

逢甲大學學生報告 ePaper

水躍明渠試驗

Hydraulic Jump Testing

作者：施威辰、蔡嘉陽、蕭凱文、魏揚

系級：水利工程與資源保育學系 三乙

學號：D0483950、D0483875、D0483862、D0483903

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。

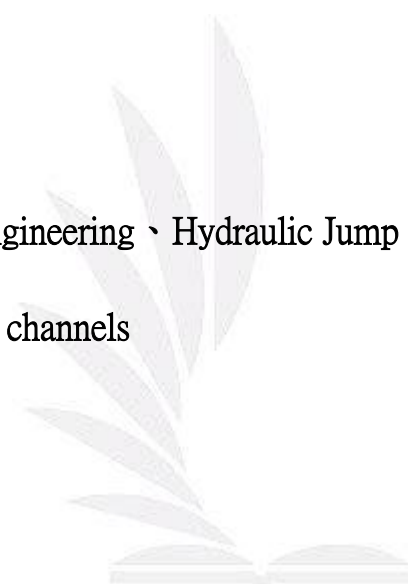
關鍵字：水利工程、水躍試驗、明渠渠流



Abstract

The application of hydraulics of open channels is very important in the field of hydraulic engineering. All the streams and irrigation canals are belong to flow in open channels. Try to use simple rectangular channel , the slope=0 , to proof equation of momentum , energy equation or continuity equation in the open channel flow.

Keyword : Hydraulic Engineering 、 Hydraulic Jump Testing 、
Flow in open channels



目 次

中文摘要	1
英文摘要	2
試驗原理	4
實驗儀器	7
試驗方法及步驟	8
試驗結果	9
問題與討論	11
心得與感想	18
參考文獻	19



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。

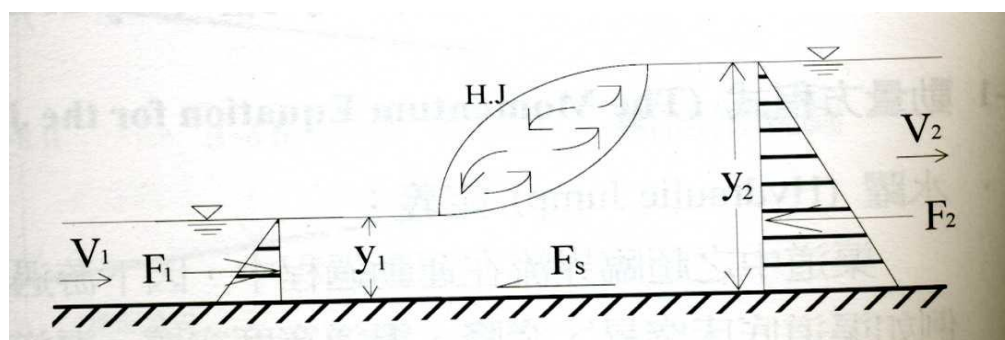


圖 9.2 水躍側視圖

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， $P = \gamma h$

2-2 理論公式之推導(以溢洪道為例)

由動量方程式，得

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

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

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

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

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

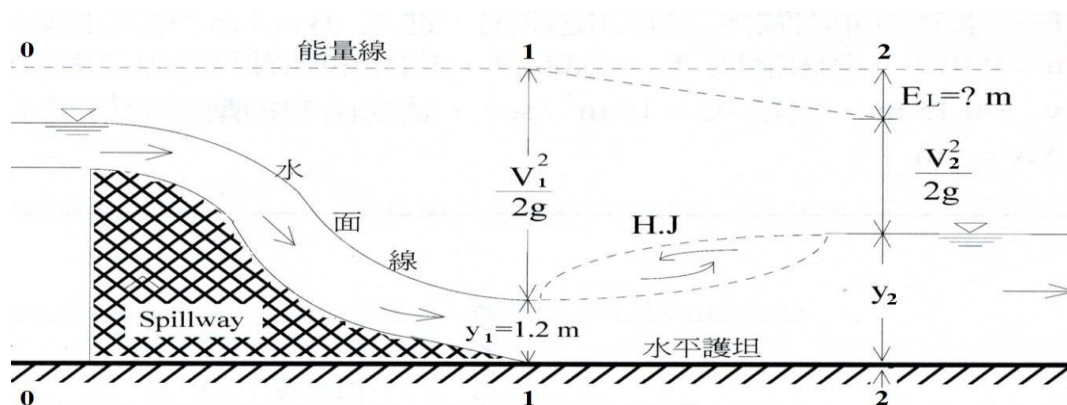


圖 9.3 臥箕型(ogee)溢流堰側視圖

<能量方程式>

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

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

利用水躍共軛水深與臨界流之關係式，

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

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

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。

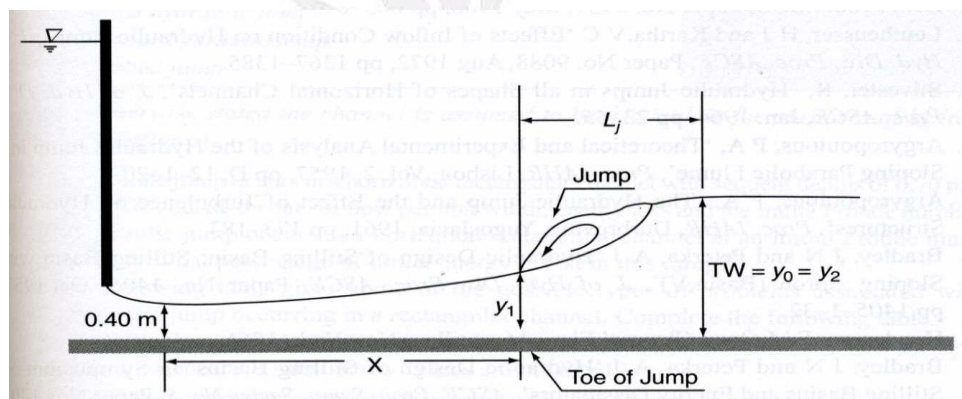


圖 9.6 下射式閘門下游側之水躍側視圖

實驗儀器

電源開關



渠道



臥箕型溢洪道



下射式閘門



試驗方法及步驟

1. 開啟循環馬達電源，固定馬達轉速後運轉抽水馬達，至水流穩定。
2. 以水平儀量測渠道是否維持水平。
3. 調整下射式閘門開度與出水高度，使水流穩定後溢洪道與下射式閘門後方出現水躍現象，並記錄閘門開度 y_{vc} 。
4. 量測臥箕型(ogee)溢洪道上游水深 y_0 、臥箕下游水深 y_1 、水躍後水深 y_2 與水躍長度 L_{j1} 並記錄。
5. 量測下射式閘門上游水深 y_1 、閘門下游淹沒水深 y_2 、水躍後水深 y_3 與水躍長度 L_{j2} 並記錄。
6. 以蓄水槽進行流量率定並記錄(須待其水流穩定後再行率定)。
7. 更改馬達轉速，重複 3、4、5、6 步驟。

試驗結果

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 31.33 cm			渠寬 15.3 cm				
蓄水槽面積= 154 cm × 30 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)					
18.07	16.23	46200	2794	19.36	1.36	6.94	36
	17.04	46200					
	16.36	46200					
19.01	14.02	46200	3293	19.87	1.47	7.52	40
	13.96	46200					
	14.11	46200					
20.03	12.37	46200	3757	20.17	1.55	7.85	44
	12.58	46200					
	11.96	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}
18.07	2793.936	182.6102	134.2722	26.3127	3.6761	0.3189
19.01	3293.007	215.2292	146.4144	28.6209	3.8555	0.3332
20.03	3756.738	245.5384	158.4119	31.2788	4.0624	0.3564
轉速	比能 E_1 (cm)	比能 E_2 (cm)	能量損失 E_L (cm) 實際值	能量損失 E_L (cm) 理論值	水躍長度 L_j 計算值 (cm)	
18.07	10.5491	7.2929	3.2562	4.60197470	38.502	
19.01	12.3962	7.9375	4.4587	5.00807654	41.745	
20.03	14.3402	8.3487	5.9915	5.13760016	43.47	

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)							
18.07	15.86	46200	2899	1.8	1.1	12.79	1.63	7.31	40
	16.22	46200							
	15.74	46200							
19.01	14.03	46200	3235	1.9	1.3	12.63	1.84	7.81	42
	14.27	46200							
	14.56	46200							
20.03	12.43	46200	3637	2.3	1.7	12.81	2.02	8.43	46
	13.12	46200							
	12.58	46200							

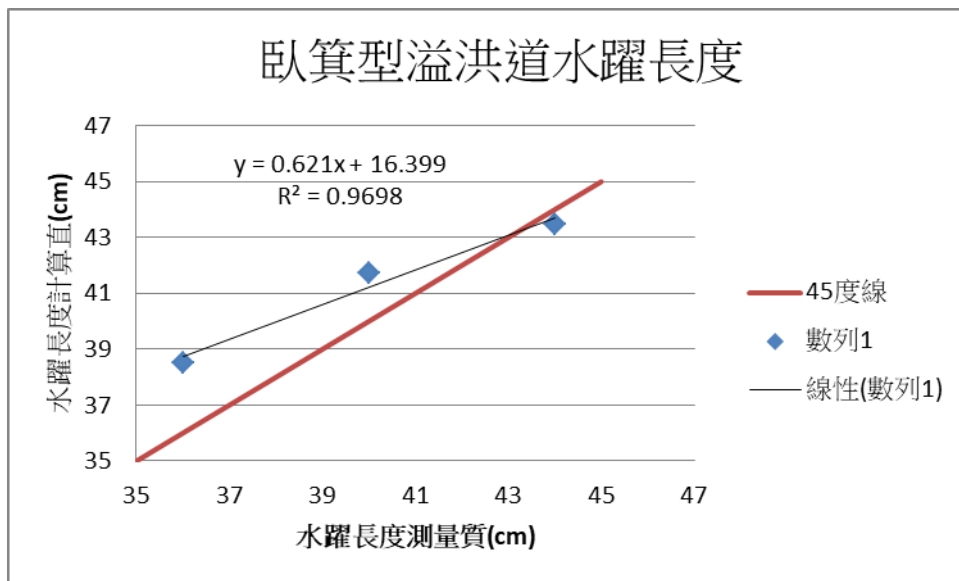
表 9.4 下射式閘門下游側之淹沒水躍計算表

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}
18.07	2898.84	189.4667	116.2373	25.9188	2.906812	0.306071
19.01	3234.53	211.407	114.8951	27.0688	2.70432	0.309249
20.03	3636.884	237.7048	117.6757	28.1975	2.643483	0.310072
轉速	比能 E_1 (cm)	比能 E_2 (cm)	能量損失 E_L (cm) 實際值	能量損失 E_L (cm) 理論值	水躍長 度 L_j 計算值 (cm)	
18.07	8.516388	7.652399	0.8639898	3.84485561	39.192	
19.01	8.568281	8.183455	0.3848267	3.70163971	41.193	
20.03	9.07788	8.835249	0.242631	3.86665259	44.229	

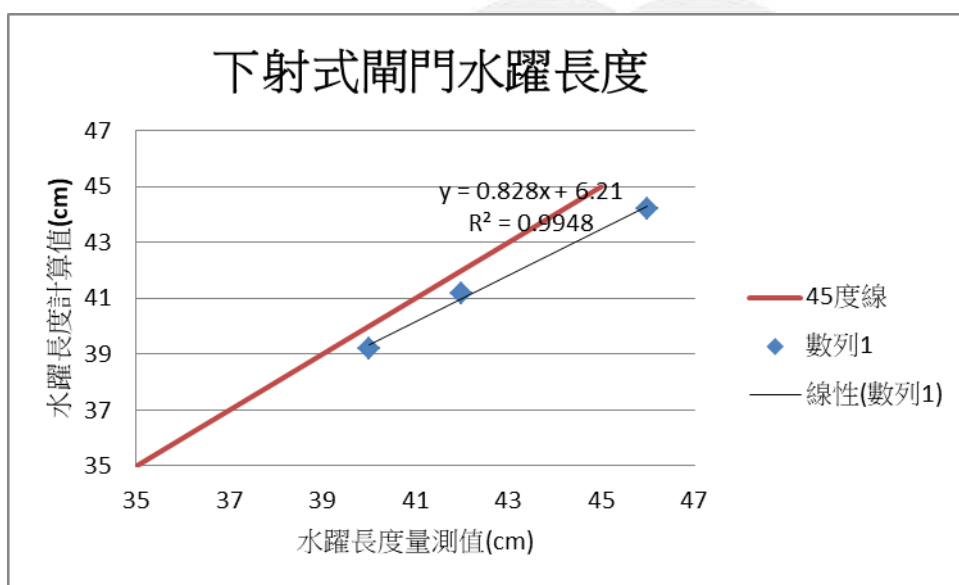
問題與討論

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。

臥箕型溢洪道之水躍長度量測值 L_{j1} 與 45 度線



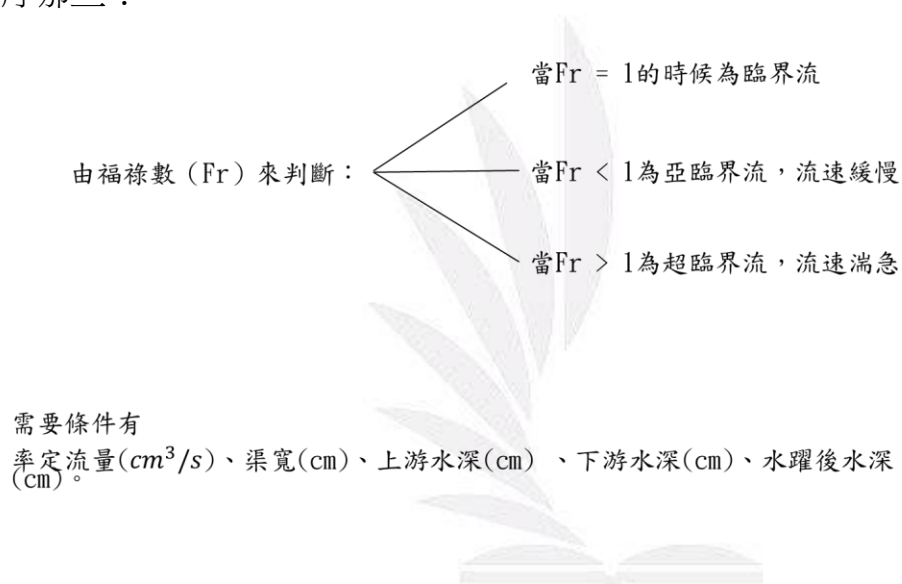
下射式閘門之水躍長度量測值 L_{j1} 與 45 度線



2. 在臥箕型溢洪道附近，何處為臨界流？為何？

發生水躍處為臨界流，水躍上游為超臨界流，水躍下游為亞臨界流。
在明渠流中當上游處為超臨界流，下游處為亞臨界流時，交界處將產生勢能，造成液面陡升，形成水躍。

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？



4. (補充一) EL(能量損失)理論值&實際值之比較

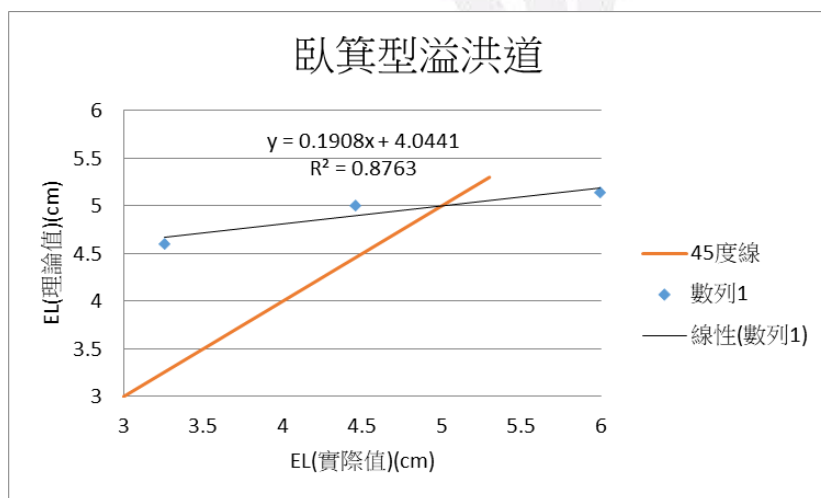
EL(實際值)= E1-E2

EL(理論值)= $\therefore E_L = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1y_2}$ (適用於矩形渠道)

EL 誤差=(EL(理論值)-EL(實際值))/EL(理論值)

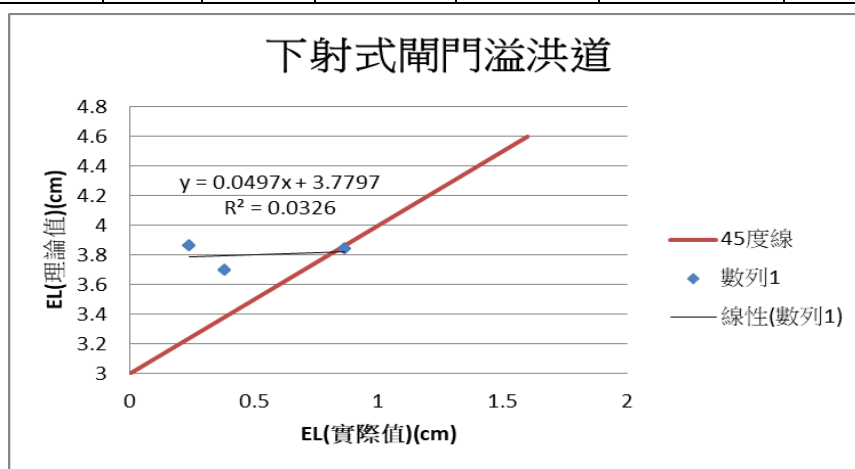
臥箕型溢洪道:

轉速	下游水深 y1(cm)	水躍後水深 y2(cm)	E1(cm)	E2(cm)	EL(實際值)(cm)	EL(理論值)(cm)	EL 誤差
18.07	1.36	6.94	10.54911	7.292884	3.256223022	4.601974699	0.292429178
19.01	1.47	7.52	12.39619	7.937511	4.458681048	5.008076535	0.109701895
20.03	1.55	7.85	14.34018	8.348656	5.99152287	5.137600164	-0.166210425



下射式閘門溢洪道:

轉速	下游水深 y1(cm)	水躍後水深 y2(cm)	E1(cm)	E2(cm)	EL(實際值)(cm)	EL(理論值)(cm)	EL 誤差
18.07	1.63	7.31	8.51639	7.65240	0.8639889	3.844856	0.77528679
19.01	1.84	7.81	8.56828	8.18346	0.3848267	3.701640	0.89603886
20.03	2.02	8.43	9.07788	8.83525	0.2426310	3.866653	0.93725037



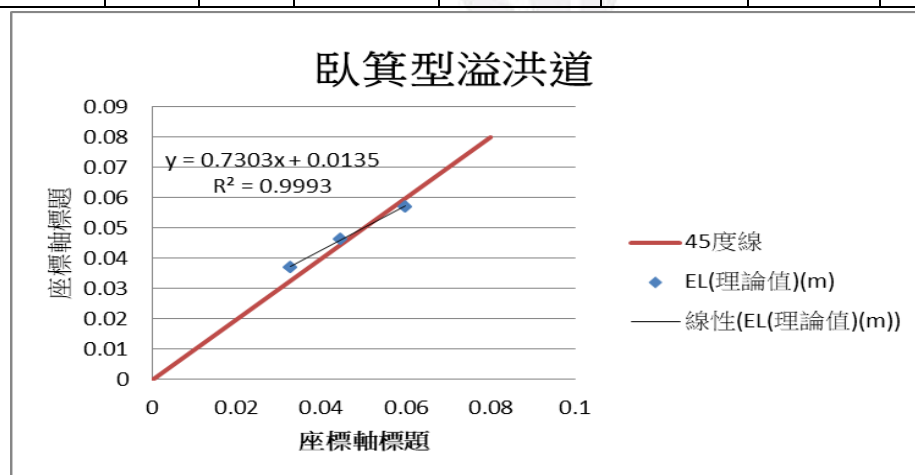
5. (補充二) EL(能量損失)理論值&實際值之比較

EL(實際值)= E1-E2

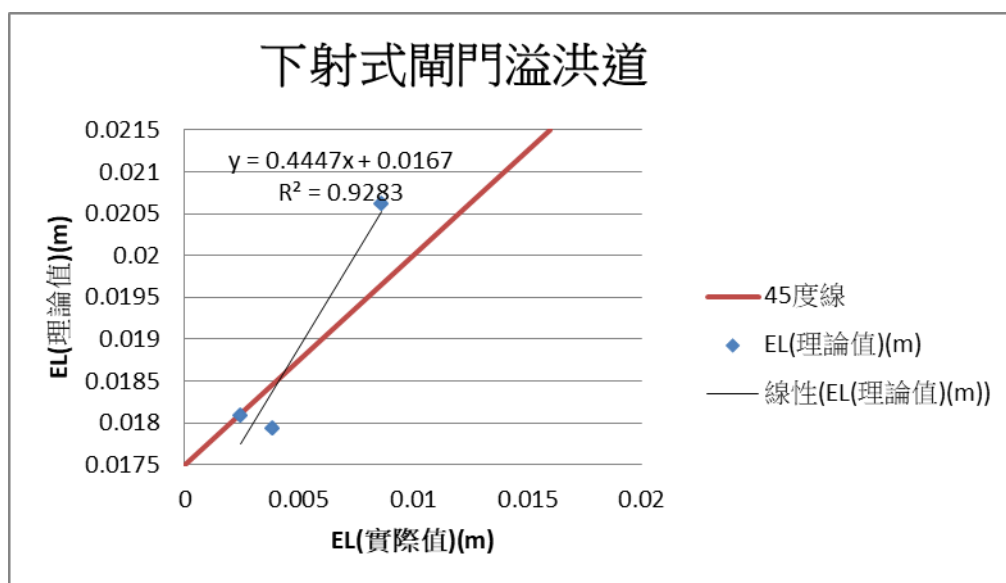
$$EL(\text{理論值}) : \frac{E_L}{E_1} = \frac{\left(-3 + \sqrt{1 + 8F_{r1}^2}\right)^3}{8(2 + F_{r1}^2)(-1 + \sqrt{1 + 8F_{r1}^2})}$$

EL 誤差= (EL(理論值)-EL(實際值))/EL(理論值)

轉速	下游水深 y1(cm)	水躍後水深 y2(cm)	E1(m)	E2(m)	EL(實際值)(m)	EL(理論值)(m)	EL 誤差
18.07	1.36	6.94	0.10549	0.072929	0.03256	0.0371	0.123309
19.01	1.47	7.52	0.12396	0.079375	0.04459	0.0464	0.039251
20.03	1.55	7.85	0.14340	0.083487	0.05992	0.0572	-0.04830



轉速	下游水深 y1(cm)	水躍後水深 y2(cm)	E1(m)	E2(m)	EL(實際值)(m)	EL(理論值)(m)	EL 誤差
18.07	1.63	7.31	0.08516	0.07652	0.00864	0.0206	0.58097
19.01	1.84	7.81	0.08568	0.08183	0.00385	0.0179	0.78553
20.03	2.02	8.43	0.09078	0.08835	0.00243	0.0181	0.86592



6. (補充三) y_2/y_1 理論值&實際值之比較

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left(-1 + \sqrt{1 + 8 \times Fr_1^2} \right) \text{ (理論值)}$$

$$\frac{y_2}{y_1} \text{ (實際值)}$$

臥箕型溢洪道:

轉速	下游水深 y_1 (m)	水躍後水深 y_2 (m)	Fr1	y_2/y_1 (實際值)	y_2/y_1 (理論值)	y_2/y_1 誤差比率
18.07	0.0136	0.0694	3.676056712	5.10294118	4.722718248	0.08050934
19.01	0.0147	0.0752	3.855589095	5.11564626	4.975503131	0.02816662
20.03	0.0155	0.0785	4.06244459	5.06451612	5.266880625	-0.03842208

下射式閘門溢洪道:

轉速	下游水深 y_1 (m)	水躍後水深 y_2 (m)	Fr1	y_2/y_1 (實際值)	y_2/y_1 (理論值)	y_2/y_1 誤差比率
18.07	0.0163	0.0731	2.906812	4.484662577	3.641148721	0.231661467
19.01	0.0184	0.0781	2.70432	4.244565217	3.357032314	0.264380209
20.03	0.0202	0.0843	2.643483	4.173267327	3.271736987	0.275550982

心得與感想

蕭凱文: 這次的實驗是明渠水躍實驗, 藉由渠道中有障礙物而導致水流會有所變化, 這是我第一次接觸這種儀器雖然操作不難但是因為水流很快再加上當要測量水的高度和水躍長度時是一個很主觀的觀測, 每個人觀看都不太一樣而產生了誤差, 這是我覺得這實驗最難降低誤差的地方。藉由這次實驗雖然感覺自己還有很多細節沒做好, 不過下次實驗要教別組做實驗的時候, 我一定會把這些漏掉的細節提醒下一組必須注意, 讓之後的組別做實驗能比我們第一組接觸的時候更加成功。

蔡嘉陽: 這次的水躍實驗說真的跟過去的一些課程的實驗都不太一樣, 因為以往通常都有著正確答案作為比較, 但這次有了一些個人主觀上的差異了, 例如那水躍長度的定義, 泡泡大量消失的地方說真的每個人的感覺都不太一樣, 最後我們這組選擇都讓同一人觀察, 這樣主觀意識上就較為一樣了, 雖然最後出來跟我們算出的理論長度還是有一定差距, 後來我們又因流量數據異常所以另外找時間來重做試驗, 那時老師就講到實驗實際的觀察跟理論時常有所差別, 而我們就要去想原因是什麼?

魏揚: 剛開始做這實驗的時候, 由於還不熟悉操作, 所以動作有點慢, 而且前半部分還沒全部量完, 就把閘門關起來想做下半部分, 導致第一次重做, 但之後也越來越流暢, 很快就把三次都做完, 這算是我第一次實驗這麼大的器材, 讓我感到很新鮮。

施威辰: 這是明渠第一次的實驗課, 我們是做水躍實驗, 經由這次的實驗讓我獲益良多, 我們因為流量的量測方法錯誤導致我們星期日 10/1 又從回實驗室將一系列的實驗又從頭開始一次。從中我學到如何發現問題的癥結點、找出問題、並修正問題, 最後求出理想中的答案。並且從實驗觀察中學習到實際的現象往往與理論值會有不小的差別, 甚至會因為每個人不同主觀的觀測, 使得人人的觀測值各異。此次的實驗其實並不難, 只是需要耐心的觀測與紀錄, 並且細心的求解答案, 在此也感謝助教實驗時耐心的協助。

參考文獻

流體力學試驗手冊

許少華教授 編著

