



圖 / 大山影像

知本溪可拆式鋼管調節壩 之構築與效益

文、圖 | 許中立 | 國立屏東科技大學水土保持系教授
邱欣慰 | 林務局臺東林區管理處治山課課長
張蘇能 | 林務局臺東林區管理處治山課技正（通訊作者）
蘇志凌 | 林務局臺東林區管理處治山課技佐
鍾宇泰 | 國立屏東科技大學水土保持系研究生

2009年8月莫拉克颱風侵臺造成知本溪流域上游大量崩塌情形，這些崩落土砂料源逐漸往下移，導致中、下游河床淤積嚴重，抬高的溪床使洪水位提高，既有河溪保護工程與橋樑、溪岸邊坡與公私有地安全受到嚴重威脅。為有效解決衍生的相關問題，經於知本溪河段進行連續3年之土砂運移調查監測評估後，在知本國家森林遊樂區的樂林橋上游500公尺處建立可拆式鋼管調節壩一座，同時嘗試降低其下游的既有防砂壩高度，期望能達到有效調整現有河床高程過高的淤積狀況。壩體興建完成後，經實際調查結果，調節式防砂壩已發揮預期的調節土砂、控制流心與降低後續災害風險之功能，很快地時間，洄游性魚類也開始出現，可視為一種對溪流生態較為友善之治山防洪設計方法。

臺東地區因遍布較晚露出的地層，地質年輕且脆弱，又因地震頻發與氣候變遷導致溪流土砂災害劇增，常危及下游公共設施與居住安全。過去針對災後巨量土砂所興建之防砂壩雖也發揮了抑制災害的效果，但在土砂量減緩後，卻也造成溪流長期生態與河床水流連續性的中斷問題及衝擊。嘗試有效經營管理溪流土砂安全運移是現今重要的課題，為改善既有壩體難以變動的缺點，乃運用靈活可調節式的鋼管防砂壩，達到滿足溪流不同時期的輸砂、防災與生態需求。

臺東縣知本溪於2009年8月莫拉克颱風侵臺造成上游大量崩塌情形，大量的崩落土砂料源逐漸往下移，導致中、下游河床淤積嚴重，危及知本國家森林遊樂區以下的各橋樑與河

溪保護工程、溪岸邊坡、公私有地與附近住家安全，林務局臺東林區管理處依據專業研究建議，在知本國家森林遊樂區樂林橋上游約500公尺處，建置國內首座於主流河道設置之「可拆式鋼管調節壩」，用以調節土砂運移，於2017年7月10日完工，期有效調整知本溪河床淤高之土砂所可能造成衍生災害情形。

可拆式鋼管調節壩功能非攔砂、蓄砂，而是藉由可拆解的鋼管，調節土砂向下運移的量體，且鋼管壩採用綠色材料設計，大幅減少混凝土用量，各鋼管組件以強力螺栓進行組合為主，鋼管壩阻砂容量可由鋼管拆解而自由調節，因應溪流在不同狀態時期的防砂需求。

另外在兼顧河川生態需求考量，鋼管採高低斷面設計以降低河床高差，營造低水流路，混凝土壩柱採粗糙面設計，供臺東間爬岩鰍等魚類回溯。鋼管壩完成後，粗估有效調節土砂至少50萬 m^3 。

地理位置

設置監控區域為臺東縣知本溪中下游流域（原係由出海口起算，惟主要探討的重點仍係新建溫泉橋至新建可調式防砂壩之間），區域位置如圖1所示。

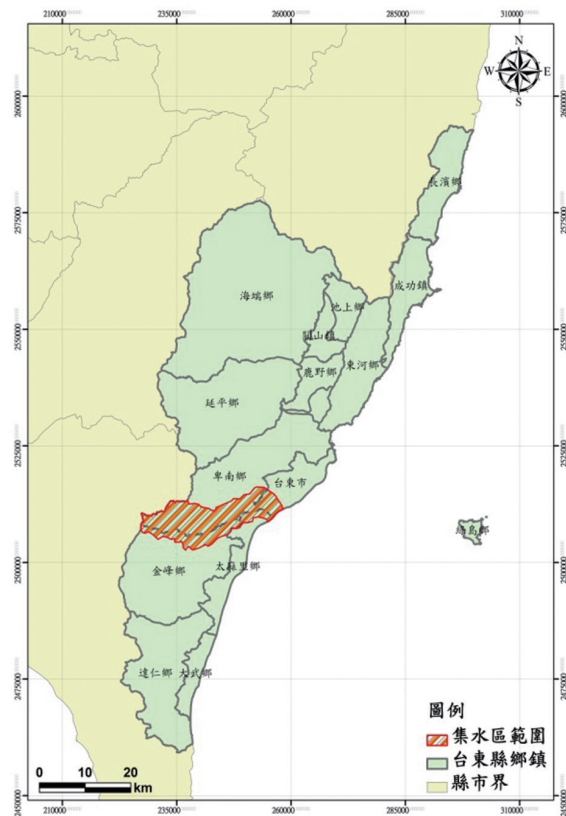


圖1、知本集水區區域位置圖。

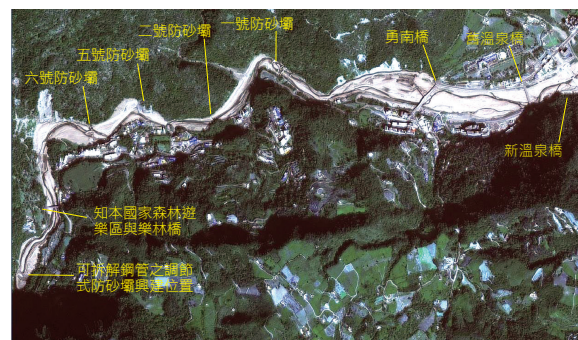


圖2、可拆式鋼管調節壩設置位置圖。



圖3、知本溪可調式防砂壩全貌。



圖4、知本溪可調式防砂壩淤積情形。

可拆式鋼管調節壩介紹

臺灣早期以攔砂壩稱之，主要由攔水壩的概念延伸而來，一般民眾也都對攔砂壩一詞能朗朗上口，但容易誤認攔砂壩主要功能就是攔蓄（阻）砂石，一旦淤滿就失去其功能，必須清淤以回復原有庫容。這也是為何一些環保團體強烈質疑政府相關單位對防砂壩的清淤不力、致防砂壩興建沒幾年就淤滿、不符合經濟效益也危害生態等，因此在治山防災工作上不斷強調「防砂壩」一詞正名的重要性。水土保持手冊將其設置目的清楚定義為「攔阻或調節河床砂石；減少河床坡度，抑止亂流，防止橫向沖蝕；固定兩岸坡腳，防止崩塌；抑止土石流，減少災害等。」也就是說攔阻砂石、抑止土石流確實是防砂壩空庫時的重要功能，但防砂壩淤滿後，也因為溪流坡度減緩而抑制了河道的縱橫向沖蝕，又因為淤滿後對兩岸坡腳的壓制，而達到固定兩岸坡腳及防止崩塌等功能。簡言之，防砂壩不論淤滿與否都有其功能。

知本溪之可拆式鋼管調節壩（Adjustable Sabo Dam）（圖3、圖4）乃是為因應上游流域來砂量逐年增加所做之對策，透過可拆卸式之鋼管，改善現有固定式鋼管壩的缺點。此次興建的可調式防砂壩之型式，共有7個開口，

每個開口有兩段鋼管，分別各為4m高。上游來砂與下游趨於平衡時，可視防災需求移除部分鋼管，以提供河川之基本輸砂需求，同時維持一定的防砂能力。為防患下次發生嚴重之土砂事件，可於災害事件後重新加裝鋼管。可調式防砂壩重點在強調藉由壩體透過動態評估與人為調整來經營管理河道中的土砂運移，最終目的在藉由調整過程，使河川漸趨回復自然平衡狀態。壩體的可調整性，改變了以往固定不變的思維，並透過此種新思維改善一般民眾對於工程會危害生態之老舊印象。

土砂監測方法及產量

為瞭解集水區土砂災害的成因與土砂運移情形，建壩前後持續進行土砂調查與分析工作，並透過航拍與衛星影像計算上游崩塌面積及土砂量體。

集水區的土砂生產來源可分為兩種，即坡面上的崩塌與表土沖蝕（河道兩岸沖蝕不計），故可透過這兩種生產機制的推估，計算集水區的土砂生產量。

根據行政院水土保持局《集水區整體治理調查規劃參考手冊》，本計畫推估崩塌地泥砂產

出總量以下式計算之：

$$V_{\ell} = D \times A_{\ell}$$

式中， V_{ℓ} = 崩塌土砂體積

A_{ℓ} = 崩場地實際面積

D = 崩場地平均崩塌厚度

崩場地平均崩塌厚度由現地調查推估，或衛星影響判釋結果參考國內外相關學術研究之建議值推算，如表1：

本計畫評估崩塌厚度採用歐陽元淳（2003）方式推估知本集水區內崩塌區域之崩塌土方量。土砂變遷量以下式表示之：

土砂變遷量 = 上游土砂產量 + 土壤沖蝕量 - 土砂輸送量

或土砂變遷量 = (坡面崩塌土砂量 + 土壤沖蝕量) × 泥砂遞移率 (SDR)

表1、崩塌深度估計參考表

坡面坡度 (度)	深度※1 (m)	深度※2 (m)	深度※3 (m)	深度※4 (m)
<30	5	2.0	3.50	0.9
30-40	4	1.5	2.75	0.9
40-60	3	1.0	2.00	0.9
>60	2	0.5	1.25	0.9

註1：國家災害科技研究中心

註2：Khazai and Sitar (2000)

註3：中興工程規劃案採用前兩者平均值

註4：歐陽元淳（2003）等值法

由計算結果得知，主要監測區域（A7）於2017年泥砂生產量約115萬 m^3 ，而參考2016年知本溪土砂運移評估計畫計算之泥砂殘留量，累加本年度新增之土砂生產量，共計約尚有360萬 m^3 土砂量殘留於上游。

又分析其中年土壤流失量約為85萬 m^3 ，由此可知，倘若知本溪無新增崩塌的情況下，每年需運移約85萬 m^3 之土砂量，其中包含沖瀉載（Wash Load）、河床載（Bed Load）等，方能維持沖淤平衡。

在主要監測區內，屬近岸崩場地內有兩處，如圖7所示，此處土砂生產量將直接且快速地對主要監測區內河道造成沖淤現象。

此區域之近岸崩塌分別位於樂林橋下游與勇男橋上游，將對此處進行土砂生產量計算，然而此處崩場地形成已久，崩場地新增面積亦相

表3、近岸崩場地土砂計算成果表

崩場地 位置	崩塌面積 (ha)	崩塌量 (萬 m^3)	土壤 流失量 (tons/ha/yr)	土壤 流失量 (萬 m^3)
樂林橋下游	1.73	1.56	127.24	0.016
勇男橋上游	1.43	1.29	127.24	0.013
總和	3.16	2.85	-	0.029

表2、知本溪中下游土砂演算成果

集水區/分區	崩塌量 (萬 m^3)	土壤流失量 (tons/ha/yr)	泥砂生產量 (萬 m^3)	累積泥砂生產量 (萬 m^3)	備註
知 本 溪	A1	8.69	37.34	34.70	-
	A2	11.49	14.62	20.91	-
	A3	9.74	51.83	42.18	A1、A2匯流
	A4	13.74	27.48	31.29	-
	A5	14.62	18.03	26.51	A3、A4匯流
	A6	3.52	17.23	16.97	-
	A7	3.29	16.83	17.49	-

當小，既有崩塌土方多已流入河道內，故主要影響為土壤流失量，其計算成果如表3。

由計算結果得知，總崩塌量體共約為2.85萬 m^3 ，總年土壤流失量約為0.029萬 m^3 。根據現地調查發現，此兩處都為岩盤露出情況，即土壤流失量應相當低，與計算結果相符。又此處之崩塌主因為坡腳淘刷，而導致崩塌面積增大，與土壤流失量相比可見，崩塌影響沖淤影響應該較大，故治理策略應以控制坡腳淘刷為主要方向。

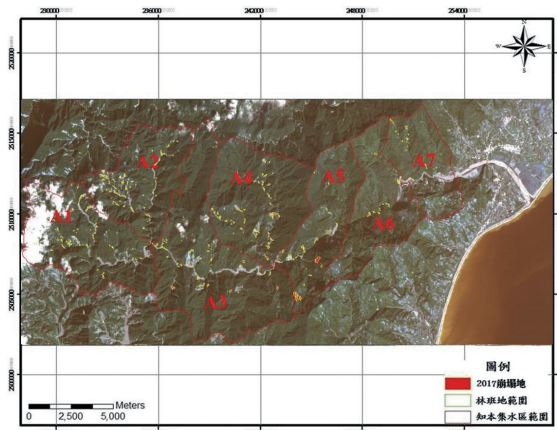


圖5、知本溪集水區崩塌地圖畫範圍。

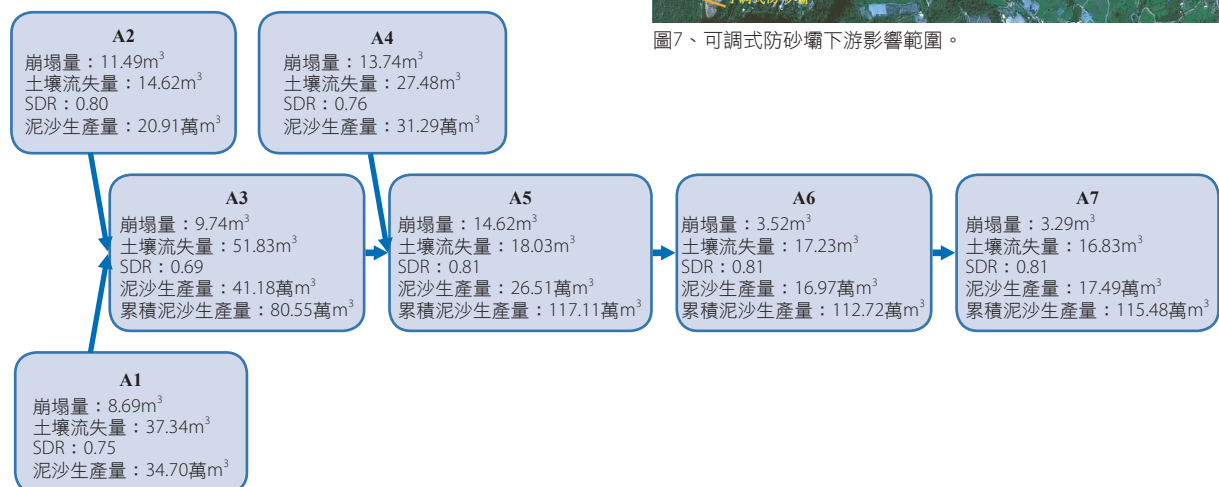


圖6、土砂演算流程圖。

建壩後整治效益評估

整治效益是將無人飛行載具空拍及河道大斷面測量成果搭配進行探討，於2017年（建壩完成前後）共拍攝3次，時間點分別為2017年3月5日、6月6日及7月28日，因2017年6月1日至6月4日梅雨鋒面降雨後有進行空拍，係為建壩後首次降雨事件，對於河道沖淤有明顯的變化；2017年6月6日至7月28日期間為汛期，當中有數次的降雨事件，其結果應能看出於現有鋼管壩開口型式與降低壩體高度（六號壩壩體流心部分降低1-1.5公尺，一號壩部分打除壩翼）事件對於河道之影響如下：

1. 從圖7可得知在連續降雨後，新建壩體確實發揮其設計淤積攔截上游土砂與調整流心之功能。

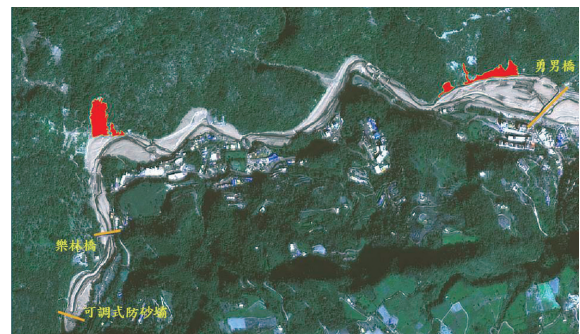


圖7、可調式防砂壩下游影響範圍。



圖8、(a) 2017年3月5日壩體空拍圖。

(b) 2017年6月6日壩體空拍圖。

(c) 2017年7月28日壩體空拍圖。

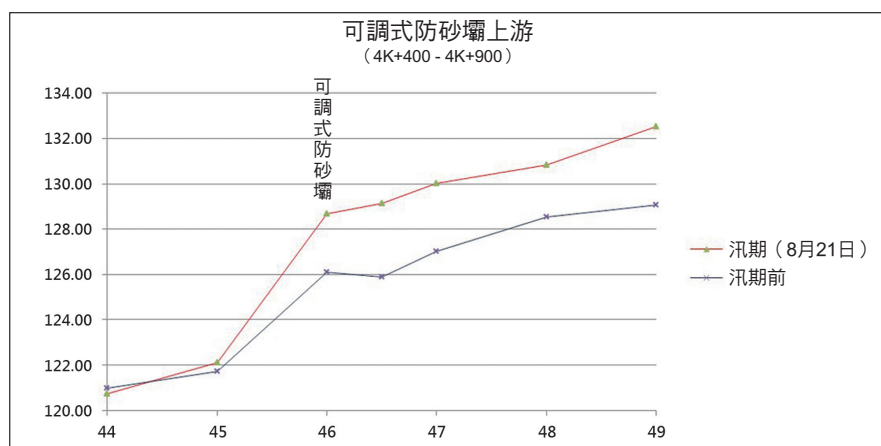


圖9、河道縱斷面—可拆式鋼管調節壩中游。

2.由圖8 (a) 與圖8 (b) 比較分析，因這次梅雨的降雨事件是在新建壩體完工後第一場遇到較大的降雨事件，下游段已有冲刷的跡象，而上游河道雖開始淤積，但仍有足夠的空間可以容納後續集水區下移土砂的淤積，淤積的情形有向上游延伸的情形（增加淤積空間），流心部分則因建壩時所需導水渠道復原而有明顯的變化。

3.一般防砂壩之建立必影響河道沖淤變化，遇洪水時影響變化尤為劇烈，而本次利用知本溪2017年6月1日及8月21日河道大斷面測量資料，以河道測量之各橫斷面最底點繪製縱斷

面圖，以瞭解可拆式鋼管調節壩造成河道沖淤影響變化，如圖9所示。因上游集水區泥砂下移故河道整體呈現淤積情況，平均高程上升2.9m，最大高程差距為3.47m於4K+900處，可拆式鋼管調節壩之設計壩高為8m，目前至壩頂尚餘3.2m淤滿。

4.可拆式鋼管調節壩下游不僅淤積量降低，更已出現冲刷情形，因此本次策略（含下游壩體部分打除）可有效調節上游與下游之輸砂平衡，也達到預期之淤砂高度，減少對防砂壩下游河川之負擔。

建壩對環境生態之影響

經調查發現，建壩前後的生物類群組成很相似，顯示壩體建造工程對於溪流生物的類群組成而言干擾不大。這說明工程開始的時機很重要，如果工程開始的時機配合生物類群的季節性變化，對於溪流中的生物而言，工程就好像經歷一場颱風洪水一樣的干擾。而群聚的分析結果也顯示，臺東間爬岩鰍、過山蝦在防砂壩上游及下游的月別組成越來越相似，這也說明了壩體建造工程後一條暢通的生態廊道已形成，又如圖10為現場拍攝到臺東間爬岩鰍通過防砂壩的情形，特別是所設置的混凝土景觀粗糙化外模，提供了局部連接通道，使得壩體建造工程的結果對於魚蝦、溪流生物以及哺乳類動物來說影響漸微。圖11為防砂壩下游約300m處所見之生物足跡，推測為山羌。而知本溪生態豐富擁有多樣性生物種類，區內的哺乳類動物有臺灣獼猴、臺灣野豬、赤腹松鼠、棕簑貓、山羌、白鼻心、鼬獾及長鬚山羊等，其中又以臺灣獼猴為較常見。

結論

各國發展防砂壩的型態或有差異，但設置的基本目的都是在防止過量與災害性土砂下移，

以保護下游居民安全。然時過境遷土砂量減緩後，防砂壩卻又被強烈質疑危害野溪長期生態連續性與阻礙土砂平衡。為同時滿足野溪減緩土砂災害及其生態連續的需求，固定不變的防砂壩結構已難以應付劇變的溪床土砂環境，故需將砂防工程的觀念由興建防砂壩逐漸轉變成經營防砂壩。

隨著流域產砂量的改變而調整防砂壩之結構，維護各時期基本輸砂平衡，並同時減少防砂壩對河溪環境的損害及生態廊道的阻斷，即是隨著來砂量改變而調整防砂壩結構的概念。為改善既有防砂壩難以變動的缺點，本計畫是以靈活可調整的模組化防砂壩來作為設計基礎。維護溪流生態環境觀念持續在強化，因此防砂壩設計觀念亦需隨時代演進成為常態經營理念，未來更需將防砂壩的設計由原本的純功能取向，逐漸轉變為機能美、景觀美，乃至於防砂壩生態美的層次。藉由防砂壩的可調性，進一步協助溪河生態環境的呼吸，也使防砂壩成為河溪棲地環境復育的推手。 



圖10、臺東間爬岩鰍通過防砂壩的情形。



圖11、河道上的生物足跡。