

## 7. 開水路水理現象把握実験（テーマー 6）

### 7-1. 実験の目的

開水路において生じる流れの種々の水面形形状について観察し、低下背水・堰上背水、潜り流出、断面の変化する流れなど、流れの変化の様子を把握するとともに、水路勾配を変更した場合の流れの変化の様子を観察し、水路勾配が流れに及ぼす影響について把握する。実験では、潜り堰、下流ゲートを調整し流れの様子を観察するとともに、水路上流に設置したジャッキを用いて水路勾配を変化させ通水を行い、ポイントゲージで計測した水深と水路下流で計測した流量から算定する断面平均流速を用いてエネルギー線を算定し、エネルギー勾配と流れの状態について整理する。

- ★ 開水路流れの状況を観察し、水路形状による流れの違いを理解する。
- ★ フルード数の違いによる流れの変化について把握する。
- ★ ベルヌーイの定理に示されるエネルギーの保存則による水面形を理解する。
- ★ 四角堰による流量計測の方法を理解する。

### 7-2. 実験装置

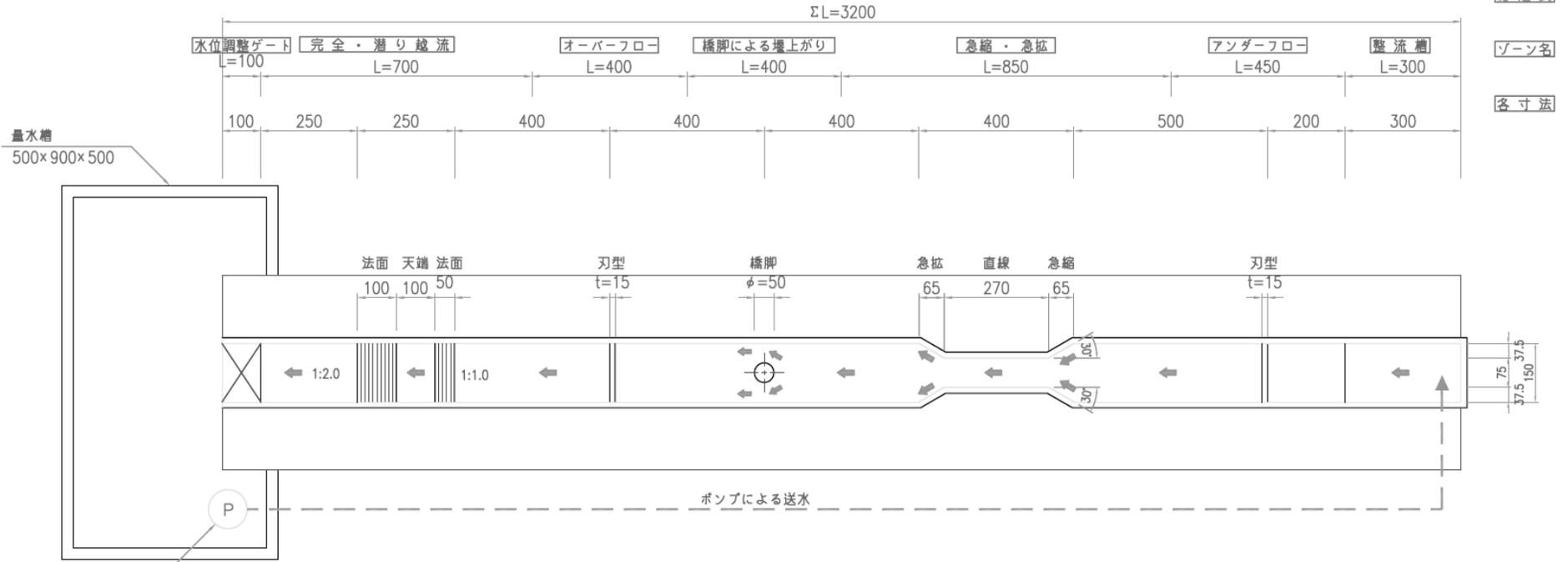
実験装置は、勾配を変化させることの可能な開水路部と下流の流量測定堰、給水ポンプから構成されている。

開水路実験装置 : 低水槽→ポンプ→バルブ→水路上流水槽→開水路模型→下流端ゲート→四角堰→低水槽



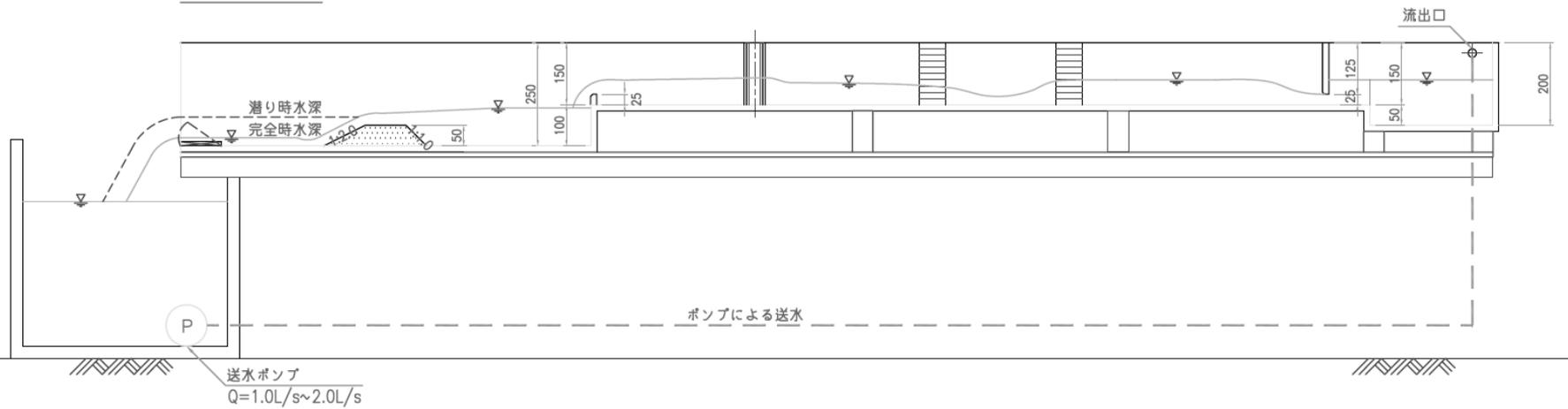
実験装置図

平面図



送水ポンプ  
Q=1.0L/s~2.0L/s

縦断図



### 7-3. 実験方法

- ① 水路下部に付いているジャッキにより水路勾配を水平に設定する。(方法は自分で考える)  
**水平とは何かを考えて、ポイントゲージのみを用いて水路を水平に設定する。**
- ② バルブが少し開になっていることを確認し、ポンプの電源を入れる。
- ③ 下流の堰に湛水が生じた時点で一度ポンプを停止する。
- ④ 堰部と潜り堰地点の水深を計測し水路勾配を算定する。(初期勾配は水平に調整する)
- ⑤ ポンプのスイッチを入れ、水路上流端からオーバーフローしないように調節し、水深が3～5 cm 程度となるようにバルブを調節を行う。
- ⑥ 下流ゲート、潜堰の開度を調節し、流れの変化の様子を観察する。
- ⑦ 潜堰の上流、潜り堰下流、断面変化部、堰部(断落)、越流堰部の水深を計測する。(初めに河床までポイントゲージの針先を降下させ、ポイントゲージの値を読んだ後、水面にポイントゲージの針を接触させ水面高を計測し、差分から水深を計測する。)
- ⑧ 主要地点で流速計測を行う。
- ⑨ 流量測定堰にポイントゲージを設置し、堰高、水面を計測して越流水深を計測し、流量を算定する。
- ⑩ 各地点の流況についてスケッチを記述する。
- ⑪ 計測が終了すればジャッキを用いて水路勾配を変更し、②～⑥を2ケース繰り返す。

### 7-4. 実験結果の整理

#### (1). 水面形状の整理

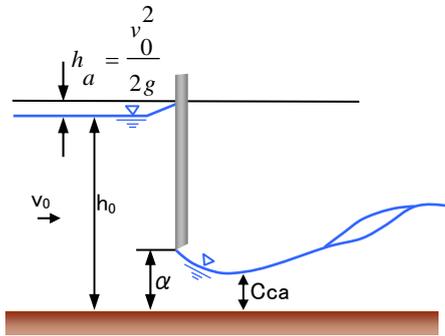
- ① 通水前に計測した湛水状態の水深から水路勾配を算定する。
- ② 水路勾配を用いて水深を計測した地点の水路床高を算出する。(水路下流の水位調節地点の標高を0として算出する。)
- ③ 水路縦断から計測した水路床高、水深から水位を算定し水位縦断を算出する。  
水路高：アクリル水路形状の高さ  
水路床高：河床勾配から算定する水路基礎面の高さ  
河床高：水路高+水路床高  
水位：水路高+河床高+水深
- ④ 計測した流量、水深を用いて各地点の流速を算定し、エネルギー線を算出する。
- ⑤ 水路縦断図に河床高、水面形状、エネルギー線を図示し、水面がどのように変化しているか、エネルギー線(全水頭)がどのように変化しているかを記述する。
- ⑥ また水路縦断図にエネルギー線を求めた断面平均流速をプロットし、各地点において流速計で計測した流速も図示する。
- ⑦ 各計測点でのフルード数を算出し、フルード数がどのように断面形状、水路形状で変化しているかを縦断図に図示する。
- ⑧ 縦断図は各ケース1枚として水面形状と流速分布、フルード数の関係がわかるように示す。

#### (2). 四角堰のH-Q

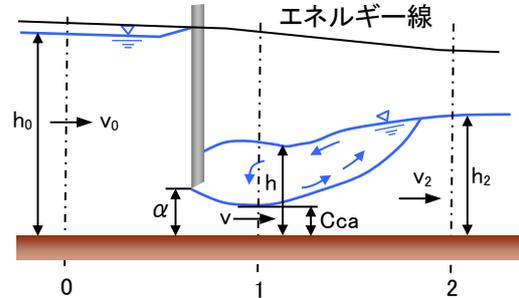
- ① 四角堰の諸元から水位-流量曲線を計算し図化する。

**【ゲート部の流れ】**

- 自由流出と潜り流出の流況の違いを把握する



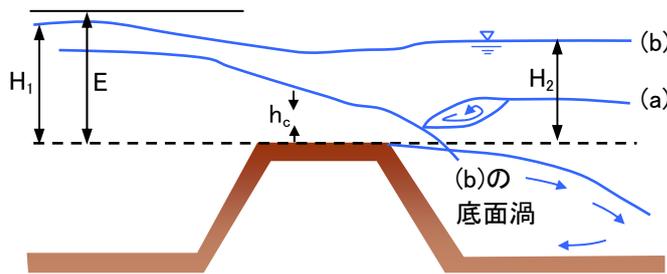
スルースゲートからの自由流れ



スルースゲートからのもぐり流れ

**【堰部の流れ】**

- 堰部の越流流れにおいて、完全越流、潜り越流状態について把握する。



完全越流(a)と、もぐりせき(b)

**【水面形状の分類】**

- 河床勾配と上流・下流水深により流れの形状が異なる事を把握する。

勾配の名称	緩勾配	限界勾配	急勾配
限界水深・等流水深の関係	$h_0 > h_c$	$h_0 = h_c$	$h_0 < h_c$
図 $h_0$ と $h_c$ の関係と水面形の分類 (各水路勾配で、3つのうちどれかの水面形が現れる)			
勾配の関係※	$i_b < i_c$	$i_b = i_c = \frac{g^{10/9} n^2}{q^{2/9}}$	$i_b < i_c$

※表中、限界勾配 $i_c$ とは、ある流量で急勾配と緩勾配の境界となる勾配

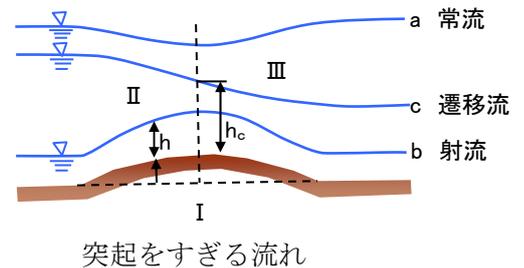
**【限界水深：支配断面】**

便宜上、突起の頂点を I、左側の領域を II、右側の領域を III とすると、流れが全領域で常流

( $v = \sqrt{gh}$ )、および射流 ( $v > \sqrt{gh}$ ) の場合の水面勾配はそれぞれ次のようになる。

領域 II	$\frac{ds}{dx} > 0$	$\frac{dH}{dx} < 0$	$\frac{dH}{dx} > 0$
頂点 I	$= 0$	$= 0$	$= 0$
領域 III	$< 0$	$< 0$	$< 0$

つまり、常流では突起にかかると水位は減少してゆき、頂点で最低水位になった後増加して、水面曲線は図の a 曲線のようになる。流れが全領域で射流のときの水面形は常流のときと逆であって、b 曲線のように突起の頂点において水位は最大となる。



最も興味のあるのは、領域 II で流れが常流、領域 III で流れが射流の場合である。このとき、上に述べたように  $dH/dx$  は常に負である。したがって、突起の頂点  $ds/dx=0$  において、 $dH/dx$  が有限かつ負であるためには、式(5・19)の分母=0、つまり、 $v^2=gh$  でなければならない。すなわち、突起を過ぎる流れが常流から射流に遷移するときの水面形は連続で突起の頂点に限界流が現れる。このときの水面形は図の c 曲線である。

このように、突起の頂点に限界水深  $h_c$  が現れると、頂点を基準とする比エネルギーを E、単位幅流量を q として次の式

$$\left. \begin{aligned} E &= h_c + \frac{v_c^2}{2g} = \frac{3}{2}h_c \\ q &= h_c v_c = h_c \sqrt{gh_c} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} g E^{3/2} \end{aligned} \right\} \quad (5 \cdot 20)$$

が成り立ち、流量は下流の条件に無関係に、上流側の比エネルギー E だけによって決まる。このような意味で、常流から射流に遷移する流れにおいて限界水深を生ずる断面を支配断面 (control section) という。

(水理学 : 椿東一郎より)

【等流水深、限界水深】

等流水深とは、一定の流量が水路断面が一様な区間で生じる一様な水深

$$Q = Bh \frac{1}{n} h^{2/3} I^{1/2}$$

$$h^{5/3} = \frac{nQ}{BI^{1/2}}$$

$$h = \left( \frac{nQ}{BI^{1/2}} \right)^{3/5}$$

Q : 流量

B : 水路幅

h : 水深 (h<sub>o</sub> : 等流水深)

n : 粗度係数

(アクリル製 0.009)

I : 水路勾配

限界水深とは、単位幅流量によって定まる水深。フルード数=1.0の流れで生じる水深

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

q : 単位幅流量

h<sub>c</sub> : 限界水深

g : 重力加速度

**【 流量測定堰 】**

堰を越流する流れが限界水深を発生する事から水深により流量が 1 義的に定まることから、堰上流部の水深を測ることで越流量を測定する装置。水理実験での流量測定では、適応範囲が広いことから一般的に堰による流量測定が行われる。

切り欠き形により、全幅堰、四角堰、三角堰がある。(流量規模)

越流水深  $h$  を計測し、下式(1)、(2)を用いて越流量を算定する。  
 演習では、刃形の上にポイントゲージを設置し、刃形の高さを読みとった後、ポイントゲージを移動して水位面の高さを読み取り、越流水深を計測して流量を換算する。

**【四角せき (右図参照)】**

●板谷・手島の式

$$Q = Cbh^{3/2} \dots\dots\dots (1)$$

$$C = 1.785 + \frac{0.00295}{h} + 0.237 \frac{h}{W} - 0.428 \sqrt{\frac{(B-b)h}{BW}} + 0.034 \sqrt{\frac{B}{W}} \dots\dots\dots (2)$$

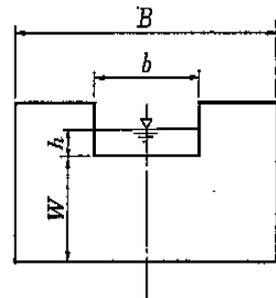


図 1.2 四角せき

ここに、 $Q$ :越流量( $m^3/s$ )、 $b$ :切欠きの幅(m)、 $h$ :越流水深(m)、 $C$ :流量係数( $m^{1/2}/8$ )、 $W$ :水路底面よりせき縁までの高さ(m)、 $B$ :水路の幅(m)  
**単位がmであることに注意**

・四角堰のH-Qの算定

水路幅  $B$       0.45 m  
 切欠幅  $b$       0.20 m  
 堰高  $W$       0.20 m

水深(m)	係数	流量( $\frac{m^3}{s}$ )	水深(cm)
0.000		0.00	0.0
0.002	3.281	0.06	0.2
0.004	2.533	0.13	0.4
0.006	2.280	0.21	0.6
0.008	2.150	0.31	0.8
0.010	2.072	0.41	1.0
0.012	2.018	0.53	1.2
0.014	1.979	0.66	1.4
0.016	1.949	0.79	1.6
0.018	1.926	0.93	1.8
0.020	1.906	1.08	2.0
0.022	1.890	1.23	2.2
0.024	1.877	1.40	2.4
0.026	1.865	1.56	2.6
0.028	1.855	1.74	2.8
0.030	1.846	1.92	3.0
0.032	1.839	2.10	3.2
0.034	1.832	2.30	3.4
0.036	1.825	2.49	3.6

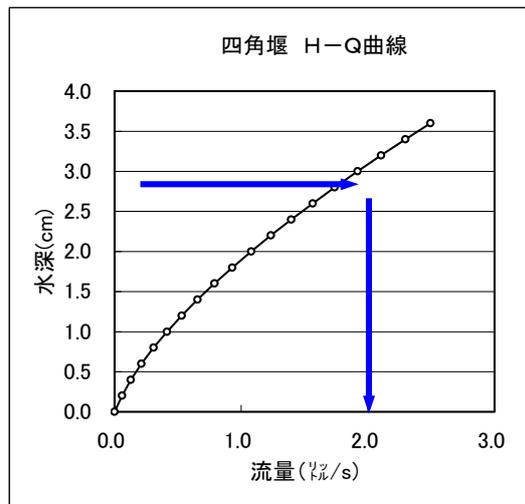


図-2 四角堰 H-Q 曲線

## スポイラーの効果

転倒堰の例－1



転倒堰の例－2



### スポイラーの効果

ゲートに水が貼り付いている状況が見られ、スポイラーでゲート背面に空気が供給されることで、ゲートの振動、低周波音の発生を防止している。



## 7-5. レポートの提出

レポートは下記の内容を記述して提出。

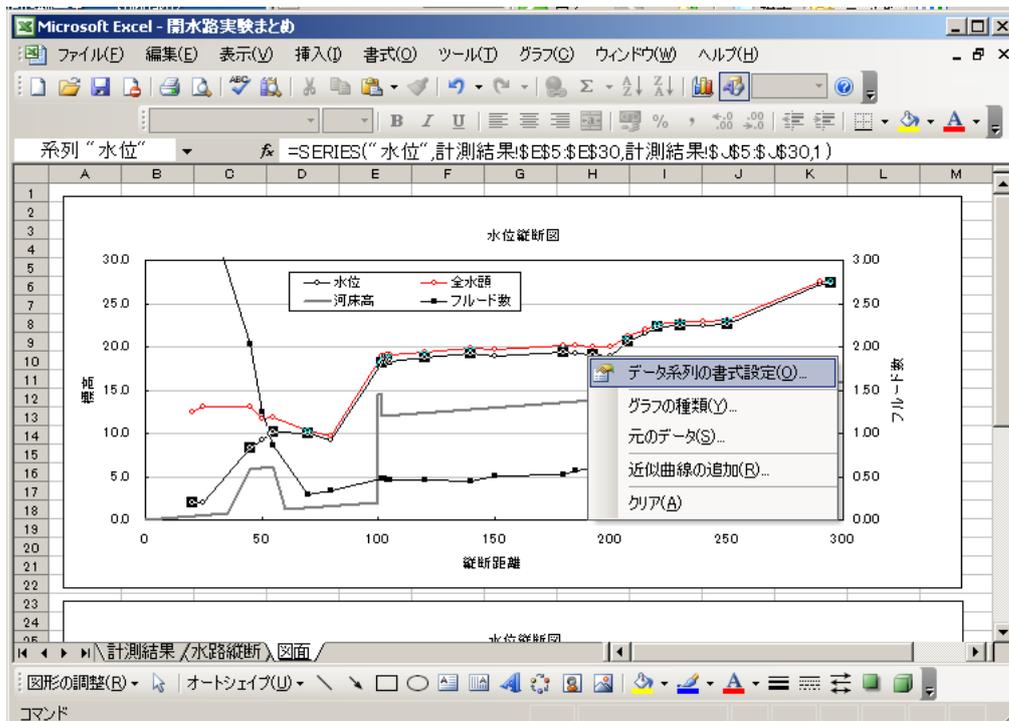
- ① 表紙に、グループ名、学籍番号、氏名、実験名、実験日時を必ず記入。
- ② 記録シートを整理して、全水頭を算出する結果整理シートを作成する。
- ③ 実験結果の整理シートを元に縦断面図を作成する。グラフは、左右の軸を設定する2軸グラフにより作成する。
- ④ グラフは縦軸に標高とフルード数を用いて作成する。
- ⑤ 堰の公式を用いて、四角堰の水位-流量曲線を計算し、図化する。
- ⑥ 考察について記述する。実験についての感想ではなく、下記の様な内容について記述する。
  - ・ 河床勾配の変化が流況（水深変化、流速変化、水面の揺動など）に及ぼしている影響についてコメントする。
  - ・ 潜り堰、断面変化部、段落ち部、堰部での局所的な流れについて考察する。
  - ・ フルード数と流れの状態についてコメントする。

### ● 提出するのは、「水理実験演習提出レポート」の部分

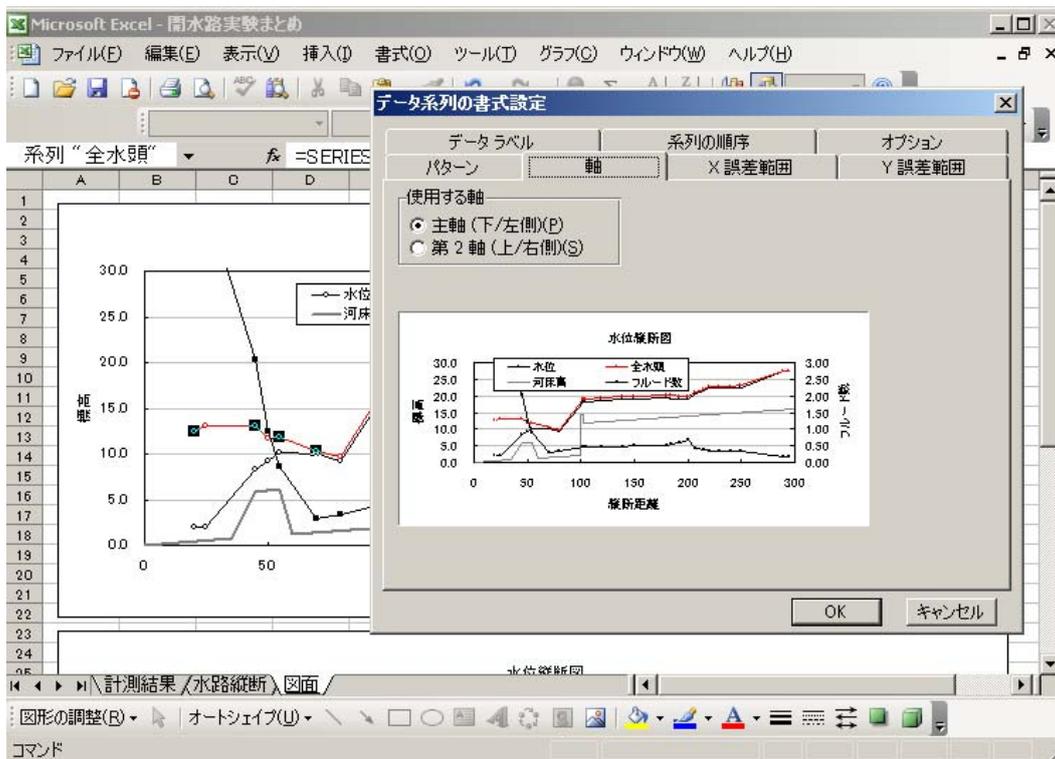
計測データのシートは提出しなくてよい。（計測値は計測結果整理表で提出）

#### 【2軸グラフの作成】

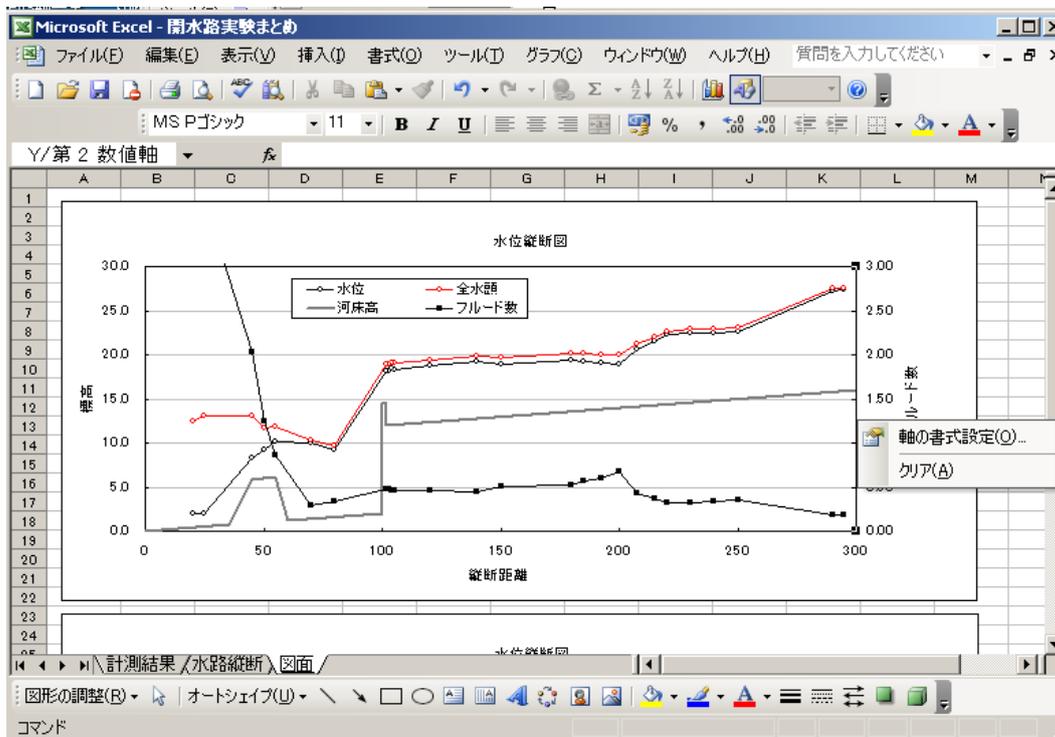
- ・ グラフは EXCEL を用いて作成する。
- ・ 水位縦断面図などは EXCEL のグラフの散布図を用いる。（折れ線グラフは使わない）
- ・ 通常に2つの系列で散布図グラフを作成した後、2軸により表示するグラフを右クリックし、データ系列の書式設定を選択する。



- ・データ系列の書式設定で第2軸にチェックを入れると、2軸により表示される。



- ・2軸にカーソルを合わせ右クリックで軸を選択し、軸の書式設定で軸目盛り、間隔などを設定する



【記録シート】 計測 1 回目

- 水路を水平に設置

	河床	水面	水深
上流(H1)			
下流(H2)			

- ・河床勾配  $1 / \square (H2 - H1) / L$
- ・ 上流水深 (H1) :  $\square$  下流水深 (H2) :  $\square$  区間距離 (L)

- 流量の計測

- ・流量の計測 四角堰の諸元 B : 45cm 切欠幅 b : 20cm 堰高 W : 20cm

堰高のポイントゲージ	水位	水深	係数	流量

- 水位の計測

区間	No.	水路高	水路幅	堰からの距離	水路床高	ポイントゲージ読み値	
						(河床)	(水面)
潜堰上流	1						
	2						
潜堰下流	3						
	4						
	5						
断面変化部	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						
段落上流	12						
	13						
	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
堰上流	19						
	20						
堰部	21						
	22						
	23						
堰下流	24						
	25						
	26						

【記録シート】 計測 2 回目

●水路勾配を計測

	河床	水面	水深
上流(H1)			
下流(H2)			

・河床勾配  $1 / \square (H2 - H1) / L$

・ 上流水深 (H1) :  $\square$  下流水深 (H2) :  $\square$  区間距離 (L)

●流量の計測

・流量の計測 四角堰の諸元 B : 45cm 切欠幅 b : 20cm 堰高 W : 20cm

堰高のポイントゲージ	水位	水深	係数	流量

●水位の計測

区間	No.	水路高	水路幅	堰からの距離	水路床高	ポイントゲージ読み値	
						(河床)	(水面)
潜堰上流	1						
	2						
潜堰下流	3						
	4						
	5						
断面変化部	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						
段落上流	12						
	13						
	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
堰上流	19						
	20						
堰部	21						
	22						
	23						
堰下流	24						
	25						
	26						

流況のスケッチ

ケース 1 (緩勾配)	
潜堰部	
急縮部	
段落ち部	
堰部	

ケース 2 (急勾配)

潜堰部

急縮部

段落ち部

堰部

# 水理実験演習提出レポート

(土木実験Ⅰ、Ⅱ)

開水路水理現象把握実験 (テーマー6)

提出者	
班番号	
学籍番号	
実験日	
提出種別	新規提出 再提出 (どちらかを○で囲む)
レポート提出日	
再提出日	

参考例

表-1 計測結果表 (各ケース)

区間	No.	水路高	水路幅	堰からの距離	水路床高	河床高	水深	水位	断面流速	速度水頭	全水頭	フルード数
潜堰上流	1	10	12.5	290	5.8	15.80	11.46	27.26	19.9	0.20	27.46	0.19
	2	10	12.5	285	5.7	15.70	11.46	27.16	19.9	0.20	27.36	0.19
潜堰下流	3	10	12.5	250	5	15.00	7.58	22.58	30.1	0.46	23.04	0.35
	4	10	12.5	240	4.8	14.80	7.72	22.52	29.5	0.45	22.97	0.34
	5	10	12.5	230	4.6	14.60	7.86	22.46	29.0	0.43	22.89	0.33
断面変化部	6	10	12.5	220	4.4	14.40	7.86	22.26	29.0	0.43	22.69	0.33
	7	10	7.5	215	4.3	14.30	7.27	21.57	52.3	1.39	22.96	0.62
	8	10	7.5	207.5	4.15	14.15	6.52	20.67	58.3	1.73	22.40	0.73
	9	10	7.5	200	4	14.00	4.89	18.89	77.7	3.08	21.97	1.12
	10	10	7.5	192.5	3.85	13.85	5.25	19.1	72.4	2.67	21.77	1.01
	11	10	7.5	185	3.7	13.70	5.52	19.22	68.8	2.42	21.64	0.94
	12	10	12.5	180	3.6	13.60	5.78	19.38	39.4	0.79	20.17	0.52
段落上流	13	10	12.5	150	3	13.00	5.93	18.93	38.4	0.75	19.68	0.50
	14	10	12.5	140	2.8	12.80	6.41	19.21	35.6	0.65	19.86	0.45
	15	10	12.5	120	2.4	12.40	6.32	18.72	36.1	0.66	19.38	0.46
	16	10	12.5	103.5	2.07	12.07	6.24	18.31	36.5	0.68	18.99	0.47
	17	10	12.5	102.5	2.05	12.05	6.36	18.41	35.8	0.66	19.07	0.45
	18	12.5	12.5	101.5	2.03	14.53	6.15	20.68	37.1	0.70	21.38	0.48
	19	12.5	12.5	100.5	2.01	14.51	6.1	20.61	37.4	0.71	21.32	0.48
堰上流	20	0	12.5	80	1.6	1.60	7.7	9.3	29.6	0.45	9.75	0.34
	21	0	12.5	70	1.4	1.40	8.62	10.02	26.5	0.36	10.38	0.29
堰部	22	5	12.5	54.7	1.094	6.09	4.13	10.224	55.2	1.55	11.78	0.87
	23	5	12.5	50	1	6.00	3.25	9.25	70.2	2.51	11.76	1.24
	24	5	12.5	45	0.9	5.90	2.34	8.24	97.4	4.84	13.08	2.03
堰下流	25	0	12.5	25	0.5	0.50	1.55	2.05	147.1	11.04	13.09	3.77
	26	0	12.5	20	0.4	0.40	1.59	1.99	143.4	10.49	12.48	3.63

参考例

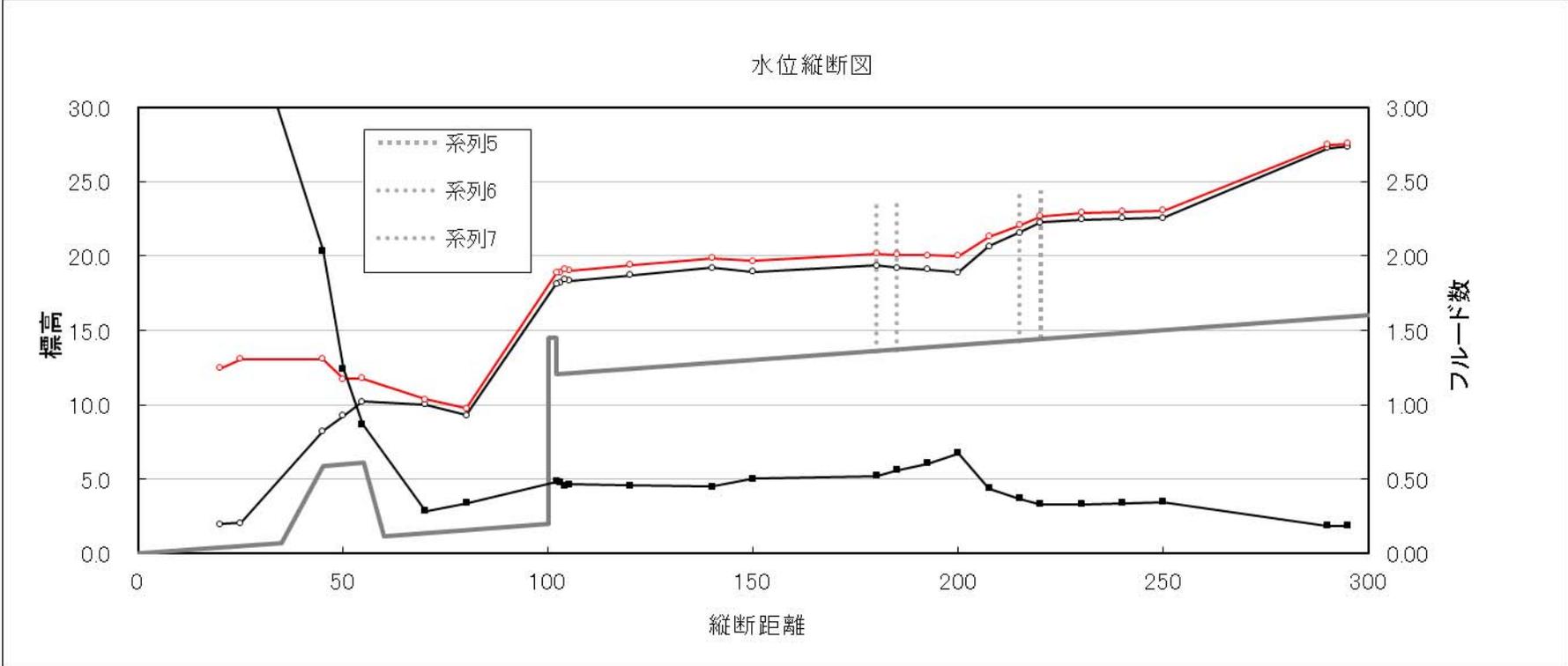


図-1 水位・フルード数縦断図 (各ケース)

### 【考察】

1. 潜り堰、断面変化部、段落ち部、堰部での局所的な流れの特徴を流況観察より示し、とフルード数、水位縦断とエネルギー縦断形状について解説する。

解説は、各構造物ごとに示し、勾配によりどのように変化したかを記載する。(最低1枚以上)流況図などを記述して、流れの状態を分かりやすく図示する。

2. 水深変化から水面形状の区分を行う。

- 各断面毎に等流水深 ( $h_o$ )、限界水深 ( $h_c$ ) を求める。
- 等流水深 ( $h_o$ )、限界水深 ( $h_c$ ) の大小関係より、緩勾配、急勾配を分類する。
- 水深縦断図などを作成し、水深の変化、等流水深、限界水深を示し、水面形状の分類を行う。
- 水面形状の区分 (M1~S3) で分類可能な区域を設定する。(水面形状の区分は実験結果から各自で区切る。一連の区間でまとめ、あまり細かく分割しない)

3. 下記の用語について調べる

- フルード数
- 緩勾配と限界勾配
- 支配断面
- 自由流出と潜り流出