

 水土保持技師公會

水保技術

論文下載網址: <http://swct.mdu.edu.tw>

石門水庫集水區防砂設施因砂量調查及淤砂坡降評估

許振崑^{1,*}、林伯勳²、洪世勳³、冀樹勇⁴、邱世宜⁵、鐘啓榮⁶

¹中興工程顧問社防災科技研究中心 助理工程師

²中興工程顧問社防災科技研究中心 正研究員

³中興工程顧問社大地工程技研究中心 正研究員

⁴中興工程顧問社大地工程兼防災科技研究中心 經理

⁵行政院農業委員會水土保持局保育治理組 工程員

⁶行政院農業委員會水土保持局保育治理組 科長

關鍵詞

石門水庫、因砂量、
淤砂坡降、維護管理模糊

收稿：101 年 2 月 24 日
修改：101 年 5 月 1 日
接受：101 年 5 月 26 日
(本文開放討論至 102 年
7 月 30 日)

摘要 為瞭解「石門水庫及其集水區整治計畫」五大集水區整治工程內具防砂性能構造物之結構物現況、受損情形、因砂量與現地河床淤砂坡降及土砂控制情形，本研究透過防砂設施現況調查及工程基礎資料，並搭配防砂量估算方法，概算現場實際攔阻量及因砂區之剩餘壩容，以具體化說明保育措施治理前後之執行成效與效益。經調查成果顯示，防砂設施並無明顯受損且影響功能者，而評估良好及尚可者，佔全數比例 89.5% 及 10.5%；此外，各設施之淤砂程度以中淤砂程度(淤砂高度介於 1/3 壩高與 2/3 壩高之間)佔 52.4% 最大。此外，庫區集水區之總因砂量最大，達 90.88 萬立方，佔總因砂量約 56%，集水區可發揮攔砂功能之防砂設施可因砂量 131.9 萬立方，經評估尚可達到保土蓄水之功效；另同時開發具地理資訊平台之視窗化管理程式，供未來分析應用及定期執行健檢工作。

一、前言

歷年桃芝、納莉、艾利、海棠、瑪莎、辛樂克、薔蜜等颱風相繼來襲，於石門水庫集水區引發嚴重土石災害，巨量泥砂沖入水庫之結果，導致庫容淤積、濁度升高及供水短缺之問題。為確保集水區及山坡地範圍內人民生命財產安全、上

游集水區水域環境之保育、穩定水庫供水能力及保障民眾用水權益，故立法院業於民國 95 年 1 月 27 日公告實施「石門水庫及其集水區整治計畫」，並將整治計畫分成二階段進行，第 1 階段施行期間為民國 95 年至 98 年，其工程執行主要以崩塌裸露地治理及設置防砂設施為主；第 2 階段施行期間為民國 98 年至 100 年，工程執行以植生復育為主。石門水庫集水區整治計畫執行迄今(95 年至 100 年)，於各野溪溪流及崩塌區域施設工程保護，經過歷年颱風所挾帶之豪雨與洪水，致使土砂大量下移，導致部分工程構造物失去原有功能。為瞭解水保局石門水庫集水區保育治理計

*通訊作者，電話：02-2758-0568 轉 256；

傳真：02-2729-0273

E-mail address: kungbsa@sinotech.org.tw

畫，已辦理之各項保育治理措施內具防砂性能構造物之健康狀況與現況因砂量；本研究遂針對工作範圍內具防砂性能構造物進行現況調查，並蒐集各項相關基礎資料，探究其結構使用現況、淤砂情形與損壞度，並搭配防砂量估算方法，概算現場實際攔阻量及因砂區之剩餘壩容，可初步檢視工程完工後迄今，設施服務功能及河道土砂控制情形，以具體化說明集水區保育措施治理前後河道土砂控制情形，俾利於集水區整體治理以及執行健檢維護管理參考之用。

二、研究區域概述

石門水庫集水區以淡水河上游大漢河流域為主流，集水面積約為 76,352.9ha，全區呈現南北向之狹長葫蘆形，區域內坡度多屬六級坡(坡度介於 55% 至 100% 之間)，其分布為最廣，全區平均坡度為 40%。本研究區域石門集水區之水系發源於雪山山脈帶，主流大漢溪為淡水河第一大支流，全長約 94.01km，由泰崗溪、白石溪、三光溪、卡拉溪、寶里苦溪、匹亞溪等支流匯合而成，至石門水庫內之阿姆坪進入西部麓山帶，流路呈不規則樹枝狀。就地理區位而言，石門水庫集水區東鄰台北、宜蘭二縣，南接台中縣，西南與苗栗縣相連，西屬桃園與新竹二縣。各集水區高程主要介於 500~1,500m 之間，坡度分級主要落於五級坡與六級坡；境內坡向趨勢以西北-東南向為主；有關石門水庫集水區地理位置圖，參見圖 1。

就地質構造而言，集水區內主要斷層線自北而南有屈尺斷層、石槽斷層、烏嘴斷層（錦屏斷層）、插天山斷層、霞山斷層、羅山斷層與檜山斷層等，其中大多數為逆斷層。其中屈尺斷層、石槽斷層及檜山斷層，走向大致呈東北-西南，顯示流域內地質演化過程主要承受來自東南方之擠壓力量，各斷層間則存在密度與規模不一之褶皺構造，褶皺軸走向亦多平行於斷層與地層走向。另就歷年觀測資料得知，集水區內年平均降雨量約為 2350mm，多集中在夏季，而民國 85 年以來發生過幾起較嚴重之颱風事件，分別為賀伯、艾利及柯羅莎等三場颱風，這三場颱風事件之降雨量皆超過頻率分析中，10 年重現期距之最大一日降雨量，其中尤以艾利颱風最嚴重，最大一日降雨超過 25 年重現期距之暴雨量，而此場颱風事件所引致之崩塌地數量甚多。依據水保局(2011)報告之分析結果顯示，就石門水庫集水區雨量、坡度及地質等水文條件而言，於六級坡、順向坡地形及構造線通過之環境條件下崩壞比較高，且較易受豪雨引致相關崩塌災害。

三、研究區域概述

本研究防砂設施係針對河道與溪流內之防砂壩而言，依據水土保持手冊(2005)之定義，「防砂壩」為攔蓄河道泥砂、調節泥砂輸送、穩定河床及兩岸崩塌、防止侵蝕、沖蝕、抑制土石流所構築高度 5m 以上之構造物。另一方面，高度在 5m 以下，為維持河床安定所構築之構造物則稱之為潛壩；防砂設施攔阻工法可分為非透過式及透過式結構兩種，一般常見的非透過式結構為防砂壩(土壩、箱籠壩、堆石壩及混凝土壩等，如圖 2)，屬於封閉型式，因砂空間易被淤埋。而透過式壩體(如格籠壩及梳子壩等，如圖 3)，可局部攔阻並篩選洪水或土石流所挾帶之砂石，除能減緩災害之衝擊外，亦可保持較多的因砂空間。整體而言，因石門水庫防砂構造物為達使用年限及加強攔阻強度，區內防砂設施多以混凝土壩為主。

3.1 調查項目

本研究依據工程管考系統登錄內壩體資料，進行壩體現況踏勘工作，並紀錄工程類型、鄰近保全對象、壩體結構現況、鄰近溪床狀況及其防砂性能等。上述對於結構物現況評估共分三類，

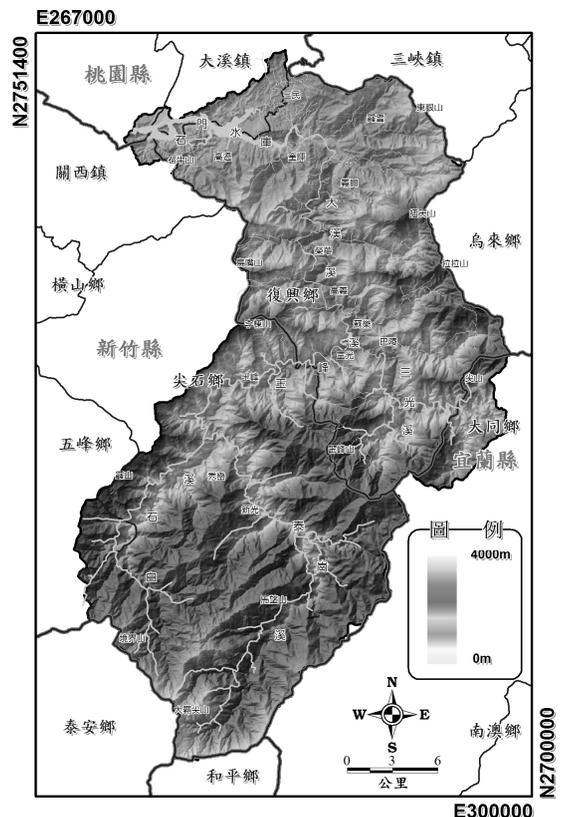


圖 1 石門水庫集水區地理位置圖

所謂「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之情況。至於淤砂程度之界定則依實際現況平均淤砂高度，簡單區分高、中、低三等級，所謂「低淤砂程度」為防砂設施後方平均淤砂高度在 1/3 壩高以下；「中淤砂程度」其淤砂高度則介於 1/3 壩高與 2/3 壩高之

間；最後「高淤砂程度」定義為淤砂高度介於壩高與 2/3 壩高間。

藉由以上現場調查資料，透過統計分析即可瞭解設施實際完工後之壩體內淤砂區表面粒徑分布、結構外觀安全及淤砂情形等，並利用原始溪床坡度與現況河床坡度量測，用以概算調查區現場防砂壩實際因砂量體及量化因砂區之剩餘因砂



木壩：適用於深山林木豐富交通不便，逕流量細小。



箱籠壩：適用於現場缺乏細骨材、水及交通不便處。



堆石壩：適用於逕流量較小，礦場或附有豐富之可利用材料。



混凝土壩：適用於逕流較大，規模大且永久性治理效能之構造物。

圖 2 一般常見非透過式壩體



格籠壩：適用於野溪中下游之生態工法，為透水之永久性構造物。



梳子壩：為透過式剛性壩體，但對特定粒徑之土石乃具繫留功能。

圖 3 一般常見透過式壩體

空間，用以檢視防砂設施服務功能，並瞭解防砂設施攔阻成效。

3.2 調查範圍

經蒐集水土保持局工程歷年資料，可以發現兩階段整治工程其主要以山坡地治理及農路水土保持為主，分別各有 296 件與 61 件，總計共 357 件，其分布區涵蓋桃園與新竹兩縣，且整治工程分類之空間分布如圖 4 所示。上述各工程設計項目中內含防砂性能之構造物(防砂壩、潛壩、梳子壩及土石壩等)工程數量計有 72 件，約有 236 座。圖 5 與圖 6 為第 1、2 階段五大分區之構造物數量統計與空間分布圖，整體上第 1、2 階段構造物之分布，以五大分區分布狀況而言，玉峰集水區屬整治重點，其工程含防砂性能之構造物之件數有 30 件(94 座)，其次為庫區集水區 24 件(66 座)，再者為白石集水區 12 件(48 座)、三光集水區 5 件(24 座)，最後為泰崗集水區 1 件(4 座)。大致上構造物比例以中、下游玉峰集水區及庫區集水區較高，兩者總計約佔 69%，而上游泰崗集水區最少。

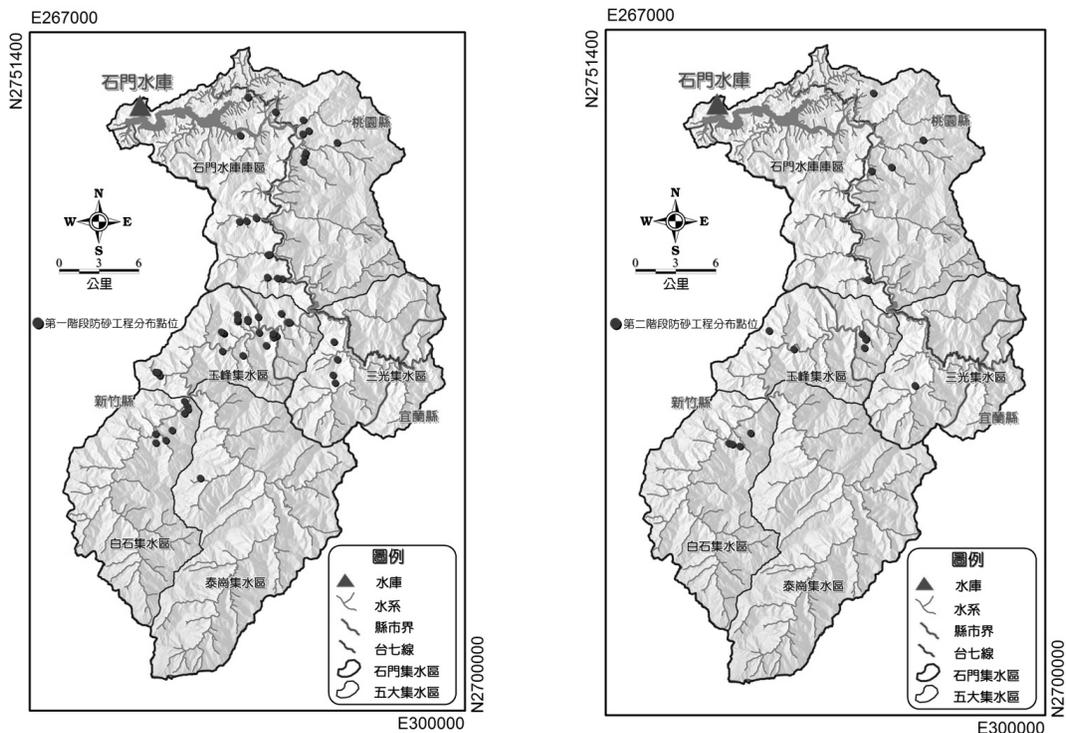
3.3 調查作業

鑑於調查範圍廣闊且地形複雜，本研究採用 3S 技術(地理資訊系統、全球定位系統及遙感探測)

進行調查前室內作業規劃與現地調查應用，應用此項技術不僅可有效安排調查路線、增進調查執行效率，並可輔助獲得人員無法到達處之觀測資訊。為使後續工作具有效率性及資料標準化，故訂定防砂設施構造物之標準作業程序，其整體作業示意及現地調查作業流程如圖 7 與圖 8 所示。

四、防砂設施調查成果

本研究完成第 1 階段(95 年~98 年)185 座以及第 2 階段(98 年~100 年)51 座(其中工程施工中計 7 座) 防砂設施現況調查，共計完成 236 座之治山防災結構物調查。此外，將現場調查結果含結構物尺寸、河道狀況、現況照片及 GPS 點位進行紀錄整理；同時，亦將調查資訊加以彙整成資料庫並轉製 GIS 圖資，供以後續分析應用。根據上述集水區調查資料，可彙整並歸納五大集水區之壩體形式、種類數量，相關統計數量如表 1 所示。由表可知，石門水庫集水區壩體型式多屬非透過式壩體，且種類以混凝土建造之防砂壩居多，多達 172 座，故整體集水區壩體施工型式以非透過性防砂壩為主，整體比例約達 72%。另外，非透過式潛壩計有 56 座、堆石壩 1 座以及透過式梳子壩 8 座。



(a) 第 1 階段(95 年至 98 年)

(b) 第 2 階段(98 年至 100 年)

圖 4 石門水庫集水區整治計畫防砂設施空間點位分布圖(執行單位：水保局)

此外，除針對各壩體型式及種類數量進行調查外，同時亦進行壩體結構物外觀及淤砂程度統計等紀錄，調查表格設計方式以量化數據為原則；若無法量化時，則儘量採統一之描述用語，以清楚明瞭現地概況為目標，詳細統計結果整理列於表 2。以下茲就防砂設施調查成果，依次說明如下：

4.1 結構外觀

過去一般防砂設施受損其致災原因多為溪床坡度過陡、結構物設置高程落差太大、水流流速過大等導致衝擊能量過高，而構造物本身因厚度或基礎埋深不足，使得水流長期冲刷或土石撞擊

後，將造成毀損。本研究調查對象之各座壩體完工至今仍屬新建結構，且近年工程設計施工品質

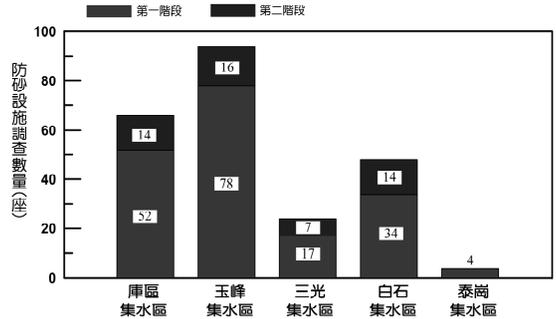
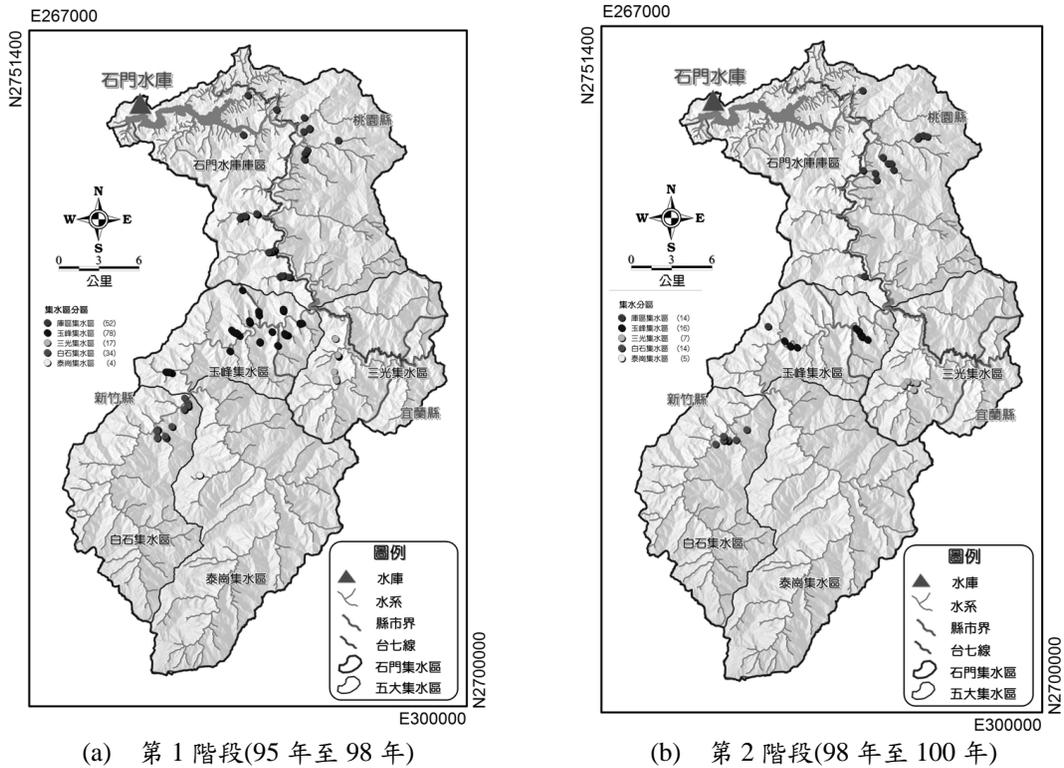


圖 5 第 1、2 階段五大分區防砂設施數量分布圖



(a) 第 1 階段(95 年至 98 年)

(b) 第 2 階段(98 年至 100 年)

圖 6 石門水庫集水區整治計畫第 1、2 階段防砂設施空間分布圖

表 1 壩體型式及種類數量調查統計表

五大集水區	非透過式			透過式	小計
	防砂壩	潛壩	堆石壩	梳子壩	
庫區集水區	47	16	1	2	66
玉峰集水區	70	18	0	6	94
三光集水區	16	8	0	0	24
白石集水區	37	11	0	0	48
泰崗集水區	2	2	0	0	4
總計	172	55	1	8	236

針對以上提及威脅壩體結構安全之致災因子，均已有良好之維護與強化措施。再者，近年石門水庫集水區內未曾遭受較重大土石災害與颱風事件，外在損壞因子亦相對減少許多。藉由本次構造物外觀調查結果發現，防砂設施並無構造物外觀明顯受損且影響功能者；而構造物評估良好(構造物外觀完整，功能健全者)佔全數比例 89.5%；構造物評估尚可(構造物外觀受損，但功能維持正常者)佔全數比例 10.5%。

4.2 淤砂程度評估

經現場調查得知，各結構物之上游面土砂淤積高度小於 1/3 壩高者，計 20 座約佔總比例 8.7%(低淤砂程度)，介於 1/3 壩高與 2/3 壩高之間者，計 125 座約佔總比例 54.6%(中淤砂程度)，最後淤砂高度介於壩高與 2/3 壩高之間者，計 84 座約佔總比例佔 36.7%(高淤砂程度)，如表 2 所示。經統計結果顯示，目前調查範圍內壩體防砂性能以中、高淤砂程度為主，整體主要以中淤砂程度所佔比例最大，且各防砂構造物後方仍有餘裕因砂空間，尚具緩和溪床、降低坡降、減緩土石流速及降低其撞擊之力量之功能。

另一方面，根據現場防砂結構物上游淤砂高度、淤砂寬度及河道淤砂坡度之量測，並配合工程治理規劃原淤砂坡度線及壩工幾何設計尺寸資料，即可用以計算防砂設施之壩體後方因砂量，與估計各壩體後方之剩餘因砂空間，相關因砂量計算方式詳見如后說明。

五、因砂量計算及淤砂坡降評估

為瞭解已辦理之集水區防砂設施之治理現況，以及構造物之結構功能與損壞度，本研究遂針對石門水庫集水區範圍內防砂設施進行調查，並搭配因砂量估算方法概算防砂設施上游現場因砂量。此外，再檢視淤滿之設施中，其溪床淤砂坡度是否符合設計預期標的，並檢視工程完工後至今設施服務功能，以具體說明集水區工程措施

治理前後河道土砂控制情況及治理效果，以下針對因砂量估算與淤砂坡降評估進行說明。

5.1 因砂量估算

本研究為估算壩體上游現況因砂量，並結合原始溪床坡降與現況河床坡度量測，以呈現目前防砂壩因砂量體。壩體因砂量計算方法採用縱斷面法並配合地形量測，據以估算防砂壩因砂量體

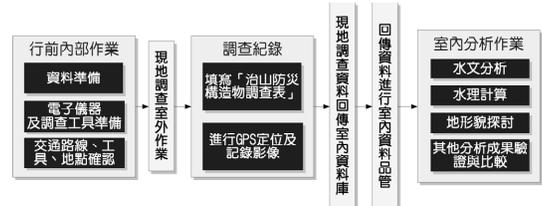


圖 7 防砂設施整體作業示意圖

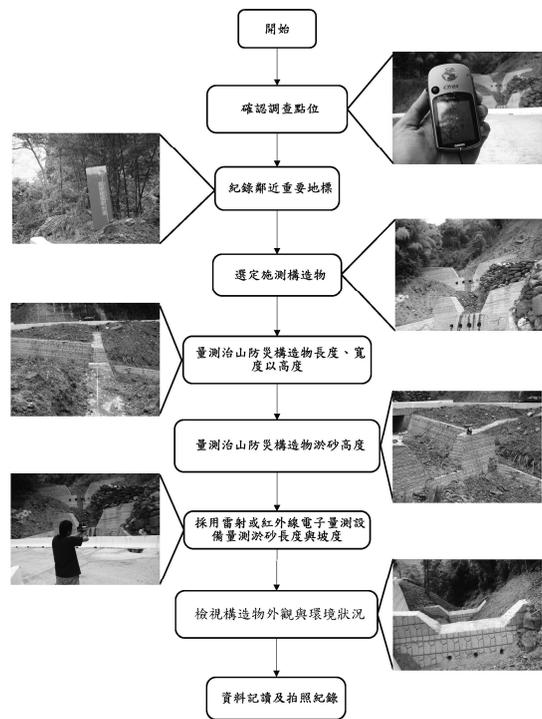


圖 8 防砂設施現地調查作業流程圖

表 2 壩體結構物外觀及淤砂程度統計表

五大集水區	外觀安全評估			淤砂程度			小計
	良好	尚可	待改進	高	中	低	
庫區集水區	55	8	0	26	29	8	66
玉峰集水區	83	7	0	25	61	4	94
三光集水區	20	4	0	4	19	1	24
白石集水區	43	5	0	10	30	8	48
泰崗集水區	4	0	0	0	4	0	4
總計	205	24	0	65	143	21	236

(林務局, 1991、1992; 松村和樹, 1988; 水利署, 2002; 日本國土交通省, 2007; 水保局, 2011)。圖 9 為縱斷面法計算示意圖, 圖中壩底至溢流口間距離為 H 、有效淤砂高度為 H_e 、溢流口至淤積底床高度為 H_x 、現況淤砂坡度為 β 及原河床坡度 α 、壩體上游淤砂長度 L 以及淤砂寬度 B 。除原河床坡度及壩高可由工程管考系統提供外, 其他資訊可經現況地形量測或計算公示推求獲得, 相關調查資訊來源對照表及現地量測示意如表 3 及圖 10 所示。就單位寬度之因砂量而言, 其淤積土砂量 (V_x , 如圖 9 之斜線面積) 之計算式如下:

$$V_x = \frac{1}{2} L \times H_e \quad (1)$$

若令 $H_e + H_x = \tan \alpha \times L$; $H_x = \tan \beta \times L$, 代入上式中, 即可推導出壩體上游淤砂長度 L , 如下式:

$$L = \frac{H_e}{(\tan \alpha - \tan \beta)} \quad (2)$$

藉由上述公式, 即可推求單一壩工之因砂量 V_m , 如下所示:

$$V_m = V_x \times B = \frac{1}{2} \frac{H_e^2}{(\tan \alpha - \tan \beta)} B \quad (3)$$

5.2 淤砂坡降評估

根據水土保持手冊規範(2010), 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』, 其意義在於降低及舒緩溪床坡降, 可有效削減河道輸砂與減少土砂流出量, 該項比值亦可間接反應防砂設施現況淤砂情況是否已達預定之保育治理成效。因此, 若以現況坡降及原河床坡降之比值, 定義為坡降減緩比, 以判斷並

量化說明河床沖淤變化是否已趨均夷或達至設計目標, 如下式:

$$Gr = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha} \quad (4)$$

式中 $\tan \beta$ 為現況淤砂坡降; $\tan \alpha$ 為原河床坡降。

5.3 因砂量及淤砂坡降評析

經第 1、2 階段五大集水區之防砂設施調查壩體現況因砂量計算結果發現, 各防砂設施之現況河床淤積坡度均維持於設計坡度以下, 顯見近年河床坡度均有減緩, 集水區內設置防砂設施確實發揮調節溪床坡度之功能。此外, 為瞭解現階段壩體尚存多少剩餘因砂空間, 係假設土砂當堆積至壩溢洪口時, 其河床坡度接近或等於現況調查坡度, 以估算防砂設施淤滿因砂量, 並與其現況因砂量相互比較後, 再據以反算剩餘因砂量, 其結果詳列於表 4。表中統計顯示第 1、2 階段防砂工程之現況因砂量總量約計為 161.39 萬 m^3 , 第 1 階段現況因砂計為 151.56 萬 m^3 , 第 2 階段現況因砂計有 9.83 萬 m^3 , 其中以庫區集水區下之總體因砂量為鉅, 達 90.88 萬 m^3 , 約佔總因砂量之 56.31%, 實屬現階段石門水庫境內主要土砂生產區域, 建議未來仍應持續監控土砂潛在量分布及運移情形。此外, 第 1、2 階段淤滿因砂量總計約 293.29 萬 m^3 , 其中第 1 階段淤滿因砂量(259.47 萬 m^3)約為第 2 階段淤滿因砂量(33.82 萬 m^3)之

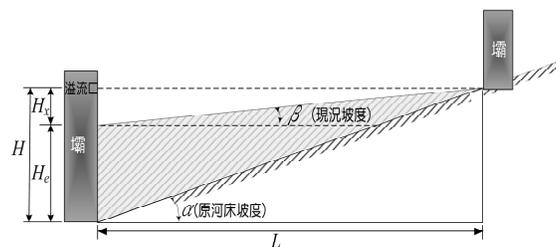


圖 9 縱斷面法計算示意圖 (虛線代表為輔助線)



(a) 溢流口至淤積底床高度



(b) 現況淤砂坡度

圖 10 防砂設施現地量測照片示意圖

7.67 倍，整體第 1 階段工程施作數量相較第 2 階段多，整體因砂量亦相較第 2 階段大。若再探究防砂設施剩餘因砂空間可發現，第 1 階段剩餘因砂量約為 107.91 萬 m^3 ，第 2 階段剩餘因砂量約為 23.99 萬 m^3 ，第 1、2 階段統計至今仍有 131.90 萬 m^3 之因砂空間可供停淤，其中尤以玉峰集水區剩餘因砂量量體(60.86 萬 m^3)較大。此外，另經由統計資料發現，因第 2 階段設施多屬新建，且自第 2 階段工程進駐以來，石門水庫集水區內未遭遇較大颱風災害及頻繁豪(大)雨事件，故此階段其所剩餘因砂比(70.93%)較第 1 階段(41.59%)高，而石門水庫集水區整體範圍內剩餘因砂空間約為占總因砂量(44.97%)。

依式 3 計算第 1、2 階段之五大集水區平均坡降減緩比發現，第 1 階段五大集水區平均坡降減緩比由小至大排列依次為白石(0.48)、庫區(0.51)、泰崗(0.53)、玉峰(0.53)以及三光(0.71)；第 2 階段由小至大排列依次為玉峰(0.26)、庫區(0.37)、三光(0.48)以及白石(0.60)。由此可見，第 2 階段五大集水區平均坡降減緩比大部分均較第 1 階段低且均在 1 以下，表示第 1 階段防砂設

施均能減緩流速與穩定流心，五大集水區之平均坡度減緩比均可在 48% 以上漸顯保育治理效果；第 2 階段溪床坡度亦在逐漸穩定減緩中，仍待未來進行持續性調查監測及追蹤後續發揮成效。此外，再檢視石門水庫集水區中第 1、2 階段防砂設施目前 35 座淤滿之防砂設施中，計有 9 座壩體之 Gr 值位於 1/2~2/3 此設計區間內，符合設計預期標的；計有 20 座之 Gr 值在 1/2 以下，超過設計區間之情形，最後，共有 6 座防砂設施其目前淤砂坡度未達預計設計標的，統計數量座數分布如圖 11。

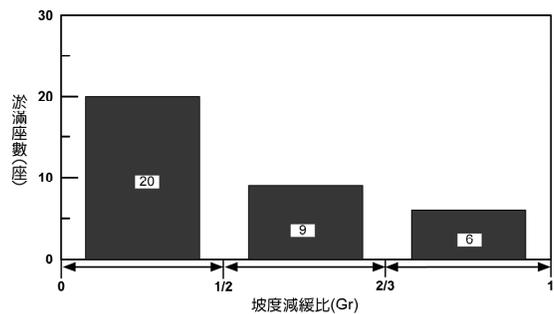


圖 11 淤滿防砂設施坡度減緩比之座數分布圖

表 3 防砂設施調查資訊對照表

代號	名稱	定義	來源	備註
H	壩高	壩底至溢流口間距離	工程設計圖	-
He	有效淤砂高度	「壩高」扣除「溢流口至淤積底床」間距離	現地量測	圖 7(a)
β	淤砂坡度	淤砂長度範圍內 平均淤積坡度	淤砂長度及有效淤 砂高度求得	圖 7(b)
α	原河床坡度	原始河床坡度	工程設計圖	-
L	壩體上游淤砂長度	兩防砂壩間距離或有效淤砂高度(He)除以 原河床坡度之正切值	現地量測、航照影像	-
B	淤砂寬度	壩後淤積寬度	工程設計圖	-

表 4 第 1、2 階段五大集水區防砂設施因砂量表

五大集水區	現況因砂量(萬 m^3)		淤滿因砂量(萬 m^3)		剩餘因砂量(萬 m^3)		剩餘因砂比(%)	
	第 1 階段	第 2 階段	第 1 階段	第 2 階段	第 1 階段	第 2 階段	第 1 階段	第 2 階段
庫區集水區	87.75	3.13	133.35	5.50	45.59	2.37	34.19	43.13
玉峰集水區	49.55	4.24	99.71	14.95	50.15	10.71	50.30	71.62
三光集水區	2.91	0.87	6.46	3.53	3.55	2.66	54.90	75.37
白石集水區	8.92	1.59	15.61	9.84	6.69	8.25	42.83	83.83
泰崗集水區	2.42	0.00	4.35	0.00	1.94	0.00	44.36	0.00
小計	151.56	9.83	259.47	33.82	107.91	23.99	41.59	70.93
總計	161.39		293.29		131.90		44.97	

註 1. 現況因砂量係利用公式 3 求得。

註 2. 淤滿因砂量之計算係假設「淤滿坡度」等於「現況坡度」。

註 3. 剩餘因砂比係以「剩餘因砂量」除以「淤滿因砂量」計算得之。

註 4. 因砂量體估算起迄時間為防砂設施工程完工後至迄今。



圖 12 視窗化功能展示

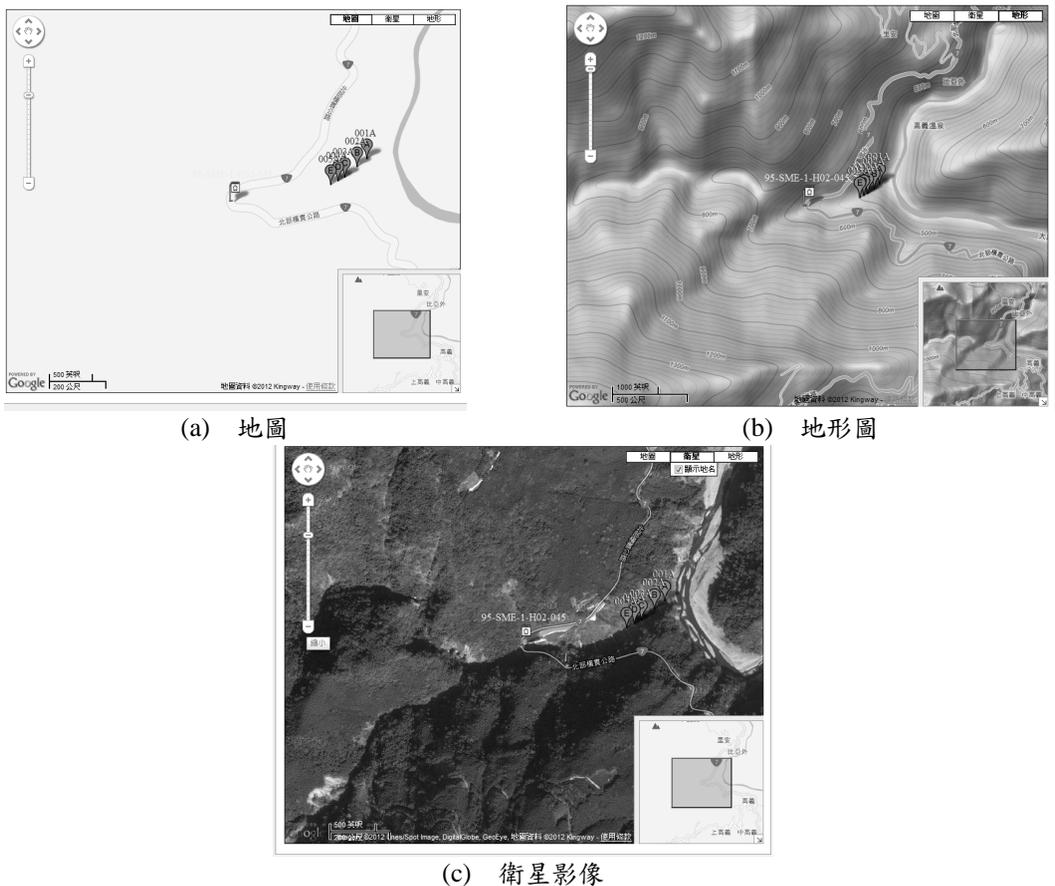


圖 13 結合免費網路地圖系統進行點位展示

本研究完成第 1 階段 185 座及第 2 階段 51 座防砂設施調查與資料蒐集作業，共計 256 座，並建立各構造物完整調查資料及 GIS 資訊，供以未來分析應用及定期執行健檢工作。此外，亦瞭解結構物現況與受損情形與現地河床坡度之差異，並推估各構造物之囚砂量體，藉以評估各集水區之工程整治效益參考。

六、防砂設施管理及查詢系統 程式開發

為方便整合本研究防砂設施現地調查取得各項數據與調查資訊，本研究遂進行集水區防砂設施資訊平台之開發，並建置相關資料庫，供以後續使用或查詢者可快速獲得工程基本資料、現地照片、構造物分布、周圍環境狀況、結構外觀或防砂性能等資訊；系統建置過程中使用原始碼軟體進行作業，目的在於能建立一套教富彈性、具直觀友善操作介面以達開發資源低、資料可容性高、開放性佳及更新即時性等優點。此外，利用 Net Framework 作為開發視窗化程式平台，進行中文視窗化介面設計，經由視窗化完成後之多模組化表單內容與各類展示功能，並透過視窗化直覺與親和的介面操作特性，能讓使用者能輕鬆的同步完成資料查詢、更新與表單產製，相關模型介面展示如圖 12。本程式亦鏈結網路免費的 Google Map 功能，結合衛星影像、航空照片和地圖資訊，提供豐富而簡易的網路地圖查詢系統，其開放性架構使得後續資訊平台具有更高度運用價值，相關工程資訊與地圖展示視窗，如圖 13 所示；未來可於現地建立即時調查資料，並進行防砂設施資料同步更新與現況評估，藉以提供相關公務單位迅速獲得基礎資料，以應用於防災應變政策與工程維護管理之參考。

七、結論與建議

本研究針對石門水庫兩階段整治計畫範圍，根據研究調查結果，推估各具防砂性能構造物之使用現況與受損情形，並瞭解構造物剩餘囚砂空間及囚砂量體，以供辦理清疏或優先維護名單。此外，藉由淤砂坡降狀態評估，檢視淤滿防砂設施之淤砂坡度是否符合設計預期標的，或有超過或未達設計區間之狀況，供以工程師後續設計參考。茲將本研究重要成果與結論整理如下：

1. 本計畫調查範圍內第 1、2 階段保育治理措施具防砂性能之構造物(防砂壩及梳子壩等)，第 1 階段計有 185 座，第 2 階段計有 51 座，兩階段現階段共計有 236 座，其中於玉峰集水區總數量達 94 座，其次為庫區 66 座，再者

為白石 48 座、三光 24 座，最後為泰崗集水區 4 座。調查對象內壩體型式多屬非透過式壩體，其壩體種類以混凝土建造之防砂壩居多，多達 172 座；另外，非透過式潛壩計 55 座、非透過式堆石壩 1 座，透過式梳子壩 8 座。

2. 經構造物安全評估結果發現，第 1、2 階段防砂設施並無構造物明顯受損且影響功能者；而構造物評估良好及尚可者，佔全數比例 89.5% 及 10.5%；此外，各設施之淤砂程度屬高淤砂程度者佔 36.7%，中淤砂程度佔 54.6%。最後，低淤砂程度佔 8.7%，整體以中淤砂程度所佔比例最大。
3. 透過各座壩體現況囚砂量計算結果發現，現階段五大集水區中防砂工程，以庫區集水區下之現況總體囚砂量為鉅，達 90.88 萬 m^3 ，約佔總體囚砂量之 56.31%；另再究防砂設施剩餘囚砂空間，現階段第 1 階段剩餘囚砂量約為 107.91 萬 m^3 ，第 2 階段剩餘囚砂量約為 23.99 萬 m^3 ，而五大集水區第 1、2 階段剩餘總囚砂量總計約有 131.90 萬 m^3 。
4. 本研究完成防砂設施調查作業之建立以及各構造物完整調查資料及 GIS 資訊，同時開發具地理資訊平台之視窗化管理程式，供以未來分析應用及定期執行健檢工作。此外，亦瞭解結構物現況與受損情形，並推估各構造物之囚砂量體，藉以評估各集水區之工程整治效益參考。

參考文獻

- [1] 日本國土交通省(2007)，「土木設計施工手冊(砂防篇)」。
- [2] 水利署(2002)，「石門水庫集水區攔砂壩生態體檢調查計畫」。
- [3] 水保局(2010)，「水土保持技術規範」。
- [4] 中華水土保持學會(2005)，「水土保持手冊」。
- [5] 林務局(1991)，「台灣省早期防砂壩現況調查報告」。
- [6] 林務局(1992)，「台灣省近期防砂壩現況調查報告」。
- [7] 松村和樹、中筋章人、井上公夫(1988)，「土砂災害調查」。
- [8] 財團法人中興工程顧問社(2011)，「石門水庫集水區土砂災害歷程分析」，行政院農業委員會水土保持局。

The Evaluation of Trapped Sediment and Deposition Gradients for the Check Dams in Shih-Men Reservoir Watershed

C.K. Hsu^{1,*}, B.S. Lin², S.H. Hung³, S.Y. Chi⁴, S.Y. Chiu⁵, C.R. Chung⁶

¹ Assistant Engineer, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants.

² Senior Researcher, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants.

³ Senior Researcher, Geotechnical Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants.

⁴ Manager, Geotechnical Engineering and Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants.

⁵ Junior Engineer, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture.

⁶ Section Chief, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture.

Keywords

Shih-Men Watershed;
sediment storage volume;
Fuzzy Inference

Article history

Received 24 Februar 2012

Revised 1 May 2012

Accepted 26 May 2012

(Discussion Period Open
Until 30 July)

Abstract In order to clarify sediment control, sediment storage, bed slope, structural integrity and performance conditions of check dams built as part of the remediative works associated with the " Shih-men Reservoir Watershed Remediation Plan", this study incorporates field data from on site investigations with designed dimensions into sediment retention estimates which include the amount of trapped sediment and remaining sediment storage volume. The sediment retention estimates are used to quantitatively evaluate the effectiveness of check dams. Results of the study reveal that few check dams have been damaged and the majorities are working at satisfactory levels. "Favorable" graded structures and "Acceptable" graded structures account for 89.5% and 10.5% respectfully. Regarding the level of sediment deposition, 56% of the check dams were found to be at a medium level(Thickness of sediment deposit is between 1/3 and 2/3 of the height of the dam). The largest volume of sediment was found to be stored in the reservoir area, where in total, 908,800 m³ of sediment is stored, accounting for 56.31% of the total storage volume. Approximately 1,319,000m³ of storage volume remains, a volume indicative of upstream sediment retention and water storage capabilities. In addition to on site measurements, this study also developed a geo-referenced data management system to help with future management and investigation projects.

*Corresponding author. TEL.: +886 +2 +2758-0568 ext. 256;

FAX: +886 +22 +7290-273

E-mail address: kungbsa@sinotech.org.tw