

前瞻計畫縣市管河川及區域排水計畫成效分析

吳瑞鵬⁽¹⁾ 施嘉昌⁽²⁾ 李玠廷⁽³⁾

摘 要

水保局於縣市管河川及區域排水整體改善計畫內針對上游坡地水土保持辦理保育治理工作，民國 110-111 年治理工程，共計辦理 287 件治理工程，110 年度治理工程實際土砂控制成效為 66.6 萬立方公尺，可達預計量化指標(52 萬立方公尺)；111 年度治理工程實際土砂控制成效為 71.8 萬立方公尺，可達預計量化指標(69.4 萬立方公尺)，第三期(110~111 年度)治理工程合計控制土砂生產量達 138.4 萬立方公尺，達成率 114%。本研究於苗栗縣通霄鎮「通霄福龍里 2 鄰旁坑溝整治及淹水治理工程」架設水位流量監測站，由實際觀測降雨流量資料以水文模式進行水源涵養量評估該區每年可流出之體積為 3153.6m³/ha，並建立水源涵養量評估方法。挑選 6 處重點治理區域進行成效評估，坑內坑溪排水系統控制土砂量為 13.22 萬立方公尺，整治率 3%；曾文溪水系支流排水系統控制土砂量為 12.97 萬立方公尺，整治率 0.37%；冬山河排水系統控制土砂量為 1.55 萬立方公尺，整治率 8.6%；通霄溪排水系統控制土砂量為 4.99 萬立方公尺，整治率 1.47%；西湖溪排水系統控制土砂量為 1.24 萬立方公尺，整治率 0.29%；美濃地區排水系統控制土砂量為 7.16 萬立方公尺，整治率 0.17%。

(關鍵詞：控制土砂量、植生復育情形、水源涵養)

The overall effectiveness of the third phase of the overall improvement plan for river administered by county government and regional drainage in Forward-looking plan.

Jui-Peng Wu⁽¹⁾ Chia-Chang Shih⁽²⁾ Chieh-Ting Li⁽³⁾

Associate Group leader⁽¹⁾ Assistant engineer⁽²⁾ Assistant⁽³⁾ Water and Soil Conservation Bureau, Conservation Management Team, Slope Conservation Division, Nantou 540, Taiwan

(1)行政院農業委員會水土保持局保育治理組坡地保育科(通訊作者 e-mail: ppp78107@gmail.com)

(2)行政院農業委員會水土保持局保育治理組坡地保育科

(3)逢甲大學研究助理

ABSTRACT

SWCB handles conservation and management work for the water and soil conservation of upstream slopes in the overall improvement plan of county and city management of rivers and regional drainage. In the treatment project of the Republic of China in 110-111, a total of 287 treatment projects were processed. The actual soil and sand control effect in 110's treatment projects (controlling the production of soil and sand) was 666,000 cubic meters, which can reach the expected quantitative index (520,000 cubic meters). The actual soil and sand control effect in 111's treatment projects (controlling the production of soil and sand) was 718,000 cubic meters, which can reach the expected quantitative index (694,000 cubic meters). Achievement rate of 114%. Set up water level and flow monitoring station, The annual outflow volume is 3153.6m³/ha. Select 6 key governance areas for effectiveness evaluation. The amount of soil and sand controlled by the pit creek drainage system is 132,200 cubic meters, the remediation rate is 3%. The tributary drainage system of Zengwenxi Water System controls the amount of soil and sand to be 129,700 cubic meters, the remediation rate is 0.37%; The Dongshan River drainage system controls the amount of soil and sand to be 15,500 cubic meters, the remediation rate is 8.6%; The Tongxiao River drainage system controls the amount of soil and sand to be 49,900 cubic meters, the remediation rate is 1.47%; The Xihu River drainage system controls the amount of soil and sand to be 12,400 cubic meters, the remediation rate is 0.29%; The Meinong River drainage system controls the amount of soil and sand to be 71,600 cubic meters, the remediation rate is 0.17%.

(**Keywords** : Sediment Control, Vegetation Recovery, Water Conservation)

一、前言

面臨現今全球極端氣候影響下，土砂災害頻度及規模遽增，為能減緩國人在面臨大自然水砂相關災害時之損失，水保局辦理「縣市管河川及區域排水整體改善計畫」第3期特別預算(110-111年)，範圍包含相關直轄市、縣(市)管高淹水風險河川與排水系統流域與以水患改善為目的之相關山坡地水土資源

保育及治山防洪等工作，期以減輕土砂運移至河道，並防止下游河道淤積導致淹水之改善效益。

二、水源涵養之量體評估方法

透過野溪整治及崩塌地治理，目的是以控制土砂量減輕土砂運移至河道，並可防止下游河道淤積導致淹水情形，此外，溪流量的大小與集水區儲蓄量關係密切，儲蓄量多

(逕流抑制)則可提供更多或延長河川的基流量。為此，本計畫透過水文模式、監測及勘查等資料，以方法論分析控制土砂量與水源涵養之相互關係，並評估可抑制多少水量，以展示水保局計畫執行績效。

(一)重點治理集水區監測

選定 1 處重點治理集水區工程，於山坡地範圍內下游處選定控制點並建立水位或流量監測站，以蒐集治理前後之差異性比較。本研究建立架站挑選原則，選定「通霄福龍里 2 鄰旁坑溝整治及淹水治理工程」建立水位或流量監測站，以建立水源涵養之量體評估方法。

1、觀測情形：水位計設置於集水區出口，了解集水區出流情形。採用壓力式水位計，感應器設置於階梯式消能工的上游面，屬於控制斷面，可利用水土保持技術規範第 84 條曼寧公式推算流量與流速，如圖 1 所示。流速推估方法如下：

$$V=(1/n)R^{(2/3)} S^{(1/2)}$$

$$R=A/P$$

式中，S=水力波降，A=通水面積(m²)，V=流速(m/s)，n=曼寧糙度係數，P=潤周長，即與水接觸週邊之長度(m)，R=水力半徑(m)。其中，儀器架設位置的底寬為 2.6m，邊坡斜率為 0.1。



圖 1 觀測儀器布置示意圖

2、觀測結果：雨量、水位由 111 年 3 月 21 日開始監測，0526 豪雨期間水深開始上升，水深最大值為 76.4cm。0608 豪雨期間水深開始上升，水深最大值為 65.8cm。0903 豪雨期間水深開始上升，水深最大值為 74.6cm。

(二)透過監測站資料以水文模式進行水源涵養量評估

採用 HEC-HMS 水文模式進行水源涵養量體的估算，HEC-HMS 理論如下：

降雨－逕流簡單來說為降雨至地面後所造成的逕流，但過程其實相當複雜且不易分析，自然界的降雨逕流歷程如圖 2，近代水文觀念集水區視為一個系統，經過此一系統中，水文歷程之輸入為降水，而輸出則大部分為逕流，此即為水文集塊模式（Lumped Model），亦即所謂的「黑盒分析」。

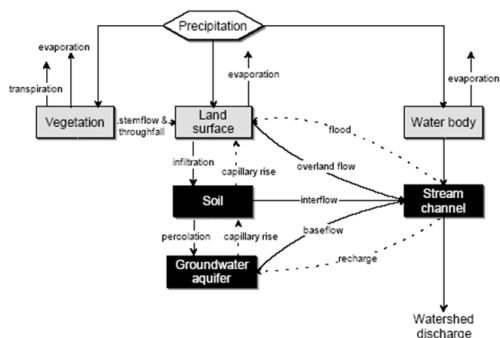


圖 2 自然界降雨逕流歷程

水文單元中之逕流量需針對模擬過程之降水損失、直接逕流轉換與基流量分別選擇適當方法，其可選擇之方法如表 1，選擇適合的降水損失模式是 HEC-HMS 輸入的關鍵步驟，並非所有的方法都可用以所有的轉換，如網格損失模式僅適用於以 ModClark 轉換。

表 1 HEC-HMS 主要單元之模擬方法

過程	模擬方法	方法
降水損失	初始與定率損失模式	
	不足與定率模式	
	SCS CN 損失模式	●
	網格 SCS CN 損失模式	
	Green 及 Ampt 損失模式	
	土壤潤濕計算模式	
直接逕流轉換	網格土壤潤濕計算模式	
	單位歷線法 (User-specified Unit Hydrograph)	
	瞬時單位歷線法 (Clark's Unit Hydrograph)	
	合成單位歷線法 (Snyder's Unit Hydrograph)	
	無因次單位歷線 (SCS Unit Hydrograph)	●
	S-歷線 (User-specified S-Graph)	
基流量	網格瞬時單位歷線法 (ModClark Method)	
	運動波法 (Kinematic Wave)	
	固定變化基流量 (Constant Mouthly)	
	線性水庫 (Linear Reservoir)	
	退水理論 (Recession)	●

1、模式檢定：依照 HEC-HMS 手冊，水源涵養能力模型在水文單元需有降水損失、直接逕流轉換及基流量三個模組的參數設定，模式參數各項設定如表 2 所示，說明如下：

表 2 HEC-HMS 參數設定表

集水區設定	集水區面積(km²)	0.367
	降雨損失方法(Loss Method)	SCS Curve Number
	傳輸方法(Transform Method)	SCS Unit Hydrograph
	基流量方法(Baseflow Method)	Recession
降水損失	CN 值(Curve Number)	66.2651
	不透水率%(Impervious)	13.8
傳輸	集流時間 min(Lag Time)	7.9
基流量	起始流量 cms/km²(Initial Discharge)	0.00367
	退水常數(Recession Constant)	0.75
	啟動型式(Threshold Type)	Ratio To Peak
	比例(Ratio)	0.1
雨量資料	起始日期(Start Date)	265 月 2022
	起始時間(Start Time)	16:30
	結束日期(End Date)	275 月 2022
	結束時間(End Time)	13:45
	時間間隔(Time Interval)	5 Minutes

1.降水損失：(1) CN 值：先得知集水區土壤分佈，由本計畫調查成，採用為 B 類土壤為代表，接續則對照不同土地利用，土地利用採用 109 年國土測繪中心資料，空間分佈如圖 2-16 所示，各色塊代表土地利用如所示，各土地利用對應如表 2-9，各有所代表之 CN 值，最後再以面積加權計算其 CN 值為 66.26。(2)不透水百分比：由土地利用範圍，整理表 2-10 中各不同土地利用各有其代表不透水率，面積平均加權法得 13.8%。

2.直接逕流轉換：直接逕流轉換採用 SCS 單位歷線法，模型中需輸入參數為集流時間，採用 Rizha 公式計算集流時間為 7.9 分鐘。

3.基流量：(1)初始流量：設定每單位面位的基流量，經測試，設定為 0.1cms/km²。(2)門檻值：當不降雨後，流量值在下降到流量歷線的 10%後即採用退水常數計算，故門檻值設定為 0.10。(3)退水常數 K：採用 0.75。

(三)水源涵養量體說明及建立效益評估方法

水源涵養量體主要在於地表植生之改變，而涵養之水源，透過 CN 值的改變，而計算出量體，故水源涵養之量體除能以 HEC-HMS 計算外，也可以前述率定之 HEC-HMS 模式計算之水源涵養量除以植生復育面積，得到單位面積下水源涵養量體，藉此可套入各工程之地表改變面積而計算出水源涵養量。

模式模擬結果，在山坡地水源涵養量體為平均貯水量 3153.6m³/ha/年，但目前僅由一處觀測記錄所推估而得，故此一直較適用區域為西湖溪集水區，與水利署及林務局所採用之 3600m³/ha/年比較，採用值較小，但山坡地較多人為開發行為下，不透水面積比例也較大，所以較小是為合理，後續仍需有更多觀測資料以進行分區之校驗。

三、重點治理區追蹤評估

追蹤評估重點治理區之土砂控制與野溪環境成效。

(一)重點治理區篩選

本研究將篩選 6 處重點治理區，進行縣市管河川及區域排水整體改善計畫之土砂控制、環境植生及整治率等成效評估，擬訂四項選定原則如下：(如表 3)

1.屬「前瞻基礎建設計畫」-水環境建設-縣市

管河川及區域排水整體改善計畫治理範圍，其含坡地水土資源保育治理工程。

2.其治理工程投入經費較高，且工程規模適於呈現整體成效之重點治理區。

3.治理工程具有坑溝整治、野溪治理或崩塌地整治等型態工程。

4.有過去土砂災害 UAV 照片或衛星影像可比較現植生復育情形。

表 3 重點治理區一覽表

項次	所屬分局	縣市	縣市管河川排水系統	前瞻計畫工程件數	經費(千元)	類別
1	台北分局	宜蘭縣	冬山河排水系統	3	19,100	區排
2	南投分局	南投縣	坑內坑排水	23	92,700	區排
3	台南分局	台南市	曾文溪水系支流排水系統	33	158,050	區排
4	台中分局	苗栗縣	通霄溪	12	55,100	河川
5	台南分局	高雄市	美濃地區排水系統	19	89,600	區排
6	台中分局	苗栗縣	西湖溪	5	15,200	河川

(二)環境植生

蒐集 1/50,000 地形圖或 1/5,000 相片基本圖，定量評析集水區綠色植物分布情形，並計算綠覆率，以評估治理工程對於環境影響之效益。本計畫以不同時期影像資料，應用

常態化差異植生指數(NDVI)定量評析集水區綠色植物分布情形，並計算綠覆率，以評估治理工程對於環境植生之效益，如圖 3。

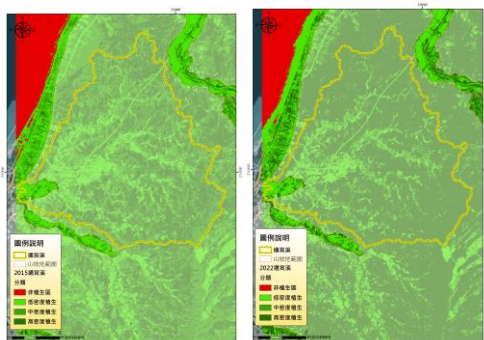


圖 3 植生覆蓋分析成果

(三)整治率

評估重點治理區潛在可能危害土砂量，並計算第三期計畫可控制之土砂量，據以求出整治率，並分析後續治理需求。

參考「集水區整體調查規劃工作參考手冊(水保局，99 年)」，係利用集水區崩塌地、裸露地及其他土地利用行為造成土砂流失量與規劃治理後集水區土砂流失量之改變，公式說明如下：

$$CRs(\%) = (S_{so} - S_s) / (S_{so} - S_{sp})$$

式中， S_{so} ：治理前集水區土砂生產量(崩塌土砂量及土壤沖蝕量)(m^3)； S_{sp} ：治理時所設定合理土砂排放量(運用遞移率公式估算)(m^3)； $S_{so} - S_s$ ：治理後土砂控制量(水患構造物土砂控制量)(m^3)。針對治理前集水區之泥砂生產量 S_{so} 、治理時所設定合理泥砂排放量 S_{sp} 及治理後現況泥砂生產量 S_s 之推估方式，詳述如下：

1.治理前集水區泥砂生產量 S_{so} ：集水區內崩塌土砂量多為颱風豪雨事件造成，故藉由航拍或衛星影像可判釋崩塌地區位，並參考 106 年水土保持手冊崩塌土砂量估算方式，推估崩塌地土砂量可以下式計算之，即 $V_l = D \times A_l$ 。式中， V_l ：崩塌土砂體積(m^3)； A_l ：崩塌地實際面積(斜面積)(m^2)，崩塌區位採用莫拉克颱風後圖資； D ：崩塌地平均崩塌厚度(m)

2.治理時所設定合理泥砂排放量 S_{sp} ：擬定治理時所設定合理泥砂排放量 S_{sp} ，合理泥砂排放量計算為集水區泥砂生產量與遞移率之乘積，其中集水區泥砂遞移率，近年來，研究泥砂遞移率的方法相當廣泛，大多數之研究方式乃以推求集水區泥砂遞移率(即 SDR)經驗式為主，其方程式都只適合區域性，此等方程式用來估測輸送率時均受集水面積、特性(起伏量、集水區長度、及分歧點比率)之限制，此外亦與泥砂來源、距離溪流之遠近、河系分佈及沖蝕土壤之質地有關。本計畫建議採用陳樹群等(88 年)所建立之土砂遞移率公式 $SDR(\%) = 165.67 \times A^{-0.24}$ 並依據集水區地文參數擬定治理時所設定合理泥砂排放量。

3.治理後集水區泥砂控制量 $S_{so} - S_s$ ：水土保持設施泥砂控制量主要為穩定溪床及復育崩塌裸露坡面，以抑止崩塌持續擴大、溪床持續淘刷與土砂過量下移，且防砂設施淤滿後仍具有防止土砂生產及調整溪床坡度降低土砂運移功能，故泥砂控制量係依據「前瞻基礎建設計畫」-縣市管河川及區域排水整體改善計畫，民國 110 年至 111 年間執行工程內容，推算防砂壩、潛壩、固床工、護岸、崩塌地處理及蝕溝控制等不同設施之治理後集水區泥砂控制量。

4. 土砂生產整治率評估結果：針對重點治理區進行 110-111 年度水保局縣市管河川及區排水計畫治理工程整治率計算，以重點治理區域內山坡地為主要評估範圍，土砂生產整治率評估結果如表 4。

表 4 土砂生產整治率評估結果

縣市管河川及區排	單位	坑內坑溪排水系統	曾文溪水系支流排水系統	美濃地區排水系統
控制土砂量 (Sso-Ss)	萬立方公尺	13.22	12.97	7.16
合理土砂排放量 Ssp	萬立方公尺	84.41	444.99	716.06
SDR(%)	%	16.59	11.76	14.56
治理前土砂生產量(Sso)	萬立方公尺	508.80	3,783.89	4,916.97
土砂生產整治率(CRs)	%	3.01	0.37	0.17
山坡地植生面積(ha)	公頃	14,086.20	57,420.81	20,199.80
山坡地裸露面積	公頃	508.80	3,783.89	4,916.97
山坡地面積	公頃	14,595.00	61,204.70	25,116.77
山坡地綠覆率(%)	%	96.51	93.82	80.42
山坡地崩塌率(%)	%	3.49	6.18	19.58

四、第三期(110~111 年度)治理工程績效評估

依據水保局「前瞻計畫縣市管河川及區域排水整體改善計畫」第三期(110~111 年度)治理工程進行工程績效評估，內容包括工程治理前後照片比對分析、土砂控制成效水源涵養成效評估、現場調查植生復育情形估算，以提供相關治理成效成果展示等。

(一)土砂控制成效

以個案工程為單位，蒐集工程相關資料，以施作防砂工程構造物尺度及其影響範圍，並推算防砂設施控制土砂下移量。水土保持野溪防砂工程之防砂機能，旨在抑制野溪土砂大量生產，加速溪流穩定，降低野溪斷面與坡降之激烈沖淤變動。當遇有颱風豪

雨事件作用而產出大量土砂流出集水區時，水土保持野溪防砂工程不僅可以發揮減緩土砂生產量體，同時也起著調節溪流水流攜出土砂量體之功能，以避免引發下游溪流底床土砂之強烈沖淤變化；這表明，水土保持野溪防砂工程對溪流運移土砂具有防砂、調砂機能。因此，為推估各項防砂工程之土砂控制量(註：土砂控制量係指防砂工程可防止影響範圍內之土砂流失量)，因與構造物尺度直接相關，故通常採用構造物外觀尺寸及其影響範圍內兩岸邊坡和溪床等相關參數進行估算。

1. 防砂壩防砂量推估公式：
 $S_{SD}=559.77 \times h_s^2 \times B^{0.34}$ 。式中 S_{SD} =防砂壩防砂量(m³)； h_s =有效壩高(m)； B =有效壩長(m)。

2. 護岸防砂量推估公式：
 $S_R=L_R \times 60.423 \times e^{0.504 H_R}$ 。式中， S_R =護岸防砂量(m³)； L_R 護岸總長度(m)； H_R =護岸有效高度(m)。

3. 固床工防砂量推估公式：
 $S_S=1.74 \times d_{50} \times L_S \times B$ 。式中， S_S =固床工防砂量(m³)； d_{50} =渠道底質 50%過篩之粒徑(m)； L_S =固床工縱向影響範圍； B =溪流平均寬度。

4.防砂設施成效估算：即上述三者相加，如下式計算： $S_C=S_{SD}+S_R+S_S$

本研究以工程案件(110-111 年度縣市管河川及區排治理工程)及集水區(6 處重點治理區)為分析單元，進行土砂控制成效分析。經分析，110 年度辦理治理工程共計 137 件，總計土砂控制量為 66.6 萬立方公尺，可達預

期量化指標(52 萬立方公尺)；111 年度辦理治理工程共計 148 件，可控制土砂量可達 71.8 萬立方公尺，超出本計畫第 3 期(111 年度)預計控制土砂生產量 69.4 萬立方公尺之目標；第三期(110~111 年度)治理工程合計控制土砂生產量達 138.4 萬立方公尺，達成率達 114%，以冬山河排水系統為例如表 5、圖 4。

表 5 土砂生產整治率評估結果

編號	年度	工程名稱	預算額度 (千元)	土砂控制量 (萬 m3)
1	110	牛稠坑溪護岸 災害防治工程	3,600	0.21
2	110	新寮橋上游 防砂壩 災害防治工程	3,500	0.19
3	111	安平坑溪野溪 治理工程	12,000	1.15
總計		3	19,100	1.55



圖 4 治理工程分布圖(冬山河排水系統)

(二)植生復育情形紀錄

針對第三期已完工工程，現場調查治理後工程之植生復育情形。因坡面或野溪治理工程施作後，對集水區環境產生穩定之效果。以相機或無人載具(UAV)拍攝至少 100 件治理工程，可快速有效掌握潛在危險的區域之狀況，透過創新的航拍流程與新的測繪技術，能大幅提升航拍技術的效能。如圖 5。

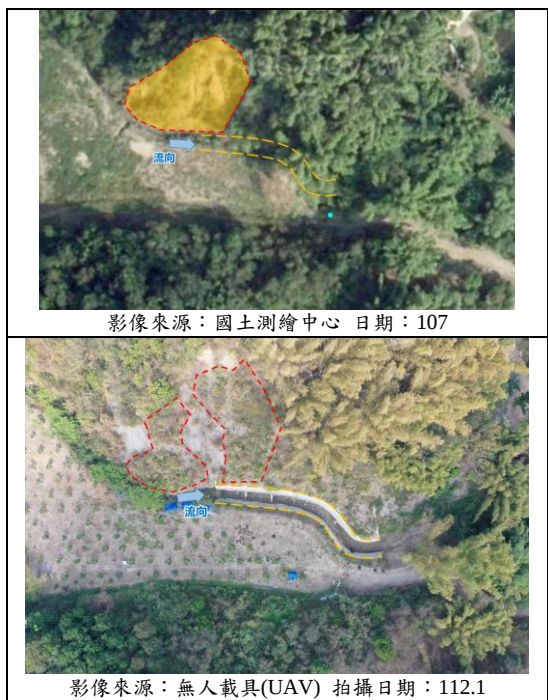


圖 5 植生復育比對成果

(三)水源涵養成效

除了防砂工程外，減少集水區地表逕流量，提高水源涵養功能，亦屬國有林班地工程治理之重要效益之一。集水區直接逕流(direct runoff)為地表逕流(surface runoff)及中間流(interflow)之合稱，即為降水扣除截流、窪蓄、蒸發(散)及入滲等水文損失量，在坡面地表逕流及河道流路分明之水量。而工程措施改變地文條件，使逕流型態發生變化，如地表逕流之集中程度下降及中間流之逕流量降低，便能分擔逕流之作用，確實可達水庫上游集水區治理之水源涵養成效。有關本研究評估治理區之水源涵養成效如表 6 所示。

表6 重點治理區水源涵養成效分析成果

項次	重點治理區	治理工程件數(件)	植生復育面積(公頃)	平均貯水量(立方公尺/公頃)	水源涵養量(立方公尺)
1	冬山河排水系統	3	1.62	3,153.6	5,103
2	坑內坑溪排水系統	23	13.85	3,153.6	43,688
3	曾文溪水系支流排水系統	31	13.57	3,153.6	42,789
4	通霄溪排水系統	12	5.23	3,153.6	16,492
5	西湖溪排水系統	5	1.30	3,153.6	4,085

五、結論與建議

- 1.依據縣市管河川及區域排水整體改善計畫範圍，蒐集並探討前期計畫成效指標包含土砂控制量、保護面積、人口數、整治率及年計防砂效益，建立本研究成效指標為土砂控制、水源涵養、環境植生、整治率及益本比。
- 2.110 年度縣市管河川及區域排水整體改善計畫治理工程共計辦理共 137 件，實際控制土砂生產量 55.6 萬立方公尺，可達預計量化指標(52 萬立方公尺)，以減輕下移至河道土砂量，防止河道淤積，達到確保土壤資源與水資源永續利用支目標。
- 3.因範圍遍及全台且經費有限，且各單位集水區範圍不一致，建議針對河川及區排範圍跨單位統整，更能完成整體規劃治理，有效降低山坡地土砂災害之風險。
- 4.建議後續可納入生態思維，以植生復育納入整體整治率考量。
- 5.經本研究植生復育情形紀錄，因多數工程為剛完工，周邊因工程施作稍微擾動之裸露地皆有覆蓋稻草蓆，後續建議進行植生復育

情形追蹤評估，更能顯示工程經治理後，河床逐漸趨於穩定，坡面崩塌、裸露逐漸恢復植生情形，以利後續展示治理工程周遭植生復育之成效。

誌謝

本研究為『前瞻計畫縣市管河川及區域排水整體改善計畫第三期整體成效調查』研究計畫之部分成果，前揭計畫承蒙行政院農業委員會水土保持局經費支持，研究過程蒙水土保持局保育治理組黃組長振全、坡地保育科吳科長瑞鵬及多位委員先進等不吝提供諸多指正與協助，謹致謝忱。

參考文獻

1. 吳士民(2007),「系統動力學應用於水庫集水區治理規劃之評估」。
2. 行政院農委會水土保持局(2010),「集水區整體調查規劃工作參考手冊」。
3. 行政院農委會水土保持局(2014),「水土保持技術規範」。
4. 行政院農委會水土保持局(2015),「治山防洪分級制度與年計效益評析」。
5. 行政院農委會水土保持局(2017),「水土保持手冊」。
6. 行政院農委會水土保持局(2017),「縣市管河川及區域排水整體改善計畫一因應氣候變遷加速坡地水土資源保育(106-107 年)」。
7. 陳樹群、賴益成(1999),「河川與集水區

水土保持學報53(2) : 3155 – 3164 (2023)

Journal of Soil and Water Conservation , 53 (2) : 3155 – 3164 (2023)

泥砂遞移率之推估研究」，中華水土保持學報(30 卷 1 期)。

8. 經濟部水利署(2011)，「流域地貌變遷對河床演變之影響總報告」。

112 年 05 月 22 日收稿

112 年 05 月 29 日修改

112 年 07 月 12 日接受