

水庫集水區山坡地範圍土砂生產環境檢查評估-以曾文及 白河水庫為例

何幸娟^[1] 林伯勳^[2] 吳俊毅^[3*] 陳樹群^[4] 簡以達^[5] 蔡明發^[5]

摘 要 本文藉由水庫集水區土砂環境檢查評估作業流程，利用土砂災害發生危害度，探討對於水庫集水區土砂生產環境所形成威脅，用以評估水土保持需求性及進行治理成效追蹤；文中以曾文以及白河等兩座水庫集水區為案例示範區，並以莫拉克颱風災害事件做為治理工程之時間分界點，評估水庫集水區土砂生產環境變動；經分析顯示莫拉克颱風後之治理工作，使得坡面植生覆蓋皆持續復育中，唯土砂生產環境尚未完全恢復到莫拉克颱風前之狀況。為抑制具有潛勢土砂區域發生二次災害，故再進行野溪集水區之潛勢土砂分級，發現於山坡地範圍內，曾文水庫有 82 個、白河水庫有 71 個野溪集水區，需加強水土保持或持續監測，利於汛期進行土砂災害防治工作，以減緩水庫庫容淤積風險。

關鍵詞：土砂環境檢查、水庫集水區、潛勢土砂分級。

Sediment Environment Assessment for Reservoir Watershed – Case Studies of Tsengwen and Baihe Reservoirs in Taiwan

Hsing-Chuan Ho^[1] Bor-Shiun Lin^[2] Chun-Yi Wu^[3*] Su-Chin Chen^[4] Yi-Da Chien^[5]
Ming-Fa Tsai^[5]

ABSTRACT This study has completed the assessment of the sediment environment of the Tsengwen and Baihe Reservoirs and considers the factors of sediment-related disasters to evaluate the threat of sediment production and plan the requirements of soil and water conservation works for the reservoir watersheds. Case studies suggest the post-typhoon Morakot sediment environment of Tsengwen and Baihe reservoir watershed in 2013 has recovered well after remediation, but is comparatively less than pre-typhoon Morakot. Furthermore, in order to limit the occurrence of secondary disasters in disaster-prone creek watersheds, this study suggests a list of watersheds which require improvement to their sediment environments under the suggested potential sediment production classification. Consequently, there are 82 located in Tsengwen reservoir watershed, 71 located in Baihe reservoir watershed which still requires soil and water conservation works. These observations can serve as the basis for effectively managing reservoir watersheds, planning of disaster prevention works and reducing risk of rapid sedimentation in reservoirs during the flood season.

Key Words: *sediment environment assessment, reservoir watershed, potential sediment production classification.*

-
- [1] 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心副研究員
Associate Researcher, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Taipei 114
 - [2] 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心正研究員
Senior Researcher, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Taipei 114
 - [3] 國立中興大學國土資源保育中心助理研究員 (* 通訊作者 E-mail: cywu@alummi.nchu.edu.tw)
Assistant Research Fellow, National Land Resources Conservation Center, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan
 - [4] 國立中興大學農業暨自然資源學院院長
Dean, College of Agriculture and Natural Resources, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan
 - [5] 行政院農業委員會水土保持局
Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Nantou 540

一、前 言

有鑑於近年土砂災害規模面積廣、類型多、規模大，水庫集水區治理非傳統的工程手段治理方式可逐一解決，應以「集水區土砂生產環境檢查」概念規劃土砂防治策略，先評估水庫集水區土砂生產環境，經過評估再深切檢討不足之處進而補強。一個土砂環境良好的集水區，在水、砂環境等方面必須維持「經常性的均衡狀態」，但因每個集水區之地文條件非屬一致，故水、砂環境的表現亦有所不同；通常，適用性較佳之方法，則是評估該集水區在水源、水質及水量上是否維持「經常性的均衡狀態」，亦即集水區受外在因子影響(如降雨、地震)，於尋常狀態下土砂之產出結果，並無顯著差異，或者差異程度落於可接受限度內(水利署，2009、2010；陳樹群等人，2011；水保局，2013；何幸娟等人，2013)。過去常利用不同指標，評估工程措施之效益，惟因此等檢查方式鮮少對集水區進行整體評估；此外，對上游野溪子集水區進行評估時，常因部分指標不易取得，而必須以其他指標來取代，且各指標取得時間尺度不盡相同，導致評估標準不一致，無法適切反應某一水文條件下，集水區土砂生產環境狀態優劣。水保局(2013)透過易於量化以及取得，且能反應現況之土砂生產環境檢查指標，並全部皆採用實測資料(衛星影像)，作為計算依據，已使評估結果能貼近於現況環境。

基此，本文參考水保局(2013)建立水庫集水區土砂環境檢查評估流程與指標，先以水庫集水區為檢查單位，系統化整體檢視及監測水庫集水區水砂環境，評析上游集水區坡面與河道等產砂區域環境改變，再以境內野溪集水區為管理單元，篩出當年度野溪集水區潛勢土砂區域，供以後續評估處理對策參考。

二、土砂生產環境檢查指標

西元 1970 年代以前，集水區治理多針對個別局部問題，進以擬訂實施治理措施，未考慮這些治理措施對整個集水區生態、經濟與社會可能形成之衝擊。1980 年代以後，整體性的集水區治理觀念開始受到重視(Schramm, 1956、水利署，2010)，人們逐漸瞭解集水區內的人為活動或自然事件不僅對局部區域發生衝擊，而且可能由局部擴及整個集水區。由於集水區的構成因素十分複雜，因此，利用易於監測而且具有代表性的指標來反映其環境狀況，有助於事前發現集水區問題，並施以必要的治理措施。集水區的環境檢查等同於人體的健康檢查，可用如呼吸、脈搏、體溫、血液等易於直接測量的指標來評估現況(Maddock, 1999，示意如圖 1)，雖不同集水區與人類不同性別及年齡層一樣，於指標上表現程度會有不同，但「檢查指標」的差異並不大，且應搭配能滾動檢討的「檢查評估作業流程」進行標準化且系統性檢查評估，即早發現潛在問題，增加復育效率及減少改善成本。

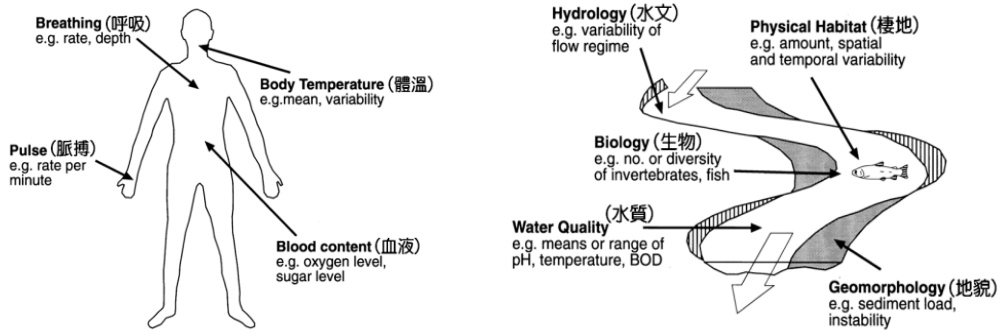


圖 1 集水區及人體檢查比較圖 (圖片修改自 Maddock,1999)

Fig.1 Comparison of assessment between watershed and human body (after Maddock,1999)

美國環保署曾以「狀況性」與「脆弱性」等兩大類指標，評估全國各集水區的健康狀況 (EPA, 2002)；其以狀況性指標反映現況集水區的水質狀況；脆弱性指標則用來反映可能對集水區健康形成損傷之人為活動。惟因各集水區有其組成特性，無法僅以單類指標來完整反映其狀況，而需依其具體條件與治理目標，來選擇適當的指標以評估其健康狀況及擬定治理方案。近年美國已分別開始進行降康指標建立，如 Portland (2005)利用「水文指標」、「棲地物理特性指標」、「水質指標」、「生物群落指標」、「人為活動指標」等，評估美國奧瑞岡波特蘭市集水區健康狀況與規劃治理措施。可見透過指標已可訂立相關標準，用以說明環境現況之健康程度優劣。陳樹群等人(2011)指出由集水區土砂保育健康診斷指標可用於協助擬定適當治理措施，因集水區治理計畫通常包含一組治理目的，每個治理目的對應一個或多個可量測具體治理目標，而每個治理目標則可用一組指標及其目標值來表示。若水庫集水區之治理目的為水資源之永續利用，其中一個治理目標為土砂保育，因此需利用一組土砂保育健康診斷指標來評估集水區土砂狀況。隨著集水區進行治理過程中，其指標量測值可與其目標值相互比較差異變化，以評估集水區土砂環境狀況是否已有效改善，據以調整治理方向。同時，其治理成效，亦可用各指標所預定階段性目標值反映優劣。依此，完整集水區土砂環境檢查指標建立方法，應具備「指標選定」、「參考值設定」、「目標值設定」等項目，分述如下。

1. 指標選定

集水區狀況的界定可分為自然因素(如氣象、地質、地形、土壤等)、集水區健康特性、人為活動等；由於土砂環境檢查指標係用來反映集水區的土砂環境狀況，具有「果」的意涵，而災害發生或人為活動則具有「因」的意涵；因此集水區土砂環境檢查指標，應含以下特性(陳樹群等人，2011)：

- (1) 指標與治理目的及治理目標之間應具有密切關聯性；
- (2) 指標應易於量測，而且能夠予以量化；
- (3) 指標需能反映集水區的產砂狀況；
- (4) 指標需能顯示外在因素與集水區反應的因果關係；
- (5) 指標對外在因素的變化應具有敏感性。

2. 參考值設定

由於土砂生產環境會受到自然因素影響，因此利用指標方式評估土砂生產環境穩定情況，需先將具代表性的指標變動範圍視為參考值，判斷與反映集水區土砂生產環境是否趨於惡化或屬於集水區受自然因素影響下正常容許變動。

3. 目標值設定

現況指標值即為指標之現況實測值，與參考值標值相互比對，可用以反映集水區受到自然因素影響引發集水區演變而導致土砂環境相對惡化或改變程度，供以評估集水區土砂生產環境是否有辦理水土保持措施之需求。

此外，造成集水區之水源、水質及水量上出現問題的原因，概分成地文狀況等內在條件、降雨和地震等外在環境、人為開發和維護狀況等後天影響，藉由不同問題的現象或徵兆來評估集水區是否有相對應之問題；舉例而言，土砂問題由集水區之土壤沖蝕量、崩塌量、含砂濃度等現象來評估，水文流量問題由集水區之比流量、降雨量等現象進行評估；而水質污染問題，則可由集水區懸浮固體濃度進行評估。陳樹群等人(2011)指出，集水區土砂流失問題為上游水土保持之保育治理重點；欲有效降低水庫高濁度現象及消弭供水危機，提升水庫水源涵養能力及減少庫淤，則需明確掌握集水區土砂供應來源及其量體，才得以解決集水區土砂災害演變次生問題，俾利妥善分配保育治理經費及進行優先整治方案擬定。因此，可以「逕流率」、「崩蝕深度」、「植生覆蓋率」、「含砂濃度」、「水質指標」等指標，評估集水區在水源、水質及產砂方面的狀況。水保局(2013)著重於土砂生產環境條件，考量集水區潛在地文因子中地表植生覆蓋程度、崩塌裸露面積及植生鬱閉度高低，與外在誘發因子強度大小(如降雨或地震)係為主控土砂流失之關鍵；惟因外在誘發因子強度大小無法以人為條件加以限制，因此，透過計算坡面產砂區域中崩塌裸露面積之崩壞比、地表植生覆蓋程度之植生覆蓋率以及覆

蓋與管理因子 C 值變動情況，瞭解坡面產砂區域之土砂生產環境特性。另一方面，在土砂輸送過程中，挾砂水流通過河道會造成河道寬度與深度改變；因此，河道指標可考量河幅平均寬度、河幅平均蜿蜒度，評估河道總沖淤積面積、河道平面型態之縱長彎曲度以及各河段排洪能力及土砂搬運的情形，並瞭解河道產砂區域之土砂生產環境特性。此外，由於集水區遭受颱風或豪雨等事件侵襲，坡面產出土砂將皆流入河道並聚集，且河道行水區常因豐水或枯水期間，其河道沖淤寬度會改變，河道評估指標需考量坡面供砂影響，不易獨立探討，大多使用對比方式，將整體集水區土砂生產來源分成坡面及河道等兩個產砂區域，建立「坡面」及「河道」土砂環境檢查指標(如表 1)，評估水庫集水區土砂生產環境

表 1 土砂環境檢查指標與計算方式(摘自 水保局，2013)

Table 1 Calculation method of sediment environment assessment index

應用指標	評估目的	計算方法	資料產製來源
崩壞比	評估集水區年崩塌裸露面積，反應坡面崩塌量多寡	崩壞比(%)=(崩塌地面積/集水區面積)×100%	衛星影像
坡面 植生覆蓋率	評估集水區植生所佔之比例，反應坡面保水能力及生態復育狀況	植生覆蓋率(%)=(集水區植生面積/集水區面積)×100%	衛星影像
覆蓋與管理因子(C) ^{註1}	評估植生鬱閉度，反應實地之土壤流失狀況	覆蓋管理因子(C)=[(1-NDVI)/2] ¹ +NDVI	衛星影像
河幅平均蜿蜒度	評估河道平面型態之縱長彎曲度，反應河道縱向穩定狀態	河幅平均蜿蜒度(%)=(左岸河幅長/左岸河幅直線長+右岸河幅長/右岸河幅直線長)/2×100%	衛星影像
河道 河幅平均沖淤寬度	評估河道沖刷淤積面積代表單位變動河幅寬度，反應橫向河道穩定狀態	河幅平均沖淤寬度(m)=河段沖淤面積(m ²)/長度(m)	衛星影像
供砂比	評估上游集水區出流點與主河道供砂狀況	供砂比=(坡面土壤沖蝕量+坡面崩塌量)×土砂遞移率 ^{註2} /年平均入庫砂量 ^{註3}	-

註 1：參考林文賜(2002)研究，利用 NDVI 值反向配置求取覆蓋與管理因子(C 值)，以考量植生鬱閉度之影響。

註 2：參考(陳樹群，2006)，土砂遞移率(SDR)=249.14A^{-0.316}。

註 3：年平均入庫砂量係指水庫原規劃設計年平均入庫砂量。

三、水庫集水區土砂環境檢查評估作業流程

水庫集水區土砂環境檢查，係以水庫集水區為檢查單元，探討水庫集水區蓄水範圍以上坡面土砂產出，對水庫集水區下游河道供砂影響，供以滾動式檢討水庫集水區水土保持需求，再進一步評析可能潛勢土砂區域。評估流程繪製如圖 2 所示，包含(1)資料蒐集；(2)指標選用；(3)指標計算；(4)指標評估；(5)改善追蹤；(6)後續對策等六大步驟。有關水庫集水區土砂環境檢查評估作業流程建置，以及指標選用背景說明，詳請參閱「水庫集水區環境資料及土砂災害風險評估(1/3)」(水保局，2013)。

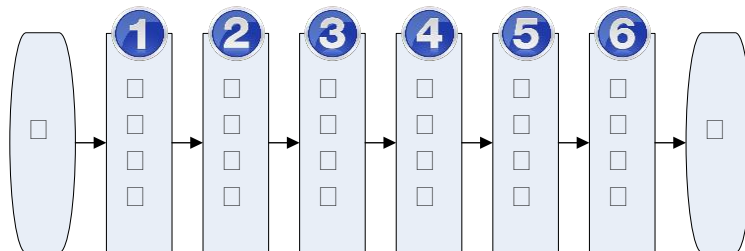


圖 2 水庫集水區土砂環境檢查評估流程

Fig.2 Procedure of sediment environment assessment for reservoir watershed

- 1.資料蒐集：集水區土砂生產環境檢查中坡面及河道評估指標，係以衛星影像為單一產製資料來源；因此需先蒐集多時期衛星影像資料，以確實反應代表事件前後之土砂生產環境改變程度。
- 2.指標選用：為針對水庫集水區土砂生產環境辦理詳盡診斷，因此採用指標須能代表整體水庫集水區土砂生產環境現況，包含坡面指標(崩壞比、植生覆蓋率、覆蓋與管理因子)，及河道指標(河幅平均沖淤寬度、河幅平均蜿蜒度)。
- 3.指標計算：坡面與河道檢查指標計算公式，彙整如表 1 所示。
- 4.指標評估：利用指標評估土砂生產環境變動情況，需先依水庫集水區代表事件前之影像資料，建立具代表性的指標變動範圍，即為代表事件前各指標之上、下限值；再計算代表事件發生後之指標值。藉由相互比對方式(如式 1)，瞭解指標值係介於『合理變動範圍』，或是『超出合理變動範圍，需檢算供砂比』，供以判斷與反映集水區土砂生產環境是否趨於惡化。

$$E_{down} \leq B_i \leq E_{up} \quad (1)$$

式中 E_{down} 為指標值合理變動範圍下限； E_{up} 為指標值合理變動範圍上限； B_i 為指標值。

- 5.改善追蹤：改善追蹤係透過觀察某一事件前後，土砂生產環境檢查指標所反應增減變化，並將兩者相互比較，藉以說明經治理後，集水區土砂生產環境是否有改善。
- 6.後續對策：依土砂環境檢查結果，於考量「當年度颱風後是否有全新新增崩塌地」、及「崩壞比是否超過合理變動範圍」等分級條件，依水庫集水區野溪潛勢土砂區域分級流程圖(如圖 3)，進行野溪集水區潛勢土砂分級，瞭解境內土砂生產環境變異空間位置及範圍分布，以列出需加強水土保持或持續監測區域，利於相關單位進行排序治理及保育治理規劃。有關潛勢土砂區域不同分級之處理對策與建議方式，彙整如表 2 所示。

綜以上述，為落實辦理水庫集水區土砂生產環境檢查，本文依擬定之水庫集水區土砂生產環境檢查評估作業流程與檢查指標，瞭解水庫集水區土砂生產環境，供以後續制定重點整治區域保育治理防砂策略，抑制土砂生產、減少河道下刷，提昇坡面及河道土砂穩定性。

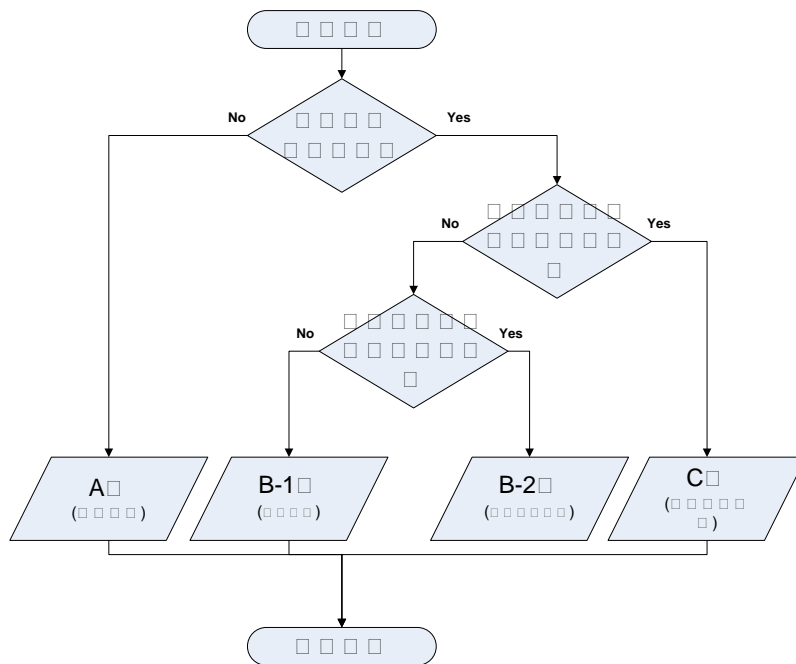


圖 3 水庫集水區野溪潛勢土砂區域分級流程圖

Fig.3 Procedure of potential sediment production classification

表 2 水庫集水區潛勢土砂區域不同分級之處理對策與建議方式

Table 2 Calculation method of sediment environment assessment index

潛勢土砂區域 分級結果	處理對策	建議方式
A	持續監測	A 級野溪集水區無全新新增崩塌地，考量自然復育並定期或於事件後，以衛星影像持續監測。
B	加強水土保持 (B-2) 或 持續監測(B-1)	1. 屬於 B 級且鄰近有聚落或土石流潛勢溪流之野溪集水區，建議須辦理現地調查，確認是否為土砂淤積嚴重影響保全對象者，供以研擬後續水土保持處理策略。 2. 屬於 B 級且鄰近無聚落或土石流潛勢溪流之野溪集水區之野溪集水區，建議須辦理現地調查，確認是否無繼續擴大崩塌沖蝕者；若無，則考量自然復育並定期或於事件後，以衛星影像持續監測。
C	加強水土保持	C 級為主要泥砂來源影響水庫壽命及安全者，建議須辦理現地調查並配合實際環境需求，研擬後續水土保持處理策略。

四、土砂環境檢查案例

經彙整曾文與白河水庫集水區歷史災害及水庫淤積趨勢發現，近 10 年內誘使前述兩座水庫集水區發生最大規模土砂災害，以民國 98 年莫拉克颱風為代表事件；可做為檢查指標評估時間分界點。本文依土砂生產環境檢查評估之六大步驟，分述曾文與白河水庫集水區土砂環境檢查成果；如后。

(1) 資料蒐集

曾文水庫集水區(如圖 4)位於嘉義縣大埔鄉曾文溪主流上游，集水區範圍內行政區域涵蓋嘉義縣、台南市、高雄市等，水庫總容量達 7 億方，為台灣地區容量最大水庫。另白河水庫集水區(如圖 4)範圍內行政區域涵蓋台南市與嘉義縣，主流白水溪(屬急水溪支流)，水庫總容量約 2,509 萬方。民國 98 年莫拉克颱風，長延時與高強度降雨誘使南臺灣地區發生規模慘重土砂災害；其中，曾文與白河水庫於莫拉克颱風過後，測得當年度庫容新增淤積量分別為 9,108 萬方及 131 萬方，遠大於兩座水庫之年設計淤積量；故該場颱風事件可視為南部地區近年土砂災害代表事件。由於集水區土砂生產環境檢查中坡面及河道評估指標，係以衛星影像為單一產製資料來源；因此，為能確實反應代表事件前後之土砂生產環境改變程度，本文採用影像資料如下：

- a. 代表事件前：採用民國 95 年、96 年、97 年、98 年等，共 4 期代表事前前衛星影像；計算各指標合理變動範圍。
- b. 代表事件後：採用民國 98 年莫拉克颱風後、99 年凡那比颱風後、100 年南瑪都颱風後、101 年天秤颱風後、102 年康芮颱風後、103 年麥德姆颱風後等，共 6 期衛星影像，計算各期事件發生後之指標值，藉以追蹤土砂環境變動程度。

(2) 指標選用

本文以崩塌比、植生覆蓋率、覆蓋與管理因子、河幅平均沖淤寬度、河幅平均蜿蜒度等，坡面與河道土砂環境檢查指標，進行曾文與白河水庫集水區土砂生產環境檢查。

(3) 指標計算

依據前述 10 期涵蓋曾文與白河水庫集水區之衛星影像，利用遙測技術進行崩塌地判釋、植生區域分類、河床裸露區邊界數化(視為河幅寬)，予以計算量化各項土砂生產環境檢查指標；計算結果繪製如圖 5 至圖 6 所示。此外，由於土砂生產外在驅力主要係以水文事件為主，故分別計算各期影像所對應之事件累積雨量(如圖 5 至圖 6)，做為土砂生產環境之水文背景參考。

(4) 指標評估

由圖 5 至圖 6 發現，莫拉克颱風後，曾文與白河水庫集水區有多項土砂生產環境檢查指標超出合理變動範圍，故須進一步計算供砂比，瞭解庫區入流點以上之野溪集水區，對主河道供砂情況。經計算後發現，莫拉克颱風事件後曾文與白河水庫集水區內，蓄水範圍以上之野溪集水區出流點對主河道供砂比分別為 1.82 及 1.13；顯示莫拉克颱風事件後，兩水庫集水區之土砂供應量皆超過水庫原規劃設計年平均入庫砂量，有立即辦理水土保持之需求。

(5) 改善追蹤

故為進一步追蹤兩水庫集水區經治理後土砂生產環境是否改善，本文續以崩壞比變化歷程，分別評估曾文與白河水庫集水區之土砂生產環境是否有逐漸復育。由評估結果發現，於莫拉克颱風後，曾文水庫集水區崩壞比為 3.09%；經多年期治理後，崩壞比逐年降低，於民國 103 年崩壞比已降低至 0.95%；且植生覆蓋率亦由莫拉克颱風後之 63%，逐年上升至 84.96%；整體而言曾文水庫經治理後，於 99 年至 103 年期間，於坡面崩塌規模有逐年呈現縮小且植生覆蓋面積擴增等趨勢，顯示水土保持措施已發揮原設計目標，土砂環境呈現穩定且持續復育中。另白河水庫集水區於莫拉克後至民國 100 年期間逐年增加，崩壞比分別為 0.97%、1.04%、1.11%；而植生覆蓋率指標於此期間表現，則由 51% 降至 49%，可見於民國 99 年至 100 年期間雖有水土保持治理工程投入，但治理工程規模相較於曾文水庫集水區少，故改善效果相對較不彰顯，直至 101 年至 102 年期間始有改善情況。

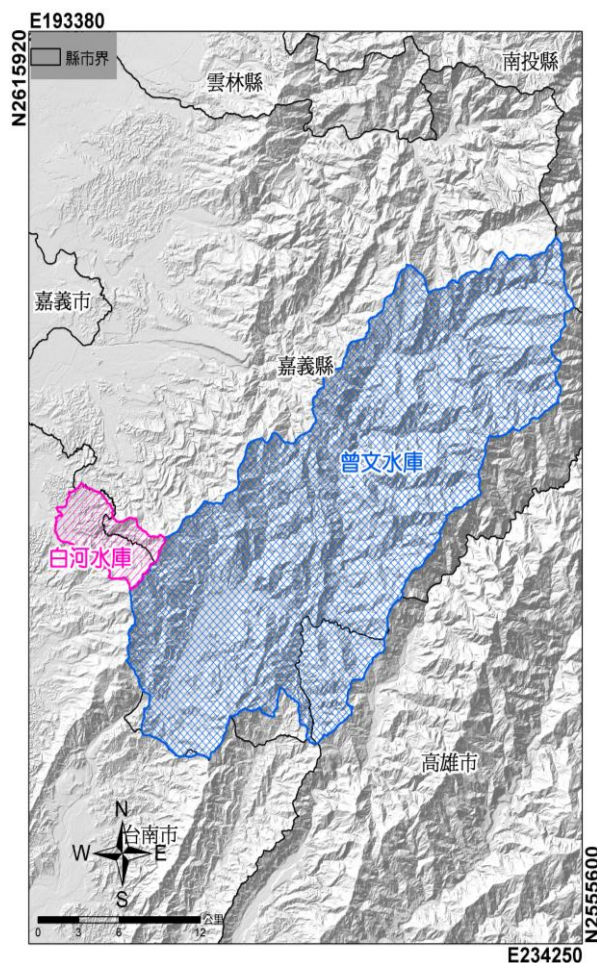


圖 4 曾文與白河水庫集水區空間分布圖

Fig.4 Geographer map of Tseng-Wen and Baihe reservoir watershed

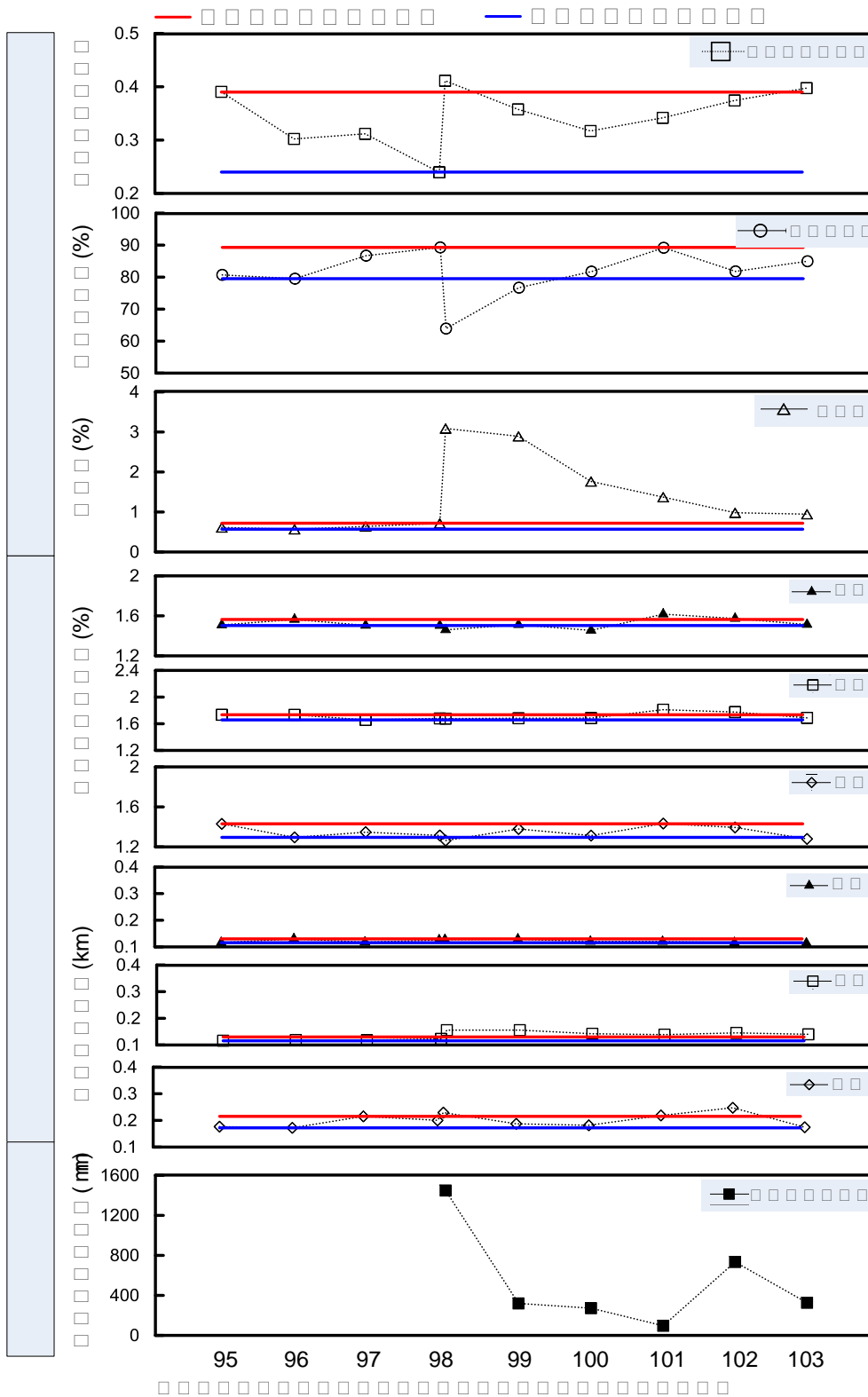


圖 5 曾文水庫集水區土砂環境指標計算結果圖

Fig.5 Graph of sediment environment assessment result of Tseng-Wen reservoir watershed

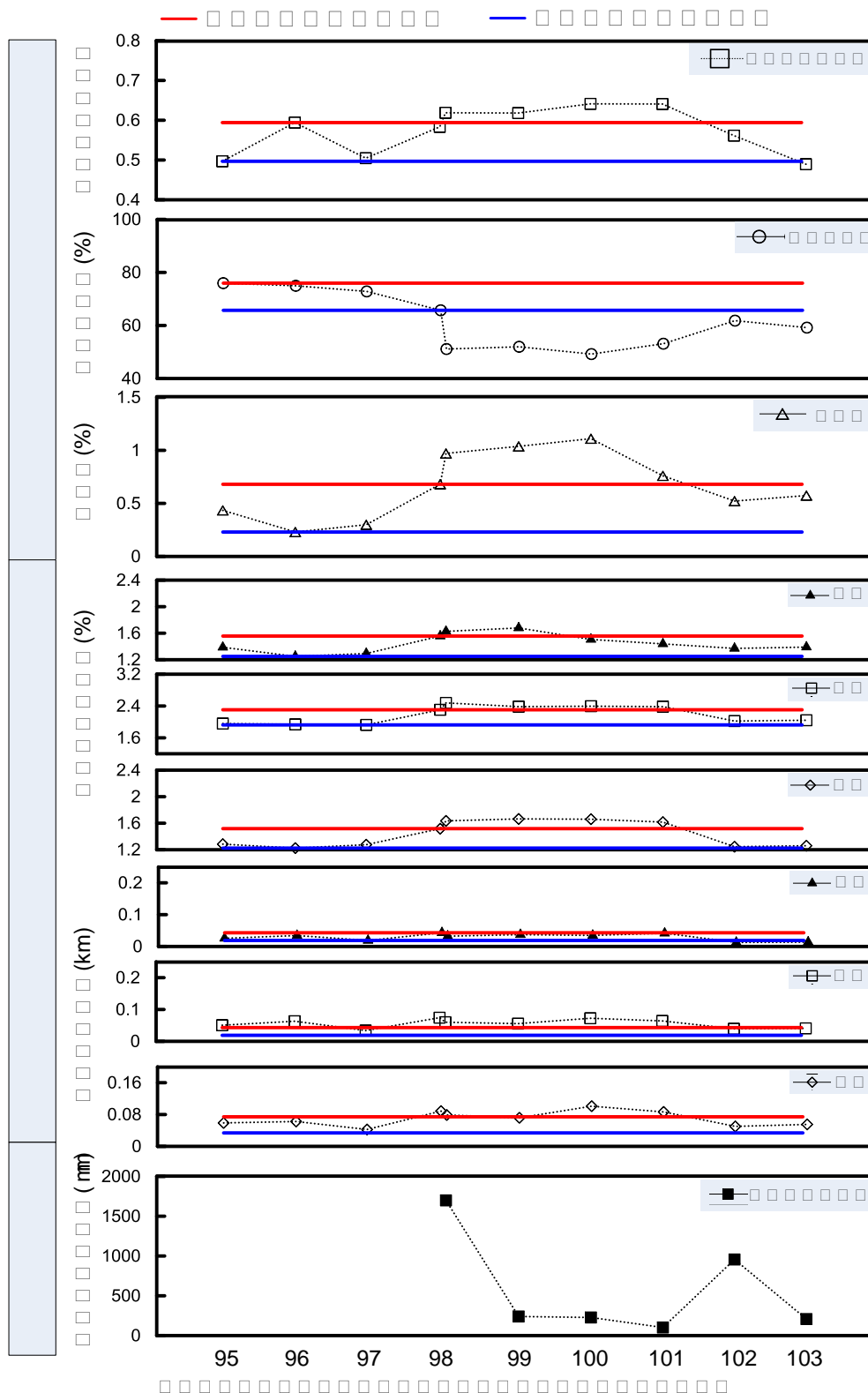


圖 6 白河水庫集水區土砂環境指標計算結果圖

Fig.6 Graph of sediment environment assessment result of Baihe reservoir watershed

(6) 處理對策

為避免具潛勢土砂區域發生二次災害，本文以水庫集水區境內，山坡地區域內之野溪集水區為管理單元，於考量「當年度颱風後是否有全新新增崩塌地」、及「崩壞比是否超過合理變動範圍」等分級條件，依水庫集水區野溪潛勢土砂區域分級流程圖，進行野溪集水區潛勢土砂分級，瞭解境內土砂環境變異空間位置及範圍分布，以列出需加強水土保持或持續監測區域，利於相關單位進行排序治理及保育治理規劃。由分級結果可知，曾文水庫集水區內，A 級野溪集水區共有 43 個；B 級野溪集水區共有 22 個；C 級野溪集水區共有 17 個；如圖 7 所示。白河水庫集水區內，A 級野溪集水區共有 56 個；B 級野溪集水區共有 8 個；C 級野溪集水區共有 7 個；如圖 7 所示。其中，若潛勢土砂區域分級屬 B 級，且鄰近有聚落或土石流潛勢溪流之野溪集水區，建議須辦理現地調查，確認是否為土砂淤積嚴重影響保全對象者，供以研擬後續水土保持處理策略。反之，若潛勢土砂區域分級屬 B 級，且鄰近無聚落或土石流潛勢溪流之野溪集水區之野溪集水區，建議須辦理現地調查，確認是否無繼續擴大崩塌沖蝕者；若無，則考量自然復育並定期或於事件後，以衛星影像持續監測。

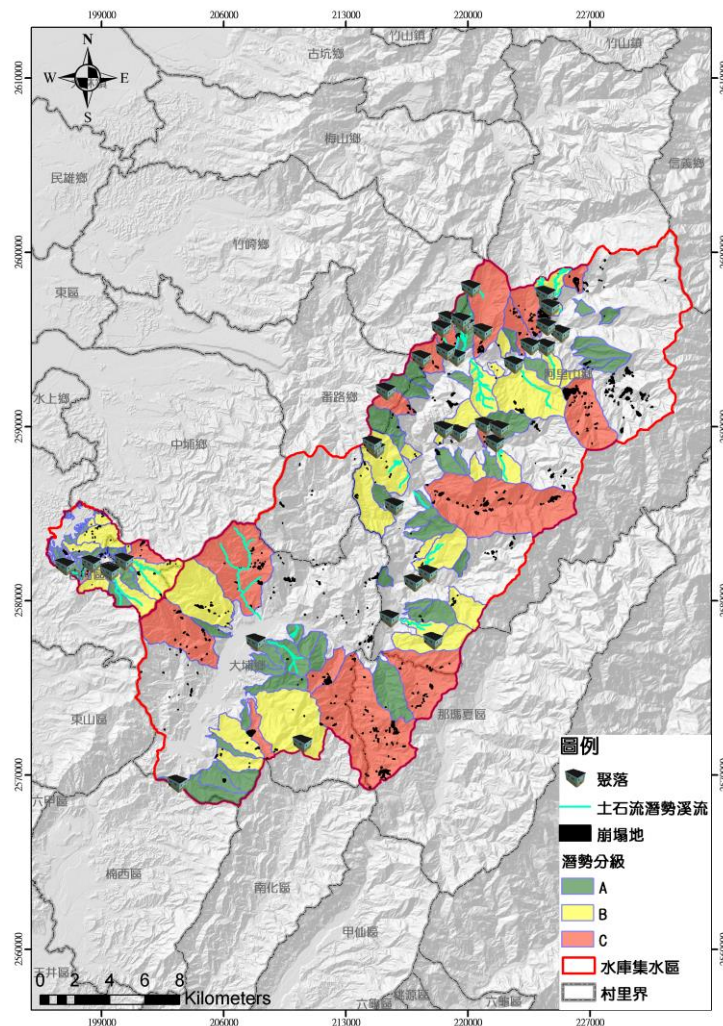


圖 7 曾文及白河水庫內潛勢土砂區域空間分布圖

Fig.7 Geographer map of potential sediment production area in Tseng-Wen and Baihe reservoir watershed

五、結論與建議

本文依水庫集水區土砂生產環境檢查評估作業步驟，運用易於量化、取得且能反應現況之水庫集水區土砂生產環境檢查指標，建立重要水庫集水區土砂環境檢查指標合理變動範圍；藉由實際操作及分析演練，從中瞭解水庫集水區遭遇問題、評估土砂環境變異與對下游主河道供砂影響，以評估現況環境。此外，除探討水庫集水區土砂生產環境外，再依災害面、環境面等面向，針對水庫集水區內，仍具有潛勢土砂區域，以野溪集水區為管理單元，進行層層分級，提供相關單位仍有水土保持需求區域之空間分布與處理對策。建議可依分級結果辦理現地調查，並配合實際環境需求，研擬相關處理對策與滾動檢討，以作為後續保育治理措施規劃、設計及階段性效益評估之參考，有效改善水庫集水區土砂環境。

參考文獻

1. Maddock, I. (1999), "The importance of physical habitat assessment for evaluating river health", *Freshwater Biology*, 41(2), pp. 373-392.
2. Portland (2005), "2005 Portland Watershed Management Plan -The Framework for Integrated Management of Watershed Health", Environmental Services, City of Portland, Oregon.
3. Schumm, S. (1956), "Evolution of drainage systems and slopes in badland at Perth Amboy", New Jersey, *Bulletin of Geological Society of America*, 67, pp. 597-646.
4. 水利署(2009), 「台北水源特定區土砂保育健康診斷模式建立及策略分析(1/2)」。
5. 水利署(2010), 「台北水源特定區土砂保育健康診斷模式建立及策略分析(2/2)」。
6. 水利署(2010), 「台北水源特定區土砂保育健康診斷模式建立及策略分析(2/2)」。
7. 水保局(2013), 「水庫集水區環境資料及土砂災害風險評估(1/3)」。
8. 何幸娟、林伯勳、蕭震洋、冀樹勇、吳俊毅、陳樹群、簡以達、蔡明發(2013), 「曾文水庫集水區莫拉克颱風災後環境健康檢查及診斷評估」, 102 年中華水土保持學會年會及學術研討會摘要集, 中興大學水土保持學系, 第 V-6 頁。
9. 吳東雄(2002), 「石門水庫永續指標之建立與研究」, 國立中央大學土木工程研究所碩士論文。
10. 林文賜(2002), 「水區空間資訊萃取及坡面泥砂產量推估之研究」, 國立中興大學水土保持學系研究所博士論文。
11. 陳樹群、吳俊毅、王文江、謝政道、周伯愷(2011), 「臺北水源特定區土砂保育健康診斷模式之建立」, 中華水土保持學報, 第 42 期, 第 3 卷, 第 207~218 頁。