



一維土砂動床模式 應用於莫拉克後 嚴重土砂沖淤問題分析與調適策略 之模式建立 — 以旗山溪為例

傅桂霖／行政院農業委員會水土保持局臺南分局 分局長
洪志祥／行政院農業委員會水土保持局臺南分局 正工程司兼課長
林秉賢／逢甲大學營建及防災研究中心 博士
曾品潔／逢甲大學營建及防災研究中心 助理研究員
鍾侑達／逢甲大學營建及防災研究中心 博士
許惠綺／逢甲大學營建及防災研究中心 助理研究員

透過旗山溪河道控制樁之沖淤量測，統計 104 年至 108 年間河道土砂量變化量，並透過 CCHE1D 模擬分析發現，拉庫斯溪於 5 年重現期之降雨事件下，較容易對下游河道造成土砂淤積。旗山溪流域之民生橋、瑪雅吊橋等處因通洪斷面不足，易於颱風豪雨事件時發生災害。故本研究透過數值模擬成果，針對各河段之通洪狀況以及整體穩定度進行分析探討，並提出短、中、長期之策略研擬，以作為重大土砂問題河段管理模式之工程參考依據。

關鍵字：CCHE1D 清疏工程、土砂沖淤趨勢研究、旗山溪

重點土砂管理地區控制樁沖淤量測

針對災害事件發生前、後，於河岸較穩定且不易變動處設置基準測樁，並量測旗山溪（23 處）之斷面，如圖 1 所示。另與前幾期之測量成果及臺相關歷史資料進行斷面高程、坡降、土砂沖淤比對分析，作為整條河川土砂收支變化以及殘存土砂致災分析之參考。

一維動床模式建置與分析

根據各年度斷面測量資料與集水區動態沖淤變化進行分析比對，建置一維土砂動床模式，以掌握集水區土砂變動情形。本研究透過 CCHE1D 進行相關水理輸砂模式演算，使用其非平衡輸砂模式演算河川與溪

流的非平衡輸砂特性，模式可計算淤積與沖刷量，並伴隨著斷面形狀改變、河床質組成、河岸沖刷與深水槽變寬等特性，可充分反應降雨與集水區產砂量以及河道防砂工程之影響，同時也能探討河防安全及水理條件變化，以及山區河川坡度陡峭，水流縱向（沿著流動方向）流速遠高於橫向與垂向流速等因素。

本研究除了進行一維水理輸砂模擬演算外，另透過模式將橫向保護工法納入模擬，透過不同降雨逕流進行集水區動態沖淤變化並針對其趨勢進行比對，其模式檢定流程如圖 2 所示。本研究根據水文水理河道沖淤模擬，提出 5 年、25 年與 50 年土砂動態沖淤變化，其成果可供日後防災與工程治理之參考。

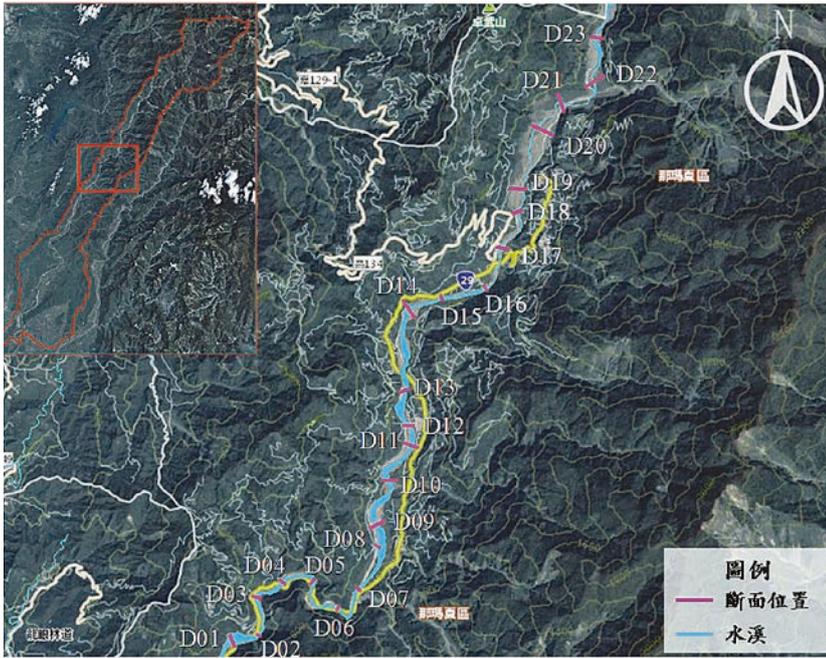


圖 1 旗山溪重點災害區域規劃土砂斷面量測位置

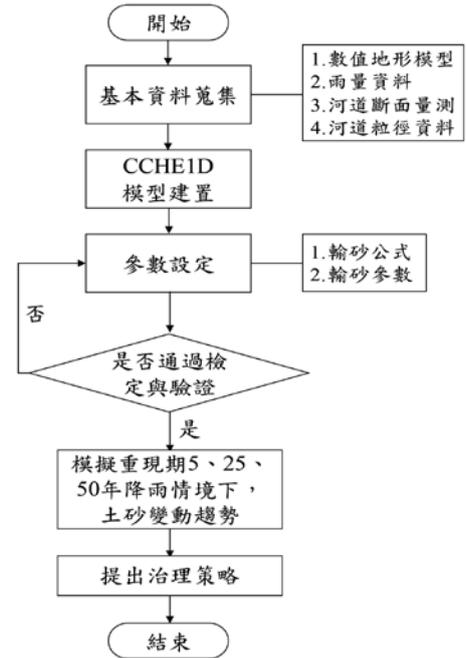


圖 2 CCHE1D 模式檢定驗證流程圖

基本資料蒐集

基本資料蒐集包含數值地形模型、雨量資料、河道粒徑資料與河道斷面測量，其中數值地形模型做為 CCHE1D 模型建置；雨量資料可透過三角形單位歷線推估方法推求流量歷線，做為模式輸入條件；河道斷面資料做為模式檢定以確認模式分析之正確性。各項基本資料說明如下：

雨量

蒐集旗山溪（達卡努瓦集水區）、集水區雨量資料，雨量站採用鄰近集水區之中央氣象局自動測站代表雨量測站為達卡努瓦（C1V160），其中旗山溪（達卡努瓦集水區）雨量站採達卡努瓦站、雨量資料以 2010 年至 2018 年汛期期間內之 24 小時累積降雨量達 150 毫米做為分析事件。

粒徑分布曲線

蒐集旗山溪（達卡努瓦集水區）粒徑分布曲線之特徵粒徑作為模式建置資料。

數值地形模型

蒐集內政部數值地形模型資料，產製時間為 2010 年 12 月 31 日，資料精度為 1 公尺 × 1 公尺，及 2014 年 RTK 量測資料精度為 0.1 公尺 × 0.1 公尺。

河道斷面資料

蒐集歷史河道斷面資料作為 CCHE1D 模式檢定。

CCHE1D 模型建置

根據蒐集數值地形模型進行 CCHE1D 模型建置。

參數設定

彙整 CCHE1D 內建四種河床質（含推移載及懸移載）輸砂公式，同時，包含了推移質非平衡調適長度（ L_s,b ）、懸浮質非平衡調適長度（ L_s,s ）、沖瀉質非平衡調適長度（ L_s,w ）及混合層厚度（ δm ）等參數。

模式合理性

CCHE1D 模式透過檢定確認模擬各集水區土砂變化之正確性，並採 2010 年 12 月數值地形高程資料進行模式建置。模擬區域為旗山溪（民權橋至瑪雅復建吊橋）D12、D13 斷面。

模擬 5、25 與 50 年不同重現期降雨情境下之土砂變動趨勢

為了解 5、25 與 50 年不同重現期降雨情境下各集水區土砂變動趨勢，藉由三角形單位歷線法推求 5、25 與 50 年洪峰流量做為模式輸入值進行分析，如表 1 所示。

表 1 旗山溪集水區模擬區域不同重現期流量

名稱	重現期流量 (cms)		
	5 年	25 年	50 年
旗山溪	2192.68	3367.19	3879.82

模擬結果分析與展示

本計畫採用不同場次颱風進行 CCHE1D 模式檢定，透過 CCHE1D 了解河道斷面沖淤變化情形，並分析不同重現期土砂沖淤變化量、土砂流失量、保全對象受災情形等，分析成果如表 2 所示。

表 2 產砂分析成果表

土砂收支項目	單位	計算方式
坡面區（離岸）土砂流失量	萬 m ³	MUSLE 公式
溪谷區（近岸）土砂流失量	萬 m ³	$V = 0.1025A1.401$
溪床沖刷量	萬 m ³	數值模式結果
土砂流失總量	萬 m ³	(1) + (2) + (3)
自坡面流入河道之土砂量 （含沖瀉質）	萬 m ³	(1) + (2)
溪床淤積量	萬 m ³	數值模式結果
溪床沖淤量	萬 m ³	(6) - (3)
集水區上游入流泥砂量	萬 m ³	自集水區源頭建模 （無上游來砂量）
集水區下游出口土砂生產量 （含沖瀉質）	萬 m ³	(5) + (8) - (7)

旗山溪集水區分析成果

重點土砂管理地區控制樁沖淤量測

旗山溪歷年進行斷面測量時間為 103/09、104/03、104/06、104/10、107/05、107/07、107/09，另外斷面 D1 ~ D8 及 D23 斷面歷史測量時間為 103/09、104/03、104/06、104/10。

歷年量測成果

旗山溪歷年縱斷面變化詳圖 3，由於旗山溪斷面測量距離較長，故區分為下游、中下游、中游及上游進行說明。

(1) 旗山溪下游

根據斷面分析旗山溪下游（斷面 D01 ~ D08，約 0 k + 000 ~ 4 k + 437，民治橋至旗山溪與納托爾薩溪匯流處，本段 107 年度未進行斷面測量）今年度量測成果與 104 年度測量成果顯示，河道呈沖刷趨勢，沖刷深度約為 2 ~ 6 公尺。民權橋至旗山溪與那托爾薩溪匯流處）歷年坡度變化介於 1.5 ~ 1.6%，坡度變化不顯著。

旗山溪中下游

旗山溪中下游（斷面 D08 ~ D012，約 4 k + 437 ~ 6 k + 820，旗山溪與納托爾薩溪匯流處至瑪雅吊橋下

游斷面）由於今年度辦理「楠梓仙溪瑪雅吊橋下游工程」，故河道主深槽明顯，且今年度歷經颱風豪雨事件，河道未發生淤滿情形。中下游段河道坡度變化介於 1.1 ~ 1.4%。

旗山溪中游

旗山溪中游（斷面 D12 ~ D17，約 06 k + 820 ~ 11 k + 140，瑪雅吊橋下游斷面至旗山溪與民生橋上游）D12 ~ D13 斷面因今年度辦理「楠梓仙溪瑪雅吊橋上游清疏工程」，故河道主深槽明顯，則其餘斷面則有淤積情形，淤積深度約 2 ~ 6 公尺，其原因為民生橋段坡度變緩，導致上游土石淤積，約 2 ~ 3 年淤滿民生橋橋涵，故曾於 104 年辦理「旗山溪寧妮谷下方河段清疏工程」及「達卡努瓦溪與旗山溪匯流口河段清疏工程」、105 年辦理「旗山溪寧妮谷下方河段清疏二期工程」，明年度則將辦理「楠梓仙溪民生橋上下游清疏工程」。中游段坡度變化坡度介於 1.4 ~ 1.5%，坡度變化不顯著。

旗山溪上游

旗山溪上游（斷面 D17 ~ D23，約 11 k + 140 ~ 14 k + 160，旗山溪與民生橋上游至旗山溪與帖不帖開溪匯流口以上 1 公里處）河道高程變動幅度明顯，呈現沖淤交替情形。坡度變化介於 2.5 ~ 3.1%。根據坡度分析果顯示旗山溪上游坡度較陡，但坡度有逐年下降趨勢。

(2) 分析成果

本研究藉由歷年斷面分析近 104 年 108 年內土砂淤積變化情形與清疏效益，104 年至 108 年河道土砂量共計增加 9,636 萬立方公尺，清疏土砂量共計 280.3 萬立方公尺。

一維土砂動床模式分析

基本資料蒐集

(1) 雨量

旗山溪（達卡努瓦集水區）檢定降雨事件場次採中央氣象局達卡努瓦站自動測站，蒐集 2011 年至 2014 年 7 月間 24 小時最大累積大於 150 毫米事件，各場降雨事件之 24 小時最大累積降雨量如表 2，共計 10 場，其中 24 小時最大累積降雨事件為 2013 年潭美颱風，24 小時最大累積降雨量達 514.0 毫米，如表 3 所示。

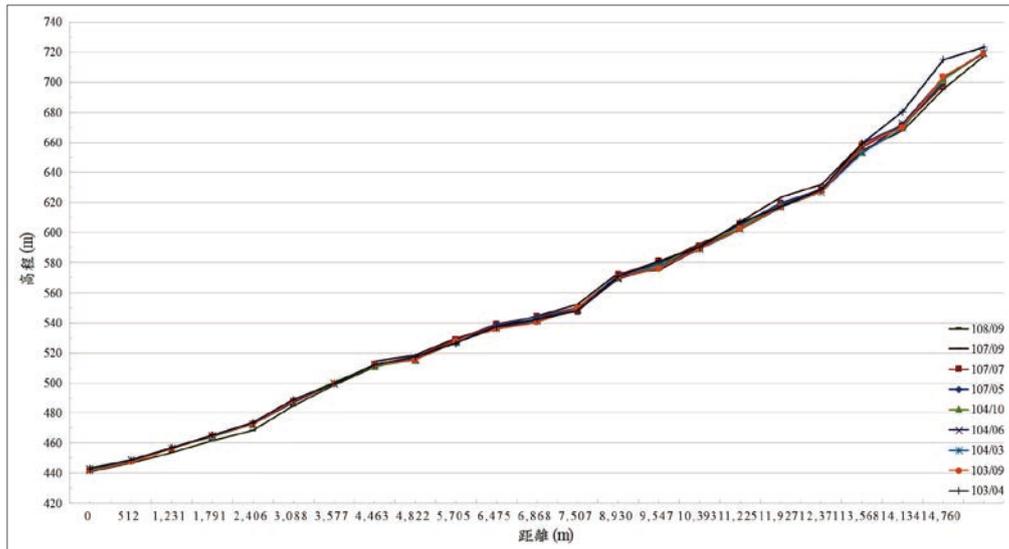


圖 3 旗山溪歷年縱斷面圖 (主深槽高程變化情形)

表 3 旗山溪檢定降雨事件場次基本資料

事件名稱	日期	24 小時最大 累積降雨量 (mm)
0719 豪雨	2011/7/17 ~ 2011/7/20	354.5
南瑪都颱風	2011/08/29 ~ 2011/8/31	169.5
-	2012/05/19 ~ 2012/5/20	189.0
0610 豪雨	2012/06/9 ~ 2012/6/12	464.5
泰利颱風	2012/6/19 ~ 2012/6/21	290.5
蘇拉颱風	2012/08/01 ~ 2012/8/2	367.5
0520 豪雨	2013/05/18 ~ 2013/05/19	192.0
蘇力颱風	2013/07/12 ~ 2013/7/13	358.5
潭美颱風	2013/08/21 ~ 2013/8/23	514.0
康芮颱風	2013/08/29 ~ 2013/9/1	330.0

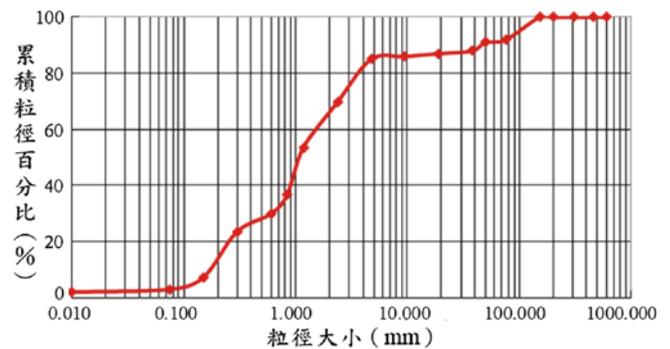


圖 4 旗山溪粒徑分布曲線

(2) 粒徑分布曲線

蒐集旗山溪粒徑分布曲線，詳圖 4。

(3) 模式相關設定

CCHEID 模式建置相關設定請詳表 4，模式建置斷面分布詳圖 5，並採 103 年歷史斷面量測成果進行模式檢定，如表 5 所示。

表 4 旗山溪 CCHEID 模式相關設定

項目	設定
時間間距	dt = 0.2 (min)
網格間距	前、後斷面間距 500 m，遇保全對象則另補充斷面。
初始條件	颱風前，河道已具初始流量 (常流量) 15 cms。
入流泥砂量	$V = 0.1025A^{1.401}$ ，參考「大規模崩塌防減災技術發展與應用」(水保局，104 年) 提出崩塌體積 V (m^3) 與面積 A (m^2) 之關係式
邊界條件	上游邊界：24 小時最大累積大於 150 毫米事件 下游邊界：採 50 年重現期通洪需求。

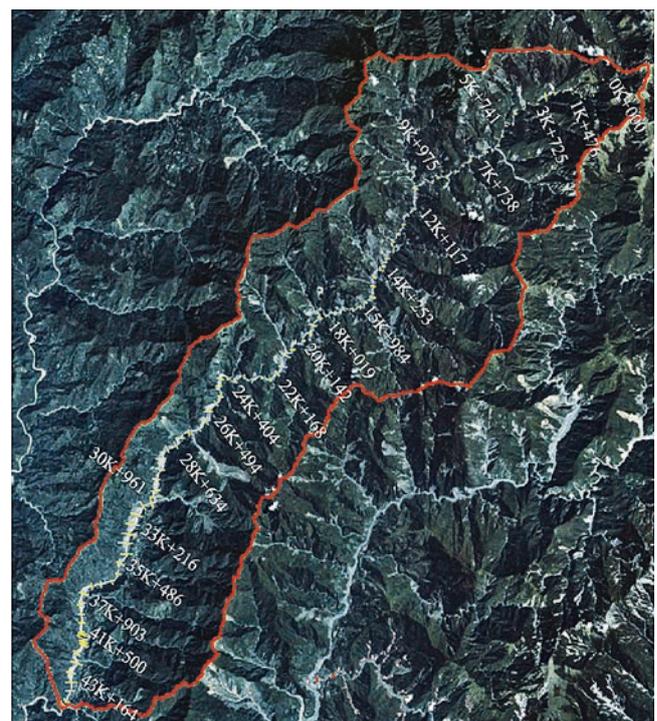


圖 5 旗山溪模式建置斷面分布圖

表 5 旗山溪 CCHE1D 模式檢定設定輸砂公式與參數

項目	設定值	說明
輸砂公式	SEDTRA module	在 CCHE1D 可選擇之四種輸砂公式中，以 SEDTRA module 模擬結果之沖淤分布較為均勻，符合實測地形變化。
非平衡調適長度 $L_{s,b}$ (模式設定值 $1/L_{s,b}$)	1,492 (0.00067)	若 $L_{s,b}$ 太小，則呈現上游河段淤積多，下游淤積少之趨勢。
懸浮質非平衡調適長度 $L_{s,s}$ (α)	0.5	因懸浮值對造床作用影響較低，調整本項對河道整體之沖淤變化無明顯改變。
沖瀉質非平衡調適長度 $L_{s,w}$	0	由於沖瀉質粒徑非常小，鮮少與河床發生交換作用，可忽略其影響，除模擬濁度變化，一般採 0。
混合層厚度 δm	0.1	調整本項對河道整體之沖淤分布變化無明顯改變。

(4) 模式檢定結果

模式最佳參數如表 5，其中河床糙度採一般河道值為 0.035，推移質輸砂公式經過不同公式模擬結果以 SEDTRA module 公式為最佳，調適長度經過測試後以 0.0067 計算方法誤差最小。旗山溪檢定斷面模擬結果如圖 6 及圖 7，模擬結果可符合實際的河床土砂淤積趨勢，且透過平均絕對百分比誤差 (MAPE) 計算模擬結果良好，為 0.13~1.5%，請詳表 6。

表 6 旗山溪 CCHE1D 模式檢定結果

斷面編號	MAPE (%)	說明
D12	0.13	$MAPE = \frac{\sum \text{實際值}_i - \text{預測值}_i }{\text{實際值}_i} \times 100$
D13	1.5	

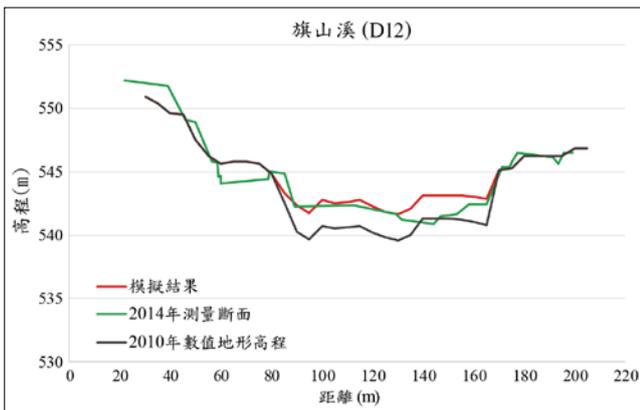


圖 6 旗山溪 D12 斷面檢定結果

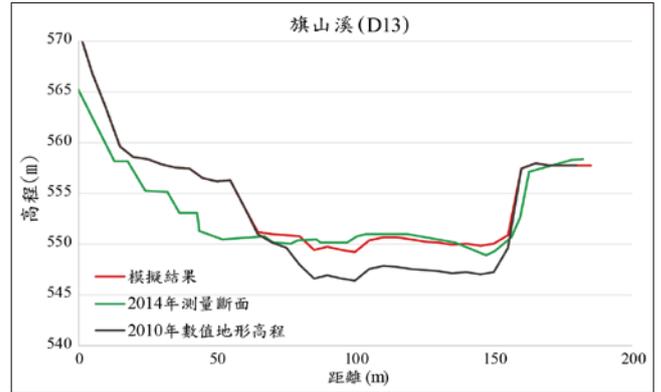


圖 7 旗山溪 D13 斷面檢定結果

不同重現期模擬結果分析

經過模式檢定及驗證工作，並通過集水區土砂收支模式演算方法，基本上已能夠掌握集水區在不同降雨條件下的土砂流失及生產間之關係，並由土砂流失與生產關係之變化規律，取得集水區之產砂分析及土砂管理模式。

不同重現期降雨條件下集水區產砂分析結果如表 7 至表 9 所示，根據不同重現期降雨分析結果顯示旗山溪河道目前整體尚處淤積趨勢，其中 5 年重現期土砂淤積量約為 18.6 萬 m³；25 年重現期土砂淤積量約為 17.0 萬 m³；50 年重現期土砂淤積量約為 13.5 萬 m³。

根據 CCHE1D 模擬不同重現期降雨情境下旗山溪縱斷面變化圖如圖 8 至圖 16，保全對象橫斷面變化如圖 17 至圖 19，其土砂沖淤變化量如圖 20 至圖 22，目前旗山溪中上游斷面呈現沖刷趨勢較顯著，下游游河道主要呈現淤積情形。當發生重現期越大之降雨情形下，旗山溪沖刷及淤積土砂量增加，其中旗山溪下游為重要保全對象瑪雅里尚可通過 5~25 年重現期洪水位，但 5 年重現期洪水較容易造成此斷面之淤積。

表 7 5 年重現期產砂分析成果表

編號	土砂收支項目	數值	單位	計算方式
(1)	坡面區 (離岸) 土砂流失量	1.65	萬 m ³	MUSLE 公式
(2)	溪谷區 (近岸) 土砂流失量	58.2	萬 m ³	數值模式結果
(3)	溪床沖刷量	-81.10	萬 m ³	數值模式結果
(4)	土砂流失總量	105.56	萬 m ³	(1) + (2) + (3)
(5)	自坡面流入河道之土砂量 (含沖瀉質)	186.65	萬 m ³	(1) + (2)
(6)	溪床淤積量	99.70	萬 m ³	數值模式結果
(7)	溪床沖淤量	18.60	萬 m ³	(6) + (3)
(8)	集水區上游入流泥砂量	0.00	萬 m ³	自集水區源頭建模 (無上游來砂量)
(9)	集水區下游出口土砂生產量 (含沖瀉質)	168.05	萬 m ³	(5) + (8) - (7)

表 8 25 年重現期產砂分析成果表

編號	土砂收支項目	數值	單位	計算方式
(1)	坡面區(離岸)土砂流失量	2.73	萬 m ³	MUSLE 公式
(2)	溪谷區(近岸)土砂流失量	75.7	萬 m ³	數值模式結果
(3)	溪床冲刷量	-97.51	萬 m ³	數值模式結果
(4)	土砂流失總量	90.22	萬 m ³	(1) + (2) + (3)
(5)	自坡面流入河道之土砂量(含沖瀉質)	187.73	萬 m ³	(1) + (2)
(6)	溪床淤積量	114.52	萬 m ³	數值模式結果
(7)	溪床沖淤量	17.00	萬 m ³	(6) + (3)
(8)	集水區上游入流泥砂量	0.00	萬 m ³	自集水區源頭建模(無上游來砂量)
(9)	集水區下游出口土砂生產量(含沖瀉質)	170.73	萬 m ³	(5) + (8) - (7)

表 9 50 年重現期產砂分析成果表

編號	土砂收支項目	數值	單位	計算方式
(1)	坡面區(離岸)土砂流失量	3.22	萬 m ³	MUSLE 公式
(2)	溪谷區(近岸)土砂流失量	87.3	萬 m ³	數值模式結果
(3)	溪床冲刷量	-114.8	萬 m ³	數值模式結果
(4)	土砂流失總量	73.42	萬 m ³	(1) + (2) + (3)
(5)	自坡面流入河道之土砂量(含沖瀉質)	188.22	萬 m ³	(1) + (2)
(6)	溪床淤積量	128.30	萬 m ³	數值模式結果
(7)	溪床沖淤量	13.50	萬 m ³	(6) + (3)
(8)	集水區上游入流泥砂量	0.00	萬 m ³	自集水區源頭建模(無上游來砂量)
(9)	集水區下游出口土砂生產量(含沖瀉質)	174.73	萬 m ³	(5) + (8) - (7)

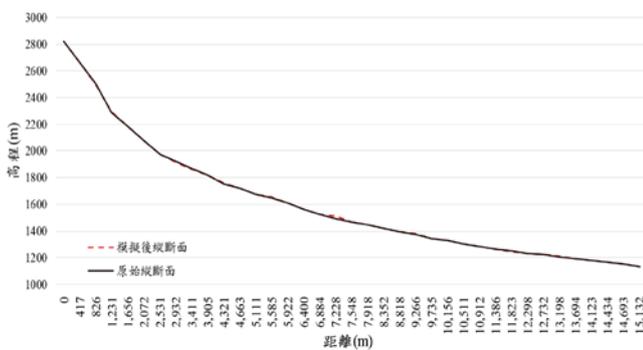


圖 8 旗山溪 5 年重現期断面變化圖(上游)

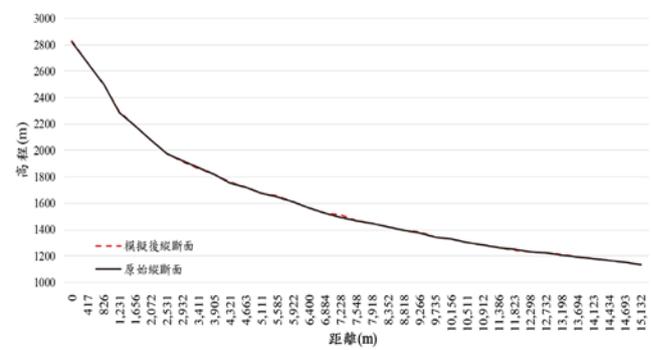


圖 11 旗山溪 25 年重現期断面變化圖(上游)

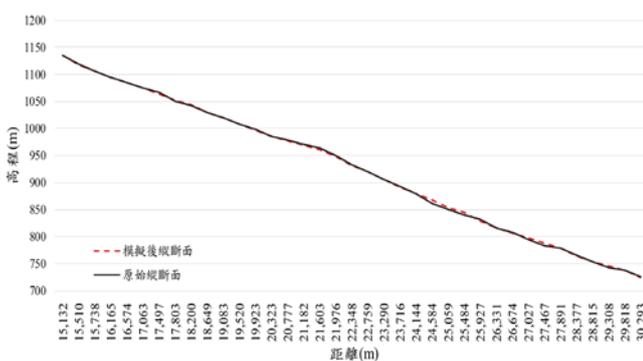


圖 9 旗山溪 5 年重現期断面變化圖(中游)

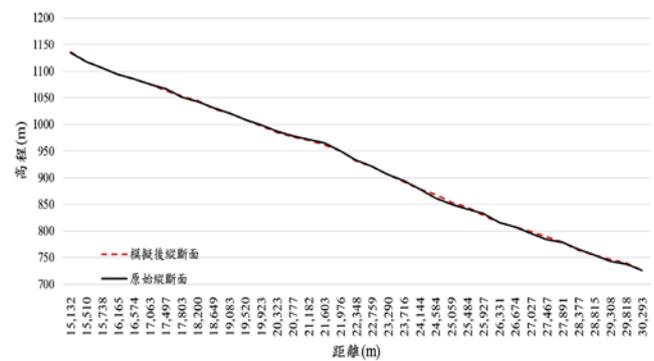


圖 12 旗山溪 25 年重現期断面變化圖(中游)

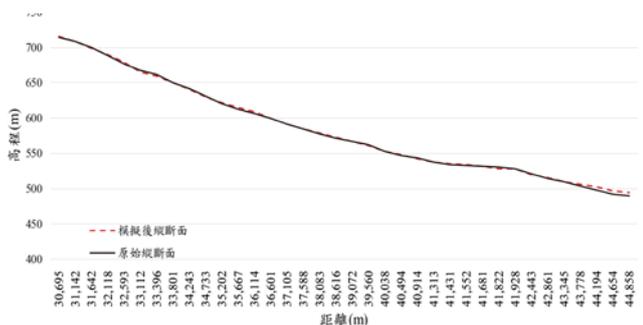


圖 10 旗山溪 5 年重現期断面變化圖(下游)

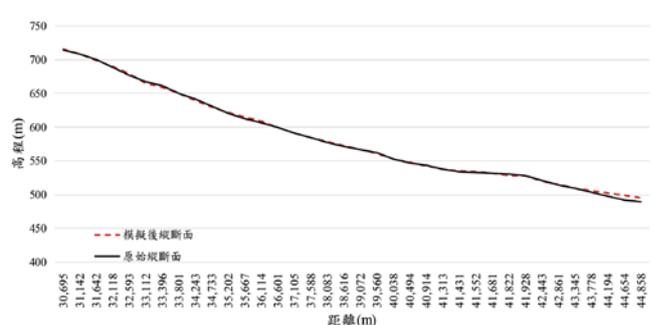


圖 13 旗山溪 25 年重現期断面變化圖(下游)

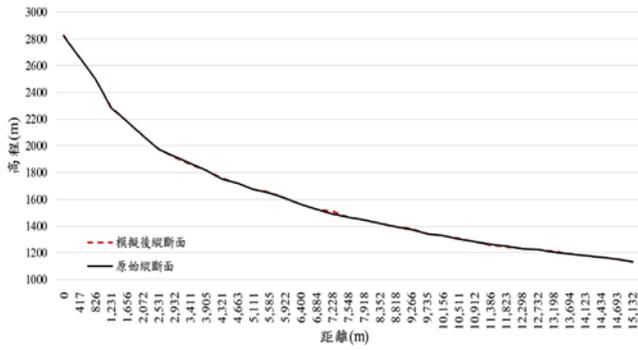


圖 14 旗山溪 50 年重現期断面變化圖 (上游)

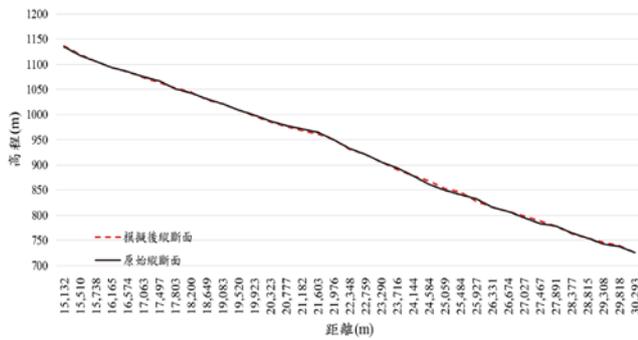


圖 15 旗山溪 50 年重現期断面變化圖 (中游)

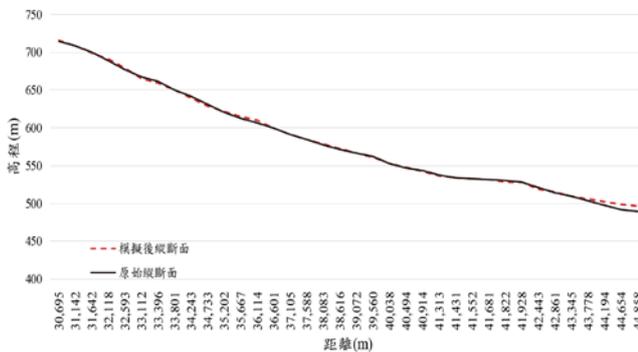


圖 16 旗山溪 50 年重現期断面變化圖 (下游)

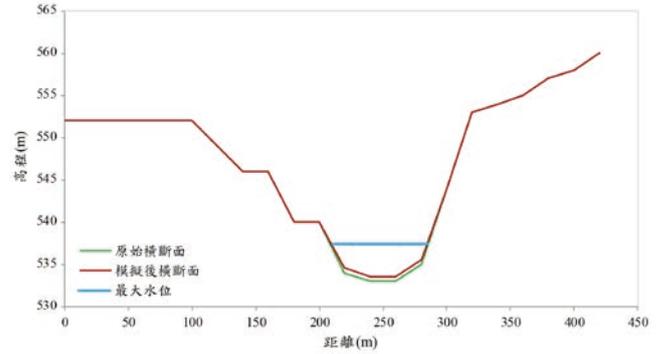


圖 17 旗山溪 (瑪雅里) D12 橫断面 5 年重現期變化圖

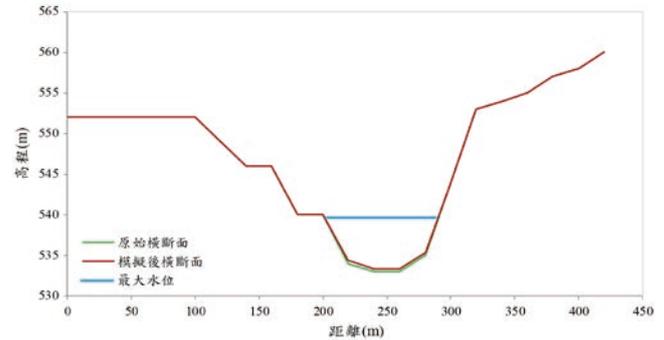


圖 18 旗山溪 (瑪雅里) D12 橫断面 25 年重現期變化圖

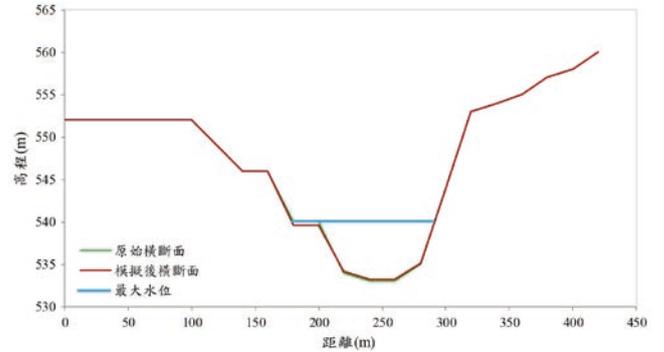


圖 19 旗山溪 (瑪雅里) D12 橫断面 50 年重現期變化圖



圖 20 旗山溪 5 年重現期縱断面土砂變化量



圖 21 旗山溪 25 年重現期縱斷面土砂變化量

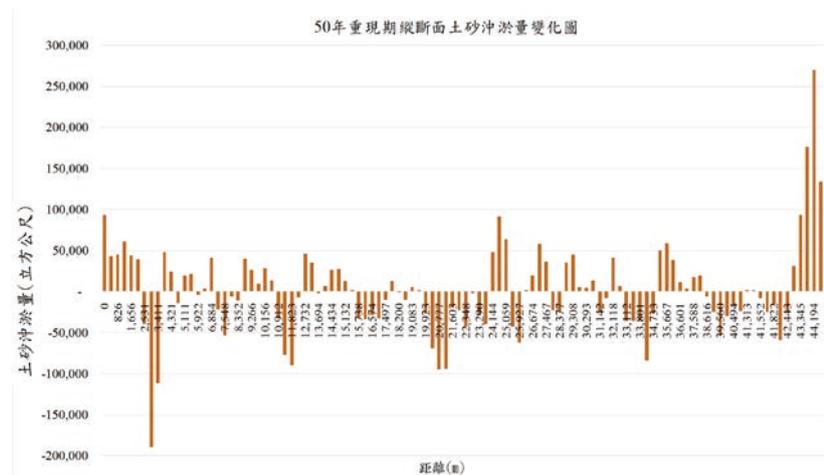


圖 22 旗山溪 50 年重現期縱斷面土砂變化量

集水區因應對策

根據分析結果旗山溪集水區因地質構造發達，地形易造成崩塌、跨河構造物阻擋水流，造成土砂淤積嚴重與橋梁斷裂，故流域土砂管理指標中旗山溪上游子集水區有多處崩場地，導致坡面分數指標較高。另外莫拉克風災後，主流河道及野溪因大量土石淤積造成河床抬升、沒有明顯深槽位置，洪水侵流河階平台，對兩岸造成威脅。目前旗山溪及其支流已完成待清疏河段計畫清疏量體，且經一維土砂模式分析不同重現期降雨情況下，近年部分區段仍因地形及颱風豪雨事件影響，大量土石仍淤積於河道，使民生橋、瑪雅吊橋等經常性通洪斷面不足，那次蘭溪至瑪雅吊橋則產生沖刷情形，可能造成河岸崩塌發生。旗山溪新

望嶺、拉庫邦溪、棚機山及老人溪上游子集水區，因仍有大量崩場地，故容易造成下游土砂淤積，但新望嶺、拉庫邦溪、棚機山集水區屬林班地，故須協調林務局進行相關治理。

彙整重點土砂管理地區控制樁沖淤量測、一維土砂動床模式分析、流域土砂管理資訊變動趨勢分析及流域土砂管理指標分析結果，並透過分析結果依據「野溪保育治理規劃與策略評估」針對各流域土砂管理指標後，提短、中、長期治理策略，各項治理策略說明如下藉由不同重現降雨情境土砂變動趨勢分析結果，提出各集水區工程治理策略。各集水區遭遇問題之策略如圖 23 與圖 24，可分為淤積與沖刷河段之治理策略。

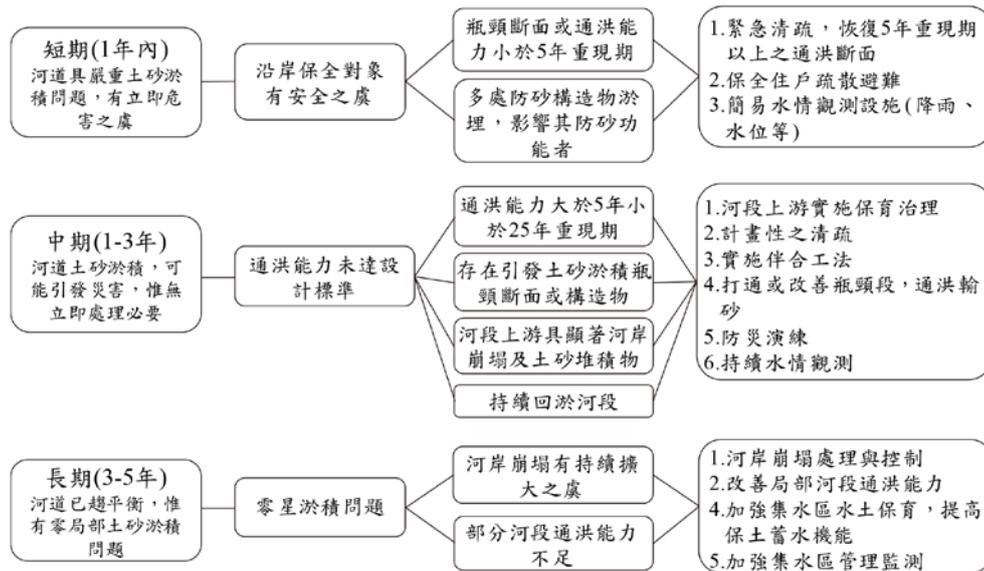


圖 23 淤積河段治理策略

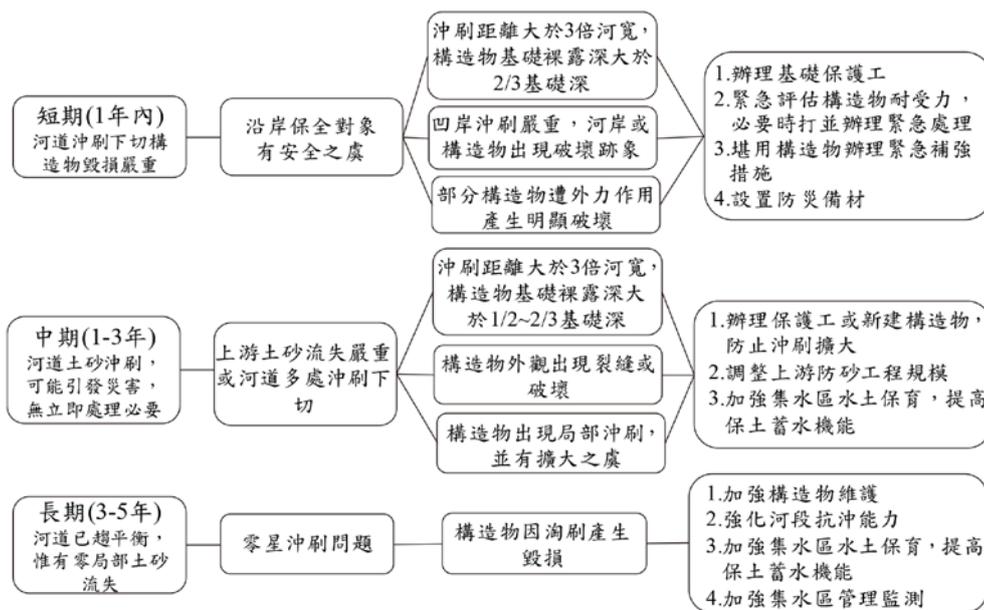


圖 24 冲刷河段治理策略

淤積處理等級

經土石清疏需要性評估後，依其迫切性區分為短期緊急清疏、中長期之計畫清疏及暫不清疏等處理分級。

短期策略

屬高度風險河段，係指集水區內部分河段土砂淤積嚴重，且已危害公共安全，同時在短期內(約0.5年內)能夠處理完成，獲取立竿見影之效果者，可以採取緊急清疏方式處理淤積土石。另，視實際需求辦理一般環境友善評估。

中期策略

屬中度風險河段，係指集水區內有多處河段土砂淤積情形，具危害公共安全之虞，惟可能存在以下問題之一者，宜採中長期之計畫清疏，即：

- (1) 短期內無法逐一完成處理作業，且處理手段亦可藉由保育治理措施加速恢復其通洪断面。
- (2) 可能嚴重衝擊生態環境時，則可採取以集水區為單元，通過規劃手段有計畫性地實施土石清疏及保育治理措施，以消弭土石持續危害之威脅。

長期策略

屬輕度風險河段，河道沖淤已趨平衡，但有零星局部土砂流失之異常問題，宜視實際需求擬定治理對策。

清疏處理對策

由於土砂淤積程度不同而有短、中、長期治理等級之分，同時在對應之治理對策亦存在一定的差異，並具有以下特點包括：

淤積嚴重區位之短期緊急清疏

短期緊急清疏重點在於可以縮短處理時間，且具有很好的改善效能，故特別針對淤積河段直接採取土石清疏作業，力求在極短時間內（約1年內）恢復河道約2~5年重現期之通洪斷面，實為短期緊急清疏的唯一工程對策。此外，亦可採取非工程對策，包括疏散避難作為及水情觀測設施建置。

集水區中期清疏計畫與保育治理

中長期計畫清疏係採取集水區為單元之整體性規劃，配合保育治理措施及環境友善措施，系統性處理集水區之土砂淤積問題及危害。因此，在治理對策上，可依實際狀況因地制宜個別或綜合採取野溪對策和集水區對策，即

- (1) 溪流對策：淤積河段上游之降低土砂下移措施，包括系列防砂設施、護坡措施、沉砂設施等；淤積河段之減少土砂淤積，包括土石清疏、護岸護坡措施、沉砂設施、排除淤積原因等；保全對象部分，則以聚落防護、填高地面及圍堤截流等為主要。
- (2) 集水區對策：包括崩塌地處理、坑溝整治、坡面保護工及縱橫向排水等，其目的在於減少坡面土砂流失量。

集水區長期清疏計畫與保育治理

雖有零星沖淤及河岸崩塌問題，但整體河道已趨穩定。因此水土保持宜以集水區為目標，加強集水區坡地保育措施。

- (1) 河岸崩塌處理與控制；
- (2) 改善局部河段通洪能力；
- (3) 加強構造物維護措施，提高其使用壽命；
- (4) 強化局部沖刷河段之抗沖能力；
- (5) 加強集水區水土保持措施，提高保土蓄水機能；
- (6) 加強集水區管理與監測。

除了上述各項工程與非工程對策外，由於水土保持轄管範圍多數介於上游林務局及下游水利署或縣

（市）管河川之間，使在辦理土石清疏時必須特別重視上下游的介面協調問題，包括協調上游林務局以相關保育治理措施控制上游來砂量，以及協調下游水利署疏通河道瓶頸段。

沖（淘）刷處理等級

經沖（淘）刷程度評估後，依其處理迫切性可以區分為短期緊急處理、中長期計畫處理及暫不處理等分級。

短期緊急處理

由於河床沖刷導致河岸構造物有明顯的破壞跡象（如錯動、下陷、傾倒、背填土流失…等），隨時有坍塌可能，或在無構造物保護的河岸，鄰近土地流失（或崩塌）嚴重，已危及保全對象者，皆應在短時間內立即處理。

中長期計畫處理

溪流構造物有小範圍的損壞跡象、沿岸土地部分流失、或構造物基礎略有淘空等問題產生，雖然無立即危害工供安全之虞，惟經調查判釋溪流床面長期處於沖刷下切之發展趨勢，且存在：

- (1) 短期內無法逐一完成處理作業，且處理手段亦須配合其他保育治理措施（如集水區對策）。
- (2) 可能嚴重衝擊生態環境時，則宜以集水區為單元，通過規劃手段系統性地採取河溪及集水區之綜合保育治理對策，以緩解河溪土砂沖刷之危害。
- (3) 長期計畫處理：略有沖刷或近乎沖淤動態平衡，無危害公共安全之虞，雖有零星沖淤及河岸崩塌問題，但整體河道已趨穩定。因此水土保持宜以集水區為目標，加強集水區坡地保育措施，持續觀察。

處理對策

由於溪流沖（淘）刷程度不同而有短、中、長期治理等級之分，同時在對應之治理對策亦存在一定的差異，包括：

嚴重沖（淘）刷區位之短期緊急處理

短期緊急處理溪流沖刷問題，重點在於可以在短時間內控制沖刷變形之持續發展，包括：

- (1) 加強基礎保護工。
- (2) 可能嚴重衝擊生態環境時。
- (3) 緊急評估構造物之耐受力，必要時宜打除已喪失功能之構造物，並實施緊急處理工程，如混凝土塊、拋石、箱（蛇）籠等。

- (4) 堪用構造物宜實施緊急補強措施。
- (5) 備置防災備材（如消能塊、異鼎塊 … 等），以利緊急搶修搶險之用。

另，視實際需求辦理一般環境友善評估。

集水區中期計畫處理

中期計畫處理溪流沖刷問題係採取集水區為單元之整體性規劃，配合保育治理措施及環境友善措施，系統性處理集水區之土砂沖刷問題及危害。因此，在治理對策上，可依實際狀況因地制宜個別或綜合採取野溪對策和集水區對策，即

- (1) 溪流對策：沖刷河段之控制沖刷持續發展，包括整流工法、凹岸處理及防砂設施等皆能起到控制沖刷發展之效能；沖刷河段之上游段旨在增加土砂的下移量，主要是通過可調式防砂設施進行土砂的調節和下移量。
- (2) 集水區對策：包括保育措施，如造林植生及綠地保持，以及蓄滯洪措施，包括蓄滯洪設施、池塘水田濕地、截流分洪等，其目的在於減少匯入溪流之逕流量，以降低水流對溪床及兩岸
- (3) 保全對象：包括遷移後退，避開河岸土地之威脅，以及採取二道防線，如護岸後方再施作一道護岸，以強化抗沖刷能力。

集水區長期計畫處理

河道沖淤已趨平衡，但有零星局部土砂流失之異常問題，宜視實際需求擬定治理對策。

- (1) 河岸崩塌處理與控制；
- (2) 改善局部河段通洪能力；
- (3) 加強構造物維護措施，提高其使用壽命；
- (4) 強化局部沖刷河段之抗沖能力；
- (5) 加強集水區水土保育措施，提高保土蓄水機能；
- (6) 加強集水區管理與監測。

除了上述各項工程與非工程對策外，由於溪流沖（淘）刷問題受制於上游來水量及來砂量之多寡，故與溪流上游轄管單位林務局之處理成果息息相關，在介面協調上應首重土砂基本控制及其下移量問題。

工程治理策略模擬成果

藉由 5、25 與 50 年不同重現降雨情境土砂變動趨勢分析結果，提出各集水區工程治理策略。本研究針對旗山溪集水區提出短、中、長期提出因應對策：

短期（約 0.5 至 1 年內）

經過水土保持局臺南分局長期投入治理工程及清淤工程下，目前河道斷面皆保持一定通洪能力，但是本區段

因為坡降較緩，在歷經 5 年以上洪水重現期距模擬，淤積量高達 4~5 m 之多，建議做預防清疏以保留至少 10 m 深槽，未來更大規模降雨的土砂淤積空間，清疏長度至少 1.5 km。另外在民生橋上游有三處明顯土砂淤積區段，每處淤積長度約為 1.2 m，應做預防清疏深度約 3~5 m。

中期（約 1 至 5 年）

主要針對旗山溪下游河段定期預防性清疏，如民生橋、民權橋、瑪雅吊橋及三民里段，約 3 年需重新檢視斷面通洪能力是否足夠，另外此河段坡度較緩，故可透過清疏工程提高河道坡度，達到束水攻砂效果，以利土砂帶往下游。另外因颱風豪雨造成土地流失，尤其具下游 2.5~3.6 km 區間，大量沖刷恐造成既有護岸設施基礎掏空，應針對兩岸可透過基礎保護工降低河岸沖蝕並恢復流失土地。

中期計畫清疏係採取集水區為單元之整體性規劃，配合保育治理措施及環境友善措施，系統性處理集水區之土砂淤積問題及危害，如針對老人溪集水區等，降低土砂下移措施，如系列防砂設施、護坡措施、沉砂設施等；針對淤積河段之減少土砂淤積，包括土石清疏、護岸護坡措施、沉砂設施、排除淤積原因等。

旗山溪上游集水區如拉庫邦溪及棚機山等進行崩場地處理、坑溝整治、坡面保護工及縱橫向排水等，由於上述集水區非屬水保局權責範圍，故可協調林務局以減少坡面土砂流失帶往河道下游，造成下游土砂淤積。

長期（約 5 至 10 年）

經過短、中期策略後，針對集水區零星沖淤及河岸崩塌問題，若整體河道已趨穩定，應採取以集水區為目標之水土保持策略，加強集水區坡地保育措施。如河岸崩塌處理與控制、改善局部河段通洪能力、加強構造物維護措施，提高其使用壽命，若經觀察發現河道發生沖刷情形，則需強化局部沖刷河段之抗沖能力，及加強集水區水土保育措施，提高保土蓄水機能。根據河道整體泥沙粒徑與各區段平均坡降關係，建議整體坡降能控制在 2.5% 左右，以提高整體泥沙的輸送。

結論與建議

結論

1. 本年度透過斷面測量分析可了解集水區土砂變化趨勢，並藉斷面測量結果作為一維土砂動床模式分析之用。

- 藉由重點斷面監測可了解清疏工程成效，及豪雨事件後土砂沖淤情形，目前旗山溪土砂殘存量為 960 萬 m³；
- 成重點土砂管理地區控制樁沖淤量測、流域土砂管理資訊變動趨勢分析及流域土砂管理指標及因應對策，了解集水區遭遇問題及提出相關策略，供水保局參考。

建議

- 透過斷面測量與歷年測量結果比較，可了解集水區土砂變化趨勢，並藉由當年度量測成果可掌握清疏工程完工後經豪雨事件之河道是否發生回淤情形，以及作為災後清疏工程設計之參考。
- 透過清疏工程斷面即時監測可掌握河道狀況，了解清疏工程完工前後斷面變化情形，建議可持續辦理相關監測。
- 由於本計畫一維土砂動床模式分析於不同重現期降雨情境下之模擬，模式所建置地形採 2014 年國土測繪中心精度為 20 公尺之數值地形高程，由於此為目前最新地形資料及精度僅 20 公尺，故後續釋出最新數值地形高程資料可持續更新進行滾動檢討。
- 本研究根據旗山溪分析結果提出治理策略：
 - 短期：因坡降較緩，經 Q5 年以上洪水淤積量高達 4~5 m，建議做預防清疏以保留至少 10 m 深槽，未來更大規模降雨的土砂淤積空間，清疏長度至少 1.5 km；民生橋上游有三處明顯土砂淤積區段，每處淤積長度約為 1.2 m，應做預防清疏深度約 3~5 m。
 - 中期：主要針對旗山溪下游河段定期預防性清疏，如民生橋、民權橋、瑪雅吊橋及三民里段，約 3 年需重新檢視斷面通洪能力是否足夠；大量沖刷恐造成既有護岸設施基礎掏空，應針對兩岸可透過基礎保護工降低河岸沖蝕並恢復流失土地。
 - 長期：根據河道整體泥沙粒徑與各區段平均坡降關係，建議整體坡降能控制在 2.5%，以提高整體泥沙的輸送。

參考文獻

- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局，高變動溪床沖淤變化對保全對象之衝擊及因應評估（以來社溪內社溪匯流口為例），2019。
- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局，荖濃溪上游（荖濃、復興、樟山、布唐布那斯溪、東庄溪及玉穗溪）等集水區禦災能力

- 分析與應用，2018。
- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局，重大土砂災害區位成效評估及水土保持治理技術精進計畫，2018。
- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局，臺南分局轄區野溪土砂保育治理需求管理及綠化調適策略成效檢討，2018。
- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局，清疏土石再利用綠色工法之效益及可行性評估計畫，2018。
- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局，臺南轄區土砂運移及系統資料維護管理計畫，2017。
- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局，106 年度南部地區水土保持保育治理專案管理計畫，2017。
- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局，臺南分局轄區土砂運移及系統資料維護管理計畫，2017。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所，臺灣河川輸砂公式建置及應用研究（3/3），2017。
- 行政院農業委員會水土保持局，野溪保育治理規劃與策略評估，2017。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所，臺灣河川輸砂公式建置及應用研究（2/3），2016。
- 行政院農業委員會水土保持局，全臺野溪重大土砂災害區土砂運移潛勢及處理策略，2016。
- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局，105 年度南部地區水土保持保育治理及土砂運移機制管理計畫，2016。
- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局，荖濃溪上游集水區土砂控制測量與監測，2016。
- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局，104 年度臺南分局清疏作業專案管理計畫，2015。
- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局，荖濃子集水區（高市 DF064 等重點區域）細部規劃，2015。
- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局，高屏溪上游集水區水土保持處理及維護需求評估，2015。
- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局，旗山溪上游集水區土砂控制測量與監測，2015。
- 103 年度臺南分局清疏作業專案管理計畫，行政院農業委員會水土保持局臺南分局，2014。
- 野溪淤積土石清疏作業要點，行政院農業委員會水土保持局臺南分局，2014。
- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局，103 年度南部地區水土保持保育治理先期計畫，2014。
- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局，寶來集水區（竹林重點區域）細部規劃，2014。
- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局，104 年度南部地區水土保持保育治理先期計畫，2014。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所，高屏河流域因應氣候變遷防洪及土砂更新研究計畫，2013。
- 行政院農業委員會水土保持局，南部地區重大土砂災害及堰塞湖緊急調查評估計畫，2011。
- 行政院農業委員會水土保持局，高屏溪與林邊溪上游山坡地土砂生產運移變遷調查，2011。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所，氣候變遷下台灣南部河川流域土砂處理對策研究—以高屏溪為例（2/2），2011。
- 行政院農業委員會水土保持局臺南分局，旗山溪集水區水土保持復建調查規劃，2010。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所，氣候變遷下台灣南部河川流域土砂處理對策研究—以高屏溪為例（1/2），2010。
- 集水區土砂整治率之修正及案例分析，中華水土保持學報；第 41 卷，第 1 期（2010/03/01），第 126-130 頁，2010。