

環圈式丁壩工於堤基沖刷防治之研究

王傳益⁽¹⁾林長葵⁽²⁾呂紹吉⁽²⁾陳湘婷⁽³⁾楊孟祥⁽³⁾

摘要

在全球氣候急速變遷下，颱風汛期時之高強度集中降雨益加頻繁，加上台灣河川坡陡流急及地質條件不佳，而造成河道劇烈的沖淤變化，嚴重影響防洪構造物的安全。堤防基腳為防洪構造物最重要部分，若遭沖刷破壞則造成潰堤，將導致堤後人民生命財產重大損失。因此，本研究基於保護堤基安全，研發新型之透水性環圈式丁壩工。考量丁壩工之設置角度($\theta=45^\circ$ 、 90° 、 135°)及丁壩工壩軸坡度(S =水平、 $1/30$ 、 $1/10$)等重要幾何參數進行動床試驗，藉由相關沖刷防治試驗來瞭解其沖刷特性及堤基保護工之最佳配置。試驗結果發現，環圈式向上游丁壩工($\theta=45^\circ$)，能有效抑制丁壩壩頭沖刷坑發展，於壩軸坡度為 $1/10$ 時，其壩頭沖刷減緩率約為 52.7% 效果最佳。

(**關鍵字**：環圈式丁壩工、壩軸坡度、沖刷減緩率)

Study of Levee Foundation Scour Prevention with Ring Column Spur Dike

C.Y. Wang,⁽¹⁾ C.K.Lin,⁽²⁾ S.J. Lu,⁽²⁾ H.T.Chen,⁽³⁾ and M.S. Yang⁽³⁾

Professor⁽¹⁾ (Corresponding Author), Graduate Student⁽²⁾ Department of Water Resources Engineering and Conservation, Feng Chia University, Taichung 407, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

The extreme climate types occur frequently under the effect of climate change in the global. High intensity rainfall frequently of typhoon, rapid flow of steep rivers and poor geological conditions result in severe variations of river bed and flood protection structures safety seriously. Levee foundation is the most important part of flood protection structures. It causes the scouring of the river bed around the levee foundation, and results in the exposure of the levee foundation and impacts the safety of people life and property. Therefore, this study develops a new type of protection works, water-permeable ring column spur dikes, to enhance the security of levee foundations. Various parameters of lived-bed experiment including the angles with flow direction of spur dike ($\theta=45^\circ$ 、 90° 、 135°) and axis inclination of spur dike ($S = \text{level}$ 、 $1/30$ 、 $1/10$) are considered. Based on the experiment, we can understand the scour characteristics and propose optimal allocation of the protection works of levee foundation. The results show that the ring column spur dike facing toward the upstream sets at 45° angles, $1/10$ axis inclination of spur dike, it is the optimal set type among the experimental conditions conducted in this study. The optimal allocation of spur dike can reduce 52.7% of the scour depth reduction rate of levee foundation.

(**Keywords**: ring column spur dike, axis inclination of spur dike, the scour depth reduction rate.)

(1) 逢甲大學水利工程與資源保育學系教授(通訊作者 e-mail : cywang@fcu.edu.tw)

(2) 逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士

(3) 逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士生

一、前言

1.1 研究動機

防洪工程皆會於河岸設置護坦工，用以保護堤防之基礎。護坦工有整流、降低沖蝕、保護基腳等功能。丁壩工是常被用來保護堤防基腳的護坦工之一，使堤防基腳不受水流直接沖蝕，並產生淘刷破壞。然而丁壩工之損壞主要是因為丁壩工壩頭容易受水流衝擊，淘刷嚴重，導致壩頭沉陷或斷裂流失，並逐漸擴及壩身，失去保護堤防基腳的功用，故將丁壩工由壩根向壩頭(河心)傾斜構成一縱坡，即丁壩壩軸坡度，來減緩壩頭受水流淘刷，達到持續保護堤防基腳之功用，以確保堤後人民生命財產安全。

1.2 研究目的

本研究以傳統式丁壩工與新型堤基保護工法-透水性環圈式丁壩工進行渠槽試驗，藉由在直線渠槽中設置環圈式丁壩工與傳統式丁壩工，模擬丁壩工在不同的設置條件下，了解丁壩工設置後其周圍底床沖淤變化與機制，其後研提較佳之丁壩工配置模式供相關單位工程參考設計。

二、文獻回顧

2.1 堤防沖刷機制

根據眾多堤防段之歷史資料、受災成因分析及實際現場觀察結果，堤防受水流沖刷基腳而致堤內淘空、破堤之主要沖刷受災原因。當洪水作用的過程中，若水流向河岸灘地進行側向之沖刷，則此河岸之岸壁會因底部的沖刷而持續產生崩塌、後退的現象，當崩塌至堤防基礎保護工時，保護工將因底部河床遭沖刷而失去穩定性，進而產生沉陷、滾動或流失。當洪水持續作用時，保護工將逐次塌陷、流失，使水流直接作用於堤防基腳，若堤防基礎深度不足，則水流將淘刷堤體內之回填物料。若堤體遭水流貫穿，則水流將集中由缺口大量流出，並進而將該處岸壁刷寬且刷深，故潰堤處之深度往往大於沖刷時之深度。因此，若基礎深度能達到阻止堤體淘刷，將進而防止堤面及基礎

斷裂等大範圍災害之發生。

2.2 河道沖刷機制

在地文演變及水工結構物之影響下，均會造成河床高程之抬升與下降，茲就河道水流沖刷形式敘述如下 (Melville & Coleman, 2000)：

1.一般沖刷(**general scour**)：自然河道因水流帶動泥砂運動，進而使河床高程變動之沖刷行為。一般沖刷分為長期一般沖刷與短期一般沖刷兩種。

(1)長期一般沖刷(**long-term general scour**)：為長時間水流對泥砂累積之沖刷現象。

(2)短期一般沖刷(**short-term general scour**)：為較短時間尺度內單一或數個洪水對泥砂之沖刷現象。

2.局部沖刷(**localized scour**)：主要由水工結構物所造成之沖刷。包括束縮沖刷、局部沖刷和射流沖刷。

(1)束縮沖刷(**contraction scour**)：受到水工結構物影響，使河道斷面束縮，阻擋水流流況，而導致水流流經此區域之流速加快，造成束縮區域內的沖刷行為。

(2)局部沖刷(**local scour**)：因水工結構物的存在，於週遭之水流產生局部阻礙或干擾現象，迫使水流流速、方向產生劇烈變化，引發渦流與底床剪應力等現象，影響河床局部泥砂運動行為，造成河床高程下降之沖刷現象。

(3)射流沖刷(**jet-flow scour**)：主要發生在溢洪道、堰或攔沙壩等會出現自由跌水的下游區段。當水流流經有落差的水工結構物時，由於重力的影響而產生較大之動能沖擊河床，造成下游底床劇烈沖刷，進而危害結構物的穩定及安全。

局部沖刷會依照上游水流速度大小不同，分為清水沖刷(**clear-water scour**)及濁水沖刷(**live-bed scour**)。清水沖刷為水流流速小於底床質臨界啟動速度($V < V_c$)，而上游無底床質補充至沖刷坑時之情況；濁水沖刷則為水流流速大於底床質臨界啟動速度($V > V_c$)，而上游底床質受水流作用影響，當達到底床質臨界啟動速度時，底床質補充至沖刷坑之情況。當清水沖刷隨沖刷時間的增加而達到臨界狀況，沖刷坑會因向下射流的速度減緩，而無法再對底床進

行淘刷漸趨於平衡；濁水沖刷的平衡沖刷深度會因上游有底床質的補充，作不規則振盪，其振盪的幅度會因流速的增快而趨於平緩；清水沖刷時，最大沖刷深度比濁水沖刷大，而清水沖刷達到平衡時所需的時間會比濁水沖刷長。

Melville & Raudkivi(1977)、Melville & Chiew(1999)曾分析過流體的水流強度，即平均流速 V 與泥砂顆粒臨界啟動流速 V_c 之比 (V/V_c) 對沖刷之影響，得到以下結論：

- (1) $V/V_c < 0.5$ 時，不會產生沖刷。
- (2) $0.5 \leq V/V_c < 1$ ，為清水流況，即清水沖刷。
- (3) $1 \leq V/V_c < 4$ ，為含滓流況，即挾砂沖刷。
- (4) $V/V_c \geq 4$ 時，為挾砂沖刷，並產生逆砂丘(anti-dune)。

2.3 丁壩工

丁壩工為河岸突出而橫向於水流，藉以達到掛淤造灘或挑流護岸之土工構造物。其對水流具有二個作用，(一)減速作用，即減緩沿岸流速，以沉積土砂達到保護堤岸目的。(二)挑改水流方向，使主流遠離堤岸，導流歸槽，以達治導之目的。丁壩工設置須考慮因素如下：

2.3.1 丁壩工種類

1. 不透水性丁壩工：

為塊狀之連續體，其控制水流作用、挑流效果較佳，多由石料、土料、混凝土或成排鋪砌所構成，目前常用之傳統工法包括：突堤丁壩工、龜甲型丁壩工、沉樁丁壩工等。

2. 透水性丁壩工：

容許水流經過丁壩工孔隙，間接消滅水流動能，可藉其減緩流速使土砂沉降之功用，達掛淤造灘、保護堤防護岸之效果，目前常用之工法包括蛇籠丁壩工、馬槎、框型丁壩工及半透水異型混凝土塊丁壩工等。

2.3.2 丁壩工方向

依據丁壩工壩軸與水流方向之交角，可分為「向上游」、「向下游」與「正交」三種，如圖 1 所示。如從丁壩工設置效能而言，由於水流越過壩體時，將趨近於壩體呈直角之方向往下流，可使水流趨向河心，並使下游之堤岸附近有較明顯之掛淤，原則上可採略向上游之丁壩工較佳，但壩頭因底水流激烈，較易被淘刷；而直角丁壩工適用於水流散亂或流向變遷無常之河段，一般多採用此種丁壩工為主。

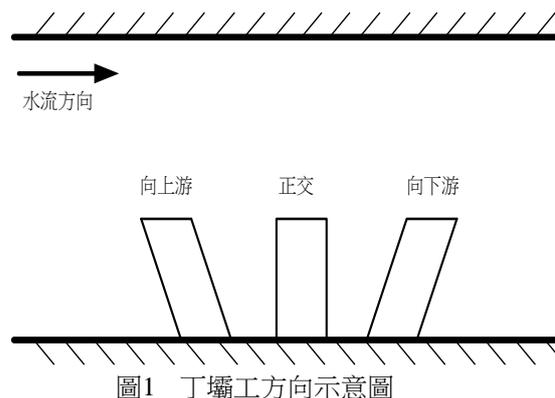


Fig.1 Axis inclination of spur dikes

2.3.3 丁壩工長度

丁壩工長度依其設施目的、河寬、上下游情形、對岸影響及本身之安全而決定。台灣丁壩工多以保護河岸為目的，通常採用 20~30 公尺居多。丁壩工壩長過長，不但對上、下游及對岸亦有致災之虞，本身亦易遭沖壞，維護保養亦較困難。一般以維持低水流路挑流為目的，可採用壩身較長者，如為保護河岸或堤防為目的者，則採較短者為佳。

2.3.4 丁壩工寬度

丁壩工寬度應足以抵禦水流之沖刷力，如流速愈大，則其寬度應愈大，一般採用 4 至 8 公尺，大河川則採用 10 至 20 公尺。

2.3.5 壩頭沖刷深度

1. Inglis(1949)最大沖刷 d_s (ft)公式：

$$\text{壩頭坡度 } 1:1.5 \text{ 時, } d_s = 1.8 \left(\frac{Q}{f_b} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2-1)$$

$$\text{壩頭坡度 } 1:2.0 \text{ 時, } d_s = 1.3 \left(\frac{Q}{f_b} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2-2)$$

其中： d_s 為沖刷深度； Q 為流量， f_b 為 Lacey 之淤泥因素， $f_b = 1.76(d_m)^{0.5}$ ， d_m 為河床質平均粒徑(mm)。

2. Neill(1980)丁壩沖刷坑公式：

$$d_s = \alpha \left[\frac{2.5 \times q^2}{d_{50}^{0.318}} \right]^{0.333} - y \quad (2-3)$$

式中， q 為單寬流量(m^2/s)； y 為水深(m)； d_{50} 為中值粒徑(mm)， $0.1 \leq d_{50} \leq 200$ ； α 為係數， $\alpha = 2.1 \sim 2.75$ 。

3. 美國聯邦高速公路署 (Federal Highway Administration of USA) 建議公式:

$$\frac{d_s}{y} = 1.1 \left(\frac{L}{y}\right)^{0.4} F_r^{0.33} \quad ; \quad \text{if } \frac{L}{y} < 25 \quad (2-4)$$

$$\frac{d_s}{y} = 4.0 F_r^{0.33} \quad ; \quad \text{if } \frac{L}{y} > 25 \quad (2-5)$$

式中，L為壩長(m)； F_r 為福祿數。

2.4 丁壩工防治工法之研究

1. 施漢鵬(2004)

模擬丁壩工種類(傳統式不透水性、蛇籠透水性)、丁壩工長度與渠道寬度之束縮比(1/6、1/10)、丁壩工壩根下游與壩軸交角(45°、90°、135°)、渠床坡度(1%、0.01%)進行相關防治沖刷試驗，由試驗結果得知，丁壩工種類以蛇籠透水性丁壩工之河床穩定性較傳統式不透水性丁壩工為佳；在丁壩工長度方面，長丁壩工(束縮比=1/6)對於河岸的保護較明顯；丁壩工角度以 45°於河床可獲致較佳穩定性，其渠岸穩定性亦相對較高；在考量生態、結構物安全及河岸穩定條件下，以 90°透水性蛇籠丁壩工配置最佳。

2. Kuhnle et al. (2002)

不同丁壩工尺寸、水深以及剪力速率等條件都影響著沖刷坑體積，由於是溢頂流量，所以水深與丁壩工高度的比率對於控制沖刷坑形狀是非常重要的條件。

丁壩工角度分別為 45°、90°與 135°之試驗中發現，當丁壩工角度是 90°時，其靠近河岸區域的河床侵蝕為最少，而當角度為 135°時，河床侵蝕現象則相當靠近河岸區。

Melville & Coleman (2000)總結丁壩工相關研究所得之數據有相同之趨勢，即丁壩工角度從 30°增加至 150°其沖刷深度會增加大約 20%。根據研究結果得出沖刷坑體積與丁壩體積之比率大部份之結果以 135°丁壩工較 90°、

45°丁壩工大。

三、 水工試驗

3.1 試驗渠槽

試驗渠槽如圖2所示，其相關資料如下：

(一) 試驗渠槽：

渠槽全長13.6m、寬0.5m、深0.75m，渠槽側壁之材質為強化透明玻璃，以利於試驗進行時之觀測。渠槽尾端有一尾水閘門(tailwater gate)，用以控制試驗水深，渠槽下方有馬達可以抬升前後渠槽之高程，進而控制坡度。

(二) 供水系統：

以15HP(Horse Power)之抽水馬達從蓄水池中抽水，經由給水管送至定水頭水箱，供應水量至渠槽中。水流經渠槽後流入尾水池，再經由排水道流進蓄水池，形成一供水循環系統。而定水頭水箱上緣有一溢流管，可將多餘之水量輸送至尾水池。

(三) 流量控制：

定水頭水箱至渠槽間設有一顯示式管路手動矩形閘閥，可控制量流至渠槽中。流槽前端有一60度之V型堰(V-type weir)，以供量測試驗時之流量。

3.2 試驗模型

本試驗所使用之模型-透水性環圈式丁壩工，分別由群樁基礎與環圈組成(如圖3)，鋼軌樁之群樁基礎埋設於河床下，做為固定環圈並使環圈穩定以避免倒塌之基座。而環圈主要以廢棄輪胎之再利用為目的，利用市面上小客車輪胎泛用之直徑為60cm，配合環圈直徑為1.8cm做幾何等比縮尺，其原型與模型之縮尺比例為1:33.3，而環圈式丁壩孔隙率約為53.45%。

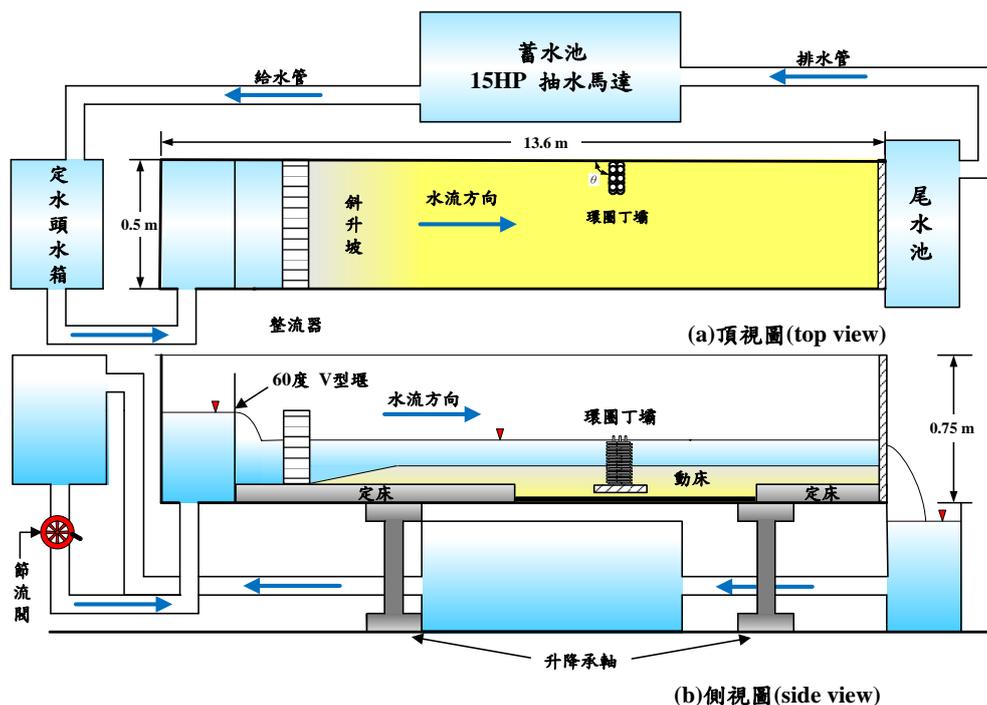


圖 2 試驗渠槽配置圖

Fig.2 Arrangement of the experimental flume

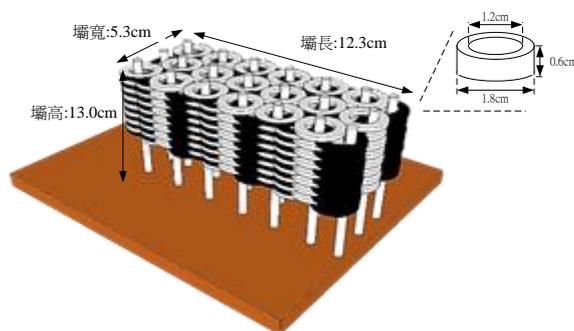


圖 3 透水性環圈式丁壩工示意圖

Fig.3 water-permeable ring column spur dikes

3.3 試驗規劃

為了使試驗能夠順利進行減少誤差，於試驗前需先進行(1)河床質分析；(2)試驗流量率定；(3)相對水流強度；(4)完全發展段之選定。

3.3.1 試驗底床質

為充分瞭解丁壩工周圍沖淤之機制，本研究於渠槽中鋪設 35cm 厚之越南細砂，其河床質粒徑為利用 #20、#30、#40 號篩所篩出之三種泥砂粒徑加以混和，中值粒徑 d_{50} 為 0.67mm，

泥砂標準偏差 $\sigma_g (= \sqrt{d_{84}/d_{16}})$ 約為 1.24，屬於均勻泥砂，其中 d_{84} 及 d_{16} 分別為通過 84% 及 16% 之泥砂粒徑。

3.3.2 試驗流量

本試驗之流量，由給水管上之閘閥所控制，水流從定水頭水箱經由給水管輸送到渠槽中，再流至 V 型堰處。經迴歸得(3-1)式。

$$Q = 0.00004Y^2 - 0.0003Y + 0.001 \quad (3-1)$$

式中，Q=流量(cms)、Y=V 型堰溢流水深(cm)。

3.3.3 相對水流強度

- (一) 流量控制閘閥上、下限中任意選取一流速，待其穩定後，將流速計置於丁壩工上游約 1m 處量測流速。
- (二) 由已知水深 y 及底床中值粒徑 d_{50} ，運用(3-2)式估算底床質臨界啟動速度 V_c ，藉由 Melville(1997)所提出之公式求得，即

$$\frac{V_c}{u_{*c}} = 5.75 \times \log \left(5.53 \frac{y}{d_{50}} \right) \quad (3-2)$$

上式中

$$0.1mm < d_{50} < 1mm$$

$$1mm < d_{50} < 100mm$$

$$u_{*c} = 0.00115 + 0.0125d_{50}^{1.4}$$

$$u_{*c} = 0.0305d_{50}^{0.5} - 0.0065d_{50}^{-1}$$

- (三) 運用流速計測得上游平均流速 V ，而利用上式求得底床質臨界啟動速度 V_c ，即可求得相對水流強度(V/V_c)。
- (四) 運用流量控制閘閥調整大小，而得到所需相對水流強度。

3.3.4 完全發展段

速度分佈方程式之基本假設為均勻流，而在流況尚未完全發展的情況下所量測的資料，並不適用於分析。固在選定試驗段位置之前，需先確認試驗區之流況為完全發展(fully development)流況。而對於完全發展流況之檢定，常用的方法有以下四種：

- (1) 渠寬決定量測點位置。
- (2) 邊界層理論決定量測點位置。
- (3) 水深決定量測位置。
- (4) 速度剖面近似。

因本研究之試驗水深較低，如果以流速剖面決定完全發展段較為困難，故利用試驗區各段水深來決定完全發展段。完全發展段選定之範圍是利用平均流速 V 與泥砂臨界啟動速度 V_c 之比值，即 V/V_c 為 0.95 的情況下量測水深，大約 8.1cm~8.4cm。經試驗分析結果，本試驗之完全發展區段位於距入流口約 7.00m~9.30m 之間，因此本研究設計丁壩工設置於距入流口 8.0m 處之動床區段。

3.4 試驗條件

本研究藉由水工試驗模擬透水性與不透水性丁壩工在不同丁壩工壩軸角度(水平、向上、向下)與不同丁壩工壩軸坡度(水平、1:30、1:10)的配置情況，詳如表 1，分別設置於試驗渠槽之動床區，經 6 小時沖刷後所造成之沖淤情形，並以傳統式不透水丁壩工之壩軸坡度為水平，角度為 135°為對照組進行比較分析，丁壩工配置如圖 4 所示。沖刷結束後，關閉馬達，使用抽水馬達將試驗區段的水抽乾，並記錄記錄沖刷之最大沖刷深度及利用電子測距儀以 1cm*1cm 之格點方式進行丁壩工沖刷坑之縱橫斷面量測，透過河床沖刷減緩率(R_p)、最大沖刷深度及沖刷坑範圍大小等沖刷特性進行分析，研提較理想之丁壩工配置模式。

為瞭解河床沖刷對河防與結構物安全之影響，故將丁壩工周圍所形成的沖刷坑定義如圖 5，圖中參數所代表之意義及影響如下：

- A: 丁壩工上游沖刷坑寬度，顯示沖刷坑對渠道整體斷面的影響範圍。
- C: 丁壩工下游沖刷坑長度，顯示沖刷坑對於丁壩工下游的影響範圍。
- D: 最大沖刷深度與堤岸距離，顯示最大沖刷深度對堤岸的影響程度。

表 1 試驗條件

Table 1 Parameters of experiment

丁壩型式	丁壩設置角度(°)	丁壩壩軸坡度(S)
傳統丁壩 環圈丁壩	45、90、135	水平、1/30、1/10

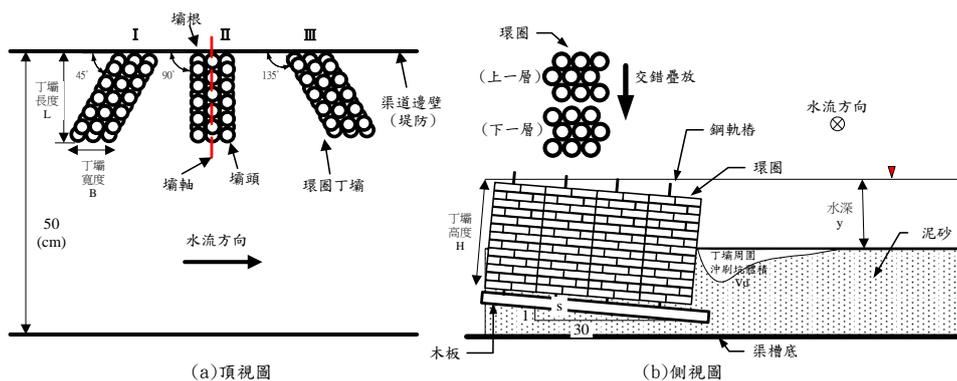


圖 4 環圈式丁壩工配置圖

Fig.4 Arrangement of ring column spur dikes

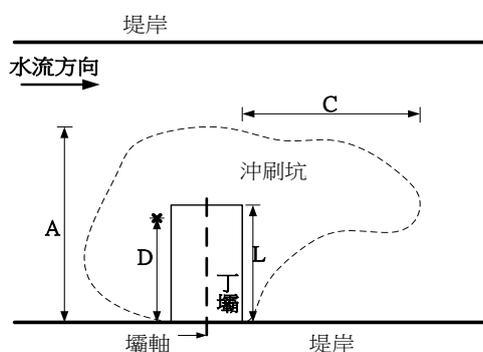


圖 5 丁壩工周圍沖刷坑示意圖

Fig.5 Scour hold around spur dike

3.5 試驗步驟

本研究試驗程序如下：

- (1) 置試驗儀器。
- (2) 裝置試驗配置模型於渠槽內並將泥砂平。
- (3) 開啟試驗所需流量 Q ，並沖刷 6 小時。
- (4) 試驗結束後，將渠槽內水抽乾，以雷射距儀量測河床剖面。
- (5) 更換試驗設計配置，並依照步驟 1~5 完成試驗。
- (6) 確認 3 種壩軸坡度是否完成。
- (7) 確認 3 種壩軸角度是否完成。

- (8) 確認 2 種丁壩工種類是否完成。

四、 結果分析與討論

由表 2 分析結果可知不透水性傳統式丁壩工與透水性環圈式丁壩工兩者保護效果的差異。整體而言，環圈式丁壩工於不同壩軸坡度及角度之河床沖刷減緩率均優於傳統式丁壩工，其中以丁壩工壩軸坡度為 1/10，角度為 45°之沖刷深度最小，沖刷減緩率 52.7% 為最理想之丁壩工配置模式。而傳統丁壩工於壩軸坡度為水平，角度為 135°時之最大沖刷深度 7.4cm 為最高，係最不理想之配置模式。

表 2 丁壩工之試驗結果

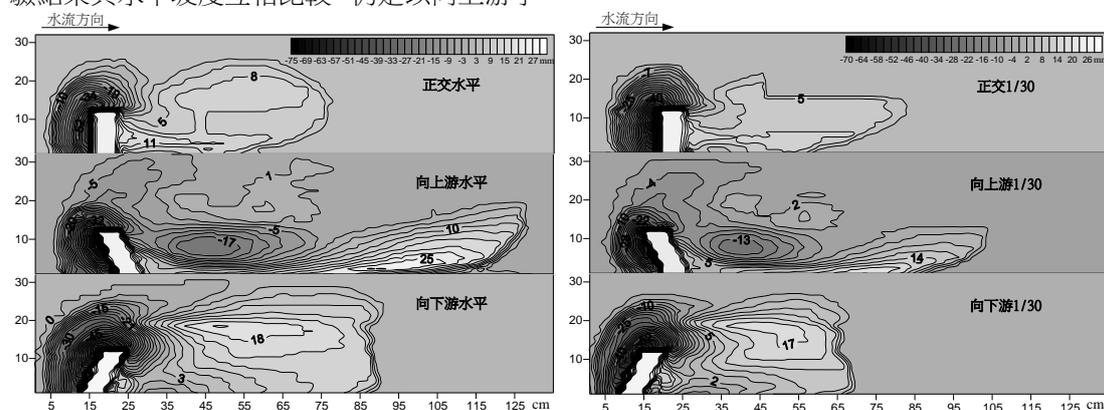
Table 2 Experimental results of spur dike

組別	丁壩工壩軸坡度 S	丁壩工角度 θ (°)	最大沖刷深度 ds(cm)	沖刷減緩率 R_p (%)	A/L	C/L	D/L
T1	水平	90	6.6	10.8	2.1	0.7	0.3
T2	1/30	90	6.6	10.8	1.9	0.8	0.7
T3	1/10	90	6.5	12.2	2.3	0.8	0.5
T4	水平	45	6.3	14.9	2.7	6.7	0.7
T5	1/30	45	5.2	29.7	2.5	3.3	0.5
T6	1/10	45	5.0	32.4	2.3	2.7	0.8
T7	水平	135	7.4	0.0	2.4	0.9	1.0
T8	1/30	135	6.7	9.5	2.2	0.8	1.1
T9	1/10	135	5.6	24.3	2.3	0.7	1.2
R1	水平	90	5.8	21.6	2.1	1.1	0.6
R2	1/30	90	5.9	20.3	2.0	1.2	0.7
R3	1/10	90	5.5	25.7	2.3	1.5	0.8
R4	水平	45	4.1	44.6	2.2	1.3	0.7
R5	1/30	45	3.7	50.0	2.1	1.2	0.6
R6	1/10	45	3.5	52.7	2.1	1.2	0.9
R7	水平	135	5.9	20.3	2.4	0.9	0.9
R8	1/30	135	5.9	20.3	2.5	0.8	1.1
R9	1/10	135	6.6	10.8	2.2	1.3	1.2
註	T=傳統式丁壩工，R=環圈式丁壩工						

4.1 傳統式丁壩工之河床沖刷

由傳統式丁壩工試驗結果(圖 6)發現，向上游丁壩工之沖刷減緩效果優於正交與向下游丁壩工，復由另兩組坡度(1/30、1/10)之試驗結果與水平坡度互相比較，仍是以向上游丁

壩工之沖刷減緩效果較好，亦即保護河岸之功能較佳。由無因次參數值分析可知，除水平正交丁壩工之 D/L 小於 0.5，堤岸存在破壞之風險，其餘 $D/L \geq 0.5$ 應可達到預期保護堤岸之效果。



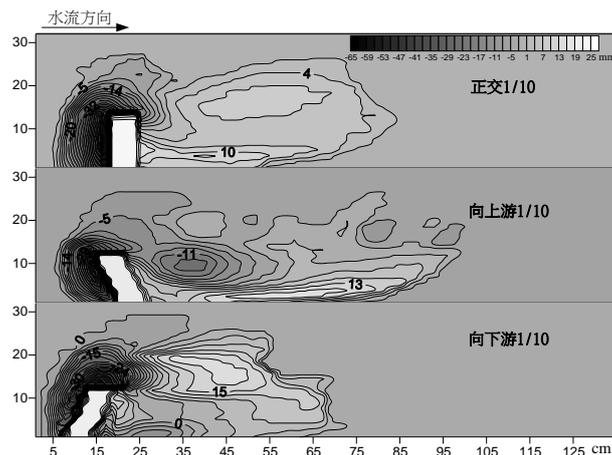


圖 6 傳統式丁壩周圍河床沖刷等高線圖

Fig.6 Contour lines of riverbed scour around the traditional spur dikes

4.2 環圈式丁壩工之河床沖刷

由環圈式丁壩工試驗結果(圖 7)發現，向上游丁壩工之沖刷減緩效果優於正交與向下游丁壩工，復由另兩組坡度(1/30、1/10)之試

驗結果與水平坡度相互比較，仍是以向上游丁壩工之沖刷減緩效果較好，亦即保護河岸之功能較佳，此結果與傳統式丁壩工之結論一致。

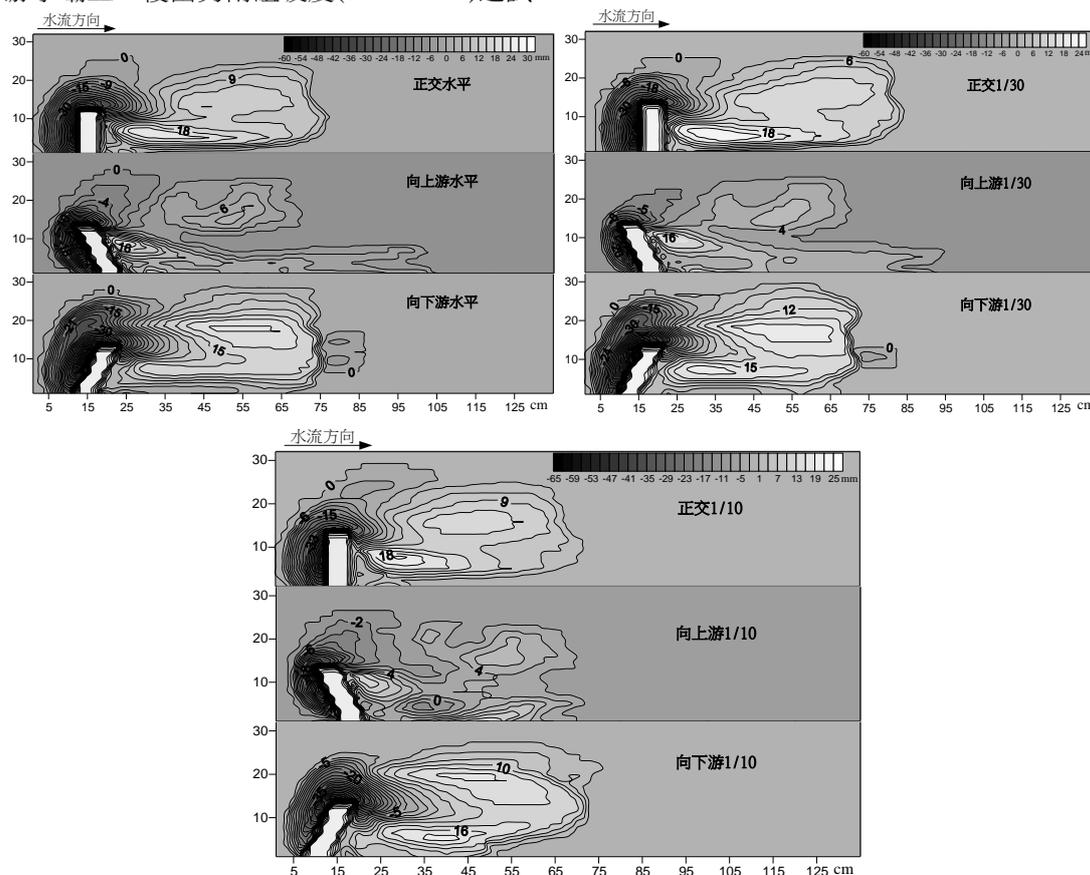


圖 7 環圈式丁壩周圍河床沖刷等高線圖

Fig.7 Contour lines of riverbed scour around the ring column spur dikes

4.3 丁壩工坡度對最大沖刷深度之影響

比較不同傳統式丁壩工之壩軸坡度(水平、1/30、1/10)，發現壩軸坡度越陡對於河床沖刷減緩之效果越佳。而比較不同環圈式丁壩工之

壩軸坡度(水平、1/30、1/10)，亦是壩軸坡度越陡對於沖刷減緩之效果越佳，此結果與傳統丁壩工一致。

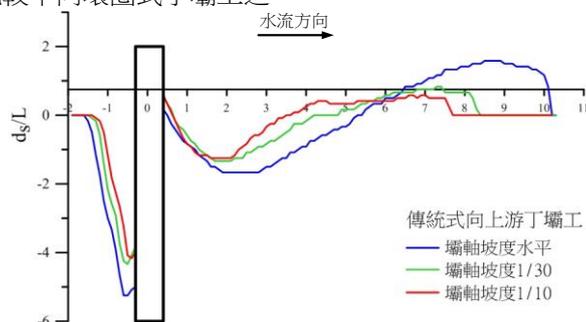


圖 8 傳統式向上游丁壩工之沖刷坑縱斷面圖

Fig.8 Scour hole longitudinal profiles of the traditional spur dikes facing toward the upstream

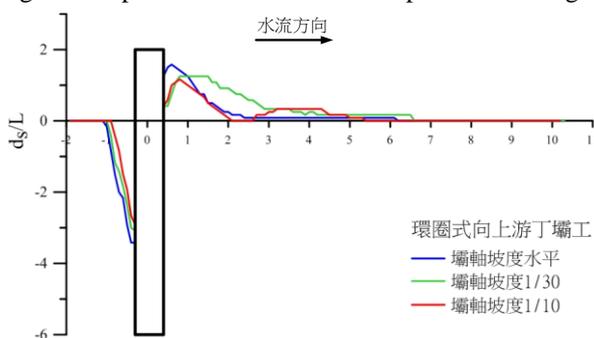


圖 9 環圈式向上游丁壩工之沖刷坑縱斷面圖

Fig.9 Scour hole longitudinal profiles of the ring column spur dikes facing toward the upstream

傳統式與環圈式丁壩工均以向上游丁壩工之沖刷減緩率最佳，此結果與前人研究結果一致。因此本研究針對其於不同坡度之沖刷縱橫斷面加以比較分析如圖 8 與圖 9，發現無論何種型式之丁壩工，均以水平坡度具有最深之最大沖刷深度，其次為 1/30，而坡度為 1/10 之沖刷深度為最小，由此可知設置丁壩工坡度具有減緩沖刷之效果。

4.4 河床沖刷減緩率

由於無論是傳統式或環圈式丁壩工，均以向上游丁壩工對於沖刷減緩的效果較佳，因

此，本研究針對向上游丁壩工之沖刷減緩率 (R_p) 進行比較。由於水平傳統式丁壩工(壩軸角度 135°) 的最大沖刷深度(即 $T7=7.4\text{cm}$) 為全部試驗組之最大者，因此本研究選取該值為對照組，即 d_{sn} 。

由圖 10 可看出，環圈式向上游(壩軸角度 45°) 丁壩工各壩軸設置坡度之沖刷減緩率皆較傳統式向上游丁壩工為佳，且隨著丁壩工壩軸坡度增大而增加，其中又以環圈式向上游丁壩工於壩軸坡度為 1/10 之河床沖刷減緩率 52.7% 為最佳。

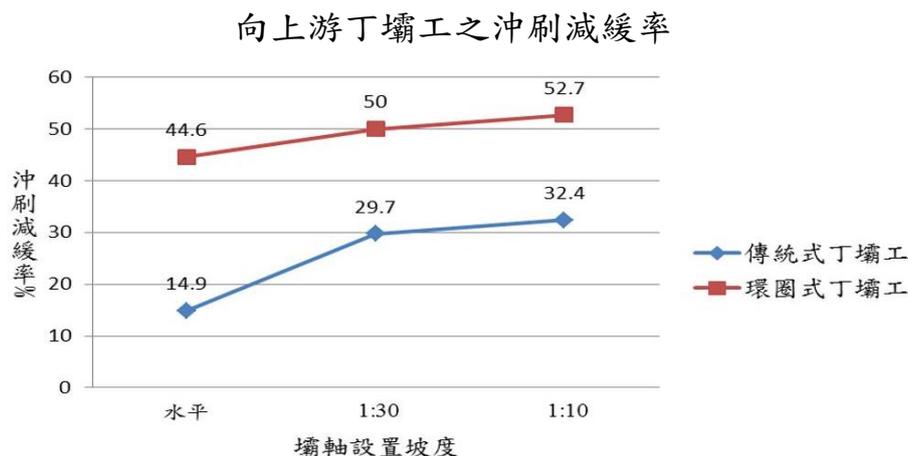


圖 10 向上游丁壩工之沖刷減緩率

Fig.10 Scour depth reduction rate of spur dike facing toward the upstream

五、 結論

1. 整體而言，環圈式丁壩工於不同壩軸坡度及角度之河床沖刷減緩率均優於傳統式丁壩工，其中以丁壩工壩軸坡度為 1/10，角度為 45°之沖刷深度最小，沖刷減緩率 52.7%為最理想之丁壩工配置模式。而傳統丁壩工於壩軸坡度為水平，角度為 135°時之最大沖刷深度 7.4cm 為最高，係最不理想之配置模式。
2. 環圈式丁壩工之各壩軸角度配置之沖淤情形皆較傳統式丁壩工緩和，主因係環圈具透水性，當水流穿過丁壩工間孔隙，間接削減水流動能，減緩流速使土砂沉降，進而達到掛淤造灘、保護堤岸之效果。
3. 無論何種形式丁壩工，其設置壩軸坡度愈陡對於河床沖刷減緩率之效果愈佳。
4. 本研究三種形式之丁壩工，其設置壩軸角度以 45°(向上游丁壩工)為最佳，此結果與前人研究結果一致。
5. 環圈式向上游(壩軸角度 45°)丁壩工各壩軸設置坡度之沖刷減緩率皆較傳統式向上游丁壩工為佳，且隨著丁壩工壩軸坡度增大而增加，其中又以環圈式向上游丁壩工於壩軸坡度為 1/10 之河床沖刷減緩率 52.7%為最佳。

致謝

本文承行政院科技部補助，方得以完成本研究，謹此致謝。

參考文獻

1. 行政院農委會水土保持局(2000)，「水土保持技術規範」。
2. 林呈、沈明佑(2007)，「濁水溪常受損河段治理工法研究(上、下)」，經濟部水利署第四河川局。
3. 施漢鵬(2004)，「丁壩於河川棲地改善之試驗研究」，逢甲大學水利工程學系碩士班碩士論文。
4. Inglis, C. C. (1949), "The Behavior and Control of Rivers and Canals," Research publication No.13, Central Waterpower Irrigation and Navigation Research Station, Poona, India.
5. Kuhnle, R. A., Alonso, C. V. and Shields, F.D. (2002), "Local Scour Associated with Angled Spur Dikes," Journal of Hydraulic Engineering, 128(12): 1087-1093.
6. Melville, B. W. and Raudkivi, A.J. (1977), "Flow Characteristics in Local Scour at Bridge Piers," Journal of Hydraulic Research, 15(4): 373-380.
7. Melville, B. W. and Chiew, Y.M. (1999), "Time Scale for Local Scour at Bridge Piers," Journal of Hydraulic Engineering, 125(1): 59-65.
8. Melville, B. W. and Coleman, S.E. (2000), "Bridge

Scour,” Water Resources Publications, LLC.

University of Toronto Press.

9. Neill, C. R., (1973), “Guide to Bridge Hydraulics,” Roads and Transportation Association of Canada,
10. Stream Stability at Highway Structures (1995), Federal Highway Administration of USA.

105 年 07 月 13 日收稿

105 年 07 月 18 日修改

105 年 08 月 19 日接受