

# 應用沖蝕針量測數據評估曾文水庫 集水區土壤沖蝕抑制成效

李鎮洋\* 傅桂霖\*\* 蔡明發\*\*\* 簡以達\*\*\*\* 許振崑\*\*\*\*\* 林伯勳\*\*\*\*\*

## 摘 要

水庫集水區境內土砂淤積係屬無法避免之自然現象，故積極調查土砂生產區域以及防砂對策擬定極為重要，產砂來源尤以伴隨降雨隨機產出之土壤沖蝕量，需藉由植生工程，以防止雨滴逕流沖蝕，調節地表溫度，使其根系固結表土，抑制表土流失，進而控制於合理且容許流失範圍，以舒緩水庫集水區內土砂淤積速率。本研究透過曾文水庫集水區土壤沖蝕針長時期監測資訊，並搭配監測時間之降雨量，針對不同類型邊坡與不同植生工法進行土壤抑制評估；分析結果顯示，經人為復育之整治邊坡至少可控制 36.62% 以上之年土細顆粒土壤流失，其中植生工法以鋪網噴植之抑制百分比成效最佳，顯示各保育治理確實有效，且已能有效抑制並改善上游集水區之地表土壤流失狀況。

關鍵字：土砂淤積、曾文水庫、土壤沖蝕

## 一、前 言

臺灣地形、地質及氣候環境特殊，使得集水區砂源供應十分豐沛；以流域而言，土砂生產、運移及堆積等三項機制，從上游至下游屬於一貫性連續運動；若屬正常供砂，可適時補注河道，維持河道穩定性及保持水路不變；反之，屬於異常供砂，將造成河相及深槽改變、河道嚴重淤積，亦使原有生態棲地喪失或縮減，危及人類居住安全；另更直接成為集公共給水、灌溉、發電、防洪及觀光功能水庫之重大威脅。然而，水庫集水區內土砂淤積係屬無法避免之自然現象，而水庫淤滿則為最終宿命，故積極調查土砂生產區域以

及擬定防砂對策極為重要，據以延長使用年限。

以曾文水庫為例，其位於嘉義縣大埔鄉曾文溪主流上游，其庫容亦為臺灣之最。曾文水庫建庫以前，相關單位即針對水庫上游集水區進行集水區規劃調查；民國 53 年完成「曾文水庫上游集水區水土保持初步規劃報告」，並針對水庫集水區內崩塌地處理、農地水土保持、防砂工程、造林及護林等相關治理工作進行規劃，於民國 57 年開始實施第一期水土保持八年計畫。第一期水土保持計畫完成後，曾文水庫管理局隨即從事水庫淤砂測量，測量結果水庫淤積量約計 52 萬立方公尺。曾文水庫集水區原推估年輸砂量 561 萬立方公尺，至民國 96 年底，依據淤積測量資料

\* 行政院農業委員會水土保持局局長  
\*\* 行政院農業委員會水土保持局保育治理組組長  
\*\*\* 行政院農業委員會水土保持局保育治理組水庫治理科科長  
\*\*\*\* 行政院農業委員會水土保持局保育治理組坡地保育科正工程師  
\*\*\*\*\* 中興工程顧問社防災科技研究中心副工程師  
\*\*\*\*\* 中興工程顧問社防災科技研究中心環境資源監測組組長

顯示，實際年平均輸砂量為 460 萬立方公尺；惟上游產砂已有減少，仍對於下游庫容淤積速率影響無減。民國 98 年莫拉克颱風於 5 日內測得曾文水庫集水區降下 3,005mm 累積雨量（阿里山站），72 小時累積雨量為臺灣歷年之冠；高強度與長延時降雨型態，誘使集水區內發生大規模土砂災害，該場事件造成水庫土砂淤積量新增 9,108 萬立方公尺，遠大於曾文水庫原設計年淤砂量 561 萬立方公尺（如圖 1），以及大於曾文水庫之年計畫淤積量之 126%，嚴重威脅水庫壽命，其對南部地區供水影響甚鉅。

由於臺灣南部地區枯豐水季輸砂比約達 1/9（水利署，2012），懸殊甚鉅，張石角（1972）曾指出曾文集水區土砂生產屬於「豪雨型」，且豪大雨事件輸砂量占全年比例達 70% 以上（陳翰霖和張瑞津，2007），且入庫砂源除主河道長期堆積沉積物外，產砂來源另可分為伴隨降雨隨機產出之土壤沖蝕量，以及因降雨或地震等擾動產生之坡面崩塌量等。坡面崩塌所產生粗粒料，可被人工結構攔阻於壩體後方或填積於河道；而土壤沖蝕量屬於細粒料，因豪雨誘發及地表逕流

帶入河，或經其他介質流入下游或進入水庫內，直接造成水庫濁度及淤積量升高，影響水庫供水能力。

莫拉克颱風後，相關權責單位為使水庫長久經營，解決嚴重之水質惡化與水庫淤砂問題，依據「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫」於民國 99 年至 104 年投入大量治山防災工程，如野溪治理、崩場地處理、邊坡穩定、植生復育等，其中植生復育執行方式，係藉由植生工程，讓植物繁茂生長於坡面，以防止雨滴逕流沖蝕，調節地表溫度變化，進而藉其根系固結表土，抑制表土流失（林信輝，2011）。鑑此，本文針對莫拉克颱風引致曾文水庫集水區致災野溪子集水區，以經人為復育之邊坡作為實驗組，稱為整治邊坡；以呈現裸露且未經人為復育之邊坡作為對照組，稱為裸露邊坡，分別於其坡面設置相同數量土壤沖蝕針；然後，並於颱風或豪雨事件後，至現地量測所得土壤沖蝕深度，以量化莫拉克颱風後治理迄今曾文水庫集水區坡地沖蝕抑制成效，以供為未來下游水庫庫區防淤減淤策略之參考資訊。

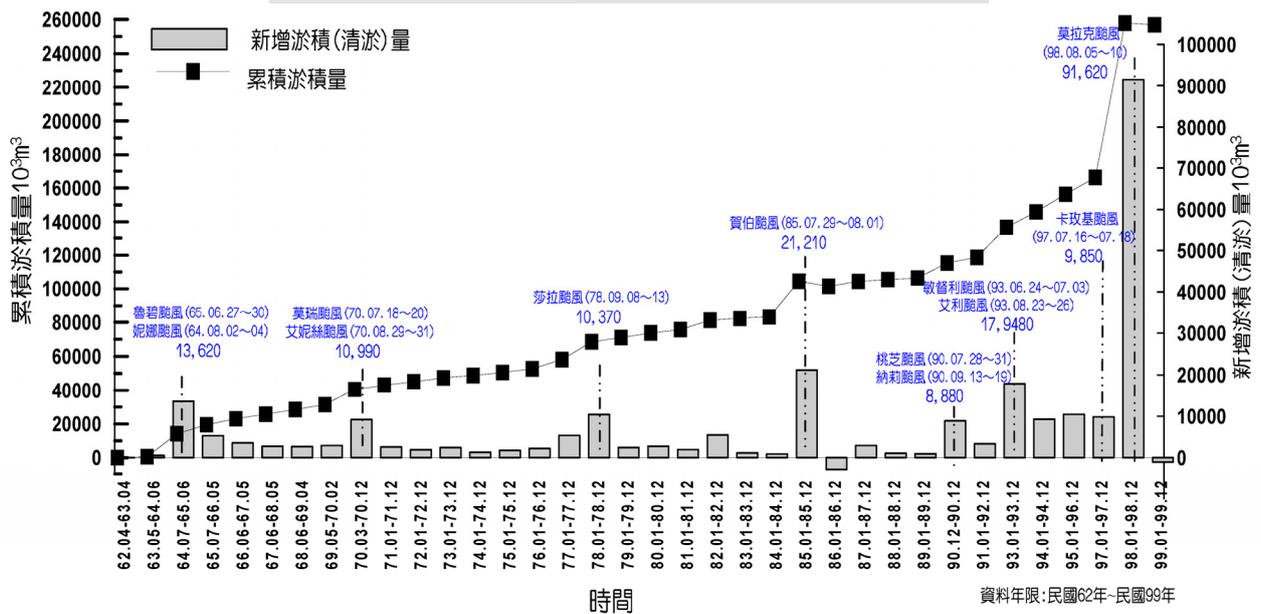


圖 1 曾文水庫歷年淤積趨勢圖

## 二、土壤沖蝕量測方法

土壤沖蝕，屬於一種常見自然現象；係受外力（主要如雨水、逕流、風力）的剝蝕作用及地震、海浪、重力、溫度變化等衝擊後，自固結之土體分離（Detach）、搬移（Translocate）與沉積（Deposit）的現象，合稱土壤沖蝕三過程（水土保持手冊，2005）；而土壤沖蝕程度多寡，與地域性之地貌地形及氣候水文環境，深具關係。

臺灣自推動水土保持工作以來，因土壤沖蝕對農業開發、工業及民生用水影響甚鉅，因此對於土壤沖蝕的研究十分重視。對於實務應用而言，土壤沖蝕量掌握，有助於釐清以下課題：

1. 界定何處為土壤沖蝕潛勢區域。
2. 瞭解不同植生覆蓋土壤沖蝕抑制成效。
3. 提供水土保持設計所需防砂容量之參考數據。

近年來國內利用遙測技術已能有效推估崩塌地所引致之土砂產量，惟土壤沖蝕量其受降雨量及降雨強度之影響，且具有於時空間分布不均之特性，因此土壤沖蝕量問題存在著許多不確定

性，過去沖蝕量推估方式多採用經驗式計算，其多為整體集水區均化後之結果，無法得知局部區域之土壤沖蝕程度（許振崑等人，2010、2012）。為解決上述問題，相關研究者藉由現地試驗、化學追蹤劑以及攝影量測技術，並定期或於颱風豪雨事件後，赴野外直接或間接採集土壤沖蝕資料（Haigh, 1977；Goudie, 1990）。國內李建堂（1997）曾回顧土壤沖蝕現地量測方法相關研究，並進行一系列問題評析，茲整理各式測量方式、適用尺度及優缺點，列於表 1；表中顯示沖

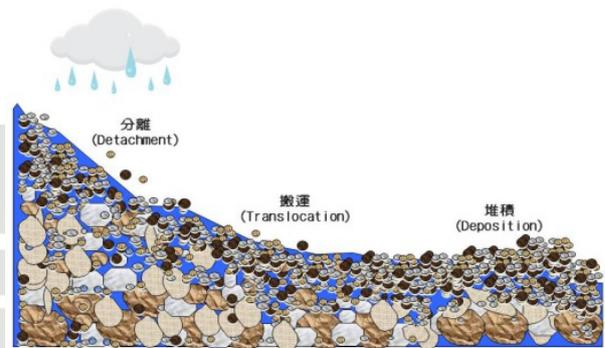


圖 2 土壤沖蝕過程示意圖

表 1 土壤沖蝕現地量測方法彙整表（整理自：李建堂，1997）

適用尺度	量測方法	量測方式	優點	缺點
大尺度 (集水區)	沉積量法	於湖泊或水庫底鑽洞取樣分析其沉積層，用不同期間的沉積量來估計上游集水區長期的土壤沖蝕量。	可評估不同期間平均土壤沖蝕速率的變化情形，進而推估土地利用或其他因素之改變而造成的結果。	只能追溯至水庫完工開始運轉後的土壤沖蝕量；需花費大量調查經費及野外調查人力、時間。
	照片量測法	以飛行載具配合遙測、空中雷射等技術拍攝觀察地區，並利用航照前後變化量估算土壤沖蝕量。	保有量測時土壤沖蝕狀況的影像，供日後應用；大量且快速取得資料，配合 GIS 可監視大範圍變動情形	需具有相當程度的遙測技術，除非有長期觀測計畫，此方法較不適合用於土壤沖蝕及堆積變化緩慢的地區。
	銻 137 等追蹤劑法	附於土壤顆粒及有機質內，依半衰期 30.2 年的衰減，建立土壤歷年沖蝕率曲線，再用以估算土壤沖蝕量。	具有隨土壤重新分布的特性，因而廣泛地被應用於土壤沖蝕方面的研究。	不適用於酸性土壤及蝕溝河岸沖蝕之研究。
中尺度 (土地利用區域)	土壤剖面法	利用土壤剖面層次及特性之分布狀況與控制土壤層匹面來估計土壤沖蝕與堆積情形。	較不受地表起伏及地質條件所限制。	土壤的變異程度大且有隨研究區域增大而變大的趨勢，準確度隨試區增大而降低
	樹根暴露法	測量目前地面與原始樹根的高差，配合觀察期間來估算平均土壤沖蝕率。	應用於特定土地利用區域來估算較長期間的平均沖蝕量，且因樹根為自然生長並不會擾動原物性。	限制條件多：需具平行淺根、根部年輪發展良好、且生命週期較長的樹種。
小尺度 (特定邊坡)	沖蝕針	插入測量邊坡，記錄點位，依照單一降雨事件或定期測量實際記錄土壤沖蝕深度。	不但可區分出不同的沖蝕作用，同時可偵測出研究區內土壤沖蝕與堆積的細被變化情形。	需耗費大量時間與人力進行長期觀察。

蝕針試驗係一種需長期性觀測土壤沖蝕量之方法且需耗費大量時間及人力，以進行土壤沖蝕資料的建立、採集及整理，此為目前唯一可確實掌握依時性表土層沖蝕深度，且較為可行及可信的方法。林韋成（2014）以沖蝕針量測土壤沖蝕深度為分析資料基礎，考量誘發土壤沖蝕之水文及地文等影響因子，建構對特定雨場或連續降雨引致土壤沖蝕深度經驗推估式；再經案例比對，發現趨勢結果相符；該項經驗公式建立，能提供工程師進行設計水土保持措施所需防砂容量之另一估算選擇方案。此外，於野外調查時，其沖蝕針量測校驗方式，可分為「絕對校驗」及「相對校驗」；所謂「絕對校驗」，係採室內實驗，建立理想化試體及配合人工降雨器，透過試驗模擬據以校驗野外量測結果，較為準確，惟試驗準備耗時且相對複雜；所謂「相對校驗」，則針對同一試區，以多點量測結果或重複性調查，利用統計方式剔除資料中離群值（Outlier），以進行校驗；其資料採集代表性及資料累積豐富度為校驗優劣之重要關鍵。

### 三、研究對象及材料

#### （一）研究對象

曾文水庫集水區隸屬曾文溪流域，其地理位置跨越嘉義縣阿里山鄉、番路鄉、大埔鄉以及高雄市之那瑪夏區等，集水區面積約為 481km<sup>2</sup>；境內共分為樂野、里佳、新美、草山、大埔、草蘭、長谷川、中坑、伊斯基安那、茶山、塔庫布央及達邦等十二治理分區（水保局，2013）。曾文水庫集水區水系發源於阿里山脈水山（標高 2,609m），上游段蜿蜒於山谷中，由後大埔溪往下游接長谷川溪，與伊斯基安那溪匯流成曾文溪，往下游與烏奇哈、達娜伊谷、托亞奇伊及二寮等溪匯流流進曾文水庫。境內氣溫受到地形海拔較高影響，下游與上游年平均溫度差距較大，

於平原地區年平均溫度約 24℃，上游年平均溫度約 11℃。全流域年平均蒸發量約 1,000mm，平均相對濕度約 80%，年平均雨量約 2,350mm，且多集中於 5 月至 9 月，約占全年總雨量之 80% 以上。

集水區狀似斜長四邊形，地勢由西南向東北方向逐漸升高，海拔高程介於 100m 至 2,700m 間，境內坡度以六級坡為主（圖 3）。自民國 98 年莫拉克颱風過後，各方治理單位依據「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫」，針對曾文水庫集水區下游蓄水原有淤積區域積極進行水庫清淤工作，以及進行中上游野溪整治工程，目前庫區淤積情形與崩塌災害已大幅改善，且可有效改善水庫土砂環境並減緩土砂生產，降低二次致災風險。統計水保局於曾文水庫自民國 98 年莫拉克颱風後迄 103 年 8 月底已辦理共計 340 件工程（分布如圖 4），其中以民國 100 年度投入工程最多，達 151 件，整體而言，根據工程調查資料類別統計結果可知，大致以治理工程為主，植生復育為輔。

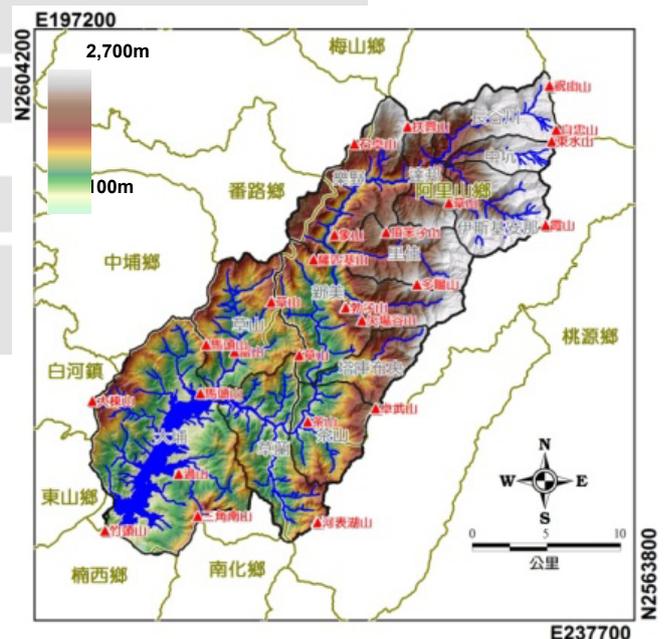


圖 3 曾文水庫集水區地理位置圖

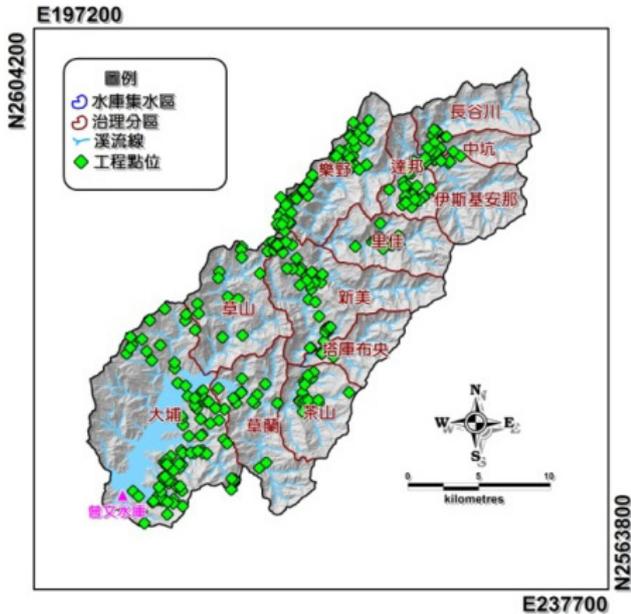


圖 4 曾文水庫集水區工程點位空間分布圖

## (二) 研究材料

為瞭解人為復育以及各式植生工法於颱風或豪雨過後之土壤沖蝕抑制量，故於曾文水庫集水區內選擇經人為復育之整治邊坡與未經人為復育之裸露邊坡作為實驗組與對照組，以進行現地邊坡土壤沖蝕針之佈設，並於每月定期或事件過後監測現地地表沖蝕量與降雨量關係，以個別調查其土壤沖蝕程度，比較不同植生復育坡面之土壤流失差異，供評估坡面植生復育成效參考。因此，於曾文水庫集水區之十二治理分區內共設置 26 處土壤沖蝕調查點位，相關佈設方式、原則及方法請參考許振崑等人（2010、2012），點位空

間分布如圖 5，整體監測時程自民國 100 年 5 月至民國 102 年 9 月，約計 2 年 5 個月；有關地表沖蝕量調查邊坡類型與評估特性，以及地表沖蝕量調查區域、地質岩性與邊坡植生狀況等資料，彙整如表 2 與表 3 所示。此外，依沖蝕針佈設處植生狀況，可區分為整治邊坡與裸露邊坡等 2 種（如圖 6），其兩者數量各占一半；其中整治邊坡再依不同植生復育工法，並考慮當地坡面特性與環境狀況，可分成「種籽播種及稻草蓆敷」、「鋪網噴植」以及「打樁編柵」等三種類型，以增加地表覆蓋面積及降低土壤流失量，如圖 7 所示。

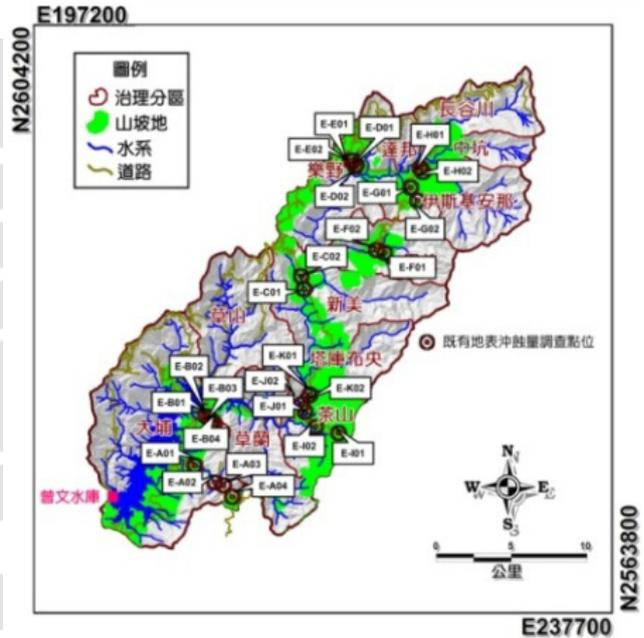


圖 5 曾文水庫集水區沖蝕針空間分布圖

表 2 邊坡類型及評估特性表

組別	編號	邊坡類型	特性
實驗組	A-1	種籽播種及稻草蓆敷	評估經人為整治進行坡面保護工程之整治邊坡，如種籽播種及稻草蓆敷、鋪網噴植、打樁編柵法、自由樑型框噴植，相較於未整治邊坡之抑制土壤沖蝕程度。
	A-2	鋪網噴植	
	A-3	打樁編柵	
對照組	B	裸露邊坡	評估呈現裸露之坡面且未經人為整治之裸露邊坡，因本身地質岩性及地形等自然條件，受雨淋洗發生土壤沖蝕量。

表 3 表沖蝕量調查點位相關資料彙整表

項次	治理分區	子集水區	點位編號	TWD97 坐標		地質	邊坡類型	類型編號
				E	N			
1	大埔	東西坑溪	EA01	208525	2574012	沖積層	整治邊坡	A-1
2			EA02	209894	2572856	糖恩山砂岩	裸露邊坡	B
3			EA03	210522	2572655	鹽水坑頁岩	裸露邊坡	B
4			EA04	211120	2571865	隘寮腳層	整治邊坡	A-3
5	龍蛟溪	EB01	209176	2577431	整治邊坡		A-1	
6		EB02	209541	2577247	裸露邊坡		B	
7		EB03	209760	2576966	裸露邊坡		B	
8		EB04	209870	2576864	整治邊坡	A-3		
9	新美	新美2號野溪	EC01	216159	2586124	長枝坑層	整治邊坡	A-3
10			EC02	215963	2586988		裸露邊坡	B
11	樂野	行電橋野溪	ED01	219806	2594620	整治邊坡	A-1	
12			ED02	219733	2594537	裸露邊坡	B	
13		樂野3號野溪	EE01	219523	2594921	裸露邊坡	B	
14			EE02	219396	2594949	整治邊坡	A-2	
15	里佳	達有野溪	EF01	221797	2588607	裸露邊坡	B	
16			EF02	221219	2588788	整治邊坡	A-3	
17	達邦	達達安溪	EG01	223613	2593095	裸露邊坡	B	
18			EG02	223988	2592222	整治邊坡	A-1	
19		櫻花溪	EH01	224265	2594441	裸露邊坡	B	
20			EH02	224453	2594167	整治邊坡	A-3	
21	茶山	托亞奇伊溪	EI01	218561	2576241	裸露邊坡	B	
22			EI02	216961	2576672	整治邊坡	A-1	
23		頓阿巴娜溪	EJ01	216229	2577689	整治邊坡	A-3	
24			EJ02	216029	2578231	裸露邊坡	B	
25		狄布尤卡那溪	EK01	216536	2578845	整治邊坡	A-1	
26			EK02	216540	2578863	裸露邊坡	B	

註：類型編號參考表 2 邊坡類型編號方式。

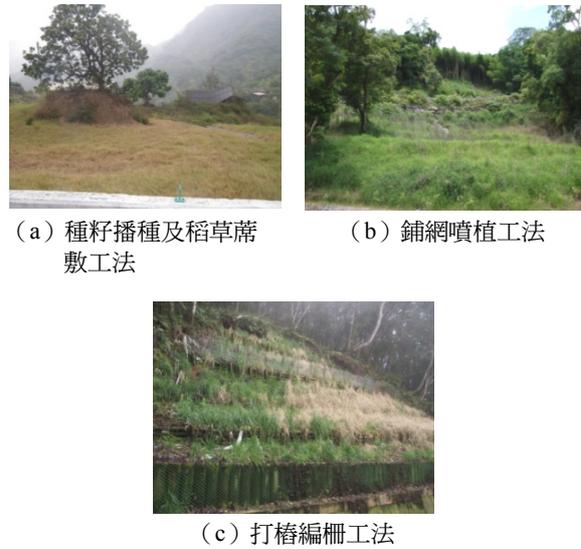


圖 7 坡面植生復育工法類型

#### 四、土壤沖蝕抑制評估

本節整理歷次調查獲得新增地表沖蝕深度資料及對應降雨量與地表植生覆蓋特性，並加總累積土壤沖蝕深度，除以調查時程之時間長度，據以計算年土壤沖蝕深度，用以評估「新增土壤沖蝕深度與累積雨量關係」、「年土壤沖蝕抑制評估」以及「植生工法沖蝕抑制評估」等課題：

##### (一) 新增土壤沖蝕深度與累積雨量關係

為瞭解不同植生邊坡土壤沖蝕深度與降雨關係，針對歷次調查新增土壤沖蝕深度及對應累積事件降雨量，進行非線性迴歸，如圖 8；建立「整治邊坡」及「裸露邊坡」之新增土壤沖蝕深度 (y) 與累積雨量 (x) 關係式，如下：

##### 1. 裸露邊坡：

$$y=0.303x^{0.401} \quad R^2=0.51 \quad n=260 \quad (1)$$

$$92 \leq x \leq 1178$$

##### 2. 整治邊坡：

$$y=0.414x^{0.276} \quad R^2=0.38 \quad n=241 \quad (2)$$

$$92 \leq x \leq 1179$$



(a) 整治邊坡 (b) 裸露邊坡

圖 6 沖蝕佈設植被類型示意圖

上式 y 單位為 mm；x 單位為 mm；R<sup>2</sup> 為相關係數；n 為樣本數。

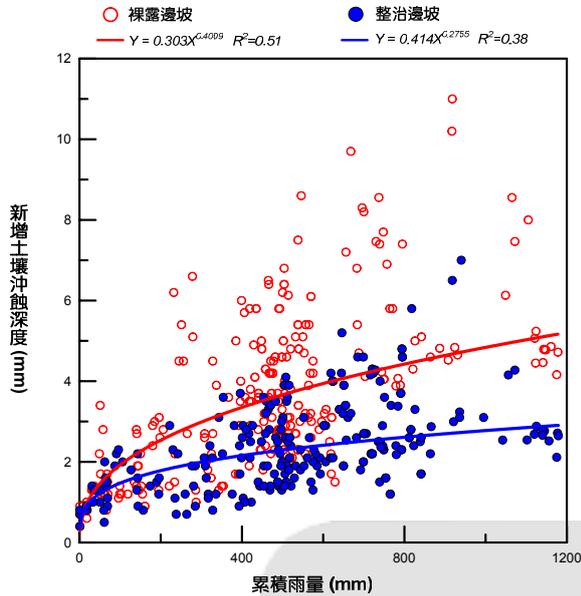


圖 8 新增土壤沖蝕深度與累積雨量圖

依據上述公式並參考中央氣象局民國 93 年 11 月 25 日修訂之「大雨」、「豪雨」、「大豪雨」及「超大豪雨」24 小時累積雨量定義，若探討類似雨場事件下，評估整治邊坡相較於裸露邊坡之土壤沖蝕差異，量化說明人為復育對於土壤沖蝕抑制成效，如表 4。由表可知，隨著豪（大）雨事件之累積雨量增大，其整治邊坡與裸露邊坡之土壤沖蝕差異程度亦隨之變大，其中以超大豪雨事件時（累積雨量達 350mm）差異最大，其土壤沖蝕差異倍率最多達 1.53 倍；故透過以上實

表 4 不同豪（大）雨事件土壤沖蝕差異倍率表

不同降雨事件等級	大雨事件* (累積雨量達 50mm)	豪雨事件* (累積雨量達 130mm)	大豪雨事件* (累積雨量達 200mm)	超大豪雨事件* (累積雨量達 350mm)
整治邊坡 (cm)	0.12	0.16	0.18	0.21
裸露邊坡 (cm)	0.15	0.21	0.25	0.32
土壤沖蝕差異倍率**	1.20	1.35	1.42	1.53

註 1：參考中央氣象局豪（大）雨事件定義。

註 2：土壤沖蝕差異倍率=裸露邊坡沖蝕深度/整治邊坡沖蝕深度。

際數據之統計迴歸分析成果，顯示未來遭受豪雨或颱風事件影響，整治邊坡相較裸露邊坡，應可有效抑制土壤流失，顯見經人為治理介入後，能改善土壤流失狀況。

## （二）年土壤沖蝕抑制評估

彙整曾文水庫集水區內 26 處歷年土壤沖蝕量長時監測數據，將各治理分區內同一監測時程且同一植生狀況土壤沖蝕深度除以總監測時程，以轉換成年土壤沖蝕深度，如下式：

$$\text{年土壤沖蝕深度} = \frac{\text{累積沖蝕深度}}{\text{總監測時程}} \quad (3)$$

藉由上述公式計算可知，年平均沖蝕深度以茶山治理分區最大，約達 29.1mm，以達邦治理分區之 18.2mm 最小。若比較各治理分區不同植生邊坡類型之年平均土壤沖蝕深度，大致上各分區均以整治邊坡較小，整治邊坡與裸露邊坡之年平均沖蝕深度以里佳治理分區相差最多，約可達 2.47 倍左右，而以樂野治理分區相差最少約 1.64 倍；此與各治理分區所投入的工程施作密度具密切之關係，參見如圖 4。

此外，參考水保局（2011）建立土壤沖蝕抑制百分比計算方式，以量化水庫集水區境內各子集水區「整治邊坡」及「裸露邊坡」等兩區年土壤沖蝕抑制百分比，計算式如下：

$$\text{年土壤沖蝕抑制百分比} \% = \frac{\text{裸露邊坡年土壤沖蝕量} - \text{整治邊坡年土壤沖蝕量}}{\text{裸露邊坡年土壤沖蝕量}} \times 100\% \quad (4)$$

此項公式可量化整治後邊坡之表土細顆粒土壤流失減少率，若抑制百分比越高代表其相對工程控制效果越好；因此，將表 5 中不同植生覆蓋之年土壤沖蝕深度，代入公式計算；可以發現曾文水庫集水區經人為整治後邊坡約能控制至少 36.62% 之細顆粒土壤流失（如圖 9），顯示各治

理分區所增加地表覆蓋面積及防止雨滴逕流沖蝕之保育治理工程漸有成效，且能有效抑制土壤流失。

表 5 土壤沖蝕深度調查資料彙整表

項次	治理分區	子集水區	邊坡情況	累積沖蝕深度 (mm)	年平均沖蝕深度 (mm)		
					整治邊坡	裸露邊坡	總平均
1	大埔	東西坑溪	整治邊坡	40.4	17.9	30.6	24.3
2			裸露邊坡	70.2			
3			裸露邊坡	75.5			
4			整治邊坡	52.0			
5		龍蛟溪	整治邊坡	43.5			
6			裸露邊坡	80.2			
7			裸露邊坡	70.5			
8			整治邊坡	36.8			
9	新美	新美 2 號	整治邊坡	31.5	13.0	25.1	19.0
10		野溪	裸露邊坡	60.7			
11	樂野	行電橋	整治邊坡	38.7	16.2	26.6	21.4
12		野溪	裸露邊坡	62.9			
13		樂野 3 號	裸露邊坡	65.5			
14		野溪	整治邊坡	39.8			
15	里佳	達有野溪	裸露邊坡	63.5	10.8	26.2	18.5
16		達有野溪	整治邊坡	26.1			
17	達邦	達德安溪	裸露邊坡	58.3	12.7	23.7	18.2
18		達德安溪	整治邊坡	31.1			
19		櫻花溪	裸露邊坡	56.2			
20			整治邊坡	30.3			
21	茶山	托亞奇伊	裸露邊坡	82.7	21.1	37.1	29.1
22		溪	整治邊坡	39.6			
23		頭阿巴娜	整治邊坡	59.6			
24		溪	裸露邊坡	96.2			
25	狄布尤卡	那溪	整治邊坡	53.8			
26		那溪	裸露邊坡	90.4			

(三) 植生工法沖蝕抑制評估

為進一步探討不同植生工法之年土壤沖蝕量抑制成效，茲將整治邊坡之沖蝕針調查點位，根據不同坡面植生工法，細分「種籽播種及稻草蓆敷蓋」、「鋪網噴植」以及「打樁編柵」等三類，分別計算坡面植生工程類型相較於裸露邊坡針調查點位之土壤年沖蝕抑制百分比（如公式 4），如圖 10，由圖可知，以鋪網噴植土壤年沖蝕之抑制百分比 60.81% 成效最佳；其次為種籽播種及稻草蓆敷蓋，其年土壤沖蝕之抑制百分比為 57.06%；最後打樁編柵，其年土壤沖蝕之抑制百分比為 53.89%；以上三類坡面植生工法之年土壤年沖蝕之抑制百分比，平均可達 57.25%；另細部探討位處不同地層植生工法沖蝕抑制成效差異性發現，由於大多數沖蝕點位均位於隘寮腳層以及長枝坑層等兩類，其不同植生工法之土壤年沖蝕最佳抑制成效，其評估結果與前述觀察相符（如圖 11）。

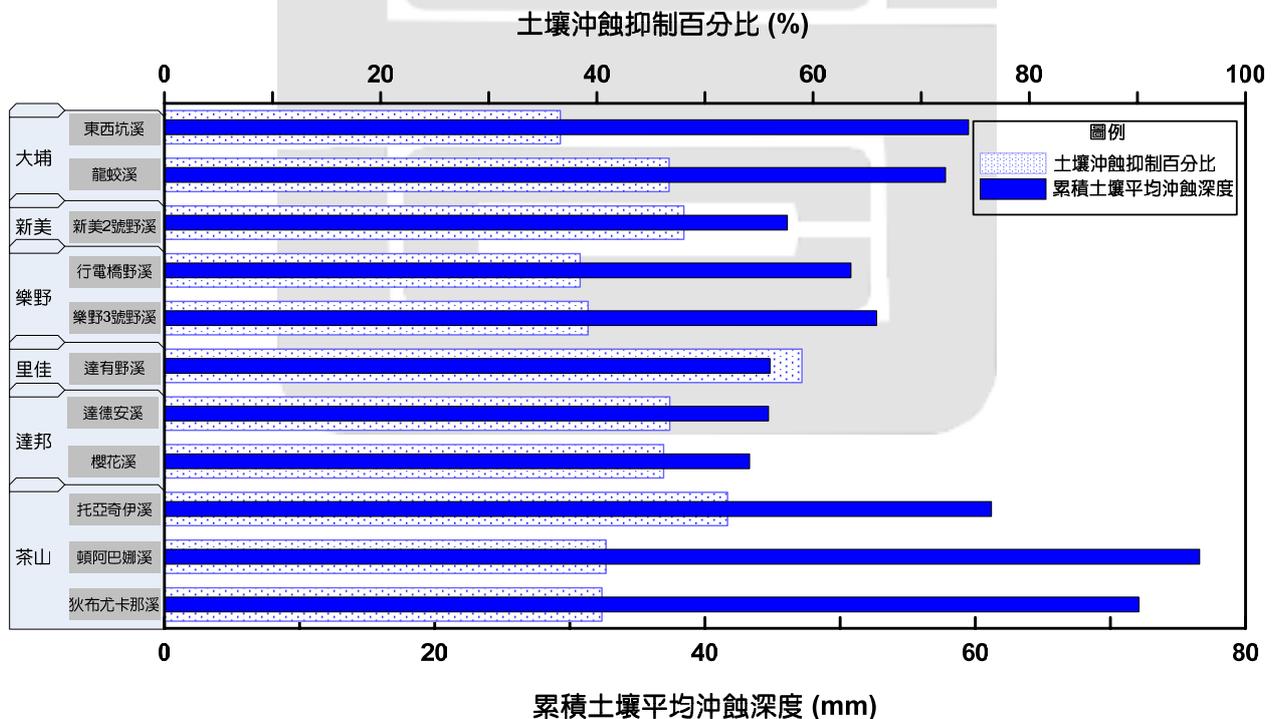


圖 9 曾文集水區累積土壤平均沖蝕深度及抑制百分比條狀圖

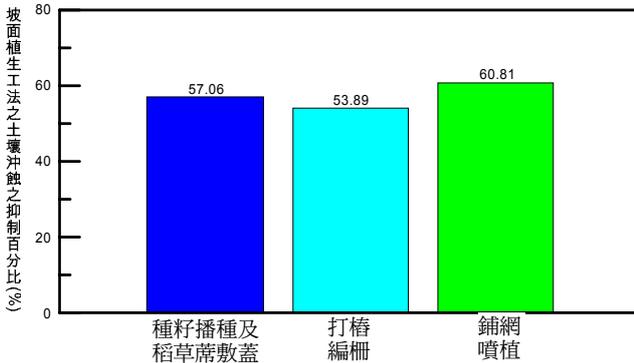


圖 10 不同植生工法土壤年沖蝕抑制比較圖

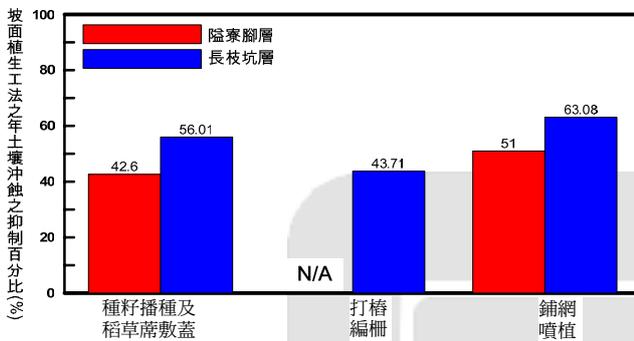


圖 11 隱察腳層以及長枝坑層不同植生工法土壤年沖蝕抑制比較圖

整體而言，由上述數據顯示，採用鋪網噴植工法，其抗土壤沖蝕能力較佳，係因利用不同型式固定材，將有機植生介質（又稱客土）混合草本種籽及其他添加輔助材，使土壤團粒化劑或微生物等噴附於網材上，以達到迅速植生綠化、保護坡面之目的；並可固結土石、防止土砂滑動、穩定邊坡，增加噴植資材在坡面上的穩定性，達到較佳之土壤沖蝕之抑制成效（林信輝，2008）。

## 五、結論與建議

本研究於曾文水庫集水區內針對裸露邊坡與整治邊坡探討不同植生覆蓋下各雨場所引致之土壤沖蝕深度，以及不同坡面治理工法之土壤沖蝕差異程度，量化說明植生復育工程對於水庫集水

區之細粒料土砂抑制效果，供作坡面植生復育效益評估之參考應用，摘錄重點結論如下：

1. 整體而言，量測結果均以裸露邊坡之土壤沖蝕深度最大，而以整治邊坡最小，整治邊坡與裸露邊坡年平均沖蝕深度最多相差可達 2.47 倍以上。顯示整治邊坡因有橫向及縱向排水等工程設施，當降雨較明顯時，其能有效疏解地表逕流量及加速排水，確保邊坡處於穩定及減緩土壤沖蝕狀況，並同時滯留細粒料土壤往下游遷移。
2. 曾文水庫集水區土壤沖蝕量抑制百分比約為 36.62%，可見歷經水庫集水區治理計畫，透過人為坡面植生復育工程，已能有效抑制並改善上游集水區之地表土壤流失狀況，確實達致減淤降濁之治理標的，其中植生工法之土壤年沖蝕量抑制成效，以鋪網噴植土壤年沖蝕之抑制百分比成效最佳。
3. 目前政府公部門（如地調所、水利署、林務局、水保局）針對全臺重要流域進行全面性土壤沖蝕資料調查及量測，未來建議納入整合，並獲得涵蓋全臺範圍之土壤沖蝕經驗推估式，以增加空間尺度之應用價值，藉以建立本土化集水區土壤沖蝕量之推估方法，供水土保持需求性規劃、設計、評估及應用。

## 參考文獻

- 行政院農業委員會水土保持局（2005）水土保持手冊  
 行政院農業委員會水土保持局（2011）石門水庫集水區土砂歷程調查及災害評估  
 行政院農業委員會水土保持局（2013）水庫集水區環境資料及土砂災害風險評估（1/3）  
 經濟部水利署（2012）曾文水庫集水區土地變異及土砂災害監測  
 李建堂（1997）土壤沖蝕的量測方法，臺灣大學地理學系地理學報，第 23 期，第 89-106 頁  
 林信輝（2008）坡地植生工程暨植生調查應用手冊，行政院農業委員會水土保持局  
 林信輝（2011）崩塌地整治地區植被類型與棲地特性

林韋成 (2014) 石門水庫集水區土壤沖蝕與水文地文影響因子研究, 淡江大學土木工程學系研究所, 碩士論文  
 張石角 (1972) 曾文水庫集水區淤砂問題之定量性研究, 中華水土保持學報, 第 3 卷, 第 2 期, 第 50-69 頁  
 許振崑、林伯勳、梁惠儀、冀樹勇、黃文洲、尹孝元 (2010) 莫拉克颱風於石門水庫集水區土壤沖蝕量特性分析, 2010 岩盤工程研討會論文集, 高雄, 第 841-850 頁

許振崑、林伯勳、冀樹勇 (2012) 多元尺度監測評估石門水庫重點治理集水區整治成效, 水保技術, 第 1 卷, 第 7 期, 第 43-56 頁  
 陳翰霖、張瑞津 (2007) 曾文河流域豪大雨事件的流量及輸沙量, 臺灣大學地理學系地理學報, 第 48 期, 第 43-65 頁  
 Goudie, A. (1990) Geomorphological Techniques, 2nd ed., Unwin Hyman Inc., London, pp. 254-255  
 Haigh M. J. (1977) The Use of Erosion Pins in the Study of Slope Evolution, British Geomorphological Research Group Technical Bulletin, 18, pp.31-49



財團法人中興工程顧問社歷年之研發成果, 已開發下列電腦程式, 對相關工程問題之掌握與分析精度之提升, 有很大助益。若有需要, 歡迎洽購。

聯絡電話: (02) 8791-9198 轉 473 馬小姐

E-MAIL: [pony@sinotech.org.tw](mailto:pony@sinotech.org.tw)

網址: <http://www.sinotech.org.tw>

序號	程式名稱	版次
1	泛用型非線性靜動態平面結構分析程式	V1.0
2	深開挖土層參數回饋分析 (DEXC-OPT) 深開挖土層參數回饋分析 (RUIP)	V1.0
3	進出港操船模擬分析程式	V1.0
4	預力混凝土中空矩形斷面橋墩重力應變關係分析程式	V1.0
5	單目標多座水庫系統運轉程式 (ORES)	V1.0
6	區域流量延時曲線分析程式	V1.0
7	台灣地區水庫資訊系統	V1.0
8	台灣電子地圖網站	V1.0
9	岩盤隧道施工資料自動化處理	V1.0
10	預力預鑄混凝土橋柱分析	V1.0
11	非線性混凝土結構分析系統	V1.0
12	加長型單肋板補強梁柱接頭設計輔助程式	V1.0
13	區域水資源系統即時操作模式建立	V1.0
14	結合 ETABS 之位移法耐震性能設計及評析程式	V2.0
15	混凝土非破壞檢測儀 (Sino-NDT-IE) 之改良	V1.0
16	SinoPad 中興現地調查系統	V1.0
17	隧道支撐設計整合系統	V2005 1.0
18	二維污染值傳輸、輸砂及颱風暴潮模式發展 (註)	V2.5
19	柔性加勁擋土牆之設計參數與數值分析方法研究	V1.0
20	台灣地區大眾捷運安全管理系統之建立 (一)	V1.0
21	RFID 設施巡檢系統、RFID 設備盤點系統、RFID 主動式監測系統	V1.0
22	隧道 (1) 輸進資料、(2) 地質資料、(3) 監測資料等處理系統及 (4) 隧道施工資料查詢系統	V2.0

(註): 序號 18 之程式現階段僅開放政府機關申購。