



石門水庫上游集水區防砂壩現況與管理分析

文 ■ 朱達仁 ■ 中華大學休閒遊憩規劃與管理學系助理教授

■ 李宗儒 ■ 中華大學營建管理研究所碩士研究生

■ 施君翰 ■ 台灣大學漁科所碩士研究生

一、前言

石門水庫在水資源統籌運用上，具備多重功能，如給水、灌溉、發電、防洪、觀光等，水庫自營運以來，對台灣北部地區水資源的使用有極重大之貢獻。因此經濟部水利署北區水資源局常年來積極推動水資源管理相關措施，無不希望藉由集水區經營與管理，提供保障民眾飲用水品質及水資源的永續利用。

水資源管理的項目相當的多，其中之一就是集水區的經營與管理。但由於台灣地區山高坡陡、川急流短、又因地理位置、地形及雨量分佈不均，致使河川流量豐枯差異極大。同時，山林土石崩塌，雨後砂石沖蝕堆積，往往隨流淤塞水庫。為確保水庫壽命及供水品質，防砂壩的設置成為集水區經營重要的基礎工作之一。

攔砂壩又稱防砂壩，係於溪流兩岸之間以鋼筋水泥構築或其他石塊堆疊所形成之橫向結構物。興建之造形則因地形、水理及設計原理之不同而各有所異。但在理論上，都被認為具有下類各項功能：（1）攔阻或調節河床砂石；（2）減緩河床坡度，防止縱橫向

沖蝕；（3）控制流心，抑止亂流，防止橫向沖蝕；（4）固定兩岸山腳，防止崩塌；（5）砂石堆積或沖蝕地區配合整流，防止砂石二次流失。

目前全台的防砂壩約有三千多座，其壩體是否穩固？是否仍能發揮功能及效益？此項現況一直是管理當局關切重視的問題。過去山地農牧局（水土保持局前身）曾經於民國56年、62年及70年辦理過三次的全省防砂壩工程之調查工作，並將調查成果編印成冊。後又於民國80年及81年由林務局也主辦過二次全國防砂壩工程之調查工作。

當時林務局所主辦的二次調查工作，其中民國80年進行早期防砂壩之調查，民國81年則進行近期防砂壩之調查。除了蒐集壩體資料外，亦進行壩體現況之踏勘工作，就壩體現況及維護情形、破壞因素、淤砂坡度、淤砂狀況、效益等詳於核對、量測、記載並拍照，並繪壩址附近略圖及壩址在五萬分之一地形圖上。該次調查中石門水庫集水區只有82個防砂壩，流失或壩體嚴重損壞僅佔3座，換言之，仍然有79座在原地發揮其功能，佔總數之96.3%。

直至近年多次的颱風風災亦改變過去的樣貌，於是民國91年北水局希望了解其管轄之石門水庫集水區防砂壩的現況，是否對這些防砂壩造成破壞，因此委請本研究團隊又進行了一次歷時三個月的調查，很完整的將集水區內所有的防砂壩作了詳細調查。

本研究即針對這次調查之資料，希望分析探討石門水庫上游集水區防砂壩的（1）壩體建造年代與種類；（2）壩體毀損情形；（3）防砂壩之使用與淤積分析；（4）防砂壩使用上之管理探討，最後提出對於本區域防砂壩未來管理維護上的一些建議。

二、調查與分析方法

（一）調查內容

石門水庫集水區防砂壩分佈甚廣，分佈區涵蓋桃園、新竹及宜蘭三縣，如圖1。本研究於民國91年6月至9月，實地現場踏勘石門水庫集水區共123座防砂壩之壩址及1座秀巒二號壩之預定壩址，對於每個壩址均進行GPS壩址位置定位、壩址踏勘路徑繪製、數位及傳統相機照相、壩體現況評估、生態環境之評估等。

壩體調查的項目包含：壩體類型、淤砂情形、淤砂坡度、有無魚梯、及針對壩體結構物之壩翼、護岸、溢洪道、壩下游面、壩腳、護坦及副壩等進行勘驗是否良好或毀損。並應用描述性統計進行資料之分析。

（二）淤砂量估算

一般淤砂量的估算，有三種方法，包括實測斷面法、縱斷面法及橫斷面法。本研究

採用縱斷面法估算淤砂量，先利用日本SHOWA SOKKI公司製之手持式傾斜儀，量測淤砂坡度，再利用現場砂石粒徑估算原溪床坡度，或利用過去測量所記錄之原溪床坡度估算淤砂量。縱斷面法之計算公式如下：

$$V = \frac{1}{2} \frac{h^2 B}{(\tan \alpha - \tan \beta)}$$

其中h為有效壩高，B為淤積地之平均底寬， α 為河床坡度， β 為淤砂坡度。

一般而言，淤砂坡度受河床質粒徑粗細的影響，河床質粒徑粗，淤砂坡度較陡，另根據以往調查統計許多攔砂壩的實例顯示，攔砂壩淤滿後之淤砂坡度約為施工前原溪床坡度之1/2~2/3，但溪床坡度陡急，淤砂粒徑大且流出砂石量多者為2/3~3/4。



圖1 石門水庫集水區地勢水系圖



淤砂量的估算係利用計劃淤砂量、原底床坡度及計劃淤砂坡度代入縱斷面法之淤砂公式中，求得有效斷面寬度與有效高度平方之乘積 h^2B ，再利用量測之現況淤砂坡度與原底床坡度、代入縱斷面法之淤砂公式中，求得淤砂量。

三、結果與討論

(一) 壩體建造年代與種類

石門水庫集水區目前123座的防砂壩中，在民國49年以前興建的有12座，在民國50～59年間興建的數量達到最高峰有51座，在民國60～69年間興建的有25座，而在民國70～79年間興建的有16座，在民國80年以後興建的則有19座，如圖2所示。民國65年以前興建防砂壩的單位林務局佔28座、石管局（目前的北區水資源局）佔35座、地建會佔

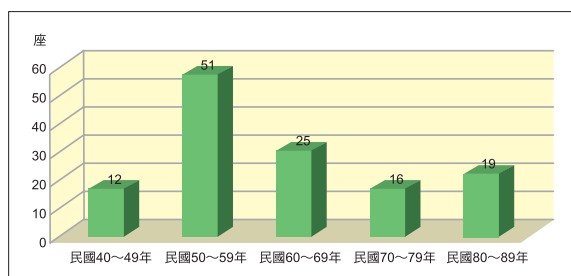


圖2 石門水庫集水區防砂壩興建時間分佈圖

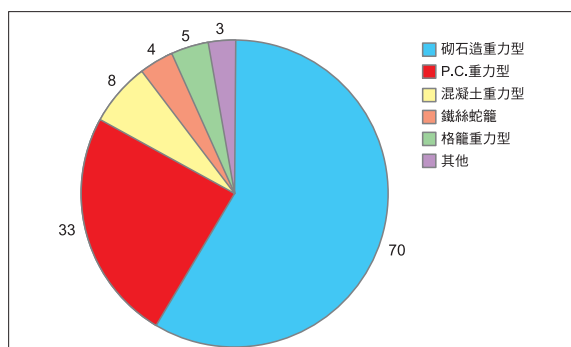


圖3 石門水庫集水區防砂壩壩類分佈圖

18座、森林開發處佔1座；民國65～70年石管局所興建的防砂壩有8座；民國71～80年石管局所興建的防砂壩有14座；民國81～88年石管局所興建的防砂壩有16座。其中70座屬於砌石造重力型，均為民國70年以前興建的防砂壩，33座屬於P.C.重力型，民國71年以後興建的除了榮華壩為拱壩外均屬之，如圖3所示。

(二) 壩體毀損分析

石門水庫集水區防砂壩，除了規劃中的秀巒二壩外，其它123個防砂壩中，到目前為止，流失不見的共有18個，佔總數之14.6%，壩體嚴重損壞無法發揮功能或僅留有部分遺址的有20座，佔總數之16.3%，二者共佔全部防砂壩近1/3的比例，餘下85個壩（佔總數之69.1%）則多少都有損壞。與民國65年及民國81年之調查結果相較之下，如圖4所示，仍然發揮作用的防砂壩並未產生太大變動，都維持在80座左右，於壩體數量上並沒有太大的改變。但損壞之壩體數，自民國81年至91年之間，從21座增加至38座，平均每年損失約1.7座，與民國65年至81年間平

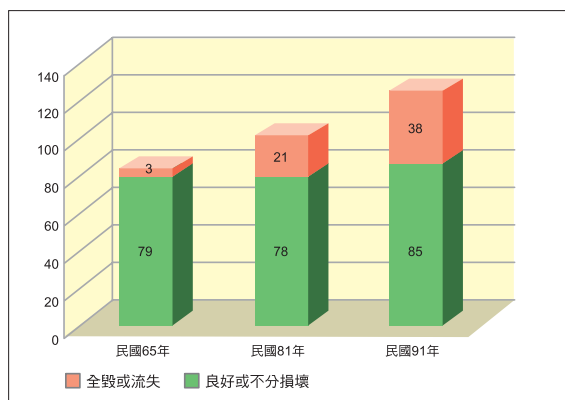


圖4 歷年防砂壩現況比較圖

均之1.125座，呈現成長的趨勢。

本研究進一步針對38座流失或已嚴重損壞（流失18座，損壞20座）之防砂壩來分析。其流失或已嚴重損壞數量與壩體良好或微損在各建造年度所佔比例，如圖5所示。數量上以民國50至59年間之17座為最多，比例上則以民國60至69年間損壞達52%為最高。

在流失或已嚴重損壞的壩體種類分析，如圖6所示。其中以砌石造重力型之比例最高，達26座，P.C.重力型佔5座居次，而鐵絲蛇籠佔4座再次之。各年度流失或已嚴重損壞的壩體種類分佈如圖7所示，其中砌石造重力型之壩體是以民國60至69年間興建的損壞最多，共12座，P.C.重力型則以民國70至79年間興建的損壞最多，共3座，而興建於民國50至59年間之鐵絲蛇籠壩及木格籠壩均已損壞，目前石門水庫集水區已無此種壩體存在。

本研究進一步針對已嚴重損壞的20座防砂壩中，依損壞的程度及類型可分類成3類：

第一類型

溢洪道沖毀，此類型有9座，沖毀位置均發生在溢洪道與壩翼連接處，應屬於初級沖毀之防砂壩，如霞雲溪一號防砂壩（21）、二層坪二號防砂壩（62）、高遶二號防砂壩（73）、溪口三號防砂壩（74）、穆亨二號防砂壩（75）、高干一號防砂壩（81）、霞雲七號防砂壩（91）、義盛九號防砂壩（94）、比亞溪三號防砂壩（99）等。

第二類型

壩體部分沖毀，此類型有6座，其防砂壩溢洪道幾已全部沖毀，但壩翼部分仍存

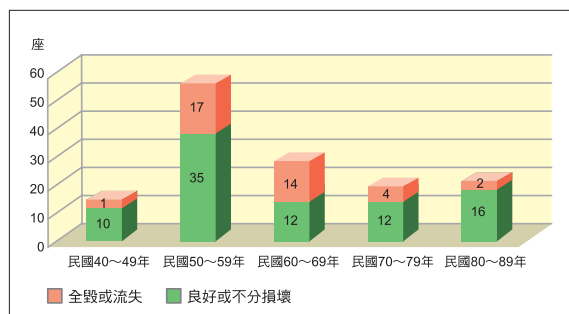


圖5 歷年防砂壩損壞比較圖

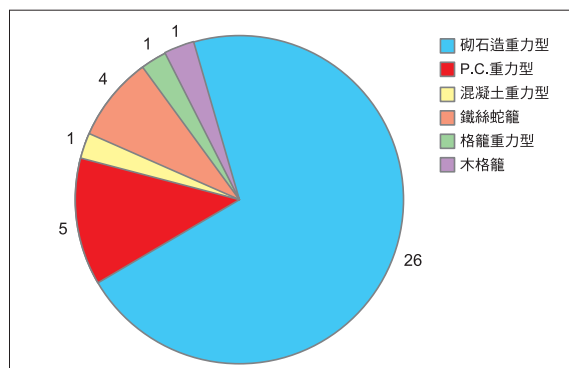


圖6 損壞之防砂壩壩類分佈圖

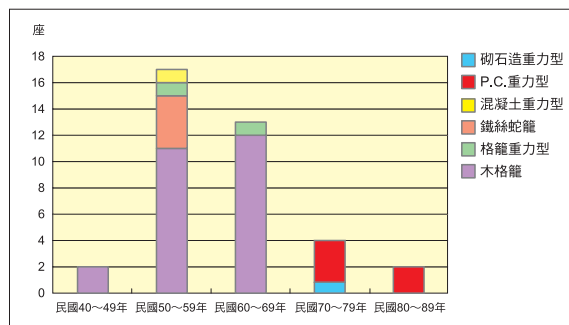


圖7 各年興建防砂壩損壞之壩類分佈圖

在，相較於第一類型屬於較後期之損壞現象，如水源溪二號防砂壩（34）、雨瀑溪二號防砂壩（76）、義盛溪七號防砂壩（83）、大曼二號防砂壩（86）、卡拉二號防砂壩（89）、宇內溪支流防砂壩（118）等。

第三類型

壩體全部沖毀，此類型有5座，其防砂壩幾已全部沖毀，僅留毀壞之遺跡或少部分連在河道之壩翼，在三種類型中應屬於最後



階段，如義盛溪一號防砂壩（15）、茄苳溪五號防砂壩（79）、霞雲溪六號防砂壩（80）、義盛溪六號防砂壩（82）、三光一號防砂壩（87）等均屬之。

雖然無法從損壞的情形直接判定其損壞的先後順序，但似乎溢洪道所在的壩體部位，因承受最大的衝擊，自然損壞性最高，但因此處結構與壩腳及護坦的關係密切，為避免損壞應需同時考量予以加強。

本研究另外針對85座尚屬良好之防砂壩分析其現況，顯示其中壩體下游面的情形均屬良好，但壩腳因護坦大部分均已沖毀損壞，許多壩體均呈不同程度之淘蝕現象；而溢洪道的磨損侵蝕現象則較為普遍，部分防砂壩侵蝕現象較為嚴重，均形成侵蝕缺口，壩體後方雖然均已淤滿砂石，但壩體可能會因刷深而無法維持太久，例如義盛溪四號防砂壩（69）、抬耀三號支流防砂壩（107）、泰平二號防砂壩（5）、卡拉三號防砂壩（104）、比亞溪四號防砂壩（100）等，副壩部分亦泰半被沖毀，而護岸問題大部分均屬淘刷，二者與護坦被沖毀應有很大的關係。壩翼部分則大部分均屬正常。

為了了解壩體在主支流的損壞情形，因此進一步比較分析。在主流上的壩體部分，義興壩（12）溢洪道呈現鋼筋裸露的情形，由於義興壩屬於混凝土及預力格籠重力型的構造，亟需儘快加以維護，避免壩體損壞，亦有可能危及下游義興電廠之運作。而巴陵壩（85）亦有溢洪道鋼筋裸露的情形出現，但該壩屬於扶臂式重力型，立即性的危險較

低，不若義興壩可能產生立即性的危險。秀巒一號壩（123）之主壩工程雖然剛完工不久，但其左右護岸均呈崩塌現象。

在支流的防砂壩部分，包含了許多壩體流失或嚴重毀損、或輕微毀損。其中如蘇樂溪、復興台地及二層坪溪等三處支流所在地，所有防砂壩均已消失或損壞，而該支流的防砂壩原有功能均已消失，應在重新檢討目前該溪環境是否有復建之需要。二層坪溪及溪口台現場均有工程施工，是否為替代功能，可一併予以考量。另三光溪（87）、溪口溪（74）及義盛溪（15）等三處支流，原先最下游之防砂壩均已消失或損壞，因位處匯入主流之最下游處，應在兼顧生態環境下，檢討其是否影響集水區之蓄水。

壩體損壞的因素相當多，數據中很難反映出其間奧秘，但對於整個集水區而言，興建新壩或者維護舊壩對於整體水土保持工作來說，仍然是一個值得探討的問題。

（三）淤積分析

除38座流失及嚴重毀損的防砂壩外，已尚失其功能。而在其他85個防砂壩中，本研究進一步探討其淤砂情形。就目前淤砂計算及評估，其中現況為已淤滿的佔有74座，只有11座尚未淤滿，對於水庫的影響可說是非常的大。而尚未淤滿且壩高高於十公尺以上的防砂壩有5座，分別是三光溪的西村二號、西村三號、西村四號防砂壩，大漢溪的榮華壩及剛興建的秀巒一號壩，仍能正常的發揮其功能。其中西村二號、西村三號及西村四號防砂壩，均自民國55年開始興建，至今都

還未淤滿，且上游砂石均屬細小顆粒，顯見該河段之穩定性甚佳。而榮華壩則屬於發電及攔砂二用之防砂壩，由於壩高達82公尺，據當地台電人員表示，在二年前北水局之淤砂測量中，當時淤砂約達壩高之一半，且呈45度角向上游延伸。其它的防砂壩均屬兼具防砂與取水功能，除了三民一號壩疑似被其他單位重新改建外，大部分所在位置之砂石粒徑均十分細小。

(四) 防砂壩管理探討

伴隨著經濟的發展國人對於用水量的需求上升，相對的水庫的興建需求也增加，為了防止水庫淤積及延長水庫的使用年限，防砂壩的興建也成為必備的設施之一。防砂壩的興建，其經費之龐大，動輒數百數千萬甚至於億元，這麼昂貴的土木工程如果沒有達到它的計畫目的或者使用年限，不僅是浪費公帑、更是白白浪費納稅人的血汗錢。

如表1與圖8所示為歷年興建防砂壩工程費用表，防砂壩的建造經費因應各時期的需求（經濟發展需求、防災需求）有逐年增加的情形，費用也隨著建造形狀、規模、時間、成本的考量大量使用混凝土，其費用也跟著上升。年代越後工程費越高，除工程規模因素外，經濟成長所導致的幣值變動亦是主要因素之一。表2及圖9所示為各類型防砂壩總建造經費，以拱壩、P.C.重力型及扶臂式重力型建造經費較高，需要上億之經費；其它的類型防砂壩總建造經費則較低。

當我們看到防砂壩的建造費用如此高，而台灣防砂壩的營運年限低，土地超限利用

表1 歷年興建防砂壩工程費用表

年份(民國)	工程費(元)	年份(民國)	工程費(元)
47	6,400	67	548,200,000
48	1,935,690	68	1,621,080
49	317,336	69	2,195,435
50	21,856	70	2,019,565
51	16,445	71	3,587,682
52	150,643	72	2,779,000
53	511,282	73	848,000
54	4,709,7707	74	5,542,000
55	10,962,107	75	7,072,800
56	458,990	76	1,795,000
57	922,403	77	4,438,000
58	512,000	78	4,720,000
59	193,000	79	7,160,000
60	1,133,869	80	4,585,000
61	2,110,600	82	9,120,000
62	122,343,000	83	76,086,000
63	1,308,300	84	5,220,000
64	531,000	85	4,918,824
65	1,076,723	86	57,700,000
66	1,027,268	87	17,720,000

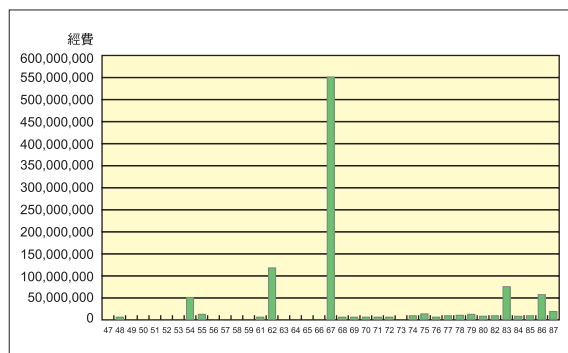


圖8 歷年興建防砂壩工程費用比較圖

也是縮短防砂壩體壽命主要元兇之一。造成土壤沖蝕的主要原因，亦是導致崩塌的因素。而集水區土地超限利用主發生在溫帶果



表2 各類防砂壩總建造經費

防砂壩種類	建總經費(元)
拱壩	548,200,000
P.C. 重力型	213,232,536
扶臂式重力型	121,463,000
砌石絀重力型	38,599,191
混凝土及預力格籠重力型	33,936,255
混凝土重力型	1,121,418
鐵絲蛇籠	756,820
格籠重力型	527,393
預力格籠型	323,000
木格籠	12,186

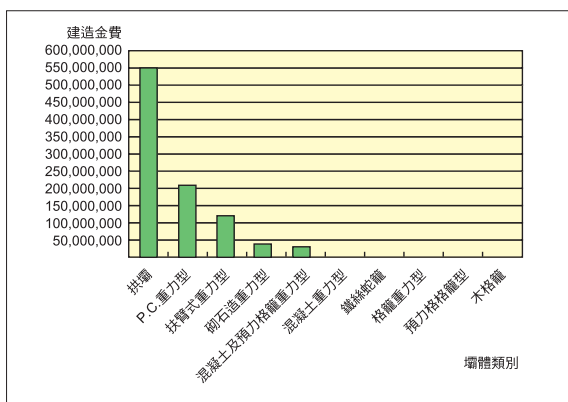


圖9 各類防砂壩總建造金費比較圖

樹區。所以此問題是相關當局應重視之事。

另外當一個構造物一開始使用就有維護上的問題，尤其使用年期一久，維護上的經費就會不斷上升，尤其是台灣因為河流湍急造成壩體損壞很大，破壞因素有，大雨或暴雨後河川砂石（包括因天然災害、施工與山坡地土壤流失所代入河川的砂石）沖刷動能極大，對於結構物的撞擊，造成損壞；河道經過數次暴雨沖刷，刷深了河道、掏空了壩腳使得壩體呈現不穩定的狀態，而導致於損壞與傾倒破壞失去功效，因此有必要對於這

些防砂壩予以處理，其方法有拆除結束營運，或是經過評估後損壞的防砂壩拆除後會影響到生態、水庫蓄水或者河道穩定者，就予以保留不做任何處理。此外對於現有營運壩體，必須定期做監測與調查，建立查核資料，對於受損的結構體應於防汛期前修復完成，以維護壩體的安全性與將來建造時的參考。

（五）本區防砂壩問題改善策略探討

因此針對上述之調查結果與分析，本研究進一步探討其問題之改善策略，說明如後：

1. 壩體損毀之重建與修繕

在主流壩部分，義興壩溢洪道呈現鋼筋裸露的情形，因其為混凝土及預力格籠重力型之構造，恐因而影響結構安全，而巴陵壩亦有溢洪道鋼筋裸露的情形，秀巒一號壩之左右護岸均有崩塌現象，都急需加以修繕維護；而支流壩部分，包括蘇樂溪、復興台地、二層坪等三處支流所在地，所有防砂壩均已消失或損壞，可考慮重建。但考慮重建前應檢討目前該溪環境是否影響集水區之蓄水，並同時考慮生態因素。另三光溪、義盛溪及溪口溪等三處支流，原最下游之防砂壩均已消失或損壞，因位處匯入主流之最下游處，應在兼顧生態環境下，檢討其是否影響集水區之蓄水。根據林、連（2004）所做的研究中提到，從水保局和林務局過去的調查中發現，除少數防砂壩體是因下游基礎保護工嚴重淘空、或外層混凝土被磨蝕切割、或兩側岸壁嵌入深度不足（或土質不佳）而造

成破壞、或施工品質問題之外，甚少是因壩體本身傾倒、滑動或基礎承载力等因素而破壞。由此可見結構體在過去的規劃設計上趨於保守，浪費許多材料，因此增加它的建造費用，這對於壩體權責單位未來建造壩體設計規劃時應審慎考量之問題，以達到物盡其用之目的。

2. 崩塌地管理

台灣地區集水區由於地勢陡峻、地質脆弱及夏季豪雨，自然山崩有7,810處之多，崩塌面積達一萬多公頃。依據各水庫淤砂調查的推估，每平方公尺每年土壤沖蝕量約為8.45公厘。可見台灣的土壤沖蝕嚴重。許多溪流中的壩體工程，有些屬於防砂壩，有些卻屬於崩塌地維護處理工程，但設計形式均相同，對於河川攔砂、崩塌地處理及生態而言，應有一整體性考量，建議未來對屬於崩塌地維護處理工程中、以防砂壩型態設計之設施也一併進行普查。除了硬體設施外，應積極收回與取締非法濫墾的山坡地，並種植適合當地的林種，以達到水土保持。此外，部分溪流出現其他單位興建的工程，暴露出各單位對於河川穩定維護工程及生態保育橫向溝通的不足，建議與集水區內可能進行壩體興建單位進行橫向溝通會議，以利整體水土保持工程及生態維護系統之掌握。

3. 清淤與減淤處理

秀巒二號壩規劃位於秀巒一號壩不遠處之上游，目前秀巒一號壩尚在施工中，當下游壩體未完全發揮功效前，不宜於上游不遠處再建新壩，除了因施工期間可能增加下游

壩體不穩定的因素外，就生態因素而言，在未充分了解壩體所衍生之生態衝擊之前，不宜再貿然興建新壩。另對壩高十公尺以上、已經淤滿的攔砂壩進行清淤計畫，俾以永續利用防砂壩的構想，由於清淤行為將再度造成河道的不穩定，且對不論是否有魚道設施之防砂壩，都將再影響魚類等生態之迴游，除非有良好配套措施，否則不宜貿然進行。對於減淤處理，於溪流兩岸應設置緩衝綠帶，減少兩岸水泥護堤的構築，以森林與樹木等自然的過濾與固土作用，來減少泥沙流入河道之中；或利用改良式壩體如防砂壩與透水柵共構（王、連、彭等，2004）的方式改善之。

4. 增設魚道及改建透水性（或梳子）型壩

防砂壩對生態影響最大的問題為生物洄游的阻隔，因此改善之策略為高壩低矮化或改建透水性型壩，但須考慮粗石巨礫之撞擊承载力，另對於已造成阻隔問題可增設魚道。目前集水區內具備魚道設施之玉峰壩，勘查時發現魚群循魚道逆流而上，顯示魚道設施已具初步成效，且本流域其他壩址之魚道增設有其必要性，因此建議對玉峰壩魚道設置的成效與本流域適合之魚道設計、水理環境與魚類溯河特性作進一步之評估，以作為其它攔砂壩未來設計之參考。另基於居住魚道附近之原住民同胞具備護魚的強烈意願及使命感，建議除了可配合管理單位之巡山週期定期予以監控生態設施外，可與當地警察機關及護魚團體聯繫，共同建立起魚道生態工程之監控機制。



四、結論

經由本研究之調查結果，獲致以下結論：

1. 目前石門水庫集水區123座攔砂壩中，僅剩85座攔砂壩仍發揮功能，其它38座攔砂壩均已流失或損壞。其中僅2座攔砂壩具備魚梯設施，1座攔砂壩具備類似魚道功能。
2. 85座仍在發揮功能攔砂壩之現況，壩體下游面均屬良好，但壩腳因護坦大部分均已沖毀損壞，呈不同程度之淘蝕，溢洪道的磨損侵蝕現象則較為普遍，副壩亦泰半被沖毀，護岸大部分之問題均屬淘刷，壩翼則大部分均屬正常。
3. 集水區內24座壩高十公尺以上攔砂壩，其中2座已經損壞，5座上游尚未淤滿，經河道邊坡穩定評估顯示，壩址所在位置附近河道邊坡僅12座呈現穩定狀態，其餘攔砂壩附近河道邊坡仍然十分不穩定。
4. 123座攔砂壩中，除了已有魚道設施之攔砂壩及部分攔砂壩因壩高較低、壩體流失或壩體損壞嚴重而不影響魚類、蝦類及蟹類之洄游外，其餘攔砂壩皆會影響阻礙洄游，顯見魚道增設之必要性。
5. 調查過程中發現許多防砂壩的壩體型態已經改變，如奎輝溪一、二及三號防砂壩均由原鐵絲蛇籠壩改為混凝土重力型，顯然

已經重新改建過，但何時改建卻很難查證，相關資料付之闕如，但若建立相關資料，除了可確實掌握壩體之功能維護外，亦能對設計及施工提出相關之建議及改善意見，尤其對於壩體損壞的原因鑑定更有一定的幫助，因此，建議維持定期之防砂壩體檢調查，最少在每年滿水期及枯水期各檢查一次，遇臨時災變時應隨時檢查紀錄，並依程序報告主管機關備查或核處（陳，1986），亦能針對各個壩建立未來維護之檔案資料。

6. 防砂壩的淤積來源，主要是集水區內崩塌地所產生，欲處理崩塌情形應邀集土木、地質、景觀、動植物專家學者共同研議進行評估及處理。
7. 為了因應國內砂石短缺，河川權責單位可經過評估過後適度開放，公開招標進行河川疏濬，有效配合提供砂石市場需求，使各項建設工程順利進行。也達到防砂壩清淤目的。

本文接受經濟部水利署北區水資源局「石門水庫集水區攔砂壩生態體檢調查計畫」補助，謹此致謝。🙏

參考文獻（請逕洽作者）

