



技術研究發展小組簡報

滯洪設施各式出水口流量公式 之試驗研究

計畫主持人：蔡易達 博士/技師

111年6月21日





簡報大綱

壹

前言

貳

研究方法及步驟

參

文獻蒐集與分析

肆

理論分析

伍

現地調查與室內試驗

陸

結論分析與討論



一、計畫緣由

- 滯洪壩(含懸臂式及重力式)流量公式係由實驗室渠槽試驗所建立，除了公式組成並不符合堰流 (weir flow)基本流量公式外，受到渠槽試驗條件之諸多限制，使得應用於非川流式的滯洪設施時，存在很大的不確定性。
- 滯洪壩與緊急溢洪口共構而形成複合堰(compound weir)，其總溢流量一般均分別將滯洪壩與緊急溢洪口之溢流量進行線性疊加而得；但實際的狀況是，當滯洪壩與緊急溢洪口同時溢流時，其總溢流量會大於滯洪壩與緊急溢洪口溢流量之和，這就造成設計上之偏差。
- 根據水土保持技術規範規第95條第2項第5款規定，為避免樹枝、雜物影響滯洪設施之排放效率，出水口應加設防止堵塞之半球型、弧型或其他立體型式攔污設施。由於攔污設施縮減了水流通水斷面，並造成水流流線束縮和彎曲，不僅增加水流通過出水口之能量損失，同時也影響排洪效率。

二、計畫目標

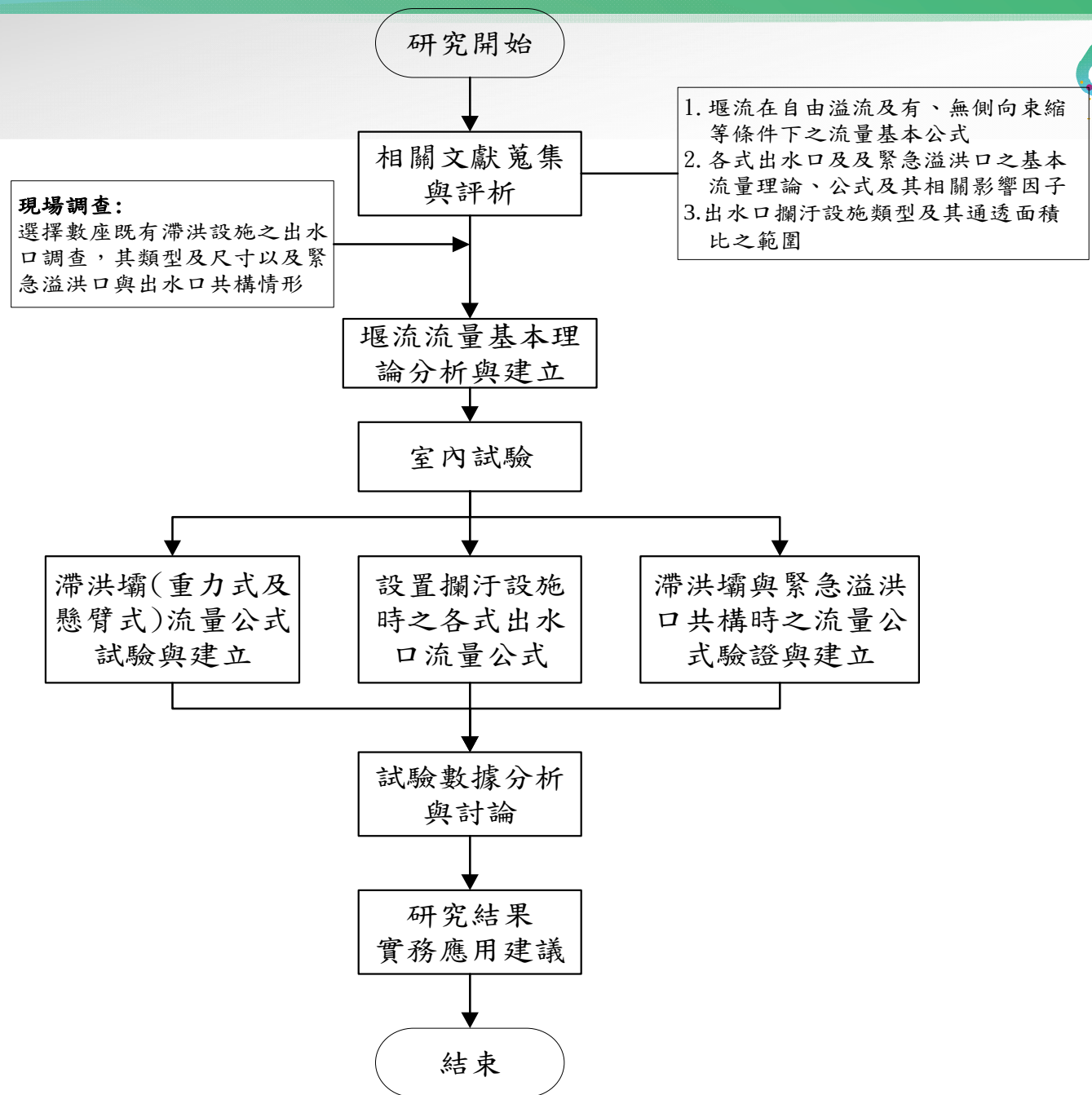
以**滯洪設施出水口**為對象，通過理論分析及室內試驗方式分別建立：

- 以重力式及懸臂式壩體作為出水口時之流量公式。
- 當出水口與攔汙設施共構時，在不同通透面積比條件下，滯洪壩及圓形(含矩形)孔口之流量公式。
- 滯洪壩與梯形(含矩形)緊急溢洪口共構時之流量公式。

三、計畫內容



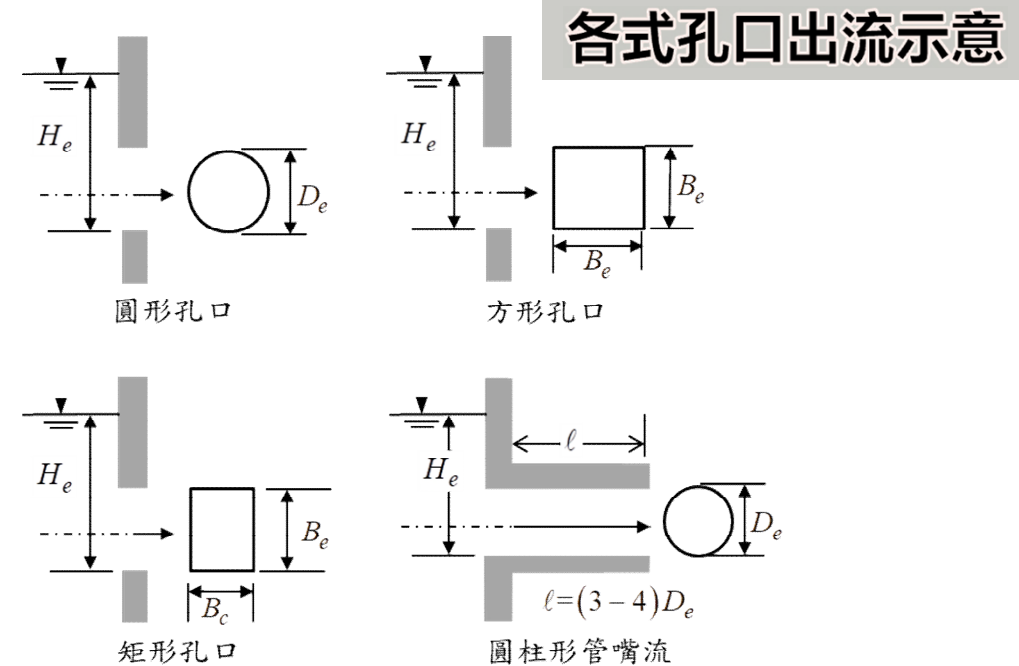
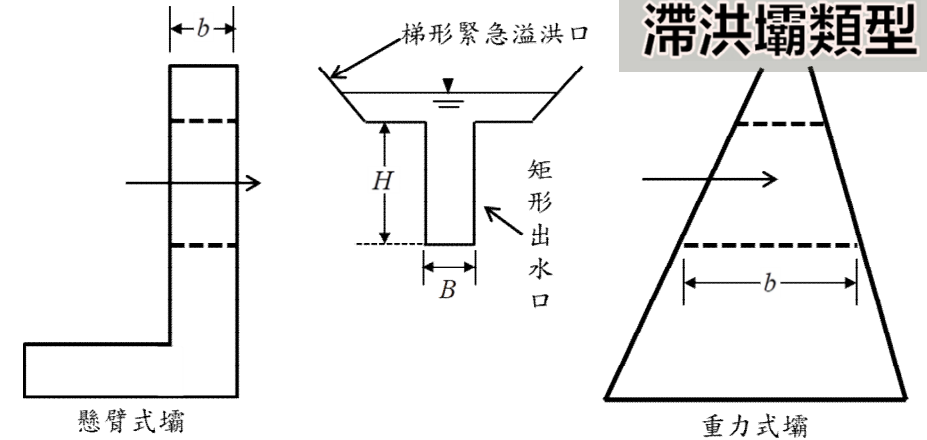
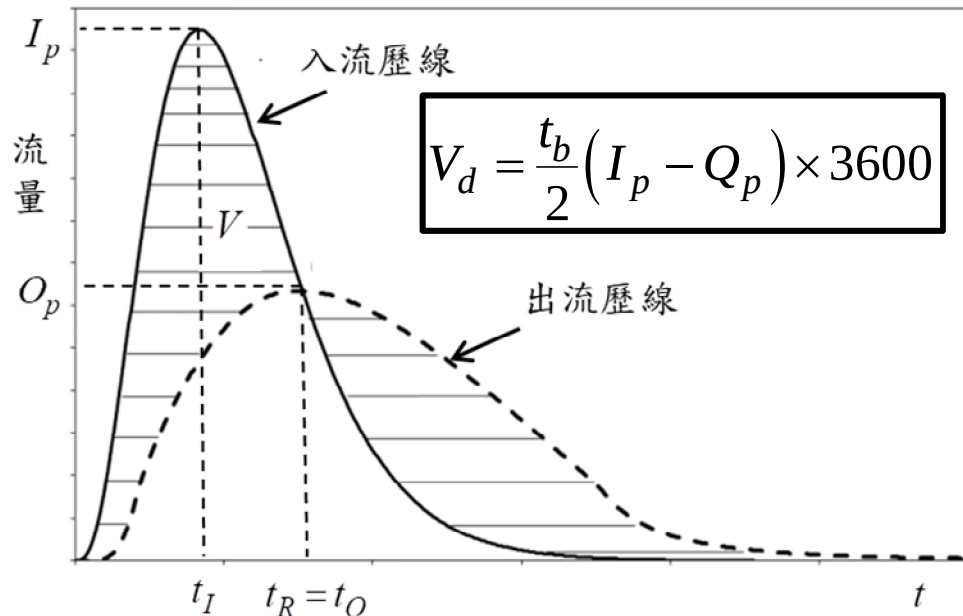
■本研究以理論分析配合 室內試驗，分別建立滯 洪設施各式出水口之流 量公式。



一、滯洪量計算

■ 滯洪設施係由滯洪池及滯洪壩所組成。

- 蒐集水土保持技術規範第96條，**出流流量歷線**由**出流設施**控制，**出流洪峰流量(Q_p)**影響滯洪設施之降低洪水效果($I_p - Q_p$)及**延遲洪水發生時間($t_R - t_I$)**，也決定了滯洪池之**容積(V_d)**。

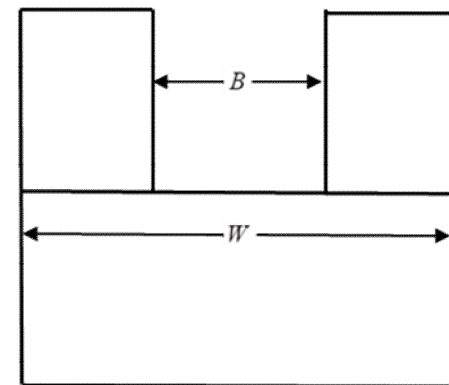
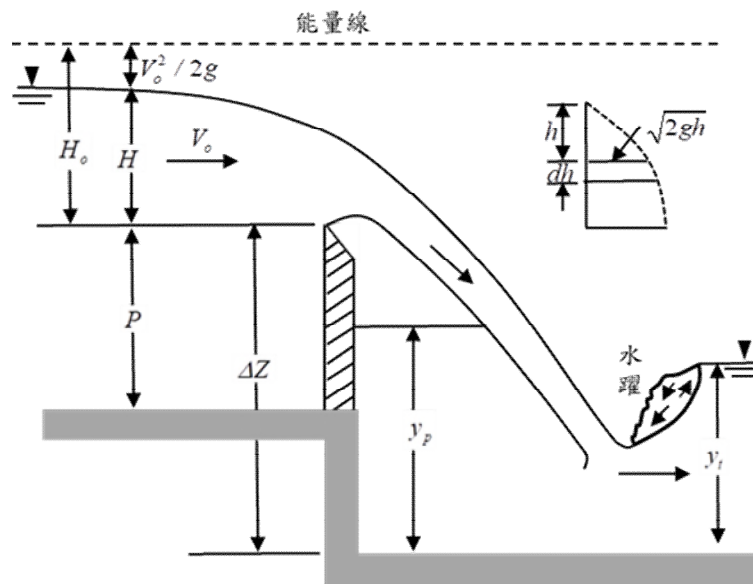


二、堰流

- 滯洪壩具有深而窄之矩形開口，其過流屬於堰流(weirflow)流況，故出流量與水深之關係，理應遵循**堰流流量基本公式**

$$Q = C_d \sqrt{2g} B H^{1.5}$$

式中， C_d = 流量係數(= $2C_c / 3$)。根據堰流流量基本公式得知，其主要關鍵在於流量係數，但以目前的研究水平，尚無法利用水力學理論建立其變化規律，而較多的是採用試驗方式建立流量係數經驗公式。



堰流示意圖

三、出水口出流量計算問題評析

- 根據水土保持技術規範第95條第一項第四款規定：「為避免樹枝、雜物影響滯洪設之排放效率，**出水口應加設防止堵塞之弧形攔汙設施**，並隨時清理與維護。」

- 當水流通過攔汙設施時，其通透程度必然引起阻滯效應使能量局部損失，影響出水口之排放效率

$$C_d'' = \lambda C_d \quad \text{and} \quad \lambda = f(A_s)$$

C_d'' = 考量攔汙設施能量局部損失之流量係數；

λ = 與攔汙設施通透面積比有關之係數；

A_s = 通透面積比，**(攔汙設施總表面積與實際通水表面積之比)**



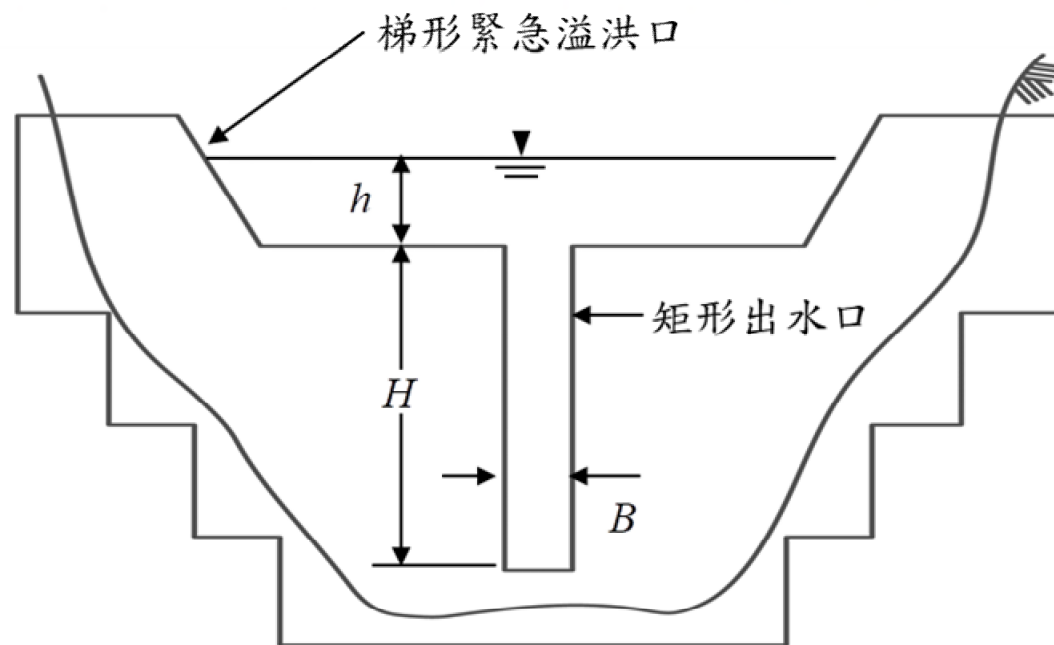
出水口半圓形攔汙設施

三、出水口出流量計算問題評析

滯洪壩與緊急溢洪口共構時，對總出流量之影響

- 根據水土保持技術規範第95條第一項第五款規定：「**出水口之設置，應在容許排放量內能發揮其排放效率，有保全對象時，應視需要設置緊急溢洪口，並注意其排放之安全。**」

- 通常將出水口與緊急溢洪口**共構**在同一個斷面上，緊急溢洪口多採用梯形或矩形斷面，用以排除放超過設計標準(重現期50年以上)之洪水量。
- 當入流洪峰流量**超過設計標準**而**啟動**緊急溢洪口進行**緊急溢洪**時，出水口和緊急溢洪口同時排放流量，**水流重疊部分**，其**水流流況**勢必會受到出水口干擾而**略有變化**。



滯洪壩與緊急溢洪口共構示意圖

■ 建立滯洪設施各式出水口及矩形緊急溢洪口之流量公式，應考量下列幾項關鍵因素，包括：

- 一. 不論是銳緣堰或寬頂堰，流量隨著堰上水深1.5次方成正比。
- 二. 建立流量公式之首要關鍵，在於通過試驗方式確定其流量係數。
- 三. 由於滯洪設施屬於箱型構造，堰上水流不僅要考量側向收縮之影響，同時收縮比
(B =堰頂寬度； B_L 堰所在牆面寬度)；換言之，堰所在牆面寬度遠大於堰頂寬度。 $B/B_L \approx 0$
- 四. 一般，與沉砂設施共構之滯洪設施堰牆高度，均為沉砂設施高度，在滯洪操作過程屬於變數，且最終可能因淤砂而遭淤埋，故在試驗設計時，讓堰牆高度遠高於堰上水頭，即
 $H/a \approx 0$ 。

一、調查辦法

1. 調查方法

- 選擇數座既有滯洪設施之**出水口調查**，其類型及尺寸以及緊急溢洪口與出水口**共構情形**，作為室內試驗設計之參採依據。



內業完成調查項目事先統整，攜帶相機、全球定位系統GPS、UAV、尺、測距儀等設備進行調查，以利室內試驗設計之參採依據。



調查資料填寫



現況拍攝



中科滯洪出水口

一、調查辦法

2. 滯洪設施出水口形式

- 本研究實際調查既有**10**處滯洪設施，出水口分別有**矩形**、**圓形**及**懸臂式**滯洪壩等型式



矩形孔口



圓形孔口

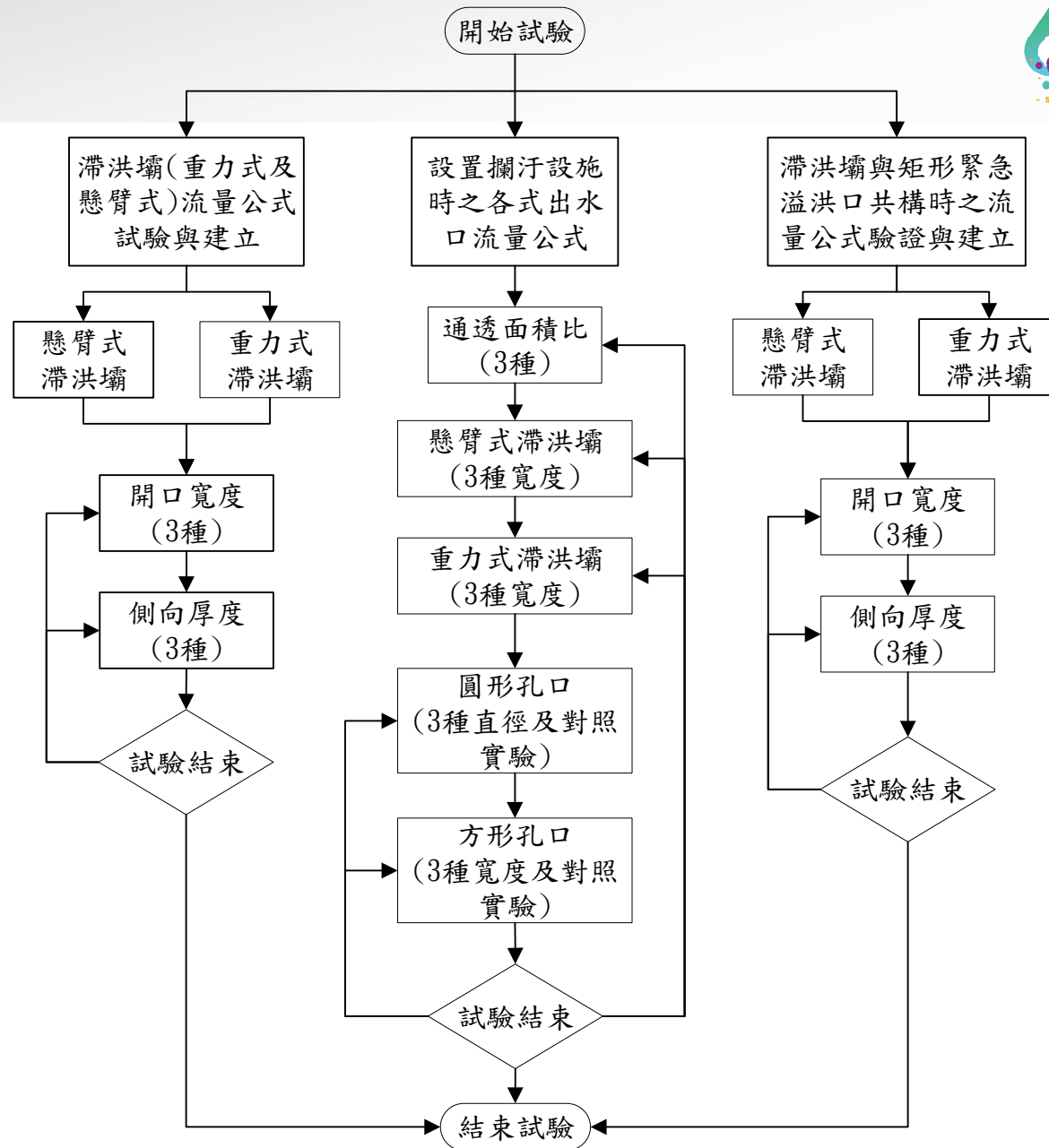
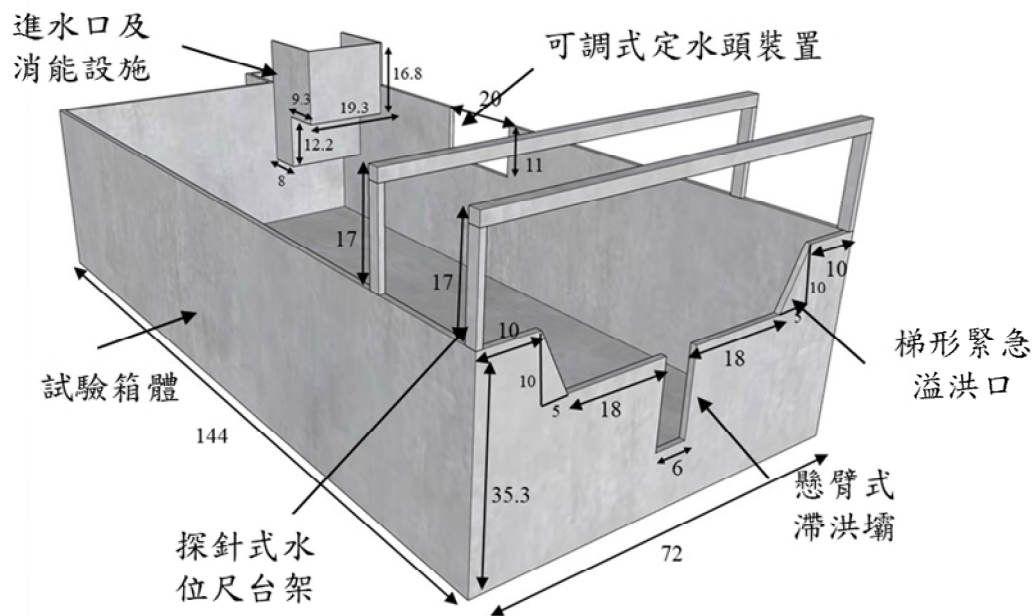


懸臂式矩形滯洪壩

二、室內試驗

1. 試驗方法與步驟

- 以自行設計之試驗裝置進行試驗，試驗設備主要是由**蓄水裝置**(模擬滯洪池)、**出水口**(可依試驗需求更換之)、**可調式定水頭裝置**、**進水設施**及其**消能設施**、**探針式水位尺**及**流量量測裝置**等所組成。

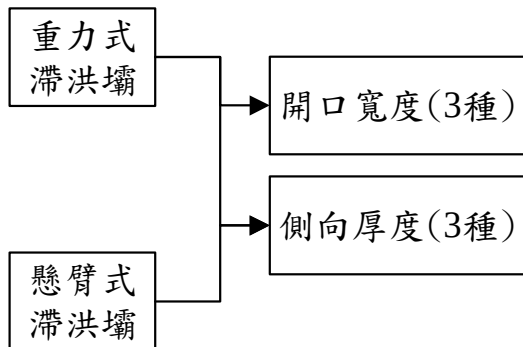


二、室內試驗

1. 試驗方法與步驟

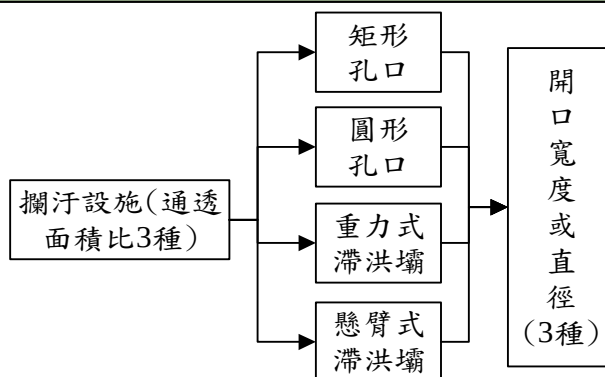
■ 根據計畫目標，室內試驗可以概分為三大類型，包括：

滯洪壩流量試驗



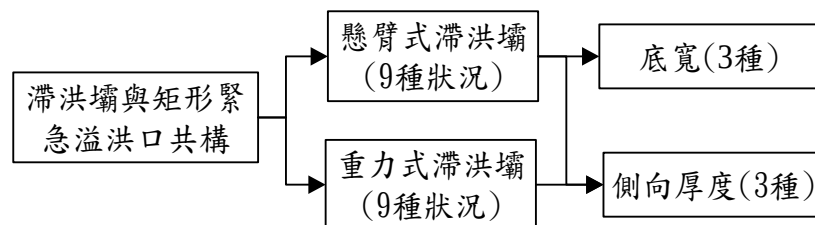
- 改變開口寬度及側向厚度，通過各種水流條件形成不同過流水深及其相應流量，以建立滯洪壩初流量公式。

攔汙設施下之各式出水口流量試驗



- 採用三種不同通透面積比之攔汙設施，探討其對出水口排放量之影響，建立攔汙設施設置條件下之出水口流量公式。

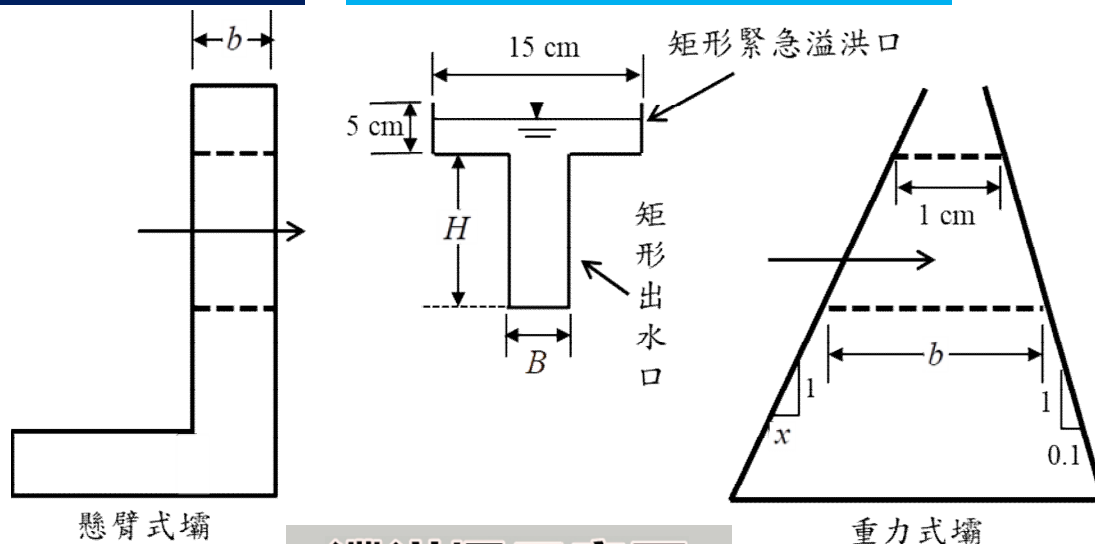
滯洪壩與矩形緊急溢洪口共構條件下之流量試驗



- 不同的設施尺度下滯洪壩與矩形緊急溢洪口同時運作之總排放量變化規律，並檢討其與滯洪壩與矩形緊急溢洪口排放量簡單疊加之差異。

二、室內試驗

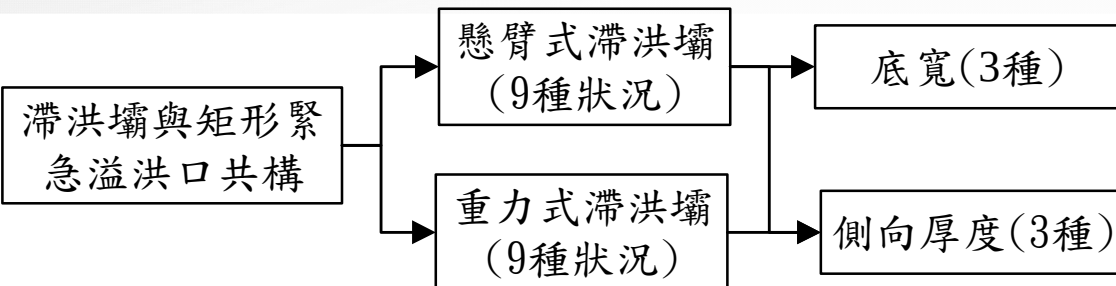
2. 滯洪壩流量公式試驗



滯洪壩示意圖

	B(cm)	b(cm)	x	H(cm)
懸臂式	2、4、6	1、2、3		15
重力式	2、4、6	6.25、8.5、10	0.25、0.4、0.5	15
矩形緊急溢洪口	底寬	高度		
	15	5		

註：採用 3 D 列印方式製作試驗模型

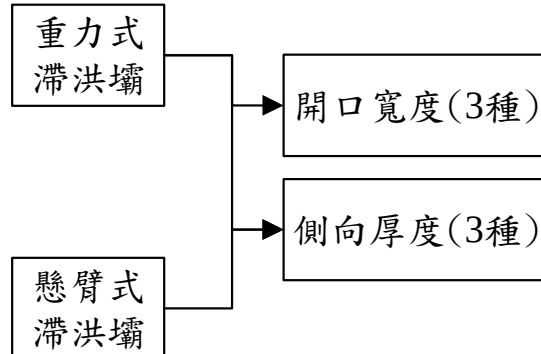


滯洪壩與矩形緊急溢洪口共構下之流量試驗

懸臂式滯洪壩



重力式滯洪壩



滯洪壩流量試驗

二、室內試驗

3. 攔汙設施出水口流量公式

■ 攔汙設施

➤ 滯洪壩

- ✓ 採用半圓柱式攔汙設施
- ✓ 通透面積比 = $1 - \text{格梁面積} / \text{半圓柱體表面積}$

➤ 圓形

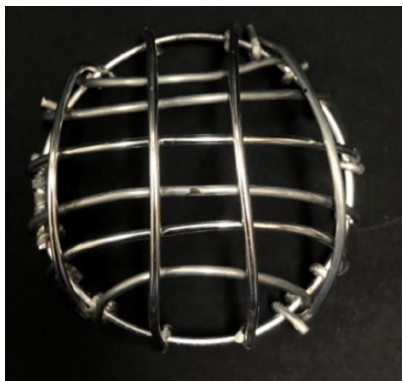
- ✓ 直徑 = 2、3、4 cm

➤ 方形

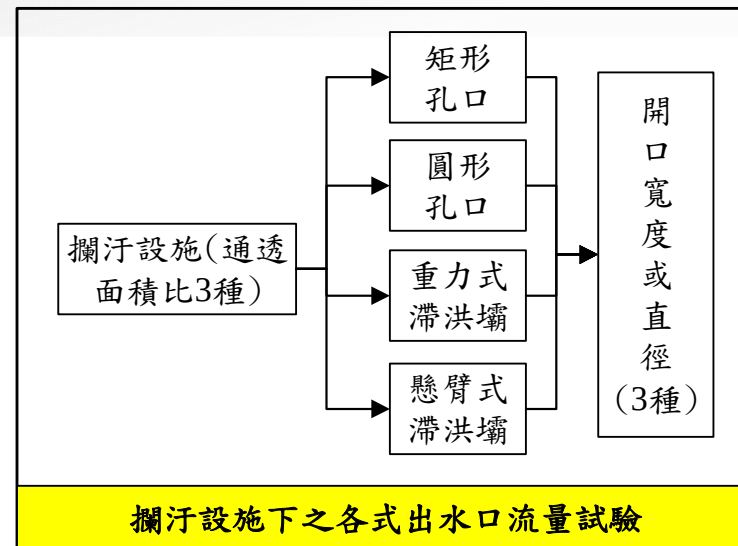
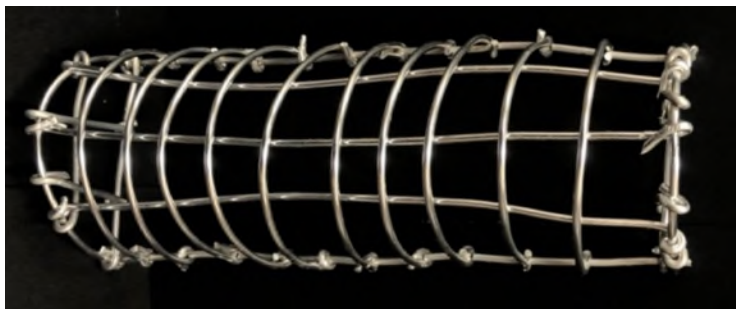
- ✓ 高(或寬) = 2、3、4 cm

註：圓形及方形孔口可與滯洪壩一起試驗

半球體攔汙設施



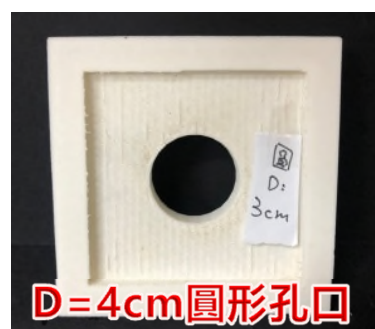
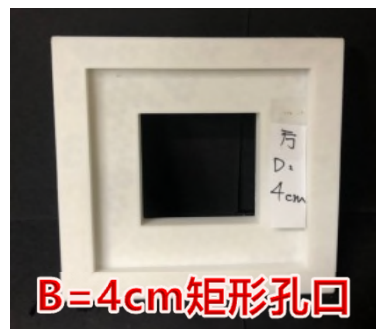
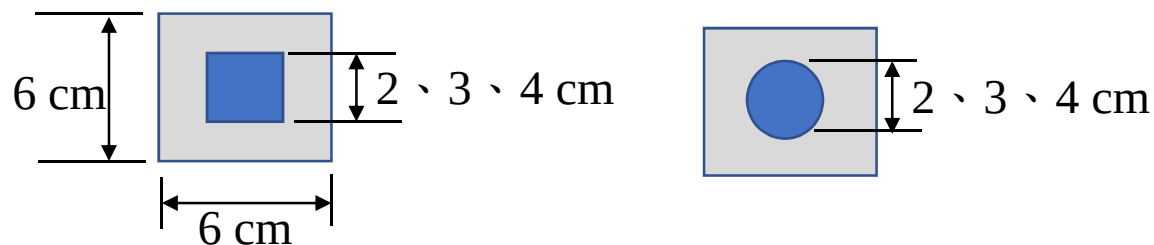
半圓柱體攔汙設施



攔汙設施示意圖

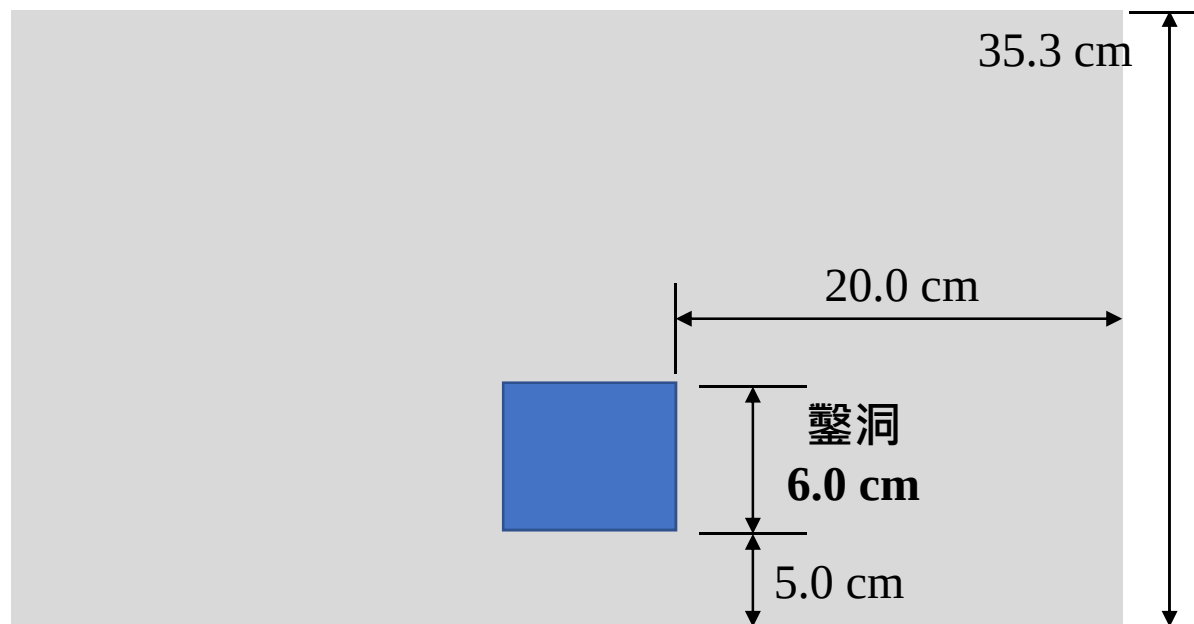
二、室內試驗

3. 攔汙設施出水口流量公式



■ 量測值

- 水深：各種條件下至少 5 種不同水深
- 流量：以直接量測法量測過堰流量



圓形與方形孔口布置圖

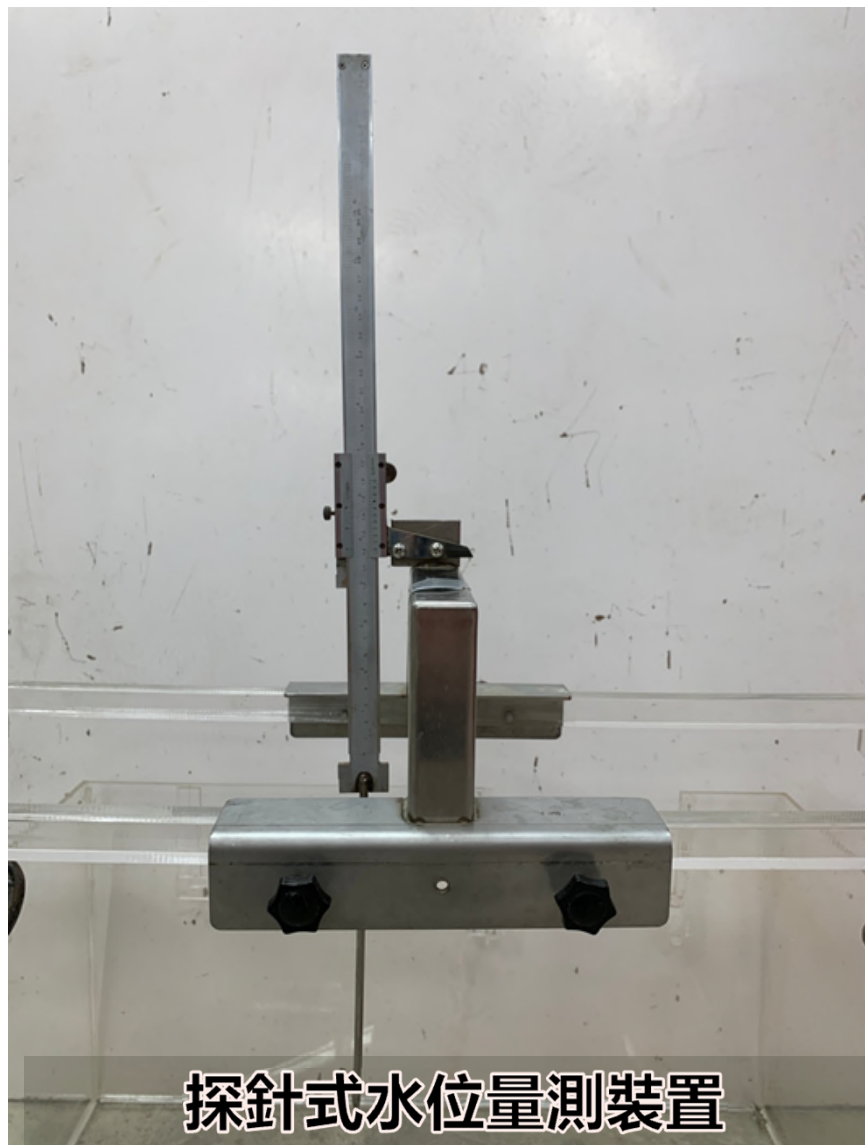
二、室內試驗

4. 流量及水深量測

- 採用塑膠桶置於出流口正下方，直接承接由豎井溢流出的水體，流量 Q 即

$$Q = \frac{V}{T}$$

V 為蓄滿塑膠桶之水體積， T 為蓄滿塑膠桶所需時間



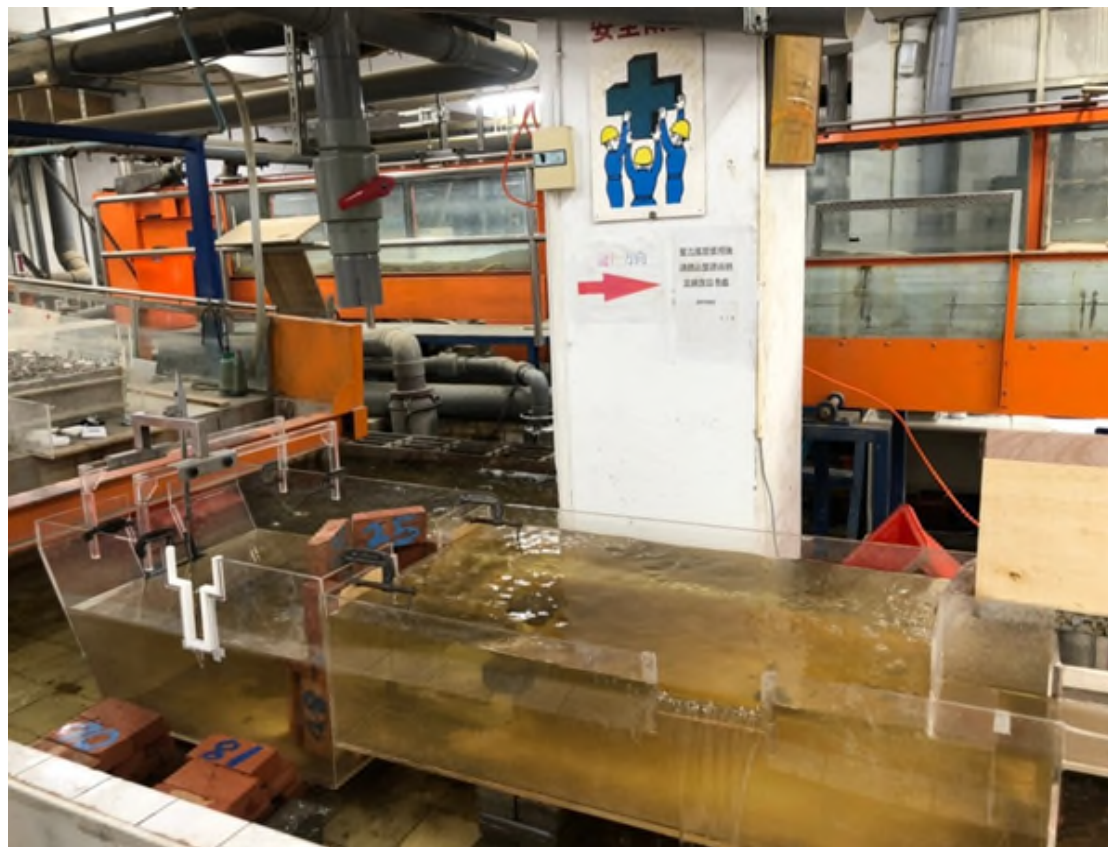
- 溢流水深係採用**探針式水深計**進行量測，游標尺精度為0.05 mm，水深即

$$H = H_0 - H_1$$

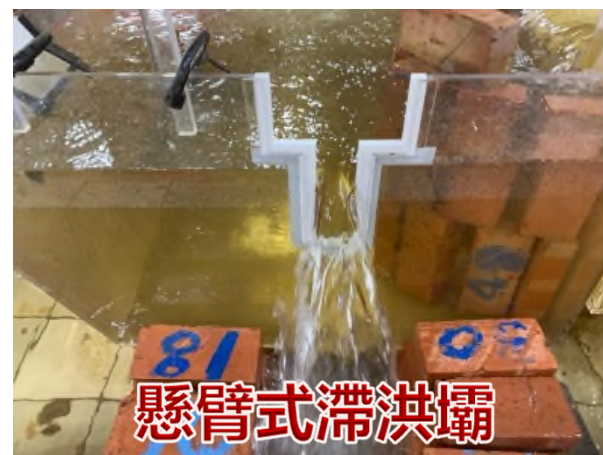
H_0 為測定指針與出水口底面(即基準面)之高差， H_1 為量測指針與水表面間之距離。

二、室內試驗

5. 實驗狀況



懸臂式滯洪壩實驗中影像



懸臂式滯洪壩



圓形孔口+攔汙設施



重力式滯洪壩



重力式滯洪壩+攔汙設施

一、試驗可信度分析

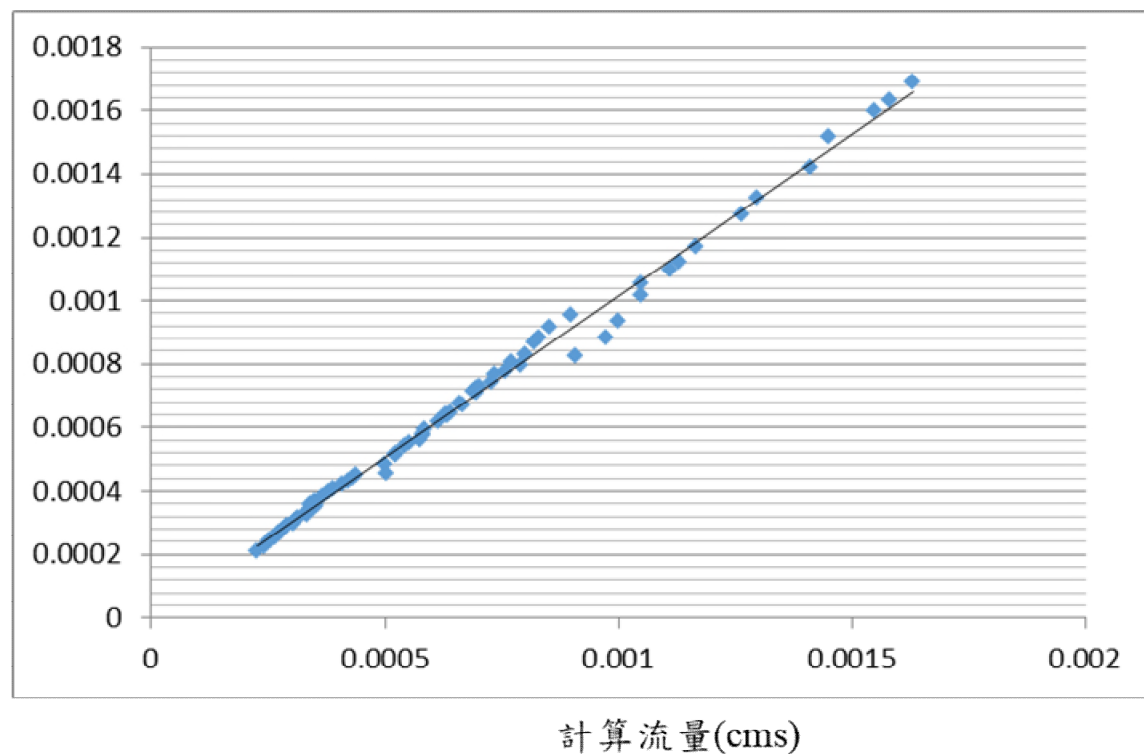
在無立體攔汙設施的情況下，由於圓形與方形孔口流流量公式屬於經典公式，倘本研究試驗結果無法重現該公式之流量係數值，表明試驗過程必定存在一定的瑕疵，故本項試驗結果為其他出水口試驗可信度之衡量指標。

$$Q = C_d \sqrt{2g} B H^{1.5}$$

式中， Q = 孔口流流量； A = 孔口斷面積； H = 孔口中心點以上水頭； C_d = 流量係數。

不論是圓形或方形孔口各開孔條件下之平均流量係數介於0.58 ~ 0.6之間，其總體變化趨勢相當穩定，故曲平均流量係數 = 0.59

實測
流量
(cms)



計算流量(cms)

二、孔口流流量公式

1. 無立體攔汙設施

圓形及方形孔口之流流量係數 $C_d=0.59$ ，故圓形及方形孔口流量公式為：

(1) 圓形

$$Q = 1.96D^2H^{0.5}$$

(2) 方形

$$Q = 2.6B^2H^{0.5}$$

2. 設置立體攔汙設施

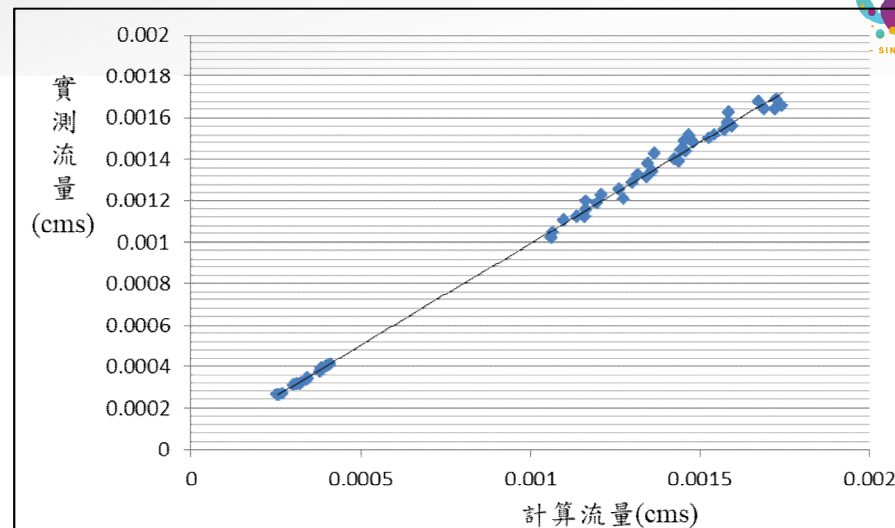
由於立體攔汙設施之阻滯效應，不論是圓形或方形孔口之流量係數均有顯著下降，經分析可得流量係數 $C_d=0.55$ ，流量公式為：

(1) 圓形

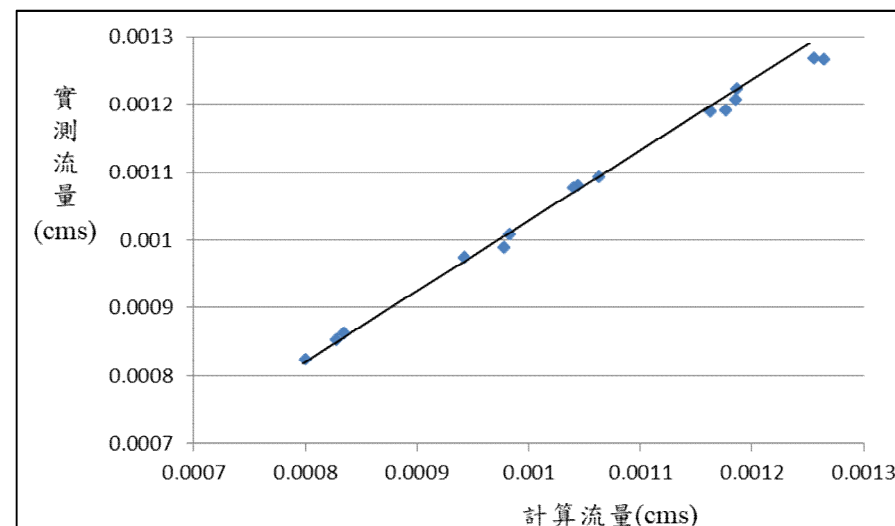
$$Q = 1.79D^2H^{0.5}$$

(2) 方形

$$Q = 2.38B^2H^{0.5}$$



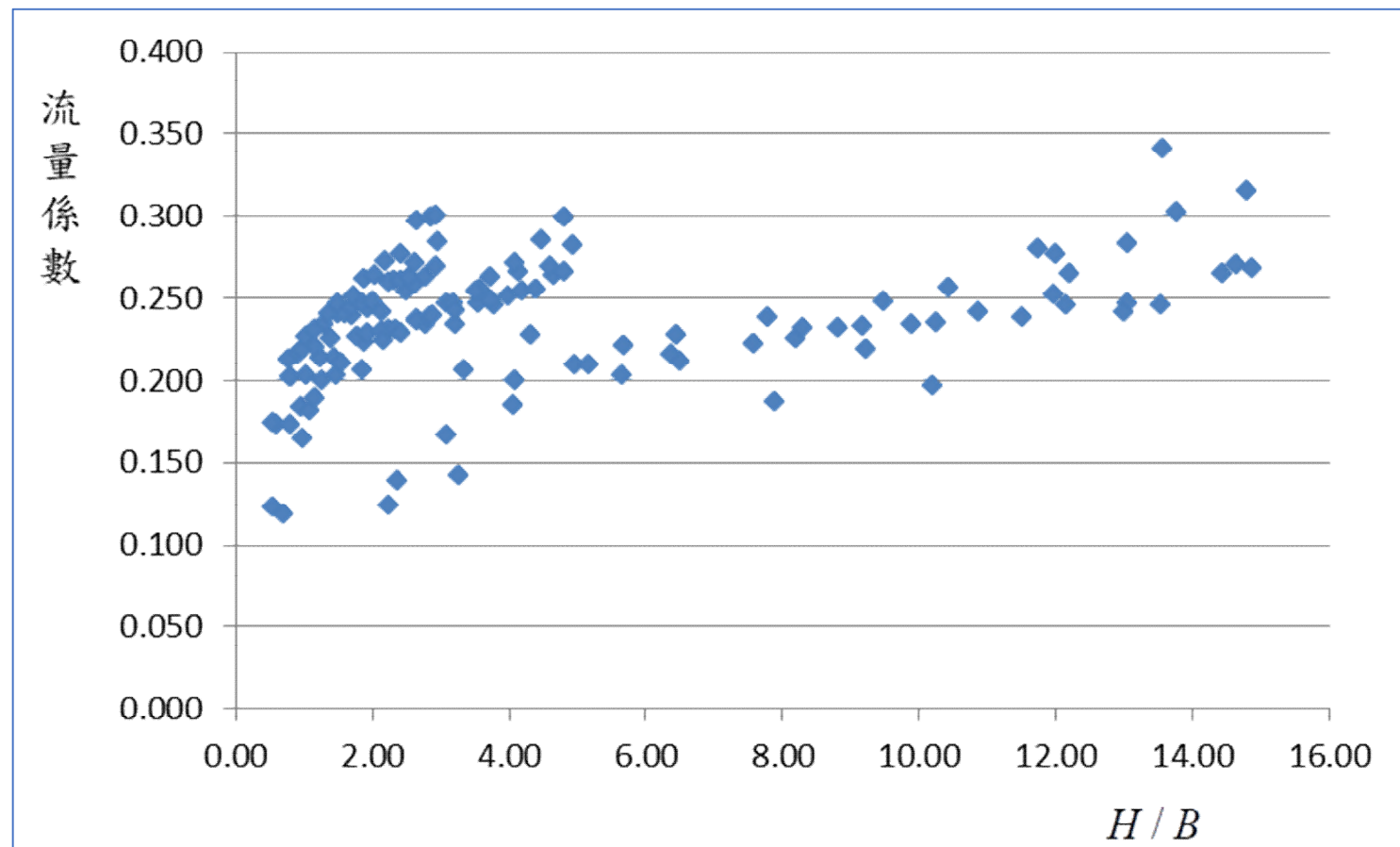
方形孔口流實測流量與計算流量之關係



圓形孔口流實測流量與計算流量之關係

三、流量與溢流水深之關係

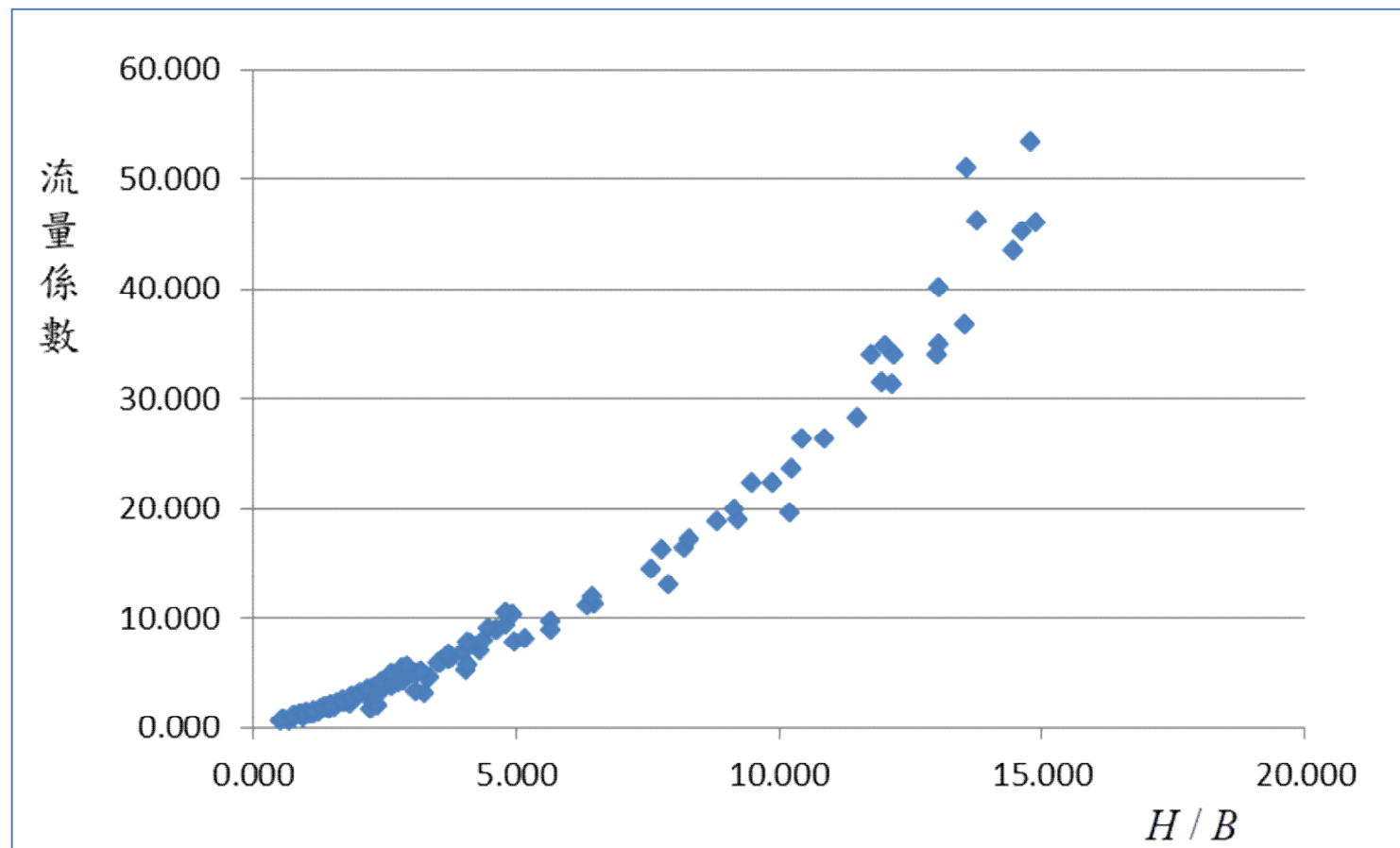
流量係數 (C_d) 與相對溢流水深 (H/B) 間關係相關不明顯，呈現極低度相關，顯示與過往相關研究有顯著的差異，或許是來自側向和垂向收縮的雙重干擾所致。



三、流量與溢流水深之關係

在不受兩側邊界影響的條件下，
可以水深替代水力半徑；反之，
應以水力半徑作為表徵流動特
性之特徵長度。因此，本研究
即將堰流溢流水頭或水深以水
力半徑替代。

$$Q = 1.019 \left(\frac{H}{B} \right)^{1.354} \sqrt{2g} B R^{1.5}$$



四、堰流流量公式~重力式滯洪壩

1. 無立體攔汙設施

$$Q = 1.019 \left(\frac{H}{B} \right)^{1.354} \sqrt{2g} B R^{1.5}$$

適用範圍：H/B=0.538~14.88

2. 設置立體攔汙設施

$$Q_{(\text{攔汙})} = 1.045 \left(\frac{H}{B} \right)^{1.3921} \sqrt{2g} B R^{1.5}$$

適用範圍：H/B=0.963~13.79

3. 有、無立體攔汙設施綜合考量

$$Q_{(\text{全部})} = 1.029 \left(\frac{H}{B} \right)^{1.38} \sqrt{2g} B R^{1.5}$$

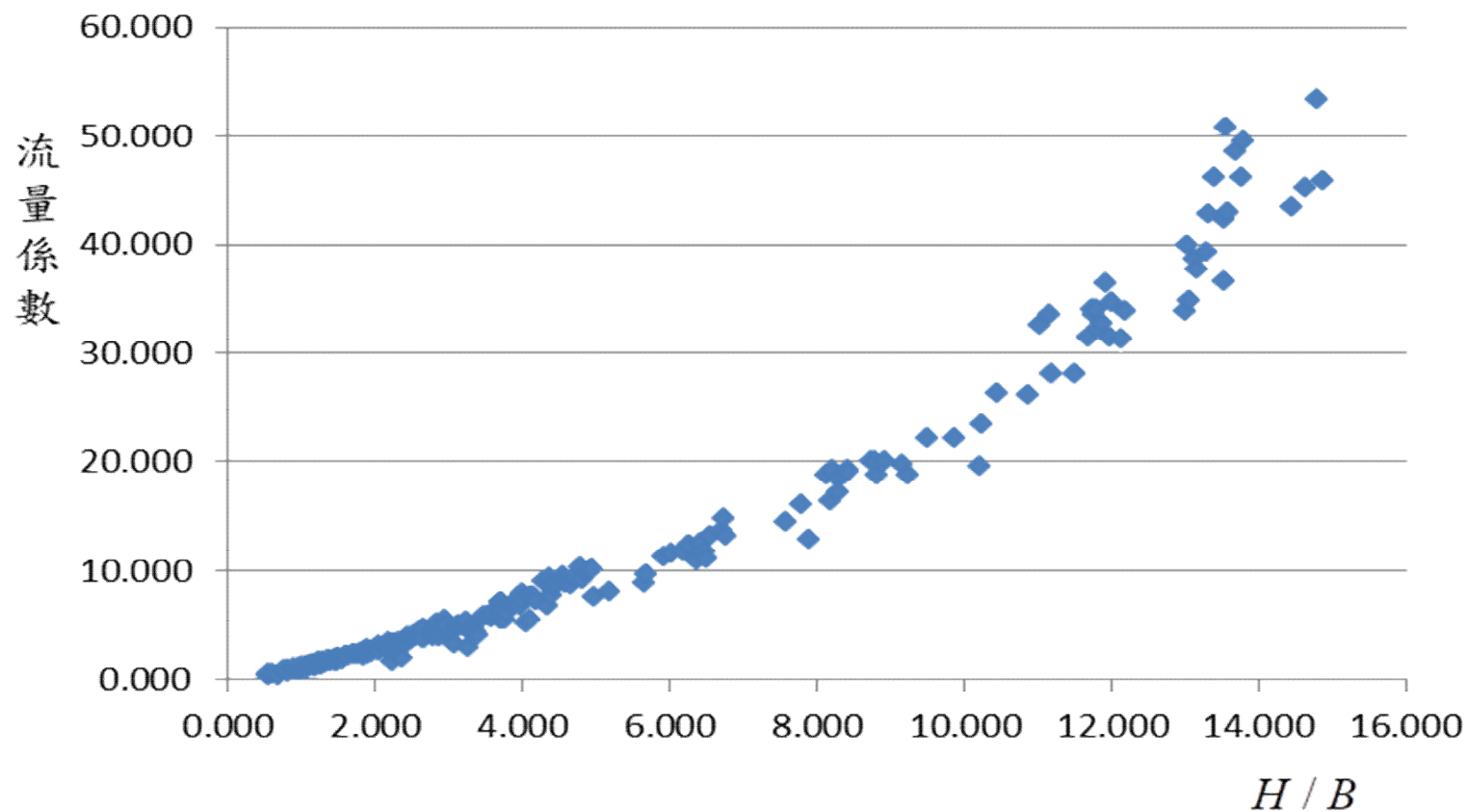
適用範圍：H/B=0.538~14.88

4. 複合堰(重力式滯洪壩及其上方矩形緊急溢洪口)

$$Q = \left(3.48 \frac{H_T}{B_T} - 2.396 \right) \sqrt{2g} B_T R_T^{1.5}$$

適用範圍：H_T/B_T=2.354~8.568

四、堰流流量公式~重力式滯洪壩

重力式滯洪壩有、無設置立體攔汙設施下 C_d 與 H/B 之關係圖

五、堰流流量公式~懸臂式滯洪壩

1. 無立體攔汙設施

$$Q = 2.453 \left(\frac{H}{B} \right)^{1.325} \sqrt{2g} B R^{1.5}$$

適用範圍：H/B=0.616~14.07

2. 設置立體攔汙設施

$$Q_{(\text{攔汙})} = 2.27 \left(\frac{H}{B} \right)^{1.28} \sqrt{2g} B R^{1.5}$$

適用範圍：H/B=0.652~7.195

3. 有、無立體攔汙設施綜合考量

$$Q_{(\text{全部})} = 2.424 \left(\frac{H}{B} \right)^{1.255} \sqrt{2g} B R^{1.5}$$

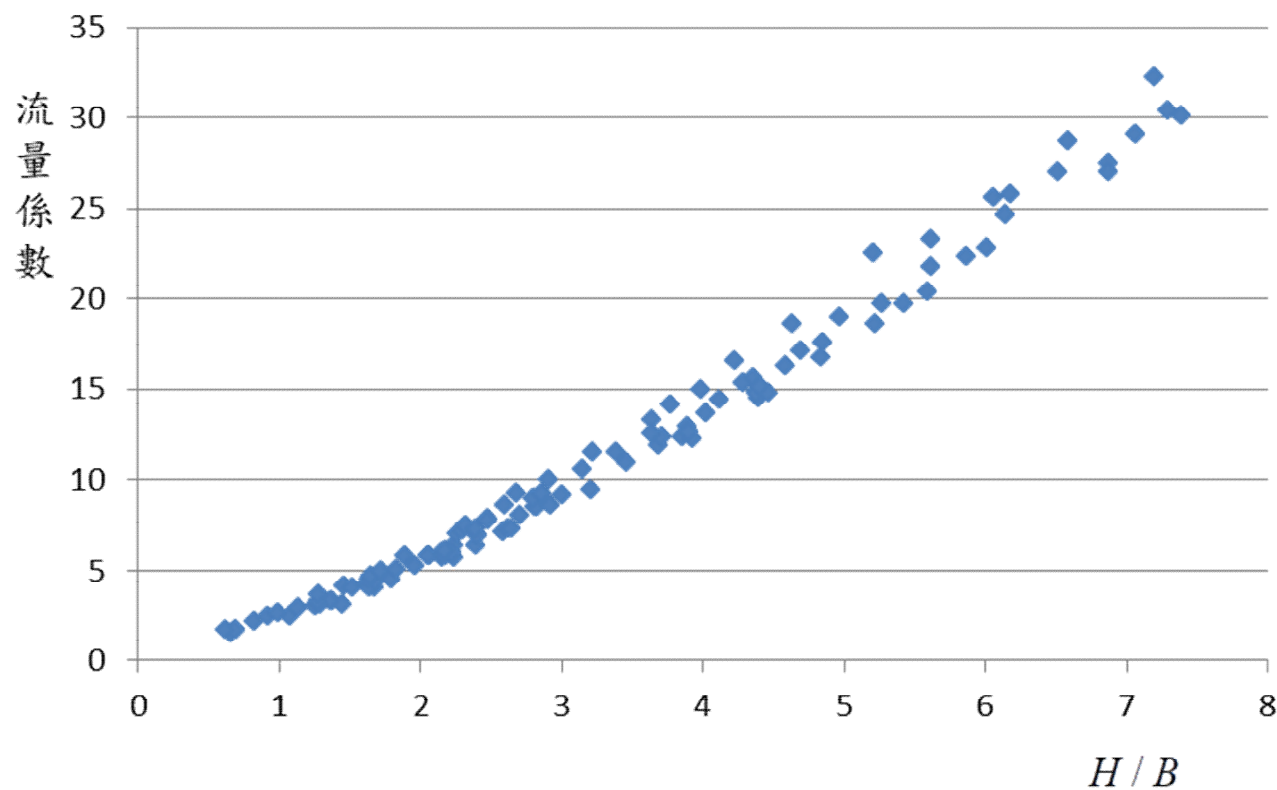
適用範圍：H/B=0.652~14.07

4. 複合堰(重力式滯洪壩及其上方矩形緊急溢洪口)

$$Q = \left(2.78 \frac{H_T}{B_T} - 1.58 \right) \sqrt{2g} B_T R_T^{1.5}$$

適用範圍：H_T/B_T=2.69~7.07

五、堰流流量公式~懸臂式滯洪壩

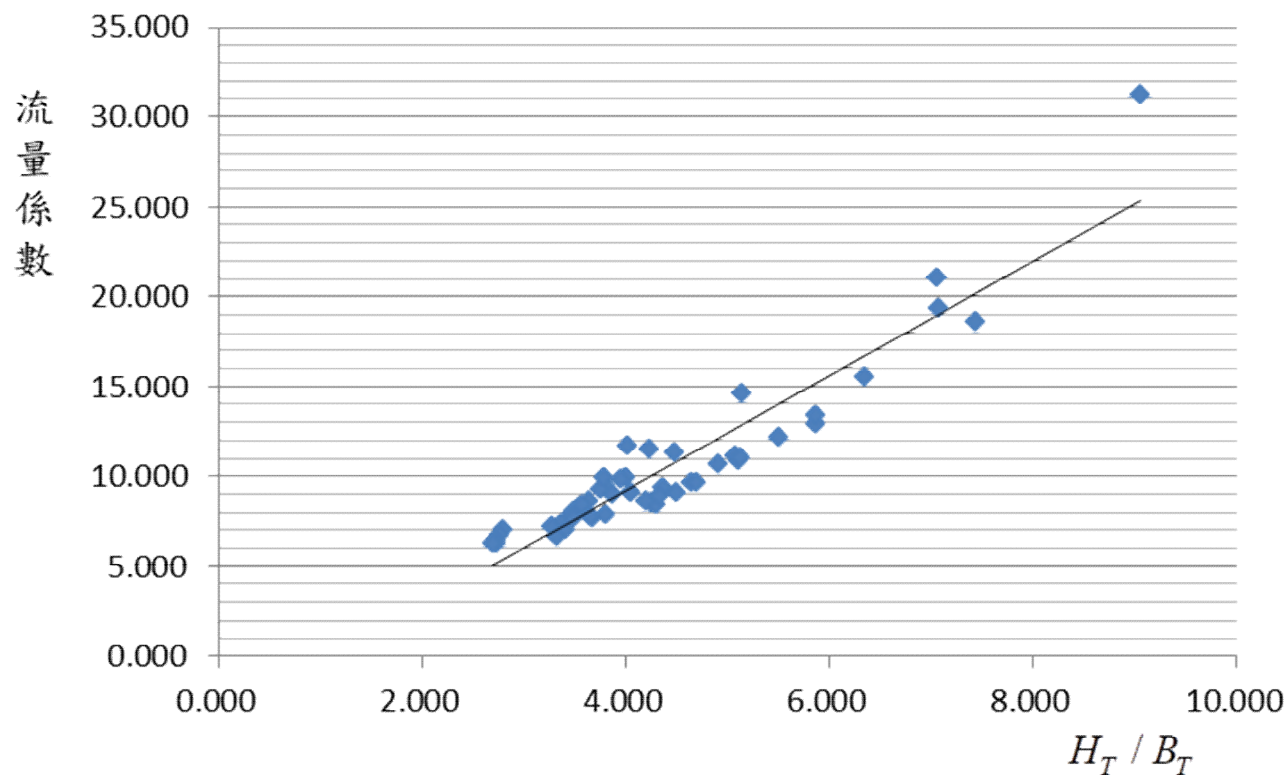
懸臂式滯洪壩有、無設置立體攔汙設施下 C_d 與 H/B 之關係圖

六、複合堰流量公式

不論是重力式或懸臂式滯洪壩與矩型緊急溢洪口共構形成一種複合堰，其流量係數與相對溢流水深之變化，其變化趨勢相當類似。因此，本研究將兩種情況合併分析。建立複合堰流量公式為：

$$Q = \left(3.18 \frac{H_T}{B_T} - 3.5 \right) \sqrt{2g} B_T R_T^{1.5}$$

上式判斷係 $r^2 = 0.9$ ，其適用範圍： $H_T / B_T = 2.354 \sim 8.568$ 。



複合堰流量係數與相對溢流水深之關係圖

七、結論

一

本研究之各項具體成果，不僅可以提供「**水土保持計畫**」及「**農塘**」滯洪設施之設計依據，亦可作為「**水土保持技術規範**」修正之參考，具有相當的實用性。

二

本研究提出整體試驗流程，計有**78組試驗條件**，假設每種試驗條件改變**5種以上的水流條件**，則本研究總試驗組數約高達**390組**。

三

本研究係以室內試驗為主，除了試驗過程必須有良好精準的管控外，同時考量**進水口**可能會導致**水體表面**之**波動起伏**，進而可能**影響溢洪道水頭量測之精確度**，予以排除避免。



四

為了克服進水口在進水過程所可能產生水體表面起伏波動而影響水深之量測，本研究於進水口處設計**整流消能設施**，使進水過程盡量**維持水體表面之平靜**。

三、建議



本研究採用流量直接量測法測定各式出水口之流量，並以**水力半徑**作為主要變數建立流量公式，均能取得較好的分析成果。因此，建議可以據此研修水土保持手冊相關公式，以供滯洪設施之參採。



報告完畢 敬請指教



行政院農業委員會水土保持局
與您一起打拼