

# 臺灣中部河川臨時土石攔河堰之安全性評估

陳豐文<sup>[1\*]</sup> 林修德<sup>[2]</sup>

**摘 要** 台灣中部地區之灌溉水源多為河川取水，為將地面水體引入灌溉系統須修築矮堰集水；惟考量防汛期間避免阻礙洪水宣洩，導水用矮堰多採用河床土砂堆砌而成之臨時性構造物，此類土石矮堰常因河川逕流量改變而損壞，進而影響灌溉取水量之穩定性。為瞭解臨時土石攔河堰之破壞原因，本研究以修築於中部地區三條重要河川(由北而南為大安溪、大甲溪及烏溪)14 處農業灌溉用途之臨時土石攔河堰為主，進行臨時土石攔河堰之安全性分析，探討其破壞主因為滲流破壞或結構破壞，並依現有之土石堰尺寸計算造成現有臨時土堤破壞之流速臨界點，分析方式以丁壩之安全性分析進行。分析結果顯示造成 14 處臨時土石堰破壞之主因為滲流破壞，8 處堰體為滲流破壞，其餘 6 處則為滑動破壞。本研究進一步探討沖毀各臨時攔河堰之流速臨界點，結果顯示造成構造物破壞之流速約 0.20~1.35 m/s；影響破壞臨界點流速之因素為攔河堰與河川水流之夾角，故本研究建議臨時攔河堰軸線與河岸應採用較小之角度構築於行水區內。

**關鍵字：**土石堰、安全性分析、渠首工。

## Safety analysis of the temporary earth-rock Dam - a Case Study of TaiChung Region

Feng-Wen Chen<sup>[1\*]</sup> Hsiu-Te Lin<sup>[2]</sup>

**ABSTRACT** Most the irrigation water was intake from river in Taichung area, for this reason the irrigation system need built the temporary dam to intake water. However considered the flood control and avoid hindering flood vent during the flood control period; for this reason, most coffer dam construction was use the riverbed earth-rock to build. Therefore, these kinds of earth-rock dam often broken and affect the stability of irrigation water intake, due to run-off was changing. In order to understand the reasons for the destruction of the coffer dam, this paper were study the 14 coffer dam facilities for the irrigation intake which was the main flow of three river basins: Daan River, Daja River, and Wu River etc. in central Taiwan. First of all, the paper was analysis safety of the earth-rock dam, above broken in account of seepage or structural failure. Second, calculate the flow rate of the destruction of the critical point; analysts use the groins of security analysis in accordance with the existing size of the earth-rock dam. Therefore, the analysis showed the main cause of the destruction of 14 earth-rock dam: 9 dam seepage failures and rest of five were sliding failure. In addition, this study further explores washed away the earth-rock dam flow rate of the critical point, the results show that the flow rate of 0.20 ~ 1.35 m/s earth-rock dam will damage; and impact damage critical point velocity due to the angle between the weir and river water. In conclusion, this study shows the earth-rock dam axis smaller the angle should be used to build a water district in line with the riverbank, and that will be less to destroy.

**Key Words:** Earth-rock dam, Safety analysis, headworks.

## 一、前言

台灣中部地區之農業灌溉用水來源多仰賴河川取水；然而台灣豐枯水期明顯之水文特性，造成劇烈之流量變化、河床高程因洪峰而反覆冲刷與沉積，河道動床現象嚴重影響農業灌溉用水供應之穩定。為避免豐水期之河川排洪，灌溉取水之構造物多為河床土砂堆砌而成之臨時性構造物，此類土石矮堰常因河川逕流量改變而損壞，進而影響灌溉取水量之穩定性；故渠首工程之臨時土石攔河堰之破壞原因有必要加以探討，本研究以台灣中部河川之臨時土石攔河堰為研究對象進行安全性分析。

安全性調查與評估之意義乃泛指對一具有特定功能之工作系統中固有或潛在之危險因素及其影響程度進行分析和評比，以既定之指數、等級或發生機率進行量化表示(連惠萍，2007)，並確認目標物與環境現況是否尚能符合原

---

[1] 財團法人農業工程研究中心助理研究員 (\* 通訊作者 E-mail: [chenfw@aerc.org.tw](mailto:chenfw@aerc.org.tw))  
Assistant Researcher, Agricultural Engineering Research Center, Taoyuan 320, Taiwan

[2] 財團法人農業工程研究中心助理研究員  
Assistant Researcher, Agricultural Engineering Research Center, Taoyuan 320, Taiwan

規劃之設計標準及安全要求，最後進一步評估各項因素對目標物功能及安全之影響(經濟部水利署，2008b)。惟即使有豐富之經驗和判斷，均無百分之百準確預測每一結構體可能發生之危險(洪淑宜，1980)；造成水利建造物損毀之成因分為可定量與不可定量兩類，可量化之成因如水文分析(不含氣候變遷及集水區水土保持不佳為前提)、不可量化之成因如河川型態不穩定、規劃失當、社經環境改變…等(楊錦釧，2007)，但進行評估各水利建造物時，均應不避諱的指出其可能之危險因子並將其等級化，以便安排改進安全性之優先性(洪淑宜，1980)。

本研究之分析對象為臨時堆置之土石攔河堰，其導引水流之原理與土石壩無異，惟規模遠小於土石壩，且潰壩亦不會造成重大損失。有關土石壩之安全性分析最早為美國墾務局的壩供安全評審手冊(台灣省水利局，1982)，美國工兵團亦有編撰壩工安全評估手冊。而臺灣針對水利建造物安全評估檢查，最早為中國農業工程學會(1990)提及渠首工壩體之安全性分析；相關規範部分則有「水利建造物安全檢查辦法」與「水利建造物檢查及安全評估技術規範」二項(經濟部水利署，1999; 2008a; 2008b)，針對壩工之安全評估項目則為「水利建造物檢查及安全評估技術規範」的「蓄水、引水建造物篇」，此規範與美國壩工之安全評估項目相似。

故本研究以渠首工臨時攔河堰為探討對象，針對臨時攔河堰之破壞原因進行分析探討；故選定台灣中部河川為研究區域(大安溪、大甲溪及烏溪)，針對台灣中部地區 15 處重要渠首工程進行功能性及安全性的調查及檢討。

## 二、研究區域與方法

### 1. 研究區域

本研究區域以台灣中部三條重要河川為主(由北而南為大安溪、大甲溪及烏溪)並選定上述河川已設置之重要渠首工程為分析對象，共計 15 處；均為台中水利會管轄，其中大安溪 7 處、大甲溪 7 處、烏溪 1 處，詳細圳路別如下：

大安溪水系：后里圳(編號 M114)、苑裡圳(編號 M169)、日南圳(編號 M174)、九張犁圳(編號 M179)、頂店圳(編號 M184)及雙寮補給水路(為 2 處取水口、編號 L6-1, L6-2)。大甲溪水系：葫蘆墩圳(編號 M249)、內埔圳(為 2 處取水口、編號 M254, M254-O)、虎眼一圳(編號 M264)、虎眼二圳(編號 M269)、五福圳(編號 M259)及高美圳(編號 M274)。烏溪水系：僅大肚圳(編號 M379) 1 處。

上述各渠首工之場址分布與其水系、工作站灌區之相對位置如圖 1 所示，座標位置及 15 處渠首工之導水路形式詳表 1。表 1 顯示 13 處渠首工導水路均為臨時性構造物組成，而頂店圳之導水路除一提升水頭用之矮堰為土石堆置，其餘均為混凝土構造物，其平面佈置及現場狀況如圖 2 所示。內埔圳舊取水口(M254-O)導水路均為混凝土構造物所構成，故內埔圳舊取水口(M254-O)不列入本研究探討之範圍，分析對象總計 14 處。



圖 1 渠首工程分佈位置一覽

Fig.1 Location of headworks

表 1 渠首工基本資料一覽

**Table 1 The Basic data of headworks**

水系	工作站	圳路名稱	二度分帶(TM97)		河床高程	導水路型態		
			X	Y		永久	臨時	無
大安溪	泰安站	M144	225699.64	225699.64	230.05		○	
	山腳站	M169	221141.10	221141.10	142.79		○	
		M174	218745.78	218745.78	117.00		○	
	日南站	M179	216210.97	216210.97	82.00		○	
		L6-1	212189.97	212189.97	17.00		○	
		L6-2	210782.87	210782.87	11.00		○	
	大甲站	M184	214294.33	214294.33	62.00	○	○ <sup>1</sup>	
大甲溪	豐原站	M249	224055.65	224055.65	229.00		○	
	屯子腳站	M254	223126.03	223126.03	209.62		○	
	屯子腳站	M254-O <sup>2</sup>	223126.03	223126.03	208.34	○		
	大安站	M264	213038.47	213038.47	89.00		○	
		M269	210195.07	210195.07	52.00		○	
		M259	211852.93	211852.93	74.00		○	
		M274	211290.38	211290.38	70.00		○	
烏溪	大肚站	M379	204286.66	204286.66	0.04		○	

註 1：頂店圳導水路為混凝土製之渠道，惟取水口前的溢流堰堰頂有一為抬升水頭用之土砂堆置臨時攔水堰防止灌溉水溢流。

註 2：M245-O 為內埔圳(M254)渠首工舊址。

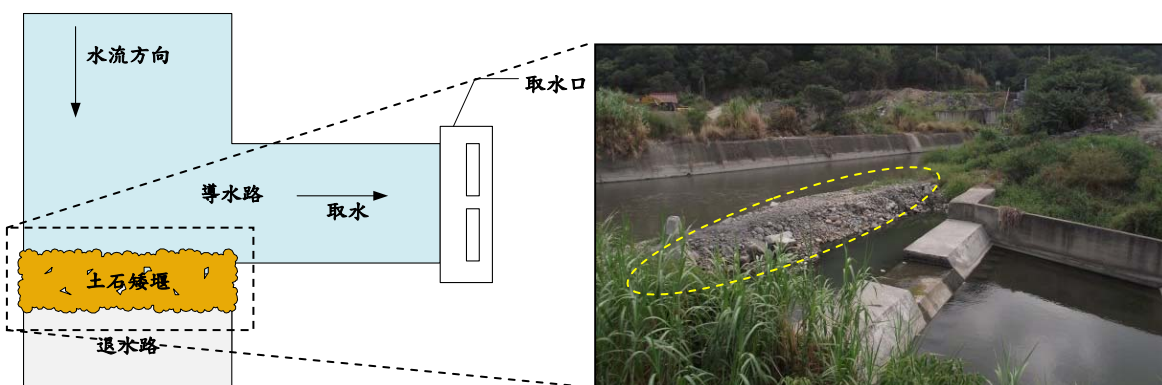


圖 2 頂店圳渠首工平面佈置圖

Fig.2 The Ting-tien Canal of headworks floorplan

## 2. 結構安全分析

構造物之安定與結構之安全息息相關，而渠首工程之安定與否可由：a. 抗剪應力檢核；b. 抗傾倒、抗滑動、偏心距及基礎承载力；c. 河床冲刷量之推估等三方面來檢核結構穩定性。本研究將針對第二點之抗傾倒、抗滑動、偏心距及基礎承载力等 4 小項進行分析評估，所需考量之作用力為結構體自重、主動土壓力、被動土壓力、迎水面水壓力、動水壓力、浮立及拖曳力...等作用力，各項作用力之公式詳列如下：

(1) 自重：為構造物本身受地心引力而產生的力量。

$$\text{土石：體積} \times \gamma \dots\dots\dots (1)$$

式中： $\gamma$  為單位土重(1.9 ton/m<sup>3</sup>)，位於地下水位線下者以浸水重計。

(2) 迎水面水壓力：構造物迎水面由於河水上漲而產生之水壓力。

$$P_w = 1/2 \gamma_w h_1 \dots\dots\dots (2)$$

式中： $P_w$  為水壓力； $\gamma_w$  為水密度(1 ton/m<sup>3</sup>)； $h_1$  為迎水面水深。

(3) 動水壓力：構造物迎水面由於水流流動而產生之水壓力。

$$\text{動力係數}(\xi) \times \text{上游水深}(h_1) \times \gamma_w \times (v^2/2g) \times \sin\theta = \text{動水壓力}(P_{wv}) \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{動水壓力}(P_{wv}) \times \text{力臂}(m) = \text{區塊安定彎矩}(T \times m) \dots\dots\dots (4)$$

式中： $P_w, \gamma_w, h_1$  之物理意義同式(2)； $\theta$  為臨時攔河堰軸線與水流方向夾角， $\xi$  為動力係數其值大小如下列數據所示：

$\theta^\circ$	$\leq 15^\circ$	$15^\circ \sim 25^\circ$	$25^\circ \sim 45^\circ$	$45^\circ \sim 90^\circ$
$\xi$	$1.4 \sin \theta$	0.6~0.8	1	1.5~2.0

(資料來源：蕭慶章，2004)

(4) 浮力：構造物全部或部分沉沒於水中時，構造物體積排開水而產生上浮的力量。

$$U = C \frac{h_1 + h_2}{2} B \gamma_w \dots\dots\dots (5)$$

式中： $\gamma_w$  之物理意義同式(2)； $U$  為浮力； $h_1$  為構造物上游水深(m)； $h_2$  為構造物下游水深(m)； $B$  為構造物基底寬度(m)； $C$  為浮力係數(0.2~0.7)，本研究採 0.5。

(5) 拖曳力(tractive force)：水流與構造物接觸時因表面阻流而產生剪應力，此剪應力(拖曳力)對橫向構造物構造物有拖曳移動之作用。

$$L = \frac{\rho_w}{2} \times C_L \times A_g \times V_o^2 \dots\dots\dots (6)$$

$$D = \frac{\rho_w}{2} \times C_D \times A_d \times V_o^2 \dots\dots\dots (7)$$

式中： $L$  為結構體所受之上揚力(lift force)； $D$  為結構體所受之拖曳力(drag force)； $\rho_w$  為水之密度； $C_L$  為橫向構造物之上揚力係數； $C_D$  為橫向構造物之拖曳力係數； $V_o$  為流速； $A_g$  為橫向構造物在河床上之投影面積； $A_d$  為橫向構造物在流向上之投影面積。

求得結構物之各項作用力即可進行安定計算，可分為結構物對滑動之安全性(如式 8、式 9)、結構物對傾倒之安全性(如式 10)與結構物對沉陷之安全性(如式 11、式 12)；其中結構物對滑動之安全性即為抵抗滑動合力大於推動滑動合力，一般設計時之抗滑動安全係數需達 1.3，而結構物對傾倒安全性之一般設計要求為抗傾倒安全係數需達 1.5。臨時土石堰依水利署(2007)報告之分類原則為橫向構造物，此一原則係考量橫向構造物之配置在抵抗傾倒之安全係數(FS)<sub>o</sub> 大都能滿足要求；故穩定性主要受抵抗滑動之安全係數(FS)<sub>s</sub> 所控制，基礎承载力之穩定安全檢核與順向構造物相同，其分析檢核公式如下。

(1) 抗滑動分析(抗滑動安全係數)

$$\text{順向構造物：} (FS)_s = \frac{\text{抵抗滑動力之和}}{\text{推動滑動力之和}} = \frac{F_r}{F_o} \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{橫向構造物：} (FS)_s = \mu(W_w \cos \theta_r - L) \geq (F_s)_d = W_w \sin \theta_r + D \dots\dots\dots (9)$$

式中： $L, D$  之物理意義同式(8)；(FS)<sub>s</sub> 為抗滑動安全係數； $\theta_r$  為河床坡度； $W_w$  為橫向構造物之浸水重； $\mu$  為動摩擦係數(0.6)。

(2) 抗傾倒分析(抗傾倒安全係數)

$$(FS)_o = \frac{\text{抵抗傾倒之力矩}}{\text{推動傾倒之力矩}} = \frac{M_r}{M_o} \dots\dots\dots (10)$$

(3) 基礎承载力分析

$$e < \frac{B}{6} \text{ 時 } \sigma_{\max} = \frac{F_v}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \dots\dots\dots (11)$$

$$\frac{B}{6} < e \leq \frac{B}{4} \text{ 時 } \sigma_{\max} = \frac{4F_v}{3(B-2e)} \dots\dots\dots (12)$$

式中： $\sigma_{\max}$  為基底最大壓應力； $F_v$  為垂直方向合力； $B$  為構造物基底寬度； $e$  為偏心距。

### 3. 滲流破壞分析

考量臨時攔河堰上、下游之水位差，會導致水由土壤高水位處向低水位處移動之滲流現象；若滲流路徑過短、滲流速度增加，土石堰內較細之土砂將隨水流沖出，使堰體阻水功能喪失。為確保構造物之安全，滲流路徑必須有足夠之長度，其安全度以滲流比表示之，而滲流比即為滲流線之長度除以有效水頭所得之比。根據水利署(2007)提供之滲流線計算方法，土堤型式可分為 a. 不透水堤基均質土堤、b. 不透水堤基有鋪面式排水土堤、c. 不透水堤基有坡址排水土堤、d. 透水堤基均質土堤等 4 種型式，按滲流型態又可分穩定及不穩定滲流，本研究案例均假設臨時土石攔河堰為穩定滲流之透水堤基均質土堤，其滲流浸潤線計算方法簡述如下：

(1) 計算單位寬度滲流量  $q$ ：為堤身滲流量和地基滲流量兩者之和。

$$q = q_D + k_0 \frac{(H_1 - H_2)T}{L + m_1 h_1 + 0.88T} \dots\dots\dots (13)$$

式中： $q_D$  為不透水性地基上求得之均質土堤單位寬度滲流量， $k_0$  為地基滲透係數，其餘係數如圖 3 所示。

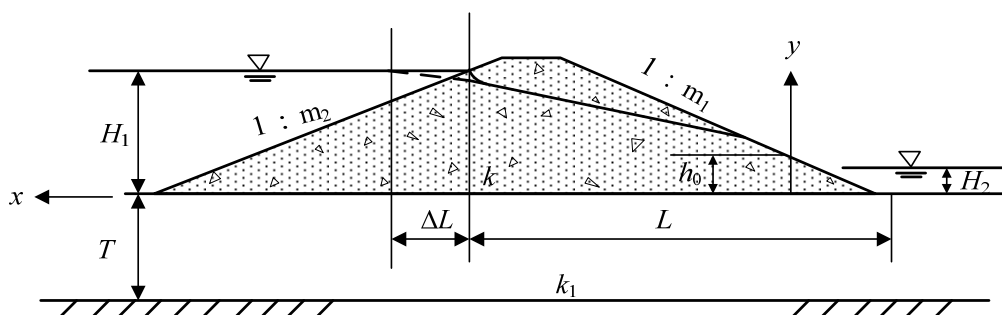


圖 3 透水性地基均質土堤計算

Fig3 A permeable foundation homogeneous embankment

(2) 計算特徵水深  $h_0$ ：本研究分析之土石堰均為透水性地基上的均質土堤，受地基透水的影響、滲流線降低，且堰體均利用現場河床土砂堆置且未設置排水設施，故計算特徵水深( $h_0$ )時可假設堰體之滲透係數( $k$ )與地基滲透係數( $k_0$ )相同，計算特徵水深之公式如式(14)。

$$h_0 - H_2 = \frac{q}{\left\{ \frac{k}{m_2} \left[ 1 + \frac{(m_2 + 0.5)H_2}{(m_2 + 0.5)(h_0 - H_2) + 0.5H_2} \right] + \frac{k_0 T}{m_2 + H_0 + 0.44T} \right\}} \dots\dots\dots (14)$$

(3) 計算滲流浸潤線：無論堤身採用何種排水型式，浸潤線以(15)式計算；(15)式之  $q'$  可由(16)式求得。

$$x = k_0 T \frac{y - h_0}{q'} + k \frac{y^2 - h_0^2}{2q'} \dots\dots\dots (15)$$

$$q' = k \frac{H_1^2 - h_0^2}{2\left(L + \frac{m_1}{2m_1 + 1} H_1 - m_2 h_0\right)} \dots\dots\dots (16)$$

上述建立在有限深透水地基上均質土堤滲流計算方法，也可以推廣應用到無限深透水地基情況的計算。因為地基深度變化引起浸潤線位置的改變，僅在一定深度範圍內顯著，當地基更深時，浸潤線位置實際上已不再改變。因此可以根據試驗資料和計算比較，選擇地基的有效深度，當地基大於有效深度時，浸潤線位置不再改變。地基的有效深度  $T_e$  計算如(17)式所示。因此，當地基實際深度  $T \leq T_e$ ，以實際地基深度( $T$ )計算，反之則按有效深計  $T_e$  計算。 $T_e$  僅為計算浸潤線位置時使用，計算滲透量仍按實際深度  $T$  計算。

$$T_e = (0.5 \sim 1.0)(L + m_1 H_1) \dots\dots\dots (17)$$

依據上述求得滲流線長度後，即可進一步推求滲流比降值；滲流比降值即為滲流線之長度除以有效水頭所得之比值(水利署，2007)，該值可由(18)式求得。計算滲流比降值之目的係為瞭解水流在堰體內部水平流動之速度，若水流在堰體內部往水平方向之流速越大則滲流比降值之比值越小，故降低滲流比降值可改善土石堰之滲流破壞。

$$\frac{V}{K} = \frac{\partial h}{\partial B} = i \dots\dots\dots (18)$$

式中： $V$  為流速(m/s)， $K$  為含水層水力傳導係數(m/s)， $h$  含水層之任一點壓力水頭(m)， $B$  為堰底之寬度(m)， $i$  為滲流比降值。

### 三、結果與討論

本研究至 14 處渠首工程之臨時攔河堰進行現地測量，其尺寸如表 2 所示，其中苑裡圳、九張犁圳、雙寮第一取水口及虎眼一圳渠首工之臨時攔河堰礙於地形因素無法順利抵達現場，而五福圳、高美圳之臨時攔河堰則為共用同一臨時攔河堰進行取水；故上述無詳細資料之臨時攔河堰則以鄰近之渠首工程資料進行計算，實際分析之渠首工臨時構造物分別為后里圳、日南圳、頂店圳、雙寮第二取水口、葫蘆墩圳、內埔圳、五福圳、虎眼二圳及大肚圳等 9 處。

表 2 臨時攔河堰現地測量資料一覽

Table 2 The temporary dam measurement data

圳路別	臨時構造物尺寸			上游水深	比重	臨時攔河堰設置角度 (°)
	頂寬	底寬	堰高			
后里圳	7.0	13.0	2.6	0.8	2.51	45
苑裡圳	--	--	--	--	--	--
日南圳	6.0	12.0	2.5	1.0	2.65	25
九張犁圳	--	--	--	--	--	--
頂店圳	1.5	7.5	1.6	1.0	2.60	90
雙寮第一取水口	--	--	--	--	--	--
雙寮第二取水口	8.3	13.3	1.9	0.5	2.70	15
葫蘆墩圳	6.0	12.0	2.5	1.0	2.64	45
內埔圳	6.0	12.0	1.50	0.9	2.63	40
虎眼一圳	--	--	--	--	--	--
五福圳	6.0	12.0	2.5	1.0	2.61	15
高美圳	--	--	--	--	--	--
虎眼二圳	6.0	11.6	2.4	0.8	2.70	20
大肚圳	2.0	11.6	2.8	1.3	2.62	15

本研究使用現場實測資料(表 2)進行臨時構造物之潰壩分析計算，因臨時性構造物之潰壩與否與流速大小成正相關，且構造物多為河床土砂堆置之安定構造，無傾倒、沉陷之虞，造成潰壩主因為滑移破壞。本研究採試誤法進行檢核計算，以固定水深、攔河堰與河岸之設置角度及滑動安全係數為 1.3 的條件，求得造成渠首工臨時構造物破壞之流速大小；結果顯示(表 3)台灣中部河川渠首工臨時攔河堰與河岸設置角度多介於 15-90°之間，破壞渠首工臨時攔河堰之流速為 0.20-1.35 m/s，其中造成堰體破壞最小之流速為 0.2 m/s，該堰體為頂店圳之臨時攔河堰(與河岸設置夾角為 90°)，而可承受較高流速之臨時攔河堰為五福圳、高美圳之臨時攔河堰，該堰體可承受流速衝擊至 1.35

m/s。表 3 亦顯示臨時攔河堰與河岸設置之夾角越小者，堰體破壞之流速臨界值越高，如雙寮第二取水口、五福圳、高美圳及大肚圳，其臨時攔河堰與河岸設置之夾角約 15°，堰體破壞之流速臨界值均超過 1 m/s。由上述資料顯示，若渠首工附近為河道束縮段、流速較高之環境，臨時攔河堰軸線與河岸夾角應採用較小之角度構築於行水區內。

本研究除針對臨時性構造物進行簡易之潰壩分析外，亦對臨時性構造物進行滲流破壞分析，本研究分析調查台灣中部地區臨時攔河堰之粒徑組成(圖 4-圖 6)，並依據土樣粒徑通過 20%之數據(D<sub>20</sub>)與透水係數關係表(表 4)推估當地之土壤透水係數，結果顯示台灣中部地區河川河床之土壤滲流係數(K)介於 0.46×10<sup>-5</sup>-65.00×10<sup>-5</sup> m/min；依據農工中心(2011)報告模擬臨時攔河堰之滲流速率(V)為 1.2×10<sup>-5</sup>-88.40×10<sup>-5</sup> m/min；進一步以水利署(2007)提供不同土質條件之滲流比限值(i)容許最小值(表 5)進行評估，結果顯示於平日無暴雨及發生暴雨事件之狀態下，僅日南、葫蘆墩、高美圳三處之臨時構造物均為安全之狀態，其餘臨時構造物均會因滲流而被破壞，詳細資料如表 6 所示。

本研究進一步以堰體夯實、上游面加裝防水布及加寬堰體 1.5 倍、2 倍等 4 種不同方法進行臨時攔河堰之滲流改善。改善評估結果(表 7)顯示，經堰體夯實改善方案處理後，平日之滲流比限值由 0.10-14.58 提高至 0.21-29.17；經上游面加裝防水布改善方案處理後，平日之滲流比限值提高至 0.15-15.91；經堰體加寬 1.5 倍改善方案處理後，平日之滲流比限值提高至 0.14-20.61；經堰體加寬 2 倍改善方案處理後，平日之滲流比限值提高至 0.20-26.52。此結果顯示堰體夯實為 4 種改善方案中最具成效者，惟 9 處臨時攔河堰中具改善之成效者僅內埔圳一處；內埔圳之臨時構造物平日經夯實、加防水布或堰體加寬 1.5 倍後即可改善滲流破壞之現象，暴雨時僅夯實可改善滲流破壞。

表 3 臨時攔河堰潰壩分析成果一覽

Table 3 The temporary dam break analysis results

圳路別	臨時構造物破壞 臨界點流速(m/s)	傾倒係數 (>1.5)	滑移係數 (>1.3)	攔河堰設置角度 (°)
后里圳	<b>0.73</b>	<b>2.00</b>	<b>1.31</b>	<b>45</b>
苑裡圳、日南圳、九張犁圳	0.93	2.10	1.31	25
頂店圳	<b>0.20</b>	<b>2.90</b>	<b>1.31</b>	<b>90</b>
頂店第一取水口	1.09	2.07	1.30	20
雙寮第一、二取水口	<b>1.19</b>	<b>1.76</b>	<b>1.30</b>	<b>15</b>
葫蘆墩圳	0.64	2.09	1.31	45
內埔圳(新)	<b>0.31</b>	<b>1.51</b>	<b>1.31</b>	<b>40</b>
五福圳、高美圳	1.35	2.08	1.31	15
虎眼一圳、虎眼二圳	<b>1.09</b>	<b>2.14</b>	<b>1.31</b>	<b>20</b>
大肚圳	1.22	1.90	1.30	15

註：攔河堰設置角度為使用Google Map地圖量測之概略值。

表 4 土壤粒徑(D<sub>20</sub>)與飽和透水係數之對應關係

Table 4 Correspondence between soil particle size (D<sub>20</sub>) and saturated permeability coefficient

D <sub>20</sub> (mm)	K(cm/s)	D <sub>20</sub> (mm)	K(cm/s)	D <sub>20</sub> (mm)	K(cm/s)
0.005	3.00 × 10 <sup>-6</sup>	0.10	1.75 × 10 <sup>-3</sup>	0.45	5.80 × 10 <sup>-2</sup>
0.01	1.05 × 10 <sup>-5</sup>	0.12	2.60 × 10 <sup>-3</sup>	0.50	7.50 × 10 <sup>-2</sup>
0.02	4.00 × 10 <sup>-5</sup>	0.14	3.80 × 10 <sup>-3</sup>	0.60	1.10 × 10 <sup>-1</sup>
0.03	8.50 × 10 <sup>-5</sup>	0.16	5.10 × 10 <sup>-3</sup>	0.70	1.60 × 10 <sup>-1</sup>
0.04	1.75 × 10 <sup>-4</sup>	0.18	6.85 × 10 <sup>-3</sup>	0.80	2.15 × 10 <sup>-1</sup>
0.05	2.80 × 10 <sup>-4</sup>	0.20	8.90 × 10 <sup>-3</sup>	0.90	2.80 × 10 <sup>-1</sup>
0.06	4.60 × 10 <sup>-4</sup>	0.25	1.40 × 10 <sup>-2</sup>	1.0	3.60 × 10 <sup>-1</sup>
0.07	6.50 × 10 <sup>-4</sup>	0.30	2.20 × 10 <sup>-2</sup>	2.0	1.80
0.08	9.00 × 10 <sup>-4</sup>	0.35	3.20 × 10 <sup>-2</sup>		
0.09	1.40 × 10 <sup>-3</sup>	0.40	4.50 × 10 <sup>-2</sup>		

資料來源：台中農田水利會，2006。

表 5 各種土壤權重滲比限值

Table5 The variety of soil weight with seepage hydraulic gradient

土質	容許底限	土質	容許底限	土質	容許底限
極細砂或泥	8.5	細礫	4.0	軟黏土	3.0
細砂	7.0	中級礫	3.5	中級黏土	2.0
中級砂	6.0	粗礫包括卵石	3.0	硬黏土	1.8
粗砂	5.0	大石附有若干卵石及礫	2.5	極硬黏土或硬泥盤	1.6

資料來源：水利署，2007。

表 6 臨時攔河堰滲流破壞分析成果

Table6 The seepage failure analysis results of temporary dam

計算項目	圳路別	后里圳	苑裡圳 日南圳	頂店圳	雙寮第一、 第二取水口	葫蘆墩圳	內埔圳	五福圳 高美圳	虎眼一圳 虎眼二圳	大肚圳
土壤類別		砂質壤土	壤土	壤質砂土	砂質壤土	砂質壤土	砂質壤土	壤土	砂質壤土	砂質壤土
容許滲流比限值		2	3	3	2	2	2	3	2	2
堰體滲流係數 (k,m/min)		$1.4 \times 10^{-5}$	$17.5 \times 10^{-5}$	$0.46 \times 10^{-5}$	$0.65 \times 10^{-5}$	$65.0 \times 10^{-5}$	$3.80 \times 10^{-5}$	$55.0 \times 10^{-5}$	$2.6 \times 10^{-5}$	$14.0 \times 10^{-5}$
滲流速率 (v,m/min)	平日	$2.6 \times 10^{-5}$	$1.2 \times 10^{-5}$	$4.4 \times 10^{-5}$	$1.6 \times 10^{-5}$	$4.5 \times 10^{-5}$	$2.3 \times 10^{-5}$	$3.8 \times 10^{-5}$	$8.8 \times 10^{-5}$	$88.4 \times 10^{-5}$
	暴雨	$12.1 \times 10^{-5}$	$2.3 \times 10^{-5}$	$7.7 \times 10^{-5}$	$6.2 \times 10^{-5}$	$8.5 \times 10^{-5}$	$3.8 \times 10^{-5}$	$7.3 \times 10^{-5}$	$23.8 \times 10^{-5}$	$182 \times 10^{-5}$
水力坡度(J)	平日	1.86	0.07	9.59	2.49	0.07	0.60	0.07	3.37	6.31
	暴雨	8.64	0.13	16.78	9.49	0.13	0.99	0.13	9.15	13.00
滲流比	平日	0.54	14.58	0.10	0.40	14.54	1.67	14.44	0.30	0.16
	暴雨	0.12	7.61	0.06	0.11	7.61	1.01	7.54	0.11	0.08
分析結果	平日	NG	OK	NG	NG	OK	NG	OK	NG	NG
	暴雨	NG	OK	NG	NG	OK	NG	OK	NG	NG

註 1：分析結果 NG 表示臨時構造物會因滲流而被破壞，OK 表示構造物之破壞因素並非滲流所造成。

註 2：容許滲流比限值為一下限值，若滲流比低於此一限制值，土堤將因過度滲水而造成管湧現象。



表 7 滲流破壞改善方案分析成果

Table7 The seepage failure with improve program analysis results .

計算項目	圳路別	后里圳	苑裡圳 日南圳	頂店圳	雙寮第一、 第二取水口	葫蘆墩圳	內埔圳	五福圳 高美圳	虎眼一圳、 虎眼二圳	大肚圳
土壤類別		砂質壤土	壤土	壤質砂土	砂質壤土	砂質壤土	砂質壤土	壤土	砂質壤土	砂質壤土
容許滲流比限值		2	3	3	2	2	2	3	2	2
堰體滲流係數 (k,m/min)		1.4×10 <sup>-05</sup>	17.5×10 <sup>-05</sup>	0.5×10 <sup>-05</sup>	0.7×10 <sup>-05</sup>	65.0×10 <sup>-05</sup>	3.8×10 <sup>-05</sup>	55.0×10 <sup>-05</sup>	2.6×10 <sup>-05</sup>	14.0×10 <sup>-05</sup>
堰體夯實		1.3×10 <sup>-05</sup>	0.6×10 <sup>-05</sup>	2.2×10 <sup>-05</sup>	0.8×10 <sup>-05</sup>	2.2×10 <sup>-05</sup>	1.1×10 <sup>-05</sup>	1.9×10 <sup>-05</sup>	4.6×10 <sup>-05</sup>	45.2×10 <sup>-05</sup>
平 加防水布		2.1×10 <sup>-05</sup>	1.1×10 <sup>-05</sup>	3.0×10 <sup>-05</sup>	1.1×10 <sup>-05</sup>	4.1×10 <sup>-05</sup>	1.7×10 <sup>-05</sup>	3.5×10 <sup>-05</sup>	7.1×10 <sup>-05</sup>	66.5×10 <sup>-05</sup>
日 加寬 1.5 倍		2.2×10 <sup>-05</sup>	0.9×10 <sup>-05</sup>	3.2×10 <sup>-05</sup>	1.2×10 <sup>-05</sup>	3.2×10 <sup>-05</sup>	1.6×10 <sup>-05</sup>	2.7×10 <sup>-05</sup>	5.9×10 <sup>-05</sup>	66.9×10 <sup>-05</sup>
加寬 2 倍		2.1×10 <sup>-05</sup>	0.7×10 <sup>-05</sup>	2.3×10 <sup>-05</sup>	0.9×10 <sup>-05</sup>	2.5×10 <sup>-05</sup>	1.3×10 <sup>-05</sup>	2.1×10 <sup>-05</sup>	4.7×10 <sup>-05</sup>	67.9×10 <sup>-05</sup>
滲流 速率 (v,m/ min)	堰體夯實	6.0×10 <sup>-05</sup>	1.2×10 <sup>-05</sup>	3.9×10 <sup>-05</sup>	3.1×10 <sup>-05</sup>	4.3×10 <sup>-05</sup>	1.9×10 <sup>-05</sup>	3.6×10 <sup>-05</sup>	11.9×10 <sup>-05</sup>	90.9×10 <sup>-05</sup>
暴 加防水布		9.6×10 <sup>-05</sup>	2.3×10 <sup>-05</sup>	5.3×10 <sup>-05</sup>	4.3×10 <sup>-05</sup>	7.5×10 <sup>-05</sup>	2.8×10 <sup>-05</sup>	6.7×10 <sup>-05</sup>	19.0×10 <sup>-05</sup>	141×10 <sup>-05</sup>
雨 加寬 1.5 倍		11.1×10 <sup>-05</sup>	1.5×10 <sup>-05</sup>	4.1×10 <sup>-05</sup>	4.3×10 <sup>-05</sup>	5.0×10 <sup>-05</sup>	2.3×10 <sup>-05</sup>	5.2×10 <sup>-05</sup>	17.0×10 <sup>-05</sup>	130×10 <sup>-05</sup>
加寬 2 倍		8.4×10 <sup>-05</sup>	1.3×10 <sup>-05</sup>	3.9×10 <sup>-05</sup>	3.2×10 <sup>-05</sup>	4.7×10 <sup>-05</sup>	2.0×10 <sup>-05</sup>	4.0×10 <sup>-05</sup>	13.8×10 <sup>-05</sup>	100×10 <sup>-05</sup>
水力 坡度 (J)	堰體夯實	0.94	0.03	4.80	1.25	0.03	0.30	0.03	1.79	3.23
平 加防水布		1.51	0.06	6.61	1.72	0.06	0.45	0.06	2.71	4.75
日 加寬 1.5 倍		1.59	0.05	6.96	1.77	0.05	0.42	0.05	2.28	4.78
加寬 2 倍		1.48	0.04	4.91	1.36	0.04	0.35	0.04	1.82	4.85
堰體夯實		4.31	0.07	8.39	4.75	0.07	0.50	0.07	4.58	6.49
暴 加防水布		6.86	0.13	11.59	6.55	0.12	0.73	0.12	7.31	10.07
雨 加寬 1.5 倍		7.93	0.09	8.98	6.57	0.08	0.62	0.09	6.54	9.29
加寬 2 倍		5.97	0.07	8.48	4.88	0.07	0.53	0.07	5.31	7.14
堰體夯實		1.06	29.17	0.21	0.80	29.15	3.33	28.95	0.56	0.31
平 加防水布		0.66	15.91	0.15	0.58	15.89	2.24	15.76	0.37	0.21
日 加寬 1.5 倍		0.63	20.61	0.14	0.57	20.63	2.39	20.45	0.44	0.21
加寬 2 倍		0.68	26.52	0.20	0.73	26.53	2.84	26.32	0.55	0.21
滲流 比	堰體夯實	0.23	15.22	0.12	0.21	15.22	2.01	15.11	0.22	0.15
暴 加防水布		0.15	7.61	0.09	0.15	8.69	1.37	8.21	0.14	0.10
雨 加寬 1.5 倍		0.13	11.44	0.11	0.15	13.03	1.62	10.58	0.15	0.11
加寬 2 倍		0.17	13.78	0.12	0.21	13.77	1.89	13.65	0.19	0.14
堰體夯實		NG	OK	NG	NG	OK	OK	OK	NG	NG
平 加防水布		NG	OK	NG	NG	OK	OK	OK	NG	NG
日 加寬 1.5 倍		NG	OK	NG	NG	OK	OK	OK	NG	NG
加寬 2 倍		NG	OK	NG	NG	OK	OK	OK	NG	NG
堰體夯實		NG	OK	NG	NG	OK	OK	OK	NG	NG
暴 加防水布		NG	OK	NG	NG	OK	NG	OK	NG	NG
雨 加寬 1.5 倍		NG	OK	NG	NG	OK	NG	OK	NG	NG
加寬 2 倍		NG	OK	NG	NG	OK	NG	OK	NG	NG

註 1：分析結果 NG 表示臨時構造物會因滲流而被破壞，OK 表示構造物之破壞因素並非滲流所造成。  
 註 2：容許滲流比限值為一下限值，若滲流比低於此一限制值，土堤將因過度滲水而造成管湧現象。

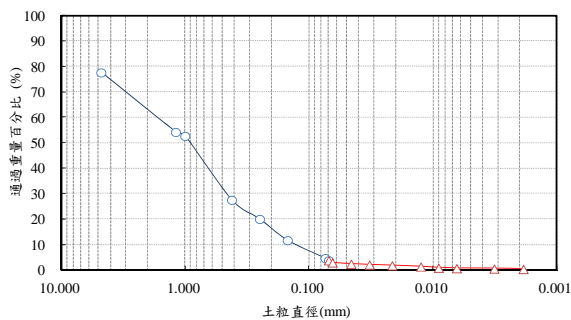


圖 4 粒徑-土壤重量累積百分比關係圖-烏溪水系(大肚圳)

Fig.5 Particle size - cumulative percentage of soil weight(Wu river)

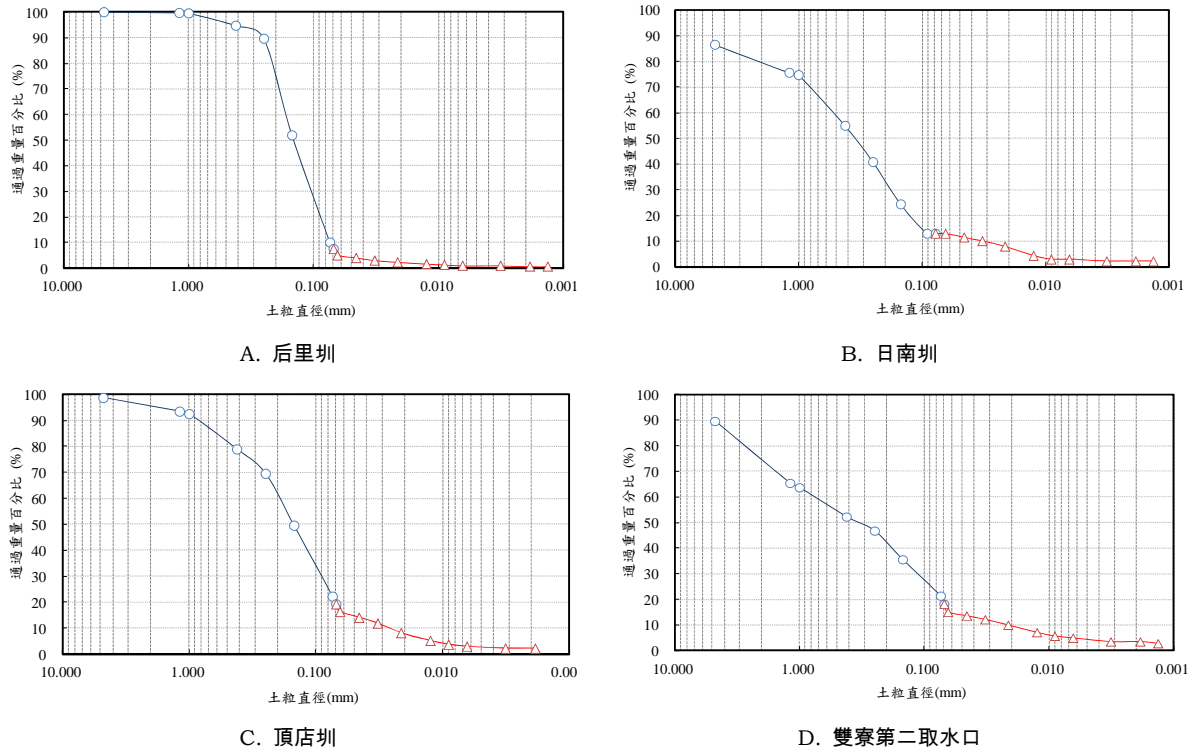


圖 5 粒徑-土壤重量累積百分比關係圖-大安溪水系

Fig.4 Particle size - cumulative percentage of soil weight(Daan river)

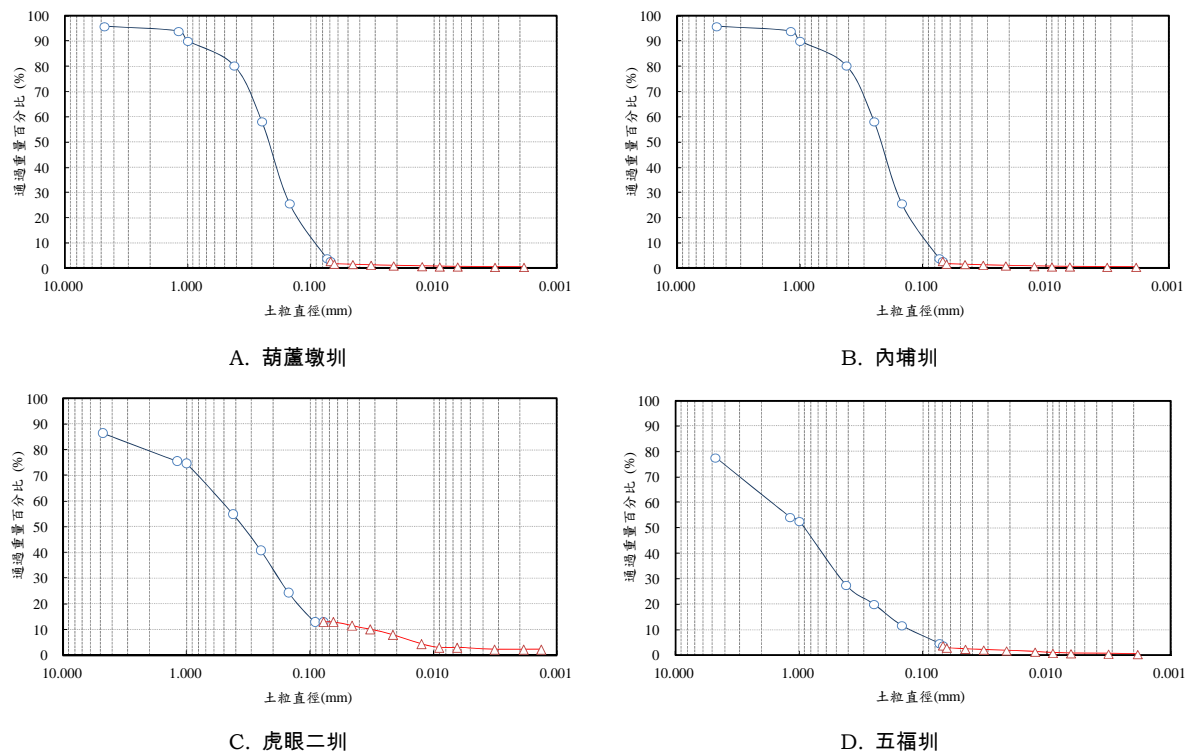


圖 6 粒徑-土壤重量累積百分比關係圖-大甲溪水系

Fig.5 Particle size - cumulative percentage of soil weight(Daja river)

## 四、結語

1. 本研究以試誤法進行臨時攔河堰之潰壩分析，結果顯示五福圳、高美圳之臨時攔河堰可承受較高流速，堰體可承受流速衝擊至  $1.35 \text{ m/s}$ 。且臨時攔河堰與河岸設置之夾角越小者，堰體破壞之流速臨界值越高(如雙寮第二取水口、五福圳、高美圳及大肚圳)。若渠首工附近為河道束縮段、流速較高之環境，臨時攔河堰軸線與河岸夾角應採用較小之角度構築於行水區內。
2. 本研究完成台灣中部河川 14 處重要渠首工臨時攔河堰之安全分析，成果顯示僅后里圳、頂店圳、雙寮第一取水口、雙寮第二取水口、內埔圳、虎眼一圳、虎眼二圳及大肚圳等 8 處臨時攔河堰之破壞因素為滲流破壞，其餘 6 處臨時攔河堰之破壞因素則非滲流所造成。
3. 以堰體夯實、上游面加裝防水布及加寬堰體 1.5 倍、2 倍等 4 種不同方法進行臨時攔河堰之滲流改善，其結果顯示堰體夯實為 4 種改善方案中最具成效者，惟具改善之成效者僅內埔圳一處；內埔圳之臨時攔河堰平日若經夯實或於上游面加裝防水布或堰體加寬 1.5 倍後即可改善滲流破壞之現象，惟暴雨時期僅夯實可改善滲流破壞。

## 參考文獻

1. 中國農業工程學會(1990)，「中國農業工程手冊-農業水利之部」。
2. 洪淑宜(1980)，「水壩安全性與獨立審查」，臺灣水利，第 27 卷、第 3 期、pp.59。
3. 連惠萍、吳偉(2007)，「堤防工程安全評估研究分析」，黃河水利職業技術學院學報，第 19 卷、第 4 期、pp.30-32。
4. 楊錦釧、湯有光(2007)，「影響水利建造物(蓄水建造物除外)功能之風險因子探討與分析程序之建立(1/2)」，國家災害防救科技中心編印。
5. 蕭慶章(2004)，「實用河川工程(下)：河川工程治理」，科技圖書出版，台北。
6. 農業工程研究中心(2012)，「轄內現有渠首工安全性分析及規劃」，財團法人農業工程研究中心研究報告，AERC-12-RR-02。
7. 經濟部水利署(1999)，「水利建造物安全檢查辦法」。
8. 經濟部水利署(2007)，水利工程技術規範-河川治理篇(草案)(下冊)。
9. 經濟部水利署(2008a)，「水利建造物檢查及安全評估技術規範(防水、洩水建造物篇)」。
10. 經濟部水利署(2008b)，「水利建造物檢查及安全評估技術規範(蓄水、引水建造物篇)」。
11. 臺灣省水利局(1982)，「現有壩工安全評審-水庫放水安全操作講習參考(1980 版)」，美國內政部墾務局水資源技術刊物。