

環圈式丁壩於河道沖刷防治之研究

王傳益⁽¹⁾ 楊孟祥⁽²⁾ 林彥伶⁽³⁾ 王晨宇⁽³⁾

摘要

本研究藉由水工試驗模擬比較透水式環圈丁壩與傳統式丁壩周圍流場之沖刷深度及其變化，搭配三種迎水面坡度 1:0.5、1:1 及 1:2；三種壩軸坡度水平、1/10、1/30 以及兩種丁壩長度 $L/B=1/4$ 及 $1/5$ 。研究結果顯示，不論何種型式之丁壩其最大沖刷深度均發生於壩頭附近，環圈式丁壩之最大沖刷深度皆較傳統式丁壩來的小，因前者具透水性與撓屈性，能促進水流紊動達到削弱向下水流能量，進而抑制丁壩周圍沖刷坑發展及沖刷深度。綜合考量丁壩與堤防之安全，當壩軸坡度為 1/30、迎水面坡度較緩(1:2)且丁壩為短丁壩(L/B)時，其沖刷深度減緩率為 75.0%，能有效減緩丁壩壩頭沖刷深度，且其最大沖刷深度位置最遠離堤岸，對於堤防具較佳之保護效果。¹

(**關鍵詞**：透水式環圈丁壩、最大沖刷深度、沖刷深度減緩率)

Riverbed Scouring Prevention by Using Ring Columns Spur Dike

Chuan-Yi Wang⁽¹⁾ Meng-Siang Yang⁽²⁾ Yan-Ling Lin⁽³⁾ Chen-Yu Wang⁽³⁾

Abstract

This study compared scour depth and its change of permeable type ring column spur dikes and traditional spur dikes by using hydraulic models to simulate flow field around spur dikes with three kinds of head-on water surface slope 1: 0.5, 1: 1 and 1: 2; three kind of dike axis slope level, 1/10, 1/30 and two kinds of dike length $L/B=1/4$ and $1/5$. The results show that in general the position of maximum scour depth occurs near the head of spur dike. The maximum scour depth of the ring column spur dike is usually smaller than the traditional one. The permeability and flexibility of ring column spur dike can promote flow turbulence and dissipate the energy of downflow, and thus restrain the development of scour hole around the spur dike. Comprehensive

1.逢甲大學水利工程與資源保育學系教授(通訊作者 email: 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

consideration of the safety of spur dike and levee foundation reveals that the 1/30, head-on water surface slope (1:2) and short spur dike ($L/B=1/5$). The optimal allocation of spur dike can reduce 75% of the scour depth reduction rate. It can effectively reduce spur dikes scour depth, and move the position of maximum scour depth away from the levee and increase the safety of levee foundation.

Key words : permeable type ring column spur dikes, maximum scour depth, the scour depth reduction rate

前言

丁壩為國內河川治理規劃常見的方法之一，規劃良好的丁壩工法能夠達到改變流路、防止岸壁沖刷、掛淤或造灘等功效，丁壩設置後除對河道產生流路影響外，丁壩易受水流衝擊而破壞而危及堤防安全，而丁壩壩頭沖刷為工法成敗之重要關鍵。於過往經驗中，即使設計規格符合規範之丁壩，在未發揮應有功能之前，壩體即有可能因壩頭遭受水流衝擊，導致壩頭沉陷或斷裂流失，且漸次擴及壩身，失去保護堤防基腳的功用。

為減緩丁壩壩頭沖刷，國內常用加深壩頭基礎至可能沖刷深度以下或特別利用護坦工加強壩頭消能措施，達到保護丁壩之目的；國外則較少採用護坦工保護丁壩，而是於丁壩壩頭結構上進行延伸或改善為

具撓屈性之設計，使得壩頭遭水流沖刷時，其結構可以降低沖刷能量及順著河床沉降往沖刷坑移動，避免壩體因沉陷而斷裂，以穩固壩頭基礎，延長丁壩壽命。

文獻回顧

(一) 丁壩

丁壩於河川整治工程上被廣泛應用，利用丁壩來解決河岸淘刷及控制流心等功能，除了保護河岸並疏導河道外，於河川生態上也有其貢獻，可助於恢復及維持河川生態系統，是一具備保護整治及改善生態環境的保護工法。丁壩是一種由河岸建向河心之水工結構物，其由壩頭、壩身、壩根為主要組成，如圖 1 所示。

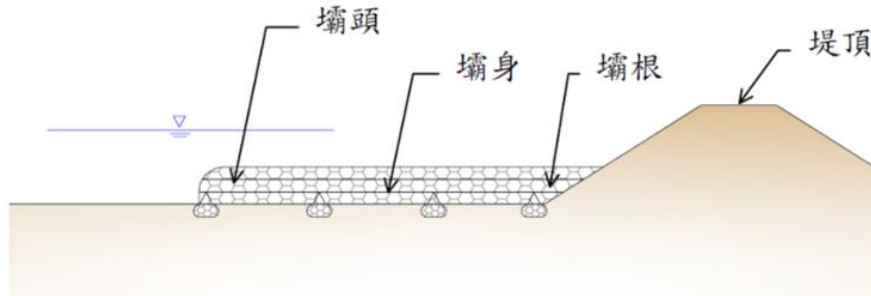


圖 1 丁壩組成單元圖
Fig.1 Components of spur dike

(二) 沖刷之分類

Melville and Coleman(2000)將河道沖刷型態分類如圖 2 所示，並提出總沖刷深度為一般沖刷與局部沖刷之加總，丁壩係河岸突出物，其沖刷機制與橋台沖刷類似，說明如下：

1. 一般沖刷(general scour)：主要為上下游河道輸砂量不平衡所致，非河道中結構物之影響，並有一般長期沖刷與

一般短期沖刷之別，其為依水流影響時間加以劃分。

2. 局部沖刷(local scour)：可分為束縮沖刷(contraction scour)、局部沖刷與射流沖刷(Jet-flow scour)。由於河道中設置水工結構物，阻礙水流，導致河道流場改變與底床剪應力變大，進而對河道沖刷型態造成影響。

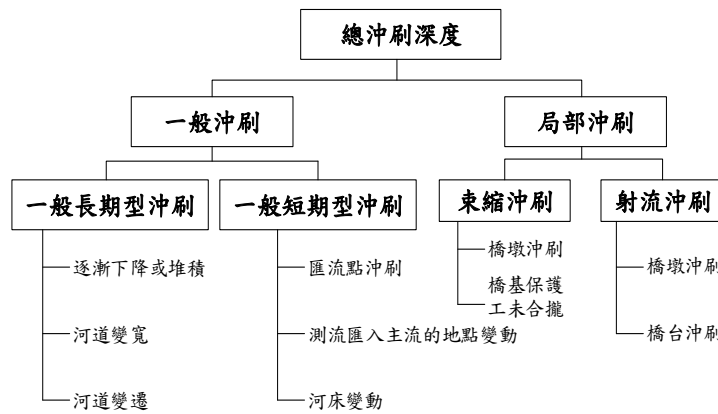


圖 2 河道沖刷型態分類圖(Melville and Coleman)
Fig.2 Scour patterns of riverbed

(三) 國內外丁壩沖刷相關研究

(1) Kuhnle et al. (1999)
使用兩種不同長度之丁壩模型，進行

水槽試驗，藉由改變水深探討水深與壩高之比值對沖刷坑的影響。結果證實，水深壩高比為影響沖刷坑之重要參數，其比值

越大，最大沖刷深度會向堤岸轉移，並於丁壩下游處產生二次沖刷。長度較長之丁壩會造成較大的沖刷體積。

(2) 施漢鵬 (2004)

以直線渠道含滓流況之試驗，模擬丁壩種類(傳統不透水、蛇籠透水)、丁壩長度與渠道寬度之束縮比(1/6、1/10)、丁壩壩根下游與壩軸交角(45°、90°、135°)、渠床坡度(1%、0.01%)進行相關沖刷防治之研究，試驗結果發現，丁壩種類以蛇籠透水丁壩之河床穩定性較傳統不透水丁壩為佳；在丁壩長度方面，長丁壩(壩長與渠寬比為1/6)對於河岸的保護較明顯；丁壩擺設角度以135°於河床可獲致較佳穩定性，且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°蛇籠丁壩配置最佳。

(3) 林岳葆(2006)

利用丁壩於不同壩長、壩高、種類(透水與不透水)、單一或系列丁壩及流量條件下，評估其穩定性與生態性。提出透水性蛇籠丁壩其挑流及整流效果較不透水性佳；於高壩與低壩方面，高壩配置下其最大沖

刷深度大部分皆比低壩深；在考量生態、結構物安全及河岸穩定條件下，高壩時以透水長丁壩且設置間距為2.5倍壩長之配置最佳；低壩時以透水長丁壩且設置間距為1.5倍壩長之配置最佳。

(4) Muraoka et al. (2008)

該研究以透水性石籠丁壩模型進行渠道試驗，藉由浸沒式與非浸沒式探討不同丁壩長度之配置。由實驗得知浸沒相較於未浸沒影響較小，因浸沒式丁壩其透水性能削弱水流，故較穩定。由於剪力之影響故較長且未浸沒之丁壩沖刷較大，浸沒和非浸沒之最大沖刷深度與壩長比值(ds/L)大約差0.25到0.28倍之間。而透水性丁壩之局部沖刷顯著降低，且於丁壩下游遠處形成砂坡。

(5) Hakimzadeh et al. (2012)

使用8種不同幾何結構角度的丁壩模型進行試驗，如圖3所示，研究結果顯示，丁壩與迎水面交角由90°改變至83.94°時，其最大沖刷深度可降低約22.23%，且下刷之沖刷坑體積降低60%。

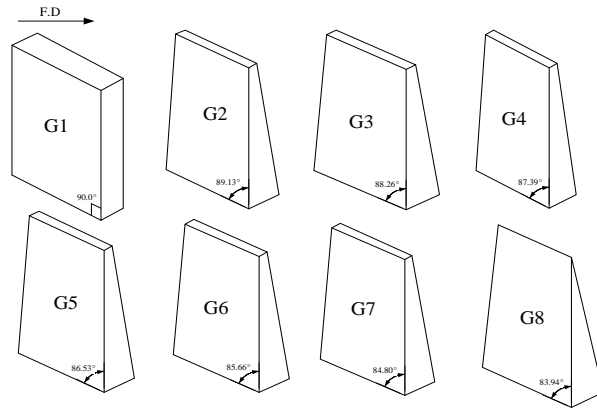


圖 3 不同丁壩迎水面角度示意圖(Hakimzadeh)

Fig.3 Different head-on water surface angles of spur dike

(四)環圈應用之相關研究

林長葵(2016)運用新型堤防保護工-透水性環圈式丁壩工，透過改變丁壩型狀，壩軸坡度，進行相關水工試驗，其配置如圖 4。研究結果顯示環圈式丁壩於壩型第

III 型，壩軸坡度 $S_d=1/10$ 之配置為較佳之丁壩模式，其丁壩壩頭沖刷減緩率為 50%，能有效減緩丁壩壩頭沖刷深度，其最大沖刷深度發生位置遠離堤岸，對於堤防安全具較佳之保護效果。

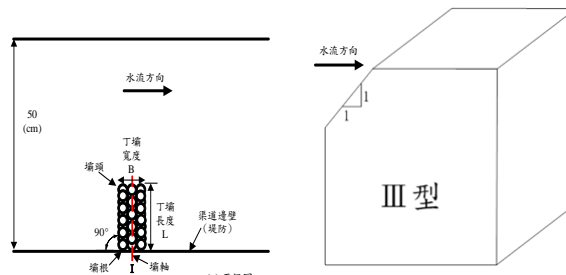


圖 4 環圈式丁壩工示意圖

Fig.4 Schematic diagram of ring column spur dike

理論分析

(一)丁壩周圍水流流況

當水流流經丁壩時，因受到丁壩阻礙，使水流流況產生變化，進而造成底床泥沙的變動，並於丁壩壩頭部分產生局部沖刷。

水流於局部沖刷發展時時期時，其作用力之複雜隨沖刷坑改變而變化，丁壩周圍之水流流況大概可分為四個部分，如圖 5。其中又以向下水流(downflow)與馬蹄型渦流(horeshoe vortex)為造成丁壩局部沖刷之最大主因。

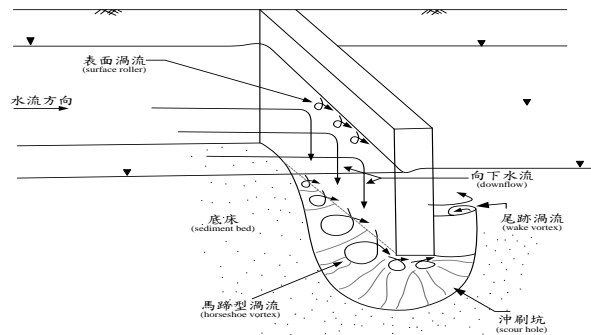


圖 5 丁壩周圍流場示意圖

Fig.5 Flow field around the spur dikes

1. 表面渦流(surface roller)

水流通過丁壩時，會因丁壩的存在而阻礙水流造成阻水面積增加，而單寬流量增大，流速就變快。當水流遭受丁壩阻礙，將會迫使水流能量由動能轉換成位能，造成丁壩迎水面水位抬升，此為壅水現象，停滯流線上方水流方向向上旋轉進而形成表面渦流，於前人研究顯示表面渦流對局部冲刷深度並未造成明顯的影響。

2. 向下水流(downflow)

根據伯努利方程式(Bernoulli equation)將位置水頭(elevation head)效應忽略，發現相同流線停滯點(stagnation point)上承受最大壓力即為停滯壓(stagnation pressure)，此時丁壩之停滯壓大大於附近水壓。由於水流流速分佈自水面向下遞減，速度水頭(velocity head)向下減少，壓力水頭(pressure head)向下增加且位置水頭向上增大，令丁壩停滯壓由水面向下遞減，迎水面發生壓力梯度(pressure gradient)變化形成向下水流。眾多學者認為向下水流是造成丁壩壩頭局部冲刷之主要因素之一。

3. 馬蹄型渦流(horseshoe vortex)

馬蹄型渦流指的是向下水流與二次橫向水流互相結合後，沿著丁壩周圍旋轉所產生的三圍性渦流，因外型與馬蹄形狀相似，故稱為馬蹄型渦流。其水流接觸丁壩上游迎水面後開始分離，沿著丁壩構造物向下游傳遞，是造成冲刷坑泥砂運移的重要因素之一，馬蹄型渦流向下游通過丁壩之後強度會減弱且漸漸消散破壞，而變成一般的亂流。

在冲刷坑中，馬蹄型渦流會使得向下水流之最大速度貼近於丁壩，且將水流之影響範圍推往丁壩上游，因此產生冲刷坑且擴大冲刷坑之範圍。隨著冲刷坑逐漸變大，向下水流受到墊床作用(cushion effect)，使局部冲刷現象減緩，隨著馬蹄型渦流及向下水流強度減緩，局部冲刷也隨之減緩，當冲刷能力小於泥砂啟動條件，冲刷坑及達到平衡。

4. 尾跡渦流(wake vortex)

水流流經丁壩再靠近底床處，消散渦流與馬蹄型渦流交互作用，導致水流尾跡向下游傳遞時做橫向與垂直的運動。由於

消散渦流具有垂直方向的壓力梯度，其所形成之升力可將泥砂從河床面挑起帶至下游處而產生淤積。沖刷坑於丁壩壩頭開始發展，其次由丁壩周圍迅速向上游延伸，而後會合於丁壩迎水面，遭沖蝕之河床質受水流帶動而移至下游，因此丁壩上游周圍即形成一個淺的沖刷坑。

(二) 透水性環圈式丁壩

本研究所使用之模型-透水性環圈式丁壩 (permeable type ring column spur dikes)，分別為群樁基礎與環圈組成(如圖 6)，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。將環圈式丁壩設置於河岸易沖刷區且往河心方向構築突出於堤防，以挑流改變流路，且可藉由水位之抬升，減緩流速及減低水流直接衝擊河岸之能量，並增加周圍泥砂沉降，使沖刷坑遠離河岸，以保護河岸構造物。環圈能消減分散水流能量，因其上下交錯排列疊放，具不規則表面，可增加環圈式丁壩迎水面之摩擦阻力。又因環圈交錯疊放之下，驅使向下水流強度降低，並藉其交錯之空隙，增加水流紊動，達到均勻混滲，進而降低水流挾砂能力，使泥砂沉降)。此外，環圈為橡皮材質具彈性，有吸收水流沖擊力及外物撞擊力之功

用，可減低丁壩壩頭周圍沖刷提高結構穩定性，以達持續保護河岸之功效。

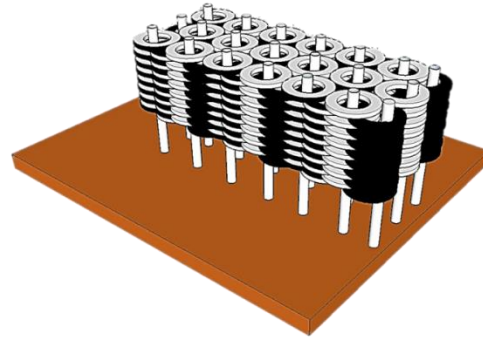


圖 6 透水性環圈式丁壩示意圖
Fig.6 Water-permeable ring column spur dikes

水工試驗

(一) 試驗渠槽

本研究所使用之設備位於逢甲大學水利工程與資源保育學系水工試驗室，試驗渠槽為循環式中型玻璃渠槽，渠槽全長 13.6 m、寬 0.5 m、深 0.75 m，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，渠槽下方有一馬達可抬升前後渠槽之高程，進而控制坡度，如圖 7 所示。

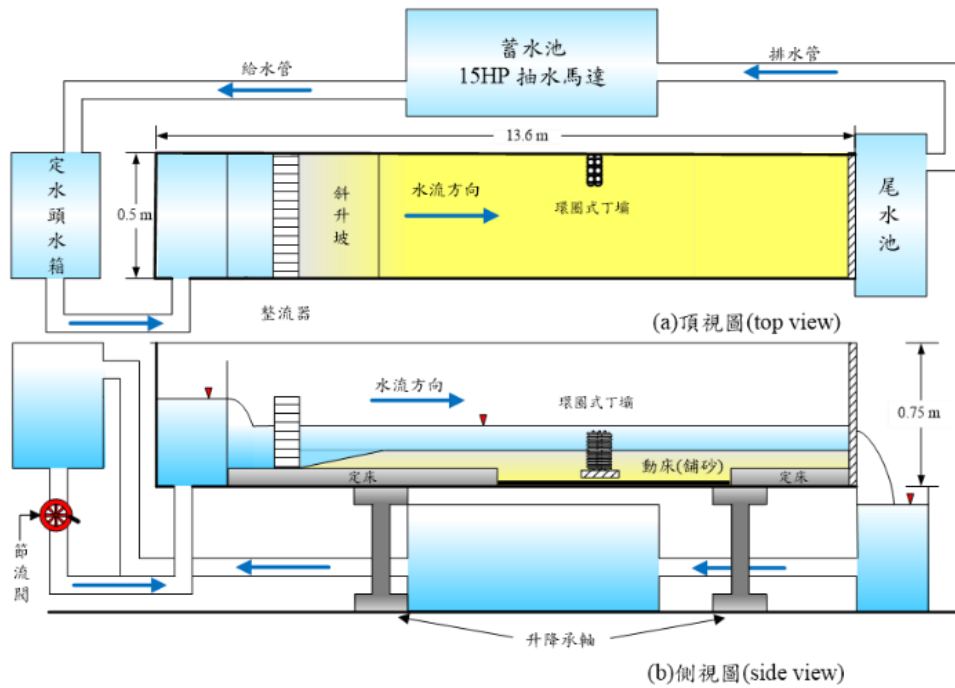


圖 7 試驗渠槽配置圖
Fig.7 Arrangement of the experimental flume

(二) 試驗模型

本試驗採用傳統式及透水式兩種形式之丁壩模型，傳統式材質為壓克力板 (acrylic) 所製成之六種不同幾何形狀之丁壩模型，分別包括長丁壩三種以及短丁壩

三種，如圖 8 所示。而透水式丁壩則採用環圈組合而成，現地則為應用廢棄輪胎再利用。以市面上小客車輪胎之直徑為 60 cm，配合環圈直徑為 1.8 cm 做等比縮尺，其模型與原型之縮尺比例約為 1:33.3。

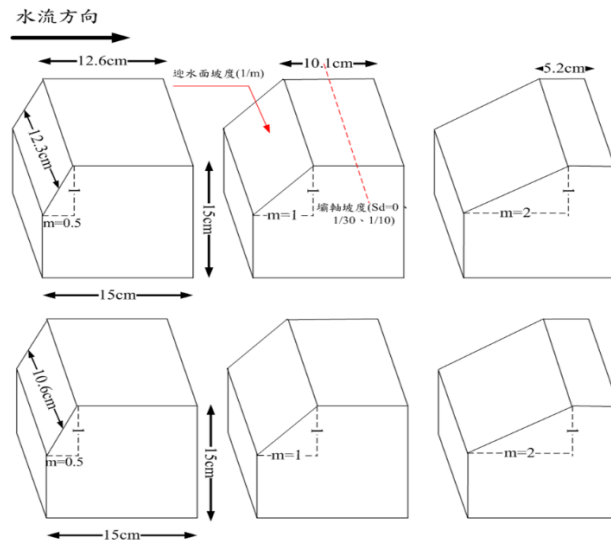


圖 8 不同幾何形狀之丁壩模型示意圖
Fig.8 Different shape models of spur dike

本試驗環圈式丁壩底版由木板製成，並於板上設置凹洞，以便固定環圈模型，同樣製作與傳統式丁壩對照之六種不同幾何形狀之環圈式丁壩，探討不同壩型之沖刷深度及沖刷坑體積，模型配置如圖 9。

其中丁壩長度為 L ，丁壩寬度 b (15 cm)，丁壩高度為 H (15cm)，丁壩高於起始河床高度 h (2cm)，丁壩壩軸坡度為 S_d ， d_s 為最大沖刷深度。

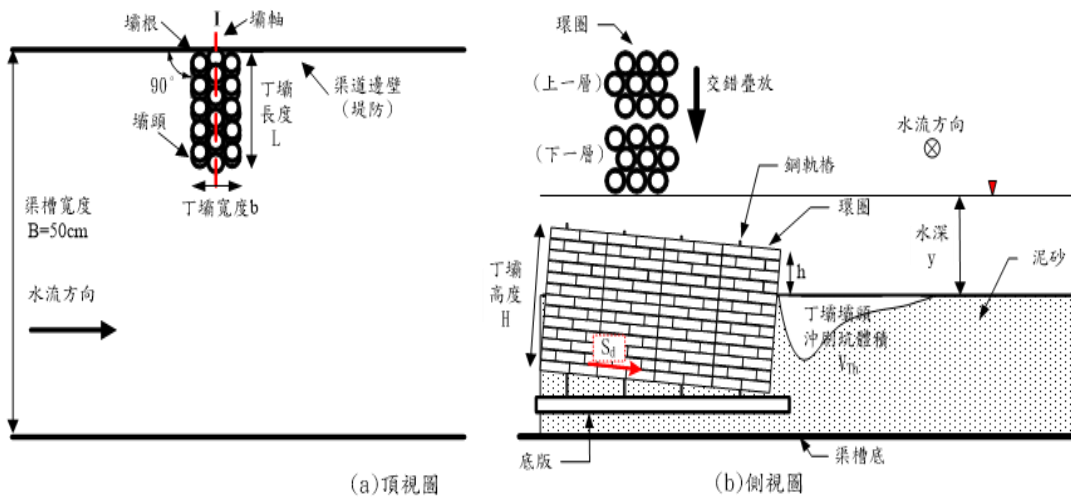


圖 9 環圈式丁壩配置圖
Fig.9 Arrangement of ring column spur dikes

(三) 試驗條件

本試驗於清水流況下，泥砂中值粒徑 $d_{50}=0.62$ mm 之均勻底床質、渠床坡度 ($S=0.001\%$) 條件下，以不同丁壩材質(傳統壓克力、透水性)、丁壩長度、丁壩迎水面坡度以及丁壩壩軸坡度，進行丁壩試驗，試驗條件詳如表 1 所示。丁壩具有抬升水位並降低流速，改變水流方向將水流往河心挑，進而降低水流沖擊堤岸之能量。

表 1 試驗條件表
 Table 1 Parameters of experiment

丁壩型式	傳統式(T)	環圈式(R)
丁壩迎水面坡度 (1:m)	1:0.5、1:1、1:2	
丁壩壩軸坡度 (S_d)	水平、1/30、1/10	
丁壩設置高度 (h/H)	0.13	
丁壩長度 (L/B)	1/4、1/5	

結果分析與討論

本研究假設渠槽邊壁視為堤岸，因此將丁壩模型埋設於渠槽邊壁，進行水工試驗以探討丁壩壩頭沖刷深度，分析丁壩壩頭沖刷坑體積。本研究於定量流($V/V_c=0.95$)

流況下，其中 V 為平均流速， V_c 為底床質臨界啟動速度， V/V_c 為相對水流強度，藉由改變丁壩種類(透水及不透水)、丁壩迎水面坡度($m = 0.5、1、2$)、丁壩壩軸坡度(S_d)、丁壩長度($L/B=1/4、1/5$)等條件下探討丁壩於不同配置時其最大沖刷深度與發生位置。

為瞭解丁壩於不同配置下，丁壩沖刷深度、位置及沖刷坑範圍之差異，根據 Kuhnle et al. (1999) 的研究，將丁壩周圍所形成的沖刷坑定義如圖 10 所示，圖中各參數代表之意義如下：

A: 丁壩上游沖刷坑寬度，顯示沖刷坑對渠道整體斷面的影響範圍。

C: 丁壩下游沖刷坑長度，顯示沖刷坑對於丁壩下游的影響範圍。

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。

由圖 10 可知，當 A/L 越小，則丁壩上游面之沖刷範圍越小，當 D/L 越大時，則代表最大沖刷深度遠離堤岸，則丁壩保護堤岸效果越佳，所以當 A/L 越小 D/L 越大時，代表此丁壩配置為最好，也就是保護堤岸效果較佳。

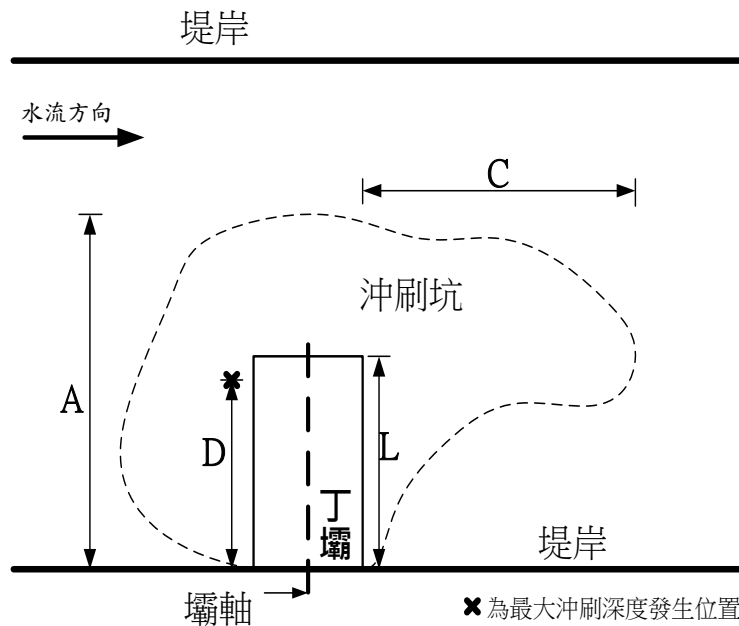


圖 10 丁壩周圍沖刷坑平面圖

Fig. 10 Scour hold around spur dike

(一) 傳統式丁壩

傳統式丁壩多為鋼筋混凝土所建造而成的不透水水工構造物，表 2 為傳統式丁壩各組試驗所得之最大沖刷深度及以(5-1)式計算之沖刷深度減緩率 R_p 。

$$R_p(\%) = \left(\frac{d_{sm} - d_s}{d_{sm}} \right) \times 100\% \quad (5-1)$$

式中 d_{sm} 為全部試驗組別中之最大沖刷深度，本研究中為 T4 組，亦即對照組， d_s 為各組別之沖刷深度。透過表 2 及圖 11 比較發現，短丁壩的沖刷深度都比長丁壩要來的小，而從眾多配置當中發現傳統式短丁壩在迎水面坡度 1:2 時擁有最小的沖刷深度。可以看見壩軸坡度在 1/30 時之短丁壩沖刷深度減緩率為最高，此時沖刷減緩率為 41.7%。而此種丁壩型式之 D/L 值為 1.1，

大於 1 代表遠離堤岸且位置在丁壩長度範圍外，對於河岸安全防護較其他配置佳。雖然長丁壩在此種配置之 D/L 值亦為 1.1，但是其沖刷深度減緩率較小，因此仍以短丁壩對於丁壩上游壩基有較佳之防護。總之，傳統式短丁壩以壩軸坡度為 1/30，迎水面坡度為 1:2 之短丁壩為較佳之丁壩配置。

從圖 11 可以看出第五組及第六組試驗之沖刷深度減緩效果相同，其丁壩幾何型式相同，僅壩軸坡度不同，故可研判丁壩壩軸坡度影響較小。而第七組試驗中，其丁壩幾何型式及壩軸坡度均相同，主要差異乃丁壩長度不同，以致其沖刷深度減緩效果相差最大，顯見丁壩長度為影響傳統式丁壩沖刷深度之主因。

表 2 傳統式丁壩之試驗結果
Table 2 Experimental results of traditional spur dike

組別	壩軸坡度(S_d)	迎水面坡度(1:m)	最大沖刷深度 d_s (cm)	最大沖刷深度位置D/L	沖刷深度減緩率 R_p (%)
T1	0	1:0.5	4.0	0.6	16.7
T2	1/30	1:0.5	3.6	0.7	25.0
T3	1/10	1:0.5	3.6	0.7	25.0
T4	0	1:1	4.8	0.8	0.0
T5	1/30	1:1	3.3	0.8	31.3
T6	1/10	1:1	3.3	0.7	31.3
T7	0	1:2	4.2	0.9	12.5
T8	1/30	1:2	2.9	1.1	39.6
T9	1/10	1:2	3.6	1.1	25.0
t1	0	1:0.5	3.2	0.7	33.3
t2	1/30	1:0.5	2.9	0.8	39.6
t3	1/10	1:0.5	3.1	0.7	35.4
t4	0	1:1	4.1	0.8	14.6
t5	1/30	1:1	3.3	0.9	31.3
t6	1/10	1:1	3.3	0.9	31.3
t7	0	1:2	3.0	1.1	37.5
t8	1/30	1:2	2.8	1.1	41.7
t9	1/10	1:2	3.0	1.1	37.5
備註	T=傳統式長丁壩(L/B=1/4)、t=傳統式短丁壩(L/B=1/5);H 為丁壩高。 $S_d=0$ 表壩軸坡度為水平。				

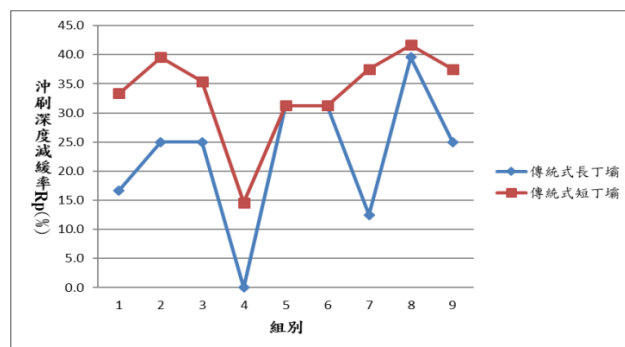


圖 11 傳統式丁壩沖刷深度減緩率比較圖

Fig.11 Scour depth reduction rate of traditional spur dike

(二) 環圈式丁壩

透過表 3 及圖 12 結果發現，短丁壩的沖刷深度均較長丁壩為小，而各種配置當中發現短丁壩在迎水面坡度為 1:2 時擁有最小的沖刷深度。而於迎水面坡度為 1:2 之配置中又以壩軸坡度在 1/30 時之短丁壩沖刷深度減緩率為最高其值約為 75.0%，復由挑流效果而言，上述配置之 D/L 值為 1.1，顯示最大沖刷深度遠離堤岸甚至超過丁壩長度範圍，對於河岸具安全防護效果。總之，環圈式短丁壩在壩軸坡度為 1/30 且迎水面坡度為 1:2 時為較佳之丁壩配置。

從圖 12 可以看出短丁壩第五組及第六組試驗之沖刷深度減緩效果相同，其丁壩幾何型式相同，僅壩軸坡度不同，故可研判丁壩壩軸坡度影響較小。而第二組試驗中，其丁壩幾何型式及壩軸坡度均相同，主要差異乃丁壩長度，以致其沖刷深度減緩效果相差最大，顯見丁壩長度為影響環圈式丁壩沖刷深度之主因，此結果與傳統

式丁壩一致。

表 3 環圈式丁壩之試驗結果

Table 3 Experimental results of ring column spur dike

組別	壩軸坡度 (S_d)	迎水面坡度 (1:m)	最大沖刷深度 d_s (cm)	最大沖刷深度位置 D/L	沖刷深度減緩率 R_p (%)
R1	0	1:0.5	3.4	1.1	29.2
R2	1/30	1:0.5	3.3	1.1	31.3
R3	1/10	1:0.5	2.2	1.1	54.2
R4	0	1:1	3.4	1.1	29.2
R5	1/30	1:1	2.7	1.1	43.8
R6	1/10	1:1	3.0	1.1	37.5
R7	0	1:2	3.3	1.1	31.3
R8	1/30	1:2	2.1	1.1	56.3
R9	1/10	1:2	2.7	1.1	43.8
r1	0	1:0.5	1.8	1.1	62.5
r2	1/30	1:0.5	1.4	1.1	70.8
r3	1/10	1:0.5	1.7	1.1	64.6
r4	0	1:1	2.4	1.1	50.0
r5	1/30	1:1	2.5	1.1	47.9
r6	1/10	1:1	2.5	1.1	47.9
r7	0	1:2	2.1	1.1	56.3
r8	1/30	1:2	1.2	1.1	75.0
r9	1/10	1:2	1.4	1.1	70.8
備註	R=環圈式長丁壩(L/B=1/4)、r=環圈式短丁壩(L/B=1/5)，H 為丁壩高。 $S_d=0$ 表壩軸坡度為水平。				

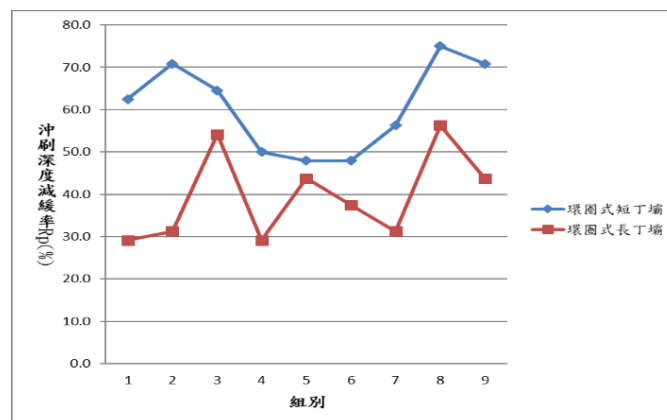


圖 12 環圈式丁壩沖刷深度減緩率比較圖
Fig.12 Scour depth reduction rate of ring column spur dike

(三) 敏感度分析

為瞭解丁壩各幾何參數對於沖刷深度之影響，本研究針對丁壩長度(L)、迎水面坡度(1:m)及壩軸坡度(Sd)等進行敏感度分析。經利用(5-2)式進行敏感度分析得到相關因子對沖刷深度之敏感度 S 值：

$$S = \left(\frac{O_2 - O_1}{I_2 - I_1} \right) \frac{\bar{I}}{\bar{O}}$$

(5-2)

式中，O 為輸出值亦即應變數，I 為輸入值亦即因變數， \bar{O} 為輸出之最大值 O_2 與最小值 O_1 之平均值， \bar{I} 為輸出之最大值 I_2 與最小值 I_1 之平均值。S 值越大越敏感，S 值為零時表示不敏感，S 值也有正負關係，也就是正相關及負相關。本研究中輸入參數(I)分別為丁壩長度(L)、迎水面坡度(1:m)及壩軸坡度(Sd)，輸出參數(O)為最大沖刷深度(ds)，分析得到相關因子對沖刷深度之敏感度 S 值結果可得表 4。

由表中可以看出無論是傳統式或環圈式丁壩之幾何因子中均以丁壩長度最敏感，其次依序為迎水面坡度、壩軸坡度。推測其因乃丁壩長度直接影響水流作用力面積，因此丁壩長度稍有變動，則深深影響沖刷深度之大小。又環圈式丁壩各幾何參數之敏感值均較傳統式為高，推測可能係環圈式丁壩之透水性及撓曲性均較傳統式丁壩為高所致。

表 4 傳統式與環圈式丁壩之參數敏感度分析成果表

Table 4 Parameters sensitivity analysis of traditional and ring column spur dikes

幾何因子 種類	丁壩長 度(L)	丁壩迎 水面坡 度(1:m)	丁壩壩 軸坡度 (S_d)
傳統式丁壩	3.50	0.31	0.28
環圈式丁壩	6.40	0.80	0.50

結論與建議

本研究模擬定量流況($V/V_c=0.95$)與渠床坡度($S=0.001\%$)等條件，進行傳統式丁壩與環圈式丁壩之土工試驗。透過改變丁壩配置，如丁壩壩軸坡度(Sd)、丁壩迎水面坡度(1:m)、丁壩長度(L)，並於均勻泥砂粒徑($d_{50}=0.62\text{mm}$)及泥砂幾何標準偏差($\sigma_g=1.24$)進行相關沖刷試驗，探討不同配置下丁壩最大沖刷深度與丁壩周圍沖刷情況，以獲致較理想之丁壩配置模式，由試驗觀察與綜合分析結果獲致如下之結論與建議。

(一) 結論

1. 不同丁壩型式配置條件下皆於丁壩壩頭周圍產生沖刷坑，且最大沖刷深度均發生於丁壩壩頭附近，顯示出上游來流結合向下射流形成馬蹄形渦流作用於丁壩壩頭處造成沖刷。
2. 於相同丁壩型式時，無論是傳統式或環圈式丁壩，當丁壩壩軸坡度為 1/30 時，其最大沖刷深度發生位置離堤岸最遠，且最大沖刷深度為最小，為較佳之壩軸坡度設計。

王傳益、楊孟祥、林彥伶、王晨宇：
環圈式丁壩於河道沖刷防治之研究

3. 本研究透過最大沖刷深度減緩率 (R_p)、 D/L 之參數指標等指標擇定環圈式短丁壩於壩軸坡度 S_d 為 1/30、丁壩長度 (L/B) 為 1/5 及丁壩迎水面坡度為 1:2 之配置為最理想之丁壩配置，挑流護岸效果較佳。其最大沖刷深度減緩率為 75.0%、 D/L 值為 1.1，最大沖刷深度發生位置超過丁壩長度遠離堤岸。
4. 透過敏感度分析瞭解丁壩各幾何參數對最大沖刷深度之影響，結果顯示環圈式丁壩各參數敏感度均較傳統式丁壩為高。且不論傳統式或環圈式丁壩之幾何參數敏感度均以丁壩長度最為敏感，其次為丁壩迎水面坡度、丁壩壩軸坡度。

(二) 建議

1. 本研究以定量流況下進行沖刷試驗，而天然河川流況均屬變量流流況，因此後續研究可針對變量流進行更深入探討。
2. 本研究之試驗渠道為直線河道，而台灣河川多為蜿蜒河道，因此未來研究著蜿蜒河道進行試驗。
3. 本研究受限於渠槽寬度，僅能探討丁壩長度因子 (L/B) 為 1/4 及 1/5，其長短丁壩配置差異有限，後續可將丁壩長度配置拉大差距，較符合長短丁壩比例。
4. 本研究為針對單一丁壩工進行試驗

研究，但一般河川多為連續性丁壩工，未來試驗可針對丁壩群進行試驗。

致謝

本文承行政院科技部補助 (MOST 106-2221-E-035-028)，方得以完成本研究，謹此致謝。

參考文獻

1. 林岳葆，2006，「丁壩群於河川棲地改善之研究」，逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士班碩士論文。
2. 林長葵，2016，「丁壩改善工法之研究」，逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士班碩士論文。
3. 施漢鵬，2004，「丁壩於河川棲地改善之試驗研究」，逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士班碩士論文。
4. Hakimzadeh, H., Azari, N., and Mehrzad, R. (2012), "Experimental study of lateral structural slopes of groynes on scour reduction", ICSE6 Paris-August, pp. 1035-1040.
5. Kuhnle, R. A., Alonso, C. V., and Shields, F. D. (1999), "Geometry of scour holes associated with 90° spur dikes", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 125, No. 9, pp. 972-978.
6. Melville, B. W., and Coleman, S. E. (2000), "Bridge scour", *Water*

水土保持學報 49 (3): 2179–2194(2017)

Journal of Soil and Water Conservation, 49 (3): 2179–2194(2017)

Resources Publications, LLC.

7. Muraoka, H., Fushimi, T., Kadota, A., and Suzuki, K. (2008), “Experimental study on changes of bed configuration caused by permeable groyne of stone gabion”, Proceedings of 16th IAHR-APD Congress and 3rd Symposium of IAHR-ISHS, pp. 1072-1077.

106 年 11 月 6 日收稿

106 年 11 月 13 日修改

106 年 12 月 4 日接受