

東門溪防砂壩調降對河床沖淤變化之影響

劉宜君^[1] 許詠晴^[1] 邱渝方^[1] 李正鈞^[2] 廖雯慧^[2] 陳樹群^{[1]*}

摘要 為穩定台灣恆春東門溪下游滯洪池庫容，本研究針對上游兩座可調式防砂壩提供操作建議。為達此目的乃採用室內渠槽試驗探討各種調降防砂壩方式，對東門溪上下游河床變化及土砂運移量之影響。試驗結果顯示，隨著二號壩溢口橫桿調降，其上游高程呈現等速下降、遷急點呈現等速上移趨勢，而下游會受到一號壩的影響產生回淤情形，其高程及遷急點變化無固定趨勢。在調降壩體初期時有較大的土砂運移量，使得壩體上下游河床坡度變化亦較大，而隨著二號壩溢口調降一半橫桿，土砂運移量及上下游河床坡度已趨近不變，達到上下游河床之平整化。逐次調降可使遷急點緩慢變化並避免土砂量一次性下移所造成之危害。

關鍵詞：可調式防砂壩、壩體調降、河床演變、遷急點、土砂運移。

Fluvial Bed Variation of Dongmen Creek After Cutting Down the Check Dam

Yi-Jun Liu^[1] Yung-Ching Hsu^[1] Yu-Fang Chiu^[1] Zheng-Jun Li^[2]
Wen-Huil Liao^[2] Su-Chin Chen^{[1]*}

ABSTRACT To stabilize the capacity of the downstream detention pond, the recommendations of upstream two adjusted check dams in Dongmen Creek, Hengchun, Taiwan are provided. Moreover, to investigate the effects of various types of check dams on sediment transport and fluvial bed variations, the flume experiments were used. The results show that as the horizontal bars in the second dam are gradually removed, the elevation decreases and the knick points move upstream at a constant velocity. However, the first dam causes sediment deposit that flushed from second dam, and the changes in elevation and knick points do not significantly affect the trend between two dams. In addition, large amounts of sediment transport causes substantial slope change during the initial stages of adjusting a check dam. The sediment transport and slope stabilize when half the number of horizontal bars are removed from the second dam. Therefore, gradually cutting down the check dam can slow the change in knick points and prevent the disaster caused by large amounts of sediment being suddenly deposited in the river.

Key Words: adjusted check dam, cutting down, fluvial bed variation, knick point, sediment transport.

一、前言

防砂壩 (sabo dam; check dam) 為攔蓄及調節溪流土砂、減緩溪床坡度、穩定流心、防止侵蝕、崩塌或抑止土石流所構築之橫向阻水構造物 (水土保持手冊, 2017)。台灣早期防砂工程為抑制其巨大的輸砂量，多以興建封閉式防砂壩為主，以確保全數土砂皆可被防砂壩攔阻。然而站在河川永續經營的角度思考，封閉型防砂壩除了缺乏考量河川棲地連續性 (Biedenharn et al., 1997; Pozo et al., 1997; Kornis et al., 2015)，亦缺乏對於攔阻土砂的選擇性。在河川水力條件改變下，土砂被攔阻於上游，此時河川會因輸砂量不足導致下游淘刷 (Kondolf, 1997)，而破壞河川的自然演變。近二十年來國內外學者針對上述問題提出拆壩之手段 (Doyle et al., 1997; Doyle et al., 2003; Lorang and Aggett, 2005; 王筱雯等人, 2013; East et al.,

2015; 陳樹群等, 2016; Major et al., 2017)，但拆壩工程除了成本較高及拆除期間對河川棲地環境衝擊大，同時冒然拆壩亦會導致難以預測的河床劇變，因此現階段拆壩議題仍具有爭議性。

國內目前拆壩相關案例包括段錦浩等 (1998) 針對七家灣溪支流高山溪系列壩進行水工模型試驗，探討不同壩體調整方式及壩口型狀對河床及棲地之影響。實際拆除壩體後，葉昭憲 (2002) 收集相關水文資料比較壩體調整前後之差異性，結果顯示調整壩體後，深潭地形重新形成及壩後粒徑粗化，這些現象即可顯示生態棲地逐漸恢復。王傳益等 (2010) 利用水工模型試驗結果，依槽偏量及最大沖刷深度位置，訂定七家灣溪一號壩之最佳調整方式為拆除壩體左側之梯形方案 (頂寬 $b/2$ 且底寬 $b/3$)，其拆除後河床之縱向穩定性較高。王筱雯等 (2013) 於一號壩調整後持續監測七家灣溪之河相演變，結果

[1] 國立中興大學水土保持學系
Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

[2] 行政院農業委員會水土保持局
Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Nantou, Taiwan, R.O.C.

* Corresponding Author. E-mail: scchen@nchu.edu.tw

顯示溯源侵蝕速度小於 3.33 m/day，且溯源侵蝕段之坡度從 11.9 %降至 2.7%，並發現調整壩後第一場水文事件對河道影響最為顯著，日後需有更大規模之水文事件才能使河道再進一步變化。陳樹群等 (2016) 分析惠蓀林場蘭島溪梳子壩調整後河床及土砂沖淤變化情形，結果顯示調降後梳子上游出現明顯冲刷溝，並有近 2000 m³ 之土砂量向下游移動，有效減緩下游護岸及固床工淘刷現象。

由上述文獻可知在河川水力條件改變下，進行調整壩體可提昇河川生態多樣性，並有效減緩壩體下游淘刷情形。顯見壩體隨環境變遷而調整確有其必要性，既然如此陳樹群 (2006) 建議在興建防砂壩之時，即必須思考後續調整方案，也就是應賦予防砂壩有其生命週期及應變之能力，亦可稱之為「會呼吸的防砂壩」。目前位於臺灣屏東恆春的東門溪有兩座可調整的封閉型防砂壩即依此概念設計，日前因多起颱風事件壩體上游已淤滿，後續將有進行清疏工程之必要性，但因上游難以設置清疏道路及下游保全對象等限制，故未來將擬配合調整壩體之手段以利清疏工程進行。鑒於上述，本研究針對東門溪進行現地調查及分析，並進行封閉型防砂壩調降對上下游河床影響之物理模型試驗，探討不同調降壩體方式對土砂運移量及上下游河床變化的影響性，以作為土砂管理之參考。

二、研究河段概述

本研究河段為東門溪，屬於保力溪流域一支流。東門溪全長 17.6 公里，集水區面積為 68.6 公頃，平均坡度為 15.9°，為恆春地區主要區域排水 (圖 1)。東門溪發源於赤牛嶺與三台山麓間，蜿蜒於山丘峽谷再由山區流入平原區，貫穿屏東恆春平原，經射寮橋後排入保力溪，其上游屬於泥岩地質且曾多次發生崩塌事件，2015 年時崩塌面積約為 5.4 公頃，2017 年期崩塌面積縮減為 4.0 公頃。

東門溪集水區年平均雨量 2,022 mm (恆春雨量站)，但集中於夏季颱風事件，因此每逢颱風事件極易造成溪水暴漲。2011 年南瑪都颱風、2012 年天秤颱風與 2013 年天兔颱風皆造成鄰近區域嚴重淹水之情形。為改善此情況政府於東門溪下游處建置滯洪池 (70 萬方滯洪量)，目前淹水情況已大幅改善。而為防止滯洪池受上游大量土砂侵入影響，水土保持局台南分局於 2015 年設置兩座封閉式調整型防砂壩，2016 年尼伯特風災過後，兩座壩體已成功使土砂停淤在蓄砂範圍內，避免了上游大量泥砂流入滯洪池，有效維護滯洪量以降低洪峰流量。

東門溪防砂壩從上游二號壩至下游一號壩，兩壩間距長約 148 m，平均河寬 29 m，河床平均坡度 2.42° (圖 1)。二號壩有一個溢口，以八支長 4 m、寬 1 m、高 0.5 m 之預鑄橫桿所組成；一號壩有三個溢口各以八支與二號壩相同之預鑄橫桿所組成，防砂壩相關資料如圖 1 所示。



圖 1 東門溪集水區衛星影像圖 (2018 年 SPOT 衛星)

Fig 1. Satellite image of the catchment of Dongmen creek (SPOT satellite in 2018)

三、壩體上下游河床淤積變化

本研究在東門溪防砂壩進行多次現地調查，2016 年經尼伯特及梅姬颱風侵襲後，二號壩因洪水尚未消退無法量測，一號壩庫容餘 3 m 高；2017 年 5 月時，二號壩庫容已淤滿，一號壩尚餘 2 m 高可供土砂沉積；2018 年 3 月時，一號壩可淤積庫容約剩 1.5 m；2019 年 1 月時，二號壩與一號壩庫容皆已淤滿，詳見圖 2 所示。由歷年壩體上下游淤積情況可知上游土砂來源豐富，完工後僅 1 年半 (2015/12/29 完工) 二號壩庫容就已淤滿，完工後 3 年一號壩庫容亦淤滿。

粒徑調查部分如圖 2 所示，2018 年 3 月其二號壩上游河床面之 D_{50} 為 8.1 cm，屬於小卵石 (small cobble) 為崩塌地土砂運移之推移質。一號壩上游為粉質型粒徑 (silt)，主要是由懸浮質落淤而成。2019 年 1 月二號壩上游河床面 D_{50} 由 8.1 cm 轉變為 7.0 cm，然粒徑變化不大仍為卵礫石推移質型態。一號

壩上游則由粉質 (silt) 轉成 D_{50} 為 6.41 cm，與二號壩大致相同，此現象可反映出因二號壩後淤滿，土砂改以推移質型態往下游一號壩方向移動。此外由 2017 年 5 月及 2019 年 1 月之研究試區河道縱剖面 (圖 3)，可發現 2019 年 1 月相較於 2017 年 5 月時二號壩上游已淤滿，一號壩上游庫容區也近乎淤滿，增加了 4946 m^3 土砂量，且一號壩下游面亦出現高度約 1 m 之泥砂堆積情形，此現象都證明泥砂已逐漸向下游傳輸，未來一號壩上游將因推移質堆積而增加淤砂坡度，同時將更易導致土砂易流入下游滯洪池。因此為避免土砂流入下游滯洪池需進行防砂壩疏工程，但因二號壩位置地形限制，大型機械較難抵達，因此建議以移除壩口橫桿來調降二號防砂壩之方式讓土砂自然隨著洪水運移至一號壩位置，再利用一號壩之疏坡道進行疏工程更具有經濟性，但詳細之調降作業流程仍有待本研究之實驗分析結果釐清。



圖 2 歷年東門溪壩體上下游淤積情況

Fig.2 The deposition of the upstream and downstream of two dams at Dongmen creek over time.

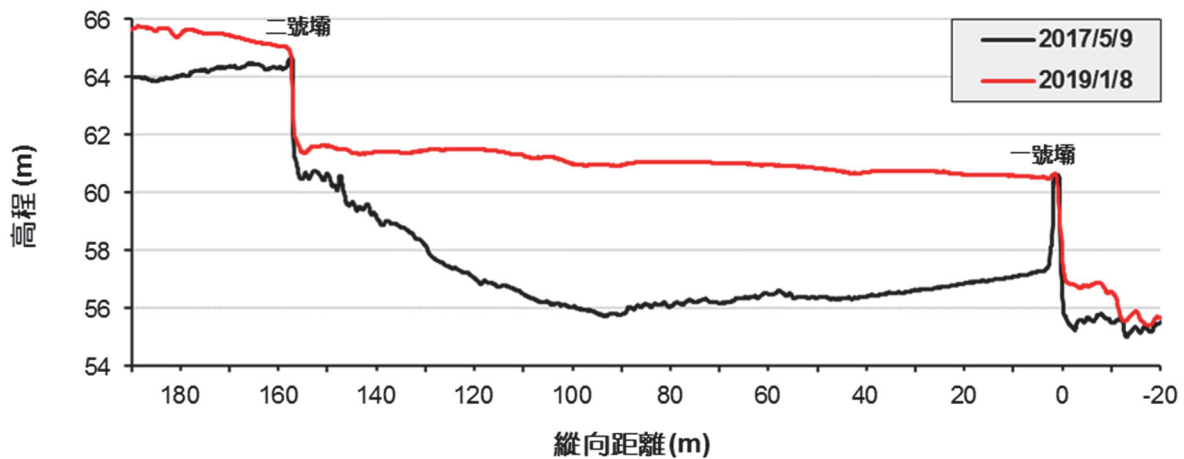


圖 3 研究試區之河道縱剖面圖

Fig.3 Longitudinal profile of the riverbed in the study area.

四、物理模擬試驗

目前兩座壩皆已淤滿有清疏作業及調整壩體之需求，但本研究河段下游設有東門溪滯洪池，如圖 1 所示（紫線範圍），因此本研究考量下游滯洪池之重要性，故試驗中不調整一號壩，僅探討二號壩調降過程，對其土砂運移及上下游河床之影響，相關試驗說明如下。

1. 試驗配置及方法

本試驗使用渠槽為矩形直線玻璃渠道，長 8.0 m、深 0.6 m、寬 0.3 m，渠道坡度依現況鋪設，但現況之橫向變化每次不同，乃採平均值，固定為 1.9°，使上下游之防砂壩產生高度差與現地相等。距離出水口 3.6 m 處固定防砂壩模型，並於模型壩上游鋪設長 1.5 m、寬 0.3 m、高 0.14 m 之均勻砂，且參考現地二號壩下游設有消能塊區，將鋪設長 0.1 m 之石頭消能區，再鋪設長 1.0 m、寬 0.3 m、高 0.06 m 之均勻砂，相關試驗配置如圖 4 所示。

模型壩選用壓克力材質，溢口縮比約為 1/50，二號壩之壩

高為 8 cm，每根橫桿高度為 1 cm，共計八支可拆式橫桿（圖 5(a)），下游設置一相同壩高及可透水性之防砂壩模型（圖 5(b)）。而為配合模型壩本研究選用粒徑為 0.25 mm 至 0.425 mm 之越南砂砂。試驗將以二號壩上游淤滿及下游庫容全空之情況下進行，並固定流量為 $0.0001 \text{ m}^3/\text{s}$ ，約為 2~3 年頻率年之造床流量，為一般最容易改變河床型態之流量，每組試驗進行 30 分鐘，並靜置使土砂自然沉澱夯實，進行雷射地形掃描，接著調整壩體，每次調降一支橫桿，再重複進行，整個試驗過程中不再加砂，為清水動床試驗，試驗流程如圖 6 所示。

雷射地形掃描本研究採用雷射線及 MATLAB 影像進行分析。利用調速器使滑台帶動雷射線由下游至上游以等速度前進，滑台速度設定在 1/5 至 1/6 (cm/s) 間，固定相機位置及拍攝時間（每秒一張照片），紀錄雷射線之移動軌跡。藉由影像照片中之未知點與已知點進行座標轉換，得到影像上每點之三維座標，再調整網格大小以建立數值地形模型。掃描紀錄之範圍為二號壩上游 90 cm 至下游 110 cm 間（圖 7）。此外，在進行試驗之前已先進行雷射地形掃描，紀錄原始地形。

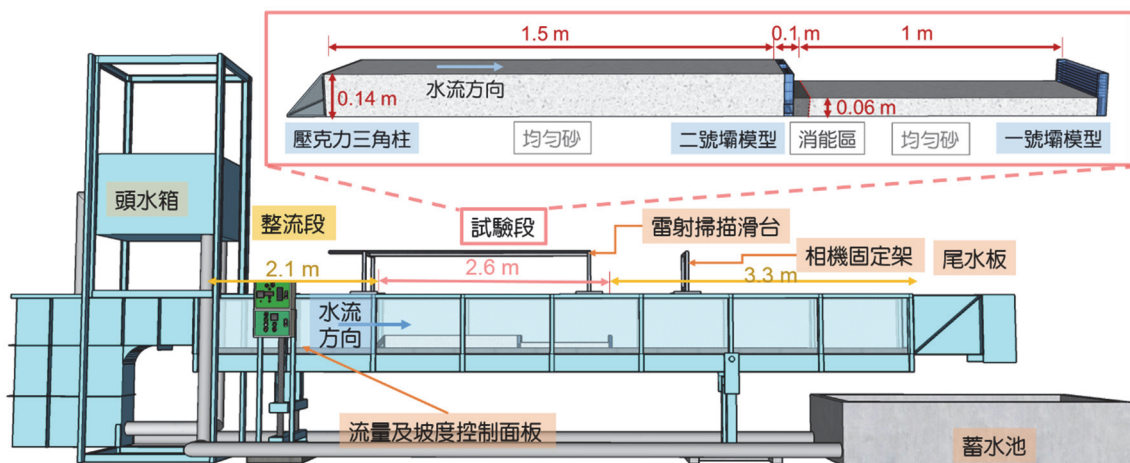


圖 4 渠槽試驗配置圖

Fig.4 Configuration diagram of the flume experiment

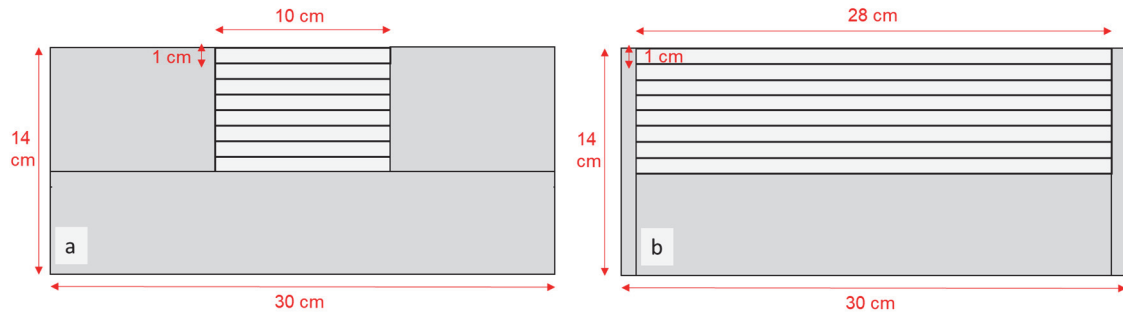


圖 5 (a) 二號壩模型、(b) 一號壩模型之示意圖

Fig. 5 (a) The model of the second dam (at upstream side), (b) The model of the first dam (at downstream side)

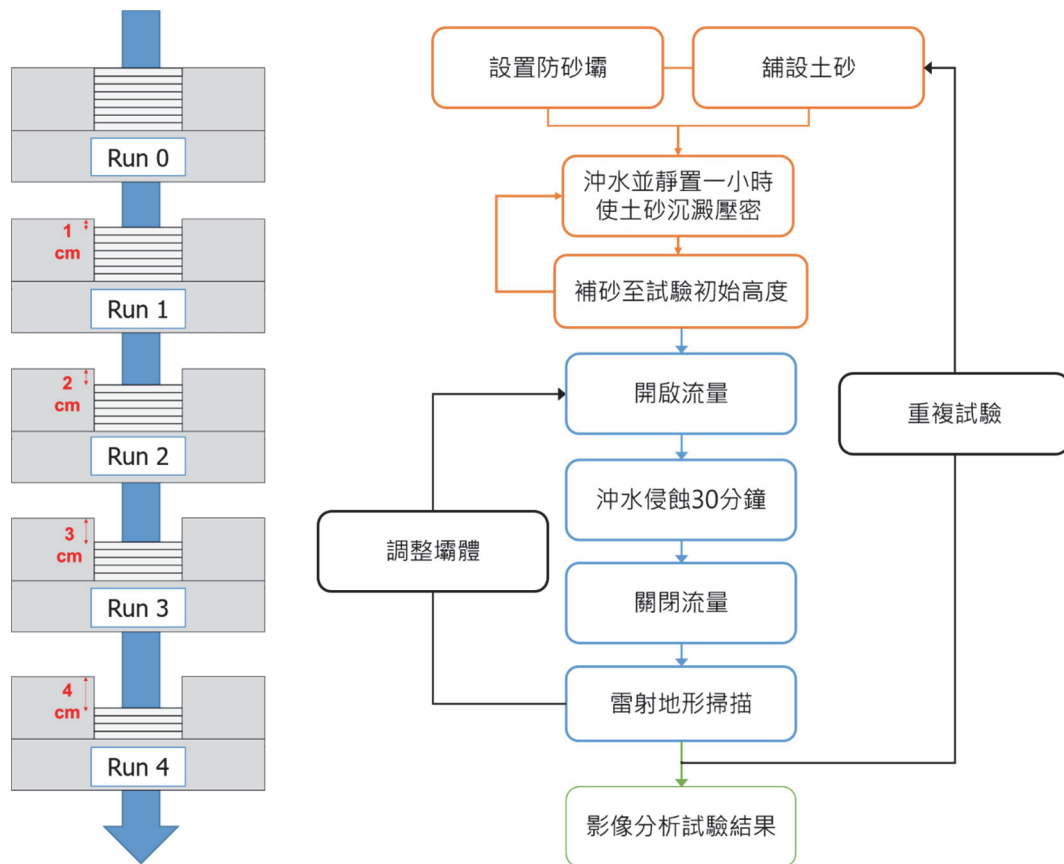


圖 6 試驗流程圖

Fig. 6 The experiment flow chart

2. 試驗結果與討論

(1) 河床地形發展與河道橫斷面變化

各階段調降壩體橫桿後河床地形發展如圖 8 所示，其中本研究將冲刷至下游土砂堆積形狀繪成土砂堆積線，並針對二號壩上游 ($x=140$ cm) 及土砂堆積線處繪製河道橫斷面 (圖 9)。在調降壩體橫桿的過程中可發現水流逐漸集中於左岸，並出現侵蝕現象及明顯的冲刷溝，而遭水流冲刷至下游之土砂以三角丘之形狀堆積，並朝下游方向前進。而隨著橫桿持續調降，上游冲刷溝持續向下刷深，下游土砂開始沿著渠道兩旁堆積並持續向下游前進，其中以圖 8 中 Run 0 至 Run 2 最為顯著。試驗至 Run 3 時，堆積土砂已輸送至一號壩位置，同時二號

壩開口處產生明顯的高低落差，使二號壩下游開口處土砂受水流侵蝕而形成淘刷坑，而水流由上游左岸流進壩之開口時，亦對壩之上游處產生淘刷坑 (圖 10)。

由上游河道橫斷面 (圖 9(a)) 可知，二號壩上游由左岸開始出現冲刷坑，而隨著水流持續冲刷，其冲刷坑先橫向擴展，後續隨著壩體橫桿持續調降開始向下刷深，出現明顯的河階地形 (圖 10)。由二號壩下游土砂堆積線處之河道橫斷面 (圖 9(b)) 可知，其中 Run 0 至 Run 2 河道兩岸高程較高，此現象亦顯示出土砂堆積至兩岸。而在 Run 3 及 Run 4 時橫剖面形狀較不規則，表示出土砂已輸送至一號壩位置，並因一號壩的攔阻，土砂由下游向上游堆積。

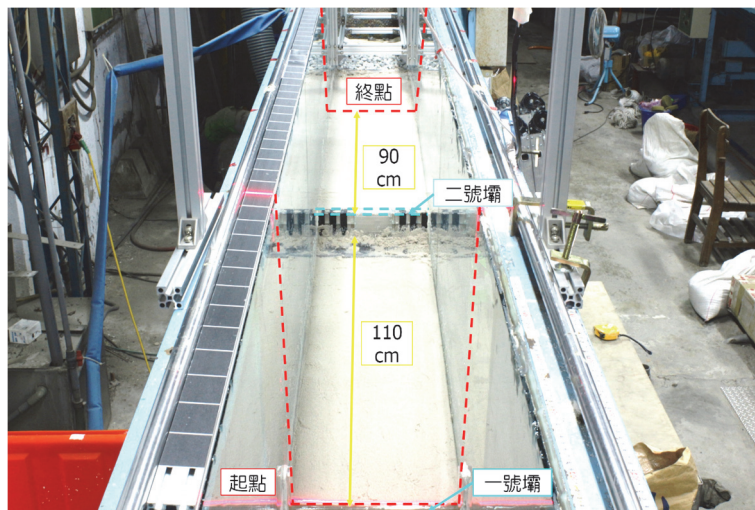


圖 7 雷射地形掃描範圍

Fig.7 The range of the topography scanning by laser

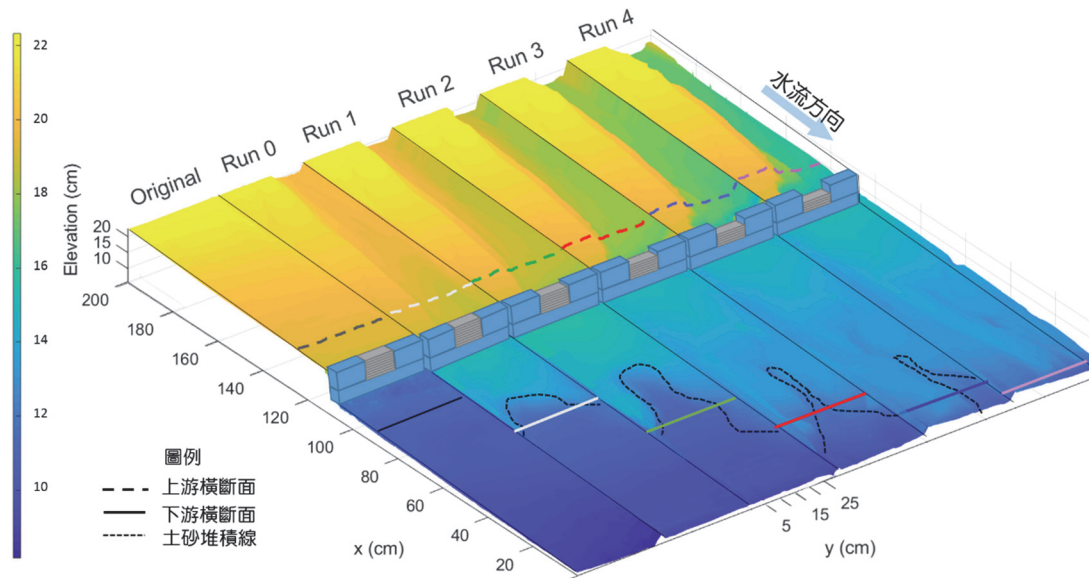


圖 8 調降二號壩其上下游河床地形發展圖

Fig.8 The variation of topography of the second dam after cutting down the creek dam.

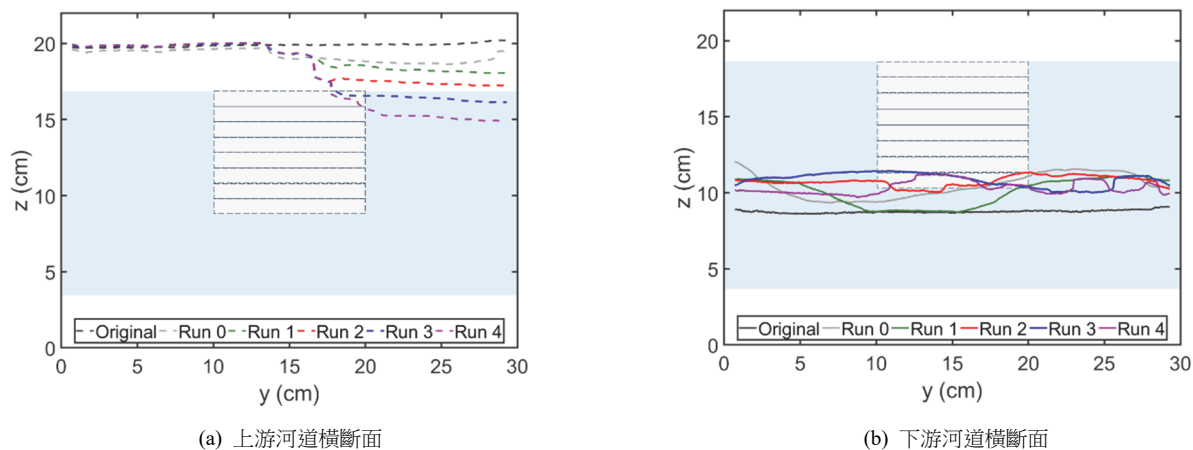


圖 9 河道橫斷面變化圖

Fig.9 (a) The cross-section of the upstream, (b) the cross-section of the downstream.

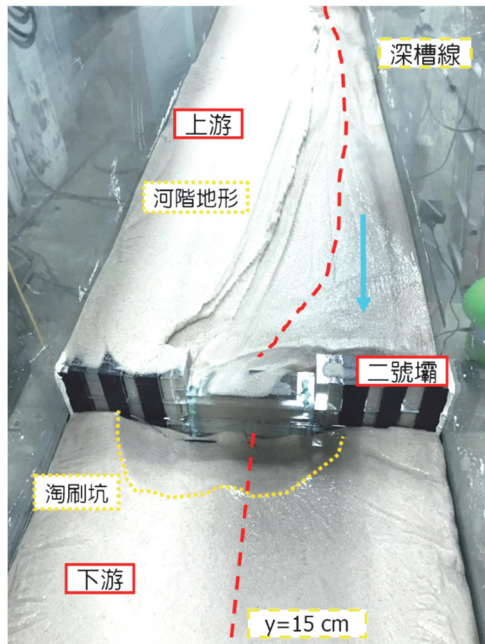


圖 10 二號壩產生之上下游高低落差，使壩下游處產生淘刷坑

Fig.10 The height of the second dam made the scour generated at downstream.

(2) 河床高程與河道縱剖面之變化

為更進一步了解調降壩體後河床各階段的變化，本研究針對二號壩上游地形明顯變化處（深槽處）及二號壩下游中心線處（ $y=15.0\text{ cm}$ ）（圖 10）繪製河床地形之縱剖面圖（圖 11），並分成二號壩上下游高程變化進行討論，上游高程會以 $x=200\text{ cm}$ 處作為基準點，基準點高程相減（試驗後高程與其前一次高程相減）除以每次沖水侵蝕時間（30 分鐘）中計算出上游基準點高程下降速率。下游高程以 $x=0\text{ cm}$ 處（一號壩位置）作為基準點來計算下游高程上升速率，計算方式與上游相同。此外本研究考量壩體開口部分其地形變化較大，故繪製河道

橫斷面（二號壩體上下游 1 cm 處），如圖 12 所示。

由圖 11 可知二號壩上游深槽處隨著調降開口高度（移除橫桿），一開始主要為溯源侵蝕，之後持續向下刷深沖蝕溝，其深槽線最大高差達 4 cm ，其地形變化較大處為靠近壩體 10 cm 內。而二號壩上游高程下降速率計算結果如表 1 所示，結果顯示出平均每調降一橫桿後沖水 30 分鐘，其二號壩上游基準點高程會下降 1 cm ，下降速率為 0.03 cm/min ，下將速率已近乎等速下降。

由二號壩下游中心處縱剖面（圖 11）可知，Run 0 時遭洪水冲刷至下游土砂多聚集在二號壩下游處（ $x=70\sim 100\text{ cm}$ 處）因此該處高程較高；Run 1 時土砂持續堆高並向下游方向前推；Run 2 時洪水將堆積至下游處土砂運移至更下游的地方，下游高程整體上升許多，試驗持續進行至 Run 3 及 Run 4 時受一號壩的攔阻土砂出現回淤之情況。而下游基準點高程上升速率計算結果（表 1）顯示出 Run 0 高程上升 0.87 cm ，平均上升速率為 0.03 cm/min 與上游平均下降速率相同，Run 1 因土砂持續堆積於 $x=70\sim 100\text{ cm}$ 處，因此高程幾乎沒有上升，Run 2 時堆積土砂被洪水運移到下游，高程上升 0.77 cm ，平均上升速率也接近 0.03 cm/min ，Run 3 時土砂出現回淤，因此高程大幅上升增加了 2.68 cm ，平均上升速率高達 0.09 cm/min ，Run 4 時因洪水在一號壩後產生紊流，因此高程反而下降，但距離一號壩後 5 cm 處可發現土砂持續向上游回淤。

各階段壩體開口部分地形變化（圖 12），可發現在二號壩尚未調整時（Run 0），其上下游高程差為 3 cm ，而隨著壩體拆除，Run 1 及 Run 2 其上下游高程差減少許多，直到 Run 3 時，左岸之高程差已趨近為零，試驗進行至 Run 4 時，壩體開口部分高程差僅剩下 1 cm 之差異，此現象顯示出上下游河床之連續性，亦可解釋為二號壩橫桿無須全數拆除，僅需移除 4 支橫桿，就可達成清疏及河床的連續性。

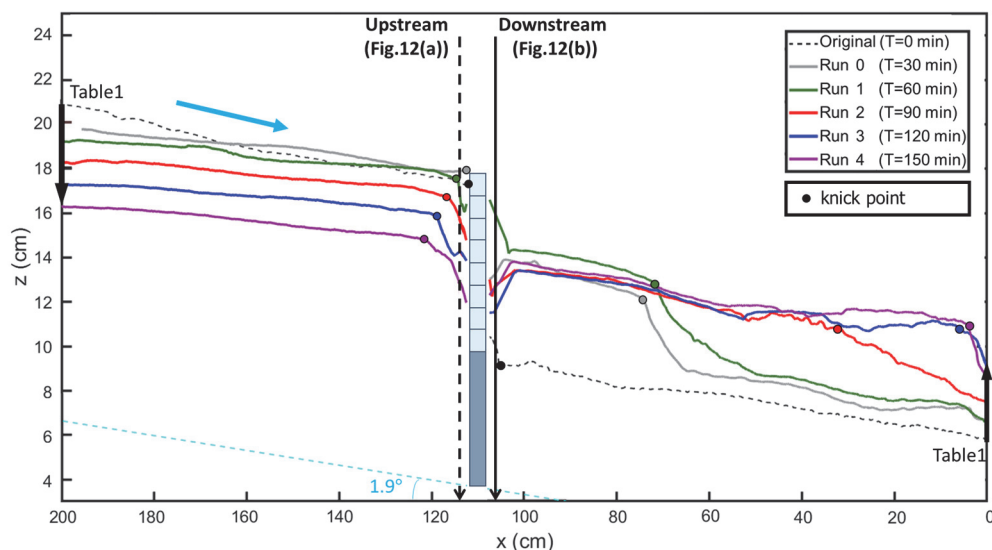
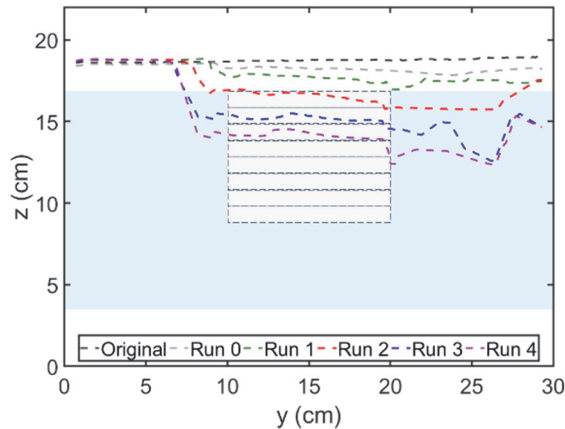
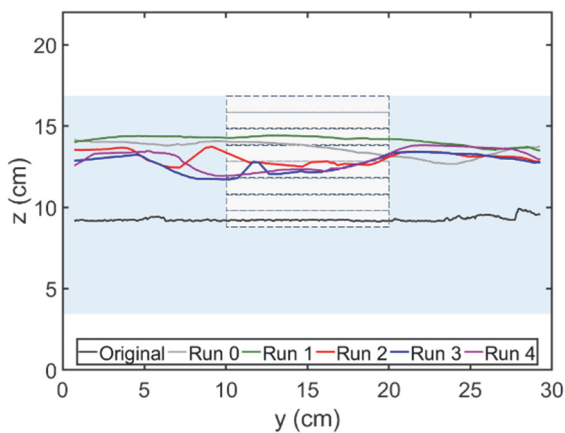


圖 11 河床地形之縱剖面變化圖

Fig.11 The longitudinal profiles of the dam in each run.



(a) 壩體上游1 cm處



(b) 壩體下游1 cm處

圖 12 壩體上下游 1 cm 處之橫斷面變化圖

Fig.12 The section between 1 cm upstream and downstream the dam.

表 1 二號壩上下游河床高程變化率

Table 1 The variation rate of elevation of the upstream and downstream side of the second dam.

	上游高程 (cm)	下降速率 (cm/min)	下游高程 (cm)	上升速率 (cm/min)
Original	20.85	—	5.93	—
Run 0	19.89	0.032	6.80	0.029
Run 1	19.21	0.023	6.91	0.004
Run 2	18.27	0.031	7.68	0.026
Run 3	17.28	0.033	10.36	0.089
Run 4	16.27	0.034	9.94	-0.014

(3) 二號壩上下游遷急點之變化

由圖 12 可知各階段上下游遷急點 (knick point) 的位置，本研究分別計算上游遷急點的後退率及下游遷急點地前進率，計算結果如表 2 所示。上游遷急點後退速

率除了 Run 0 後退速率趨近於 0 以外，其他階段之後退率差異不大，上游遷急點可視為等速後退。而下游遷急點在 Run 0 至 Run 1 時，因土砂是向上持續堆積因此其遷急點變化並不大，在 Run 1 至 Run 2 階段時，因堆積土砂大量被運移至下游一號壩位置，故其遷急點位置變化大，而 Run 2 至 Run 4 階段其土砂已運移至一號壩且發生回淤情形，故其遷急點變化逐漸變小。

表 2 二號壩上下游遷急點變化率

Table 2 The variation rate of knick point of the upstream and downstream side of the second dam.

	上游		下游	
	遷急點位置 (x軸 (cm))	後退速率 (cm/min)	遷急點位置 (x軸 (cm))	前進速率 (cm/min)
Original	112.6	—	105.5	—
Run 0	112.5	<0.01	74.6	1.03
Run 1	114.6	0.07	72.1	0.08
Run 2	116.4	0.06	33.9	1.27
Run 3	118.8	0.08	6.5	0.91
Run 4	121.5	0.09	4.5	0.07

(4) 各階段土砂運移量及河床坡度

土砂運移量為二號壩下游地形變化量，其計算方式是以試驗後地形與其前一次地形相減後的高程變化量，乘上網格大小 (0.05 cm*0.05 cm) 所得。坡度部分：上游平均坡度計算範圍在 x =125~195 cm 間，下游平均坡度計算範圍在 x =10~100 cm 間。二號壩上下游坡度變化如圖 13 所示，可以看出上游坡度隨著壩體調降其坡度逐漸趨緩，其變化幅度較小且穩定。相反的下流坡度變化在 Run 0 至 Run 3 時，因大量土砂堆積至下游 x =70~100 cm 處而後土砂又被洪水一次性運移至一號壩位置，因此其變化幅度較大，而後因受到一號壩之影響，試驗進行至 Run 4 時，坡度近乎無變化，且上下游坡度皆達到穩定，此現象可說明壩體開口無須繼續調降，河床坡度已達到穩定狀態。

土砂運移量計算結果如圖 13 所示，圖中可看出 Run 0 時，壩體尚未調降但其土砂運移量最多，此現象可解釋為因本研究試區上游有許多崩塌地，但因試區中並無常流量，在無降雨事件發生得情況下土砂無法向下游運移，因此在二號壩庫容淤滿的情況下，當降雨事件發生原先堆積至坡面上或河道中之土砂皆會被洪水大量運移至二號壩下游。而隨著壩體開始調降，土砂運移量逐漸減少，但由數據結果可看出，雖然壩體每次是拆除一橫桿為等距下降，但其土砂運移量並非等量，初始調降時土砂運移量變化較大 (Run 1 至 Run 3)，直到 Run 3 至 Run 4 時土砂運移量已近乎相等。

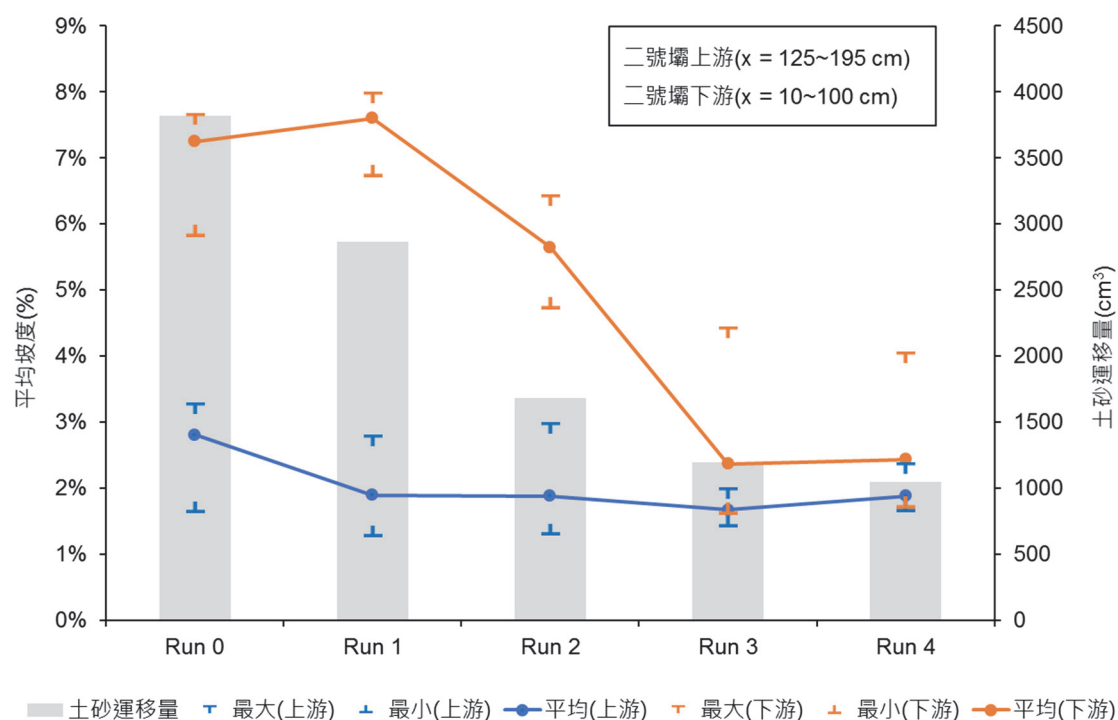


圖 13 二號壩上下游坡度變化與土砂運移量關係圖

Fig.13 Relation between the volume of sediment transport and the slope of the upstream and downstream side of the second dam

五、結 論

本研究旨在考量研究試區的現地條件下，為保全下游保全對象及降低清疏成本，故規劃以調整壩體方式使上游淤積土砂可隨自然力運移至下游壩，為此本研究進行室內渠槽試驗，模擬不同壩體調降方式，觀察其河道變化趨勢，並探討各調降壩體階段對河床地形及土砂運移之影響性。

隨著壩體調降，二號壩上游初始為溯源侵蝕，後續洪水持續沖刷沖蝕溝最後形成河階地形；二號壩下游堆積土砂會沿兩岸以三角丘形狀向下游移動，直到土砂運移到一號壩位置，堆積土砂開始回淤下游平均坡度逐漸趨緩，其一號壩後亦產生渦流，使壩後產生淘刷坑。上游基準點高程下降速率呈現等速下降趨勢且上游遷急點後退速率亦呈現等速後退趨勢，而下游基準點高程上移速率及下游遷急點會受一號壩影響，其變化程度較大。在進行壩體調降是每次拆除一橫桿為等距下降，但其土砂運移量並非等量，初始調降時土砂運移量變化較大，爾後調整之土砂流出量呈現遞減狀態。本研究將壩體調降至 Run 3 及 Run 4 時，其土砂運移及二號壩上下游坡度近乎相等，且壩體開口處高程差趨近為零，已達成河床上下游之平整化，故本研究建議逐次移除二號壩 4 支預鑄橫桿，目的在穩定控制土砂流出量，藉由水流來運移上游淤積土砂，方不至於危害下游滯洪池。

參考文獻

- [1] 水土保持手冊 (2017), 行政院農業委員會水土保持局、中華水土保持學會, 台灣。(Soil and water conservation handbook (2017). Soil and Water Conservation Bureau, Chinese Soil and Water Conservation Society, Taiwan. (in Chinese))
- [2] 王筱雯、郭偉丞、張家豪 (2013), 「七家灣溪拆壩後之河道演變模式」, 中華水土保持學報, 44(4), 271-281。(Wang, H.W., Kuo, W.C., and Chang, C.H. (2013). "Channel Evolution Conceptual Model Associated with Dam Removal at Chi-jiawan Creek." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 44(4), 271-281. (in Chinese))
- [3] 段錦浩、連惠邦、葉昭憲 (1998), 「七家灣溪河床棲地改善之試驗研究」, 內政部營建署雪霸國家公園管理處。(Tuan, C.H., Lien, H.P., and Yeh, C.H. (1998). *An Experimental Study of Channel Habitat Improvement for Chi-Chia-Wan Creek*. Shei-Pa National Park Headquarters, Construction and Planning Administration, Ministry of Interior, ROC. (in Chinese))
- [4] 陳樹群 (2006), 「可調柵欄式防砂壩」, 中華民國專利證書 M286242 號。(Chen, S.C. (2016). *Modular creek dam*. ROC patent, NO M286242.
- [5] 陳樹群、安軒霏、國領ひろし、林永欣 (2016), 「野溪高土砂災害之模組化防砂壩管理」, 中華水土保持學報, 47(3), 111-121。(Chen, S.C., An, S.P., Kokuryo, H., and Lin, Y.H. (2016). "Modular Check Dam Management in a High-

- Sediment-Disaster Torrent.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 47(3), 111-121. (in Chinese))
- [6] 葉昭憲、連惠邦、段錦浩 (2002), 「高山溪防砂壩改善工程之實施與現況」, 國家公園學報, 12(2), 191-203。(Yeh, C.H., Lien, H.P., and Tuan, C.H. (2002). “Implementation and Current Channel Morphological Condition of Check Dams’ Partial Removal at Gau-Shan Creek.” *Journal of National Park*, 12(2), 191-203. (in Chinese))
- [7] 王傳益、葉昭憲、段紀湘、呂其倫 (2010), 「防砂壩壩體移除之模型試驗: 以七家灣溪一號壩為例」, 中華水土保持學報, 42(4), 423-437。(Wang, C.Y., Yeh, C.H., Cheng, J.H., Duan, J.S., and Lu, C.L. (2010). “Model Experiment on the Check Dam Removal: A Case Study of Chi-Chia-Wan Creek Dam NO.1” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 42(4), 423-437. (in Chinese))
- [8] Biedenharn, D.S., Elliott, C.M., and Watson, C.C. (1997). *The WES Stream Investigation and Streambank Stabilization Handbook*, Prepared for U.S. Environmental Protection Agency by U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- [9] Pozo, J., Orive, E., Fraile, H., and Basaguren, A. (1997). “Effects of Cernadilla-Valparaiso reservoir system in the River Tera.” *Regulated Rivers: Research and Management*, 13(1), 57-73.
- [10] Kornis, M.S., Weidel, B.C., Powers, S.M., Diebel, M.W., Cline, T.J., Fox, J.M., and Kitchell, J.F. (2015). “Fish community dynamics following dam removal in a fragmented agricultural stream.” *Aquatic Sciences*, 77(3), 465-480.
- [11] Kondolf, G.M. (1997). “PROFILE: hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels.” *Environmental management*, 21(4), 533-551.
- [12] Doyle, M.W., Stanley, E.H., and Harbor, J.M. (2003). “Channel adjustments following two dam removals in Wisconsin.” *Water Resources Research*, 39(1).
- [13] Doyle, M.W., Stanley, E.H., and Harbor, J.M. (1997). “Hydrogeomorphic controls on phosphorus retention in streams.” *Water Resources Research*, 36, 1147.
- [14] Lorang, M.S., and Aggett, G. (2005). “Potential sedimentation impacts related to dam removal: Icicle Creek, Washington, USA.” *Geomorphology*, 71(1-2), 182-201.
- [15] Major, J.J., East, A.E., O'Connor, J.E., Grant, G.E., Wilcox, A.C., Magirl, C.S., Collins, M.J., and Tullos, D.D. (2017). “Geomorphic responses to dam removal in the United States—a two-decade perspective.” *Gravel-Bed Rivers: Processes and Disaster*, New York, NY: John Wiley and Sons, 355-383.

2019 年 04 月 25 日 收稿

2019 年 06 月 24 日 修正

2019 年 07 月 03 日 接受

(本文開放討論至 2019 年 09 月 30 日)