

# 逢甲大學學生報告 ePaper

## 水躍明渠試驗

hydraulic jump in open channel experiment

作者：陳品翔、連育成

系級：水利工程與資源保育學系 三年甲(乙)班

學號：D0409165、D0409151

開課老師：許少華 老師

課程名稱：流體力學試驗

開課系所：水利工程與資源保育學系

開課學年：106 學年度 第 1 學期

## 中文摘要

在水利工程領域中，明渠水力學的應用相當重要，一般的河川、灌溉圳道皆屬明渠流。

試驗以簡易的矩形渠道、坡度  $S = 0$ ，藉由實驗數值來證明渠流中利用動量方程式、能量方程式或連續方程式所推導出的公式，並比對兩者間誤差。

試驗步驟一開始開啟循環馬達，固定馬達轉速致水流穩定，調整下射式閘門開度造成阻水，造成迴水現象產生水躍，量測臥箕型溢洪道上游水深、臥箕下游水深、水躍後水深與水躍長度，以蓄水槽進行流量率定並記錄，再將數值代入理論公式比較誤差大小。

從實驗中觀察流況由超臨界流( $Fr > 1.0$ )轉變為亞臨界流( $Fr < 1.0$ )，渠流中之能量於此變化過程中，因水流之混亂、渦動而有大量之損失現象為水躍，在工程中可運用此現象達到消能的功用，保護河道不被急流所破壞。

**關鍵字：**水躍、明渠、能量方程式、動量方程式、渠流

## Abstract

In the field of water conservancy projects, the application of open channel hydraulics is very important. Ordinary rivers and irrigated townships are open channels.

The experiments had started with the premise with simple rectangular channels, and slope equal zero. We prove the formula which is derived from momentum flow equation, energy equation, and continuous equation via experimental values. Next, we compared the error between theoretical value and actual value.

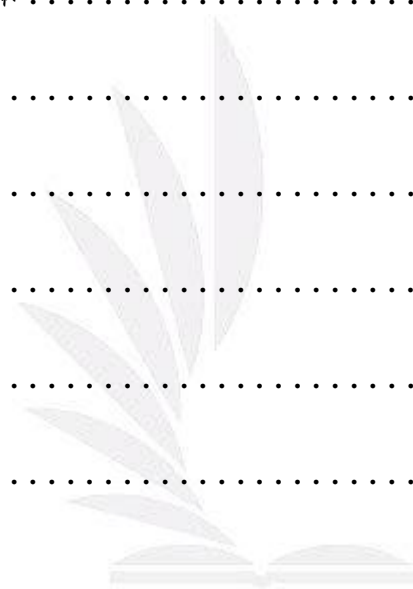
The test procedure begins by turning on the circulating motor. Second, fixed the speed of motor let water flow stay stability. Third, adjust the firing gate opening caused by water blocking, then in phenomenon produces hydraulic jump. Measure the water depth of the upper side of the spillway, the water depth of the down-stream, the water depth after the hydraulic jump and the length of the hydraulic jump, set the flow rate in the water tank and record it. Finally, take the value into the theoretical formula to compare the error.

From the experiment, it was observed that the flow conditions changed from supercritical flow ( $Fr > 1.0$ ) to subcritical flow ( $Fr < 1.0$ ). During the change of energy in the flow, there was a large amount of loss due to confusion and vortex hydraulic jump. In the project, this phenomenon can be used to achieve the function of energy dissipation, and it protect the river from damaged by the rapids.

Keyword : channel flow, Energy equation, hydraulic jump, Momentum equation ,open channel

## 目錄

中文摘要.....	1
Abstract.....	2
一、試驗目的.....	4
二、試驗原理.....	4
三、試驗儀器簡介.....	8
四、試驗之方法與步驟.....	9
五、試驗表格數據.....	10
六、問題與討論.....	12
七、注意事項.....	17
八、心得.....	17
參考文獻.....	18



## 一、試驗目的

在水利工程領域中，明渠水力學的應用相當重要，一般的河川、灌溉圳道皆屬明渠渠流，試以簡易的矩形渠道、坡度  $S = 0$ ，藉由實驗驗證明渠流中利用動量方程式、能量方程式或連續方程式所推導出的公式。

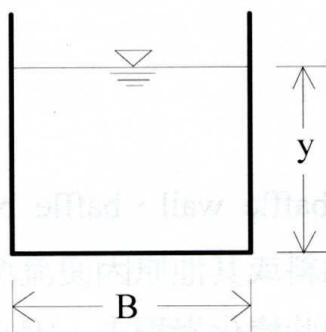


圖 9.1 矩形渠道斷面圖

## 二、試驗原理

水躍(Hydraulic Jump)的定義為渠道之超臨界流在運動過程中，因下游遇到阻礙物，例如渠道底床突升、突降、渠道寬度突擴、渠道底床過度傾斜或其他原因使流況由超臨界流( $Fr > 1.0$ )轉變為亞臨界流( $Fr < 1.0$ )，渠流中之能量於此變化過程中，因水流之混亂、渦動而有大量之損失，此現象為之水躍。

水躍經過臥箕型(ogee)溢洪道時，上游水位穩定，但水位在堰上被抬升(此處為臨界狀態)，溢洪道後的下射式閘門抬升水位，因而產生一個水躍。下射式閘門後所調整的出水高度(跌水)，故在下射式閘門後能清楚見到第二個水躍。

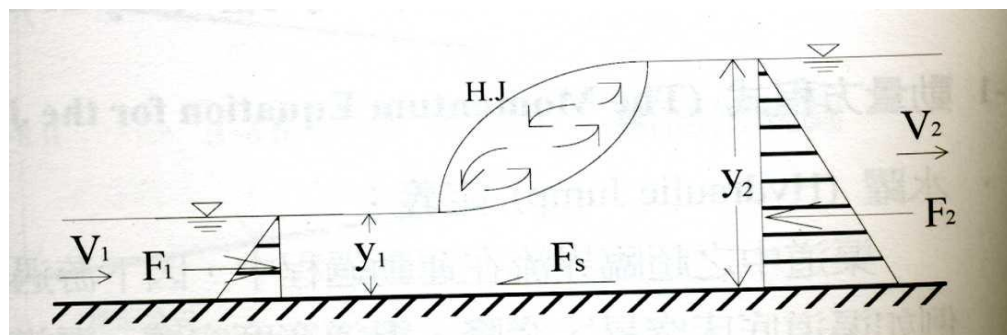


圖 9.2 水躍側視圖

## 2-1 基本假設：

- (1) 渠床邊界之摩擦剪應力  $F_s = 0$
- (2) 水平渠道， $S = 0$
- (3) 水體重量縱向分力， $W \sin \theta = 0$
- (4) 單寬矩形渠道  $B = \text{渠寬}$
- (5) 靜水壓力分佈， $P = \rho h$

## 2-2 理論公式之推導(以溢洪道為例)

由動量方程式，得

$$\frac{1}{2} \rho y_1^2 - \frac{1}{2} \rho y_2^2 = \beta_2 \rho q V_2 - \beta_1 \rho q V_1 \quad (9-1)$$

其動量係數取  $\beta_1 = \beta_2 = 1.0$

單寬連續方程式

$$q = V_1 y_1 = V_2 y_2 \quad (9-2)$$

整理後得

$$\frac{q^2}{g} = y_c^3 = \frac{1}{2} y_1 y_2 (y_1 + y_2) \quad \text{【物理意義為臨界水深】} \quad (9-3)$$

$$F_{r1} = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}} \quad (9-4)$$

$$\therefore \frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left( -1 + \sqrt{1 + 8 \times F_{r1}^2} \right) \quad (9-5)$$

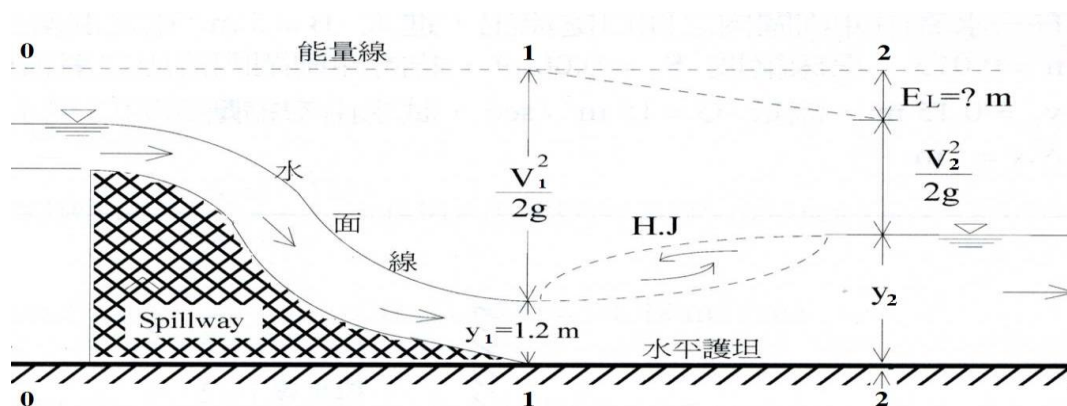


圖 9.3 臥箕型(ogee)溢流堰側視圖

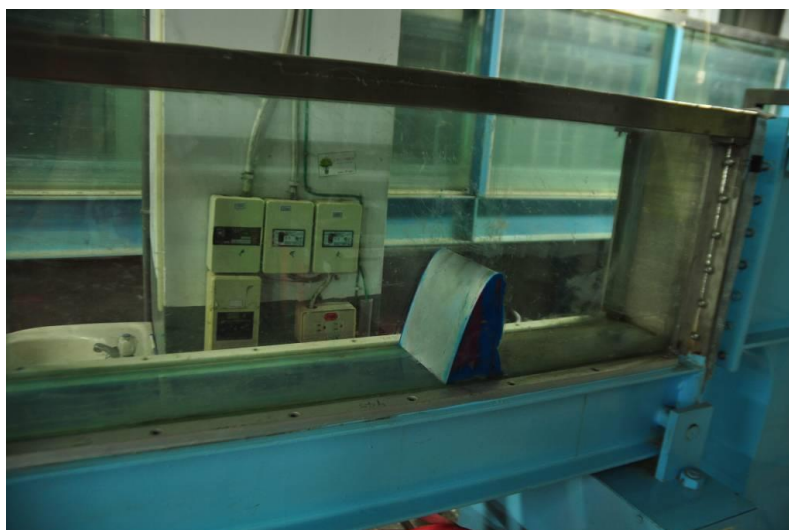


圖 9.4 矩形渠道臥箕型(ogee)溢洪道

< 能量方程式 >

$$\text{能量損失(energy loss) } E_L = E_1 - E_2 \text{ (水平渠道 } S = 0) \quad (9-6)$$

$$E_1 = y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} \quad (9-7)$$

利用水躍共軛水深與臨界流之關係式，

$$\ominus y_c^3 = \frac{q^2}{g} = \frac{1}{2} y_1 y_2 (y_1 + y_2) \quad (9-8)$$

$$\therefore E_L = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1 y_2} \text{ (注意：僅適用於矩形渠道)} \quad (9-9)$$

而水躍相對能量損失(消能效果)

$$\therefore \frac{E_L}{E_1} = \frac{(-3 + \sqrt{1 + 8F_{r1}^2})^3}{8(2 + F_{r1}^2)(-1 + \sqrt{1 + 8F_{r1}^2})} \quad (9-10)$$

水躍長度(Length of Jump)  $L_j$  經驗公式

1. 當  $F_{r1} \leq 5.0$  時，可利用 Elevatorski 經驗公式求水躍發展長度，

$$L_j = 6.9(y_2 - y_1) \quad (9-11)$$

2. 當  $F_{r1} > 5.0$  時，可利用 Bradly & Peterka 經驗公式求水躍發展長度，

$$L_j = 6.1y_2 \quad (9-12)$$

• (下射式閘門)

下射式閘門與臥箕型溢洪道皆屬窄縮渠道，並且兩者皆為水平渠道  $S = 0$ ，故其計算之方程式皆相同。



圖 9.5 下射式閘門

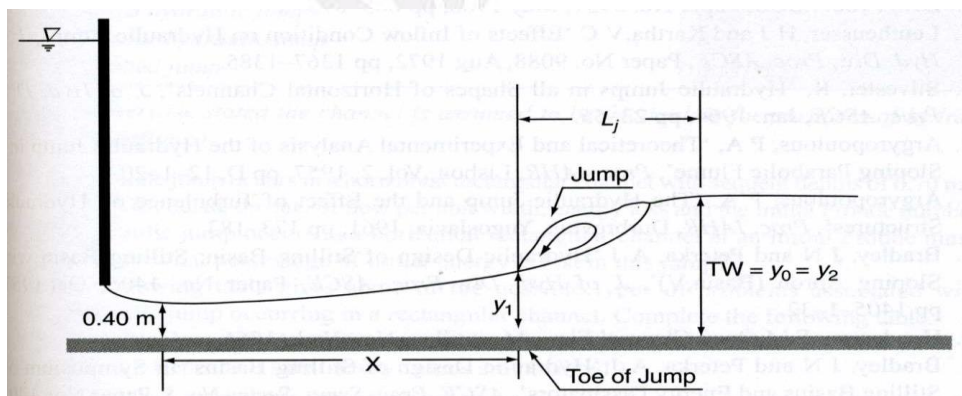
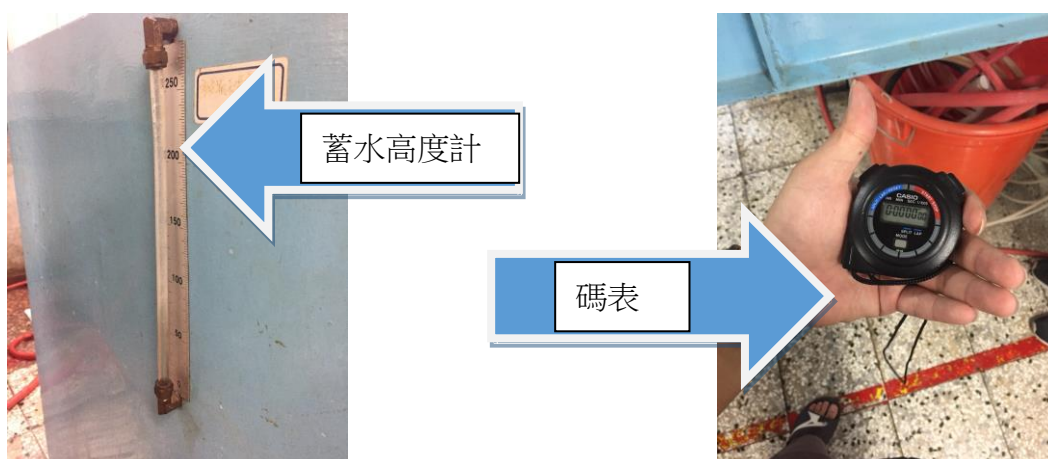
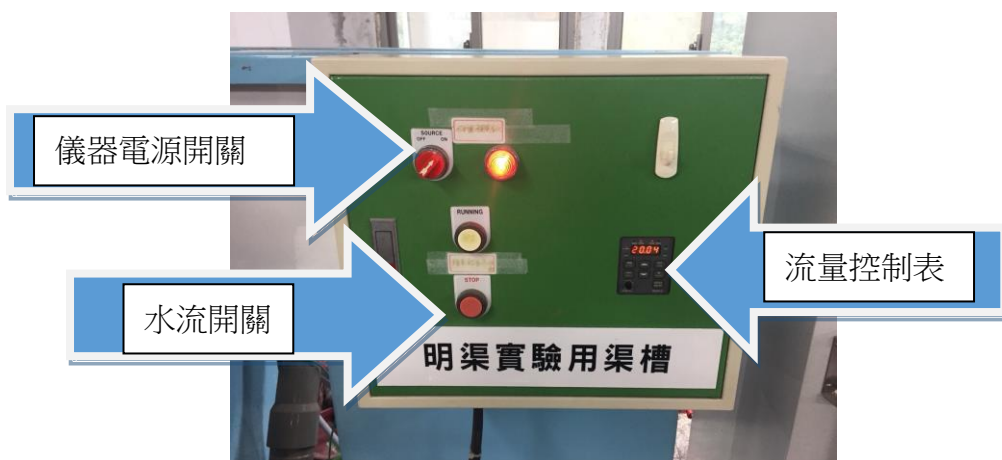


圖 9.6 下射式閘門下游側之水躍側視圖



### 三、試驗儀器簡介



#### 四、試驗之方法與步驟



### 五、試驗表格數據

表 9.1 矩形渠道臥箕型(ogee)溢洪道下游之水躍紀錄表

游標尺量測至渠底讀數		cm		渠寬		cm	
蓄水槽面積=		cm ×		cm			
轉速	率定流量		平均 流量 ( $cm^3/s$ )	臥箕上游水深 $y_0$ (cm)	臥箕下游水深 $y_1$ (cm)	水躍後水 深 $y_2$ (cm)	水躍長度 $L_{j1}$ (cm)
	時間 (秒)	體積 ( $cm^3$ )					
19.12	14.04	46200	3290.60	19.62	1.56	7.67	43
	14.12	46200					
	13.96	46200					
21.32	11.21	46200	4150.94	20.15	1.84	8.54	45
	10.82	46200					
	11.36	46200					
23.16	10.26	46200	4551.72	21.02	1.88	8.77	47
	10.12	46200					
	10.07	46200					

表 9.2 矩形渠道臥箕型(ogee)溢洪道下游之水躍計算表

轉速	率定流量 ( $cm^3/s$ )	單寬流量 ( $cm^3/s/cm$ )	流速 $V_1$ ( $cm/s$ )	流速 $V_2$ ( $cm/s$ )	福祿數 $F_{r1}$	福祿數 $F_{r2}$
19.12	3290.60	215.07	137.87	28.04	3.52	0.32
21.32	4150.94	271.30	147.45	31.77	3.47	0.35
21.32	4551.72	297.50	158.24	33.92	3.68	0.37
轉速	比能 $E_1$ (cm)	比能 $E_2$ (cm)	能量損失 $E_L$ (cm)	水躍長度 $L_j$ 計算值(cm)		
19.12	11.25	8.07	3.18	42.16		
21.32	12.92	9.05	3.87	46.23		
21.32	14.64	9.36	5.29	47.54		

表 9.3 下射式閘門下游側之淹沒水躍紀錄表

轉速	率定流量		平均 流量 ( $cm^3/s$ )	閘門開 度 $y_{vc}$ (cm)	出水高度 $y_t$ (cm)	閘門上游 水深 $y_0$ (cm)	閘門下游 水深 $y_1$ (cm)	水躍後水深 $y_2$ (cm)	水躍長度 $L_{j2}$ (cm)
	時間 (秒)	體積 ( $cm^3$ )							
19.12	13.86	46200	3230.77	1.50	1.00	20.24	1.64	7.06	40.00
	14.38	46200							
	14.66	46200							
21.32	11.23	46200	4074.07	2.10	1.40	17.54	1.70	8.64	45.00
	10.94	46200							
	11.85	46200							
23.16	9.98	46200	4560.71	2.40	1.80	18.12	1.77	9.80	56.00
	10.06	46200							
	10.35	46200							

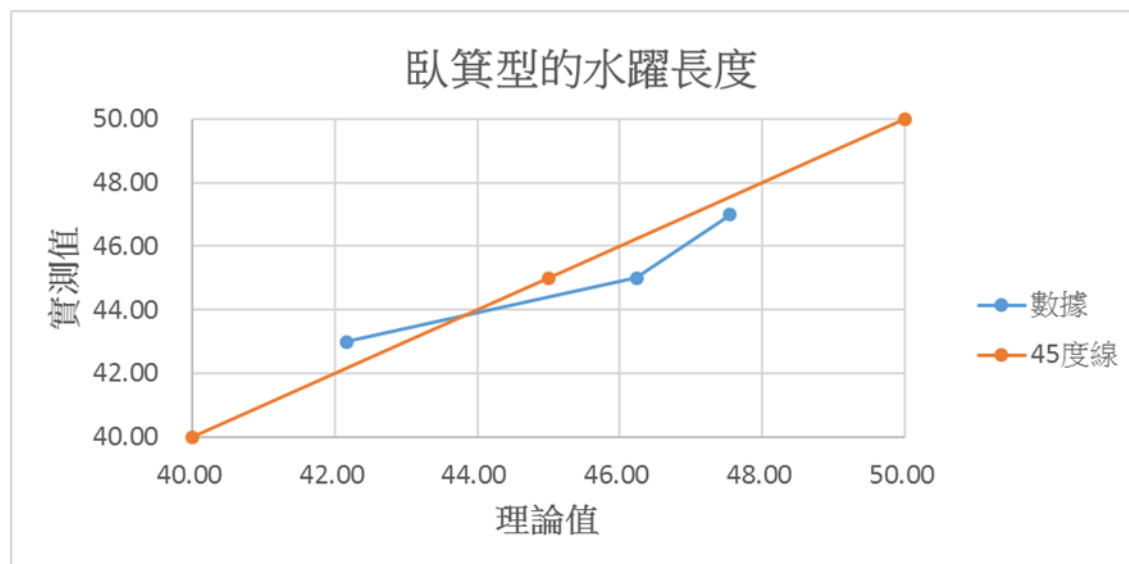
表 9.4 下射式閘門下游側之淹沒水躍計算表

轉速	率定流量 ( $cm^3/s$ )	單寬流量 ( $cm^3/s/cm$ )	流速 $V_1$ (cm/s)	流速 $V_2$ (cm/s)	福祿數 $F_{r1}$	福祿數 $F_{r2}$
19.12	3230.77	211.16	128.76	29.91	3.21	0.36
21.32	4074.07	266.28	156.63	30.82	3.84	0.33
23.16	4560.71	298.09	168.41	30.42	4.04	0.31
轉速	比能 $E_1$ (cm)	比能 $E_2$ (cm)	能量損失 $E_L$ (cm)	水躍長度 $L_j$ 計算值(cm)		
19.12	10.09	7.52	2.57	37.40		
21.32	14.20	9.12	5.08	47.89		
23.16	16.23	10.27	5.95	55.41		

## 六、問題與討論

1. 試以臥箕堰及下射式閘門的水躍長度量測值  $L_{j1}$  與水躍長度計算值  $L_j$  繪圖，並加入 45 度線做一比較。

臥箕堰:

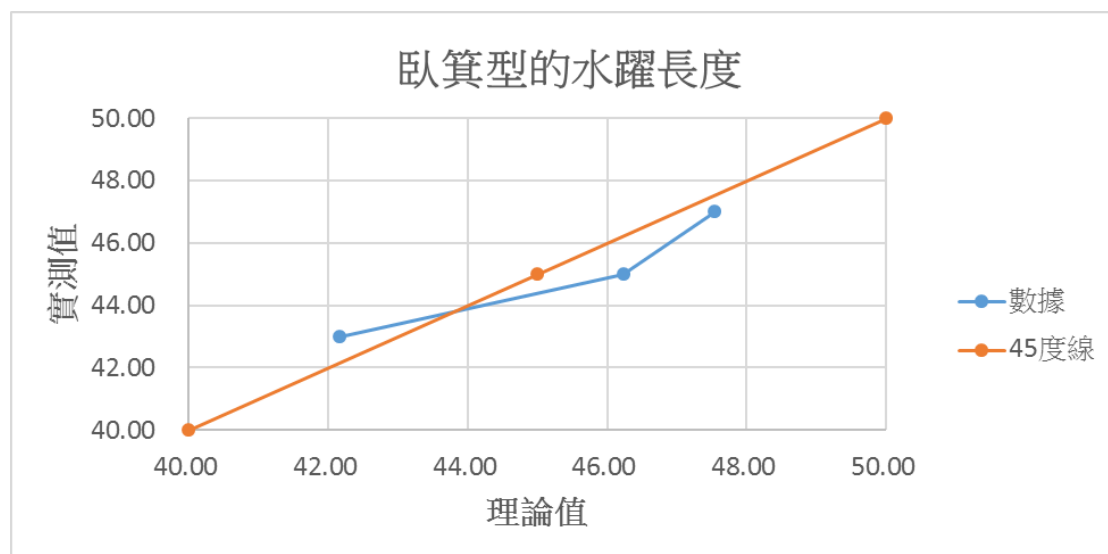


理論長度	實際長度	誤差
42.16	43.00	1.99%
46.23	45.00	-2.66%
47.54	47.00	-1.14%

百分比誤差=[(測量值-理論值)/理論值]x100%

水躍明渠試驗

下射式閘門:



理論長度	實際長度	誤差
37.40	40.00	6.96%
47.89	45.00	-6.03%
55.41	56.00	1.07%

百分比誤差=[(測量值-理論值)/理論值]x100%

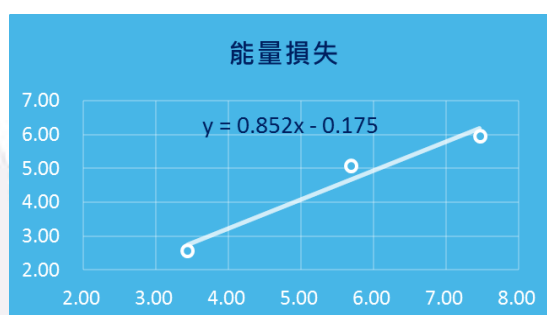
## 問題討論 1-延伸-能量損失的比較

臥箕堰

下射式閘門

實際EL	理論EL	誤差
3.18	4.77	-33.34%
3.87	4.79	-19.20%
5.29	4.96	6.59%

實際EL	理論EL	誤差
2.57	3.44	-25.13%
5.08	5.69	-10.70%
5.95	7.46	-20.21%



實際 EL

$$E_L = E_1 - E_2$$

理論 EL

$$E_L = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1y_2}$$

小結：下射式閘門的能量損失大於臥箕型溢洪道

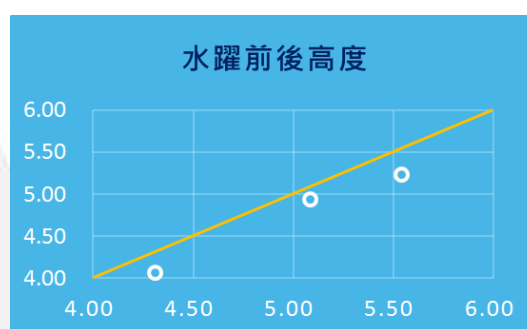
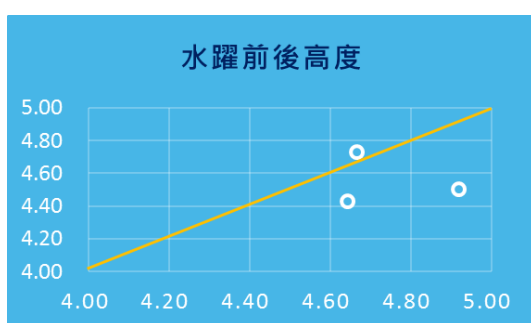
## 問題討論 1-延伸-水躍前後高度的比較

臥箕堰

下射式閘門

實際 $y_2/y_1$	理論 $y_2/y_1$	誤差
4.92	4.51	9.04%
4.64	4.43	4.69%
4.66	4.74	-1.48%

實際 $y_2/y_1$	理論 $y_2/y_1$	誤差
4.30	4.07	5.84%
5.08	4.95	2.73%
5.54	5.24	5.71%



註： $y_1$  為水躍前深度， $y_2$  為水躍後深度  
理論  $y_2/y_1$

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left( -1 + \sqrt{1 + 8 \times F_{r1}^2} \right)$$

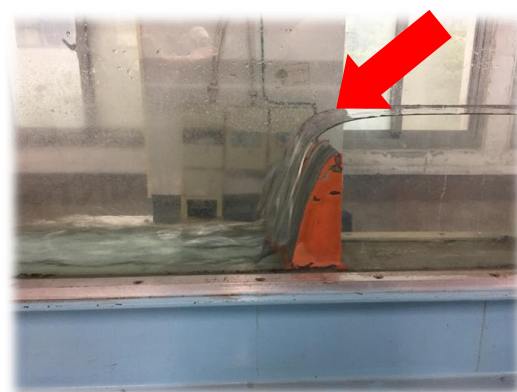
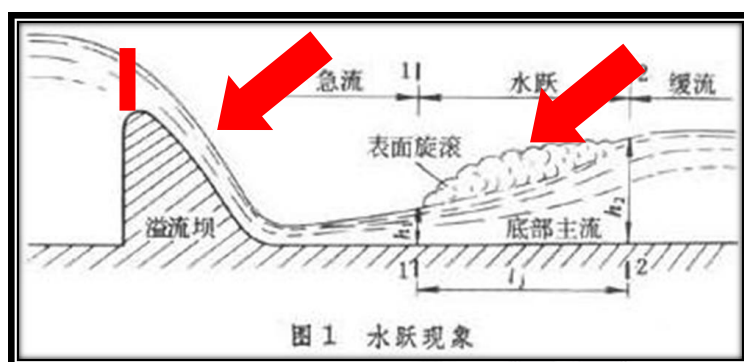


2. 在臥箕型溢洪道附近，何處為臨界流？為何？

在水躍的地方是臨界流，上游為超臨界流，而下游為亞臨界流。

水從臥箕型溢洪道上游流下來，這時候的水是超臨界流

( $Fr > 1$ )，當水流撞擊到河床底部時，流速和能量減少，水流變成亞臨界流( $Fr < 1$ )，在過度處產生水躍達到消能的效果。



3. 如何判定臨界流、亞臨界流、超臨界流？試驗時必須量測的條件有哪些？

(1) 依照福祿數 ( $Fr$ ) 來判斷：

- A. 當  $Fr > 1$ ，稱為超臨界流，為流速急湍，水深小的流況，流速越大，深度越淺，越容易發生超臨界流。
- B. 當  $Fr < 1$  為亞臨界流，為流速緩慢，水深大的流況，為水躍發生之後的流況。
- C. 當  $Fr = 1$  為臨界流，比能及比力都為極小值。

(2) 條件有：

- A. 渠床邊界之摩擦剪應力， $F_s = 0$
- B. 水平渠道， $S = 0$
- C. 水體重量縱向分力， $W \sin \theta = 0$
- D. 單寬矩形渠道  $B = \text{渠寬}$
- E. 靜水壓力分佈， $P = \gamma h$

所以，必須量上游水深、下游水深、水躍後水深、水躍長度、以及律定流量。

## 七、注意事項

1. 同時確認水躍前、後位置，並迅速量測水躍長度
2. 流量率定應待水流穩定再量測
3. 流量之率定採平均值

## 八、心得

### 陳品翔

這次的實驗很有趣，讓我們看到明渠流的流況，一開始下射式閘門的高度很難抓準，水躍位置會前後移動，而且水躍長度還是由各主自己判斷從哪泡泡開時大量下降，所以大家的標準並不同，在測量水量時因為水量很大，所以水位上下起伏其實很大無法精準的量測，我們取比較長一點的蓄水高度，減少人為判斷的誤差，但整體來說還是個有趣且深奧的實驗。

### 連育成

這次的水躍實驗還蠻有趣的，在實驗的時候，我們需要量測水躍長度，如果要測量臥箕型溢洪道下游的水躍長度，下游的閘門躍控制高度，如果把閘門放得比較低，出流的水會減少，會有一部分的水回流，這時候回流的水和放流的水相撞造成水躍，同理，在測量下射式閘門的時候也是一樣

## 參考文獻

1. 流體力學試驗手冊-許少華 教授 編著
2. FLOW IN OPEN CHANNELS
3. 明渠講義

