

曾文南化烏山頭水庫集水區河道 土砂防治效益量化評估

賴承農* 許振崑* 林伯勳** 張玉萍*** 冀樹勇****
簡以達***** 蔡明發*****

摘要

本文旨在針對莫拉克颱風災害後曾文、南化、烏山頭水庫集水區山坡地已竣工防砂設施，透過一系列標準化作業程序，進行建置河道橫向及側向構造物基礎資料、使用與受損情形，藉以實質量化防砂量、結構物安全性能以及野溪河床坡降調整效應，確實具體評估防砂設施對於水庫集水區境內野溪河道發揮土砂防治效益，以作為其他水庫治理參考及規劃執行方向。

關鍵字：莫拉克颱風、曾文南化烏山頭水庫、土砂防治效益

一、前言

曾文南化烏山頭水庫集水區於 2009 年莫拉克颱風極端事件影響，致使土砂災害嚴重及水庫使用壽命劇減。為延續水庫使用壽命及維護民生供水，政府遂緊急於 2010 年公布「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水特別條例」，並且由經濟部研擬出「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫」，以「抑制土砂生產，減少泥砂入庫」、「加速植生復育，防止崩塌擴大」作為「水庫集水區保育治理」計畫目標。為釐清保育治理工程於山坡地環境復育及土砂抑制實質成效，以確實有效評估治理工程投入後水庫集水區內保育治理及植生復育成效，故針對莫拉克颱風後至迄今於曾文、南化、烏山頭水庫集水區內山坡地境內已竣工防砂設施進行現況

調查，建置構造物基礎資料、使用與受損情形，以及防砂設施之淤砂情形，藉以實際量化現階段防砂量、結構物安全性能，據此有效追蹤後續所發揮土砂防治成效。

二、環境概述

本研究係以曾文南化烏山頭水庫集水區境內山坡地河道防砂設施為主要調查對象，其地理位置詳見圖 1 所示。曾文水庫集水區面積約為 481km²，水系發源於阿里山脈水山（標高 2,609m），大埔溪山谷往下游接長谷川溪，與伊斯基安那溪匯流成曾文溪，再繼續匯流入曾文水庫，途經嘉義縣、高雄市，出水庫壩址後進入嘉南平原，行政區域跨越嘉義縣以及高雄市，主要農業作物有茶葉、高山蔬菜、木瓜、柑橘及竹筍

* 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
*** 中興工程顧問社防災科技研究中心副經理
**** 中興工程顧問社大地工程研究中心、防災科技研究中心經理
***** 行政院農業委員會水土保持局保育治理組副工程司
***** 行政院農業委員會水土保持局保育治理組科長

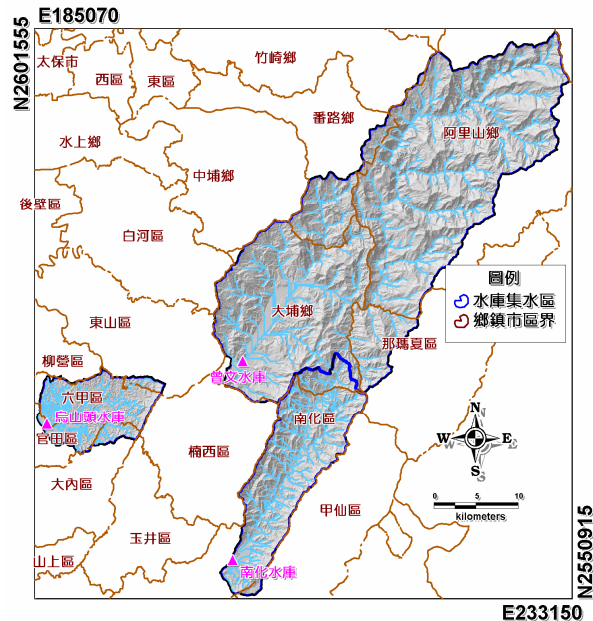


圖 1 曾文南化烏山頭水庫集水區地理位置圖

等；南化水庫集水區面積約為 108.3km²，水系發源於三角南山，主流為後堀溪，左右兩岸支流甚多，亞美坑、滴水坑溪、羌黃坑等呈非字型支流分別流入後堀溪本流，位於臺南市南化區以及上下游位於大埔及甲仙。烏山頭水庫集水區面積約為 58.24km²，主流官田溪發源於東北方之黑山，分別由南勢坑溪及北勢坑野溪匯流而成，位於臺南市官田區，除芒果、柳丁與龍眼為大宗，其次栽種竹林。

另就水文條件而言，曾文南化烏山頭水庫均位於亞熱帶氣候，夏季因梅雨及颱風帶來豐沛雨量，5 月至 9 月雨量集中且佔全年降雨量 80%；自 1973 年迄今遭逢多次颱風事件，其中以莫拉克颱風影響為鉅，超大豪雨導致集水區上游新增多處崩場地及坍方，大量土砂下移，嚴重威脅水庫壽命，其歷年水庫淤積變化如圖 2 所示。遂此，水保局於山坡地進行集水區保育治理工作，目的係避免崩塌持續擴大，加速植生復育以及穩定河道流況、防止擴床下刷現象，截止 2012 年工程大致完成；為瞭解上游土砂生砂是否被河道防砂設施所控制及有效調節於主流中，以維持河川輸砂平衡，故於現地進行逐件工程現勘及通盤調查，據以釐清土砂防治實質效益，供以作為後續治理以及環境復育參考。

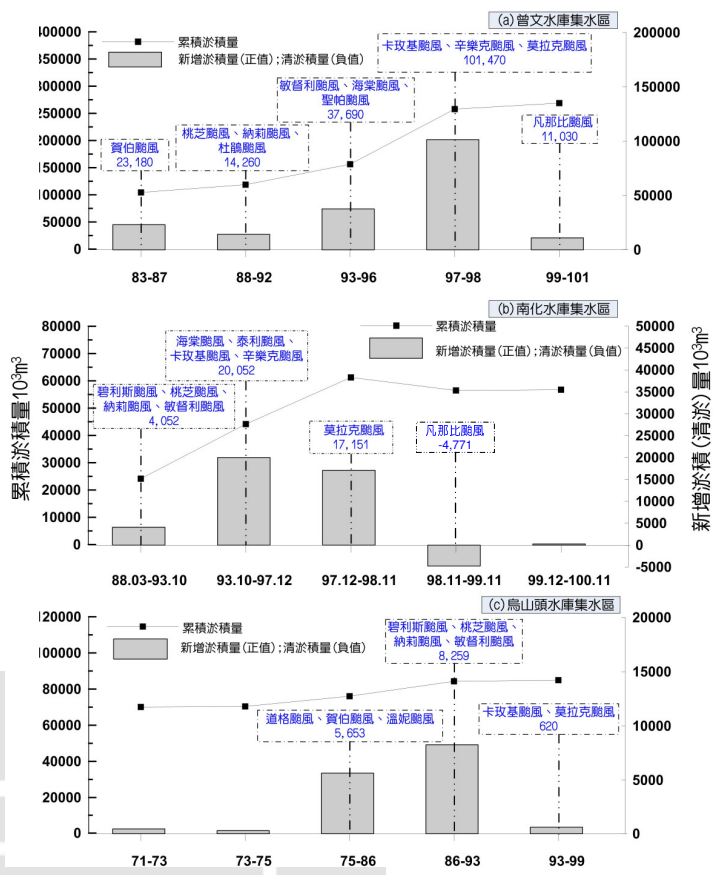


圖 2 曾文南化烏山頭水庫庫容歷年淤積量與颱風事件變化趨勢圖（摘自：水保局，2012^b）

三、集水區治理分區及工程統計

依據水保局（2011）「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫」治理原則，將曾文南化烏山頭水庫集水區分成 20 個治理分區，其空間分布如圖 3。由於河道近岸崩塌已成為直接、主要土砂供應料源，有必要評估河道防砂構造物設施竣工後所發揮之防砂量，即量化說明治理後上游集水區河道防治量及評估剩餘儲砂空間，以及實際防砂效益，除結構安全及生態保育問題之外，防砂量是目前唯一可以具體量化表徵其治理成效重要參數（水保局，2012^a）。為求提升調查作業效率，按集水區治理分區分布及標準調查作業逐一檢核，以瞭解其外觀是否損壞以及影響構造物安全，並且記錄現場環境狀況，以作為構造物功能評估之輔助。根據水保局（2012^b）「曾文南化烏山頭水庫集水區環境變異及治理成

效評估」，統計至 2012 年 2 月底止，具防砂設施及固床工之工程案件共計 200 件。以「實際工作進度」區分為：(1) 發包中；(2) 施工中；(3) 已竣工等，已竣工案件數量共計 137 件，曾文、南化及烏山頭水庫集水區各為 102 件、28 件及 7 件，依構築於河道方向特性區分為橫向及側向構造物（水保局，2012^a），相關說明如下，示意圖詳如圖 4。

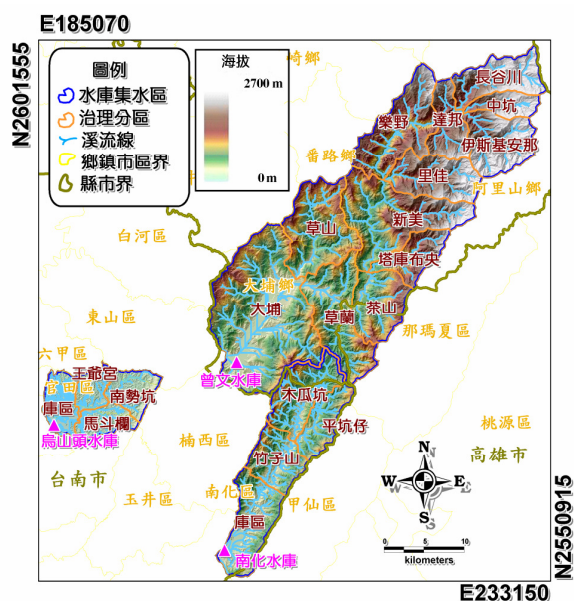


圖 3 曾文南化烏山頭水庫集水區治理分區圖



圖 4 河道防砂構造物種類示意圖

(一) 河道橫向構造物

1. 防砂壩則可區分為封閉式（非透過式）防砂壩以及開放式（透過式）防砂壩；
2. 固床工之分類包括剛性及柔性固床工，除鋼筋混凝土組成的剛性固床工，另外將河川治理工程一般採用混凝土塊或蛇籠組成的柔性固床工，歸納一類。

(二) 河道側向構造物

側向構造物包含剛性護岸，如鋼筋混凝土護岸、漿砌石護岸，以及柔性護岸如乾砌石、客土袋等。

四、治山防災構造物調查作業

為使調查作業能夠標準化及效率化，及瞭解工程有無維護管理之需要，遂參考水保局（2012^b）所採用治山防災構造物調查標準作業程序，針對構造物外觀、功能進行調查，提供修復改善說明，供以後續維持設施正常服務，現地調查作業如圖 5 所示。

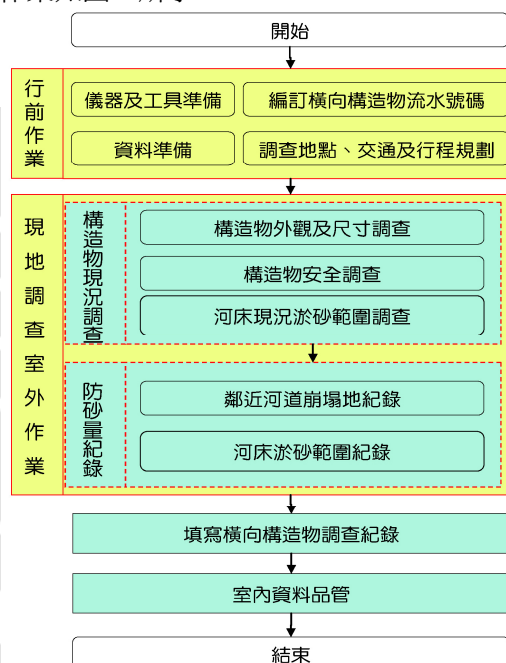


圖 5 防砂設施現地調查作業流程圖

此外，針對現地目視檢測及環境現況界定，為求記錄正確資料及進行後續統計分析，加強工程資料、檢測評估及資料品管等評估作業，分析評估程序如圖 6 所示，其原則說明如下。

(一) 工程資料作業

以航照或衛星影像上之工程施作點位與環境區域比對，並參考管考資料坐標點位及設計圖之空間特徵（如道路、橋梁）等參考物，於航照中判斷工程資料所採用 TWD97 坐標系統，標定相關治理工程區位。

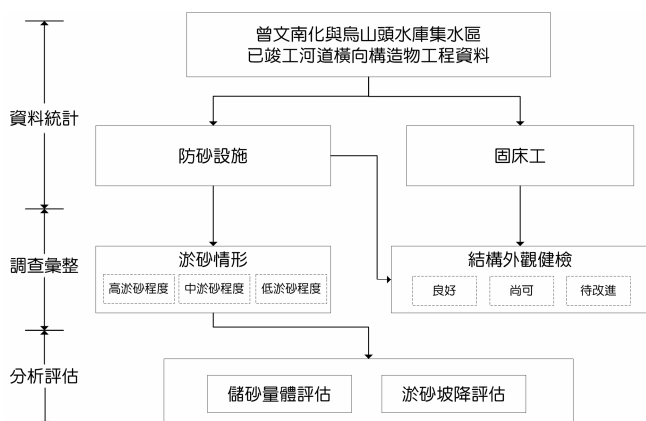


圖 6 河道防砂構造物分析評估程序圖

(二) 檢測評估作業

界定防砂設施之淤砂程度，按有效淤砂高度與設施高度之比例，1/3、2/3 為淤砂等級判斷門檻值，區分為高、中及低三種等級。檢測構造物功能毀損程度以及環境條件，謂「良好」者屬構造物外觀完整，功能健全者；「尚可」屬結構受損，但功能正常之狀況；「待改進」為構造物受損且影響功能者。

(三) 資料品管作業

透過現地檢核及紀錄核對，將室內蒐集工程位置圖以及工程管考系統之資料庫內容，進行工程構造物坐標確認以及相關保育治理工程設施圖層欄位建立等，評估防砂設施淤砂程度，並且搭配照片資料作為佐證。

經彙整莫拉克颱風後河道橫向構造物工程資料屬於已竣工總計 137 件，橫向構造物調查數量總計 1,131 座，其中防砂壩 171 座以及固床工 960 座，工程空間分布及數量統計如圖 7 及圖 8，調查結果如下：

1. 結構調查

防砂設施構造物外觀明顯受損（影響功能均小於 10%）佔全數比例 0.4%；而構造物評估良好佔全數比例 94.5%；構造物評估尚可者，佔全數比例 5.1%。

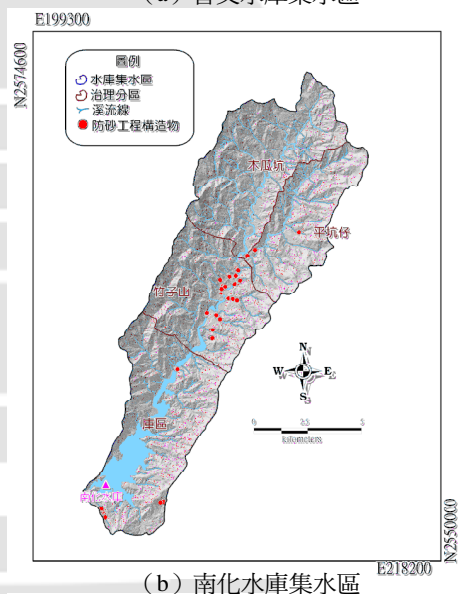
2. 淤砂程度

於總數 171 座防砂設施中，低淤砂程度約佔總比例 0.6%，中淤砂程度約佔總比例 5.8%，而高淤砂程度約佔總比例 93.6%。

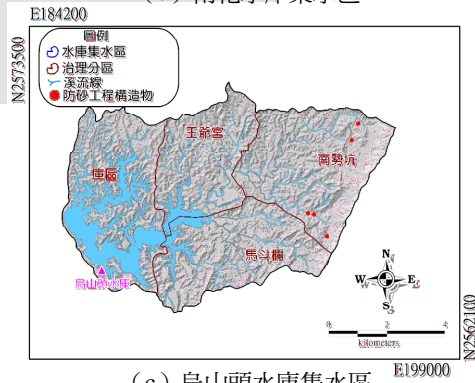
經統計結果顯示，以曾文水庫集水區橫向構造物淤砂程度屬於中、低等級所佔比例最大，且其防砂設施相較於南化、烏山頭水庫仍有較大餘裕儲砂空間。



(a) 曾文水庫集水區



(b) 南化水庫集水區



(c) 烏山頭水庫集水區

圖 7 曾文南化烏山頭水庫集水區整治計畫防砂工程構造物空間分布圖（2009 年至 2012 年）

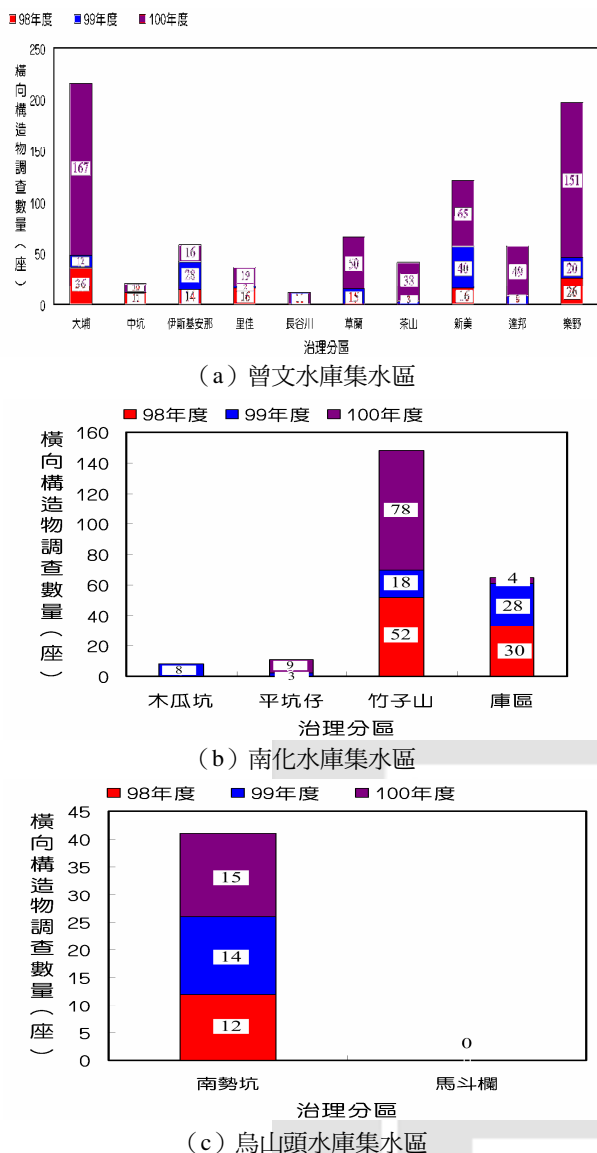


圖 8 曾文南化烏山頭水庫集水區 2009 至 2012 年治山防災構造物數量統計圖

五、河道防砂及坡降減緩評估

除土砂防治量外，河道坡降減緩亦是檢視重點之一，因該項變化影響亦代表土砂輸送是否達至平衡或穩定。集水區河道總防砂量係來自於構築於河道中橫向及側向等兩類構造物所貢獻，故進行估算防治量時，需先區分構造物類型、個別計算單一構造物後方防砂量，再一併進行加總，據以代表為河道總防砂量、河道土砂控制情況及治理效果（水保局，2011^{a, b}；水保局，2012^b）。

（一）河道防砂量評估

依河道土砂料源發生位置，區分為二大類：防砂設施及固床工之河道橫向防治量，以及護岸之河道側向防治量。以下分別說明其防砂量估算方法。

1. 河道橫向防治量

估算防砂壩上游現況儲砂量時，乃透過縱斷面法並配合地形量測，結合河道原始坡降與現況坡度之量測，估算防砂壩後方土砂防治量（林務局，1991、1992；松村和樹，1988；水利署，2002；朱達仁等人，2005；日本國土交通省，2007；Osti and Egashira, 2008；Sougnéz *et al.*, 2011；水保局，2012^a；許振崑等人，2012）。另一方面，估算固床工現況防砂量時，考量構造物高度僅略高或與溪床齊平，雖影響範圍有限，仍可抑制河道上游土砂生產量，示意詳見圖 9 以及圖 11。依此，參考水保局（2012^a）提出其固床工土砂防治量（ S_s ）之計算式如下：

$$S_s = H \times L_s \times \bar{B} \quad (1)$$

式中 H ：固床工上游土砂堆積高度。 L_s ：固床工之間距。 $\bar{B}$ ：固床工上游溪流平均寬度。

2. 河道側向防治量

側向構造物係指為保護河岸免於遭受水流淘刷而將構造物直接構築於岸坡，其主要功能為保護河岸、穩定坡腳以及抑制溪流兩岸坡面之土砂生產，示意詳見圖 10 及圖 11。參考水保局（2012^a）提出護岸土砂防治量（ S_R ，虛線下方面積）計算式如下：

$$S_{Ri} = (A_{iL} + A_{iR}) \times L_{i,ave} \quad (2)$$

$$A_{iL} = X_{iL} \times Y_{iL} \quad (3)$$

$$A_{iR} = X_{iR} \times Y_{iR} \quad (4)$$

式中， $L_{i,ave}$ ：第 i 段左右側護岸平均長度。 A_{iL} 、 A_{iR} ：第 i 段側向防治面積。 X_{iL} 、 X_{iR} ：第 i 段側向防治寬度。 Y_{iL} 、 Y_{iR} ：第 i 段左右側護岸高度。

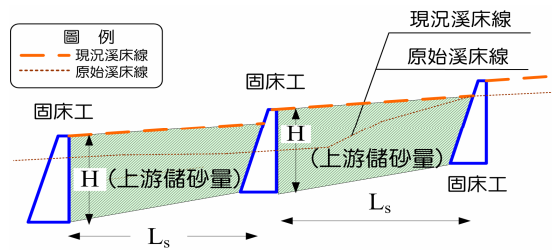


圖 9 固床工防砂影響範圍示意圖

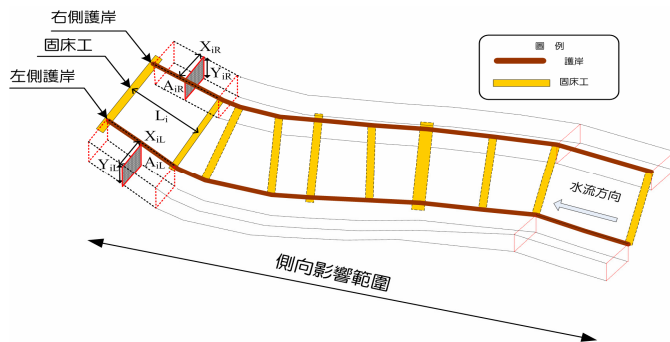


圖 10 護岸防砂影響範圍示意圖



圖 11 護岸、固床工及防砂設施現地量測示意圖

(二) 河道總防砂量評估

透過防砂設施防砂量計算原則及配合公式(1)至公式(4)計算河道防砂量，以實測資料估算構造物目前能發揮實際落於河道防砂量，河道防砂量計算結果詳見圖12。

1. 曾文水庫集水區

河道總防砂量計為 261.87 萬 m^3 ，其中橫向構造物防砂量計為 112.53 萬 m^3 （防砂設施防砂量 86.25 萬 m^3 、固床工防砂量 63.09 萬 m^3 ）；側向構造物（護岸）防砂量 112.53 萬 m^3 ，如圖 12 所示。

2. 南化水庫集水區

河道總防砂量計為 93.16 萬 m^3 ，其中橫向構造物防砂量計為 36.13 萬 m^3 （防砂設施防砂量 19.26 萬 m^3 、固床工防砂量 16.87 萬 m^3 ）；側向

構造物（護岸）防砂量 57.03 萬 m^3 ，如圖 12 所示。

3. 烏山頭水庫集水區

河道總防砂量計為 3.05 萬 m^3 ，其中橫向構造物防砂量 1.18 萬 m^3 （防砂設施之防砂量為 0.05 萬 m^3 、固床工防砂量 1.13 萬 m^3 ）；橫向構造物（護岸）防砂量 1.87 萬 m^3 。其治理分區僅南勢坑治理分區有防砂設施，總防砂量計 3.05 萬 m^3 ，如圖 12 所示。

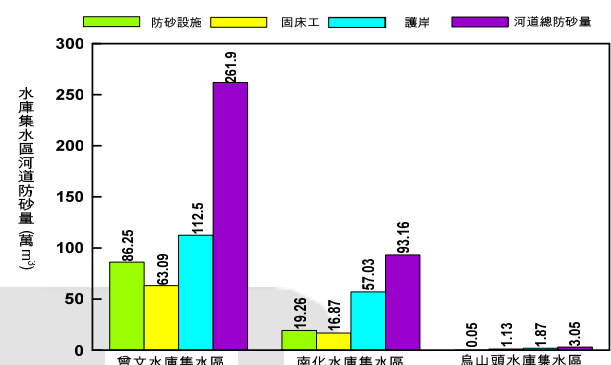


圖 12 水庫集水區河道防砂量統計圖

(三) 河道淤砂坡降評估

野溪流量變化大，為防汛期間最易暴發山洪河段，並造成土砂嚴重流失。在集水區河道整治設施、水庫等水利設施整治案例中，野溪上游常設置防砂設施形成有效防護作用，並確實能提高保全對象之安全性，防砂設施又以防砂壩居多；其功能除能攔蓄及調節河道砂石、防止沖蝕、崩塌或抑止土石流所構築，並可減緩溪床坡度，進而降低水流流速及處理流路擺盪不定等問題（水保局，2005）。

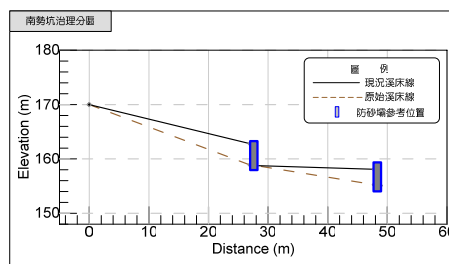
依此，為瞭解 2009 年莫拉克颱風引致曾文南化烏山頭水庫集水區土砂災害，經水保局歷年投入多件野溪河道整治工程迄今，對於上游野溪河道之淤砂坡降減緩或改善程度，以及各水庫治理分區淤砂坡降減緩調整比例分布，本研究參考水保局（2010^a）「水土保持技術規範」，針對設施設計內容提及『計畫淤砂坡度一般採用原河床坡度 1/2~2/3 間，河床粒徑粗大者採用 2/3，粒徑較小者採用 1/2』，其意義在於降低溪床坡降，可有效減少土砂流出量，藉以採用前述兩者比值以間接反應治理後河床淤砂坡降改變，故將野外

調查各座防砂壩現況淤砂坡降及原河床坡降之比值，定義為河道坡降減緩比 Gr ，量化說明溪床坡降是否趨於穩定或達至預定之設計目標（水保局，2010^a、2011^b；許振崑等人，2012；林伯勳等人，2012），如下式：

$$Gr = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha} \quad (5)$$

式中， $\tan \beta$ 為現況淤砂平均坡降； $\tan \alpha$ 為原河床平均坡降。

基於上述，本研究針對 2009 至 2012 年 2 月曾文南化烏山頭水庫集水區境內已竣工治山防災工程之防砂設施進行彙整，共計調查 171 座防砂壩，其中以曾文水庫最多（計有 126 座），其次南化水庫（43 座），以及烏山頭水庫（2 座）；另外針對各治理分區防砂壩數量統計，就曾文水庫集水區而言，以大埔及樂野治理分區約占一半；南化水庫集水區多數集中於庫區治理分區；烏山頭水庫集水區僅於南勢坑治理分區河道築構防砂壩；接著，由曾文南化烏山頭水庫各治理分區選擇乙件工程案例，用以觀察治理前後防砂設施對於野溪河道縱剖面高程之影響，繪製如圖 13 所示，圖中顯示經治理後確實調整原河道坡降並予以減緩，並防治大量土砂流動蓄積於防砂壩體後方，充分說明該項治理工程可有效調節並減少集水區土砂流失。



(c) 烏山頭水庫集水區（內坑野溪排水改善工程）

圖 13 治理後河道縱剖面高程變動之案例圖

此外，另再統計各水庫集水區淤砂坡降減緩程度數量比例，計算結果列於表 1 所示，曾文水庫集水區超過半數之河道坡降減緩比已逾 2/3，而河道坡降減緩比大於 1/2 佔 74%；南化水庫集水區相較曾文水庫集水區，則以河道坡降減緩比小於 1/2 為主，而河道坡降減緩比大於 1/2 佔 36%；最後，烏山頭水庫集水區之河道坡降減緩比全部介於 1/2~2/3，如圖 14。

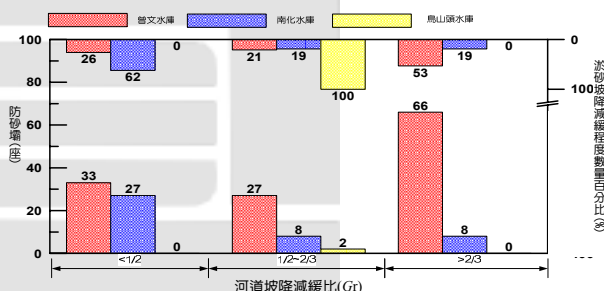
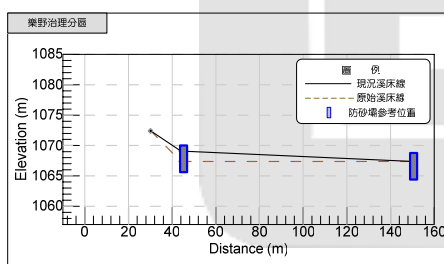


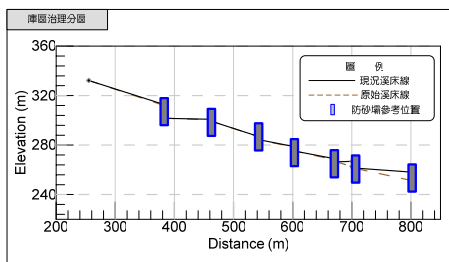
圖 14 曾文南化烏山頭水庫集水區河道坡降減緩及程度數量百分比圖

表 1 防砂壩數量及河道坡度減緩比統計表

水庫集水區	治理分區	防砂壩 (座)	河道坡度減緩比 (座)		
			< 1/2	1/2~2/3	> 2/3
曾文水庫	大埔	31	6	8	17
	中坑	4	2	0	2
	伊斯基安那	8	2	1	5
	里佳	16	1	5	10
	茶山	8	1	1	6
	新美	20	8	7	5
	達邦	10	4	3	3
	樂野	29	9	2	18
	總計	126	33	27	66
南化水庫	平坑仔	1	1	0	0
	竹子山	10	4	3	3
	庫區	32	22	5	5
	總計	43	27	8	8
烏山頭水庫	南勢坑	2	0	2	0
	總計	2	0	2	0



(a) 曾文水庫集水區（樂野村斯北亞水保復建工程）



(b) 南化水庫集水區（南化羌黃坑災害復建工程）

六、土砂防治效益量化評估

防砂效益評估係以效益分析法（益本比法）來估算現況工程衍生防砂效益，評估方法參考水保局（2010^b）「曾文水庫（阿里山鄉以外）、南化及烏山頭水庫集水區保育治理分析與對策」中經濟效益評估中益本比估算類型，再根據已辦理調查之 137 件治山防災工程調查成果，進行工程防砂效益與成本計量，以適宜呈現及評估曾文南化烏山頭水庫集水區保育治理工程防砂效益。本研究效益評估以年為單位進行分析，計量方式如表 2 所示；其中年計效益包含有形「直接效益」與無形「間接效益」，有形「直接效益」包括河道減淤效益、發電設施運轉維持效益等；無形「間接效益」包括社會價值效益及生態環境保育效益等。此外，年計成本項目包含年利息、年償債基金、年稅捐保險費及年運轉維護費用等，經由上述年計效益與年計成本之計算，可用以估算曾文南化烏山頭水庫集水區個別所代表年益本比。

表 2 效益分析項目資料表

項目	內容	計量方式	單位	說明
年計效益	直接效益	河道減淤效益 (平均年防砂量×單價)	元	砂石平均價格每立方公尺 75~150 元（參考工料分析手冊概估）。
	發電設施運轉維持效益	水庫平均日發電效益×減少道路阻斷天數	元	參考台灣電力公司電價表。
	間接效益	社會價值效益 生態環境保育效益	元	因間接效益難以量化，以直接效益總和之 20% 作為間接效益之量化依據。
年計成本	年利息	總經費（元）×年利率（%）	元	年利率：6% 年利息：總經費之 6%
	年償債基金	總經費（元）×年償債基金百分率（%）	元	年償債基金百分率：0.34% 年償債基金：總經費之 0.34% （年利率 6%，以複利計算且設定為 50 年期攤還）
	年稅捐保險費	總經費（元）×年稅捐保險費率（%）	元	年稅捐保險費率（%）： 0.62% 年稅捐保險費：以工程建造費之 0.12% 為保險費、0.5% 為稅捐費，合計 0.62%
	年運轉維護費用	總經費（元）×年運轉維護費用比率（%）	元	年運轉維護費用比率：3% 年運轉維護費用：總經費之 3%
年效益評估	年益本比	年計效益總合（元）/年計成本總合（元）	-	年益本比：年計效益總合除以年計成本總合之比值

參考來源：水保局（2010^b）「曾文水庫（阿里山鄉以外）、南化及烏山頭水庫集水區保育治理分析與對策」

本研究依據 2009 年至 2012 年 2 月份共 137 件已竣工工程資料及結算金額，並透過各水庫集水區現地調查所獲得之河道防治總量，以計算工程直接與間接防砂效益，並進一步估算各水庫集水區工程年益本比。以下分別針對三水庫集水區效益、成本與效益評估計算結果分別說明。

（一）年計效益

1. 直接效益

直接效益亦指計畫完成後能立即產生效果之價值，包含減災效益（如河道減淤效益及發電設施運轉維持效益）。

（1）河道減淤效益

集水區內之崩塌地及野溪辦理有計畫之保育治理後可減少土砂生產及下移至主河道。坡地保育包含坡面保護、坡腳保護及排水等設施，主要功效為控制現有崩塌地避免其繼續擴展，並可恢復坡面植生加強坡面抵抗沖蝕能力。土石災害復育包含沉砂、固床工及護岸等設施，主要功能為防止砂石下移，並可調節河床坡度及控制水流流向，減少河床縱向或橫向冲刷及避免河岸崩塌。

曾文南化烏山頭水庫集水區自 2009 至 2012 年水保局整體治理計畫執行後，並經本研究現場調查河道土砂控制量，可分別抑制 261.87 萬 m³、93.16 萬 m³ 以及 3.05 萬 m³ 土方落入主河道中（平均年防砂量 87.29 萬 m³、31.05 萬 m³ 以及 1.02 萬 m³），將可減少水庫淤積來源並延長使用壽命。由於集水區內淤積土砂處理係以機械挖取疏浚，非如水庫庫區內採用浚渫方式處理，因此參考曾文溪歷年河川疏浚之費用，採平均價格每立方公尺約 150 元估計，曾文南化烏山頭水庫集水區河道年減淤效益，分別為 130,935 仟元/年、46,580 仟元/年以及 1,525 仟元/年。

（2）發電設施運轉維持效益

除南化水庫無水力發電功能外，曾文水庫總計年平均發電量約為 2.12 億度，烏山頭水力發電廠總計年平均發電量約為 0.42 億度，因整治計畫執行後可減少集水區土砂匯入主河道，改善土砂

淤積情況，按照每年平均颱風次數 3.5 次以及每次電廠停止發電日數 2 日考量，維持曾文水庫及烏山頭水庫電廠發電功能之效益每年分別約可確保發電量 0.041 億度及 0.008 億度，依 2009 年台電公司電價每度約為 2.32 元，故推算曾文及烏山頭水庫集水區兩水庫發電設施年運轉維持效益分別約為 9,432 仟元/年以及 1,868 仟元/年。

綜以上述，本研究針對曾文南化烏山頭各水庫集水區之相關直接效益計算結果，彙整如表 3 所示。

表 3 各水庫集水區直接效益計算表

直接效益	項目	直接效益金額 (仟元/年)		
		曾文水庫	南化水庫	烏山頭水庫
減災效益	河道減淤效益	130,935	46,580	1,525
	發電設施運轉維持效益	9,432	0	1,868
合計		140,367	46,580	3,393

2. 間接效益

因工程治理計畫實施而衍生之效益，亦包含社會價值提升效益及生態環境保育效益。對於一般工程來說，間接效益不易計算且難以量化，故參考水保局（2010^b）「曾文水庫（阿里山鄉以外）、南化及烏山頭水庫集水區保育治理分析與對策」計算方式，以直接效益總和 20% 作為間接效益估算依據。

3. 年計效益總合

年計效益總合為直接效益與間接效益加總，各水庫集水區年計效益計算結果詳列於表 4。

表 4 各水庫集水區年計效益計算表

項次	水庫集水區	直接效益金額 (仟元/年)	間接效益金額 (仟元/年)	年計效益總金額 (仟元/年)
1	曾文水庫	140,367	28,073	168,441
2	南化水庫	46,580	9,316	55,896
3	烏山頭水庫	3,393	679	4,072

(二) 年計成本

成本分析採年計成本方式，針對年計成本支出內容包括固定成本（含年利息、年償債基金及年稅捐保險費）及年運轉維護成本。

1. 固定成本

(1) 年利息

年利息為投資之利息負擔，依工程建造總經費為準，按統一利息方式計算，一般投資利息係以年利率 6% 估計；則年利息約為總經費之 6%。

(2) 年償債基金

為工程投資之攤還年金，依工程建造總經費為準，依年息複率計算，在經濟分析年限內，每年平均攤還，經濟分析年限採 50 年，每年平均負擔數為 0.344%；年償債基金約總經費 0.34%。

(3) 年稅捐保險費

以工程建造費之 0.12% 為保險費、0.5% 為稅捐費，合計為 0.62%。

2. 年運轉及維護費用

包括工程設施之維修及養護及安全檢查等費用，包含年中期換準備金及運轉維護成本，依計畫大小、結構物種類及運轉方法而定，非固定值。一般年運轉及維護成本可以總工程建造費之 3% 計算（水保局，2012^b）。

綜以上述，統計本年度計畫工程調查範圍內之總工程計畫成本計算成果詳列於表 5。經由上述各項成本計算後得知，曾文、南化、烏山頭水庫治理工程之年計成本支出總和，分別約為 90,866 仟元/年、19,409 仟元/年、1,225 仟元/年。

表 5 各水庫集水區年計成本計算表

項目	水庫集水區	年計成本				年計成本總和 (仟元/年)
		年利息 (仟元/年)	年償債基金 (仟元/年)	年稅捐保險費 (仟元/年)	年運轉維護費用 (仟元/年)	
1	曾文水庫	58,372	3,307	6,031	29,186	90,866
2	南化水庫	12,468	706	1,288	6,234	19,409
3	烏山頭水庫	787	44	81	393	1,225

(三) 效益評估

以「年益本比」，作為衡量經濟效率的準則。所謂「年益本比」即為年計效益與年計成本之比值，參考如式 6，當符合益本比大於或等於 1 時，其經濟可行性才算合格。

$$I = \Sigma B / \Sigma C \quad (6)$$

式中 I ：年益本比。 B ：年計效益。 C ：年計成本。

鑑此，針對各水庫集水區調查工程治理範圍條件下，將各水庫之年計效益與年計成本進行加總，並計算年益本比，相關計量結果詳表 6。經評估，三水庫集水區之年益本比均大於 1，顯示對於治理區土砂控制及環境改善確有效益。

表 6 各水庫集水區年計效益計算表

項目	水庫集水區	年計效益總和 (仟元/年)	年計成本總和 (仟元/年)	年益本比 (年計效益總和/ 年計成本總和)
1	曾文水庫	168,441	90,866	1.85
2	南化水庫	55,896	19,409	2.88
3	烏山頭水庫	4,072	1,225	3.32

七、結論與建議

針對莫拉克颱風後曾文南化烏山頭水庫集水區河道土砂防治工程進駐後，配合航照以及工程平面圖，進行工程構造物現地調查以及健檢，記錄工程資料以及構造物檢測評估作業，再配合工程管考系統完成資料品管，完成河道治理範圍之土砂防治效益量化評估。茲將結論及建議摘要敘述如下：

1. 總防砂量：根據水庫集水區治山防災構造物現地調查成果，推估曾文南化烏山頭水庫河道總防砂量約 358.08 萬 m^3 ；以曾文水庫集水區總防砂量為鉅，為 261.87 萬 m^3 ；南化水庫集水區次之，為 93.16 萬 m^3 ；烏山頭水庫集水區較小，為 3.05 萬 m^3 ；顯見治理後上游土砂生產環境皆有改善且抑制其生產條件因素，故落入河道後皆可予以有效防治。另再觀察治理前後野溪河道縱剖面高程變動顯示，經治理後確實調整原河道坡降並予以減緩，充分說明治理工程有效調節並減少集水區土砂流失。
2. 年益本比均大於 1：以「年益本比」作為衡量評估現況防砂效益，可知三水庫集水區之年益本比均大於 1，顯示對於治理區土砂控制及環境改善確有效益。
3. 依據民國 99 年至 104 年曾文南化烏山頭水庫集水區保育治理實施計畫，預計土砂防治

量為 1718 萬 m^3 ，若暫不考慮坡面治理工程及植生復育狀況，自民國 99 至 101 年河道土砂防治量為 358.08 萬 m^3 ，河道防治量約占總土砂防治量 1/3，若能將民國 102 至 104 年防砂量納入及持續追蹤，有助於後續瞭解六年計畫實施後之確切土砂防治量。

謝 誌

感謝農業委員會水土保持局，提供計畫（編號 SWCB-101-087）經費補助，作者深表謝忱。

參考文獻

Osti, R. and Egashira, S. (2008) Method to Improve the Mitigative Effectiveness of a Series of Check Dams against Debris Flows, Hydrological Processes, Vol.22, Issue 26, pp. 4986-4996

Sougnuez, N., van Wesemael, B. and Vanacker, V. (2011) Low Erosion Rates Measured for Steep, Sparsely Vegetated Catchments in Southeast Spain, CATENA, Vol. 84, Issues 1-2, pp. 1-11

日本國土交通省 (2007) 土木設計施工手冊 (砂防篇)

水利署 (2002) 石門水庫集水區攔砂壩生態體檢調查計畫

水保局 (2005) 水土保持手冊

水保局 (2010^a) 水土保持技術規範

水保局 (2010^b) 曾文水庫 (阿里山鄉以外)、南化及烏山頭水庫集水區保育治理分析與對策

水保局 (2011^a) 曾文水庫達邦壩上游集水區防砂目標下之保育治理措施及土砂變遷監測計畫

水保局 (2011^b) 石門水庫集水區土砂災害歷程分析

水保局 (2012^a) 水土保持防砂工程防砂整備之推估與應用

水保局 (2012^b) 曾文南化烏山頭水庫集水區環境變異及治理成效評估

朱達仁、李宗儒、施君翰 (2005) 石門水庫上游集水區防砂壩現況與管理分析，台灣林業，第 31 期，第 3 卷，第 49-57 頁

林伯勳、梁惠儀、蕭震洋、張玉堦、冀樹勇 (2012) 集水區土砂監測及評估作業，中興工程，第 117 期，第 3-13 頁

林務局 (1991) 台灣省早期防砂壩現況調查報告

林務局 (1992) 台灣省近期防砂壩現況調查報告

松村和樹、中筋章人、井上公夫 (1988) 土砂災害調查

許振崑、林伯勳、洪世勳、冀樹勇、邱世宜、鐘啟榮 (2012) 石門水庫集水區防砂設施儲砂量調查及淤砂坡降評估，水保技術，第 7 卷，第 3 期，第 162-172 頁