

集水區土砂流失、模擬及預報分析 —以石門水庫集水區為例

林書豪¹ 傅桂霖² 蔡明發³ 林琮文⁴ 蔡易達⁵ 連惠邦⁶

【摘要】本研究不僅引用高精度立體地圖判釋水庫集水區土砂來源之潛感區位分布，使土砂主要來源得以掌握，更能夠有效率地導入保育治理措施於需治理區位，有效地抑止並降低入庫土砂量；同時，以集水區土砂運移物理模型結合河道一維動床數值模式(CCHE1D)，建立了水庫集水區不同降雨量條件下(含極端降雨)之土砂生產量公式，並據以導出入庫土砂量之預報模式，讓集水區保育治理措施與入庫土砂量之間得以具體量化的關係表示。此外，本研究應用水庫歷年土砂淤積測量資料，以單位降雨量於集水區所生產之總土砂量為評量指標時發現，隨著歷年集水區保育治理措施的導入，該指標呈現逐年下降之趨勢，顯示各種保育治理措施已發揮了保土蓄水之功能，可以抵禦較大的降雨動能而生產較少的土砂。

【關鍵詞】高精度立體地圖、數值模擬、入庫土砂量預報模型

THE RESEARCH OF THE MONITORING, SIMULATION AND FORECAST ANALYSIS OF SOIL LOSS FOR SHIHMEN RESERVOIR WATERSHED

S.H. Lin G.L.Fu M.F. Cai C.W. Lin Y.D. Cai H.P. Lian

【Abstract】 This project planning not only uses the high accuracy three-dimensional map for the first time to interpret the distribution of the latent location of the source of sand, so that the main sources of soil and sand can be grasped and effectively managed, effectively restraining and reducing the amount of sand into the reservoir. At the same time, CCHE1D, the for-mula of soil and sand production under different rainfall

¹逢甲大學營建及防災研究中心專案工程師(通訊作者：linsh@mail.fcu.edu.tw)

²水土保持局保育治理組組長

³水土保持局保育治理組水庫保育科科長

⁴水土保持局保育治理組水庫保育科工程師

⁵逢甲大學土木及水利工程博士班研究生

⁶逢甲大學水利工程與資源保育學系教授兼任逢甲大學營建及防災研究中心主任

conditions is established, and the forecasting model of the imported sand is derived, which can be expressed quantitatively. This is an important progress in the prediction of soil and sand production.

In addition, the project uses the soil sediment accumulation measurement data of the reservoirs in the past years. When the total soil and sand produced by the unit rainfall in the catchment area is taken as an index, it is found that, with the introduction of conservation measures, The trend of decline shows that various conservation measures have played a function of soil and water conservation, can withstand greater rainfall kinetic energy and produce less soil sand.

【Key words】 high - precision three - dimensional map , numerical simulation , reservoir entry sand prediction model

I、前言

水庫濁度及泥砂淤積問題一直是水資源利用之重大議題，亦為水庫集水區保育治理之首要課題之一。為了有效降低水庫之泥砂淤積、濁度上升及延長水庫使用壽命，水土保持局已於上游集水區實施大規模之保育治理措施，雖已收減淤降濁之成效，惟未深入探討降雨、逕流、保育治理措施及入庫泥砂量體等多變量間之量化關係，以及欠缺高精度 LiDar 立體圖資及其相應之數值模擬分析技術，難以在既有保育治理設施之條件下，預測降雨和集水區土砂流失間的關聯性，以作為後續保育治理實施強度之依據。因此，為正確尋找後續保育治理及設施維護之作為，以石門水庫為研究區，製作降雨事件前、後 LiDar 高精度立體圖資，研判區內各種土砂流失潛感區分布及其現況治理成效，同時建立降雨、逕流、保育治理措施及入庫泥砂量體等多變量模式，推估及預報各重現期距降雨條件下之入庫泥砂量，以作為水庫保育治理與減淤降濁成效之參採。

II、研究方法

本研究進行石門水庫集水區之基礎資料分析，選定重點研究區域，製作高精度立體地圖、現地調查及監測，依據上述資料建立產砂分析模式(集水區土砂收支模式)，並推估現況各降雨條件及工程預案分析，求得其工程效益，最後推估全石門水庫集水區之土砂流失、生產、入庫及水庫淤積量，研究流程如圖 1 所示。

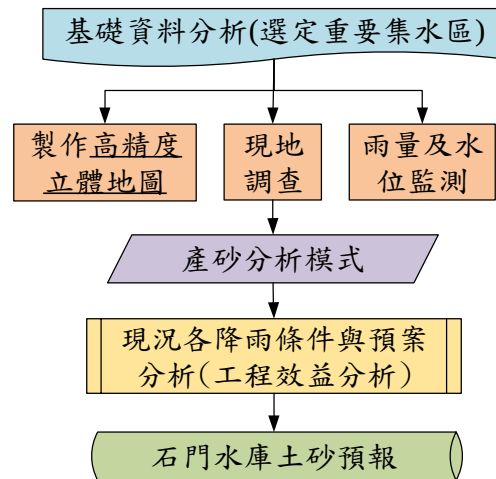


圖 1 研究流程圖

Fig.1 Research flow chart

III、研究成果

(I)基本資料蒐集及彙整分析

在土壤侵蝕理論中，土壤侵蝕量、土壤流失量及土砂生產量是一組概念完全不同的術語。土壤侵蝕量(尤指水力侵蝕量)係指在外營力(雨滴或逕流)作用下，坡面土壤分離位移的總量，而土壤侵蝕量中被輸移離開某一特定坡面或田面的數量，稱為土壤流失量(soil loss)；土砂生產量(sediment yield)則是指遷移至某一流域或集水區特定出口斷面的土壤流失量，如圖 2 所示。例如，大部分坡面具有地形的不規則性，使侵蝕和沉積同時存在，於是在坡面選定點的侵蝕量往往不同於此坡面基部的土壤流失量。由於侵蝕物質在搬運過程中不能避免地有沉積發生，在一般情況下侵蝕量與流失量是不相等的。在田面邊界和水路邊緣則有更多的土壤沉積，因此減少了集水區的土砂生產量。

- 1.重要集水區：本研究選定石門水庫集水區之3處獨立野溪集水區「匹亞溪」集水區、「蘇樂溪」集水區及「砂崙仔溪」集水區作為重點研究區域，分布如圖3所示。
- 2.土砂流失分析：將歷年崩塌資料進行分析，結果顯示全石門水庫集水區之土砂流失皆以颱風事件為主要因素，土砂來源及分布以林班地為主(林班事業區)，水土保持局轄管之山坡地占一成左右，土砂來源與河道距離，以近河岸(200m以內)為主，達七成以上，如圖4所示。
3. 歷年治理抑制成效：水土保持局之歷年治理工程與石門水庫淤積量進行交叉

分析，並考量單位降雨能量，呈現逐年下降趨勢，表徵水土保持局之治理有著明顯成效，如圖5所示。

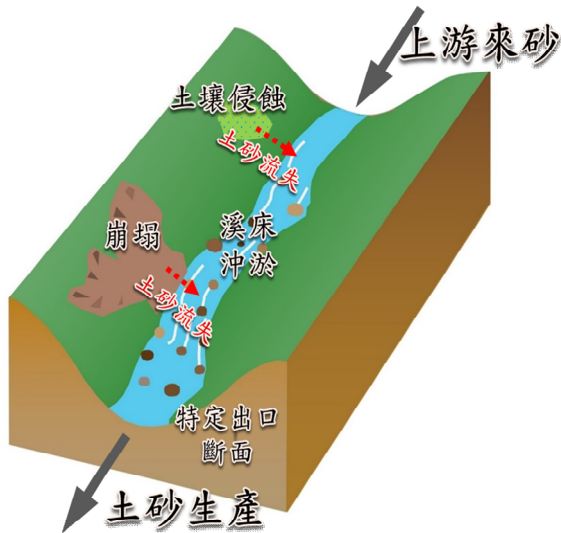


圖 2 集水區土壤流失及生產示意圖

Fig.2 Sediment budget in watersheds

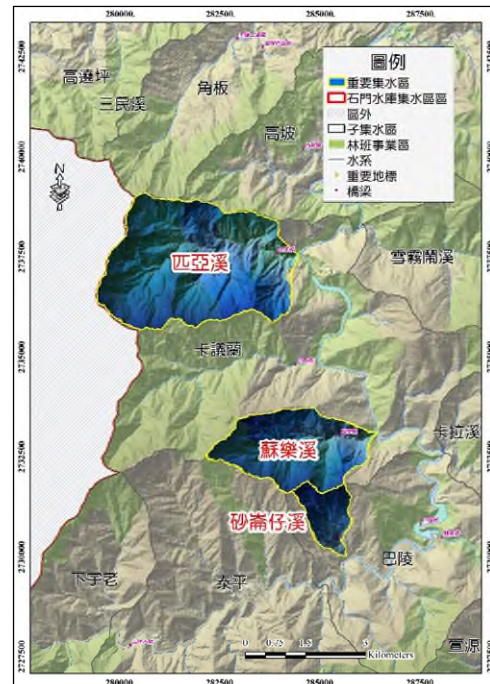
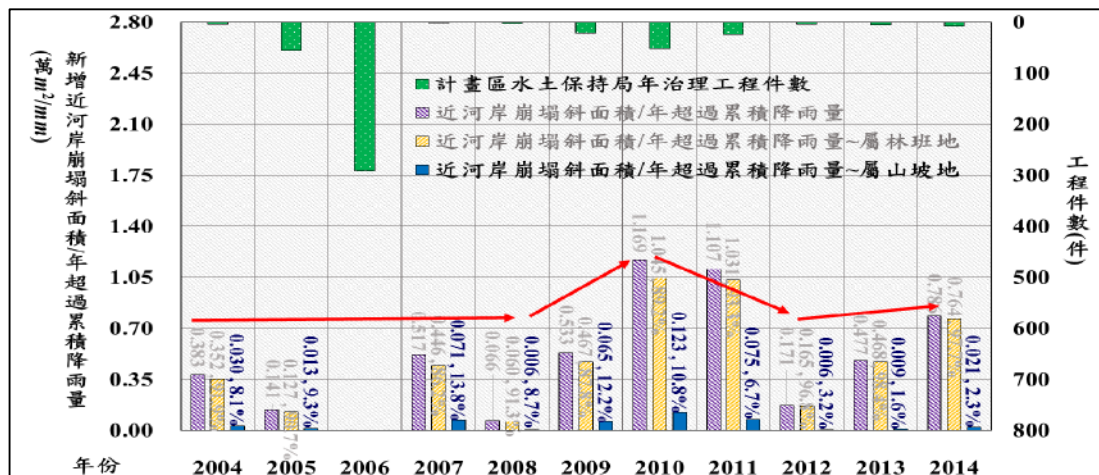


圖 3 重要集水區分布圖

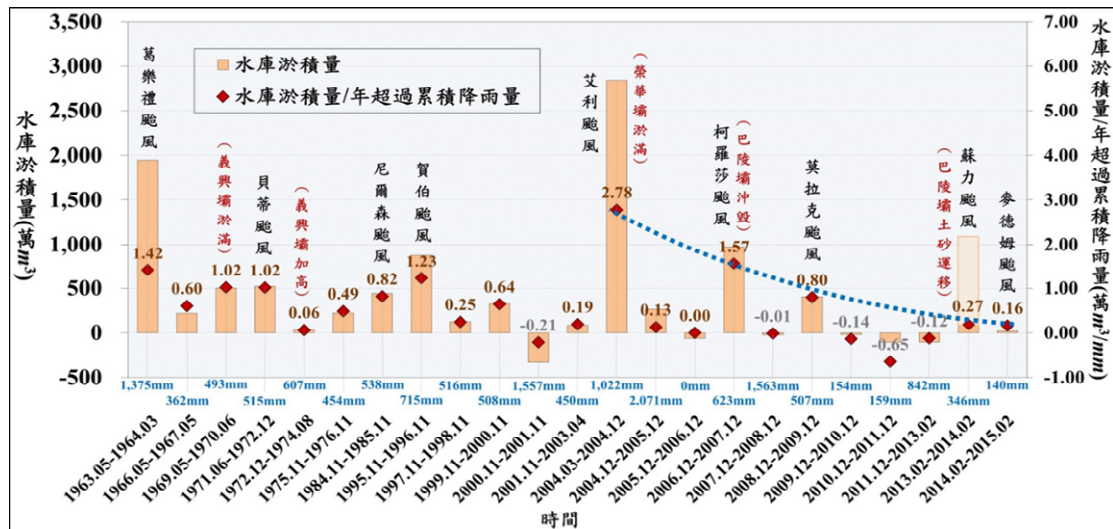
Fig.3 Distribution of Research Area



資料來源：政府開放平台－衛星判釋崩塌；年超過累積降雨為該年 100mm 以上降雨之總合。

圖 4 歷年治理對土砂流失抑制成效趨勢圖

Fig.4 Trend of Annual Control on inhibit of Soil loss



資料來源：北區水資源局；年超過累積降雨為該年 100mm 以上降雨之總合。

圖 5 歷年治理對土砂生產抑制成效趨勢圖

Fig.5 Trend of Annual Control on inhibit of Soil loss

(II)應用 LiDar 資料製作高精度立體地圖

為清楚了解集水區中潛在土砂流失區域，本研究製作重要集水區之高精度立體地圖，此圖不僅具有清晰可辨的立體效果，可剝除地表植生和樹木，展現地表實際起伏變化，故能清楚簡易地辨識各種微地形分布。

- 1.高精度立體地圖：於2016年10月中旬進行空載光達測量之LiDar製作，如圖6至圖8所示，可觀察到三個重要集水區之微地形土砂流失潛感區，包含蝕溝、河岸及河溪堆積物、崩崖、大規模崩塌地等。
- 2.蘇迪勒颱風(105年度)之重要災區情形：105年8月蘇迪勒颱風所造成之兩處土砂重災區—嘎色鬧及合流部落，輔以高精度立體地圖分析是否仍有潛在土砂來源。在水土保持局相關單位工程治理改善後，已恢復穩定，附近居民相對無虞，如圖10及圖11所示，原災害範圍已無明顯土砂潛勢區域。

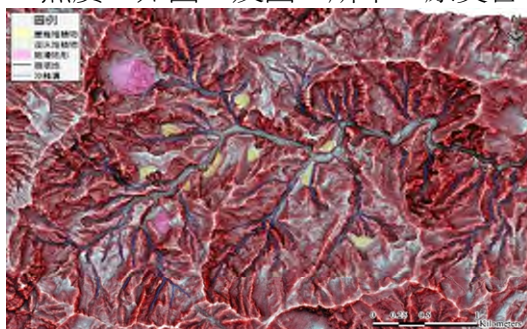


圖 6 高精度立體地圖—匹亞溪

Fig.6 high-precision three-dimensional map- Pai Ya River

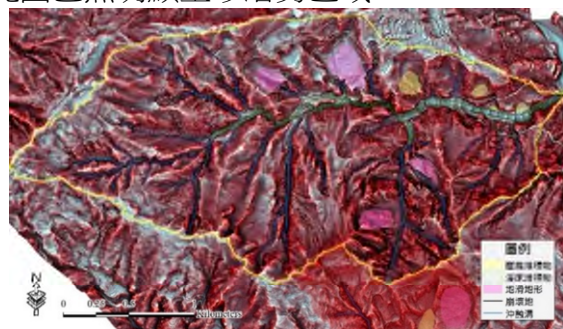


圖 7 高精度立體地圖—蘇樂溪

Fig.7 high-precision three-dimensional map- Su Le River

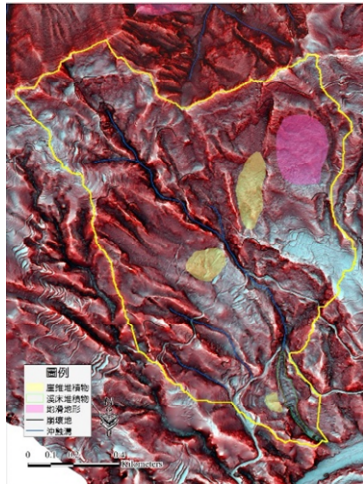


圖 8 高精度立體地圖－
砂崙仔溪

Fig.8 high-precision
three-dimensional
map- Sha Lun Zi
River

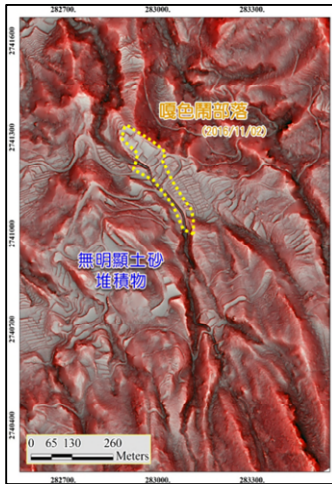


圖 9 高精度立體地圖－
嘎色鬧部落

Fig.9 high-precision
three-dimensional
map- Ka Su Nu
Tribe

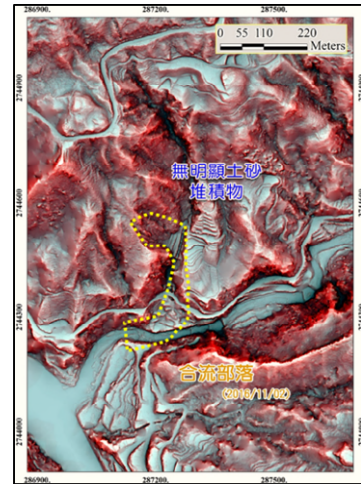


圖 10 高精度立體地圖－
合流部落

Fig.10 high-precision
three-dimensional
map- He Liu Tribe

(III) 現地調查作業

有別於以往現地調查，本研究更著重於潛在的土砂變遷及影響，不單單只針對現地或衛星影像中輕易可以看到者，故藉助於高精度立體地圖，得以充分反映集水區既有及潛在的各項問題。

現地調查區位選定及調查方面，每個重要集水區各選定高精度立體地圖判釋之六處相對重要點位進行調查及判釋複驗，作為治理需求評估之參考，如圖 11 至圖 13 所示，並依據現地調查結果，進行集水分區劃分，如圖 14 至圖 16 所示。

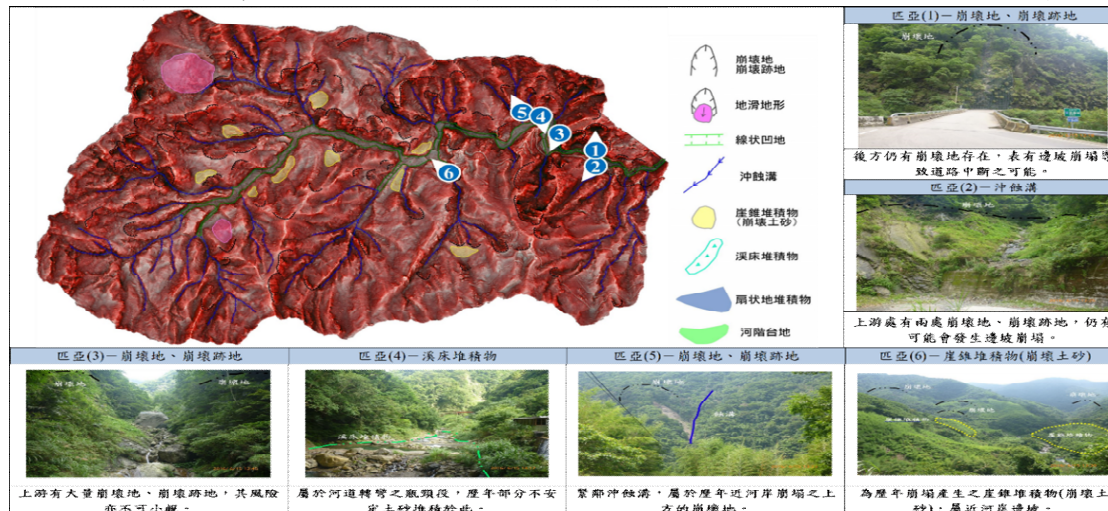


圖 11 重要集水區現地調查作業與評估－匹亞溪
Fig.11 Survey in Research area and Evaluation-Pai Ya River



圖 12 重要集水區現地調查作業與評估－蘇樂溪
Fig.12 Survey in Research area and Evaluation-Lun Zi River

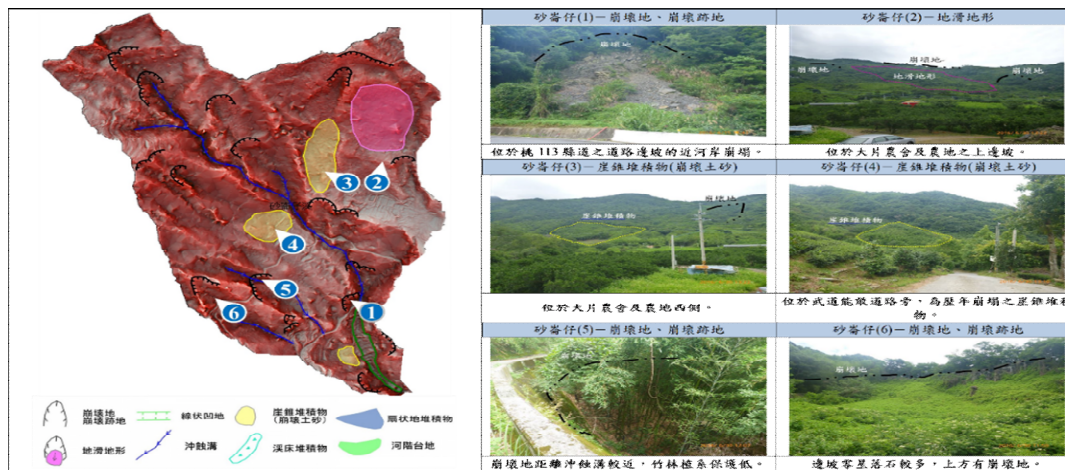


圖 13 重要集水區現地調查作業與評估－砂崙仔溪
Fig.13 Survey in Research area and Evaluation-Sha Lun Zi River

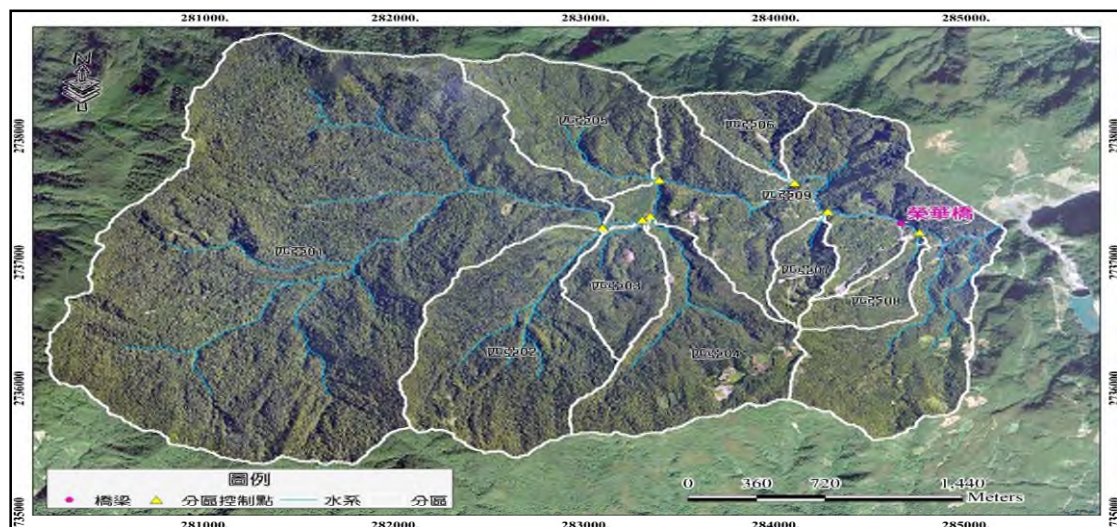


圖 14 重要集水區分區圖－匹亞溪
Fig.14 Distribution of Research Area-Pai Ya River

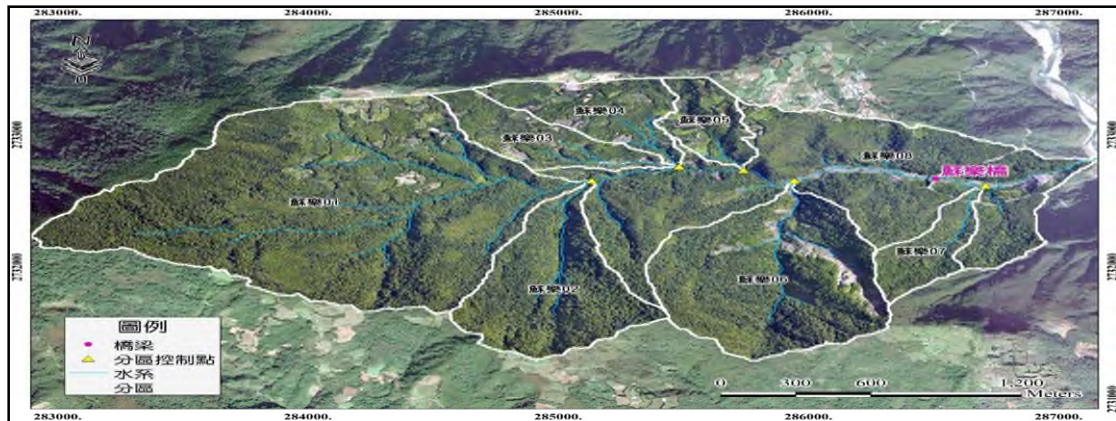


圖 15 重要集水區分區圖－蘇樂溪

Fig.15 Distribution of Research Area- Su Le River

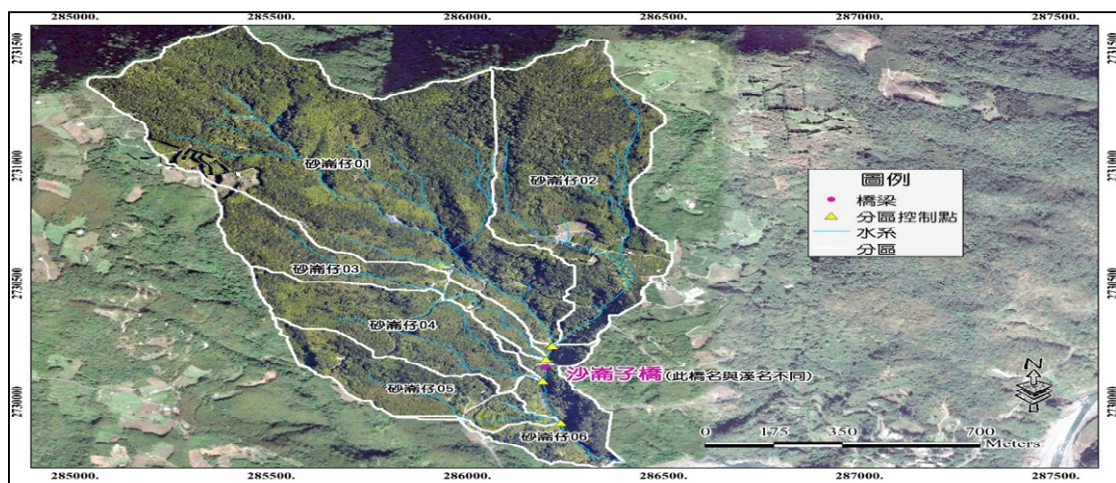


圖 16 重要集水區分區圖－砂崙仔溪

Fig.16 Distribution of Research Area-Sha Lun Zi River

(IV)水庫集水區監測與分析

於重要集水區架設雨量及非接觸式水位觀測站，研究區最具規模事件為2016年梅姬颱風－累積雨量約347mm-538mm，如圖17至圖19。其餘僅零星降雨(尼伯特颱風約40mm、莫蘭蒂颱風約100mm及馬勒卡颱風約150mm)。

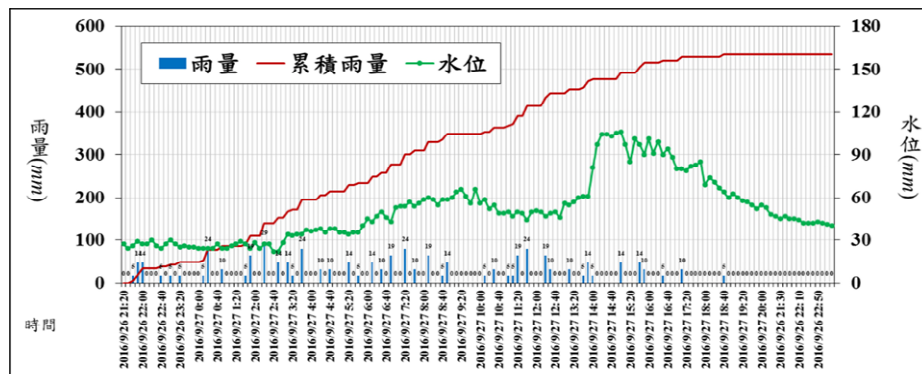


圖 17 梅姬颱風之雨量及水位歷線圖－匹亞溪

Fig.17 Typhoon Mei Ji's rainfall and stage-Pai Ya River

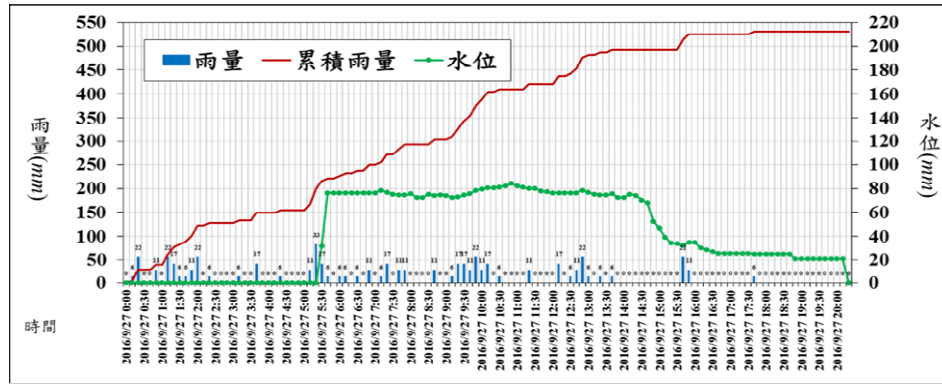


圖 18 梅姬颱風之雨量及水位歷線圖—蘇樂溪
Fig.18 Typhoon Mei Ji's rainfall and stage-Lun Zi River

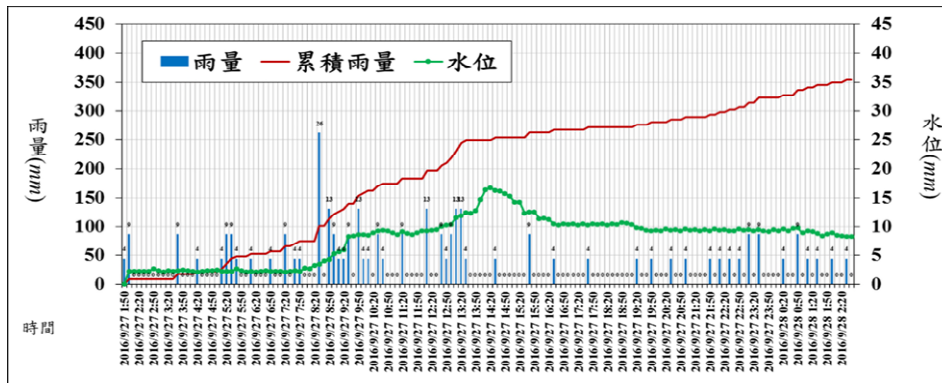


圖 19 梅姬颱風之雨量及水位歷線圖—砂崙仔溪
Fig.19 Typhoon Mei Ji's rainfall and stage-Sha Lun Zi River

(V)產砂分析模式建立

選定產砂數值模式為 CCHE1D，可有效反映河道及工程構造物變化，並建構集水區產砂模型，坡面區(離河岸)以沖蝕為主，以漫地流輸送不起造床作用，河道造床土砂係以近河岸重力侵蝕為主，以及構築完整之數值模式檢定驗證流程，流程如圖 20 所示。

- 1.選定三個重要集水區控制斷面，每區各三處(含觀測站架設位置)，共計九處，並完成汛期前後之測量，位置如表1所示。
- 2.重要集水區之產砂分析模式建立：以2013年至2016年汛期後等5場颱風事件之產砂分析，如圖21所示，針對三處重要集水區提出單場降雨量(Rfs, mm)與土砂生產量(Ov, 集水區某特定出口斷面流出的總土砂量, 10^4m^3)關係式：

$$\text{土砂生產量}_{\text{蘇樂溪}} = 0.0065R_{fs} + 0.5884$$

$$\text{土砂生產量}_{\text{匹亞溪}} = 0.0140R_{fs} - 1.8633$$

$$\text{土砂生產量}_{\text{砂崙仔溪}} = 0.0020R_{fs} + 0.5238$$

表 1 控制斷面位置資訊
Table 1 The location of Control-section

溪流名稱	斷面名稱	X(TWD97)	Y(TWD97)	類型	所在位置
匹亞溪	匹亞斷面 1	283411	2737689	構造物上游面	主流(觀測站)
匹亞溪	匹亞斷面 2	284208	2737290	構造物下游面	支流(銅便橋)
匹亞溪	匹亞斷面 3	284632	2737260	構造物上游面	主流(匯流後)
蘇樂溪	蘇樂斷面 1	286146	2732710	構造物下游面	主流
蘇樂溪	蘇樂斷面 2	286258	2731710	構造物下游面	主流(觀測站)
蘇樂溪	蘇樂斷面 3	286493	2732650	構造物上游面	主流(蘇樂橋)
砂崙仔溪	砂崙仔斷面 1	286019	2730510	構造物下游面	主流
砂崙仔溪	砂崙仔斷面 2	285324	2730331	構造物上游面	主流(觀測站)
砂崙仔溪	砂崙仔斷面 3	286187	2730120	構造物上游面	主流(匯流後)

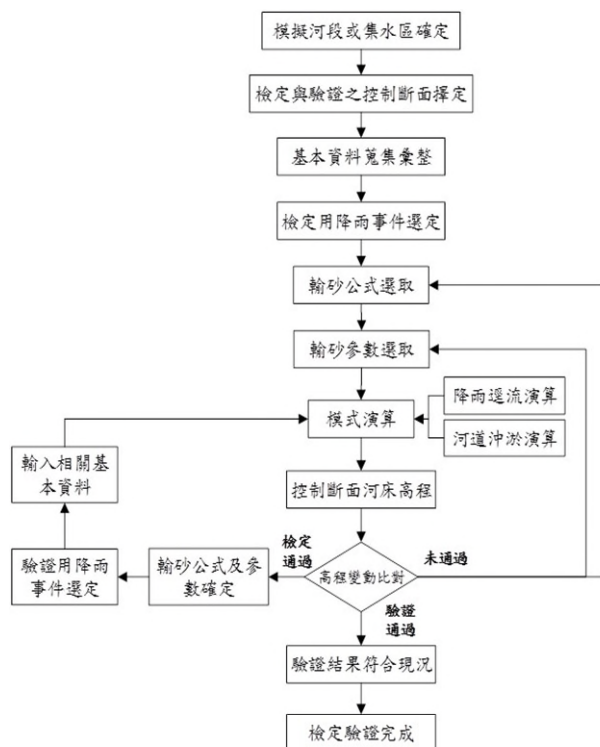


圖 20 產砂分析模式檢定驗證流程
Fig.20 The process Sediment budget in watersheds by numerical model



圖 21 產砂分析模式分析事件
Fig.21 The times of dentification and validation of the model

(VI)建立入庫土砂量預報模型

延續上述重要集水區單場降雨量(R_{fs} , mm)與土砂生產量(O_v)之關係式，配合河道遞移率及囚砂率，推估重要集水區可能之水庫淤積量，如表 2 所示。

- 1.延續上述已建置之蘇樂溪集水區模型中，配置工程構造物，並推估土砂抑制量及演算其工程效益；結果顯示「上游防砂治理」97元/ m^3 相對傳統「水庫清淤」500元/ m^3 對於水庫淤積量單位處理的成效更佳，如表3及表4所示。

表 2 現況各重現期距一日暴雨土砂量推估表

Table 2 1-day rainfall Frequency Analysis of Sediment Projections

項目名稱—蘇樂溪註 1	5 年	10 年	50 年	100 年
單場累積降雨量(mm)	476.8	593.7	803.8	874.6
土砂生產量 O_v (萬 m^3)	3.688	4.448	5.813	6.273
入庫土砂量(萬 m^3)	1.713	2.066	2.700	2.914
水庫淤積量(萬 m^3)	1.002	1.208	1.579	1.704
項目名稱—匹亞溪註 2	5 年	10 年	50 年	100 年
單場累積降雨量(mm)	462.2	567.4	766.3	839.0
土砂生產量 O_v (萬 m^3)	4.608	6.080	8.865	9.883
入庫土砂量(萬 m^3)	2.715	3.582	5.223	5.823
水庫淤積量(萬 m^3)	1.587	2.094	3.054	3.405
項目名稱—砂崙仔溪註 3	5 年	10 年	50 年	100 年
單場累積降雨量(mm)	427.6	533.5	766.2	864.3
土砂生產量 O_v (萬 m^3)	1.379	1.591	2.056	2.252
入庫土砂量(萬 m^3)	0.813	0.937	1.211	1.327
水庫淤積量(萬 m^3)	0.475	0.548	0.708	0.776

註 1：蘇樂溪之河道土砂遞移率採 46.45%(距離 12.52km²；高差 42m)。

註 2：匹亞溪之河道土砂遞移率採 58.92%(距離 7.18 km²；高差 96.6 m)。

註 3：砂崙仔溪之河道土砂遞移率採 47.08%(距離 23.46km²；高差 318.0m)。

註 4：石門水庫之因砂率採 58.47%，「氣候變遷下水庫排砂對策研究(2/2)」，經濟部水利署。

表 3 蘇樂溪集水區現況與預案後各項土砂量體彙整計算表

Table 3 The current and prediction situation of Sediment Projections - Lun Zi watersheds

項目	重現期距	5 年	10 年	50 年
編號	溪谷區(近河岸)土砂流失項目	5 年	10 年	50 年
A ₁	溪谷區(近河岸)土砂流失量(萬 m^3)(現況)	3.434	4.299	5.853
A ₂	溪谷區(近河岸)土砂流失量(萬 m^3)(預案)	2.321	3.076	3.959
A ₃ =A ₁ -A ₂	工程降低溪谷區(近河岸)土砂流失量(萬 m^3)	1.113	1.223	1.894
編號	土砂生產項目	5 年	10 年	50 年
B ₁	土砂生產量(萬 m^3)(現況)	3.688	4.448	5.813
B ₂	土砂生產量(萬 m^3)(預案)	2.676	3.336	4.091
B ₃ =B ₁ -B ₂	工程降低土砂生產量 O_{vc} (萬 m^3)	1.012	1.112	1.722
編號	入庫土砂量項目	5 年	10 年	50 年
C ₁	入庫土砂量(萬 m^3)(現況)	1.713	2.066	2.700
C ₂	入庫土砂量(萬 m^3)(預案)	1.243	1.550	1.900
C ₃ =C ₁ -C ₂	工程降低入庫土砂量(萬 m^3)	0.470	0.516	0.800
編號	水庫淤積量項目	5 年	10 年	50 年
D ₁	水庫淤積量(萬 m^3)(現況)	1.002	1.208	1.579
D ₂	水庫淤積量(萬 m^3)(預案)	0.727	0.906	1.111
D ₃ =D ₁ -D ₂	工程降低水庫淤積量(萬 m^3)	0.275	0.302	0.468

表 4 蘇樂溪集水區防砂壩工程預案之工程效益分析表

Table 4 The Efficiency Analysis of Check Dam Lun Zi watersheds

預案防砂壩：高 8m，長 25m 工程費用(Price)：4,567,500 元	5 年	10 年	50 年	工程土砂降低量 (萬 m^3)	單位成本工程土砂降 低量(元/ m^3)
	X_n	Y_n	Z_n	$E=10X_n+5Y_n+Z_n$	P/E
降低近河岸土砂流失量(萬 m^3)	1.113	1.223	1.894	19.1	24
降低土砂生產量(萬 m^3)	1.012	1.112	1.722	17.4	26
降低入庫土砂量(萬 m^3)	0.470	0.516	0.800	8.1	57
降低水庫淤積量(萬 m^3)	0.275	0.302	0.468	4.7	97

2.以計算完成集水區推估未計算之區域，進而發展水庫淤積量預測模型(採比面積法)，顯示若再發生如艾利颱風(1,022mm)的降雨，相應產生的單位降雨之水庫淤積量已降低了42.8%(2.78→1.59)，表徵近10年來水土保持局的相關治理，已發揮相應成效，如圖22所示。

3.配合產砂分析模式成果並考量河道遞移率及水庫囚砂率，推估三個重要集水區之可能之對水庫產生之淤積量(貢獻量)，並依此完成建立全石門水庫之入庫土砂量預報模型，如圖23所示。

$$\text{石門水庫上游集水區土砂流失量} = 44.208 * e^{0.0048Rfs}$$

$$\text{石門水庫入庫土砂量} = 20.529 * e^{0.0048Rfs}$$

$$\text{石門水庫土砂淤積量} = 12.011 * e^{0.0048Rfs}$$

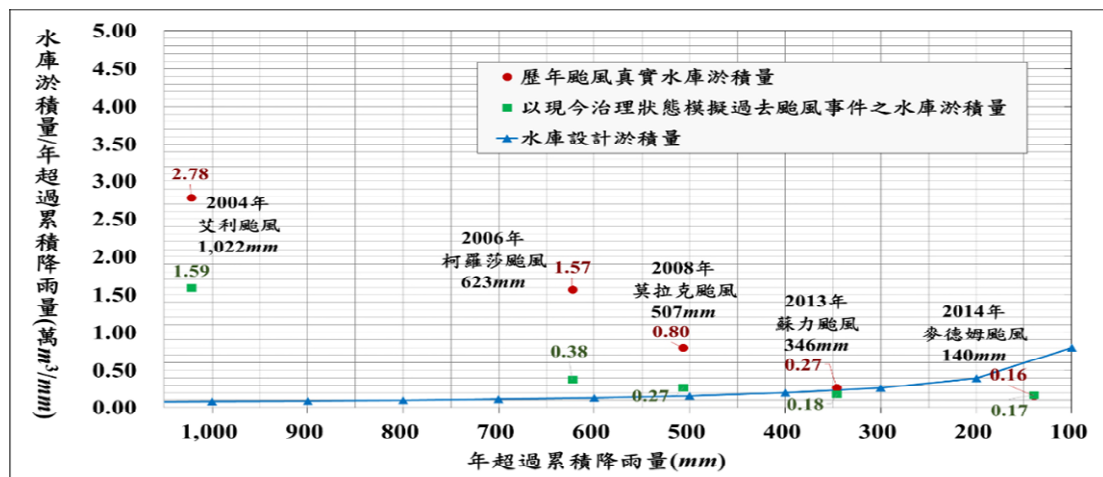


圖 22 石門水庫集水區歷年颱風與預測推估之水庫淤積量關係圖

Fig.22 Sedimentation volume of Shihmen Reservoir Watersheds Annual typhoon and prediction situation of Sediment Projections

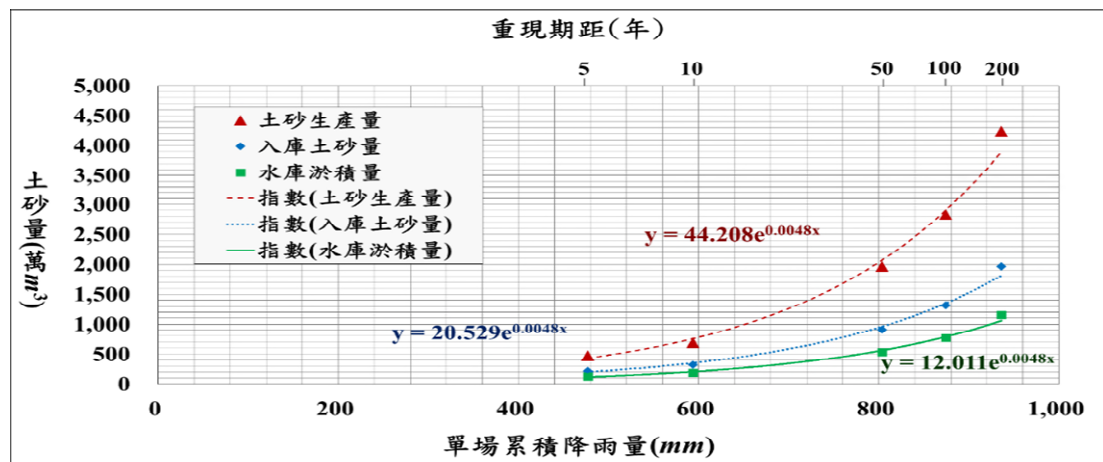


圖 23 石門水庫集水區之水庫淤積量預測推估分析圖

Fig.23 Sedimentation volume of Shihmen Reservoir Watersheds prediction situation Analysis of Sediment Projections

(VII)治理區求評析與區位

結合前述各項分析，以重要集水分區為單元建立治理需求評析指標，考量土砂來源、對保全對象(道路、保全住戶及水庫)的影響以及工程能量，定為土砂指標、保全對象指標及工程指標等三種類型，如表 5 及表 6 所示。

以所建立的治理需求評析指標，計算各重要集水分區之治理需求，排序結果依次為匹亞 01(44 分)、蘇樂 06(38 分)及蘇樂 05(36 分)，皆屬於治理需求高，為前三大相對需要治理之熱點。

表 5 治理需求評析指標評分方式
Table 5 Analysis of Engineering demand index

評估類別	評估項目	給分方式	給分	計算方式	相關項目
土砂指標	崩塌率	崩塌率 < 0.06%	20	最新崩塌地面積/集水分區面積	基本資料蒐集及彙整分析
		0.06% ≤ 崩塌率 < 0.3%	40		
		0.3% ≤ 崩塌率 < 0.9%	60		
		0.9% ≤ 崩塌率 < 4%	80		
		崩塌率 ≥ 4%	100		
	土砂流失潛勢分布率	土砂流失潛勢分布率 < 1%	20	高精度立體地圖所判釋之地滑地形及崖錐堆積物之面積/集水分區面積	應用 LiDar 資料製作高精度立體地圖
		5% ≤ 土砂流失潛勢分布率 < 10%	40		
		10% ≤ 土砂流失潛勢分布率 < 15%	60		
		15% ≤ 土砂流失潛勢分布率 < 20%	80		
		土砂流失潛勢分布率 ≥ 20%	100		
	土砂生產率	土砂生產率 < 0.2%	20	2015 年之集水分區土砂生產量/集水分區逕流體積	集水區產砂分析模式建立
		0.2% ≤ 土砂生產率 < 0.5%	40		
		0.5% ≤ 土砂生產率 < 1.0 %	60		
		1.0 % ≤ 土砂生產率 < 3.0%	80		
		土砂生產率 ≥ 3.0%	100		
保全對象指標	對水庫影響程度	河道土砂遞移率 < 40%	20	出口至水庫之河道土砂遞移率	建立入庫土砂量預報模型
		40% ≤ 河道土砂遞移率 < 70 %	50		
		河道土砂遞移率 ≥ 70 %	100		
	保全戶數密集度	保全戶數密集度 < 20	20	集水分區保全戶數/集水分區面積(km ²)	現地調查作業
		20 ≤ 保全戶數密集度 < 50	50		
		保全戶數密集度 ≥ 50	100		
	聯外道路密集度	聯外道路密集度 < 2000	20	聯外道路長度(m)/集水分區面積(km ²)	現地調查作業
		2000 ≤ 聯外道路密集度 < 5000	50		
工程指標	工程能量	高	0.1	現地調查及工程管考系統	現地調查作業
		中	0.3		
		低	0.5		

表 6 治理需求評析指標加權方式

Table 6 Analysis of Engineering demand index of Weights method

評估指標類別	評估項目	分項權重(%)	給分	得分(=給分×分項權重)
土砂指標 (100%)	崩塌率	40	-	-
	土砂流失潛勢分布率	40	-	-
	土砂生產率	20	-	-
保全對象指標 (100%)	對水庫影響程度	50	-	-
	保全戶數密集度	30	-	-
	聯外道路密集度	20	-	-
總得分				-
治理需求評析指標分數 (=總得分×工程指標(0.1、0.3 或 0.5))				-

IV、結論與建議

(I)結論

本研究係整合集水區土砂運移物理模型和一維河川動床數值模式，發展嶄新的河川水系土砂收支(土砂流失與生產關係)演算模式，同時結合實時降雨、水位、斷面測量及保育治理資料進行參數檢定及驗證，建立集水區土砂收支之規律及關係：一為於集水區之現況條件下，推估不同重現期之降雨量及實際降雨量，可能造成的土砂流失量與生產量及其關係式。二為應用於水庫上游集水區時，可據以推估不同重現期之降雨量可能造成的入庫土砂量、淤積量及其土砂來源，以集水區保育治理預案及成效評析(包含集水區粗、細泥砂顆粒運移特性)之量化依據，並將各研究成果彙整如下。

- 1.基本資料蒐集及彙整分析：以土砂流失及生產以颱風豪雨事件為主，土砂來源以近岸崩塌為主，近岸崩塌約90%以上集中於林班地範圍。以水庫實測淤積量反推上游入庫土砂量及水土保持保育治理成效得知，呈現逐年下降之趨勢，表徵水庫集水區保育治理之成效。
- 2.應用LiDar資料製作高精度立體地圖：選定匹亞溪、蘇樂溪及砂崙仔溪製作高精度立體地圖，且經由專業判釋取得研究區內崩場地、各級蝕溝、崖錐堆積物、河溪工程構造物、溪床堆積物、扇狀地、河階台地、道路分布等各種微地形地貌之空間分布，這將有助於集水區保育治理、土砂運移變遷、土砂來源、環境變異預測及非工程防災措施等面向的分析與應用。
- 3.現地調查作業：以高精度立體地圖判釋成果，選擇6處重點區，驗證可信度，提供後續保育治理需求評估與選定依據。
- 4.水庫集水區監測與分析：建置3站觀測站，監測2016年梅姬颱風事件。
- 5.產砂分析模式建立：選定CCHE1D建立模式，採2013年至2016年颱風及斷面測量檢定驗證模式，通過嚴謹的過程，建立重要集水區之單場累積降雨量與土砂生產量關係。
- 6.建立入庫土砂量預報模型：以產砂分析模式成果考量河道遞移率和水庫囚砂率，推估入庫土砂量(貢獻量)關係。顯示，若艾利颱風再發生，現今治理套入相同降雨，單位降雨之水庫淤積降低42.8%，近10年水土保持局治理發揮成效。

7.治理需求評析及區位：結合前述各項分析，考量土砂來源、保全對象以及工程，建立治理需求評析指標，計算集水區之治理需求，排序依次為匹亞01、蘇樂06及蘇樂05，依此結果以利將來相關人員勘查規劃。

(II)建議

- 1.已針對石門水庫上游集水區之提出產砂分析模型、入庫土砂量預報模型及入庫土砂淤積量預報模型，惟因時程關係，建議後續應持續監測相關水文地文數據，反覆驗證模型準確性，以提升模型之適用性。
- 2.本研究僅針對石門水庫上游集水區完成相關分析及模型建置工作，惟全臺仍有許多面臨淤砂問題嚴重之水庫，建議應以本研究相關執行方式，滾動更新檢討分析其他水庫集水區，完成全臺水庫集水區之產砂、淤砂預報模型。
- 3.高精度立體地圖之建置及應用成果，完成判釋微地形土砂流失潛感及潛變區，可作為調查、規劃、土砂分析及未來預防治理等之參考，且因政府相關單位(如中央地質調查所等)戮力建議全臺高精度數值地形資料(如LiDAR)，可由此完整性資料，全面性將全臺重要水庫集水區建置高精度立體地圖，並進行土砂流失潛感及潛變區微地形判釋，以建構地圖式大數據資料庫。

V、參考文獻

石門水庫集水區泥砂調查分析及監測技術之研究(行政院農業委員會水土保持局，2008)

行政院農業委員會水土保持局，石門水庫集水區坡地災害潛勢及整治評估(行政院農業委員會水土保持局，2008)

石門水庫集水區豪雨誘發土砂災害之變化歷程與機制探討(行政院農業委員會水土保持局，2009)

104 年度石門水庫集水區執行成效追蹤(行政院農業委員會水土保持局，2015)

Model CCHE1D Version 3.0 – Technical Manual(NCCHE，2002)