、5 m/s、6 m/s、7 m/s、9 m/s、11 m/s、13 m/s 及 15 m/s 等八種風速，茲將不同粒徑所測得之飛砂量列於表 5-18 中。

由表 5-18 中得知，當砂粒粒徑大於 0.84 mm 以上，風速達 13 m/s 時飛砂量依然為 0 g/m-sec，而入流風速達 15 m/s 時飛砂量也不顯著，據此可知，當粒徑大於 0.84 mm 時，砂粒無法起動運移；而當砂粒粒徑介於 0.42~0.84 mm，入流風速低於 11 m/s 時，僅收集到微量砂粒，飛砂之通量趨近於零，然而風速達 13 m/s 時，飛砂量急遽增加。

表 5-18 不同砂粒粒徑及風速之飛砂量

飛砂量 Q (g/m-sec)	風速 (m/sec)							
	4.0	5.0	6.0	7.0	9.0	11.0	13.0	15.0
0.84~2.00 mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
0.42~0.84 mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	29.7	43.5
0.25~0.42 mm	0.0	0.0	11.2	19.8	68.1	101.2	127.6	133.8
0.15~0.25 mm	0.0	0.6	28.6	36.5	74.6	97.4	106.6	108.5
0.15 mm 以下	0.0	6.8	31.8	40.0	78.4	93.2	98.3	96.5

又 0.42 mm 以下之砂粒，在高風速 15 m/s 時，雖然粒徑逐漸變小，大粒徑的飛砂量反而多於較小粒徑的飛砂量，然而在低風速 9 m/s 時，所得結果卻又恰好相反，究其原因，係由於高風速時（11~15 m/s）細顆粒大多以懸浮方式呈現，故而相對的所能收集到滾動與跳躍之飛砂量較少；然而低風速時（小於 9 m/s），細顆粒懸浮量隨之遞減且已大於其起動風速值，致使飛砂量顯著增加；而當砂粒粒徑小於 0.42 mm 時，風速在 9~11 m/s 範圍內，其飛砂量並無明顯差異。再者，當砂粒粒徑小於 0.25mm，因起動風速較低，在風速 6m/s 以上，即有大量飛砂產生，其餘粒徑則分別在 9m/s 及 13m/s 以上之臨界風速時，飛砂量才急遽增加。

綜合得知，粒徑 0.84~2.00 mm 之砂粒其起動風速為 13 m/s；粒徑 0.42~0.84 mm 之砂粒其起動風速為 9 m/s；粒徑 0.25~42 mm 之

砂粒其起動風速為 5 m/s；粒徑 0.25 mm 以下之砂粒其起動風速為 4 m/s。又砂粒粒徑大於 0.25 mm 時，其運動型態多以滾動及跳躍為主，而粒徑小於 0.25 mm 時其運動型態則逐漸轉變為懸浮型態移動。

2. 砂粒含水率與飛砂量關係之觀測結果

砂粒含水率試驗共分 0~5.82 % 十六種，其實驗方法與上述試驗相同，結果如表 5-19 所示。

表 5-19 不同砂粒含水率之飛砂量

試驗前 砂體含水率 (%)	試驗後 砂體含水率 (%)	試驗前後 砂體含水率 之差值(%)	飛砂 含水率 (%)	飛砂量 (g/m-sec)
5.82	5.73	0.09	—	0.00
4.74	4.69	0.05	—	0.00
4.01	3.99	0.02	—	0.00
3.40	3.36	0.04	—	0.09
2.67	2.57	0.10	—	0.23
2.07	1.91	0.16	—	0.55
1.91	1.85	0.06	—	0.57
1.70	1.65	0.05	1.47	1.23
1.54	1.42	0.12	1.38	5.56
1.33	1.23	0.10	1.24	12.21
1.29	1.17	0.12	1.12	20.23
1.03	0.91	0.12	0.86	28.81
0.77	0.74	0.03	0.51	50.88
0.52	0.47	0.05	0.40	56.32
0.27	0.21	0.06	0.16	58.89
0.00	0.00	0.00	0.00	61.55

註：「—」：所能收集飛砂量不足以提供含水率試驗

由表 5-19 得知，實驗前後砂體含水之變化約介於 0.02 ~0.16 % 之間，而不論原砂體含水率之多寡，所收集到的飛砂其含水率皆低於 1.5 %，又原砂體含水率愈低，則所收集到的飛砂其含水率亦愈低。

再將飛砂量與試驗前含水率 (%) 繪圖，如圖 5-30 所示；由圖 5-30 得知，當含水率低於 0.52% 時，飛砂量已接近穩定狀態，變化極小，其值與乾砂時並無太大差異；又含水率在 0.77 % 以上時，飛砂量則急遽減少，當上昇至 1.70 % 時，飛砂量降至 1.23 g/m-sec；由此可知，本實驗中砂體含水率對於飛砂量顯著影響的範圍介於 0.77~1.70 % 之間，當含水率達到 0.77 % 以上時，水分子即對砂粒運動開始產生抑制作用，達到 1.70 % 時，僅有微量的飛砂，而到達 3.40 % 時其抑制作用亦將達到最大值。

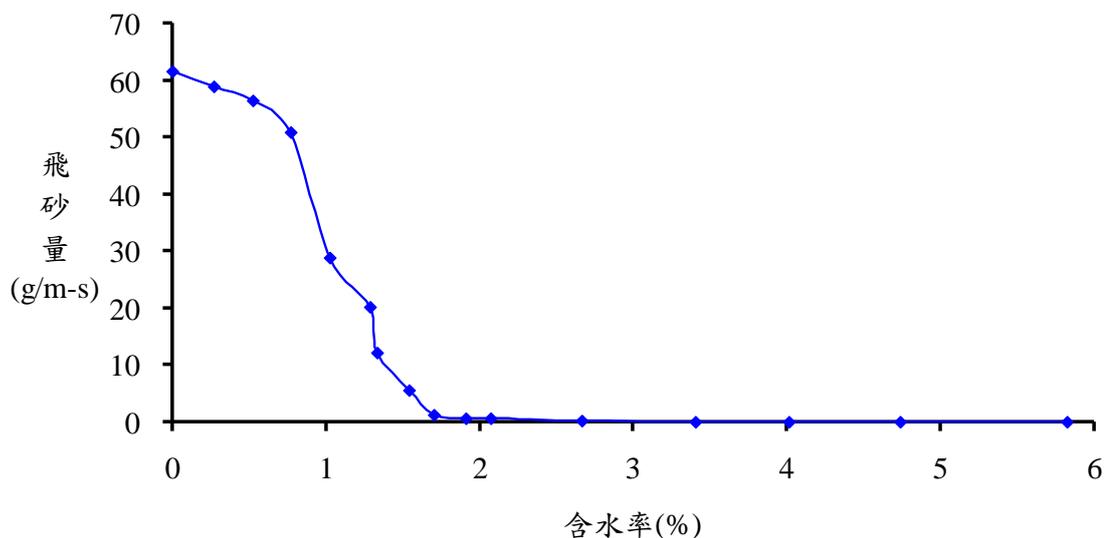


圖 5-30 砂粒含水率與飛砂量之關係

5.4 保安林營造之建議

本保安林自民國前 2 年編入至今已超過一世紀，在民國 39 年 10 月間，台灣省政府農林廳以行政命令（參玖戌刪農林字第 23240 號），將區外保安林交由各縣政府自行管理，嗣於 49 年林產管理局改隸台灣省政府農林廳林務局時，仍沿用上開行政命令委託各縣政府代管，至 92 年 7 月陸續收回，如今部分林木開始衰退枯萎、倒塌，林帶將面臨更新的問題。

海岸地區由於氣候環境惡劣、林木生長不易，尤以海岸第一線必須藉防風籬、防風網或防風柵之保護方能使林木成活，進而逐年成長，若林木超過防風構造物之高度，則易受風害及鹽害，通常第一線林帶林木成長高度極限在 5~6m 左右，故林帶更新時應考慮其斷面與寬度之設計，方能發揮最大功效，至於林帶內部之更新也應有所依循，且對於林帶現存機能是否足夠？亦必須進行檢測，並提供相關方案。

5.4.1 保安林機能檢測結果

為進一步瞭解本研究試區保安林帶之機能，因此，根據邱祈榮等（2007）對防風保安林劃設之研究，從事試區林帶寬度與防風效益關係之探討，依周恆（1978）提出由風速推算防風林帶之寬度，其公式為 $W=V_{\max} \times C_i$ ，其中 C_i 與最大風速 V_{\max} 有關， V_{\max} 大於 30m/s 時 C_i 為 5.53， V_{\max} 介於 10m/s~20m/s 時 C_i 為 4.55， V_{\max} 小於 10m/s 時 C_i 為 3.64。

因此，將 $V_{\max} = 32 \text{ m/s}$ （輕度颱風）或 50 m/s （中度颱風）之風速，代入 $W=V_{\max} \times C_i$ ，即可推求保安林帶之理論寬度，如表 5-20 所

示，再與現地測量之林帶寬度相互比較，可得知保安林帶之機能是否良好。本研究將 1703 號保安林每隔 500~600 公尺取一橫斷面，繪出編號 A~I 共 9 條截面線，如圖 5-31 所示；分別測量其長度，結果如表 5-20 所示，其中林帶最厚處為 A-A'斷面的 210 公尺，最窄為 H-H'斷面，僅有 70 公尺，平均寬度為 165 公尺。

由表 5-20 得知，1703 號保安林將近一半截面實際寬度皆小於由輕度颱風風速 ($V_{\max} = 32 \text{ m/s}$) 所推算之防風林帶寬度；再進一步與中度颱風風速 ($V_{\max} = 50 \text{ m/s}$) 所推算之防風林帶寬度相比，所有截面實際寬度皆不足，因此，整體而言該保安林勉強可以阻擋輕度颱風侵襲，然而卻無法阻擋中度颱風的危害，若要提升該保安林之防風機能，唯有增加保安林帶寬度，才能使該保安林功能更加健全。



圖 5-31 林帶斷面示意圖

表 5-20 林帶實際寬度與理論寬度對照表

斷面	林帶實際寬度(m)	林帶理論寬度(m) $W = 32 \times C_i$	林帶理論寬度(m) $W = 50 \times C_i$
A-A'	210	177	277
B-B'	190	177	277
C-C'	230	177	277
D-D'	180	177	277
E-E'	190	177	277
F-F'	160	177	277
G-G'	130	177	277
H-H'	70	177	277
I-I'	120	177	277
平均寬度	165	177	277

註： $V_{\max} = 32 \text{ m/s}$ （輕度颱風）或 50 m/s （中度颱風）， $C_i = 5.53$ 。

5.4.2 保安林林帶更新之建議方案

Wang *et al*(2001)等依照數學模式及模擬結果發現，太寬的林帶會讓風在離開林帶前就開始恢復速度，而適宜寬度的林帶減低的風速最多。究其原因係由於過窄之防風林帶（5行林帶），如圖5-32(a)，未能使林帶遮風率近乎100%，故會使林前大量氣流通過林區，導致背風面的保護效果比10行林帶差；而圖5-32(b)中10行林帶已足夠抵擋強風穿越林間，使其背風面可獲致良好的保護。

但是，若林帶過寬，則減風區域多被林木佔據，當氣流沿林帶上昇後，至一定距離即開始下降，在過寬之林梢上移動，最後達到無林帶設立處即下降於地表面，故其保護區皆被林木佔去，範圍反而縮小，如圖5-32(c)所示。

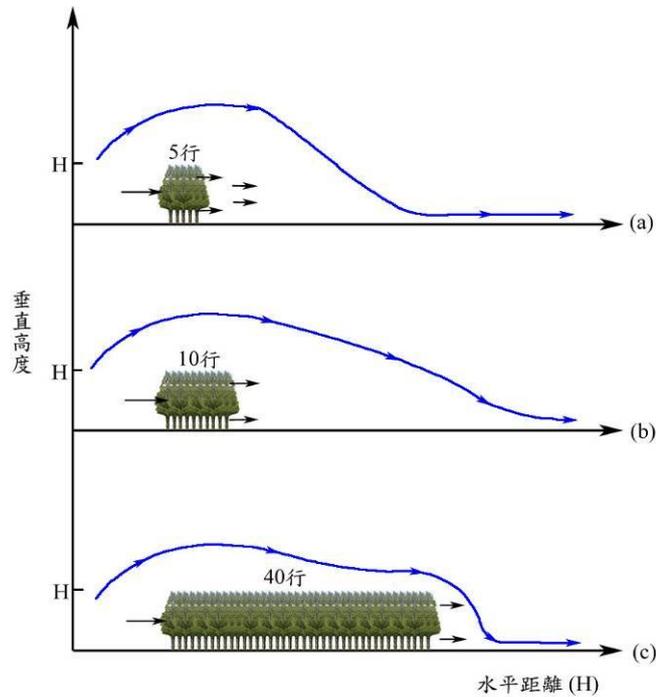


圖 5-32 海岸林帶寬度對防風功效影響示意圖

Woodruff 與 Zingg(1953)針對 5 列、7 列與 10 列樹列及橫斷面類型的防風效果做風洞試驗，結果發現就防風效果而言，最佳為 10 行且為 C 型設計，如圖 5-33 所示，其在林帶上方及林帶後產生的加速區比其他型設計來得小。其次為 5 列林帶，F 型在邊緣有一個相對小的風速減低區。再其次為 10 列 B 型、7 列 E 型、10 列 D 型與 10 列 A 型；若從抵擋風蝕的角度來看效果分別為 C、A、D、B、E、F。而且 5 列與 7 列之效果與 10 列效果差異不大。

因此，未來林帶更新區位於第一線時，建議以 C 型 10 行斷面為參考依據，初期林木前緣則必須設置防風網設施，以輔助林木成活；本研究初步研擬，依據表 5-21 樹高相關資料，採如圖 5-34 之配置方式，首先在迎風面林帶前緣處種植馬鞍藤與蔓荊等定砂地被植物，接著再栽植草海桐、林投、白水木等灌木，林木間距約為 2.0 公尺，而後再栽植黃

槿、海欖果、木麻黃等喬木，林木間距約為 3.0 公尺，然後再於背風面處栽植水黃皮及無患子等喬木，林木間距約為 3.0 公尺，最後再栽植誘鳥植物台灣海桐及誘蝶植物冇骨消，林木間距約為 2.0 公尺，總斷面長度約為 24 公尺，上述林木栽植方式皆採三角形為宜，如圖 5-35 所示。

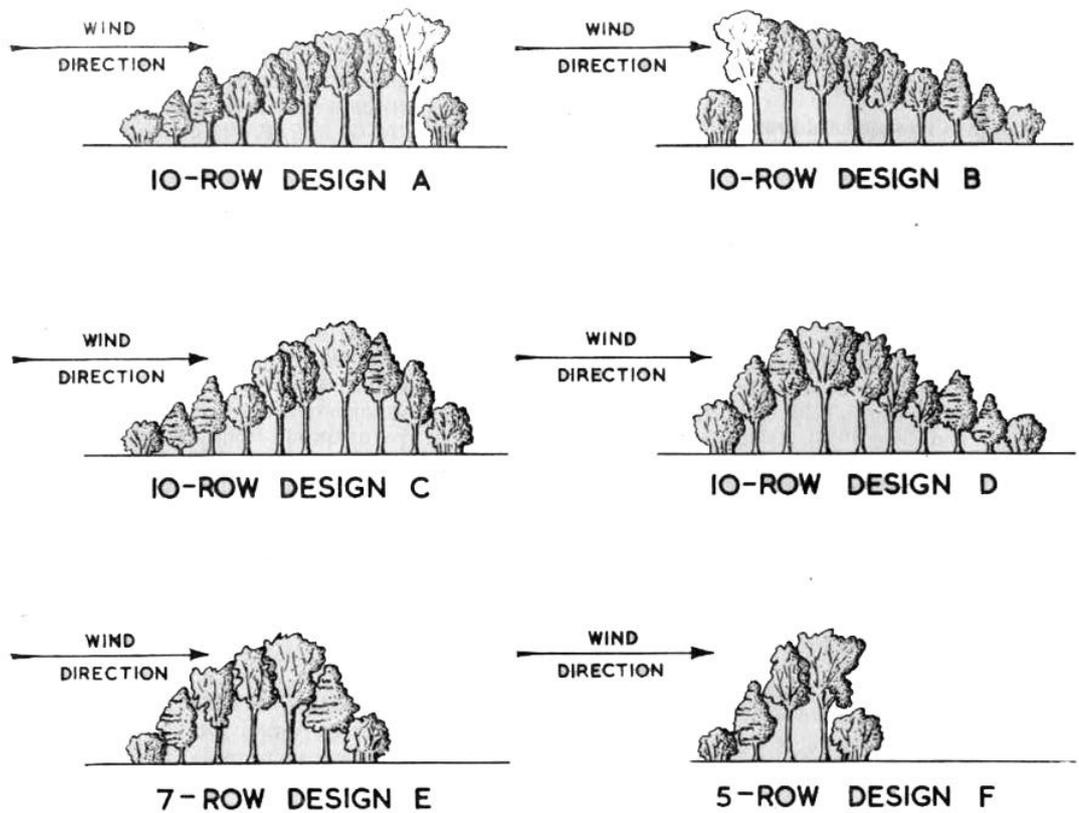


圖 5-33 不同橫斷面林帶之設計 (Woodruff 與 Zingg(1953))

表 5-21 C 型斷面樹種及樹高資料

樹種	草海桐	林投	白水木	海欖果	黃槿	木麻黃	水黃皮	無患子	台灣海桐	冇骨消
樹高 (M)	0.5 至 1.0	0.5 至 3.0	0.6 至 3.0	4.0 至 7.0	5.0 至 8.0	10 至 15	7.0 至 10	5.0 至 10	1.0 至 4.0	1.0 至 1.5

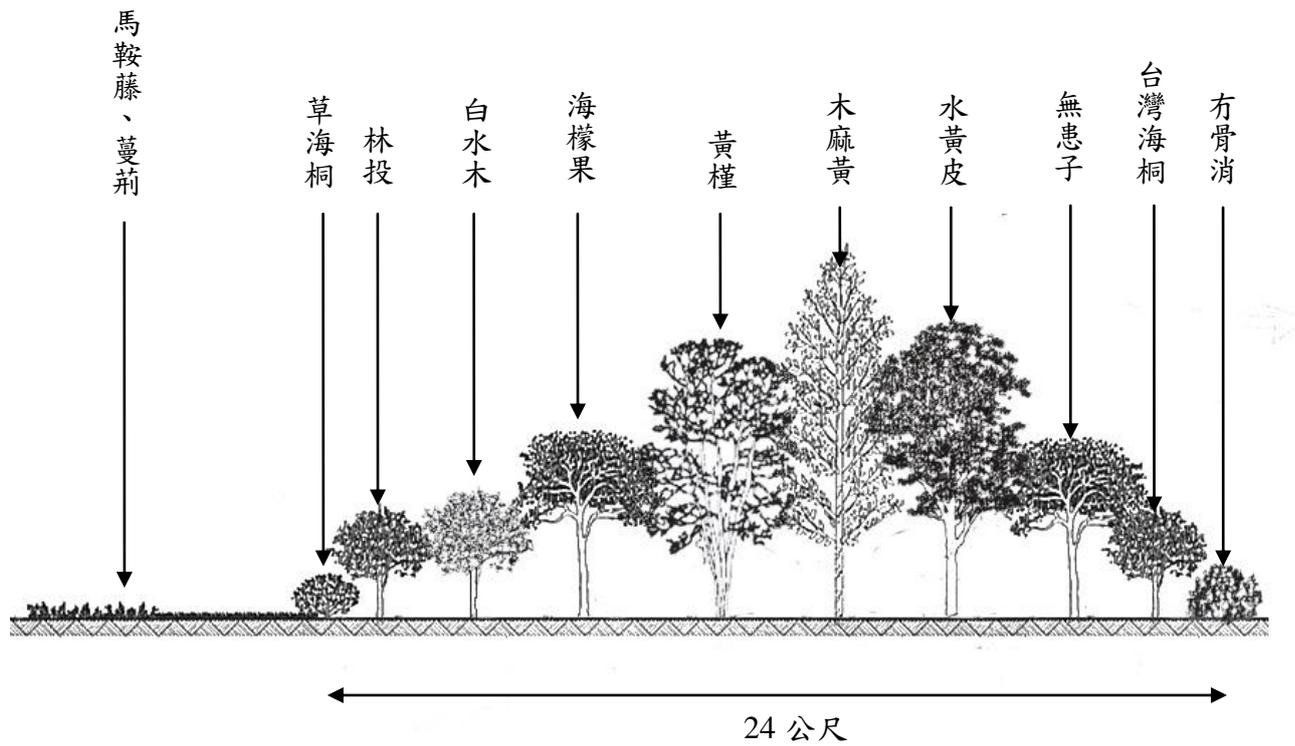


圖 5-34 C 型防風林斷面配置示意圖

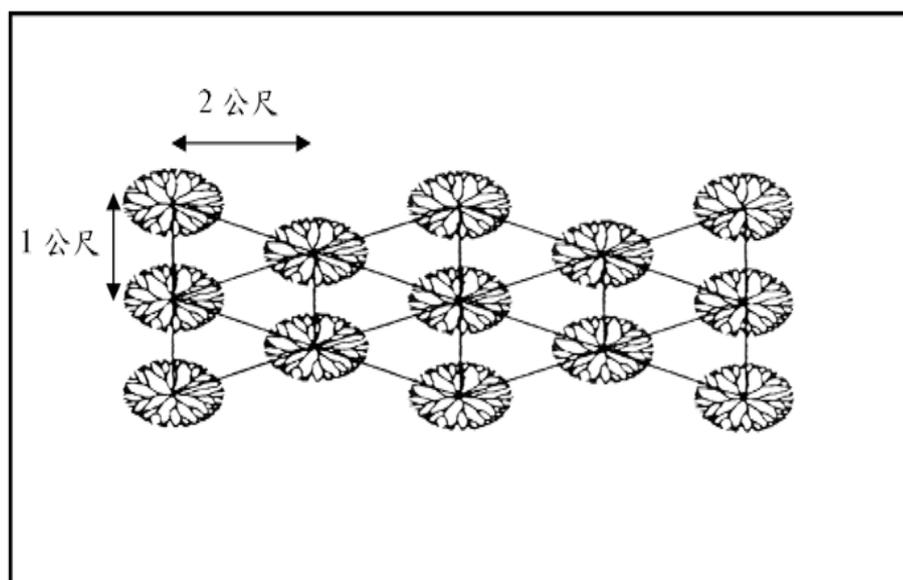


圖5-35 三角形植栽配置圖

5.4.3 分段式保安林之建議方案

當風由林前吹向林帶時，將會產生兩種能量損耗，一為林木本身之阻截作用，造成氣流相互撞擊而消能，二則因氣流受林帶阻擋後被迫上升，致使流動斷面縮小或受林梢搖曳而消能。經試驗發現(江永哲、吳約西，1986)，氣流進入林中與氣流被迫上昇所造成之能量耗損比林梢摩擦生成之損失多的多；研究中亦證實，林帶採用分段式，將可使風通過林帶時，能產生多次突縮斷面(流動斷面縮小)，進而提高林帶耗損風能之功效。又由試驗得知(如圖 5-36 所示)，以前後段皆 20 行而間距為 15H 之二段式林帶，最具能量耗損之效果，平均比未分段之 60 行林帶多耗損能量約 8.5%，而此消能作用亦隨風速增強而更加顯著，若依此試驗結果，以上述 C 型防風林配置，則林帶全長約需 130 公尺。

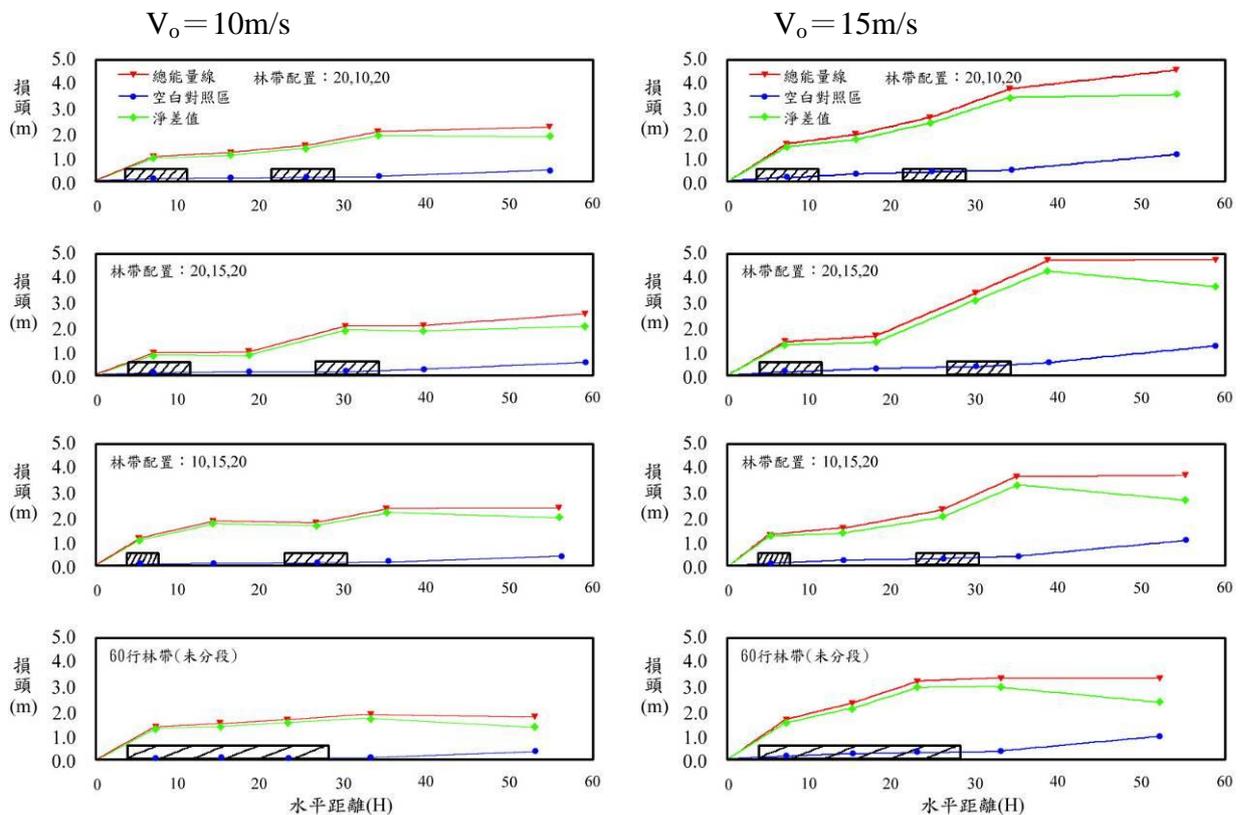


圖5-36 分段式與60行未分段式防風林帶能量損失比較圖

由於分段式海岸防風林帶不但比整段式者更具消能作用，且可節省較多用地，而未來林帶內之更新，亦可據此作為規劃設計之參考，由此觀之，分段式林帶的優點正符合現今保安林營造之需求。

5.4.4 海岸保安林連貫之建議方案

林帶不連貫會削弱林帶之減風效果，進而影響到周遭居民生活環境品質，因此，根據本研究區現況，林帶不連貫主要因闢建道路所造成之林帶缺口，建議未來除非民眾通行之必要道路，且與主風向平行，於規劃設計時則應將道路路面抬升約 3 公尺，使其擁有導流之減風效果，以達到防風的功能，如圖 5-37 所示。其他林內聯絡與維修道路，非開放民眾休憩活動之用，則建議設置活動式擋風屏障，如圖 5-38 所示，除了有利於保安林之經營管理，亦兼具防風功能。

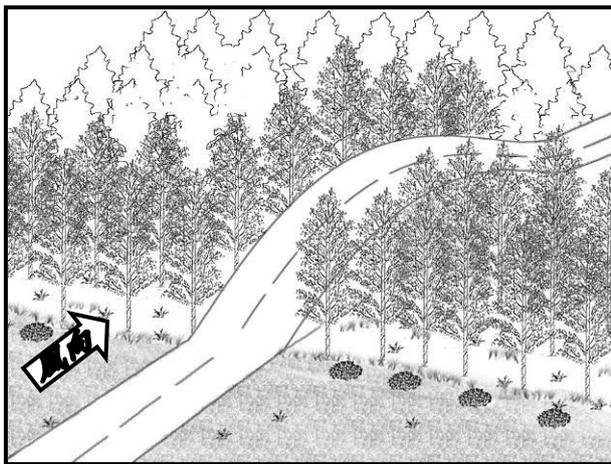


圖 5-37 林帶缺口建議方案

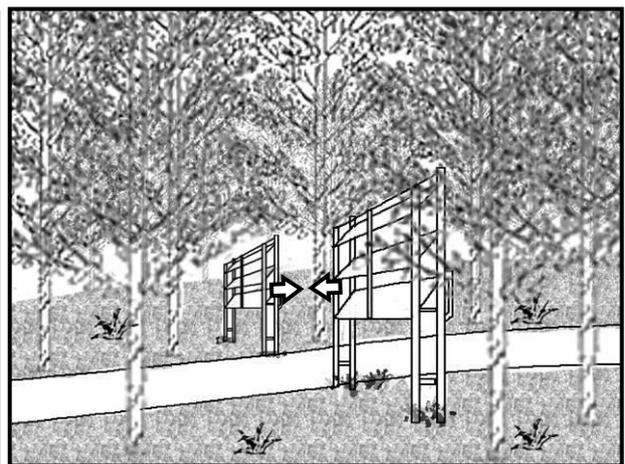


圖 5-38 活動式擋風屏障示意圖

5.4.5 保安林經營管理之建議方案

本區保安林臨近工業區、住宅區與大肚溪口野生動物保護區，為營造符合該區海岸生態的保安林，建議可以增加栽植冇骨消等引誘野鳥、蝴蝶生物群棲，以及無患子等美觀具經濟效益之林木；或是在植物有效密度（不影響保安林原有之效果）之下，將空間騰出來，以枕木或是天然建材鋪設人行步道，步道旁遍植麥門冬及韭蘭等植物，另依季節栽植各類草花，增添人行步道之景觀，並於林內樹蔭下設置石桌、石椅，並結合研究成果，設置濱海保安林戶外教室，提供人們於假日時攜家帶眷至海濱與保安林區活動，增進民眾瞭解保安林功效之相關資訊，以達到宣導及教育的功能，營造兼具教育、觀賞、休憩之地點，同時結合「社區林業」以達到「永續發展」的願景。

第六章 結論與建議

本研究主要目的在於調查編號1703號飛砂防止保安林生態環境，並從事現地風速、飛砂與揚塵移動狀況之觀測，據以瞭解保安林之功效及其存在之必要性；為彌補現地調查及觀測之不足，本研究再從事室內風洞試驗，探討分析砂粒粒徑、含水量及風速對砂粒起砂或揚塵機制之影響；最後根據調查資料，提出符合該海岸自然生態及國土保安之保安林營造的建議。初步所得結果如下：

6.1 結論

6.1.1 保安林生態環境方面

保安林較10年前減少0.836022公頃，係因形成河岸堤防、防汛道路及闢建工業區連外道路系統非營林使用，而予以解編所致；經現地樁號比對調查結果發現，近五年期間，部分樁號地況與告示牌有較明顯變化；又保安林區域內占建部份，面積為1.639732公頃，濫墾部份，面積為1.581122公頃，另有部份地區遭置放貨櫃屋，道路旁亦時有遭棄置或焚燒垃圾等情形。

保安林迎風面之林木，受季節強風吹襲，樹勢生長有限，部分林緣地帶，已有生長衰退或枯死之現象，逐漸退化為草生地狀態，建議提早規劃補植或更新，持續營造成為複層林，使保安林功能更加健全。又為消滅暴潮的破壞力，建議在接近海岸之外緣林帶，於木麻黃枝下高處，增植林投等低矮密生灌木叢，以降低波浪之速度及衝擊，

減少災害損失。至於保安林對於防風及揚塵抑制實驗結果顯示，無論對於防治飛砂或降低風速，皆頗具功效，因此，為防止飛砂侵害全興、和興段一帶、防護工業區及村莊之安全，仍有繼續存置為保安林之必要。

6.1.2 微氣候調查與分析方面

經由風速觀測結果得知，保安林之減風功效高達 80% 以上；再經保安林帶內、外微氣候調查與分析結果顯示，無論任何季節保安林帶內，皆屬於令人感覺舒適的等級，為一處極佳之天然遮蔽場所，因此，應該極力推廣教育宣導，成立保安林戶外教室，讓民眾多方面瞭解保安林功能及其存在之必要性。

6.1.3 現地飛砂及揚塵觀測方面

為瞭解現地飛砂及揚塵運移之關係，以及保安林對揚塵之防治功效，經調查分析初步獲得 4 點具體結果：

1. 風速 ($U_{0.25}$) 與飛砂量 (Q) 之關係： $Q = 2.6563U_{0.25}^{2.4336}$ 。

2. 烏溪濱海地區飛砂量估算式：

$$\frac{Q}{d_{50} \times U_{0.25} \times \sigma} = 1.1 \times 10^{-3} \times \left(\frac{U_{0.25}^2}{g \times d_{50} \times \frac{\sigma}{\rho}} \right)^{0.285}$$

3. 飛砂量 (Q) 與揚塵量 PM_{10} (Q') 之關係： $Q' = 85.608Q^{1.17}$ 。

4. 保安林對揚塵之防治功效：整體而言平均揚塵抑制效果高達 80% 以上，對揚塵之抑制極具功效。

6.1.4 室內分析及實驗結果方面

經分析及實驗結果得知砂粒之物理與運移特性：

1. 烏溪砂粒之物理特性：土壤質地經分析為砂土，中值粒徑 $d_{50}=0.224\text{mm}$ ；大部分粒徑為 $0.05\sim 2.00\text{mm}$ 之砂粒，粘粒及粉粒成分極少；砂粒之密度為 2.44 g/cm^3 ，含水率為 0.65% 。
2. 砂粒起動風速及運移特性：粒徑 $0.84\sim 2.00\text{ mm}$ 之砂粒其起動風速為 13 m/s ；粒徑 $0.42\sim 0.84\text{ mm}$ 之砂粒其起動風速為 9 m/s ；粒徑 $0.25\sim 0.42\text{ mm}$ 之砂粒其起動風速為 5 m/s ；粒徑 0.25 mm 以下之砂粒其起動風速為 4 m/s 。又砂粒粒徑大於 0.25 mm 時，其運動型態多以滾動及跳躍為主，而粒徑小於 0.25 mm 時其運動型態則逐漸轉變為懸浮型態移動。
3. 砂粒含水率與飛砂量之關係：本實驗中砂體含水率對於飛砂量顯著影響的範圍介於 $0.77\sim 1.70\%$ 之間，當含水率達到 0.77% 以上時，水分子即對砂粒運動開始產生抑制作用，達到 1.70% 時，僅有微量的飛砂，而到達 3.40% 時其抑制作用亦將達到最大值。

6.2 建議

針對 1703 號保安林目前現況、未來林帶更新問題、及經營管理，提供相關建議方案：

1. 保安林林帶更新之建議方案：第一線林帶更新時，建議建議以 C 型 10 行斷面，並參照本研究林帶斷面之配置方式，以提升保安林之功效。

2. 分段式保安林之建議方案：由於前後段皆 20 行而間距為 15H 之分段式林帶，不但比整段式者更具消能作用，且可節省較多用地，而未來林帶內之更新，亦可據此作為規劃設計之參考。
3. 海岸保安林連貫之建議方案：因闢建道路造成林帶不連貫，而形成風口，建議應於規劃設計時將道路路面抬升約 3 公尺，使其擁有導流土堤之減風效果，以達到防風的功能。
4. 保安林經營管理之建議方案：由於本區保安林臨近工業區、住宅區與大肚溪口野生動物保護區，建議選用誘蝶、誘鳥及具經濟性等功能之海岸適生植物，以營造生態多樣性之保安林；同時兼顧民眾休憩空間，設置濱海保安林戶外教室，以達到宣導及教育的功能，使保安林成為兼具教育、觀賞及休憩之地點，同時結合「社區林業」以達到「永續發展」的願景。

參考文獻

1. 王穎釗、張承中、高建華、劉初全、栗志豔 (2007),「不同類型農田地表粉塵起動摩阻風速的野外觀測」,安徽農業科學期刊,37(2):710-721。
2. 行政院環保署環境檢測所(2005),「土壤採樣方法」,網址:
<http://www.niea.gov.tw/niea/SOIL/S10261B.htm>
3. 江永哲(1982),「海岸林帶有效寬度之研究」,國立中興大學中國農村發展聯合委員會合作研究報告。
4. 江永哲、李遠欽(1985),「海岸防風林不同林帶寬度消減風力之效果」,國立中興大學農林學報,34(1):37-50。
5. 江永哲、游繁結、黃隆明(1987),「不同海岸防風林型態與風速之關係試驗」,中華水土保持學報,18(1):14-26。
6. 江永哲、丘紹恆、黃隆明(1991),「丘陵地風速與風向分佈之研究」,國立中興大學農林學報,40(2):137-162。
7. 江永哲、黃隆明(1992),「沿海風速分佈與防風林營造關係之研究(一)」,防風林營造八十一年度研究彙報,pp.17-26。
8. 江永哲、黃隆明(1993),「沿海風速分佈與防風林營造關係之研究(二)」,防風林營造八十二年度研究彙報,pp.20-29。
9. 吳約西(1981),「海岸防風林削減風力之探討」,國立中興大學水土保持研究所碩士論文。
10. 吳正(1965),「新疆和田地區沙土及土壤風蝕的初步研究」,中國地理學會地貌學術討論會:125-127。
11. 吳正(1965),「風沙運動的若干規律及防止風沙危害問題的初步研究」,治沙研究,第7號:7-14。
12. 周美珠(1989),「未飽和土層水流動態模之研究」,中興大學土木工程研究所碩士論文。
13. 林信輝、江永哲(1979),「砂體含水率與飛砂量之關係試驗」,中華水土保持學報,10(2):173-193。
14. 林信輝(2001),「植生工程」,高立圖書有限公司,pp.107-184。
15. 林俐玲、董小萍(2002),「土壤物理學實習」,國立中興大學教材:pp.4-20。

16. 邱祈榮、潘孝隆、葉媚媚、黃愷如 (2007), 「金門地區防風保安林劃設之研究」, 中華林學季刊, 40 (2): 229-240。
17. 徐森雄 (2003), 「坡地檳榔園之微氣候特性」, 中華林學季刊 (37) 2: 169-178。
18. 高庭芳 (2003), 「福山試驗集水區坡面土壤水分移動特性之研究」, 國立台灣大學森林學研究所碩士論文。
19. 唐琦 (2005), 「天然香楠林之微氣候特性研究」, 國立中興大學水土保持學系博士論文。
20. 陳繁首 (1981), 「從國土綠化及改善生活環境談森林之防風機能」, 台灣省林務局。
21. 陳財輝 (1987), 「台灣海岸林之生態環境與造林技術」, 現代育林, 3(1): 49-63。
22. 陳財輝、游漢明、洪富文 (2004), 「桃園許厝港海岸飛砂之移動及定砂植物之生長」, 中華林學季刊, 37 (4): 367-377。
23. 陳財輝、黃隆明 (2006), 「花蓮海岸防風保安林功效及營造對策」, 台灣林業, 32(1): 17-22。
24. 陳財輝、黃隆明、賴振墉 (2006), 「海岸防風保安林之效益評估」, 第一屆環境保護林經營管理研討會, pp.7-26。
25. 郭幸榮 (1984), 「木麻黃種子發芽及苗木生長之研究」, 國立台灣大學農學院實驗林研究報告第 154 號。
26. 梁亞忠 (1994), 「資料記錄器、光量子與氣溫感測器在森林微環境之應用」, 中華林學季刊 27(4): 15-35。
27. 夏禹九、楊之遠 (1989), 「由氣象因素估測蒸發散量的限制條件」, 台灣地區農業氣象資源應用研討會專輯, 中央氣象局, pp.113-126。
28. 萬鑫森 (1987), 「基礎土壤物理學」, 國立編譯館: pp.59-70。
29. 游繁結、張文詔 (1978), 「海岸飛砂量估算之風洞試驗」, 中華水土保持學報, 9 (2): 53-80。
30. 游繁結 (1989), 「濁水溪河口飛砂量之調查與研究」, 農林學報, 38 (1): 75-104。
31. 黃隆明 (1997), 「氣象學實習」, 國立中興大學教材。

32. 黃隆明 (1997),「環境林對微氣候改善之研究」,環境林業八十六年度研究彙報, pp.156-165。
33. 黃隆明、江永哲、劉忠憲 (1997),「澎湖飄鹽分布之研究」,中華水土保持學報, 28(3): 165-176。
34. 黃隆明、賴振墉、陳財輝 (2007),「花蓮七星潭海岸防風林功效之探討」,國立中興大學水土保持學報, 39(1): 15-28。
35. 黃隆明、吳昌翰 (2007),「台中港海岸飛砂量推估之研究」,中華水土保持學會 96 年年會論文發表論文集, pp.23-24。
36. 黃隆明、劉奇恩 (2007),「海岸防風林帶空隙對微氣候影響之研究」,國立中興大學水土保持學報, 39(2): 189-200。
37. 鄒良棟 (2004),「植物生長與環境」,高等教育出版社。
38. 廖大牛、林守誠、伍木林 (1976),「建立台灣整體性防風林之調查研究」,加速農村建設 76-3-4-N45 計畫研究報告 151 號。
39. 編號 1703 號飛砂防止保安林九十五年檢定成果報告」,農授林務字第 0961730483 號。
40. 中島勇喜 (1979),「飛砂制御に關する基礎的研究」,九州大學農學部演習林報告, 51: 125-183。
41. 田中貞雄 (1954),「風蝕防止に關する研究」,農業氣象, 10(1, 2): 57-59。
42. 村井宏、石川政幸、遠藤治郎、只木良也 (1992),「日本の海岸林」,朝倉書店, 東京。
43. 河村龍馬 (1951),「飛砂の研究」,東京大學理工研報, (5): 3-4。
44. 飯塚肇 (1952),「防風林の幅度(厚み)に就いて」,林業試驗場研究報告第 56 號別刷。
45. Bagnold, R.D. (1954), "The physics of blown sand and desert dunes," Methuen & Co., Ltd. London
46. Chepil, W. S. (1945), "Dynamics of wind erosion, III, The transport capacity of the wind," *Soil Science*, 60: 475-480.
47. Simiu, E. and R.H. Scanlan (1986), "Wind Effects on Structure," John Wiley & Sons, Inc. New York: 39~52.
48. Woodruff, N.P. and Zingg, A.W. (1953), "Wind tunnel studies of shelterbelt models," *J. For.* 51:173-178.

49. Wang, H., E S. Takle, and J. Shen (2001), "Shelterbelts and windbreaks: mathematical modeling and computer simulation of turbulent flows," *Ann. Rev. Fluid Mech.* 33:549-586.
50. Zhibao D. (2003), "Aeolian sand transport : A Wind Tunnel Model," *Sedimentary Geology*, 161 : 71-83.
51. Zingg, A.W.(1952), "Wind tunnel studies of movement of sedimentary material," *Proc. 5th. Hyd. Conf., State Univ. of Iowa, Bull.* 34, : 111-135.
52. Zingg, A. W. (1953a), "Wind tunnel studies of the movement of sedimentary material," *Proceeding of the 5th Hydraulics Conf. Bull*, 34 : 11-35. Inst. of Hydraulic.

附 錄 一

期中、期末簡報委員意見回覆表

一、期中簡報委員意見回覆表

審查委員	審查意見	意見回覆
郭幸榮委員	1.本研究計畫係以彰化縣 1703 號飛砂防止保安林為對象，依前人研究成果，保安林管理人員之工作經驗及本年度可建立之資料，探討評估本保安林之功能，作為海岸保安林保育、經營及管理之指針。	感謝委員意見，已針對本研究工作内容持續進行資料收集、觀測及分析。
	2.目前（期中報告為止）已完成前人研究資料之匯整及近期（99.07.13）現場土壤水分、溫度之監測資料。本研究擬進行的工作内容究竟為何？	感謝委員意見，由於本研究主要工作内容為飛砂及揚塵之觀測，因該項工作必須於東北季風期間進行，故目前僅從事環境之調查與初步微氣候觀測，以致於期中報告尚未能提供較為完整之研究成果。
	3.林地微環境之監測以多點且連續性資料的學術及實務價值較多，建議增加測點數量及監測頻度。	感謝委員意見，由於現地監測工作，必須日夜持續進行，為顧及儀器安全及資料完整性，尚須有人留守，在經費允許下，將盡可能增加觀測點數與頻度。
	4.現場管理人員之工作經驗如何蒐集及建檔，建議在期末報告中予以陳述。	感謝委員意見，將於期末報告中予以陳述說明。
	5.為何選擇 1703 號防風林為研究對象？其代表性為何？與其他防風林的效益有何不同？	本研究主要目的係為瞭解濱海保安林對飛砂揚塵之抑制功效，因而選擇 1703 號飛砂防止保安林為探討對象。
	6.本研究計畫所指的保安效益之評估準則及指標各為何？建議未來能明列。	編號 1703 號保安林主要功能為飛砂防止，本研究之效益評估亦將以此為準則及指標，從事分析探討。

陳財輝委員	1.1703 號保安林造林沿革能否找得到？（林務局保安林地及彰化縣府林務課代管時期植栽？）	感謝委員意見，本保安林自民國前 2 年編入至今已超過一世紀，在民國 39 年 10 月間，台灣省政府農林廳以行政命令（參玖戌刪農林字第 23240 號），將區外保安林交由各縣政府自行管理，嗣於 49 年林產管理局改隸台灣省政府農林廳林務局時，仍沿用上開行政命令委託各縣政府代管，至 92 年 7 月陸續收回，其間造林植栽相關資料已難搜尋。
	2.本調查地點並非烏溪揚塵最嚴重處，如何應用本地調查數據，說明造林抑制飛砂揚塵的可能性？	感謝委員意見，將於東北季風期間，勘選適宜地點，從事飛砂及揚塵之觀測，據以說明造林抑制飛砂揚塵的功效。
簡慶德委員	1.本計畫之研究成果 6.1 保安林生態環境方面，有關營林寬度不足或無法恢復營林地區，建議施設防風牆或防風網，以維護原有保安林功能，其理由何在？保安林可否設置防風牆？	感謝委員意見，部分文字已修正，整體而言，本保安林地之防風定砂機能相當完整，僅極小區域有生長衰退或枯死之現象，建議提早規劃補植或更新，持續營造成為複層林，並於林木植栽初期，則建議施設防風網，輔助其成長，以維保安林之功能。

二、期末簡報委員意見回覆表

審查委員	審查意見	意見回覆
郭幸榮委員	1.本計畫係以彰化縣 1703 號飛砂防止保安林為研究對象，探討其飛砂防止之功效及維護其他微環境因子之功能。	感謝委員意見，所提及的確實是本計畫工作內容。
	2.本年度已完成各樣點土地利用變遷、減風功效、微氣候、土壤水分之觀測，及對飛砂、揚塵量抑制效果之調查與分析，和室內風洞試驗等項工作，達於預期目標，且提出防風林營建及維護之建議。	感謝委員的認可。
	3.本研究結果豐碩，惟對 1703 號林在過去至本(2010)年為止的林分結構與組成之動態與現況及其與飛砂防止，降低風速等功能之互動性或關聯性建議予以補強。	感謝委員的肯定，對於林分結構、組成之動態與現況及其與飛砂防止、降低風速等功能之互動性或關聯性之說明，已於文章內補強。
	4.表 5-20(p70)的林帶理論寬度有 2 欄位，究竟以何種參數所計算者較為適宜?建議補強說明。	感謝委員意見，已將欄位刪減，並於內文補強說明相關參數計算之適宜性。
	5.不同寬度海岸林的防風效果之示意圖(p71，圖 5-32)，是否適宜台灣西海岸防風林?	針對不同寬度海岸林的防風效果，係因地制宜，且需待實驗證實。
	6.圖 5-34 (p73) 為理想之模式組成，在海岸林是否可達成?可能有相當大的難度!	感謝委員意見，C 型防風林組成模式，在海岸林是否可達成?亦需進一步實驗證實。
	7.圖 5-36(p74)為單純由風速來建構之多段式模式設置，是否有實證以支持?因台灣的海岸林之逆境是多因子組成!	多段式海岸防風林帶，國內並無案例可資參考，由於台灣海岸林之逆境是多因子組成，是否可行?尚待實驗證實。

陳財輝委員	1.第二章與第三章有否必要分章。	由於第二章係說明整體大環境概況，而第三章則是細述基地環境特性，為便於閱讀，仍以分章為宜。
	2.第 5-4 與第六章宜合併為結論與建議。	感謝委員意見，已將 5-4 節相關建議，置於第六章結論與建議中。
	3.建議下年度編印海岸林保安機能宣導摺頁。	感謝委員對海岸林保安機能宣導之支持，建請林務局同意考量辦理。
簡慶德委員	1.本計畫保安林帶更新建議案值得參考，但爭議之處請修正。	感謝委員意見，有爭議之處已修正。

附 錄 二
研究團隊說明

一、研究人員姓名、現職、學歷

(一) 計畫主持人

姓 名	黃隆明	性 別	<input checked="" type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女	出生年月日	45.**.**
機關名稱	國立中興大學	單位名稱	水土保持學系	職 稱	副教授
電 話	(04)22840381 # 215			傳 真	(04)22876851
住 址	402 台中市工學北路 13-7 號				
最高學歷	1. 國立中興大學博士 2. 美國加州大學柏克萊分校訪問學者				
考 試	建設人員水土保持科高等考試及格				
電子信箱	lmhuang@dragon.nchu.edu.tw				

(二) 研究人員

序 號	機 關 名 稱	單 位 名 稱	研 究 人 員	職 稱
1	國立中興大學	水土保持學系	黃隆明	副教授
2	國立中興大學	水土保持學系	吳昌翰	博士班研究生
3	國立中興大學	水土保持學系	范姜明威	碩士班研究生
4	國立中興大學	水土保持學系	盧力瑋	碩士班研究生
5	國立中興大學	水土保持學系	劉民偉	碩士班研究生
6	國立中興大學	水土保持學系	黃馳寓	碩士班研究生
7	國立中興大學	水土保持學系	陳天慈	碩士班研究生
8	國立中興大學	水土保持學系	李昱廷	碩士班研究生
9	國立中興大學	水土保持學系	張台聖	碩士班研究生
10	國立中興大學	水土保持學系	古緯中	碩士班研究生
11	國立中興大學	水土保持學系	李霽修	碩士班研究生

二、研究分工

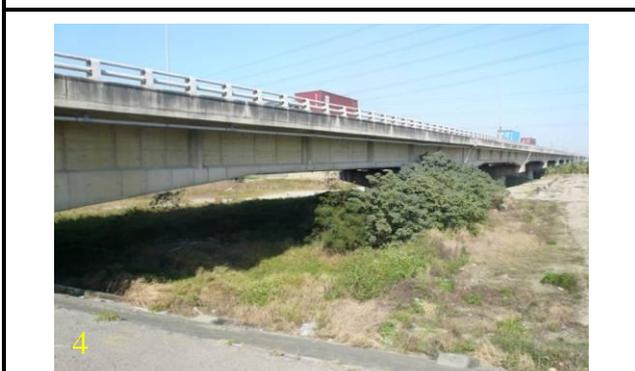
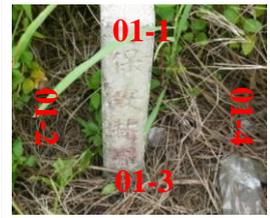
序號	參與計畫人員姓名	英文姓名	身份證字號	出生年 民國	專長 領域	職級	學歷	性別	參與 人月	參與 性質
1	黃隆明	Huang Long-Ming	E102*****	45	56	2	1	1	09	1
2	吳昌翰	Wu Chan-Hang	E123*****	71	56	4	2	1	03	4
3	范姜明威	Fan Jiang Ming-Wei	H123*****	74	56	4	6	1	08	4
4	盧力璋	Lu Lee-We	A128*****	75	56	4	6	1	08	4
5	劉明偉	Liou Min-Wei	K122*****	75	56	4	6	1	08	4
6	黃馳寓	Huang Chr-Yu	F125*****	70	56	4	6	1	08	4
7	陳天慈	Chen Tian-Tsz	H223*****	76	56	4	6	1	08	4
8	李昱廷	Li Yu-Ting	S123*****	76	56	4	6	1	08	4
9	張台聖	Chang Tai-Sheng	A126*****	77	56	4	6	1	08	4
10	古緯中	Ku Wei-Chung	T123*****	76	56	4	6	2	08	4
11	李霽修	Li Chi-Hsiu	A126*****	77	56	4	6	1	08	4

註：上表係依據行政院所屬各機關委託研究計畫管理辦法填列。

附 錄 三
樁號現況比對圖

編號:1 (邊界補點檢測)

編號:保安林柱 01



編號:3 (邊界補點檢測)



編號:4 (邊界補點檢測)



編號: NM05



編號: 告示牌 01



編號: 告示牌 02 (遺失)



編號: 保安林柱 02



編號: NM02

編號: 控制點 A031



編號: 11 (邊界補點檢測)



附 錄 四
風速觀測分析表

附錄表 4-1 風速觀測分析表

Data	測次	不同高度剖面風速(m/s)								相關係數			U* m/s	Z ₀ m	風向
		0.05	0.25	0.3	0.4	0.7	1.0	1.3	1.5	a	b	r			
2010/ 11/18	1	4.24	6.57	6.91	7.41	8.53	8.61	8.7	8.89	8.57	3.22	0.9790**	0.560	2.20E-03	NNW
	2	4.60	6.88	7.61	7.88	8.32	8.54	8.77	9.12	8.70	2.92	0.9650**	0.507	1.05E-03	NNW
	3	4.43	6.47	6.94	7.63	8.51	9.16	9.44	9.46	8.97	3.60	0.9890**	0.627	3.25E-03	NNW
	4	4.15	7.03	7.19	7.55	7.93	8.67	9.17	9.21	8.73	3.34	0.9830**	0.580	2.41E-03	NNW
	5	4.77	6.22	6.44	7.14	7.88	8.06	8.43	8.88	8.16	2.77	0.9780**	0.482	1.14E-03	NNW
	6	4.33	6.11	6.58	7.22	7.86	8.14	8.63	8.72	8.22	3.05	0.9900**	0.530	2.00E-03	NNW
	7	4.51	7.84	8.17	8.99	10.25	10.72	11.15	8.5	10.05	3.82	0.7750**	0.665	2.35E-03	NNW
	8	4.63	6.87	7.05	7.31	7.63	8.11	8.52	8.76	8.25	2.64	0.9840**	0.460	7.59E-04	NNW
	9	4.70	6.52	6.98	7.21	7.66	7.94	8.24	8.92	8.15	2.61	0.9790**	0.454	7.61E-04	NNW

a：常數。

b：回歸係數。

r：相關係數。

**：1%顯著水準。

U*：摩擦風速 (m/sec)。

Z₀：粗造長度 (m)。

附錄表 4-2 風速觀測分析表

Data	測次	不同高度剖面風速(m/s)								相關係數			U* m/s	Z ₀ m	風向
		0.05	0.25	0.3	0.4	0.7	1.0	1.3	1.5	a	b	r			
2010/ 11/29	1	4.12	6.63	6.84	7.33	7.94	8.23	8.64	8.7	8.34	3.08	0.9890**	0.535	1.95E-03	NNW
	2	4.35	6.47	6.88	7.26	7.84	8.14	8.43	9.04	8.30	2.99	0.9890**	0.519	1.65E-03	NNW
	3	4.68	6.33	6.58	7.88	8.47	8.96	9.24	9.67	8.90	3.48	0.9640**	0.605	2.77E-03	NNW
	4	4.87	6.55	6.94	7.26	7.84	8.22	8.64	8.74	8.27	2.64	0.9970**	0.459	7.39E-04	NNW
	5	4.66	6.47	6.53	7.49	7.64	8.04	8.27	8.61	8.09	2.62	0.9780**	0.455	8.04E-04	NNW
	6	4.34	6.69	7.14	7.53	7.78	8.36	8.64	9.54	8.57	3.17	0.9710**	0.551	1.97E-03	NNW
	7	4.67	6.48	7.24	7.66	8.27	8.53	8.71	9.2	8.60	2.99	0.9810**	0.521	1.34E-03	NNW
	8	4.25	6.56	6.81	7.28	7.48	7.96	8.56	9.47	8.35	3.13	0.9590**	0.544	2.14E-03	NNW
	9	4.94	6.78	7.06	7.44	7.82	8.29	8.76	9.63	8.55	2.86	0.9640**	0.498	1.03E-03	NNW

a：常數。

b：回歸係數。

r**：1%顯著水準。

U*：摩擦風速 (m/sec)。

Z₀：粗造長度 (m)。

附錄表 4-3 風速觀測分析表

Data	測次	不同高度剖面風速(m/s)								相關係數			U* m/s	Z ₀ m	風向
		0.05	0.25	0.3	0.4	0.7	1.0	1.3	1.5	a	b	r			
2010/ 11/30	1	4.70	6.44	6.84	7.24	7.75	8.16	8.71	9.41	8.41	2.98	0.9740**	0.517	1.49E-03	NNW
	2	4.66	6.37	6.97	7.88	8.27	8.53	8.94	9.54	8.72	3.21	0.9710**	0.558	1.91E-03	NNW
	3	5.41	6.77	7.51	7.94	8.24	8.76	9.11	9.31	8.78	2.66	0.9780**	0.462	5.01E-04	NNW
	4	4.68	6.88	7.52	8.06	8.53	9.22	9.71	10.14	9.31	3.61	0.9900**	0.628	2.64E-03	NNW
	5	5.38	6.58	6.81	7.25	7.73	8.17	8.62	8.97	8.24	2.40	0.9720**	0.417	3.64E-04	NNW
	6	4.97	6.82	7.47	7.86	8.33	8.62	9.07	9.53	8.83	2.96	0.9850**	0.514	1.03E-03	NNW
	7	5.21	6.71	7.32	7.84	8.36	8.71	9.23	9.77	8.90	2.99	0.9760**	0.520	1.05E-03	NNW
	8	4.99	6.47	7.13	7.92	8.53	8.86	9.22	9.68	8.92	3.19	0.9730**	0.555	1.61E-03	NNW
	9	5.02	6.58	7.27	7.72	8.14	8.63	8.97	9.33	8.68	2.88	0.9840**	0.502	9.80E-04	NNW

a：常數

b：回歸係數

r**：1%相關係數

U*：摩擦風速(m/sec)

Z₀：粗造長度(m)

附 錄 五
飛砂量觀測資料表

附錄表 5-1 飛砂量觀測資料表

日期	時間	不同高度之飛砂量(g/m-s)							
		<0.01 m	0.01~ 0.25 m	0.25 m	0.3 m	0.4 m	0.7 m	1.0 m	1.3 m
2010 年 11 月 18 日	11:27:00	75.5	11.6	12.9	9.4	1.7	1.6	2.5	1.5
	12:05:00	107.9	13.4	13.1	11.1	2.0	1.8	2.9	2.0
	12:35:00	66.9	11.8	14.7	9.6	2.3	1.7	2.7	2.3
	13:05:00	97.4	12.4	14.0	12.0	1.3	1.7	3.5	2.9
	13:39:00	61.0	11.6	12.3	11.8	1.3	1.4	2.3	2.0
	14:15:00	102.4	13.5	13.9	11.8	1.6	1.8	2.7	2.4
	14:50:00	101.6	14.9	15.5	13.2	2.0	2.4	2.1	1.9
2010 年 11 月 30 日	11:13:00	79.5	12.7	7.6	9.3	1.7	1.6	2.4	1.5
	11:45:00	113.1	11.5	9.5	10.9	1.9	1.8	2.9	2.0
	12:15:00	87.4	10.7	8.9	9.4	2.3	1.7	2.7	2.3
	12:45:00	108.2	13.6	14.2	9.6	1.3	1.4	1.6	1.4
	14:17:00	98.4	12.6	13.9	11.8	1.2	1.4	1.6	1.3
	14:48:00	79.4	11.4	11.9	8.0	0.5	1.0	2.7	0.8
	15:20:00	73.2	9.4	13.7	9.4	0.9	1.4	2.1	0.9