

土 木 研 究 所 資 料

第443号

利根川河口堰模型実験報告書 —堰操作に関する不定流 及び定流実験— (昭和42年度)

昭和44年3月

建設省土木研究所

利根川河口堰模型実験報告書

目 次

第1章 実験概要	1
1. 実験の目的	1
2. 模型および相似律について	2
(1) 模型について	2
(2) 相似律について	3
(3) 粗度係数について	4
(4) 検証実験	4
3. 実験方法	4
(1) あらまし	4
(2) 潮 位	5
(3) 堰操作	6
(4) 水位測定	8
(5) 流速測定	8
(6) 流況観察	10
4. 実験ケース	10
第2章 実験結果	11
1. 水位について	11
(1) 水位の時間的变化	11
(2) 堰上流部の安定水位について	30
(3) 堰上流部の最高水位と最低水位について	30
2. 流量について	32
(1) 流量の算出法	32
(2) 計算結果	34
① 各ケースの比較	43
② 堰地点における順流量と逆流量について	44
3. 流速について	44
(1) 実 例	44
(2) 計算値	49
4. 流況観察	54
(1) 実験Ⅰ	54
(2) 実験Ⅱ	57
(3) 実験Ⅲ	59
(4) 実験Ⅳ	61
5. 不定流計算結果との比較(実験Ⅳについて)	63
(1) 水 位	63
(2) 流 量	63
(3) 流 速	63

才3章 補足実験	64
1. 実験概要	64
2. 模 型	64
(1) 実験水路および諸量の縮率	64
(2) 魚道について	64
(3) 放水管について	66
3. 実験ケース	66
4. 実験および結果	66
(1) 実験流量の決定	66
(2) 水位について	67
(3) 流速について	79
(4) 流向について	96
(5) 流況について	96
才4章 結 論	117
1. 水 位	117
2. 流 量	117
3. 流 速	117
4. おわりに	118

図 目 次

図-1	利根川模型平面図	1
図-2	潮位波形	5
図-3	堰操作方式と潮位波形関係図	7
図-4	堰操作方式	8
図-5	流速測定点位置図	9
図-6	時間水位曲線(6.1~6.8)	12
図-7	時間水位曲線(堰上下流)(7.1~7.4)	16
図-8	同時水位曲線(8-1.1~8-4.3)	18
図-9	堰上流部の最高、最低水位	31
図-10	時間流量曲線(10.1~10.4)	35
図-11	時間水位流量曲線(11.1~11.4)	39
図-12	時間水位流速曲線(実測値)(12.1~12.4)	45
図-13	時間水位流速曲線(堰地点、計算値)(13.1~13.4)	50
図-14.15	流向図(実験Ⅰ)	55
図-16	流向図(実験Ⅱ)	58
図-17	流向図(実験Ⅲ)	60
図-18	流向図(実験Ⅳ)	62
図-19	利根川河口堰付近模型平面図	65
図-20	測定点位置図(20.1~20.8)	68

図-21	水位縦断面図(21.1~21.3).....	76
図-22	流速分布図(22.1~22.8).....	80
図-23	流速ベクトル線図(23.1~23.8).....	88
図-24	流向図(24-1.1~24-8.1).....	98
図-25	流況図(25.1~25.6).....	111

表 目 次

表-1	利根川粗度係数.....	4
表-2	実験ケース一覧表.....	10
表-3	堰上流部の最高最低水位.....	32
表-4	堰地点における順逆流量及び継続時間.....	43
表-5	堰地点の順逆流量の総計.....	44
表-6	順逆流速の最大測定値.....	49
表-7	堰地点の最大流速値(計算値).....	54
表-8	諸量の縮率(定流実験).....	64
表-9	実験ケース一覧表(定流実験).....	66
表-10	堰下流50m、100m地点の平均流速値.....	96

第1章 実験概要

1. 実験の目的

河口堰とは、河口部付近に設けるダムのごときで、河口近くに貯水池をつくることにより、海へ無駄に流れ去る水を溜めて利用し、あるいは海から河道へ侵入して来る塩水を防ぎ、塩害を生じないようにする目的でつくられるものである。

利根川河口堰は、河口から18.6kmの地点に現在建設中であり、その効用について関東地建の「利根川河口堰調査報告書」では次のように述べている。

- (1) 河口堰は、塩水の遡上を防止し、渇水期の塩害を防除出来る。
- (2) 堰ゲートの適当な操作により、河道の維持用水が新たに開発される。
- (3) 河口堰上流区間は、貯水池の機能を有するので渇水時に用水補給が出来る。
- (4) 河口堰により、利根川の余剰水を霞ヶ浦に導水し、両水系を共用することにより、さらに有効な水利用の可能性が生まれる。
- (5) 河口堰により常に安定した水源を下流部において確保出来る。

河口堰の構造については径間45m、シングル型式のローラゲート7門、ダブル型式のゲート2門の計9門の可動堰と、有効巾15mの閉門とから出来ている。また高水敷上には、左右岸各1ヶ所ずつの魚道と右岸側には天端高Y.P. +2.0mの固定堰とが設けられることになっている。

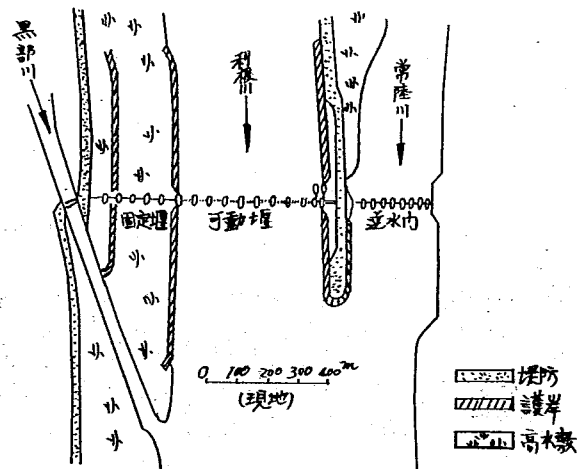


図-1-1 利根川河口堰平面図

この河口堰は全河巾にわたって設けられるため、魚貝類の上流への移動を妨げることになる。その与える影響を小さくする手段として堰ゲートを開けておくのが望ましいが、一方では既に述べたような水資源利用の面からいえば、堰は出来る限り閉じて水を上流に溜めておくことが必要である。この相反する要求に答えるため、堰ゲートの操作法を工夫しなければならない。現在のところ、ゲート操作方法としては、幾つかの案があり、そのうちの2つについて述べると次のようである。

- (1) 順逆流ともダブルゲートオーバーフローのみによる堰操作方式。
- (2) 順流時、1、3、5、7、9号ゲートアンダーフロー、逆流時ダブルゲートオーバーフローの堰操作方式。

土木研究所、鹿島試験所では河口堰設置に伴う種々の問題点について実験を行つて来た（例えば、堰設置に伴う入退潮等の変化、仮締切の洪水に及ぼす影響、堰操作方法および堰の流量係数の測定、堰付近における塩水の挙動および効率のよい排除方法等堰操作方法決定のために行われた一連の実験の一部である）。

具体的に触れれば、上述のような堰操作を行つた場合。

- (1) 収斂するであろう上流水位。
- (2) その際の堰地点における放流および逆流量の推定。
- (3) 堰下流での流速、流況。
- (4) 不定流計算結果との検証。

を目的としている。全体としては、現有利根川および利根川河口堰模型（水平 $1/100$ 、鉛直 $1/20$ ）を用いて不定流実験を行ない、とくに(3)の目的に対しては大きな縮尺（水平 $1/30$ 、鉛直 $1/15$ ）の模型による定流実験により流速分布、流向測定等を行つた。

2. 模型および相似律について

(1) 模型について

模型は図-1.2に示すように河口から上流71kmまでの利根川の感潮区間に対するものである。縮尺は水平方向 $1/100$ で、鉛直方向が $1/20$ であり、鉛直方向が水平方向より5倍強調されている。

下流部は海に接続しており海域として約4km四方を海面部としてつくつてある。模型はいわゆる固定床模型であり、表面がセメントモルタルにて仕上げられている。なお低水路は計画高水5500 m^3/s に対する計画断面につくつてある。



図-1.2 利根川模型平面図

模型上流端からは量水堰を通して任意の流量を与えることが出来、下流端の海域に相当する潮位発生プールにおいて供給バルブあるいはフラップゲートの操作により、河口において潮位変化を起させることが出来る。

(2) 相似律について

模型実験においては、模型における水理量が現地のそれといかなる関係にあるかについて指示を与える相似率が非常に重要なものとなる。

一般に固定床の模型実験においては、流れは完全な乱流であると考えて現地と同じ平均流速公式一般にはマニングの公式が適用されるものとする。そして現地と模型とにおいて同じ割合で損失を生じるようなそういう模型をつくるように努める。

現地と模型において、同じタイプの運動法則が適用されるものとすればそのいずれにおいても流れに関しては不定流の運動方程式

$$-i + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2g} \frac{\partial V^2}{\partial x} + i_f = 0 \dots\dots\dots ①$$

マニングの平均流速公式

$$V = \frac{1}{n} h^{2/3} i_f^{1/2} \dots\dots\dots ②$$

連続の方程式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots ③$$

ここに

i : 河床勾配 i_f : マサツ勾配 h : 水深 V : 流速 x : 河道方向の長さ t : 時間

A : 流水断面積 Q : 流量 n : マニングの粗度係数

の三式が成立するはずである。①②③の三式を現地と模型のそれぞれに適用して、対応する各項の比を等しいと置くと、各水理量に関する相似率が得られる。現地に関する量には P 、模型における量には M 、両者の比には r なる添字をつけよう。例えば現地水深を h_P 、模型水深を h_M とすると $h_r = h_P / h_M$ である。

すると結果は

$$\left. \begin{aligned} V_r &= h_r^{1/2} \\ t_r &= a h_r^{1/2} \\ Q_r &= a h_r^{5/2} \\ n_r &= a^{-1/2} h_r^{1/6} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ④$$

ここに a は歪率で $a = x_r / h_r$ とする。

さて我々の場合には既に述べたように水平縮尺 $1/100$ 、鉛直縮尺 $1/20$ であるから $x_r = 100$ $h_r = 20$ であり、④式により相似率を計算すると次の結果を得る。

x_r	h_r	a	V_r	t_r	Q_r	n_r
100	20	5	4.47	223.6	894.4	0.737

これを用いるには例えば、模型流速が 0.3 m/s であつた場合、現地流速は $0.3 \times 4.47 = 1.34 \text{ m/s}$ に相当すると

考えるのである。以下本報告書では特に断わらない限り水理量は現地に換算したものをを用いることにする。

(3) 粗度係数について

問題は粗度係数 n についてであるが、これは望むような値に模型をつくることは一般に困難であるので、我々は次のような方法を用いた。

①式において時間変化を考えないいわゆる不等流の場合には

$$-i + \frac{dh}{dx} + \frac{1}{2g} \frac{dV^2}{dx} + i_f = 0$$

となる。ここで水位 H を導入し、かつ i_f に対しては②式を用いると

$$\frac{d}{dx} \left(H + \frac{V^2}{2g} \right) = - \frac{n^2 V^2}{R^4/3} \dots\dots\dots ⑤$$

を得る。現地の粗度係数はある流量に対して水位 H を与えるような n の値として求められている。あるいは想定されているから模型においてもその水位流量に対して⑤式を満たすような n の値を得ればよい。 n は河床面の粗さを変えれば変化することは知られているので模型河床面上に適当な大きさの小石を並べて水位を測り、⑤式により n を逆算し期待する n の値を得るまで小石を並べ変えてあるいはその数を増減して河床面の粗さを変えてやるのである。この作業は普通固定床模型における粗度検証実験といわれるものである。

(4) 検証実験

現在、利根川下流域で適当なる粗度係数の値と考えられているのは次表のようである。

表 - 1 利根川粗度係数

区 間	n
— 1.0 k ~ 3.0 k	0.030
3.0 ~ 19.0	0.018
19.0 ~ 43.0	0.020
43.0 ~ 59.0	0.025
59.0 ~ 79.0	0.027

※ 関東地建 利根川河口堤調査報告書(1)より

計画断面に対してさしあたりこの値が想定されている。よつて我々の実験でも出来る限りこの値に合わせようとした。

粗度つけ用材料としては1号砕石(径7~9cm)を適当なる間隔で河床にしきつめる。現段階で最も適当であると考へた配置は前実験(41年度堤操作実験)で得ているので今回は検証実験としての再実験は行わなかつた。

3. 実験方法

(1) あらまし

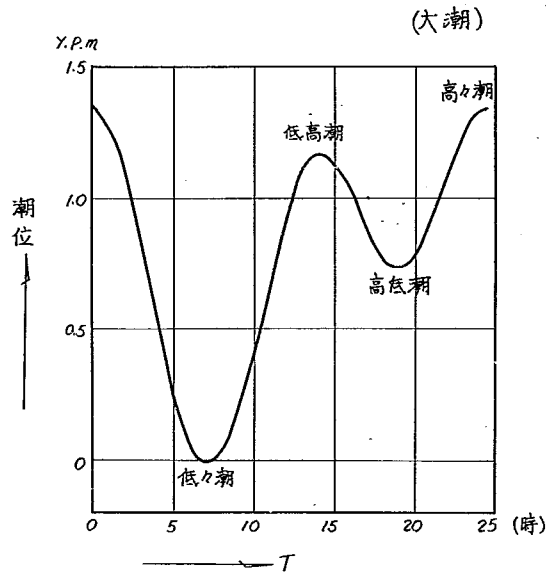
まず、模型上流端より固有流量として所定の一定流量 $50 \text{ m}^3/\text{s}$ または $90 \text{ m}^3/\text{s}$ を与え、河口堤上流域の水位は堤より150m上流の地点でY.P.1.10m(不定流計算結果によると最高水位がY.P.1.10m程度であつたので我々の場合、初期条件として仮定しなければならないのでこの値をとつた)に保つておく。次に外海にて図-2に示す潮位波形を与え、図-3に示す堤下流側の潮位変化と堤上流側の水位との相対関係により所定のゲート操作を行なう。これを3.5日分連続して行なうとともに時々刻々の各点水位変化および堤付近の流速を測定しかつ流れを観察する。

(2) 潮 位

図-1.2に示す模型下流端の、海域に相当する潮位発生プールにおいてしかるべき潮位波形をつくり出す。その方法は既に述べたように、潮位を上げるときはプールに通じているパイプのバルブを開けて注水し、潮位を下げるときはプール周囲に配置されているフラップゲートをたおして排水することにより行なう。操作はすべて電動でありスイッチにより行える。潮位測定点は一の島灯台の外側(外海)とする。実験に用いた潮位曲線は大潮であり図-2に示すように1日の周期が24時間30分のものである。

実験は潮汐1日分だけでは実験開始時の初期条件の影響が残り、現象が周期的にならないので3.5日分連続して行ない、安定水位や流量を計るときは出来るだけ実験開始後時間のたつたときのデーターを用いた。

図-2 潮位波形



(3) 堰 操 作

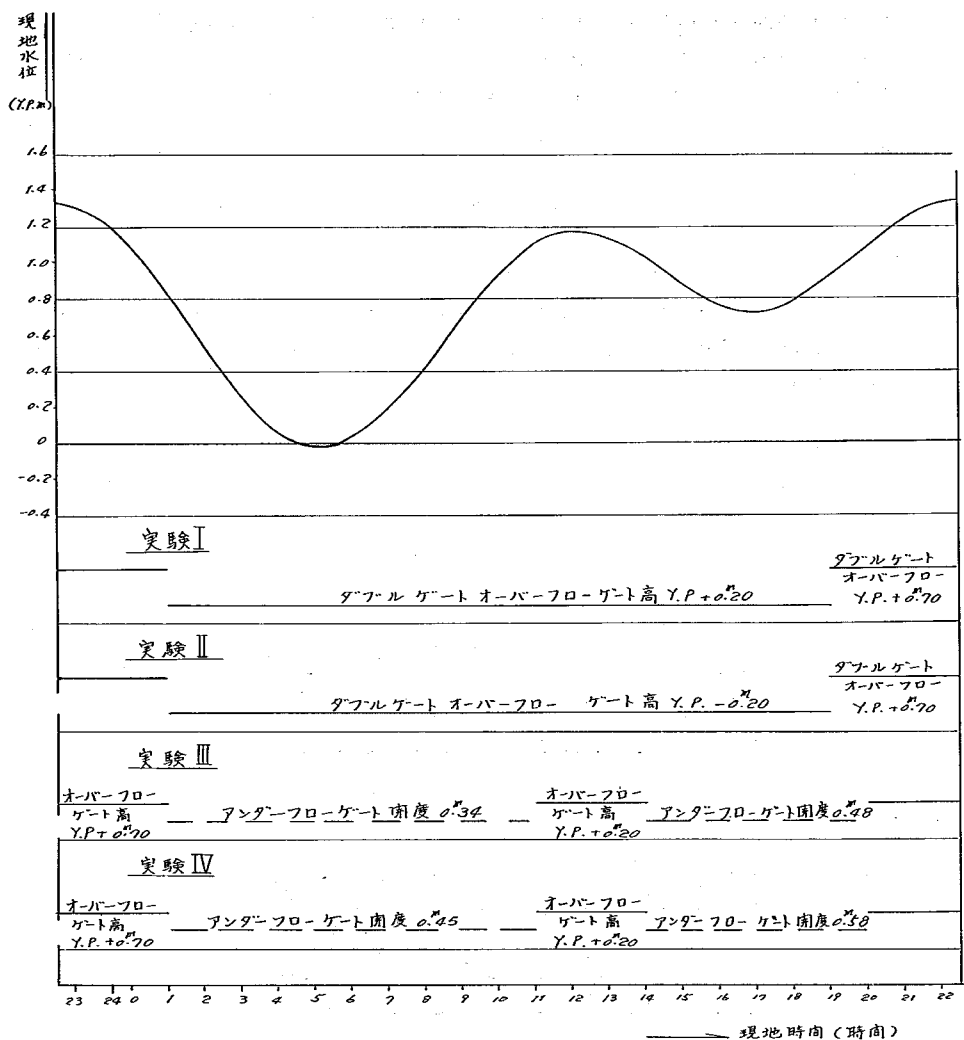
堰操作方式は大別すると、ダブルゲートオーバーフローのみによる堰操作方式と、順流時1、3、5、7、9号ゲートアンダーフロー逆流時ダブルゲートオーバーフローの堰操作方式の2種について行つた。

a) ダブルゲートオーバーフローのみの堰操作方式については高々潮から低々潮への退潮時(潮位が満潮から干潮へ移つていくとき)堰下流水位と堰上流水位が等しくなつたとき、ダブルゲートを所定の高さ $Y.P + 0.2 m$ ($Q = 50 m^3/s$)、 $Y.P - 0.2 m$ ($Q = 90 m^3/s$) に設備する。この状態で堰下流の潮位変化のまゝに水はダブルゲート上を順流あるいは逆流で越流させるが高々潮時のみはダブルゲート高を $Y.P + 0.70 m$ に操作する(これは潮位が干潮から満潮へ増加して行く漲潮時の堰上下流水位が等しくなつたときダブルゲート高 $Y.P + 0.2 m$ あるいは $Y.P - 0.2 m$ からダブルゲート高 $Y.P + 0.70 m$ に操作する)。

b) 順流時アンダーフロー逆流時ダブルゲートオーバーフローの堰操作方式の場合は低々潮時および高低潮時の順流時に1、3、5、7、9号のゲートを所定の開度で落り流出させ、逆流時には高々潮時ダブルゲート高 $Y.P + 0.70 m$ 、低高潮時ダブルゲート $Y.P + 0.20 m$ でオーバーフローさせる。この堰操作はダブルゲートオーバーフローのみによる操作方式と同じように退潮時あるいは漲潮時、堰上下流水位が等しくなつたとき行ふ。

実験に当つては以上の堰操作をくり返し3.5日分続ける。なお順流時アンダーフローの場合には規定のゲート開度(低々潮時 $0.45 m$ 、高低潮時 $0.58 m$)で実験を行つた結果堰上流側水位が不定流計算結果の水位より約 $20 cm$ 低くなり3.5日分行つても堰上流側水位が安定せず、更に低くなると思われたのでゲート開度を少なくし(低々潮時 $0.34 m$ 、高低潮時 $0.48 m$)同様の実験を行つた。以上の堰操作方式と潮汐の関係を図示すると図-3、図-4のようになる。

図-3 堰操作方式と潮位波形関係図



(4) 水位測定

水位測定は堰操作に伴う各地点の水位変化を把握するためと、堰からの放流量、逆流量を計算するために行なったものである。水位は堰の影響範囲全区間にわたって測ることとしたので検討の結果、測定点を次のように選定した。

6 6.5 k 4 5.0 k 2 5.0 k 2 0.0 k 1 9.0 k 1 8.7 k 1 8.0 k (2点) 1 5.0 k 1 2.0 k
1.0 k

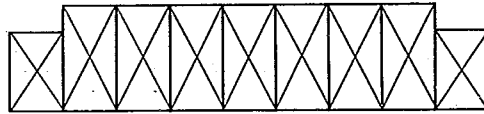
外海(潮位与点)の計12点。

測定はポイントゲージを使用し、測定時間は模型時間で1分または20秒おきとし、全測点、同時測定を行った。

(5) 流速測定

流速の測定は堰付近のみとし、図-5に示す位置5点で測定を行った。測定器具は翼界型プロベラ式流速計を使用した。これはプロベラの回転数をカウンターにより数字で読むことが出来るものであるが、実験が非定常であり流速が時々変化するので数字の変化が著しく、読みとりにくい、測定時間間隔は模型時間1分間隔で行い、30秒間の回転数を読み取った。

ダブルゲート オーバーフロー



5 内南 アンダーフロー

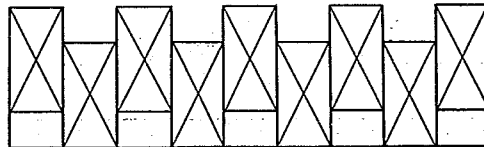
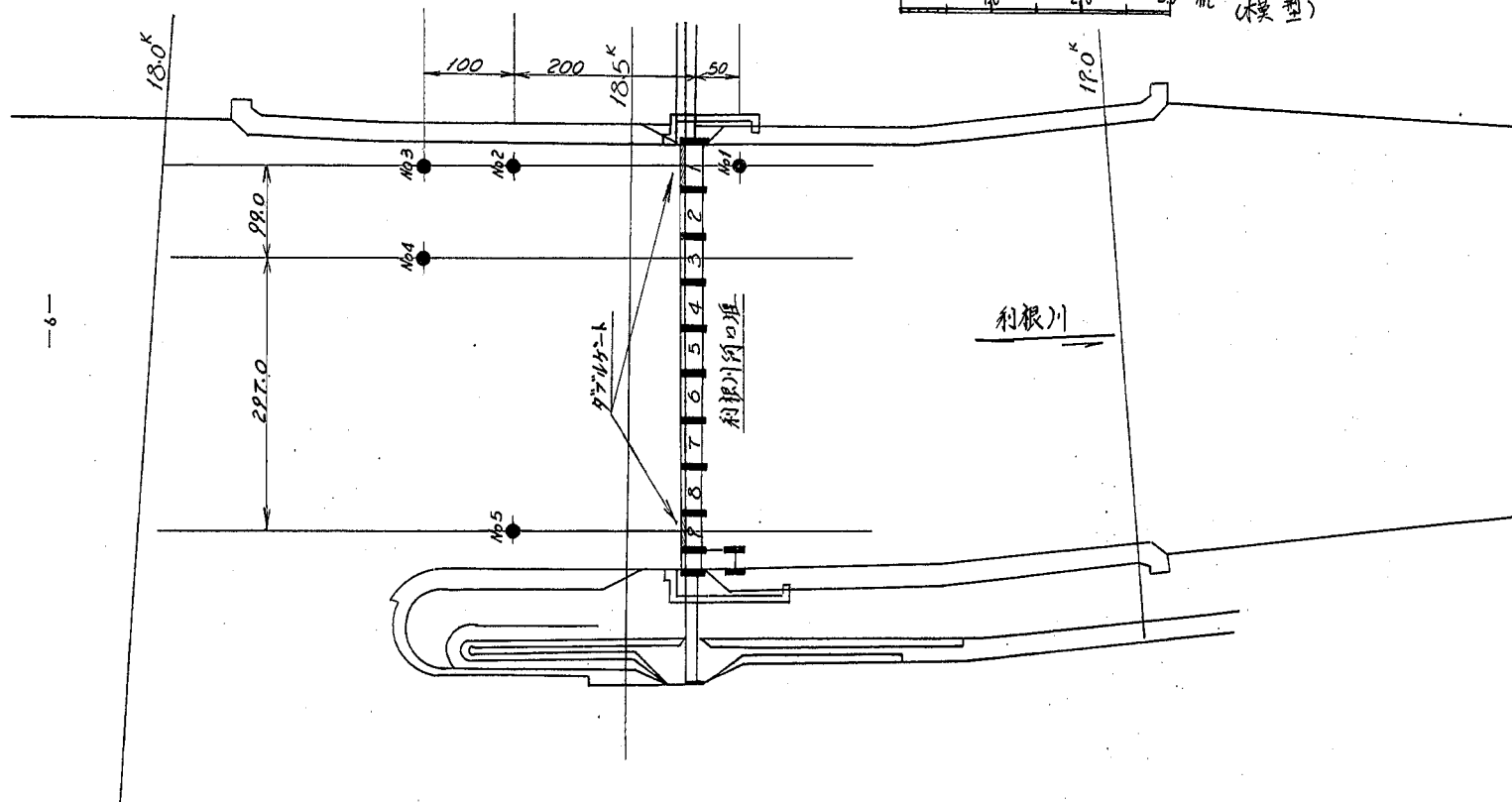
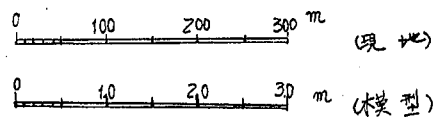


図-4 ゲート操作方式

图-5 流速测定装置位置图

● 流速测定点



(6) 流況観察

順流時には堰上流側に、逆流時には下流側に色素を流し込みゲートを落流または越流してから、どのような状態で広がり、左右岸の流れにどのような相互関係があるかを観察、スケッチした。

4. 実験ケース

実験ケースは下表のような計4ケース行つた。但し実験Ⅱは7周期行つても堰上流水位が安定せず更に低くなると思われたので、ゲート開度を少なくして同様の実験を実験Ⅲにて行つたものである。

実験Ⅱ	潮位波形	固有流量	順流時	逆流時
I	大潮	50 m^3/s	ダブルゲートオーバーフロー ゲート高 $Y_P + 0.20m$	ダブルゲートオーバーフロー ゲート高 $Y_P + 0.20 \sim 0.70m$
II	"	90	ダブルゲートオーバーフロー ゲート高 $Y_P - 0.20m$	ダブルゲートオーバーフロー ゲート高 $Y_P - 0.20 \sim 0.70m$
III	"	50	1.3.5.7.9ゲートアンダーフロー ゲート開度 0.34 $\sim$ 0.48m	ダブルゲートオーバーフロー ゲート高 $Y_P + 0.20 \sim 0.70m$
IV	"	50	1.3.5.7.9ゲートアンダーフロー ゲート開度 0.45 $\sim$ 0.58m	"

(図-3参照)

表-2 実験ケース一覧表

第 2 章 実 験 結 果

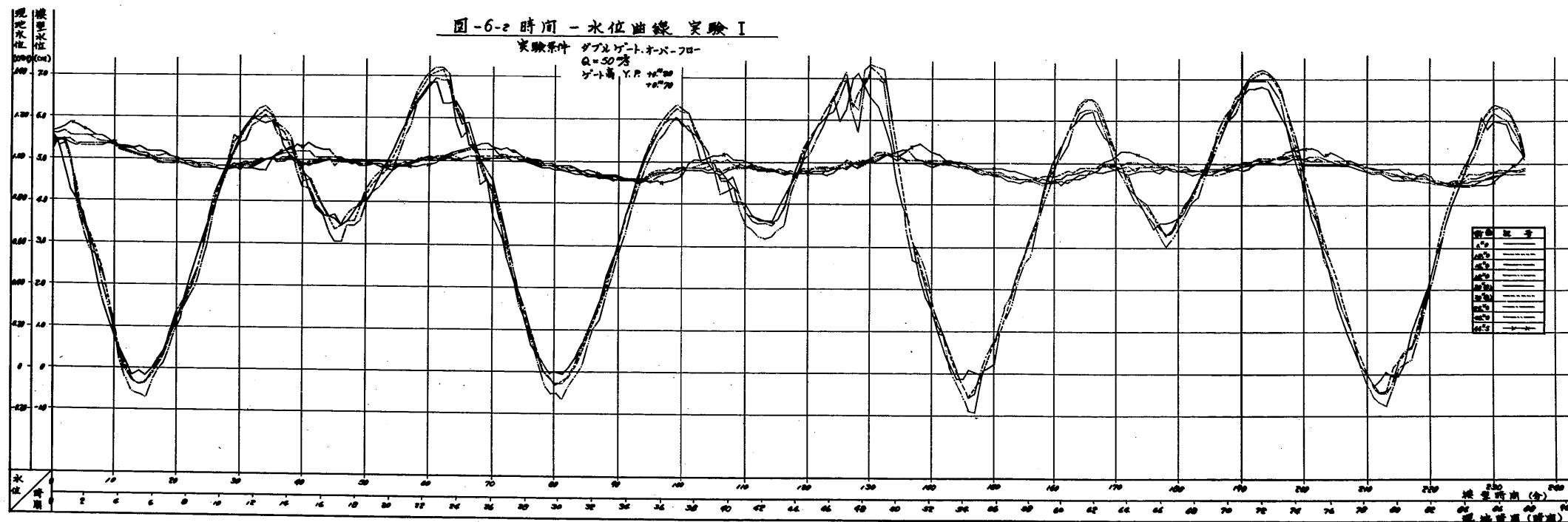
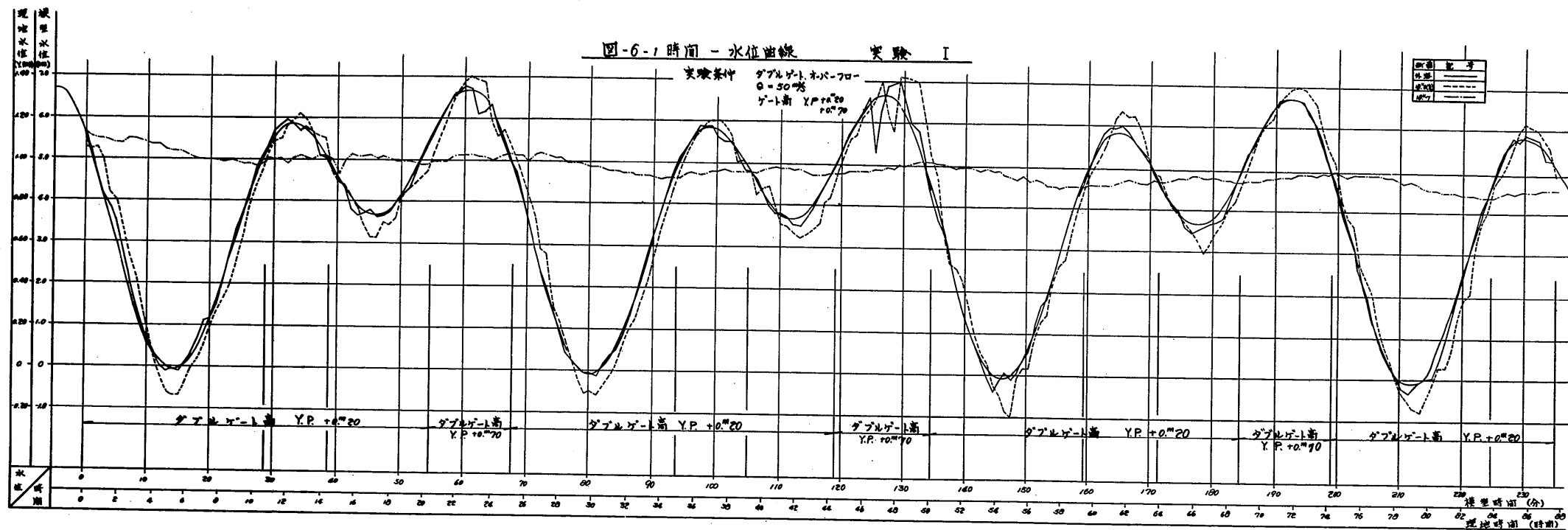
1. 水位について

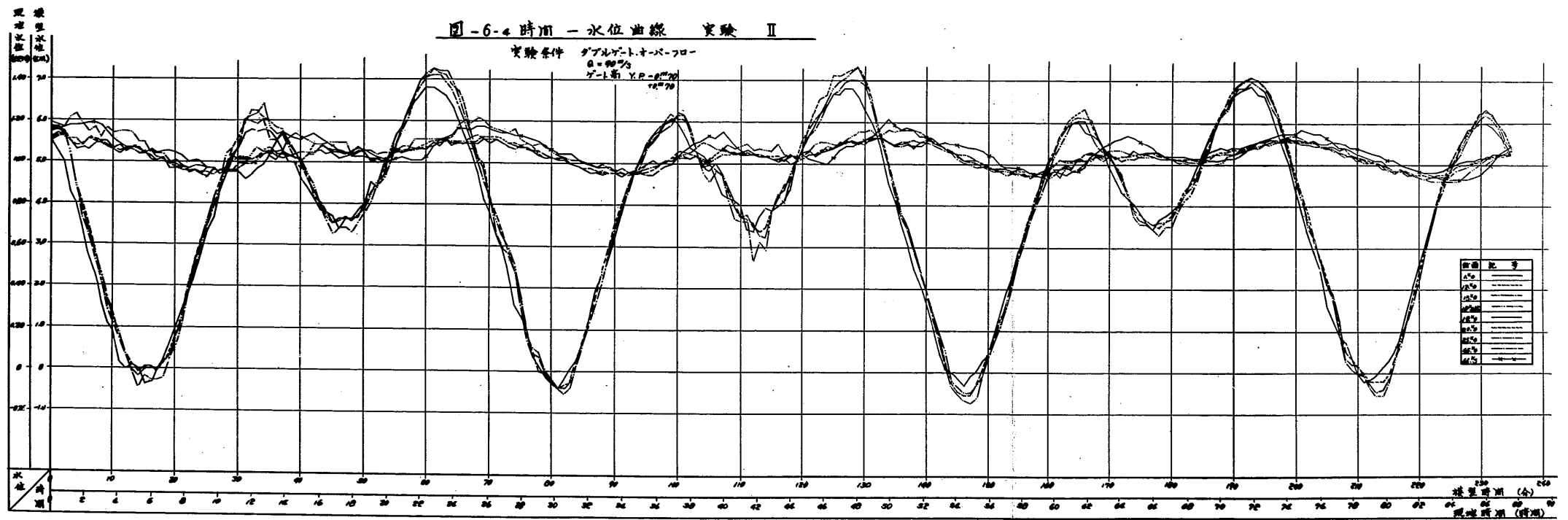
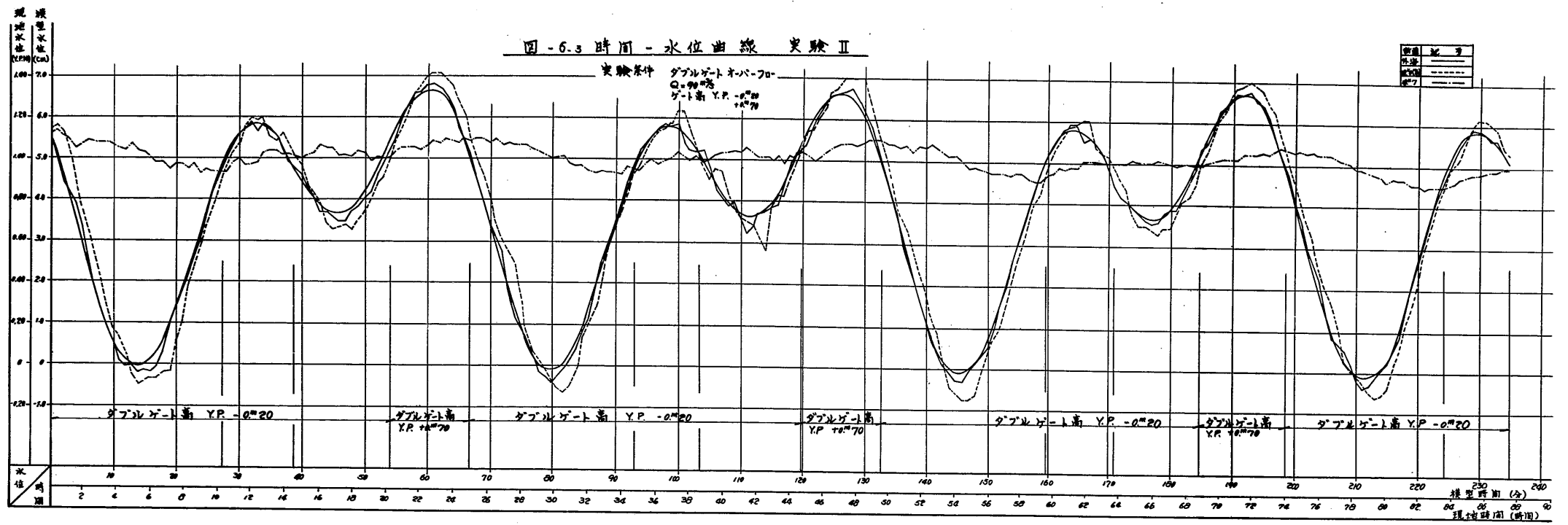
(1) 水位の時間的变化

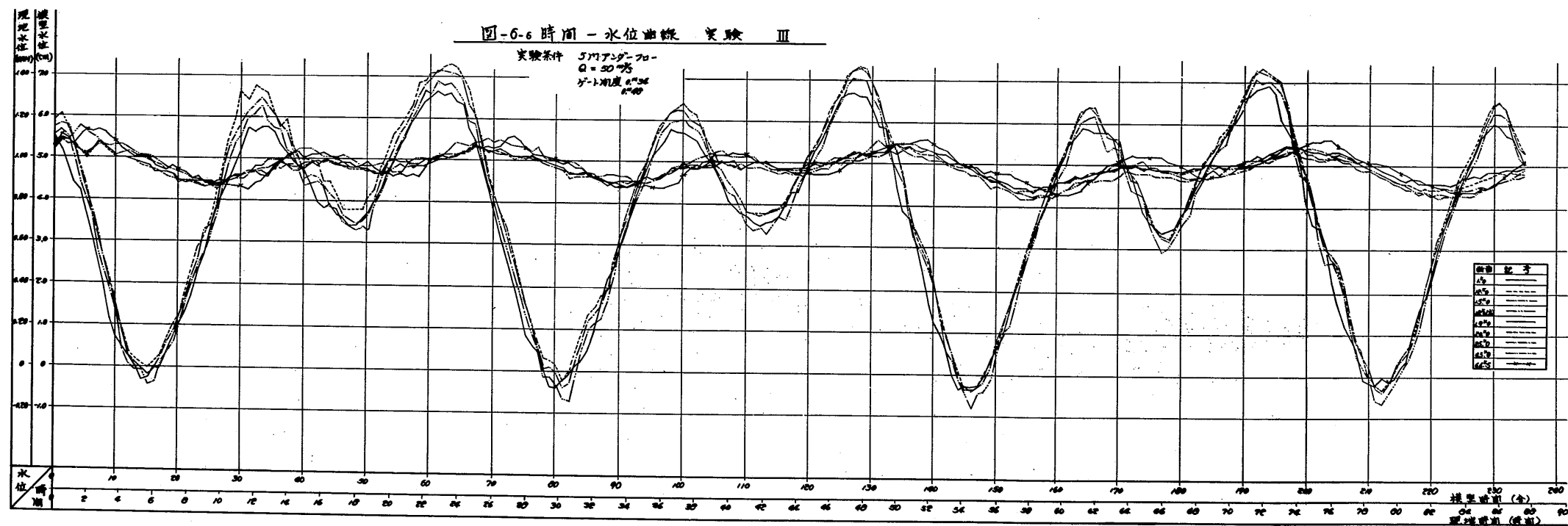
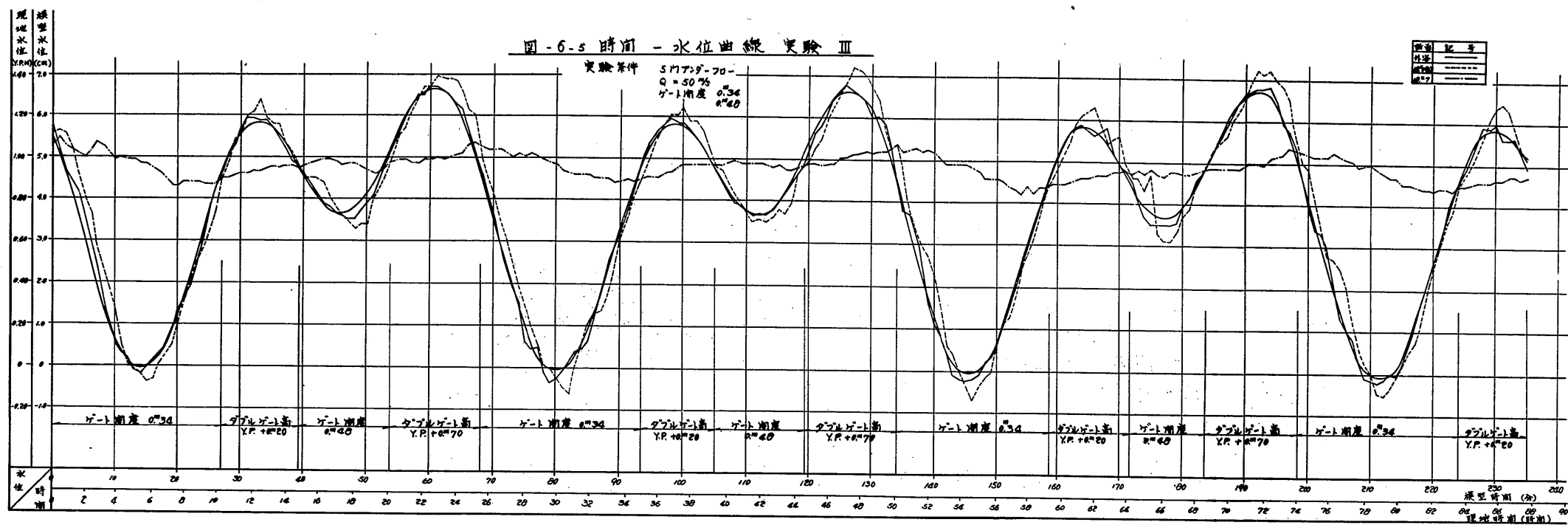
水位変化の実際の様子は図-6の時間水位曲線のようなものである。各実験を通じて一般的に言えることは次の3点である。

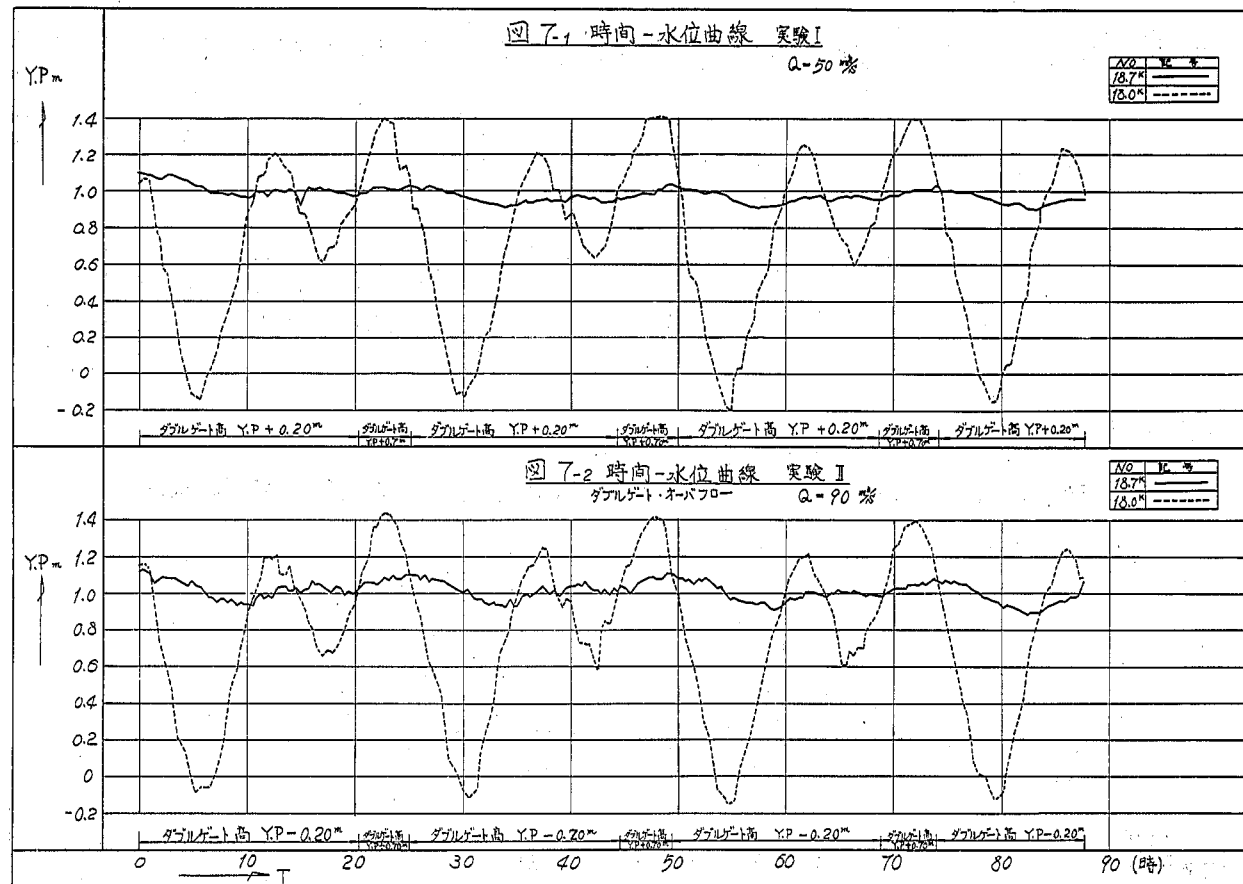
- ① 堰は、18.6kmにあるので、これを境にして時間水位曲線の形が著しく異なる。
- ② 堰下流域では時間水位曲線の形はどの地点においてもほぼ河口の潮位曲線と同じである。但し、堰直下流の18.0km地点では堰ゲートの反射をうけてか、最高水位は河口の満潮位より高くなり、最低水位は干潮位より低くなり、結果として水位振巾は河口におけるものよりやや大きくなる。
- ③ 堰上流域においても時間水位曲線の形は堰上流域のどの地点においてもほぼ同じである。

ここで資料について述べておくと図-6(6.1~6.8)は各実験ケースに対する時間水位曲線であり、図-7(7.1~7.4)は堰上下流の時間水位を対照させるため、18.0kと18.7kにおけるものを取り出して画いたものである。図-8(8-1.1~8-4.3)は各実験についての同時水位曲線をつくつたものである。









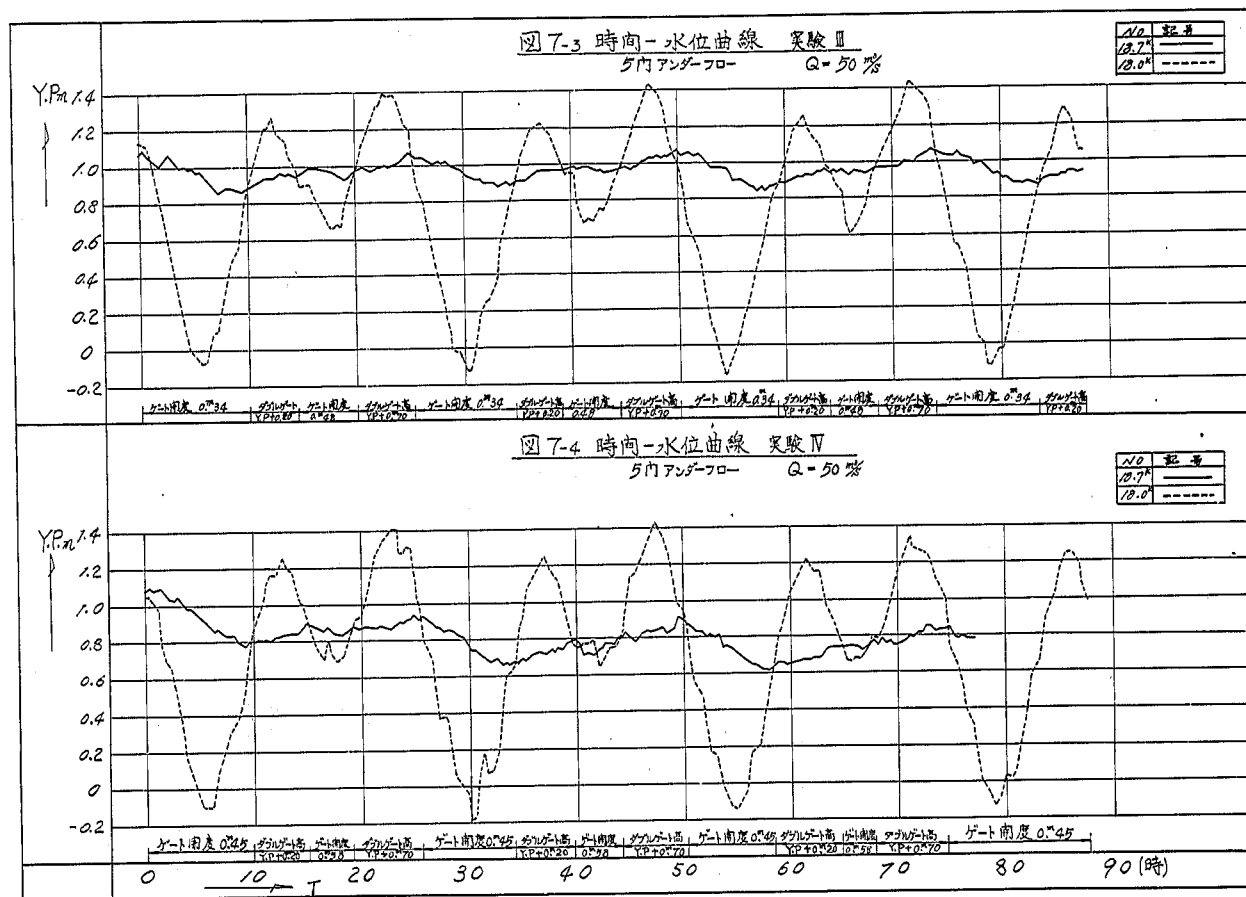


圖-8-1-1 實驗 I 同時水位時間曲線

$Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$

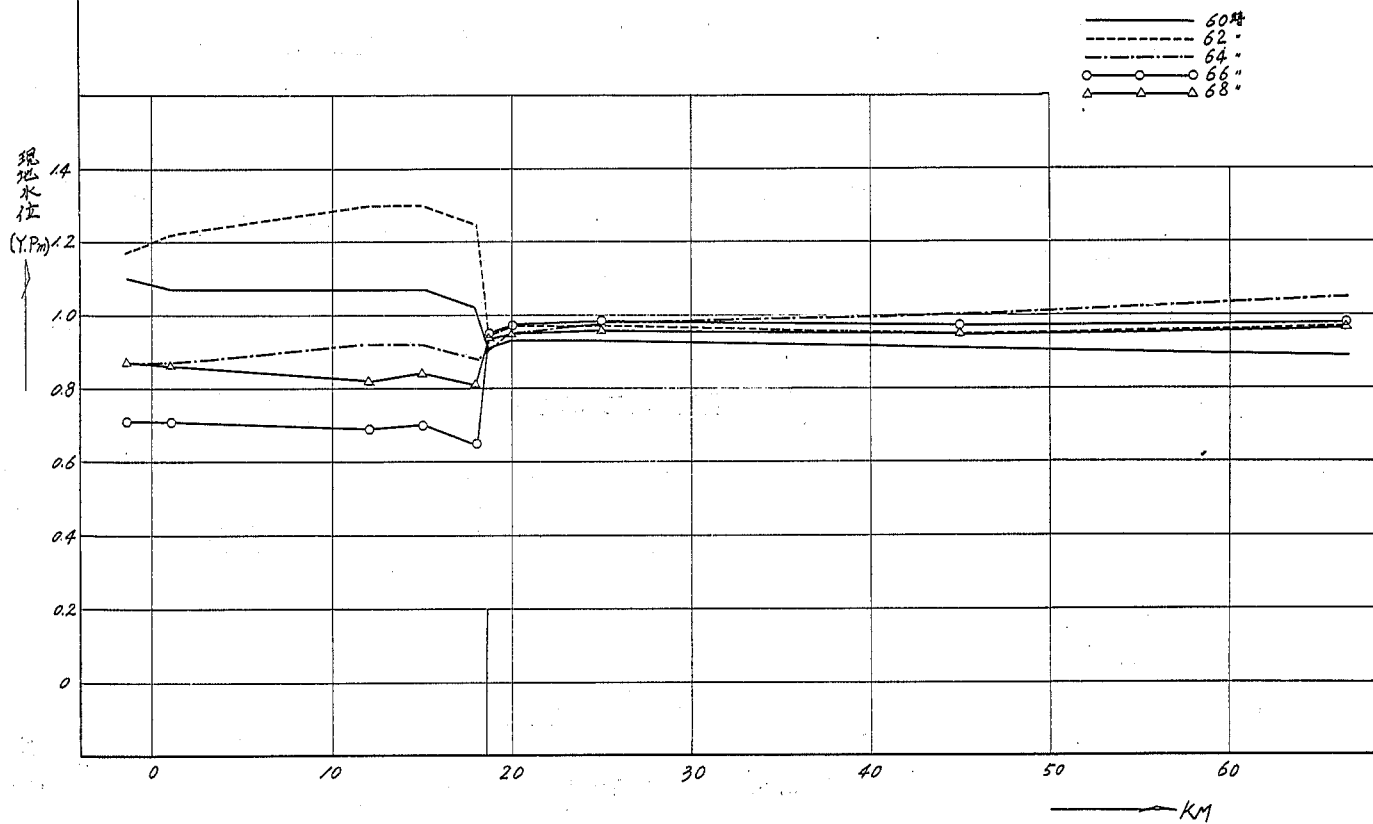


圖-8-7-2 實驗 I 同時水位時間曲線

$Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$

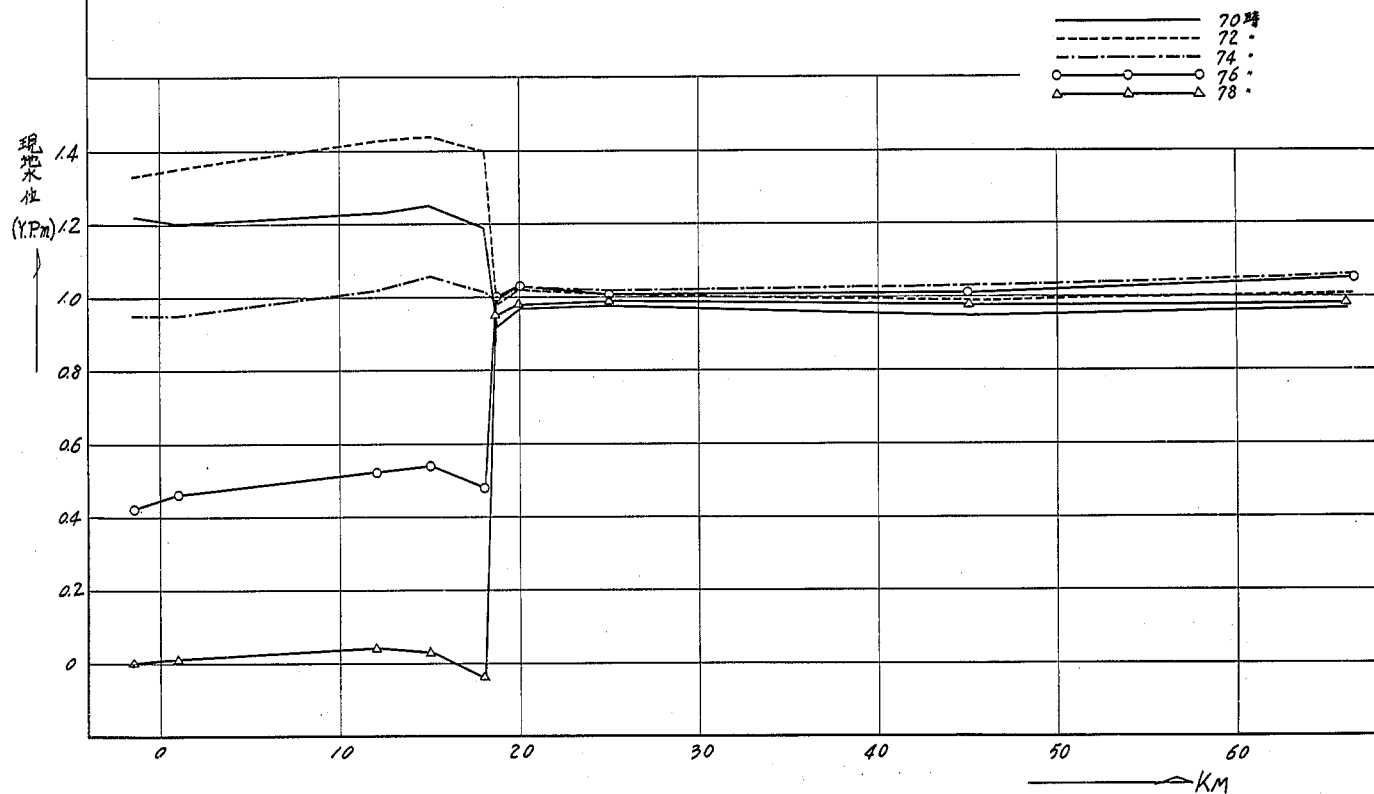


圖8-7-3 實驗 I 同時水位時間曲線

$Q = 50 \text{ 秒}$

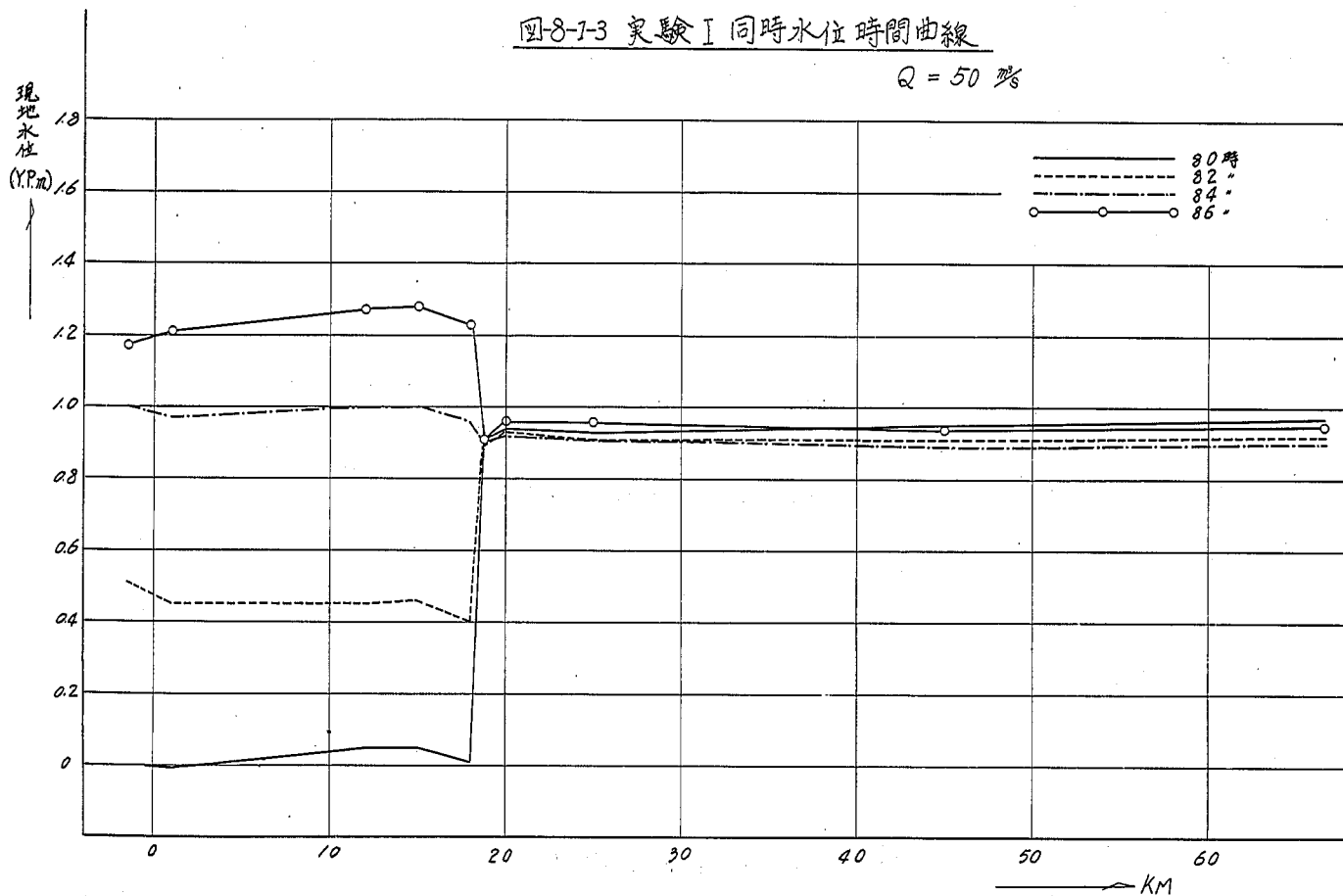


圖-8-2-1 實驗 II 同時水位時間曲線

$Q = 90 \text{ m}^3/\text{s}$

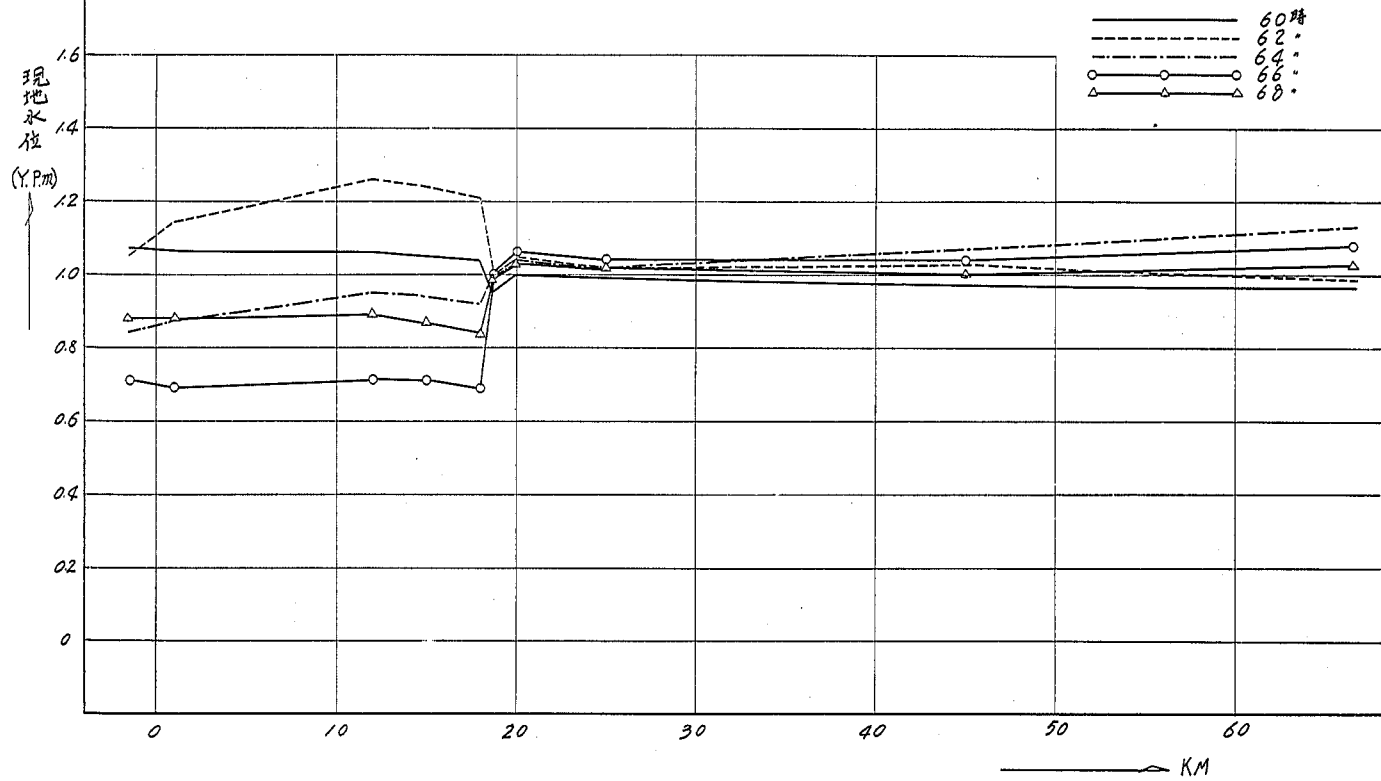


圖-8-2-2 實驗 II 同時水位時間曲線

$Q = 90 \text{ m}^3/\text{s}$

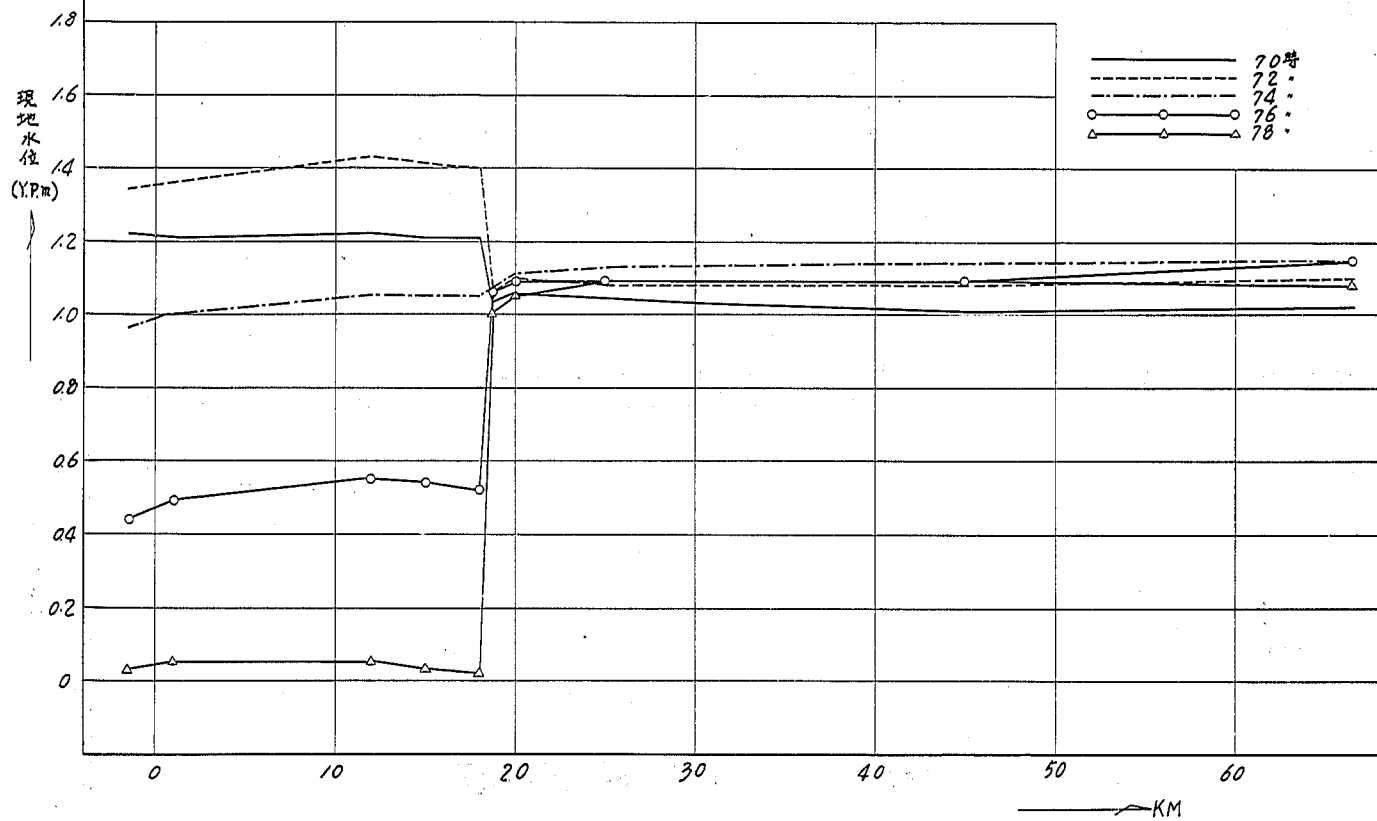


圖-8-2-3 實驗 II 同時水位時間曲線

$Q = 90 \text{ m}^3/\text{s}$

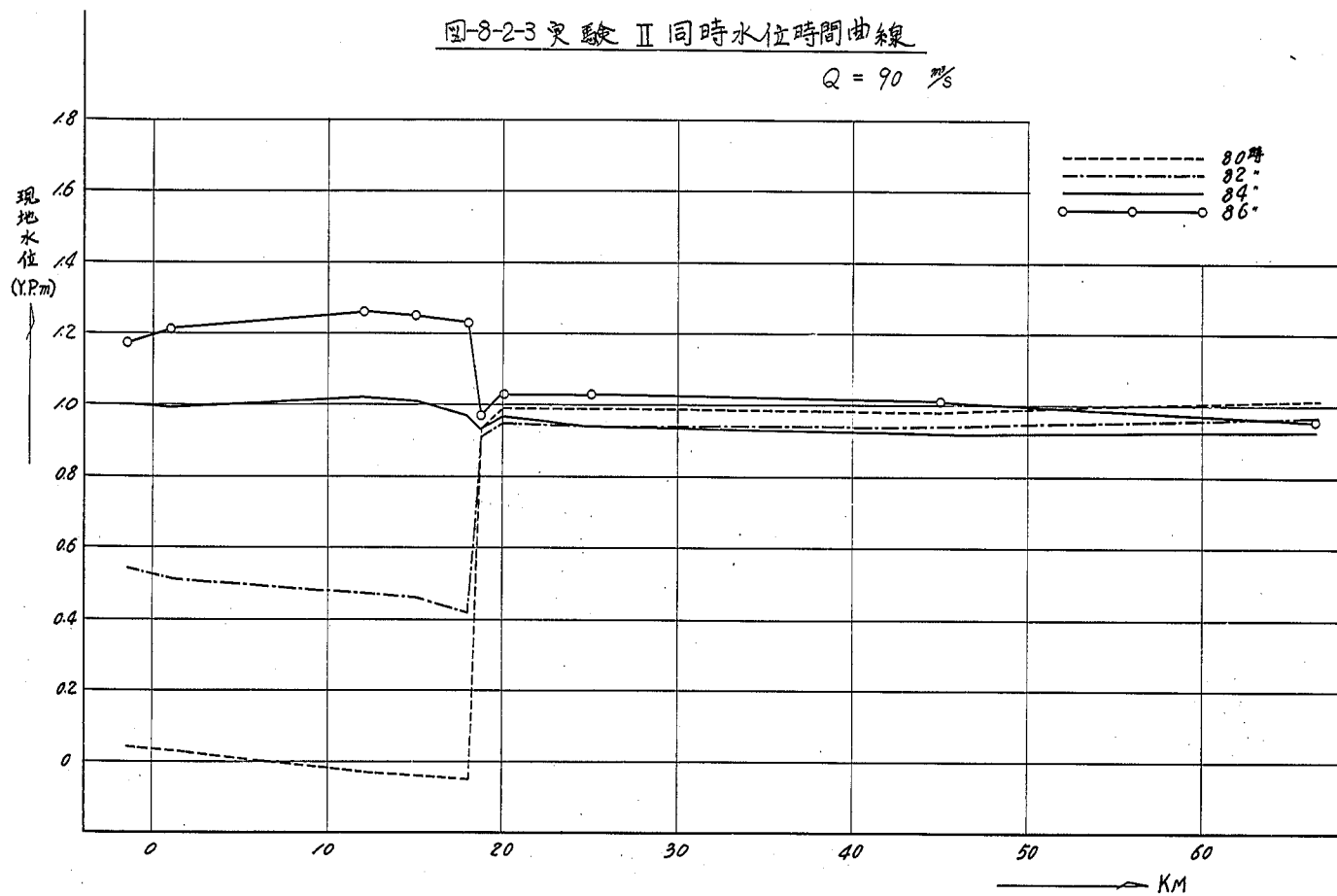


圖-8-3-1 實驗Ⅲ 同時水位時間曲線

$Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$

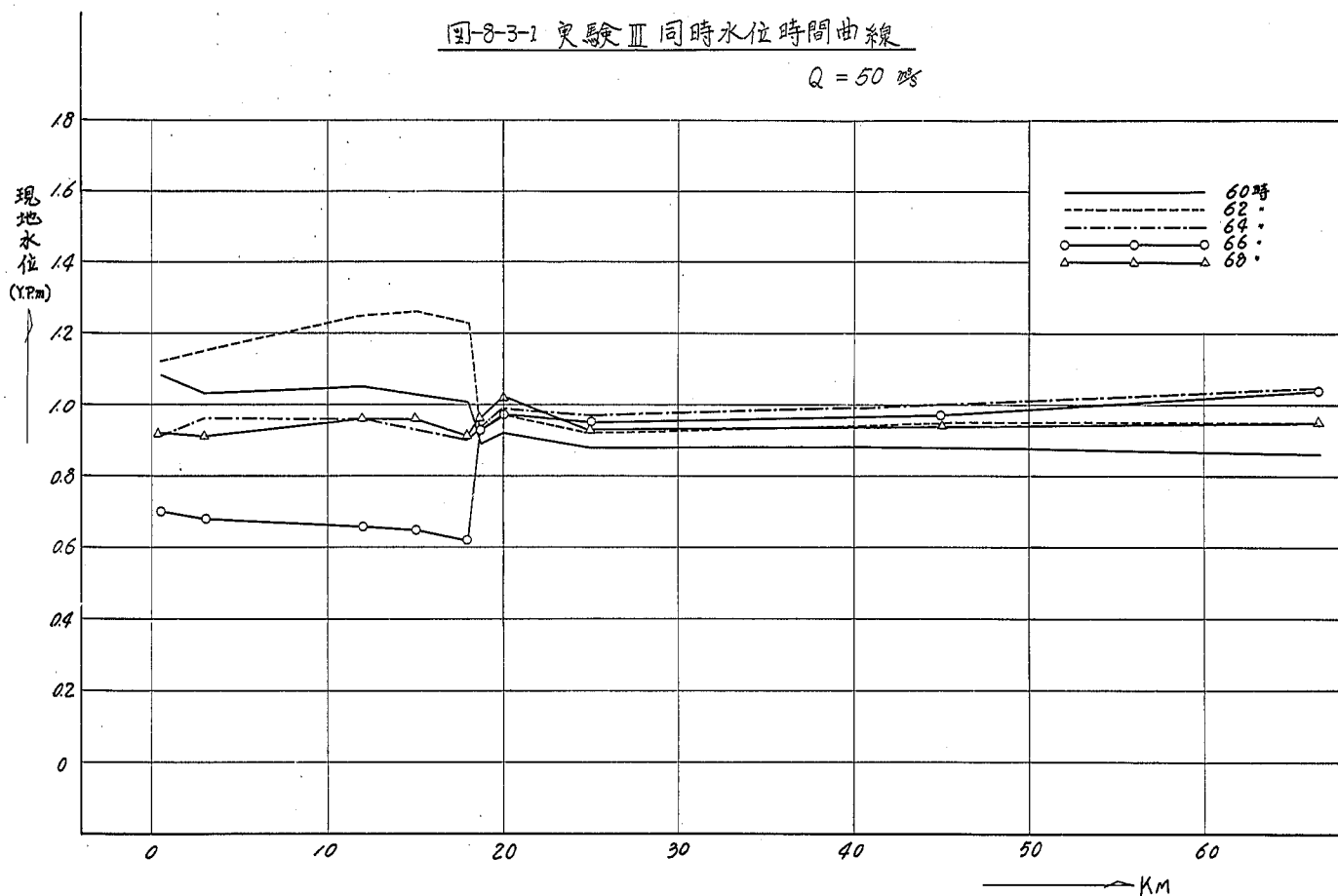


圖8-3-2 實驗 III 同時水位時間曲線

$Q = 50$ 秒

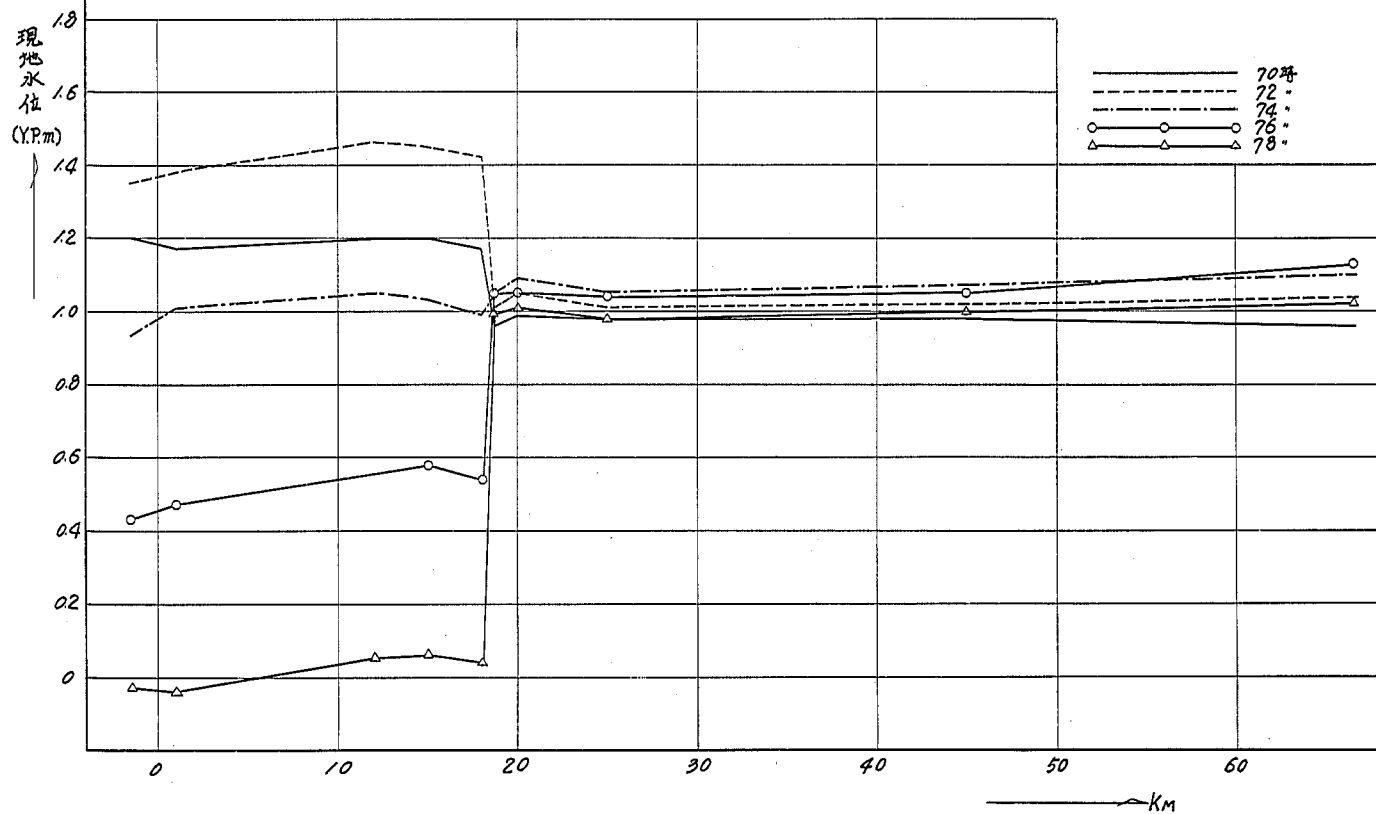


圖-8-3-3 實驗Ⅲ同時水位時間曲線

$Q = 50 \%$

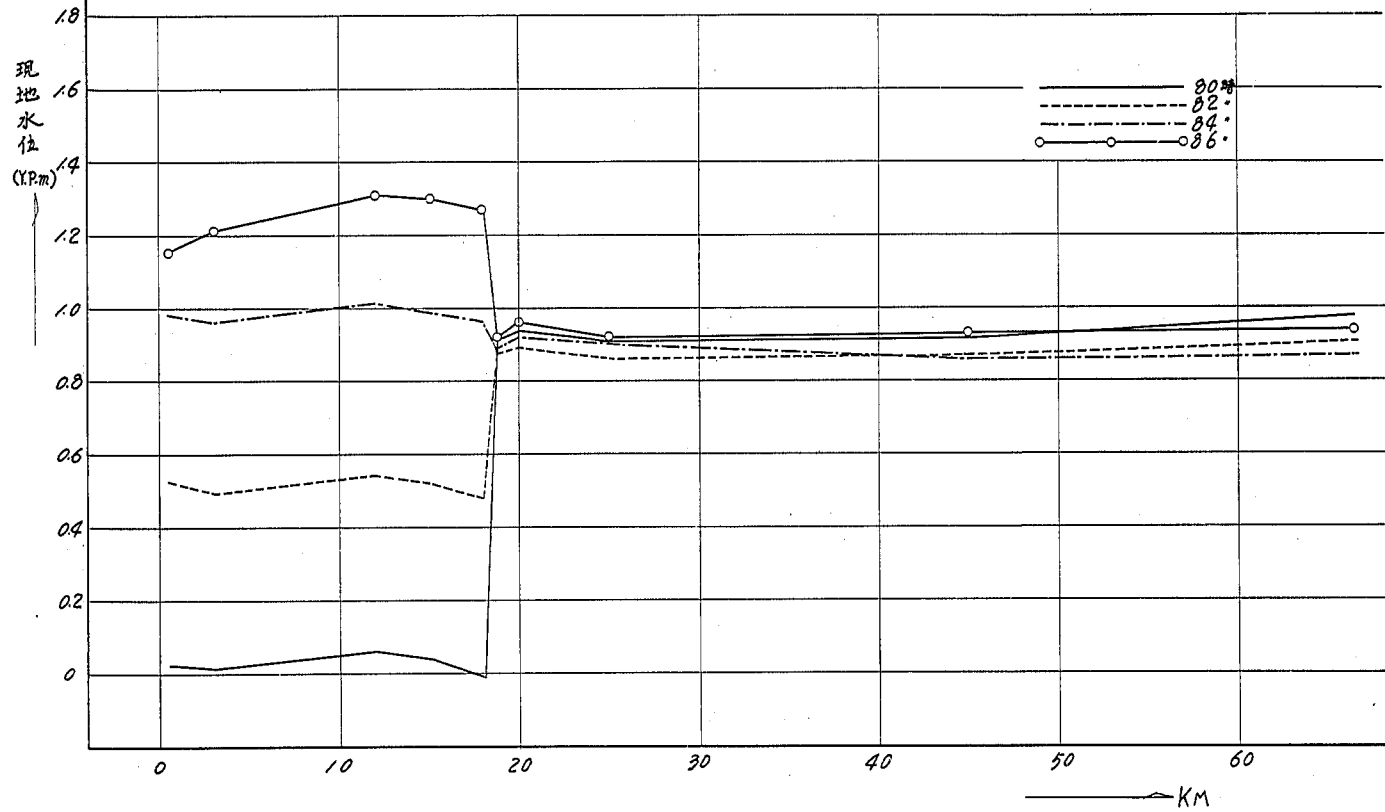


圖-8-41 實驗 IV 同時水位時間曲線

$Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$

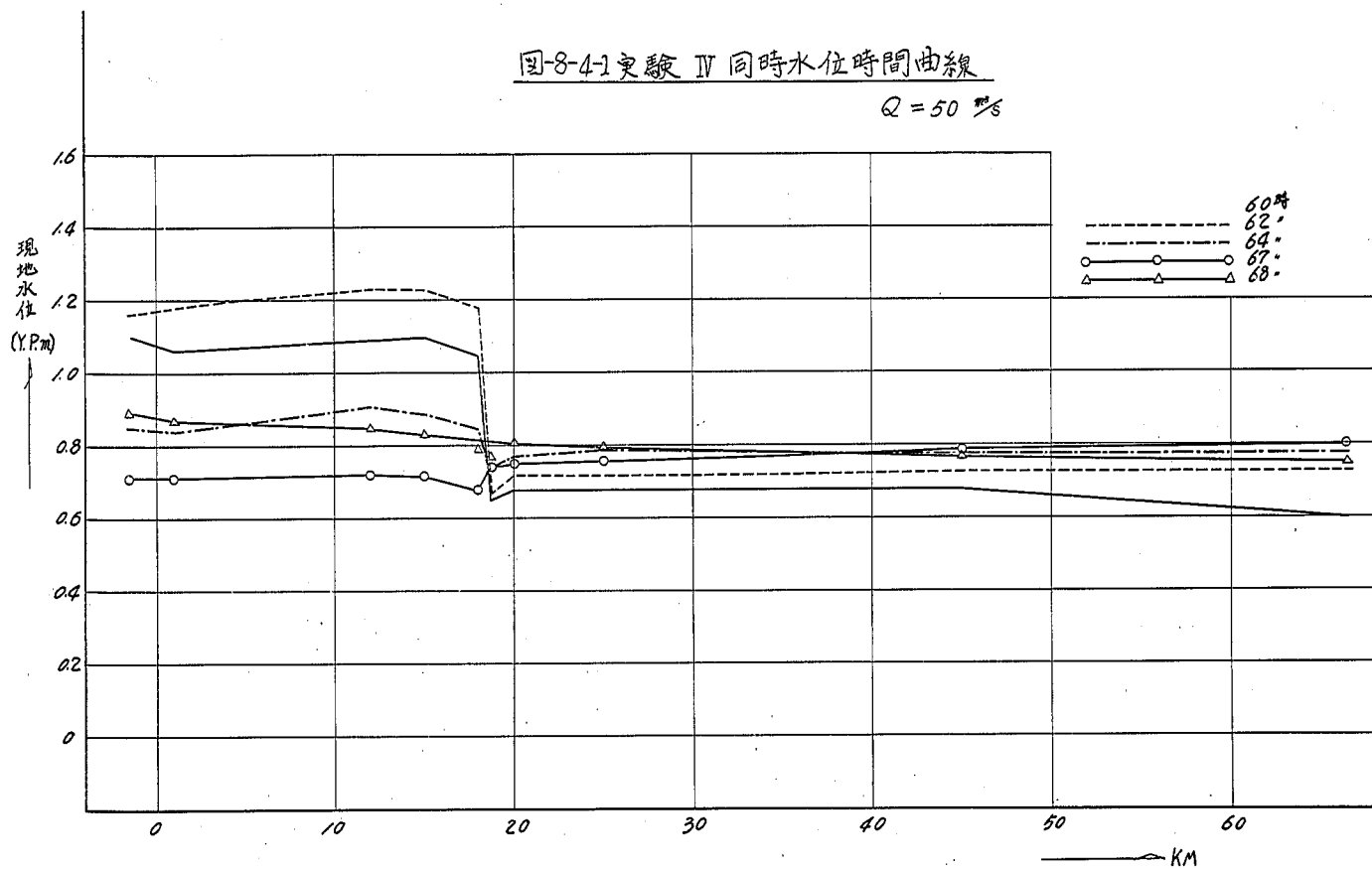


圖-8-4-2 實驗Ⅳ 同時水位時間曲線

Q-50 時

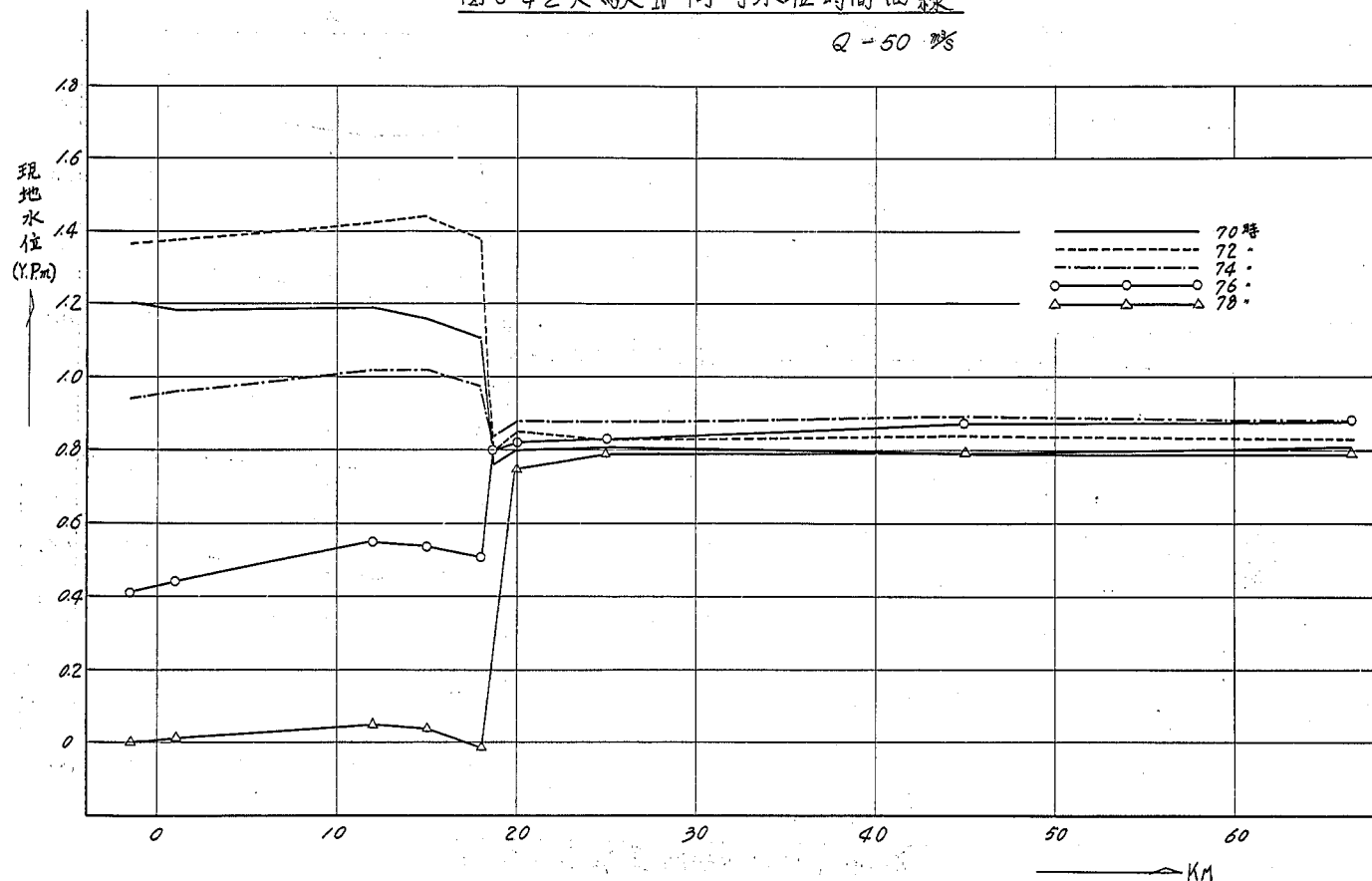
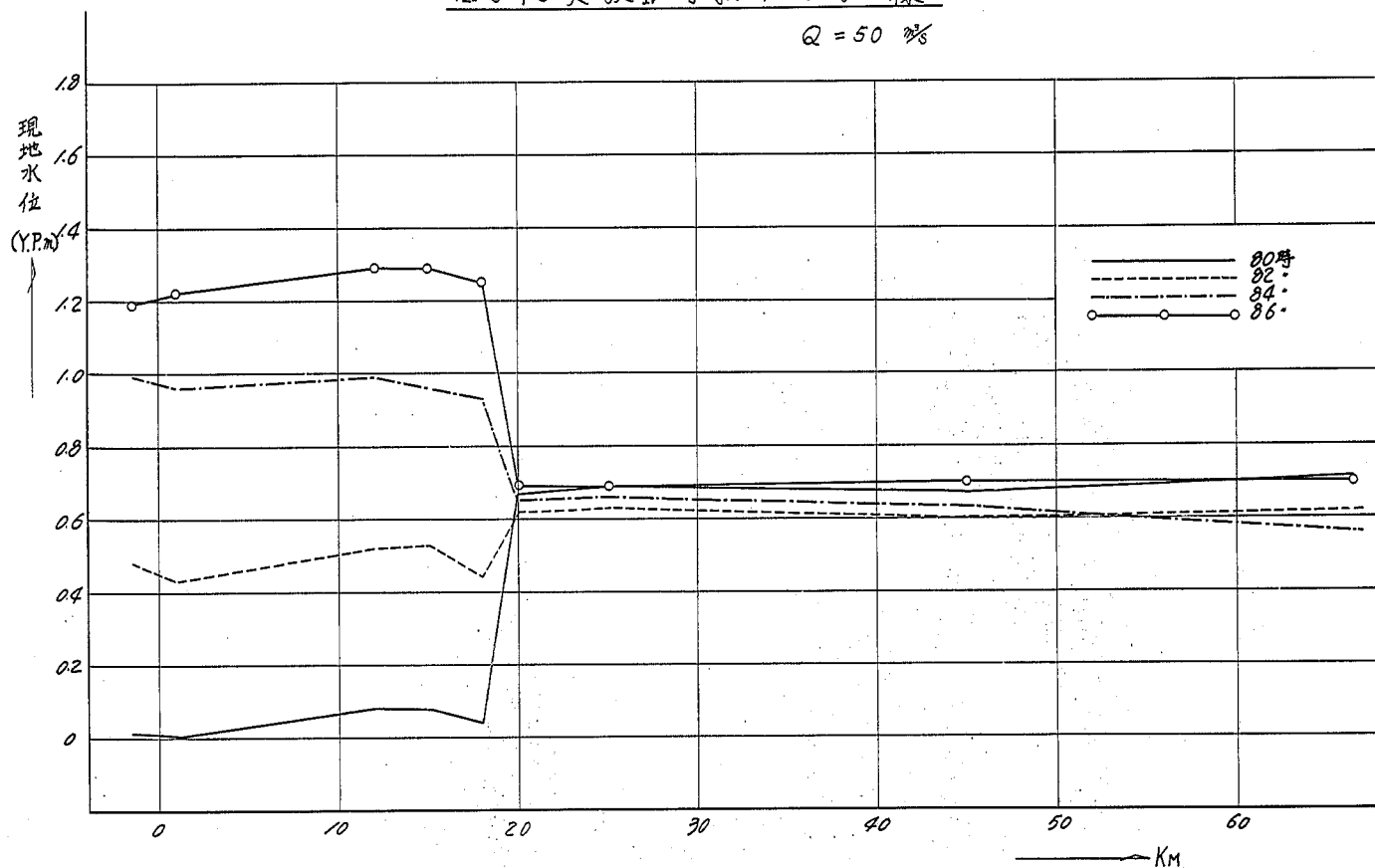


圖-8-4-3 實驗Ⅳ 同時水位時間曲線

$Q = 50 \%$



(2) 堰上流部の安定水位について

堰上流部の水位は堰下流側水位同様時々刻々変化しているが、その変化高は小さい。そこで堰上流部の平均水位をとつて見ると実験Ⅰで、 $Y.P. 0.98m$ 、実験Ⅱで $Y.P. 1.00m$ 、実験Ⅲで $Y.P. 0.94m$ 付近と思われる。(図-7参照)

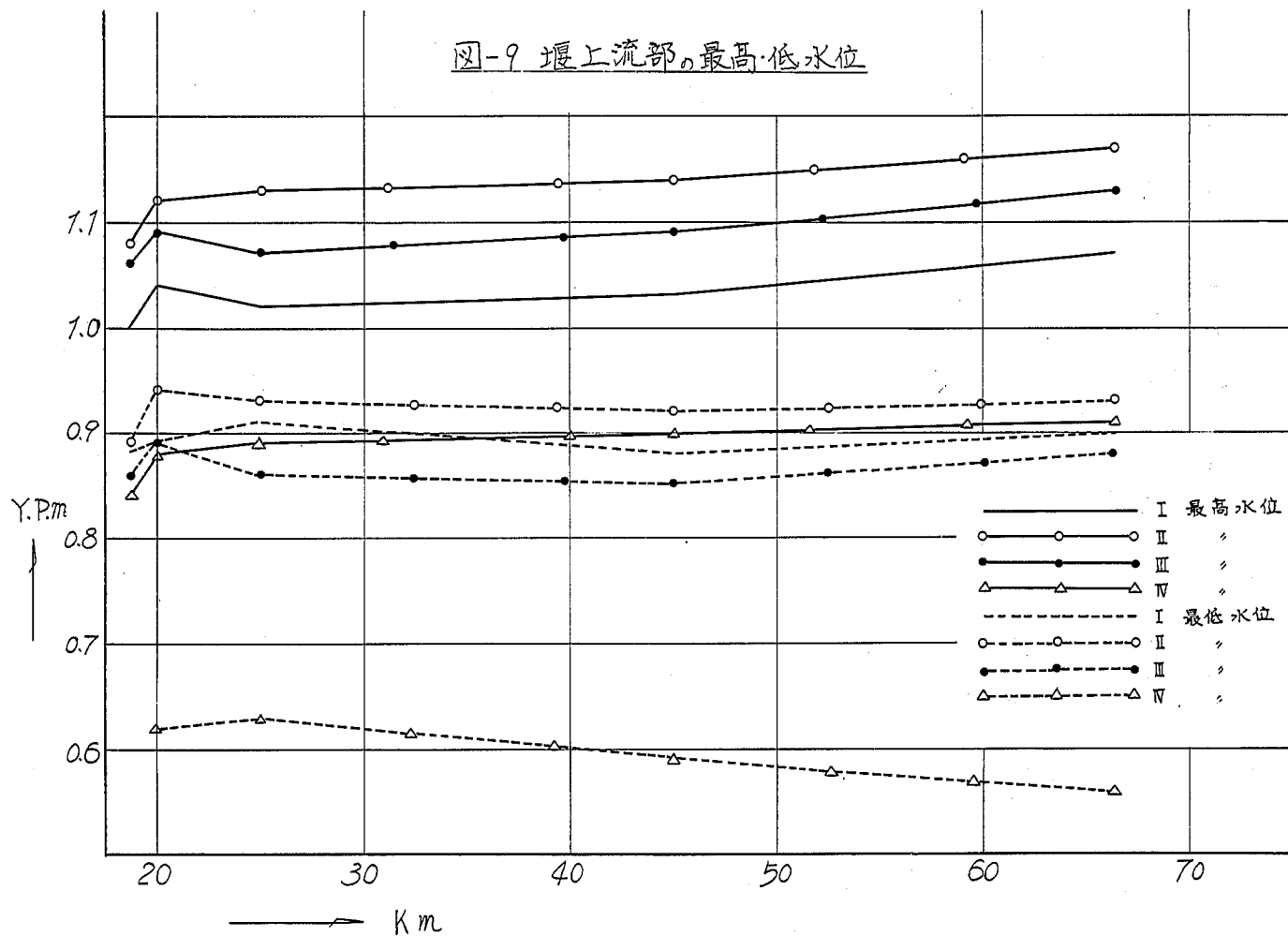
実験Ⅰ、Ⅱにおいては固有流量が実験Ⅲの方が大であるが、平均水位がほぼ同じなのはダブルゲート高の差($Y.P. + 0.2m$ と $Y.P. - 0.2m$)によるものと思われる。

※ 実験Ⅲは開度の関係で3.5日分実験を行つても水位が安定せず本文においては削除した。

(3) 堰上流部の最高水位と最低水位について

堰上流部の水位は時々刻々変化しているが、最高最低水位とも堰下流のそれよりも3時間位のズレを、生じている。図-9は各実験ケースにおける最高水位と最低水位の縦断面図であり、次表は堰上流部の最高最低水位を縦断的に平均したものである。

图-9 堰上流部の最高・低水位



実験No	固有流量	最高水位	最低水位	水位変化高
I	50 m^3/s	1.035 $Y.P.m$	0.895 $Y.P.m$	0.140 $Y.P.m$
II	90	1.140	0.930	0.210
III	50	1.090	0.860	0.230
IV	50			

表 - 3 堰上流部の最高最低水位

この表および図をみてわかることを列挙すると次のようになる。

- ① 最高水位、水位変化とも実験Ⅰが小さい。これは実験Ⅱにくらべダブレット高が高く、堰地点の順、逆流量が少ないためと思われる。(固有流量になる差も幾分ある)。
- ② 実験Ⅲは順流時5門落流であるため、最低水位が、ほかのケースにくらべて低く、水位変化も大きい。
- ③ 最高水位縦断、最低水位縦断ともほぼ水平である。

2. 流量について

(1) 流量の算出法

実験で流量を求めるには、通常断面の各点における流速分布を詳しく測定し、これを断面積に關して積分し、流量とするのであるが、本実験では、流速分布を測定していないので、これは不可能である。そこで実験で得た時間～水位曲線を用いて貯留計算を行ない、流量を求めることにした。

計算は連続の方程式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに A : 河積 Q : 流量
 t : 時間 x : 河道距離

を用いて行ふ。(1)式を差分式になおすと

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} + \frac{\Delta Q}{\Delta x} = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで貯留面積

$$F = B \cdot \Delta x$$

ここに B : 水面巾 $= f(H)$ H : 水位

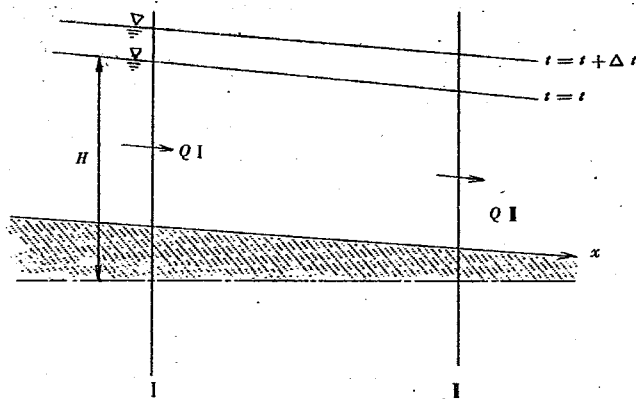
F : Δx 区間の貯留面積

を導入し、さらに $\Delta A = B \cdot \Delta H$ に注意すると

(2)式は

$$F \frac{\Delta H}{\Delta t} + \Delta Q = 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。



実際の計算式は次式による。

$$\left(\frac{\Delta H}{\Delta t}\right) I, II, t + \frac{\Delta t}{2} = \frac{1}{\Delta t} \left\{ \left(\frac{H_I + H_{II}}{2}\right) t + \Delta t - \left(\frac{H_I + H_{II}}{2}\right) t \right\} \dots\dots\dots (5)$$

$$F_{I, II, t} + \frac{\Delta t}{2} = \frac{F_{I, II, t} + F_{I, II, t + \Delta t}}{2} \dots\dots\dots (6)$$

として、これらを(4)式へ代入すると

$$\Delta Q_{I, II, t + \Delta t} = \left(-F \left(\frac{\Delta H}{\Delta t}\right)\right) I, II, t + \frac{\Delta t}{2} \dots\dots\dots (7)$$

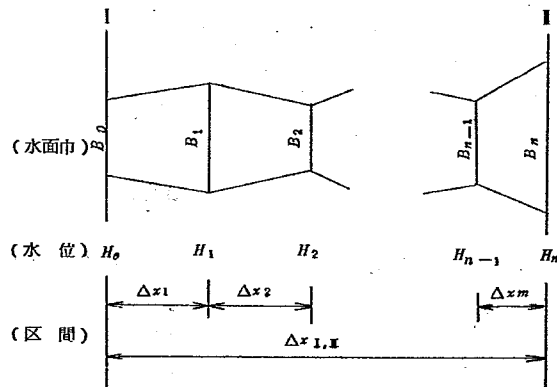
そして

$$Q_{II, t + \Delta t} = Q_{I, t + \Delta t} + \Delta Q_{I, II, t + \Delta t} \dots\dots\dots (8)$$

(8)式により、各時刻各点におけるQを計算して行く。ここにI、IIは断面の名称であるものとする。

また貯面積は次式により計算する。

$$F_{I, II} = \frac{1}{2} \{ B_0 \Delta x_1 + B_1 (\Delta x_1 + \Delta x_2) + \dots\dots\dots + B_{n-1} (\Delta x_{n-1} + \Delta x_n) + B_n \Delta x_n \} \dots\dots\dots (9)$$



前頁の説明において、計算点Ⅰ、Ⅱに使用する点としては実験における水位測点66.5km、45.0km、25.0km、18.7kmの堰上流地点のみを採用した。貯留面積を計算するに際しては0.5km毎の断面特性を原則として用い各ケースとも実験終了前の1周期24時間30分を計算した。

(2) 計算結果

各ケースの計算結果を図-10(10.1~10.4)に示す。

図-11(11.1~11.4)は堰地点水位及び流量をグラフにしたものであり、各ケースとも河口潮位が満潮のとき堰上流への逆流量は最大であり、河口干潮のとき堰下流への堰地点での順流量は最大である。

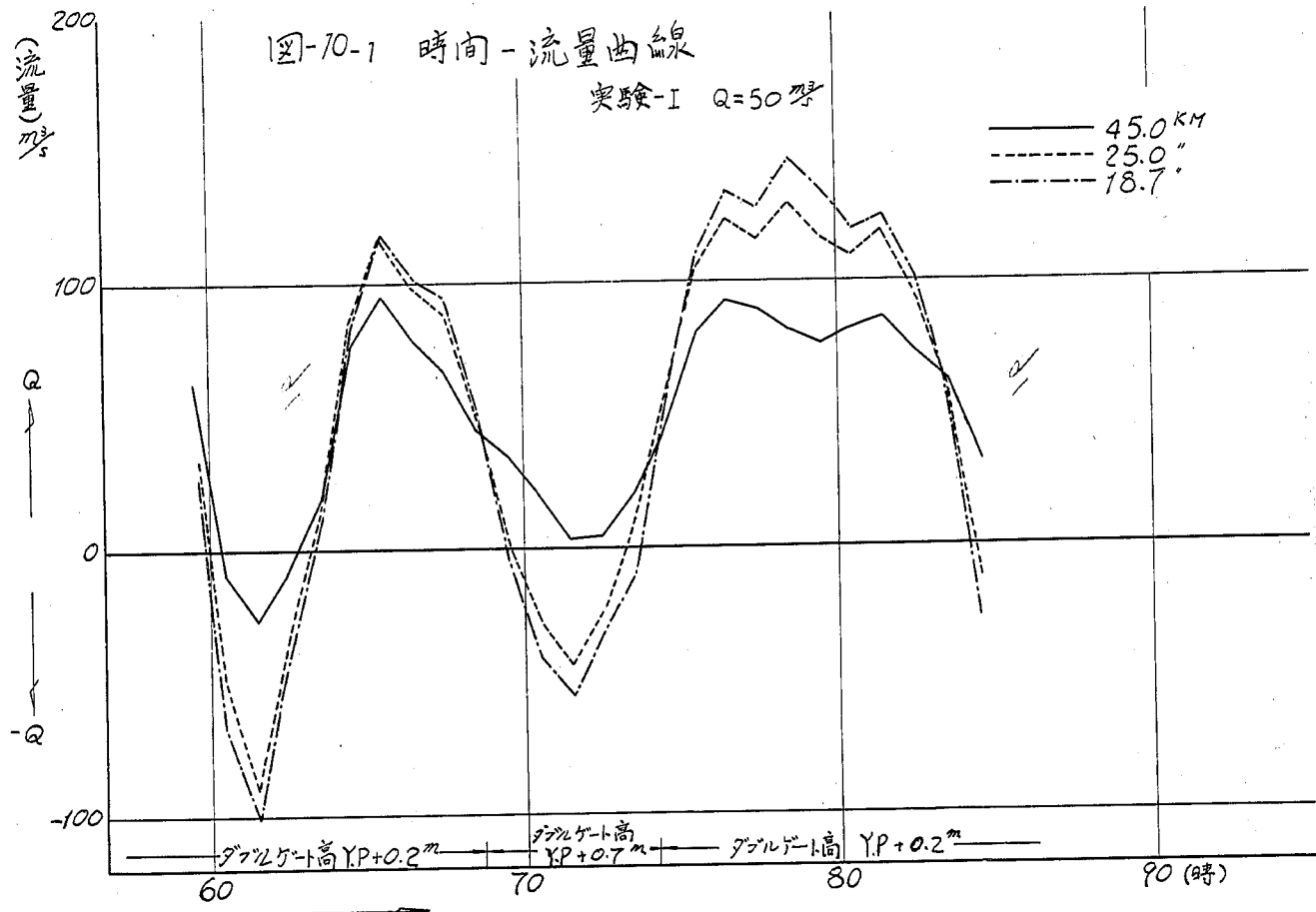
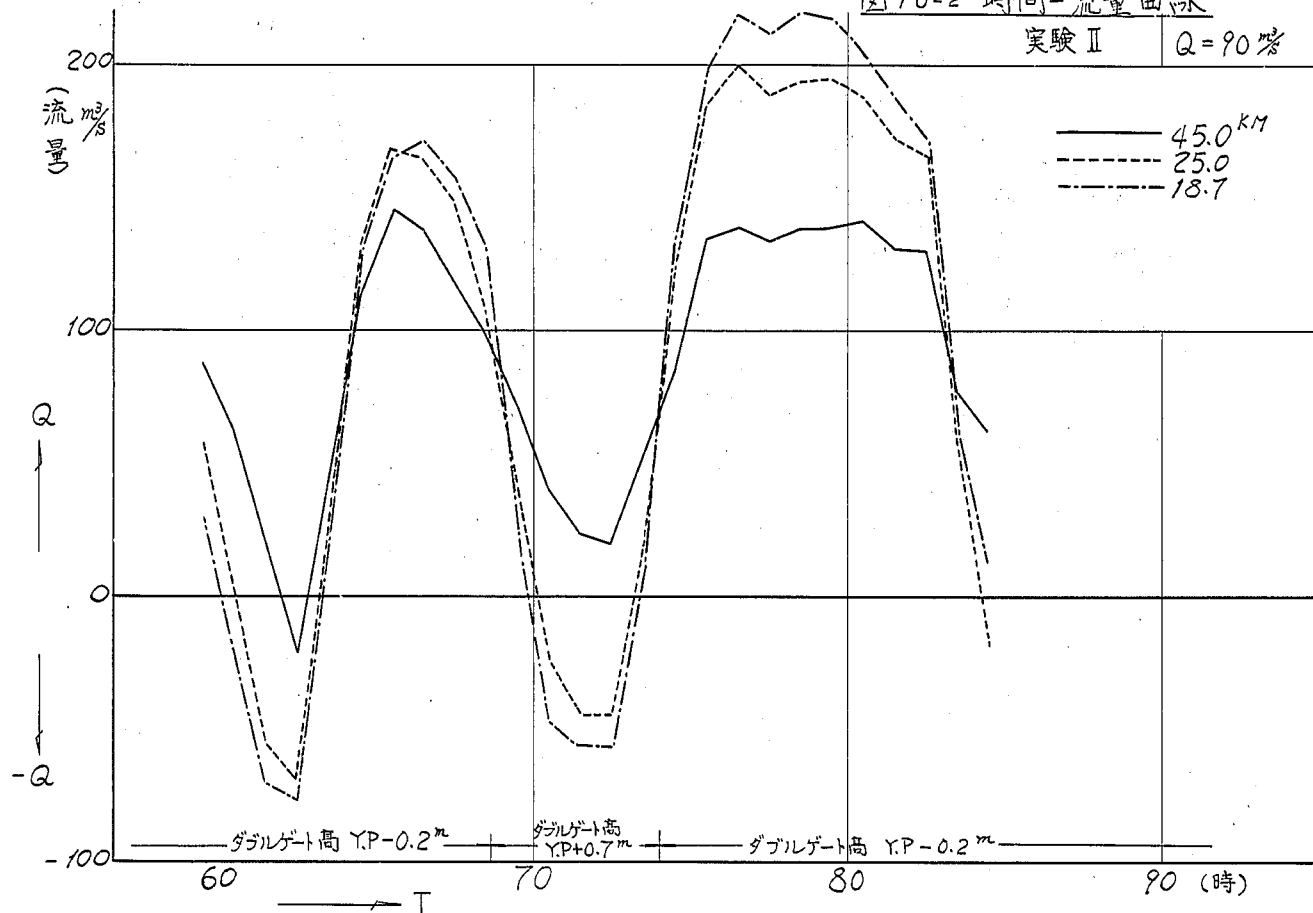
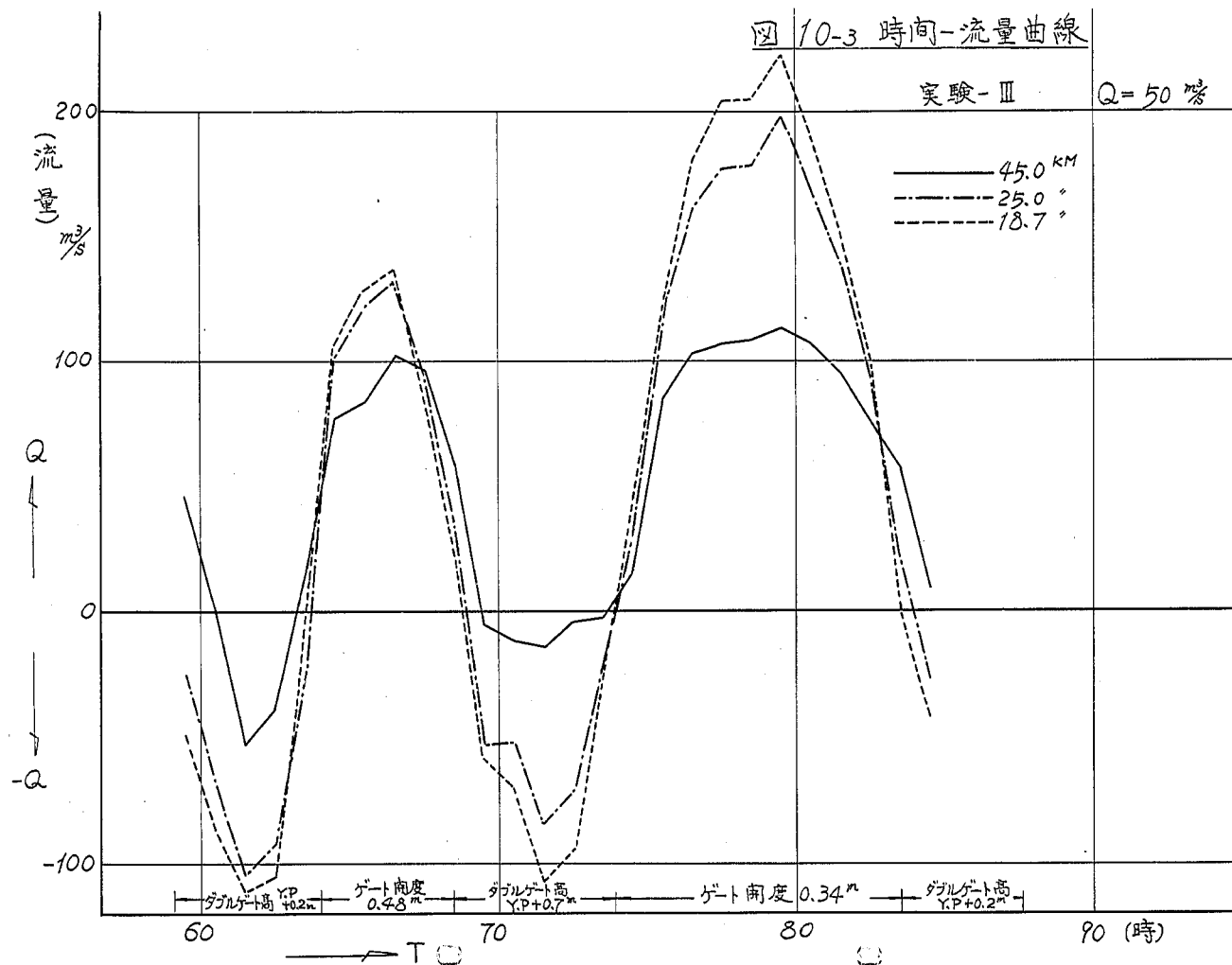


図10-2 時間-流量曲線

実験Ⅱ $Q=90$ ㍻





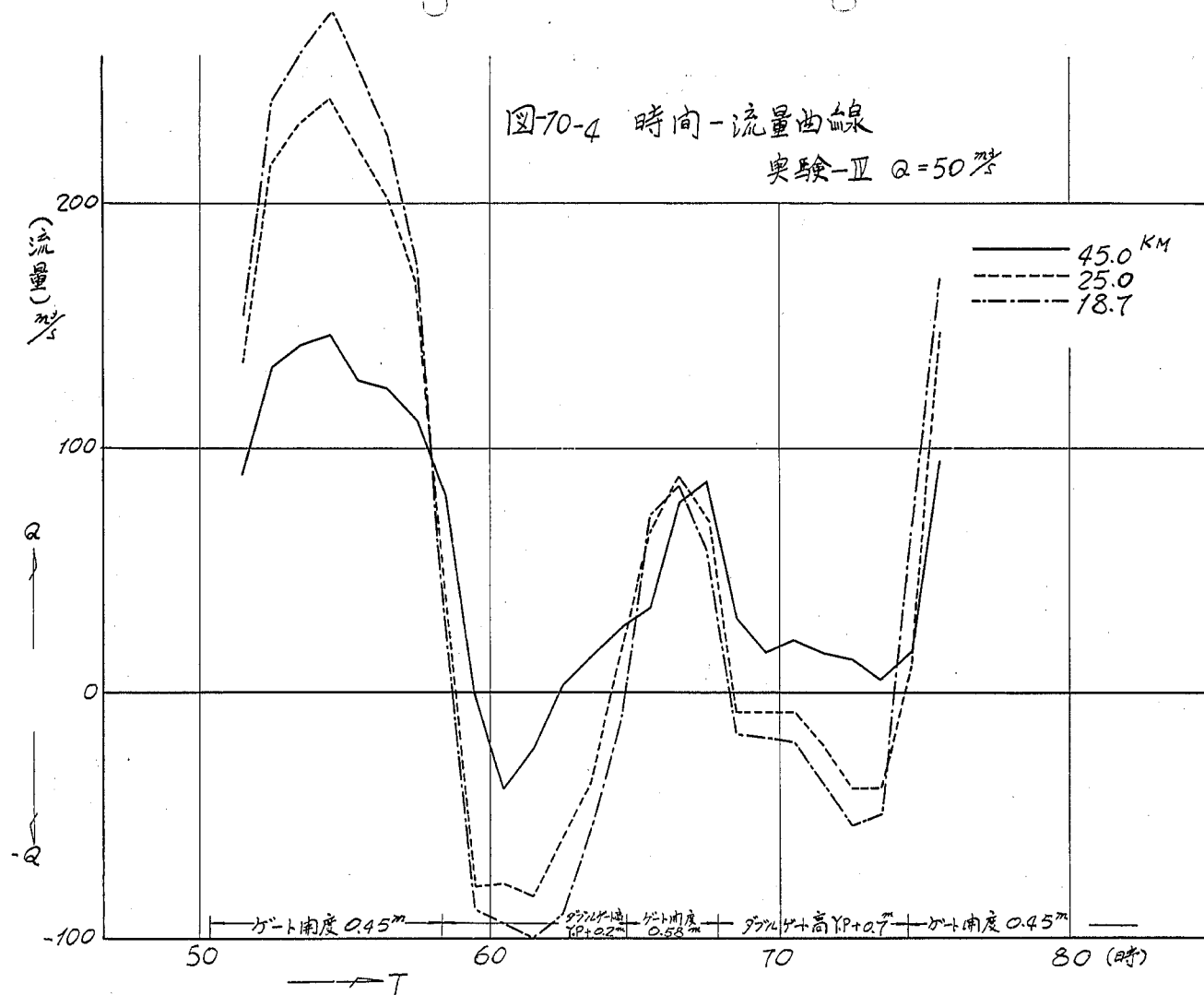
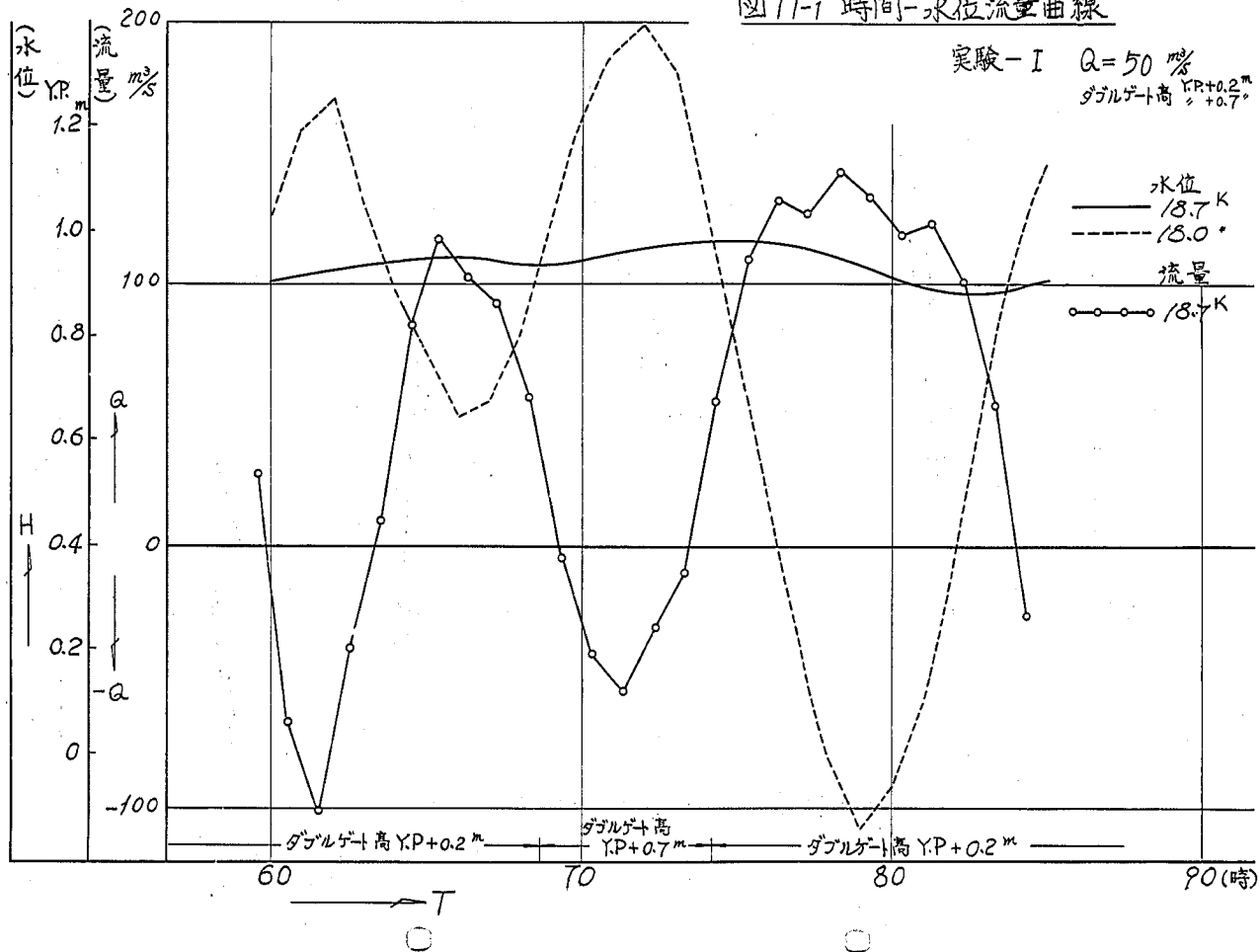
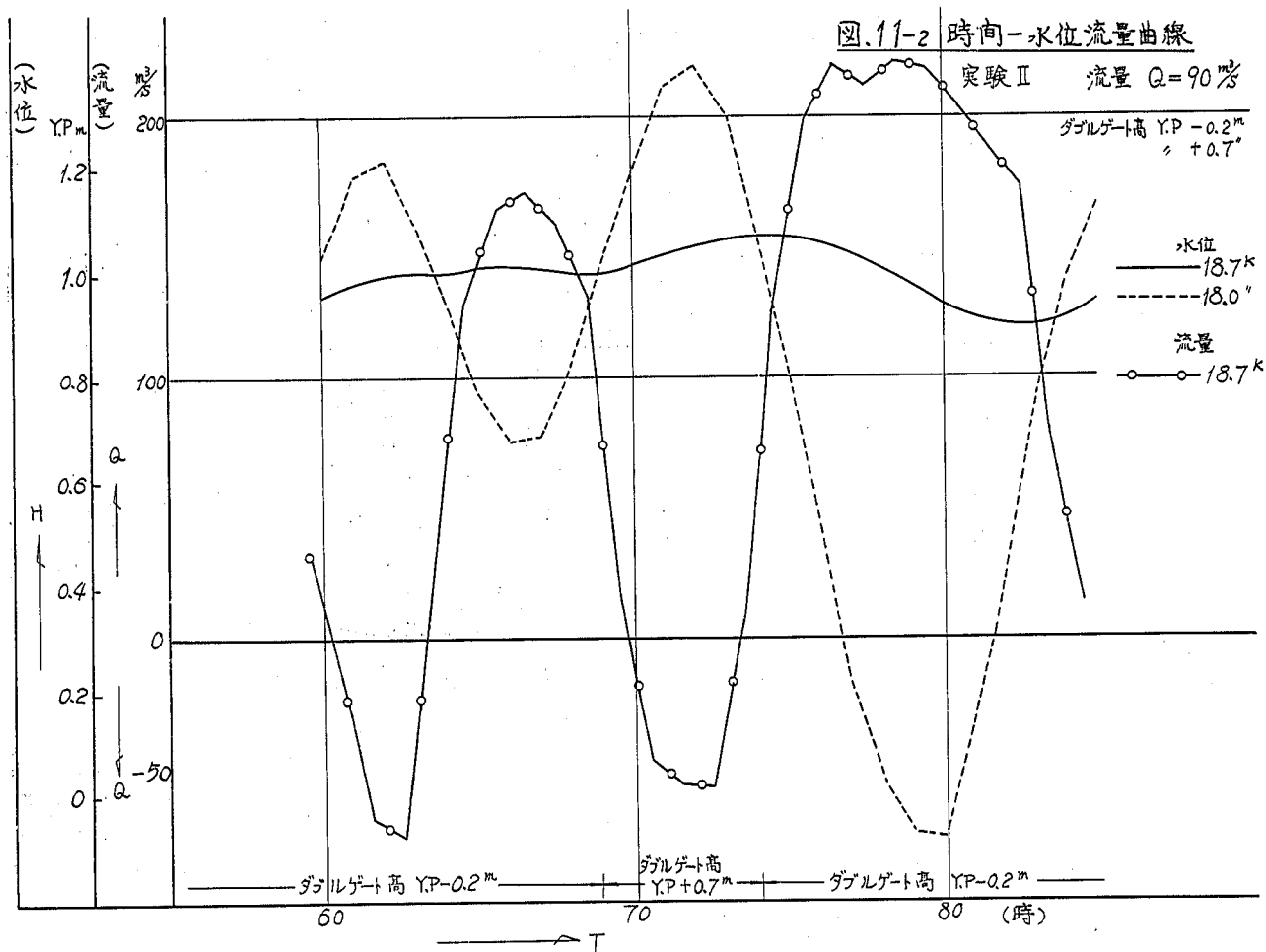
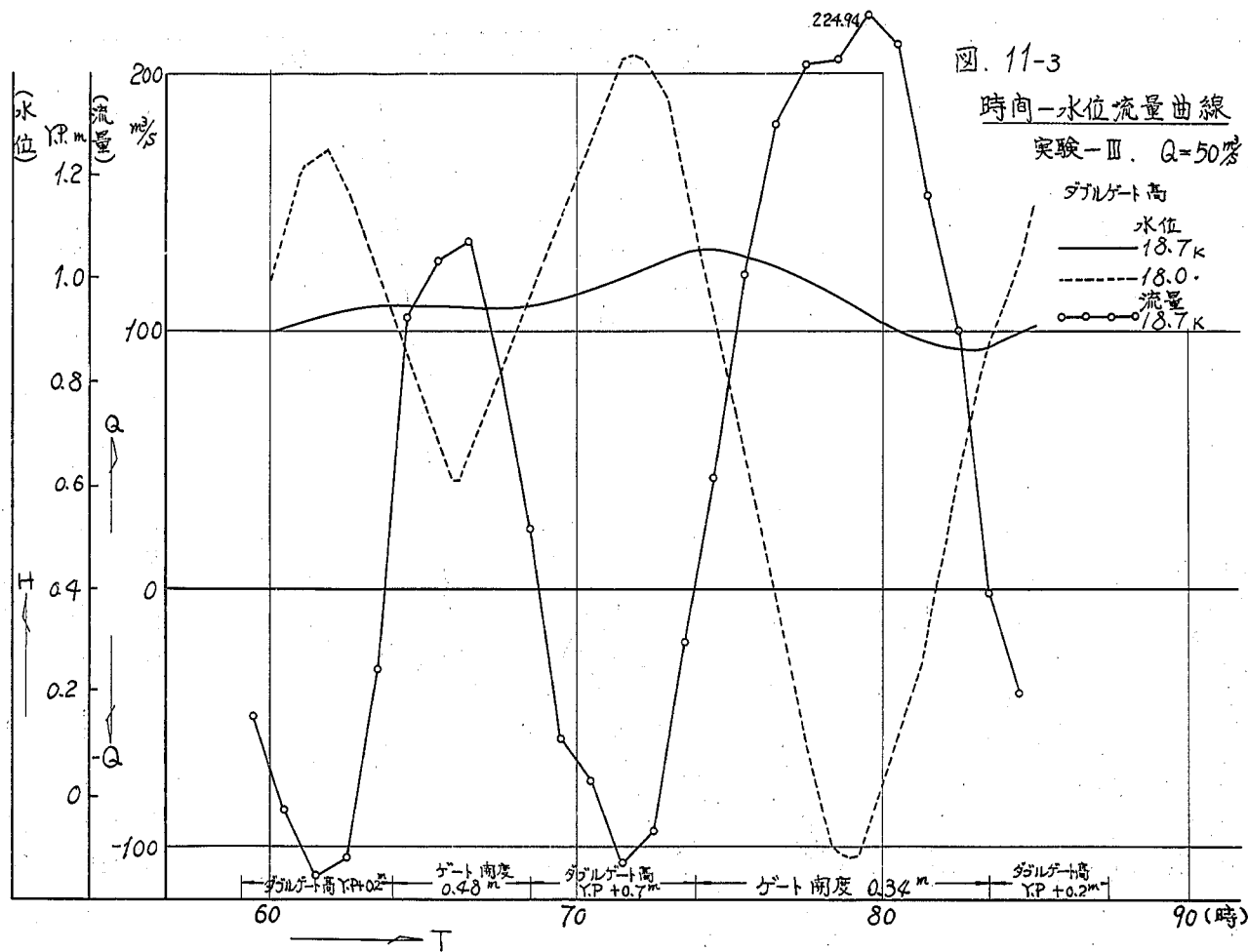


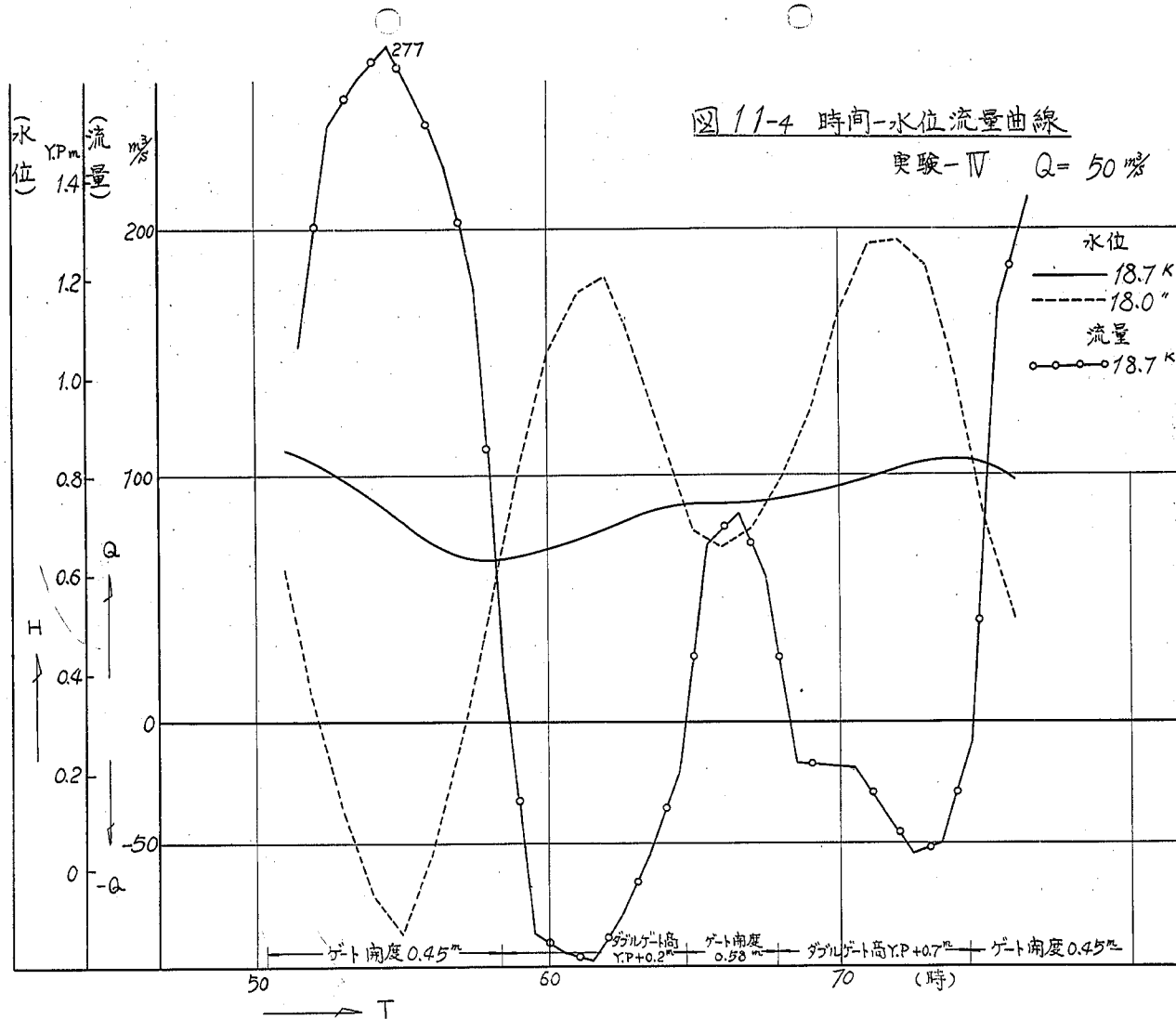
図11-1 時間-水位流量曲線

実験-I $Q=50\%$
ダブルゲート高 $Y.P+0.2^m$
 $Y.P+0.7^m$









堰地点における実験の結果および貯留計算結果をまとめると次表のようになる。

表-4 堰地点における順逆流量及び継続時間

実験 I	流 向	逆	順	逆	順
	ダブルゲート高	$Y_P + 0.2 m$	$Y_P + 0.2 m$	$Y_P + 0.7 m$	$Y_P + 0.2 m$
	継続時間	4時間30分	5:00	5:30	9:30
	総流量	-70万 m^3	162	-49	392
	ピーク流量	-100 m^3/s	115	-55	140
	平均流量	-43 m^3/s	90	-25	115

実験 II	流 向	逆	順	逆	順
	ダブルゲート高	$Y_P - 0.2 m$	$Y_P - 0.2 m$	$Y_P - 0.7 m$	$Y_P - 0.2 m$
	継続時間	4時間30分	5:20	5:00	9:40
	総流量	-46万 m^3	280	-55	670
	ピーク流量	-76 m^3/s	170	-57	220
	平均流量	-28 m^3/s	146	-30	193

実験 III	流 向	逆	順	逆	順
	ダブルゲート高 またはゲート開度	$Y_P + 0.2 m$	0.48 m	$Y_P + 0.7 m$	0.34 m
	継続時間	5時間00分	4:30	5:30	9:30
	総流量	-128万 m^3	165	-121	507
	ピーク流量	-110 m^3/s	130	-110	220
	平均流量	-71 m^3/s	102	-61	148

実験 IV	流 向	逆	順	逆	順
	ダブルゲート高 またはゲート開度	$Y_P + 0.2 m$	0.58 m	$Y_P + 0.7 m$	0.45 m
	継続時間	6時間20分	3:10	6:40	8:20
	総流量	-185万 m^3	73	-66	615
	ピーク流量	-100 m^3/s	80	-55	270
	平均流量	-81 m^3/s	64	-23	205

※ 実験IVは水位が不安定なためあまり正確でない。

(1) 各ケースの比較

実験I、IIを比較すると、順逆流とも継続時間は同じであるが、順流量は実験IIの方が大で逆流量は実験I、IIともほぼ等しい。これはダブルゲート高および上流端固有流量の差であると思われる。

実験IIIは逆流時ダブルゲートオーバーフロー、順流時5門アンダーフローであるため固有流量の同じ実験Iにくら

べ堰上流側の水位変化が大きくこのため順流量、逆流量とも実験Ⅰより大きい。

- (2) 堰地点における順流量と逆流量について、堰地点における順流量を順流時間で積分したもの、逆流量を逆流時間で積分して、それぞれ算出してまとめたのが表-5である。

表-5 堰地点の順逆流量の総計

実験	流量	逆流量	順流量	逆流量	順流量	計		総計
						順流量	逆流量	
Ⅰ	50m ³ /s	-70万m ³	162万m ³	-49万m ³	392万m ³	554万m ³	-119万m ³	435万m ³
Ⅱ	90	-46	280	-55	670	950	-101	849
Ⅲ	50	-128	165	-121	507	672	-249	423
Ⅳ	50	-185	73	-66	615	688	-251	437

(注) 50m³/s = 441万m³/1周期 1周期 = 24:30

90 " = 794 "

本表よりわかることは

- (a) 実験ⅠおよびⅡに関しては1回目順流量と2回目順流量の比は1:2.5程度であり、逆流量の総計は等しく、順流量の総計は固有流量の差だけ実験Ⅱの方が大きい。
- (b) 実験Ⅰ、Ⅱの逆流量総計と実験Ⅲ、Ⅳの逆流量総計とでは実験Ⅲ、Ⅳの方が倍大きい。これは、堰操作方式の違いでその分だけ順流量総計も実験Ⅲ、Ⅳの方が大きい。

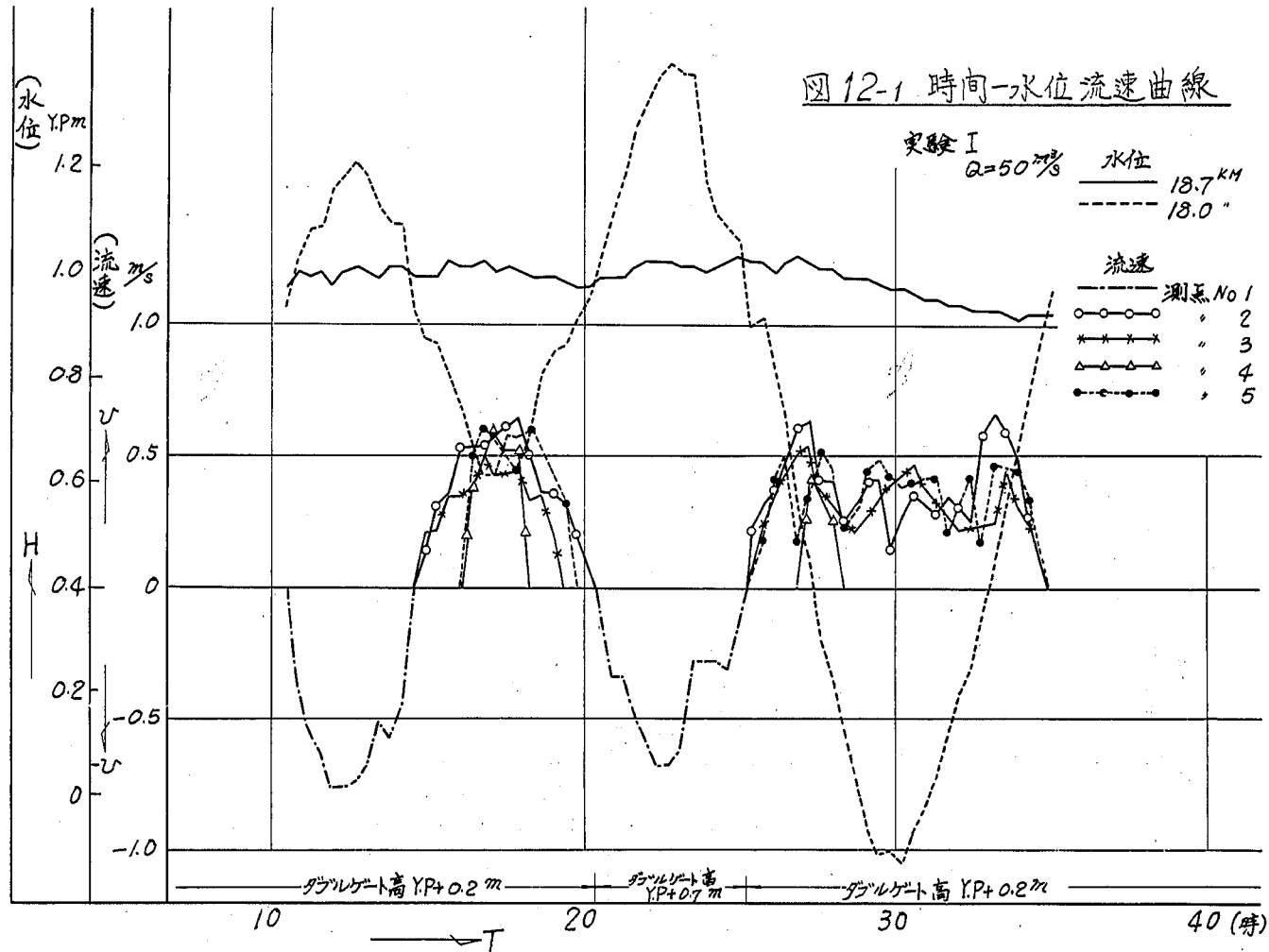
3. 流速について

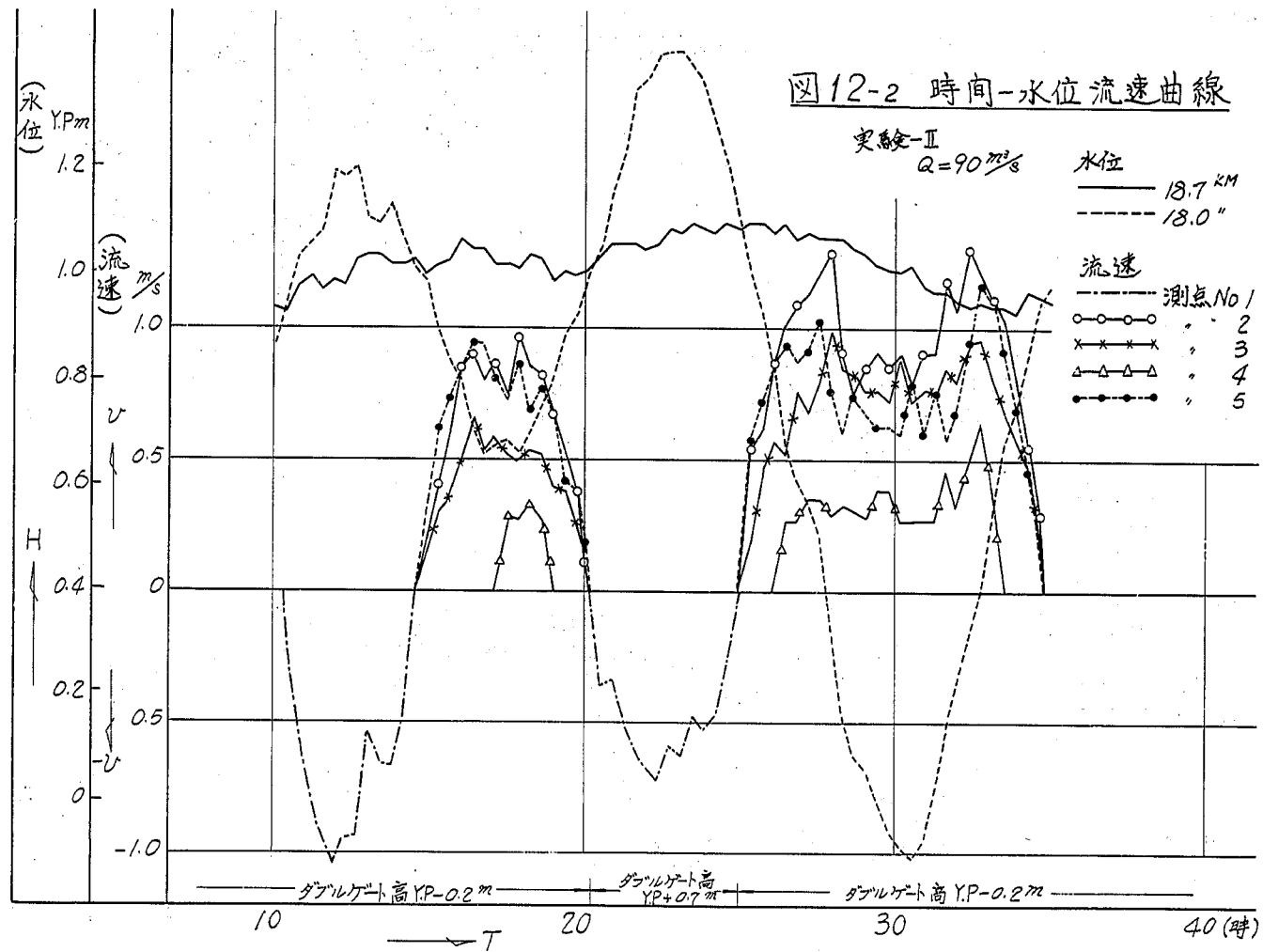
(1) 実 測

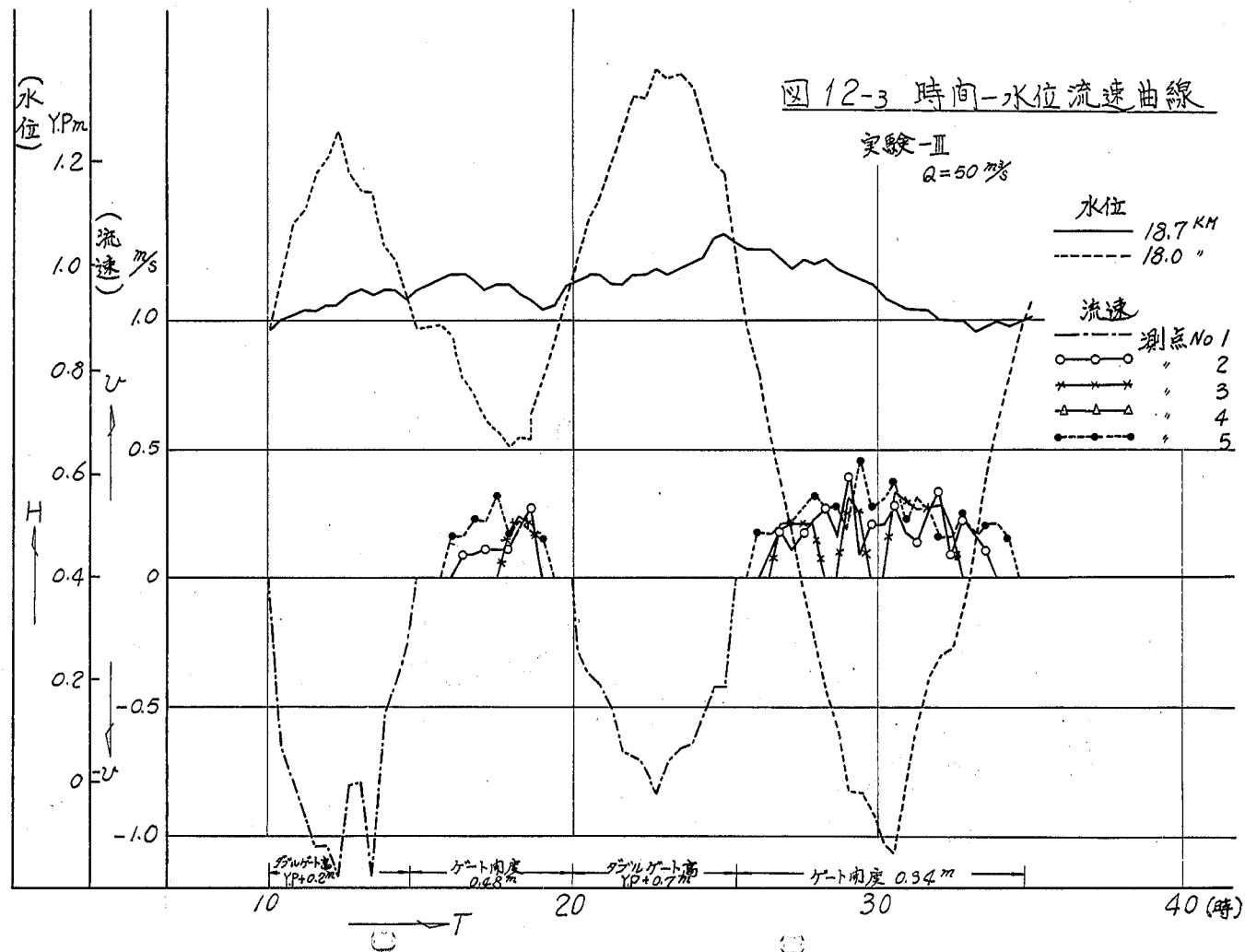
流速測定は順逆流時とも堰上流1点、堰下流側4点図-5に示す地点で流速計にて測定した。

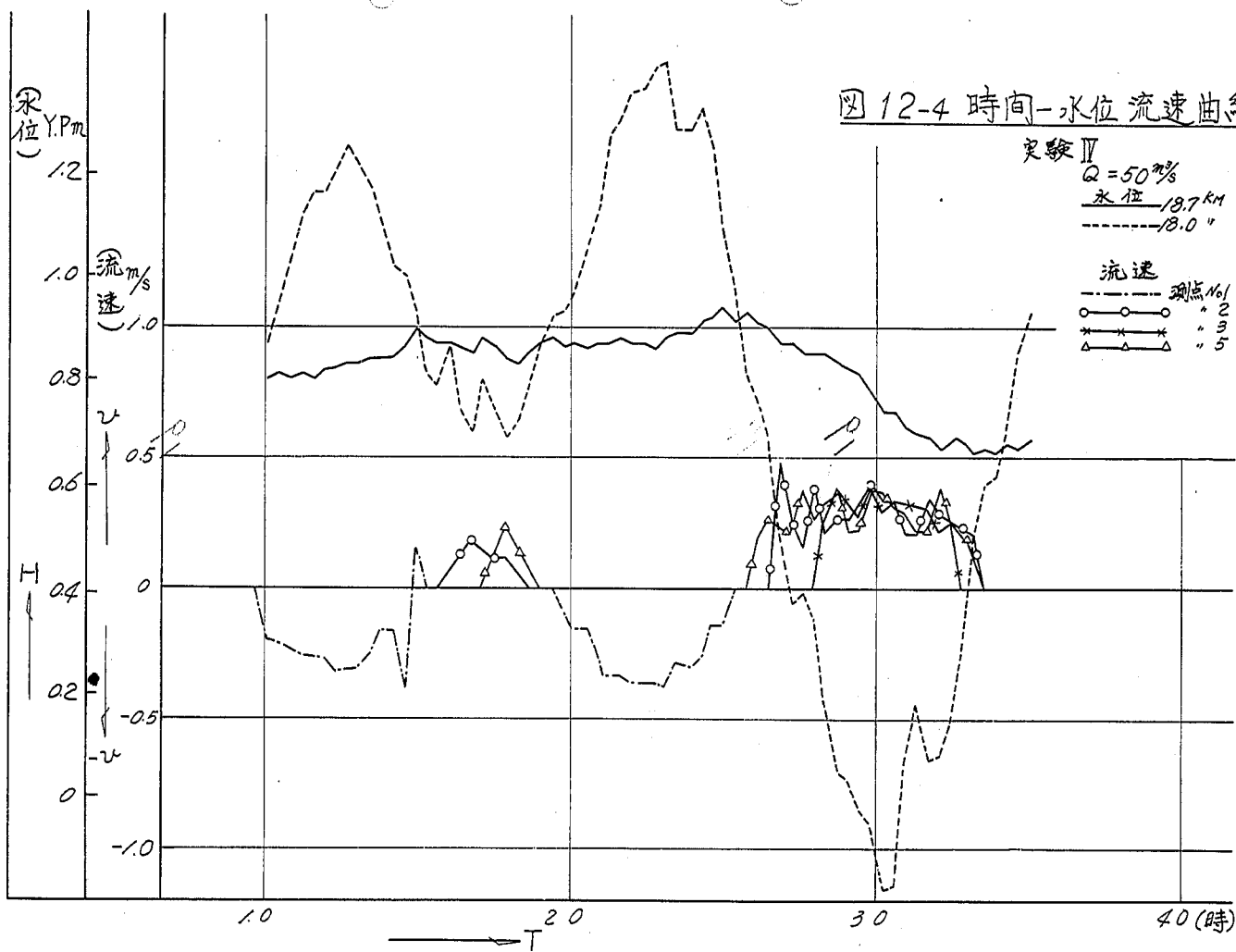
測定結果は図-12(12.1~12.4)に示す。

図12-1 時間-水位流速曲線









これによると逆流時は堰上流側点Ⅱのみであるが堰下流側の4点は流速が小さく測定出来なかつた。順流時は反対に堰上流側は測定が出来ず堰下流側のみである。また流速値は順流時より逆流時の方が大きい。これは逆流時の測点Ⅱが堰地点より50m上流の位置であり、順流時の測点Ⅱ、Ⅲは堰地点より200m下流にあるためである。次に順逆流流速値の最大値を測点ⅡおよびⅢ、Ⅳより拾い出すと表-6のようになる。

表-6 順逆流流速の最大測定値

実験Ⅱ	逆 流	順 流	逆 流	順 流
I	-0.75 m/s	0.60 m/s	-0.65 m/s	0.60 m/s
II	-1.00	0.95	-0.70	1.30
III	-1.10	0.30	-0.80	0.40
IV				

この結果からみると逆流時の流速は0.7~1.0 m/s 付近である。順流時の流速は実験I、IIより実験IIIは小さい、これは実験I、IIがダブルゲートオーバーフローであるのに実験IIIは5門アンダーフローであるため川幅全体にわたって流れるためであると思われる。

(2) 計 算 値

貯留計算により各時、各点の流量は求められているが、18.7 kの流量を堰地点の流量 Q と考え、堰における水位は順流時の場合は18.7 k逆流時の場合は18.0 kの水位とそう違いはないであろうから、これを堰地点の水位として堰地点における流水断面積 A を求め、 $V=Q/A$ により流速を計算した。

結果は図-13(13.1~13.4)に示す通りである。

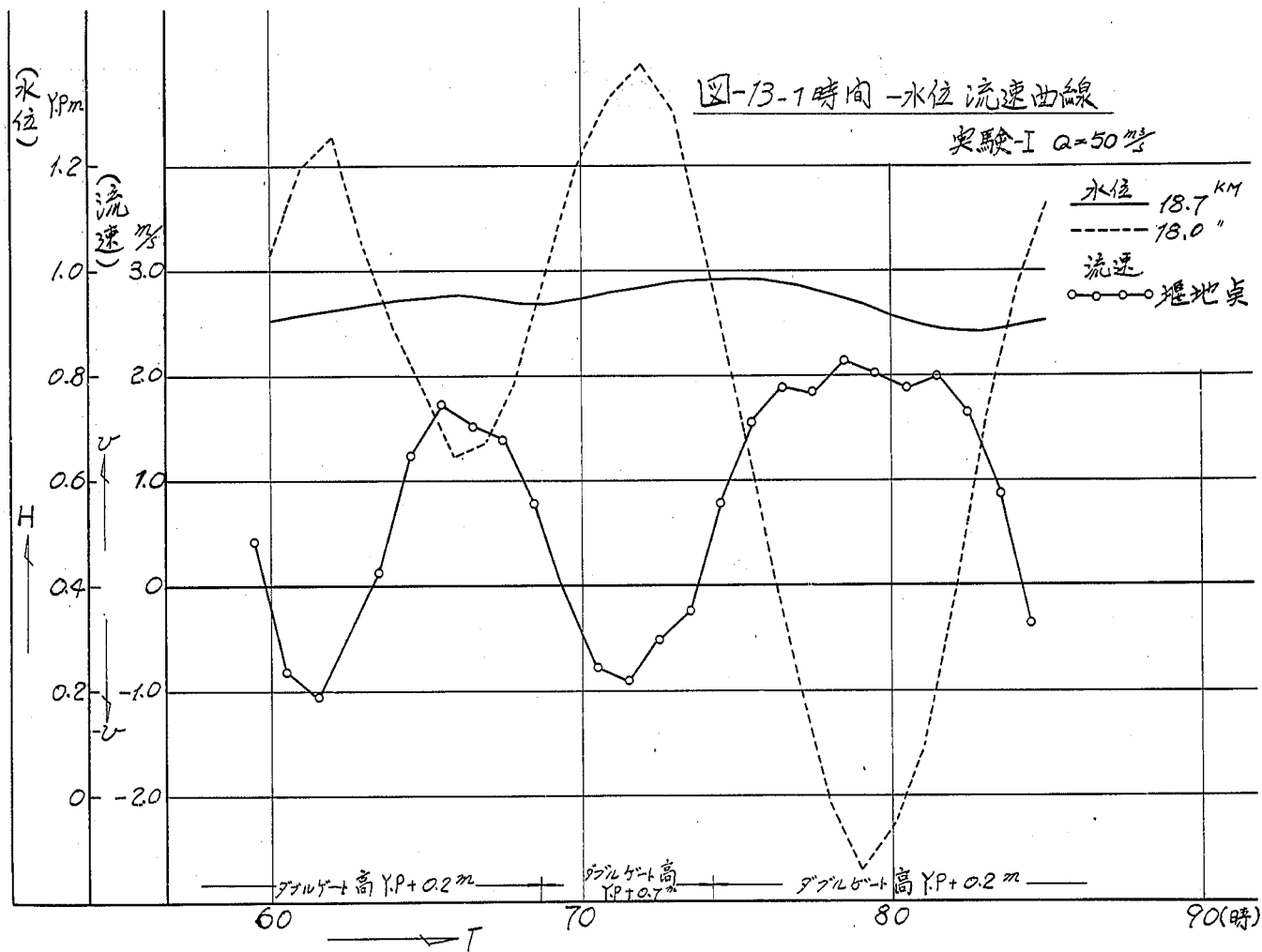


図 13-2 時間-水位流速曲線

実験-II $Q = 90 \text{ m}^3/\text{s}$

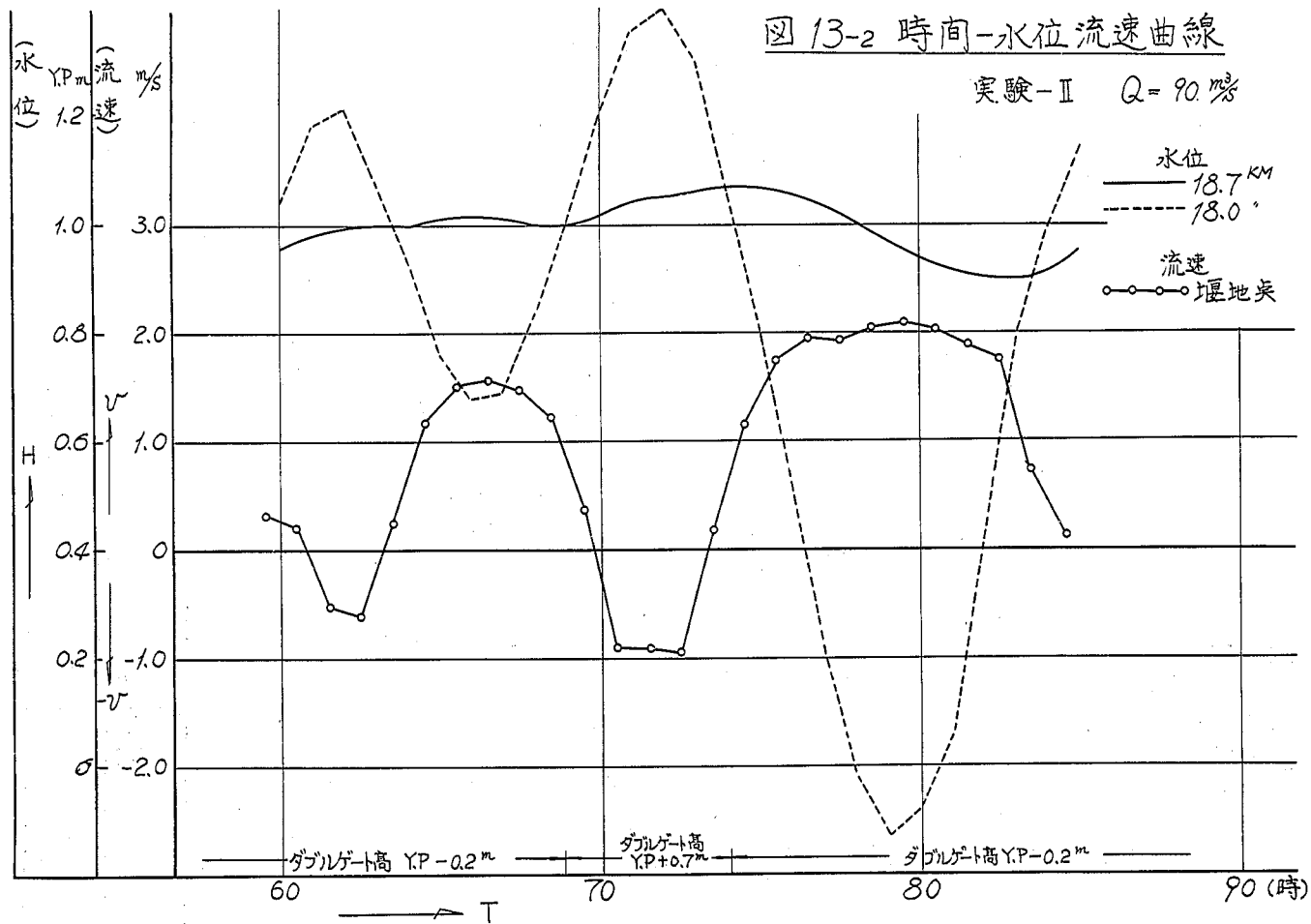


図 13-3 時間-水位流速曲線

実験-Ⅲ $Q = 50$ ㍻

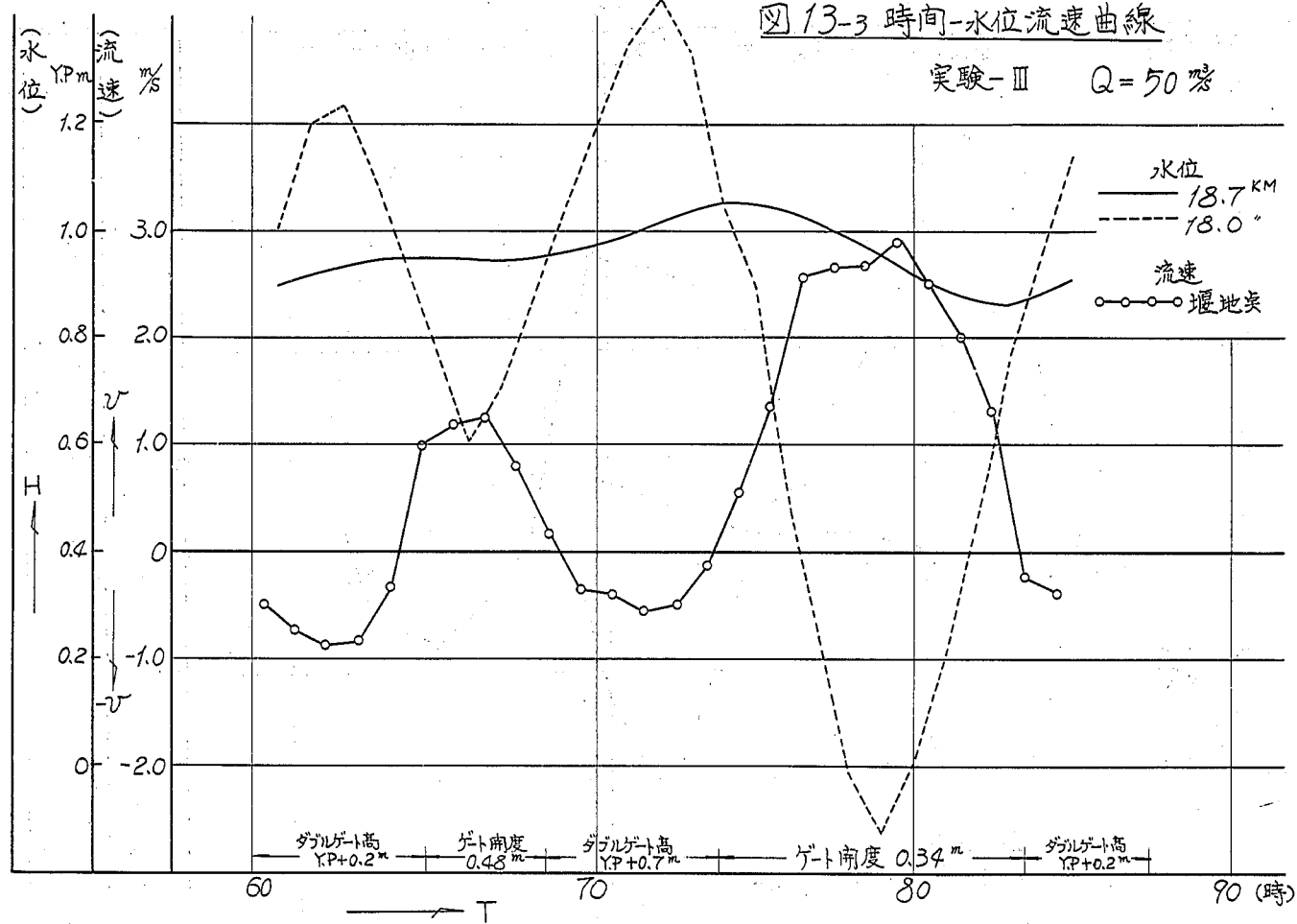
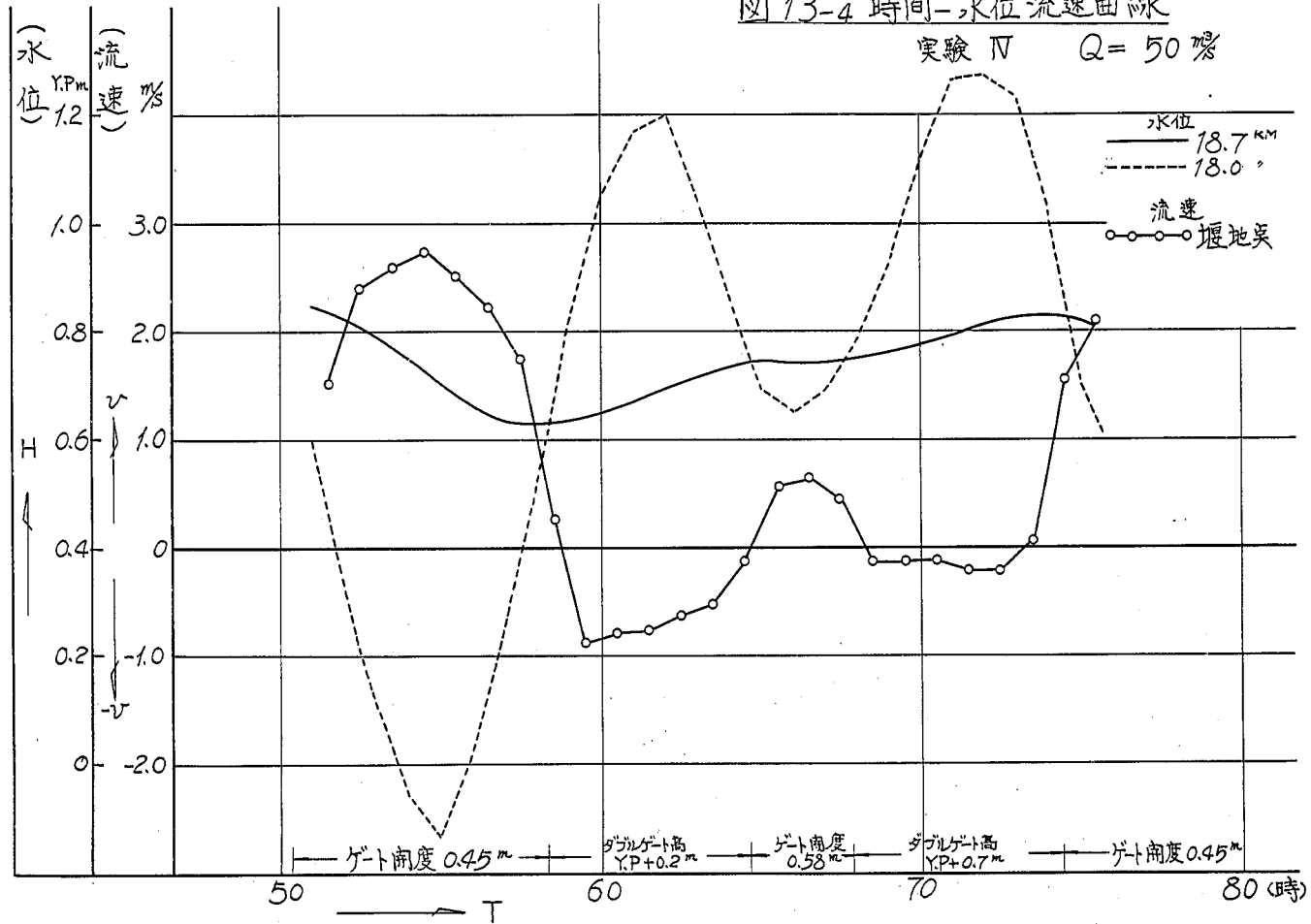


図 13-4 時間-水位流速曲線

実験 IV $Q = 50 \text{ ㏩}$



ここに堰地点の最大流速値を拾いと表-7のようになる。

表-7 堰地点の最大流速値

実験No	逆 流	順 流	逆 流	順 流
I	-1.0 m/s	1.7 m/s	-0.9 m/s	2.1 m/s
II	-0.6	1.5	-0.9	2.1
III	-0.8	1.2	-0.55	2.8
IV	-0.8			2.7

これを実測値と比較すると逆流値はほぼ合っているが、順流速は計算値の方が大きい。これは実測値が堰地点より逆流時は近く順流時は堰地点よりはなれた点で測定しているためで当然計算値の方が大きくなると思われる。

この表によると最大逆流値は1.0 m/s 前後であり、順流速は1.5~3.0 m/s 程度である。また図-13の実験Iと実験IIと比較すると、時間流速曲線および流速値はほぼ同じである。これは堰地点の通過流量が実験IIの方が大でもダブルゲート高を低くしてあるためその分だけ流水断面積が大きいためである。

4. 流況観察

堰から放流した場合の淡水の広がり行く状況および逆流時の淡水の回収状況を見るのが目的である。

(1) 実験I (オーバーフロー型式、 $Q=50 \text{ m}^3/\text{s}$)

順流時の場合、左右岸ダブルゲートから流出した流れは複雑に影響し合い堰より500 m間において逆流、渦等が生じ時々刻々その形、位置、方向が変化しているため堰付近の流向を正確に測定することは困難であつたが比較的安定していると思われる時刻(67:00、78:30)について流向を観察し流向図図-14、図-15に示した。流向図に示してある流速値は浮子によって測定した現地換算流速値である。

逆流時の場合は、順流時とは違い比較的左右対称に近い状態が観察できたが逆流時間が長くなるに従つて左右のバランスがくずれ左岸からの流れが強くなる傾向があつた。逆流時については72:00、85:40の2回の流向を流向図-14、図-15に示した。

图-14 流向图 (实验-I $Q=50 \frac{m^3}{s}$)

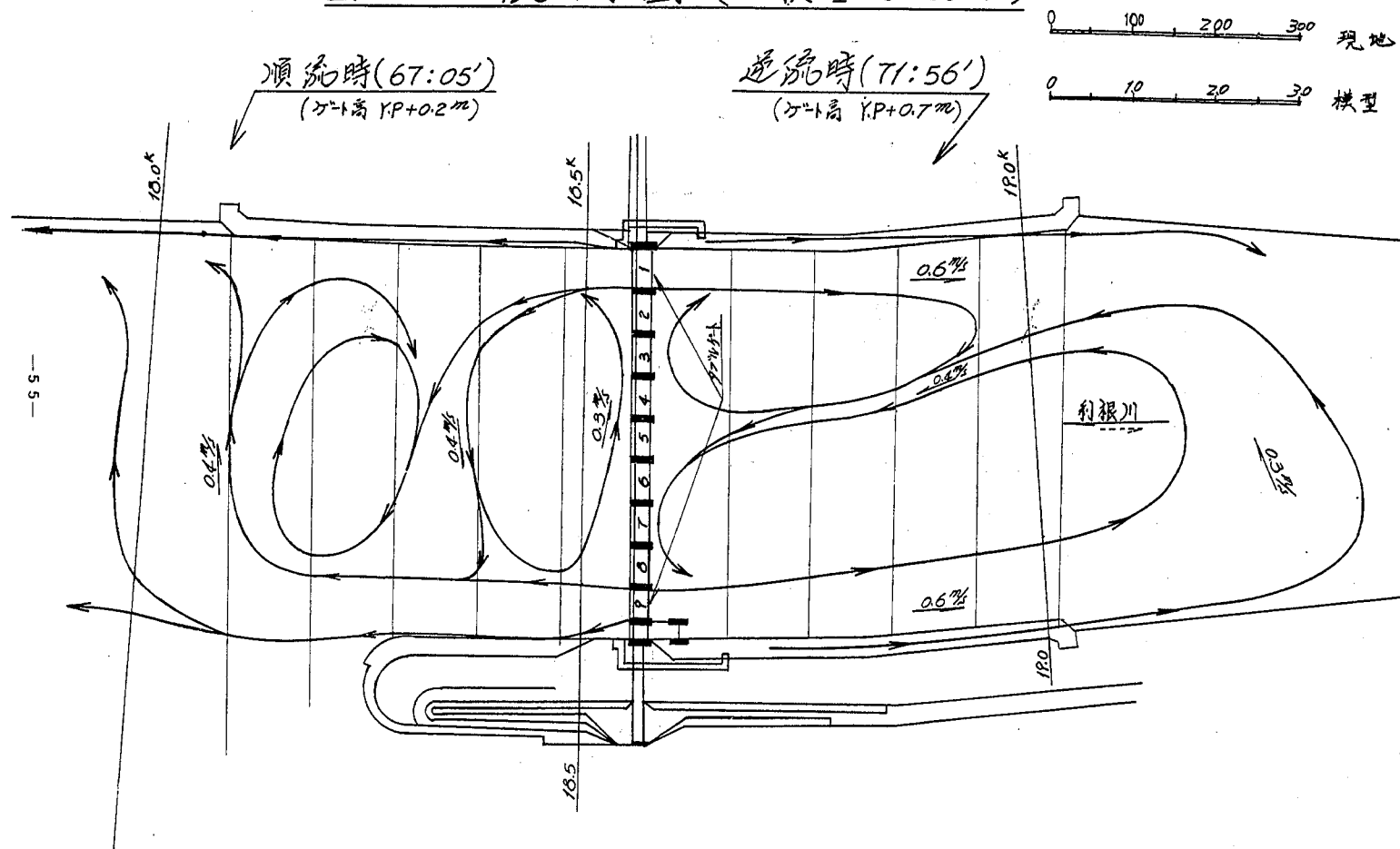
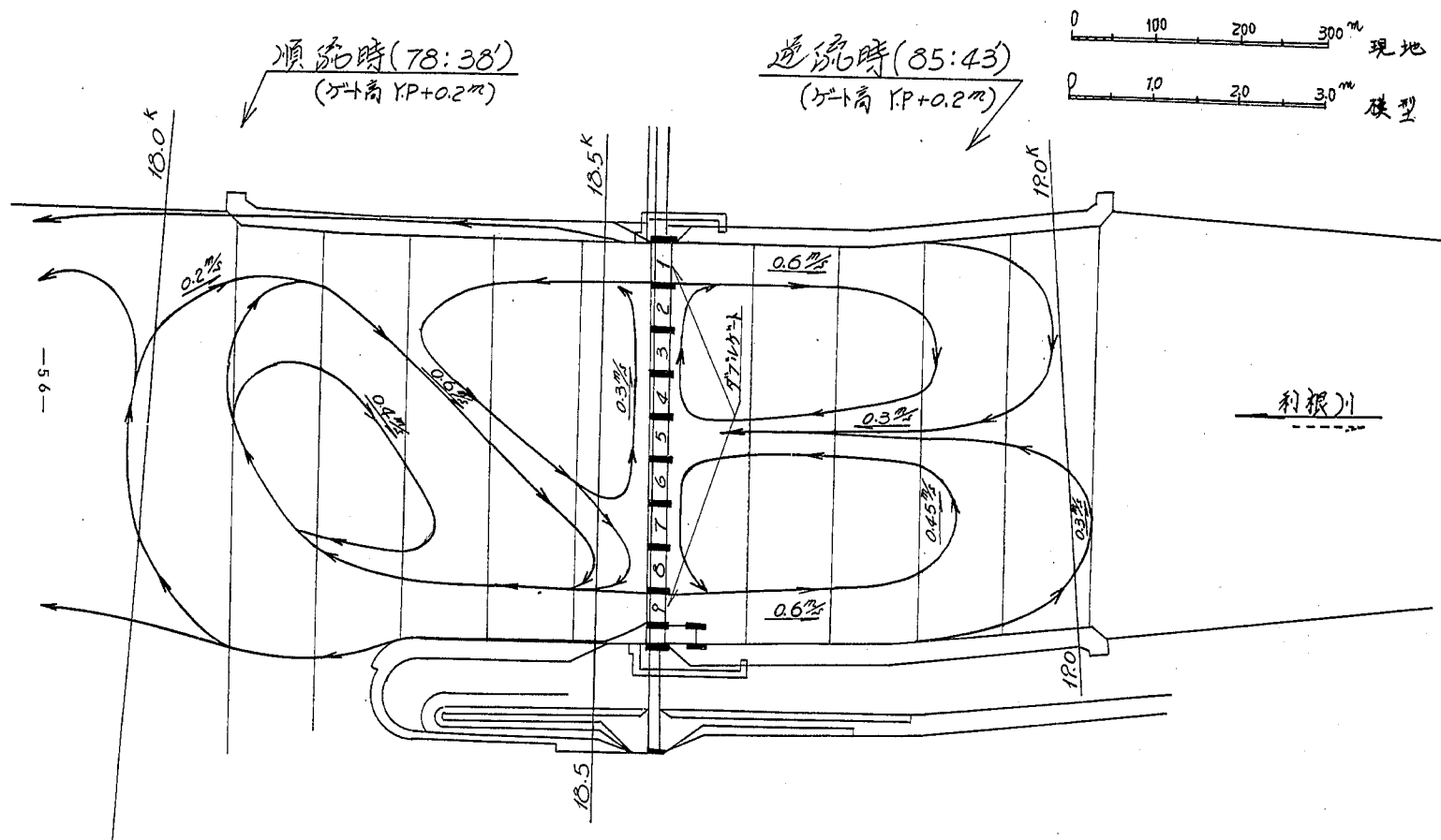


图-15 流向图 (实验-I $Q=50\text{ m}^3/\text{s}$)

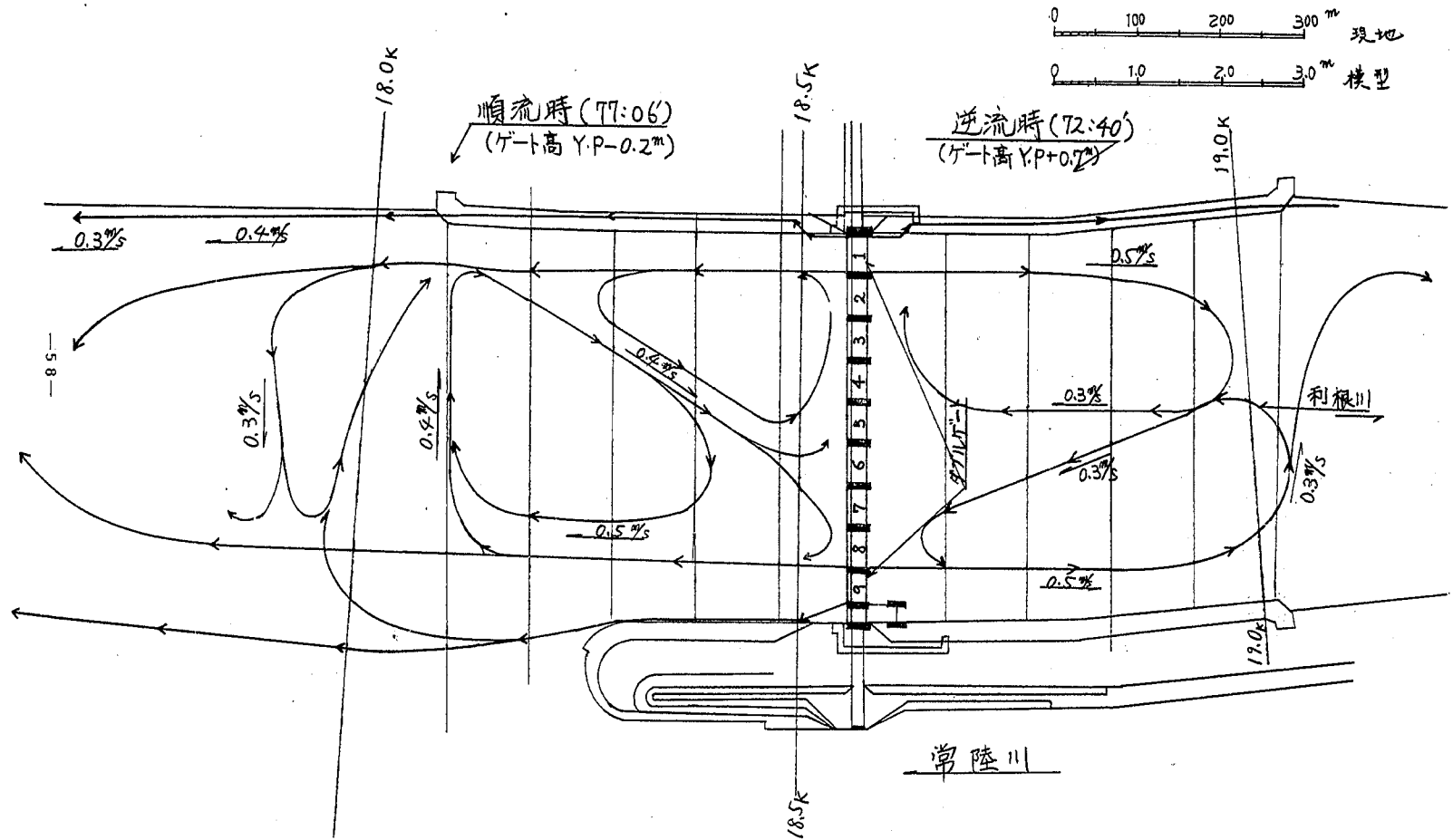


(2) 実験Ⅰ（オーバーフロー型式、 $Q=90\text{ m}^3/\text{s}$ ）

本実験の場合には、実験Ⅰの場合よりも比較的安定した流況を示しており右岸ダブルゲートより流出した流れは右岸低水護岸に沿って流下している。

左岸ダブルゲートより流出した流れは、堰下流500m付近で向きを変え右岸へと流れる。右岸の堰下流500m付近より更に逆流となり、67ゲート付近へと戻り堰に押され左右に分れる流れとなる。77:00頃のこの状態を図-16に示した。

図-16 流向図 (実験-II $Q=90\text{ m}^3/\text{s}$)



逆流時には実験Ⅰと大差なく左右対称に近い流れである。

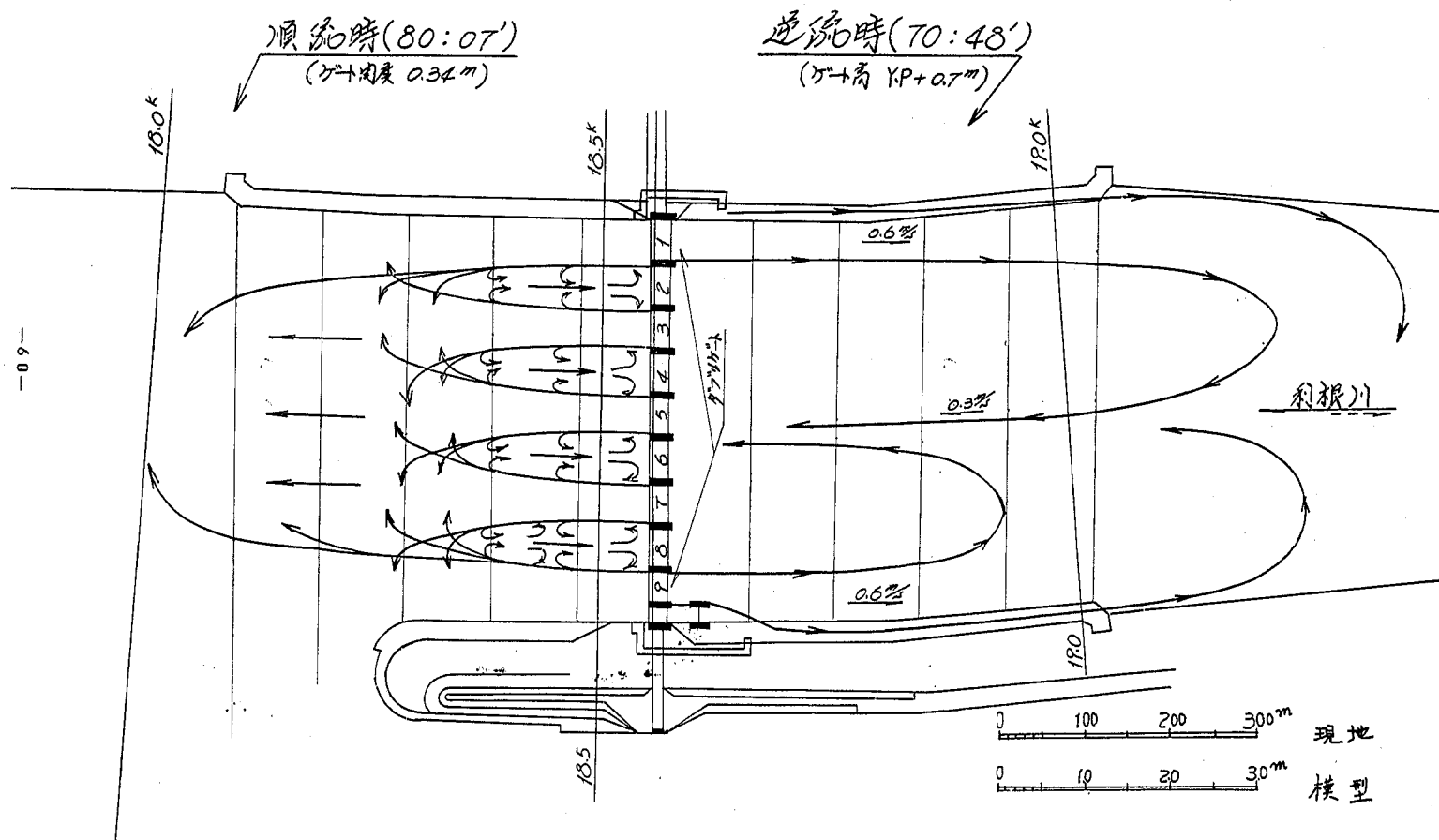
堰上流500m付近では左岸からの流れが強いように観察出来た。

(3) 実験Ⅲ(順流時アンダーフロー、ゲート開度0.34m、0.48m逆流時オーバーフロー $Q=50\text{ m}^3/\text{s}$)

ゲート下端より流出した流れは堰下流150~200m付近で湧き上がる。ゲートが閉まっているNo.2、4、6、8のゲート下流200m間では逆流が生じている。

堰下流250mより下流では一様な流れで流下しているが、右岸の流れが幾分早いように観察された。逆流時の場合には、実験Ⅰ、Ⅱ同様左右対称に近い状態である。この状態を流向図、図-17に示す。

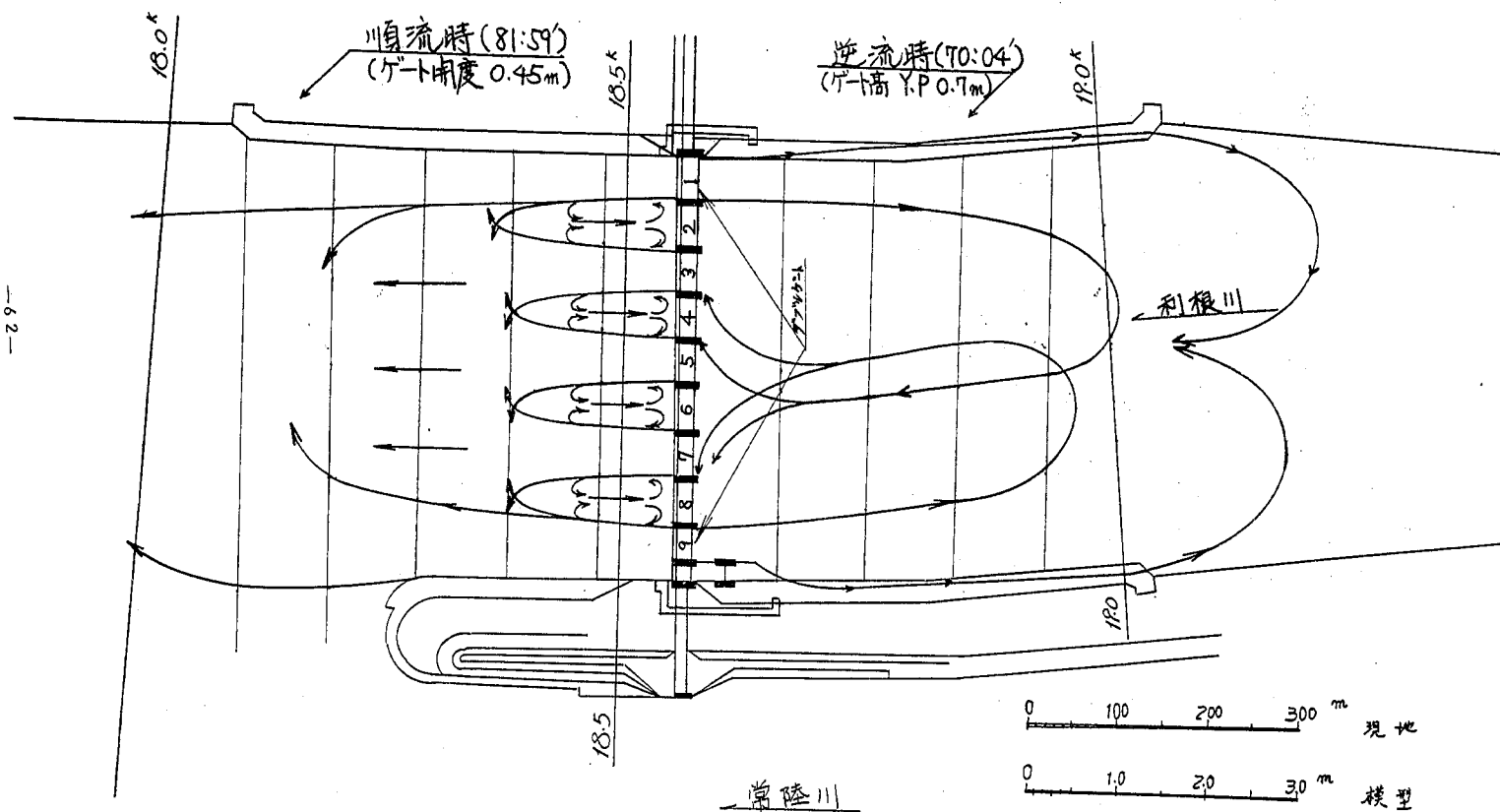
図-17 流向図 (実験-Ⅲ $Q=50 \text{ m}^3/\text{s}$)



(4) 実験Ⅳ (順流時アンダーフロー、ゲート開度0.45m、0.58m、逆流時オーバーフロー $Q=5.0\text{ m}^3/\text{s}$)

本実験はゲート開度0.45mおよび0.58mで行ったが堰上流側の水位が計算水位よりも約20cm低くなったためこのゲート開度を小さくして行ったのが実験Ⅲである。流向は実験Ⅲと大差なく順流の場合堰下流250mより下流では大略一様な流れであるが右岸が多少早いように思われた。図-18

図-18 流向図(実験Ⅳ $Q=50\text{ m}^3/\text{s}$)



5. 不定流計算結果との比較(実験Ⅳについて)

(1) 水 位

水位の時間的变化はほぼ同じであるが堰上流部の最高および最低水位は30cm程度実験値の方が低くなり、更に低くなると思われたのでゲート開度を1回目順流0.45mから0.34m、2回目順流が0.58mから0.48mにゲート開度を小さくして行つたのが実験Ⅲである。この場合でも実験値の方がゲート開度の大きい計算値より最高水位は8.0cm、最低水位が21.0cm低く、したがって水位変化も実験値の方が大きい。

(2) 流 量

流量については順流量(特に低々潮時)及び逆流量とも実験値の方が大きい。またゲート開度を小さくした実験Ⅲの場合でも実験値の方が大きい。これは実験値の方が水位変化が大であるためであり、その分だけ総順流量及び総逆流量とも100m³程度実験値の方が大きい。更に実験値の場合堰上下流水位差が最大のとき順逆流量とも最大であるが計算値の順流時は水位差による流量の大小は見られず100m³/s程度の流量がConstantに流れる。

(3) 流 速

堰地点の最大流速値は順流時の場合は計算値とほぼ同じであるが、逆流流速は計算値の方が大きい。しかし逆流時においては継続時間が短いように思われる。

第 3 章 補 足 実 験

1. 実験概要

今まで述べた不定流実験結果では流速分布測定等に関しては流速値が時々刻々変化すると同時に流況の変化もあり、正確な測定は困難であつた。また魚道及び放水管の影響についても模型が小さいためその現象を明確に把握する事が出来なかつた。

このため本実験では模型を大きくし（縮尺、鉛直 1/15 水平 1/30）定流で実験を行い、堰付近の流速分布状況、魚道及び放水管の影響等をより以上の精度で把握し、不定流実験の補いにしようとするものである。

2. 模 型

(1) 実験水路及び諸量の縮率

本実験は堰付近の流速分布状況、魚道及び放水管の影響等の測定が目的でありその現象は大略左右岸対称であると考えられる。従つて模型を大きくし模型流速値、魚道、放水管等の影響を明確にするため右岸側半分のみを製作した。この中にはピア 5 基（底 1～底 5）、ゲート 4.5 門（このうち 1 内がダブルゲート）右岸低水護岸（堰上流 15.0 m、堰下流 50.0 m）、魚道、放水管等の構造物が設置されている。図-19 参照

現地と模型の相似についてはフルード則に従うものとして諸量の縮率を表-8 に示す。本実験に関した数値は特にこだわらない限り表-8 の縮率によつて換算した現地数値である。

表 - 8 諸 量 の 縮 率

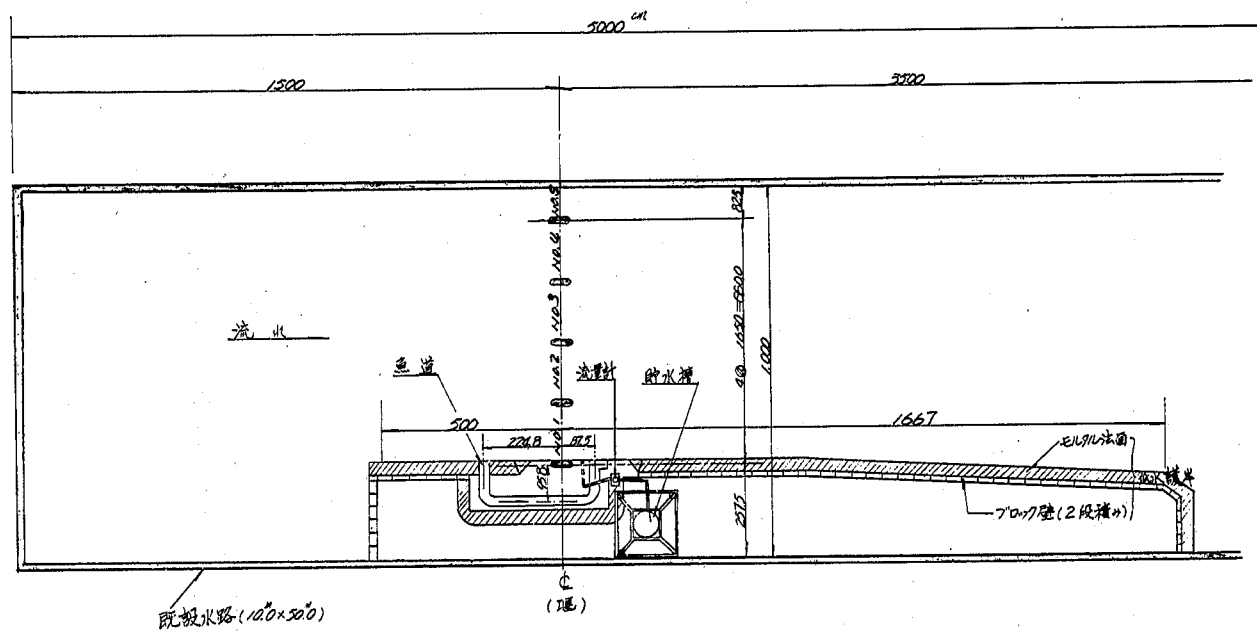
諸量の区別	縮 率	諸量の区分	縮 率
水の密度	1 : 1	断 面 積	1 : 450
力の加速度	1 : 1	流 速	1 : 3.873
水 平 距 離	1 : 30	流 量	1 : 1745
鉛 直 距 離	1 : 15	時 間	1 : 2746
水 面 勾 配	1 : 2		

(2) 魚道について

模型平面図図-19 に示すような位置に厚さ 5.5 mm の合板を用いて製作した魚道の模型を埋め込みモルタルで固めた。現地には魚道の流量が $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ （模型約 $0.8 \text{ l}/\text{s}$ ）に調節出来るようなフラップゲートが設置されているが模型では製作する事は困難であつたため魚道上流端付近に板でゲートを作り流量を調節した。

图-19 柳根川河口工附近模型平面图

0 1 2 3 4 5 m 模型



(5) 放水管について

放水管というのは河口堰上流からパイプを用いて河口堰下流まで水を導き魚道のわきから放水し、魚を魚道の入口へ集めようとする目的で設けられるものである。この放水管の径は現地で直径1.0 mのパイプを使用しているが、実験では放水管から放出する時の流速を相似にするため径1.5"の塩化ビニルパイプを使用した。放水管の流量は現地で1.0~2.0 m³/s であるので模型では1.0 l/s を放水した。

3. 実験ケース

実験は実験ケース一覧表(表-9)に示す様にダブルゲートオーバーフローの状態についてゲート高2種類、下流水位2種類、アンダーフローの状態についてゲート開度1種類、下流水位2種類の計8ケース実験を行った。

表-9 実験ケース一覧表

実験	流 量	ゲートの状態	ゲート高またはゲート開度	堰上流水位	堰下流水位	放水の有無
I	80 m ³ /s	ダブルゲートオーバーフロー	Y ₁ P+0.2 m	Y ₁ P 1.0 m	Y ₁ P-0.1 m	有
I'	80	"	"	"	"	無
II	120	"	Y ₁ P-0.2 m	"	"	有
II'	120	"	"	"	"	無
III	80	"	Y ₁ P+0.2 m	"	Y ₁ P+0.4 m	有
IV	120	"	Y ₁ P-0.2 m	"	"	"
V	140	アンダーフロー	0.34 m	"	Y ₁ P-0.1 m	"
VI	124	"	0.34 m	"	Y ₁ P+0.4 m	"

※ 流量は右岸側半分のものであるから全体の流量にすると倍になる。

実験ケースのうち、実験I、I'及びIIは不定流実験の実験I(ダブルゲートオーバーフロー Q=50 m³/s)

実験II、I'及びIVは不定流実験の実験II(ダブルゲートオーバーフロー、Q=90 m³/s)に相当する実験であり、実験V、VIは不定流実験の実験III(アンダーフローゲート開度0.34 m Q=50 m³/s)に相当する実験である。

4. 実験および結果

(1) 実験流量の決定

不定流実験結果では堰上流域の平均水位がY₁P 1.0 m程度であり、この時の堰下流水位が一番低いときおよび中間程度のときY₁P-0.10 m、Y₁P+0.40 mと得られているので、我々は定流実験の実験条件として、この値を用いた。

よって本実験は実験条件として河口堰上流水位、下流水位ゲート高またはゲート開度が与えられているが、実験流量は与えられていない。このため与えられたゲート高またはゲート開度、下流水位の条件で堰上流の水位がY₁P 1.0 mになる様な流量の決定を行った。

ゲートを指示された状態にセットし、下流水位を、Y₁P-0.10 mまたはY₁P 0.40 m一定になるように下流水位調節機を用いて調節しておきこの状態で数種の流量を与え各流量に対する上流水位を測定する。この実験によつて上流水位がY₁P+1.00 mになるような流量Qを見だし実験流量とした。この実験流量は実験ケース一覧表(表-9)

に記入してある。

(2) 水位について

水位測定は測定点位置図(図-2 0.1~2 0.8)に示す堰上流側2点、堰下流側7点の9測点について行つた。この定められた測点で1回または2回の水位測定を行い水位が安定している事を確認した後、後述する流速分布測定、流向測定等を行つた。測定結果水位縦断面図は図-2 1.1~2 1.3に示す。

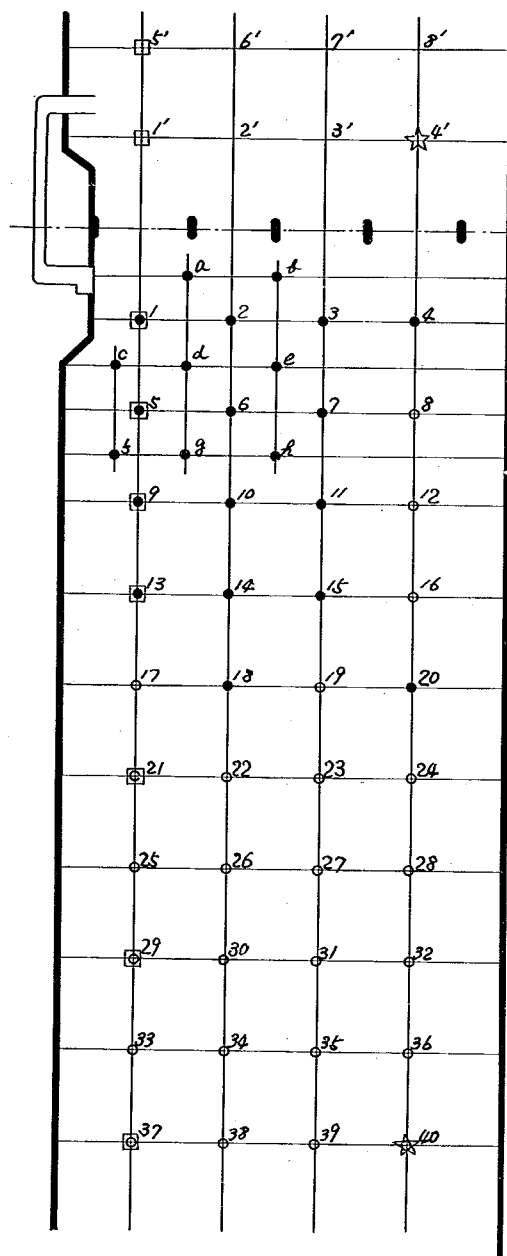


図-20.1 測定点位置図

実験 I

実験条件

オーバーフロー

ゲート高 $Y.P.+0.20$

下流水位 $Y.P.-0.70$

放水有り

● 流速及び流向測定

○ 流向測定

□ 水位測定

☆ 上下流水位調節点

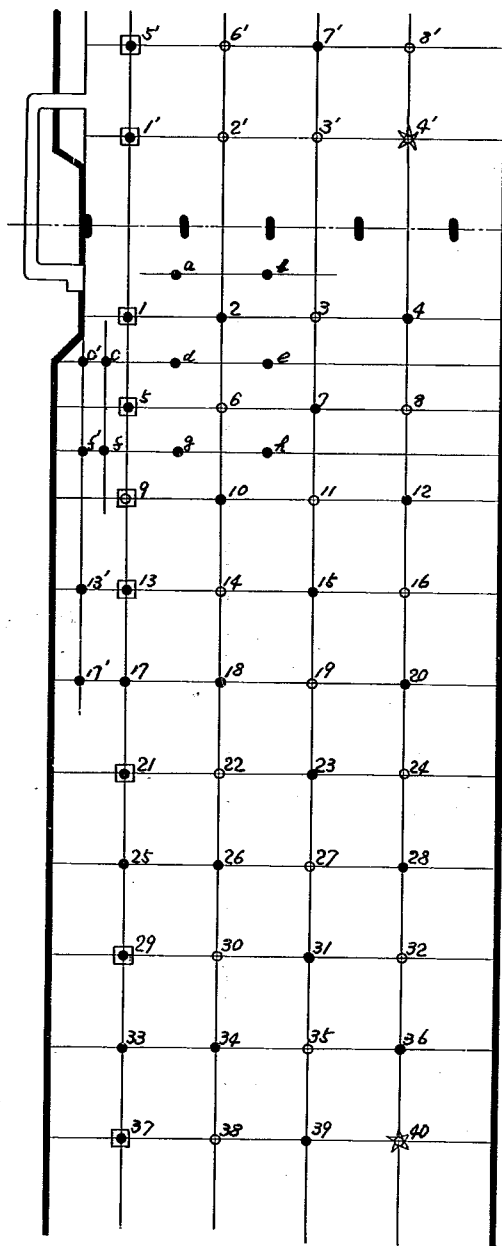


図-20.3 測定点位置図

実験 II

実験条件

オーバーフロー
ゲート高 Y.P.-0.20^m
下流水位 Y.P.-0.70^m
放水有り

● 流速及び流向測定

○ 流向測定

□ 水位測定

☆ 上下流水位調節

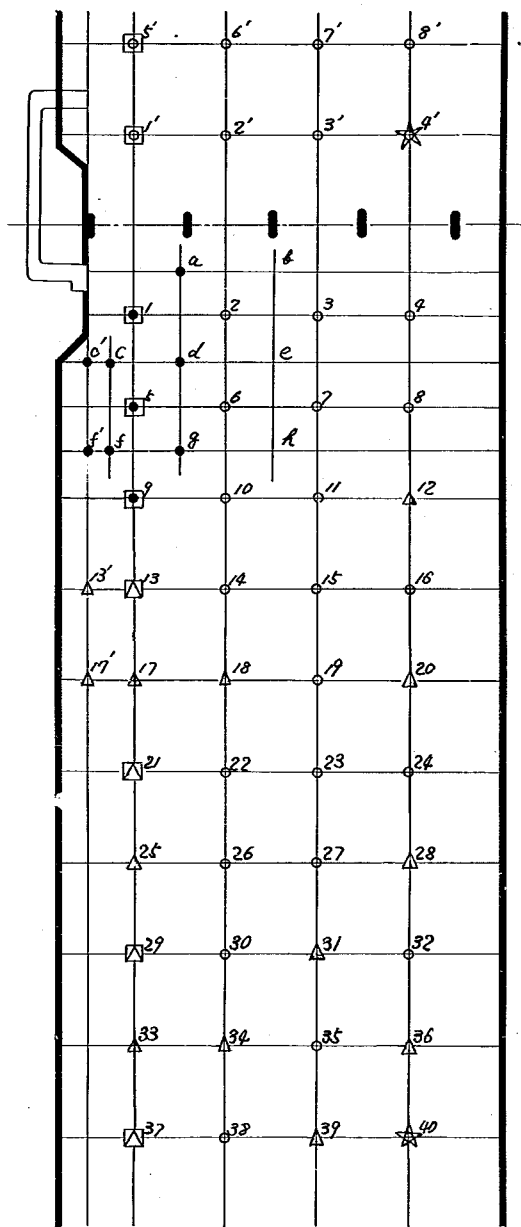


図20.4 測定点位置図

実験 II'

実験条件

オーバー・フロー
ゲート高 Y.P-0.20
下流水位 Y.P-0.10
放水なし

●鉛直1点流速・流向測定

△鉛直1点流速・流向測定

○鉛直1点流向測定

□水位測定

☆上下流水位調節

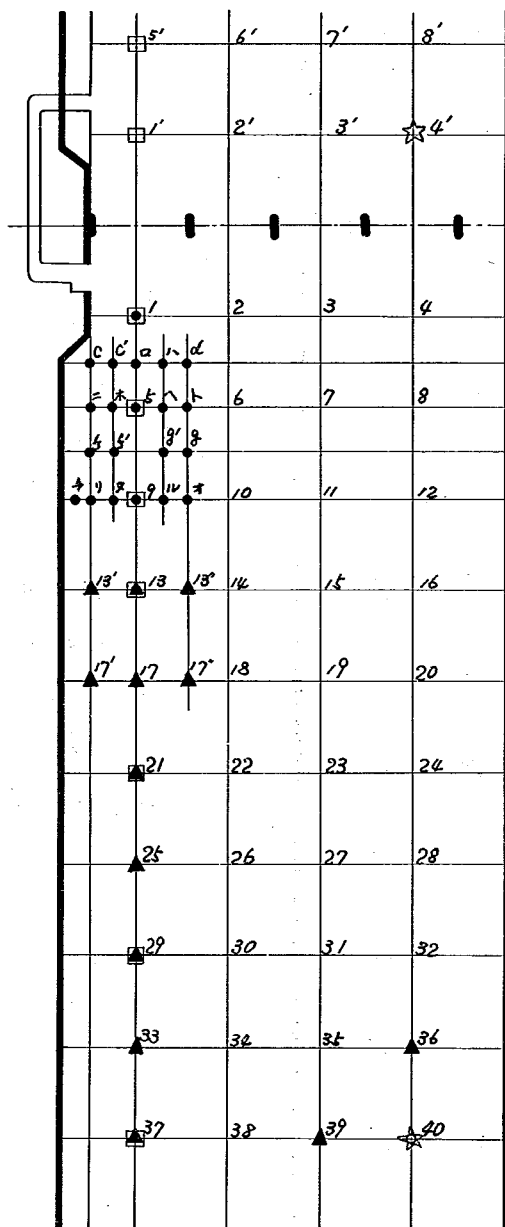


図-20.5 測定点位置図

実験 III

実験条件

オーバーフロー
ゲート高 Y.P.+0.20
下流水位 Y.P.+0.40
放水有り

●鉛直5cm流速, 流向測定

▲鉛直1cm流速, 流向測定

□水位測定

☆上下流水位調節弁

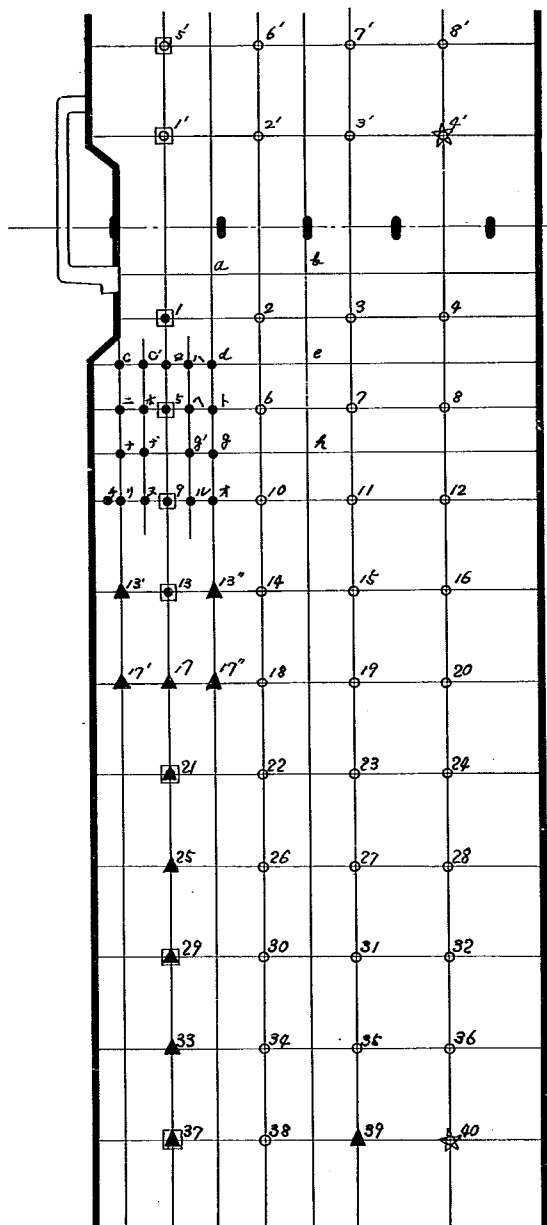


図20.6 測定点位置図

実験Ⅳ

実験条件

オーバーフロー
 ゲート高 Y.P. - 0.20
 下流水位 + 0.40
 放水有り

●鉛直流速・流向測定

▲鉛直流速・流向測定

○流向測定

□水位測定

☆上下流水位調節

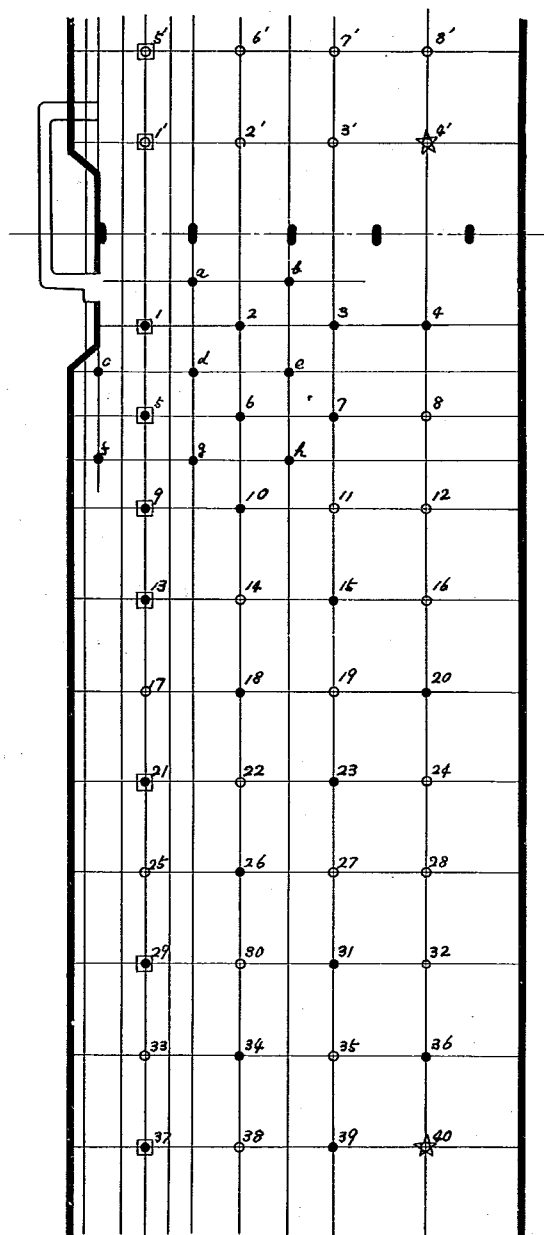


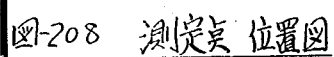
図20.7 測定点位置図

実験 V

実験条件

アンダーフロー
ゲート開度 0.34
下流水位 YP-0.10
放水有り

- 流速、流向測定
- 流向測定
- 水位測定
- ☆ 上下流水位調節点



實驗條件

- 流速流向測算
- 流向測算
- 水位測算
- ☆ 上下流水位調節算

図-21-1 水位縦断面図

$$Q = 80 \text{ m}^3/\text{s}$$

カート高 Y.P.+0.2 オーバーフロー

- 実験 I 下流水位 Y.P.-0.10 放水有り
- - - - " I' 下流水位 Y.P.-0.10 放水なし
- . - . " III 下流水位 Y.P.+0.40 放水有り

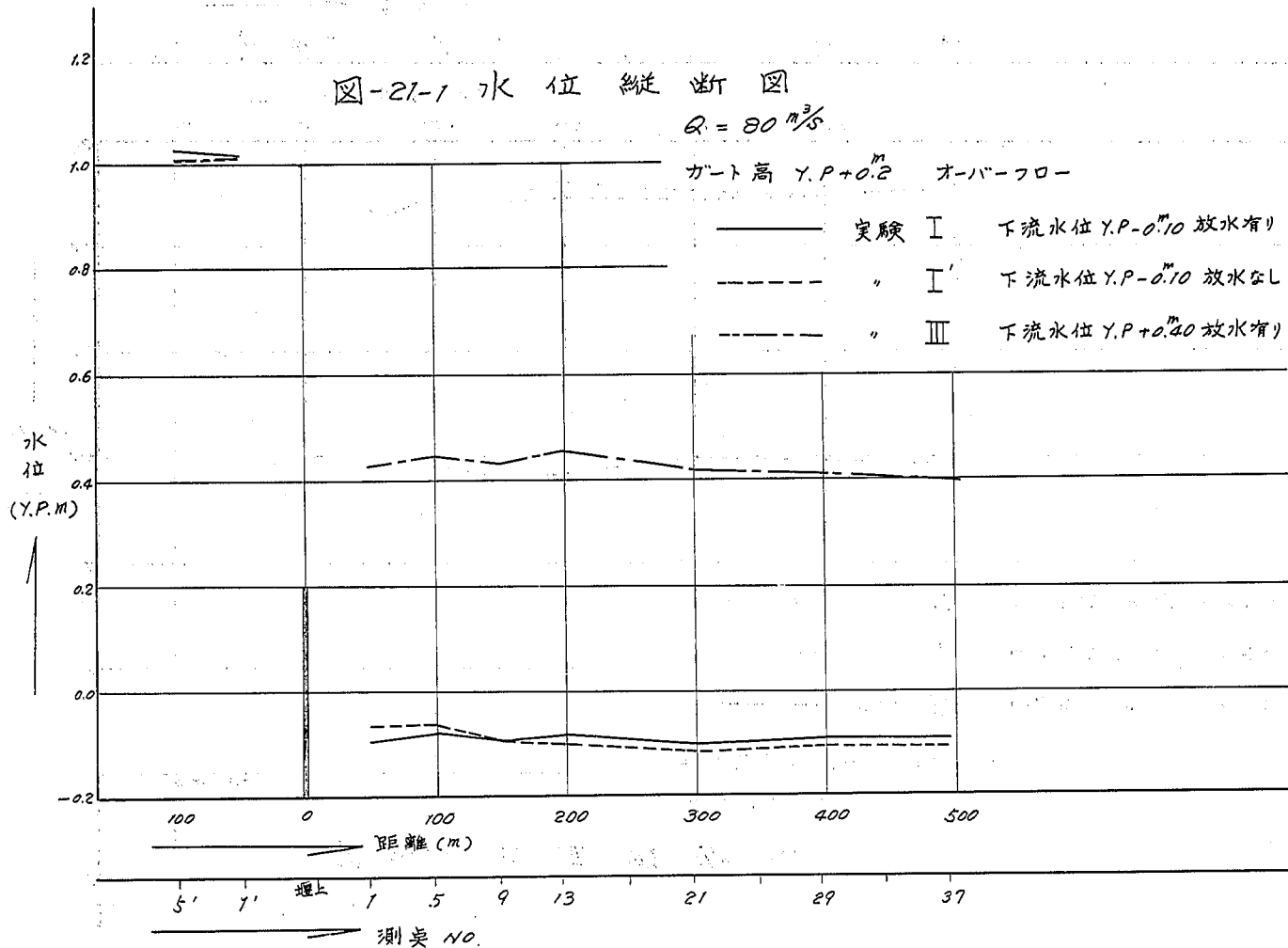


図-21-2 水位縦断面図

$$Q = 120 \text{ m}^3/\text{s}$$

ゲート高 Y.P. - 0.20 オーバーフロー

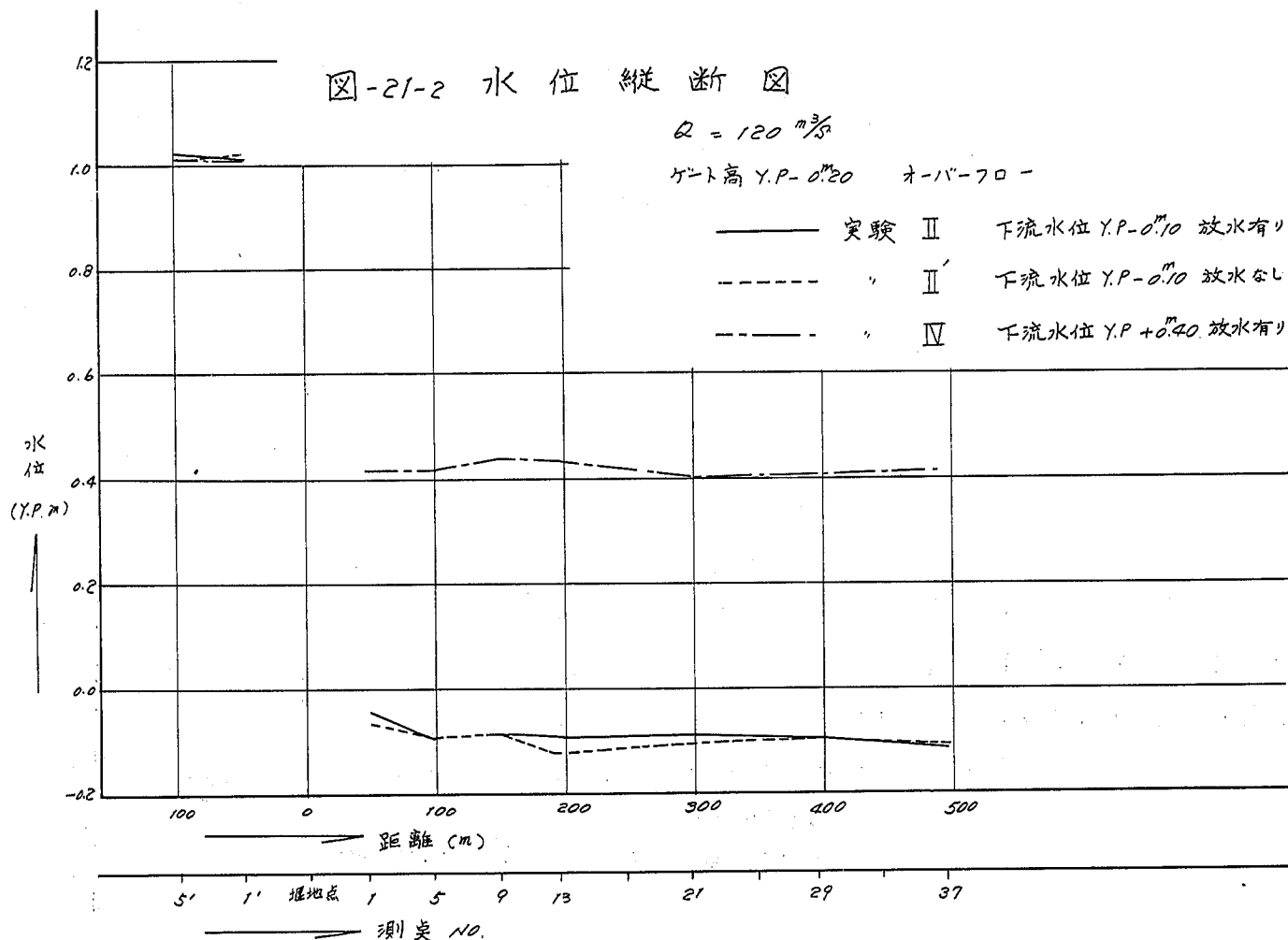
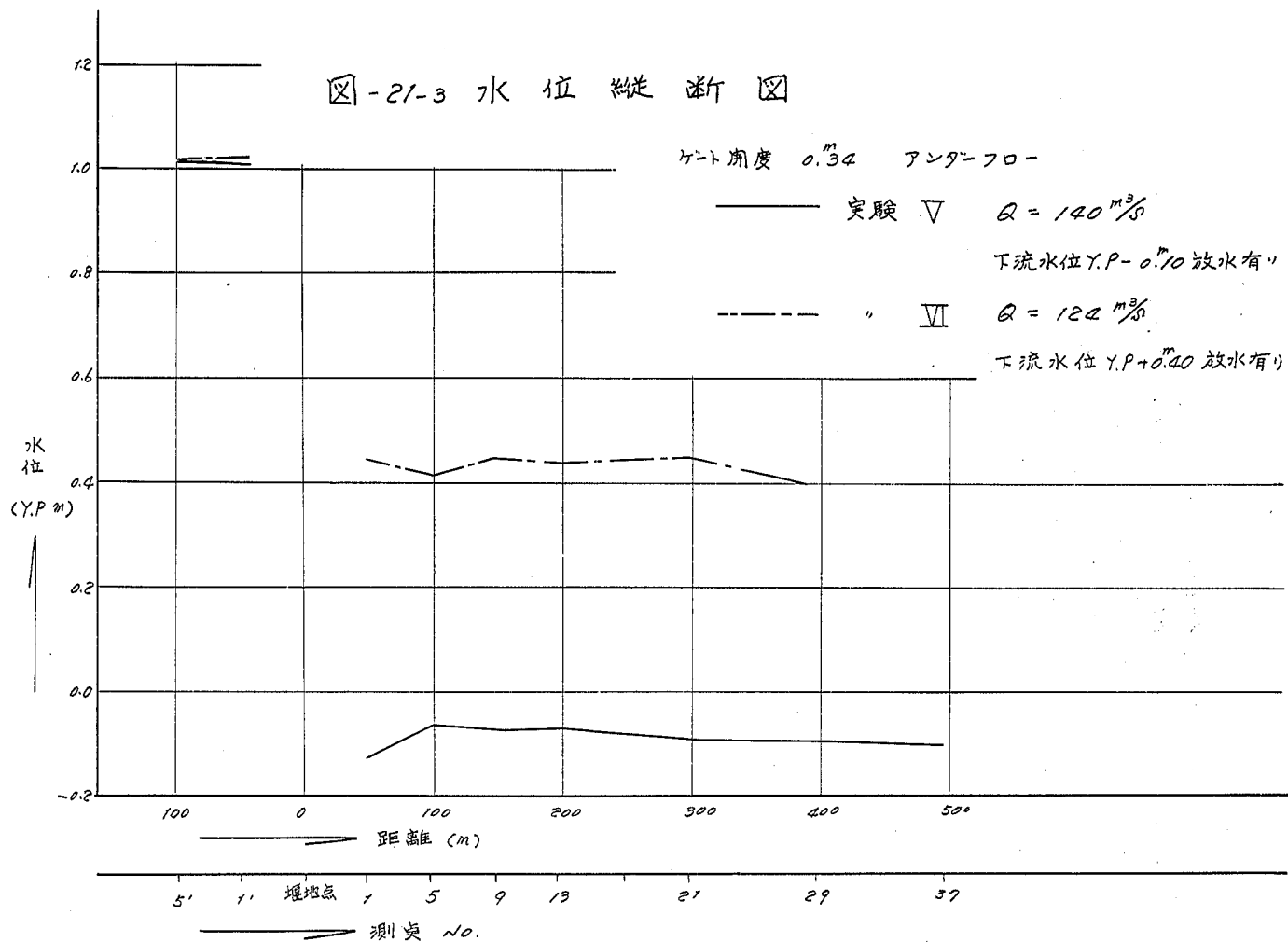


図-21-3 水位縦断面図



(3) 流速について

各実験の流速測定点は測定点位置図(図-2.0.1~2.0.8)に示す。測定点位置図のうち●印は鉛直方向5点の流速測定を行い、▲印は鉛直方向の代表流速1点のみ流速測定を行った測点である。鉛直方向の測定間隔は下流水位が $Y.P - 0.10m$ の場合河床から1点目は $0.45m$ それ以後は $0.75m$ 間隔、下流水位が $Y.P + 0.40m$ の場合には1点目が $0.45m$ それ以後が $1.05m$ 間隔である。鉛直方向の測定結果を流速分布図(図-2.2.1~2.2.8)に示す。流速分布図で縦軸のみが記入されている測点については流速が小さくて測定出来なかつた点であり、何も記入されていない測定点については流速測定を行わなかつた。また鉛直方向の平均流速および鉛直方向の代表流速1点の測定値を流向に合わせて流速ベクトル線図を作り図-2.3.1~2.3.8に示した。

図-22-1 流速分布図

実験 I

実験条件

オバフロー
ゲート前 Y.P. 10.20
下流水位 Y.P. 0.1
放水有り

0 1.0 2.0 流速m/s

5
4
3
2
1
0
縦
断
尺

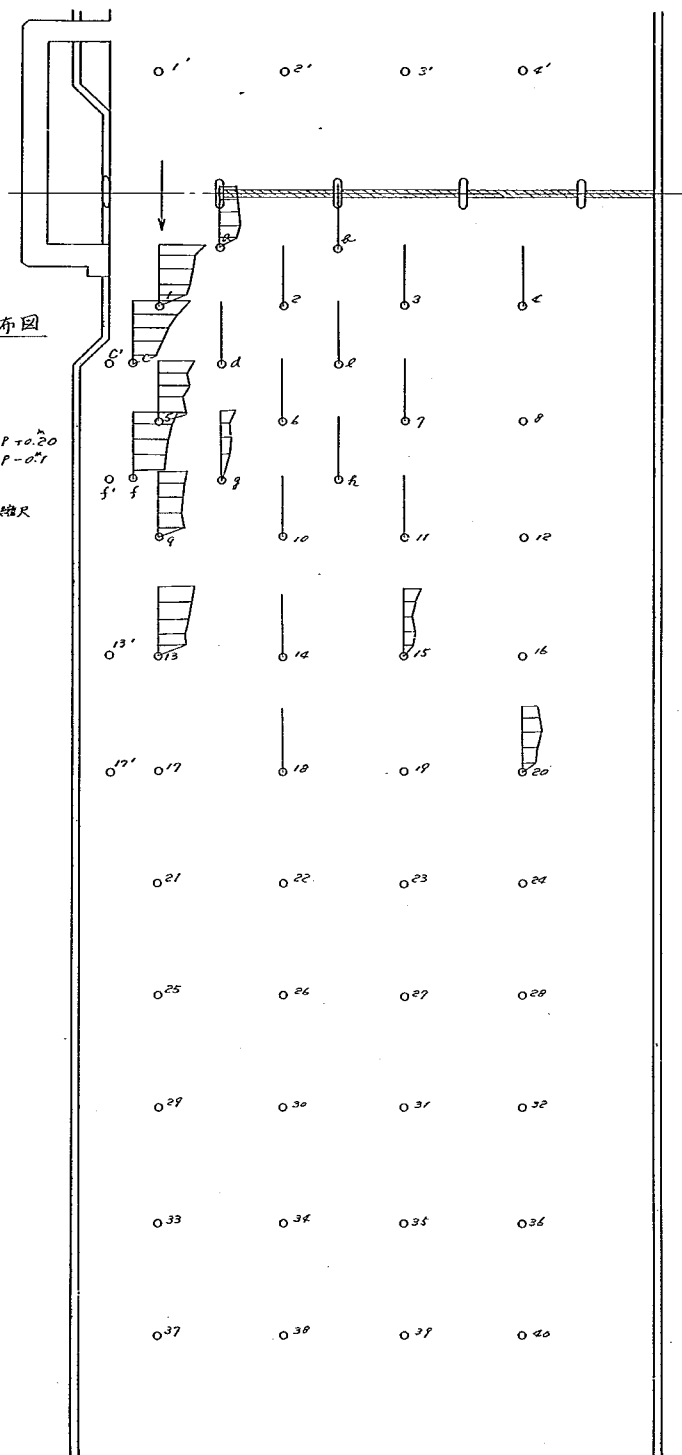


図-22-2 流速分布図

実験 I'

実験条件

ノバフロ-

ゲート高 +0.2

下流水位 -0.1

放水有

0 10 20 流速階尺

5
4
3
2
1
0
階
階
尺
又

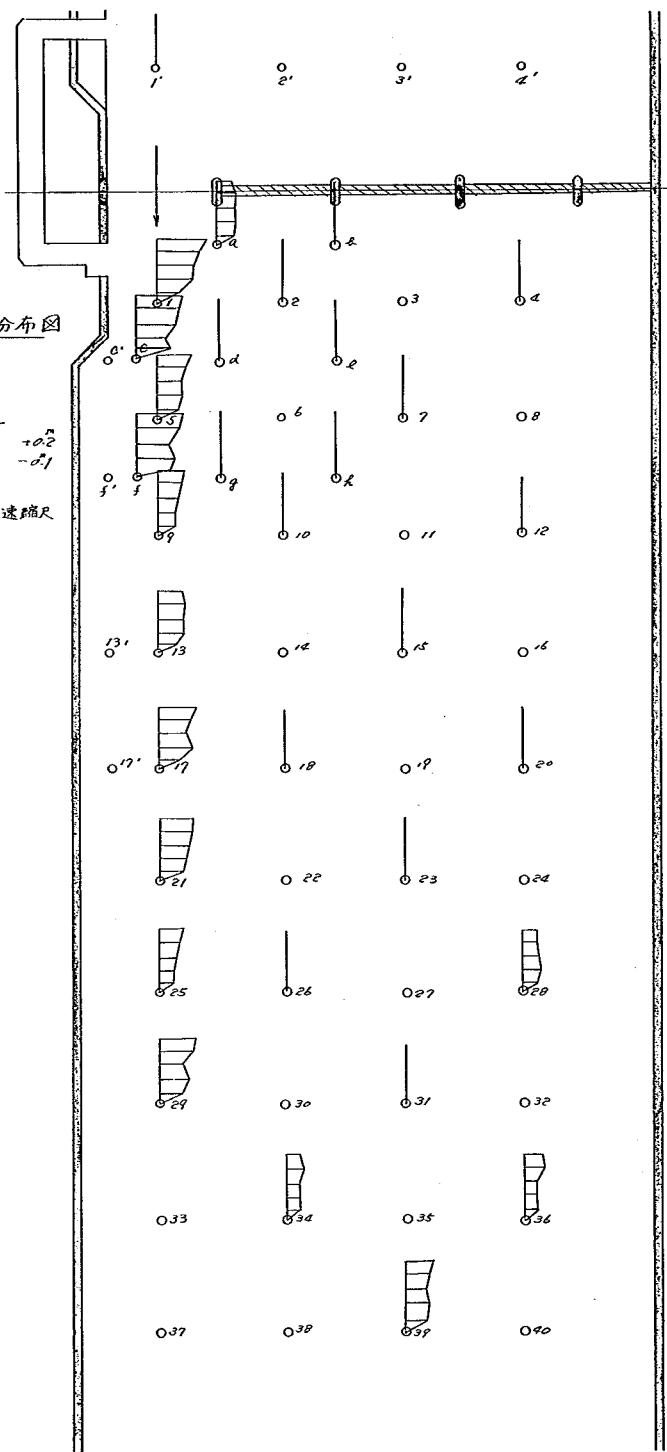


図-22-3 流速分布図

実験Ⅱ

実験条件

オーバーフロー
ゲート高 $Y_P=0.2$
下流水位 $Y_P=0.1$
放水有り

0 10 20 % 流速増大

5
4
3
2
1
0
縦
断
尺

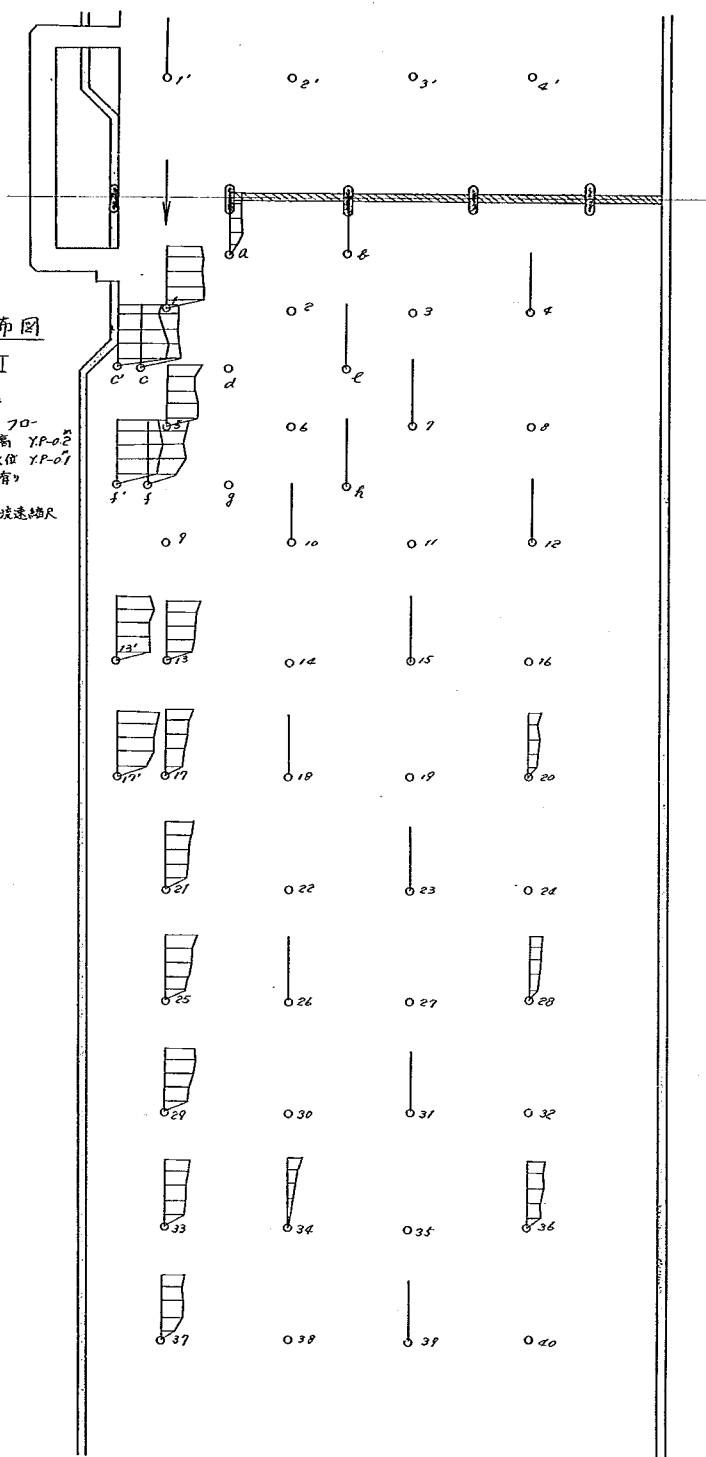


図-22-4 流速分布図

実験Ⅱ

実験条件

オバフロ-
ゲート高 $Y.P-0.2$
下流水位 $Y.P-0.7$
放水有り

0 10 20 $\frac{1}{5}$ 流速縮尺

5
4
3
2
1
0
縦
縮
尺

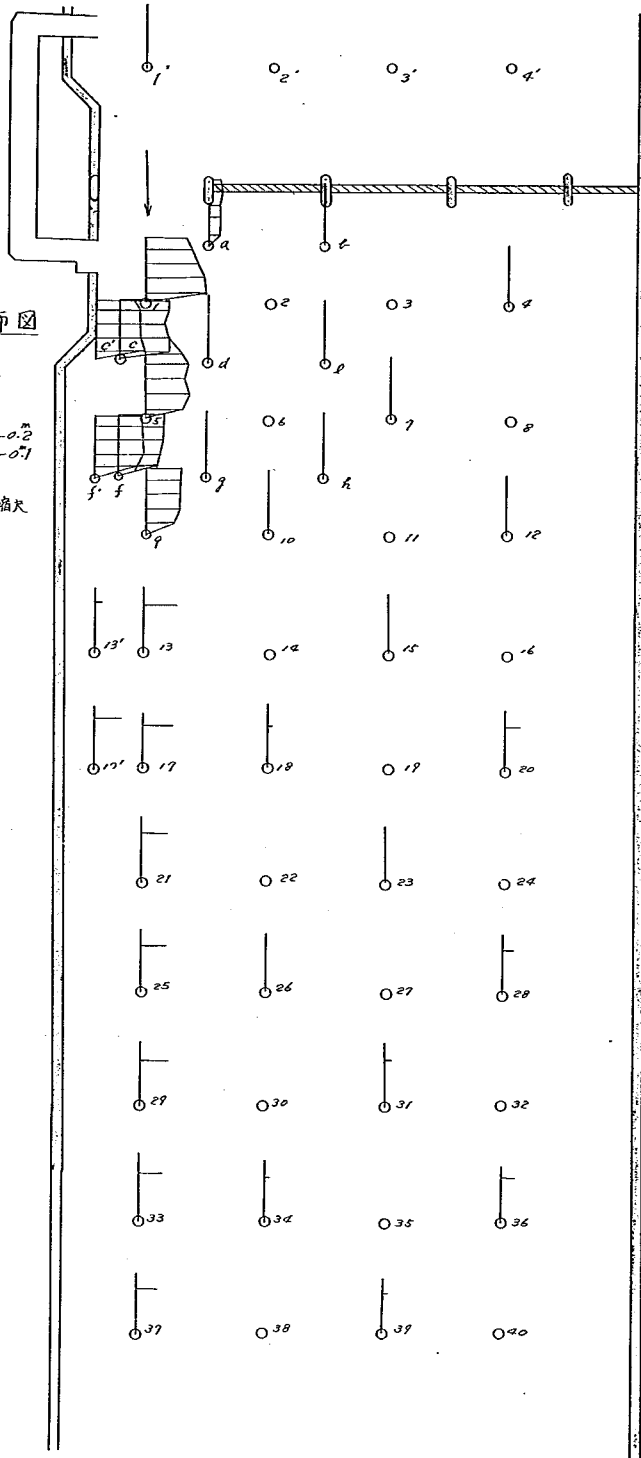


图-22-5 流速分布图 实验 III

実験条件

オーバーフロー
ゲート高 0.20
下流水位 0.40
放水有り

流速縮尺 $\frac{m}{s}$

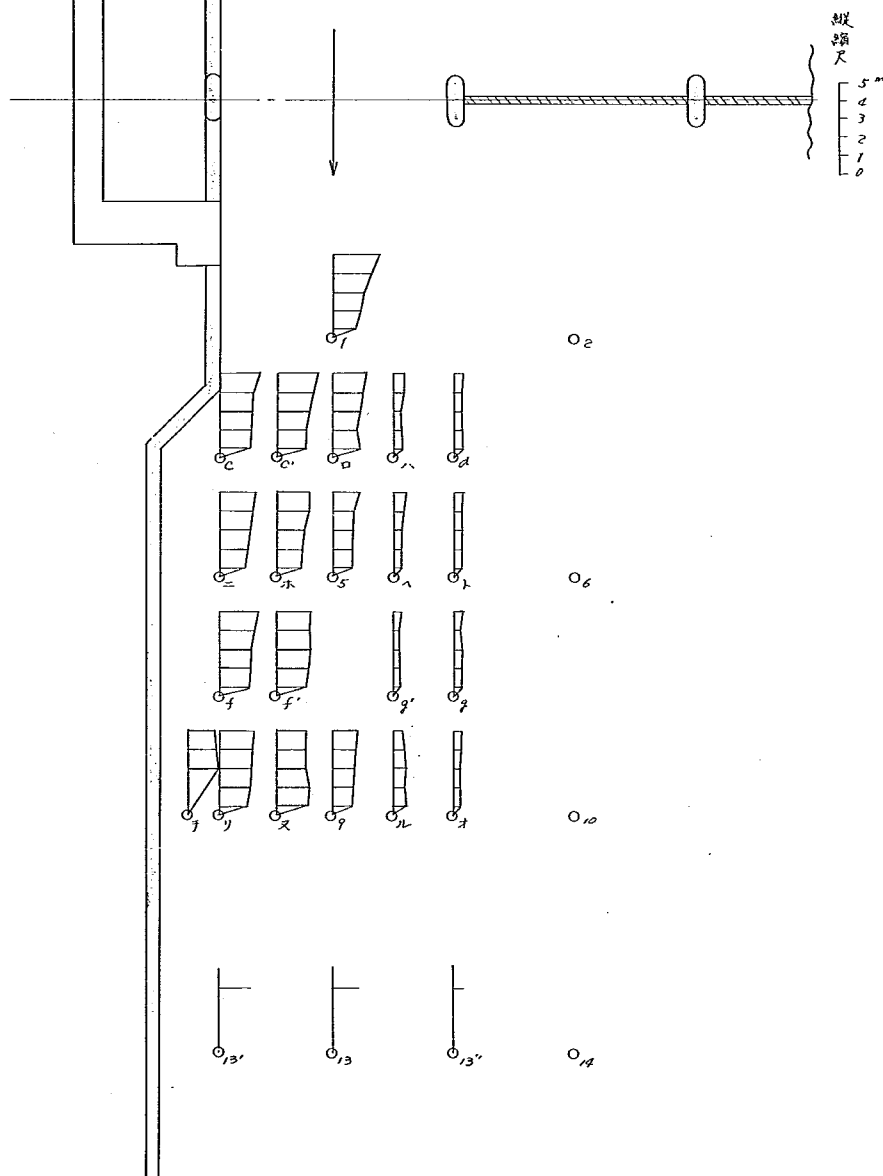


図-22-6 流速分布図 実験 IV

実験条件 オートフロー
ゲート高 -0.20
下流水位 0.40
放水有り

流速幅尺 $0 \quad 10 \quad 20 \quad \text{m/s}$

縦縮尺
4
3
2
1
0

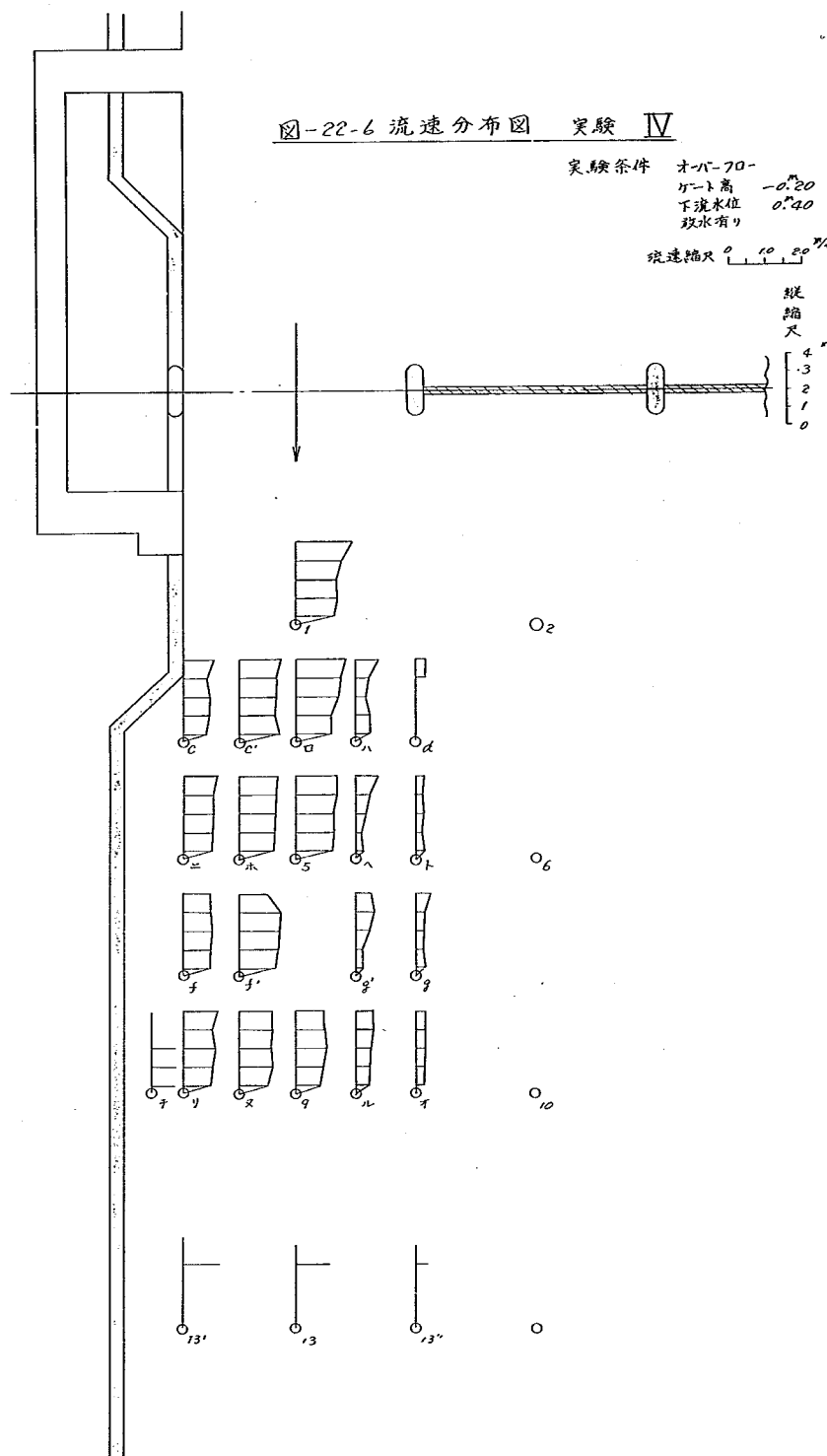


図-22-7 流速分布図

実験 Ⅴ

実験条件

アンダーパス
ゲート開度 0.32
下流水位 Y.P-0.1
放水有り

0 10 20 % 流速幅尺

5 m
4
3
2
1
0
水深尺

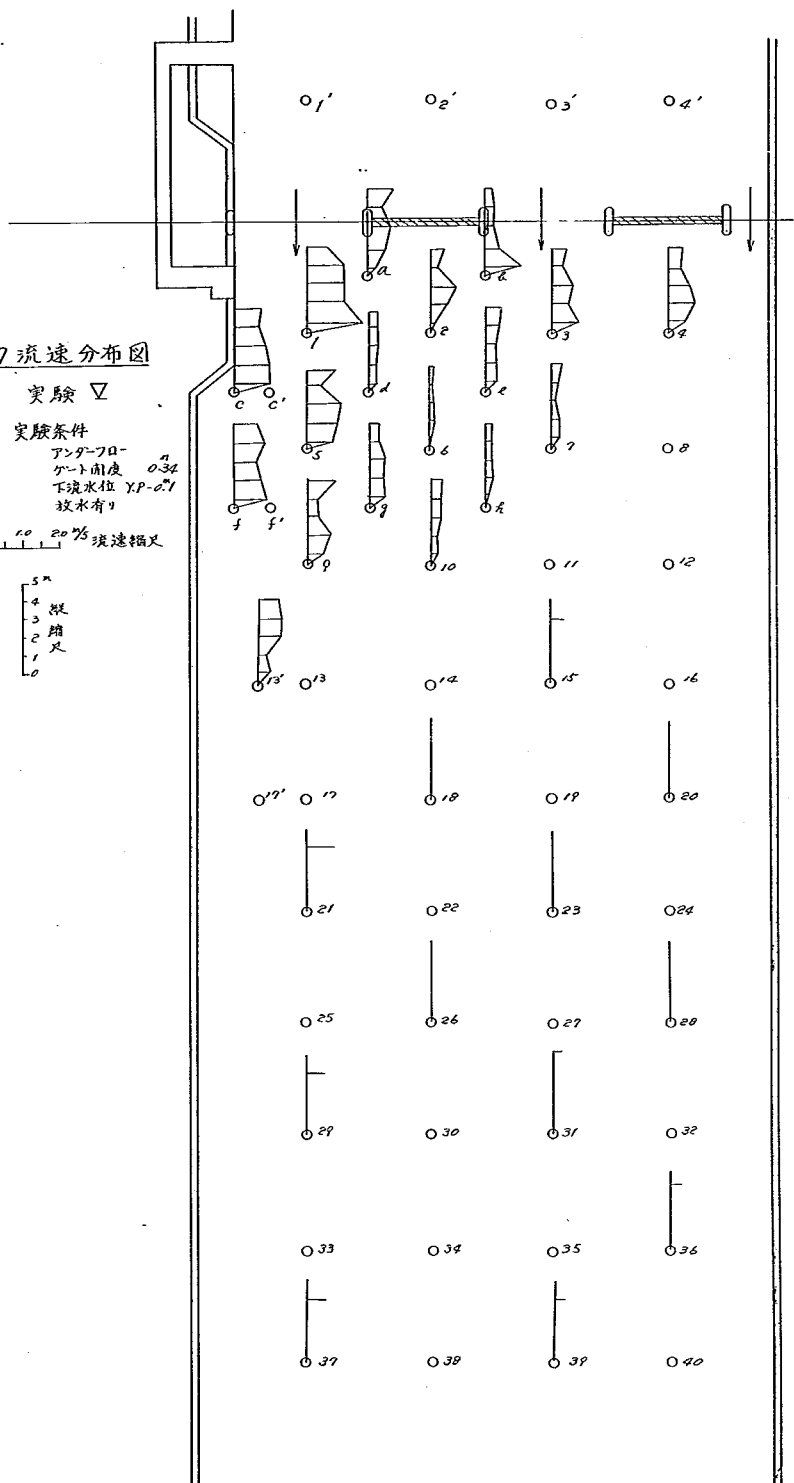


図-22-8 流速分布図

実験Ⅶ

実験条件

アンダーフロー

ゲート開度 0.32

下流水位 Y.P. 0.40

放水有り

0 1.0 2.0 m/s 流速縮尺

5
4
3
2
1
0
縦縮尺

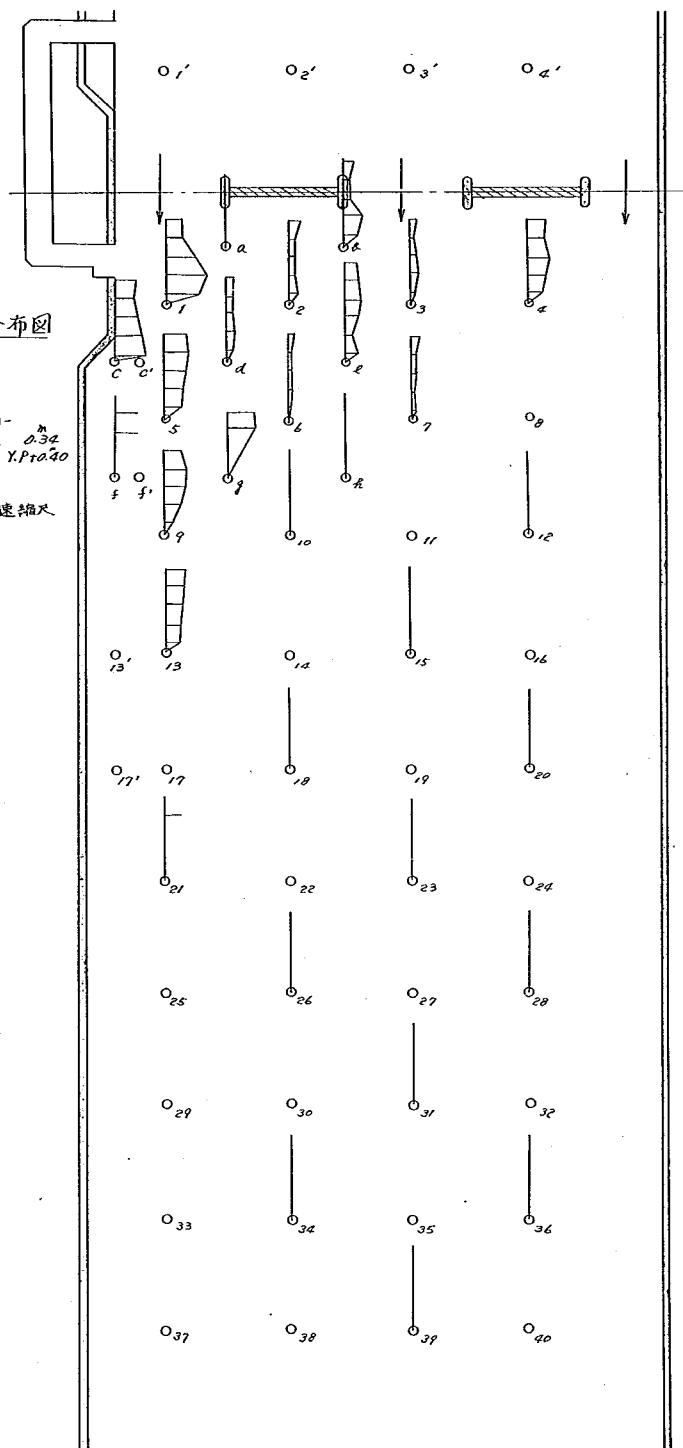


図-23.1 流速ハケル線図

実験 I

実験条件

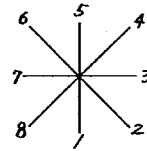
オーバーフロー

ゲート高 $Y.P. + 0.30$

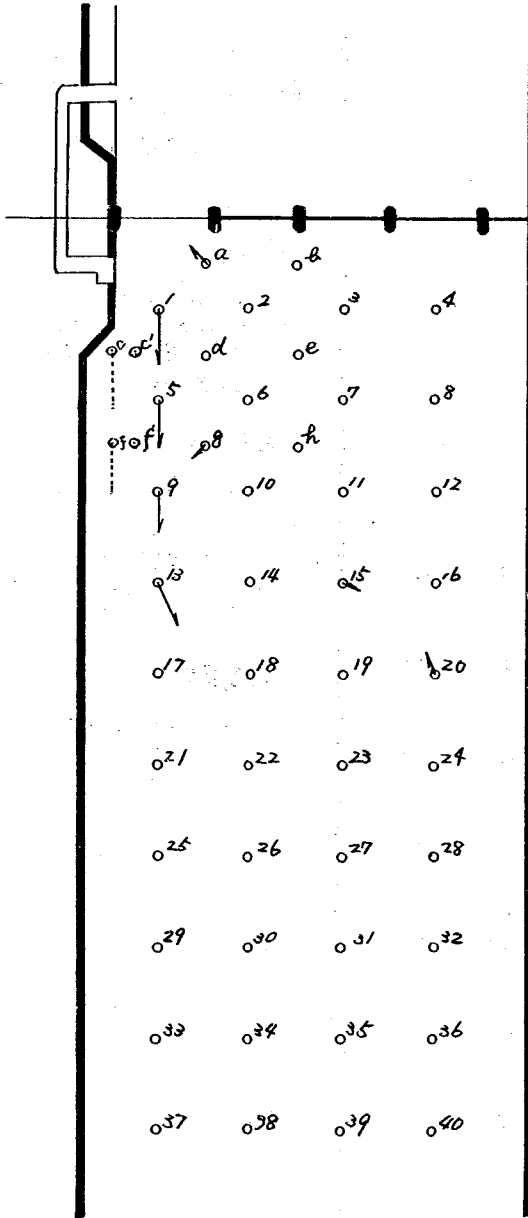
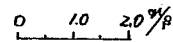
下流水位 $Y.P. - 0.10$

放水有り

流向表示



流速縮尺



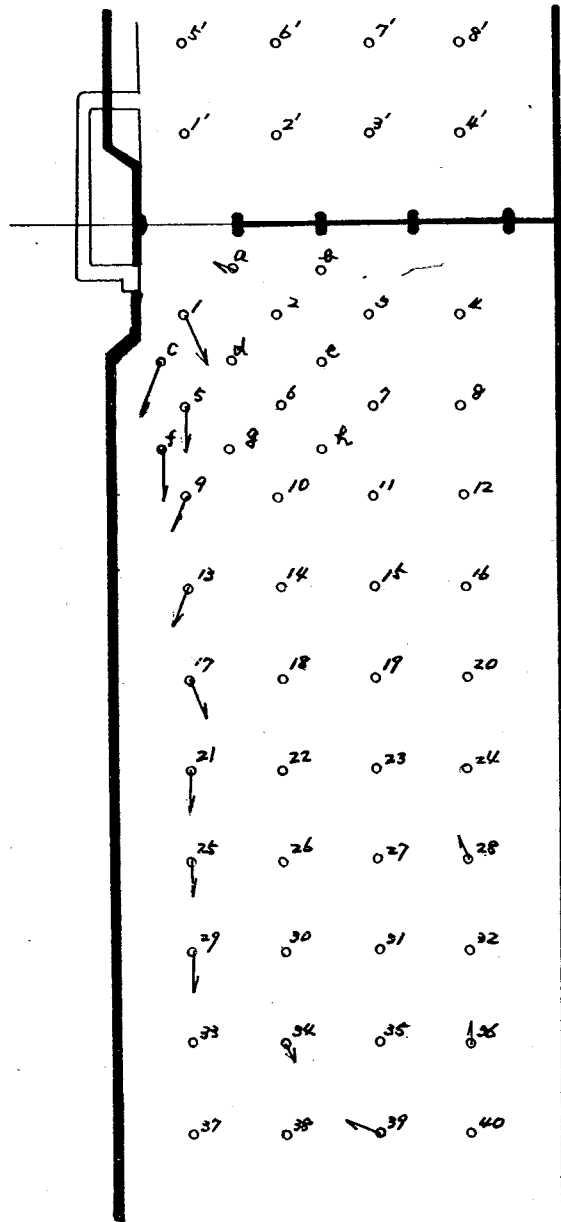


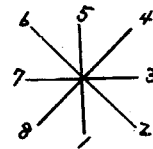
図-23.2 流速ベクトル線図

実験 I'

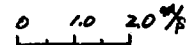
実験条件

オーバーフロー
ゲート高 $Y_P + 0.20$
下流水位 $Y_P - 0.10$
放水なし

流向表示



流速縮尺



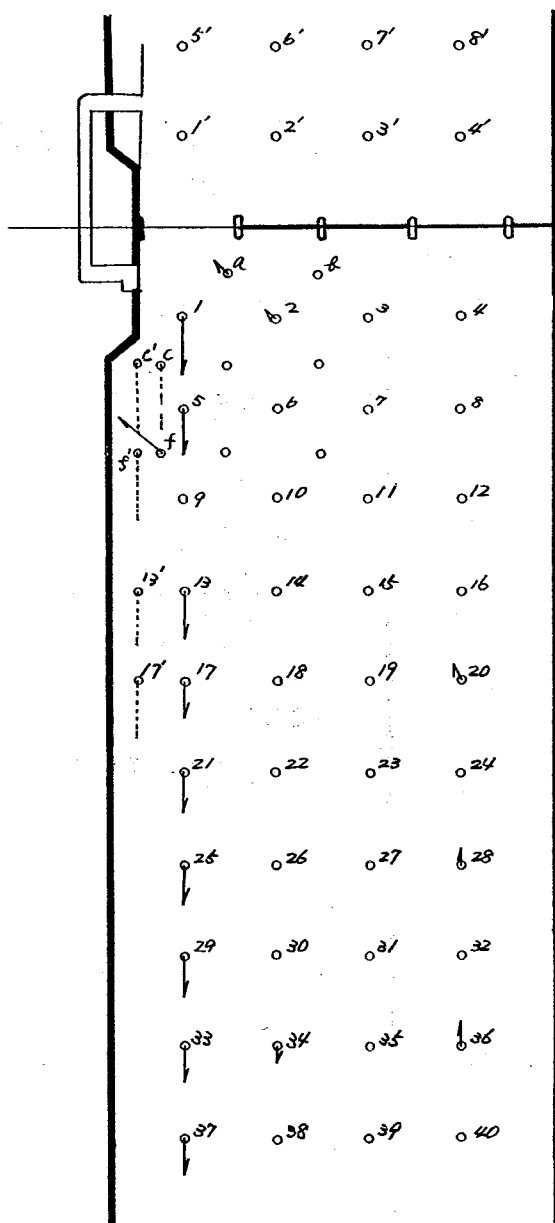


図-233 流速ベクトル線図

実験Ⅱ

実験条件

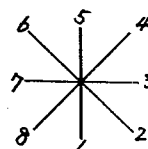
オーバーフロー

加圧高 $Y.P. - 0.20$

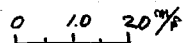
下流水位 $Y.P. - 0.10$

放水有り

流向表示



流速縮尺



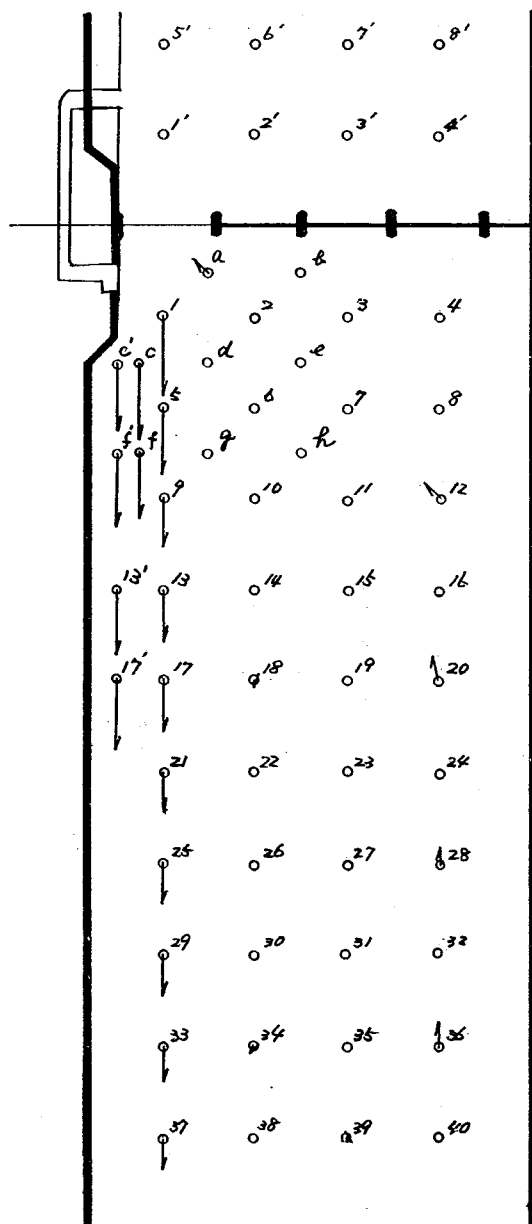


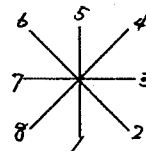
図-23.4 流速ベクトル線図

実験Ⅱ

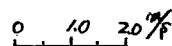
実験条件

オーバーフロー
 ゲージ高 $Y_P - 0.20$
 下流水位 $Y_P - 0.10$
 放水なし

流向表示



流速縮尺



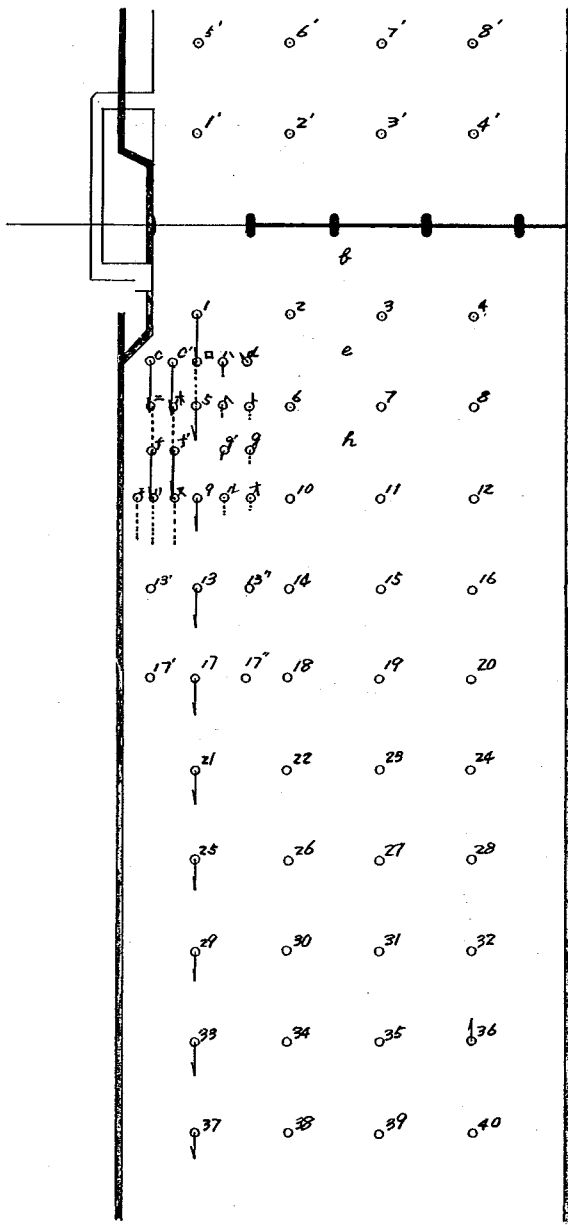


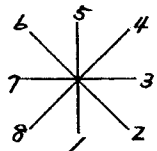
図-23.5 流速ベクトル線図

実験Ⅲ

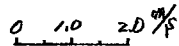
実験条件

オーバーフロー
ゲート高 $Y.P. + 0.20$
下流水位 $Y.P. + 0.40$
放水有り

流向表示



流速縮尺



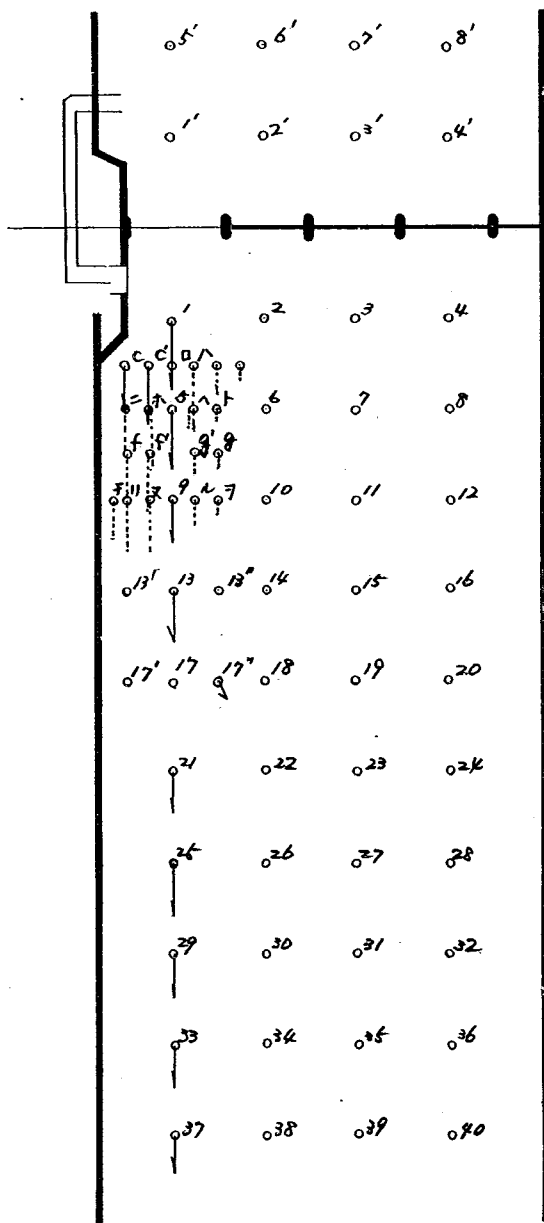


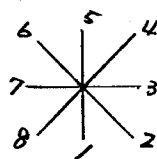
図-23.6 流速ベクトル線図

実験Ⅳ

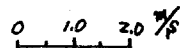
実験条件

オーバーフロー
ゲージ高 $Y.P. - 0.20$
下流水位 $Y.P. + 0.40$
放水有り

流向表示



流速縮尺



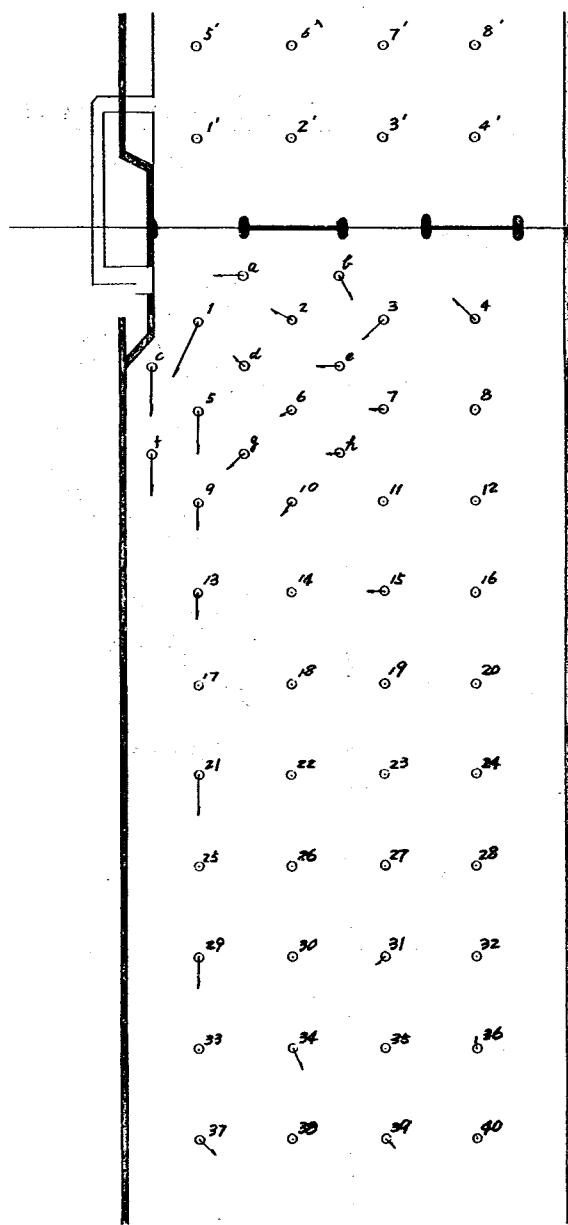
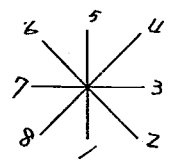
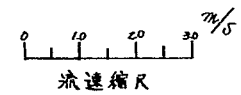


図-23.7 流速ハケル線図

実験 V

実験条件
 アンダーフロー
 ゲート開度 0.34
 下流水位 Y.P.-0.70
 放水あり



流向表示

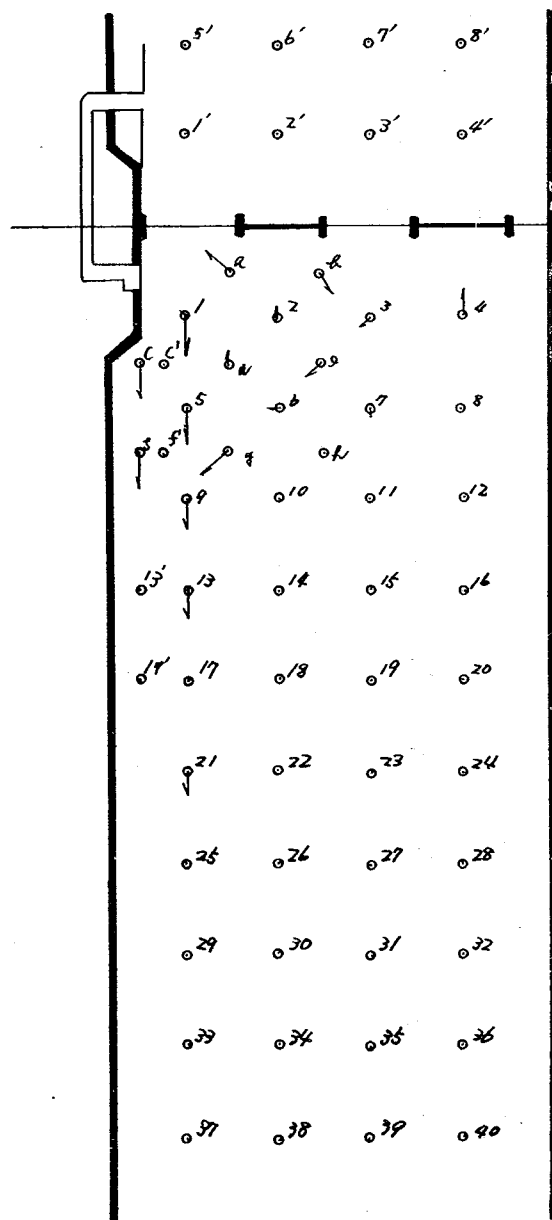
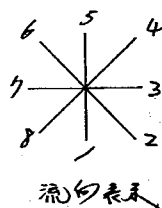
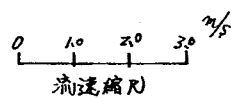


図-23.8 流速ベクトル線図

実験 VI

実験条件

アンダーフロー
ゲート開度 0.34
下流水位 $Y_P + 0.40$
放水あり



ここで堰直下流約50mおよび約200m地点の鉛直方向の平均流速値を取り出すと表-10のようになる。

表-10 堰下流50m、100m地点の平均流速値

実験No	ゲート高またはゲート開度	堰下流水位	放水の有無	50m地点流速	200m地点流速
I	$Y_gP+0.2m$	$Y_gP-0.10m$	有	0.74 m/s	0.82 m/s
I'	"	"	無	1.03	0.74
II	$Y_gP-0.2m$	"	有	1.15	0.79
II'	"	"	無	1.45	0.92
III	$Y_gP+0.2m$	$Y_gP+0.40m$	有	0.90	0.71
IV	$Y_gP-0.2m$	"	"	1.23	0.91
V	0.34 m	$Y_gP-0.10m$	"	1.11	0.48
VI	0.34 m	$Y_gP+0.40m$	"	0.76	0.50

これらの図および表によると、まず流速分布はゲート越流の場合は水面付近が速く、ゲート落流の場合は堰地点より100m下流ぐらまでは河床付近が速くそれ以後は水面付近が速くなっている。また放水の有無による差は見られないようである。

表-10によると堰下流50m地点では下流水位の違いによる流速の差はなく、ダブルゲート高による差が見られる。流速値はゲート高 $Y_gP+0.2m$ およびゲート開度0.34mのとき0.7~1.0m/s、ゲート高 $Y_gP-0.2m$ で1.15~1.45m/sとゲート高の低い方が流速が速い。堰下流200m地点ではゲート高による差はなくなり0.7~0.9m/s程度であり、アンダーフローの場合は0.5m/sと小さくなる。これは不定流実験の流速測定値(堰下流200m地点)とほぼ合っている。

(4) 流向について

流向測定点は測定点位置図(図-2 0.1~2.0.8)に示す点で測定を行った。鉛直方向については流速測定と同じ高さで測定し、測定結果は図-2.4(1.1~8.1)の鉛直方向の測点ごとの流向図に示す通りであり鉛直方向の測点の違いによる流向の差はないようである。

ここで鉛直測点番号No1~No5までであるがNo1は水面側、No5は河床側の測定点である。

測定結果によると、放水の有無、ゲート高および下流水位の違いによる流向の変化は渦等を除いてはないと思われる。

(5) 流況について

流況の観察には、上流または放水管、魚道より色素を投入してその色素がどのような流れをするかを観察した。この色素の流れを平面的に記入したのが図-2.5.1~2.5.6の流況図である。

ダブルゲートを越流した流れはまづすぐに流下し堰下流50m付近(測点No37)で左岸に向って流れを変える。左岸側壁(No5ゲート中心線)に当たった流れは左に向い逆流する流れと右に向い下流へ向う流れとに分れる。左に向い逆流した流れは堰下流150~200m(測点No10~No12)付近で右岸に向い大きな渦になっている。

この渦の形は不定流実験を行った右岸の有る模型の場合と左岸半分で限定されている本実験では違いがあると思われる。魚道より流出した流れはダブルゲートの高い場合($Y_gP+0.2m$)には右岸低水護岸に沿いダブルゲートを越流した流れに平行に堰下流200m付近まで流下し、それより下流ではダブルゲートを越流した流れと混り合つて魚道からの流れとは判別出来なくなる。また魚道からの流れがダブルゲートを越流した流れを変えたり流向を乱したり

する程の影響はないように思われる。

ダブルゲートの低い場合 ($Y.P - 0.2 m$) には出口付近でダブルゲートより越流した流れと混り合い、魚道からの流れと殆ど判別出来ない。放水管から放出した流れは直下流にある魚道の出口で魚道からの流れと混り合い、全く区別がつかなくなってしまう。また放水管から放水する流況もダブルゲートから越流した流れを変える程の流勢は全くなく魚道出口に押し付けられる様に入り込み混合し合っている。

アンダーフローの場合は $\#1$ 、 $\#3$ 、 $\#5$ 、ゲートから流出する。 $\#1$ ゲートから流出した流れはダブルゲートオーバーフローの場合に近い流れになっている。 $\#3$ のゲートより流出した流れは左右に広がり右岸方向に向つて流れは $\#1$ ゲートからの流れと混り合い左岸方向に向つた流れは $\#5$ ゲートからの流れに混り合い $\#1$ ゲートから流出し逆流した流れと合流する。

魚道および放水管から流出した流れは $\#1$ ゲートから流出した流れに合流し、ダブルゲートオーバーフローの場合同様、主流の方向を変えたりする程の流勢は見られなかった。

放水管から流出した流れは $\#1$ ゲートの直下流の死水域に混入しゲート下端からの流れに巻き込まれるようにして流下し、判別が出来なくなる。魚道からの流れも魚道出口直下流 $\#1$ ゲートから流出した流れに混り合い流下し主流に対する影響は見られなかった。

図24-1-1 流向図

実験 I

鉛直測臭 No.1

実験条件

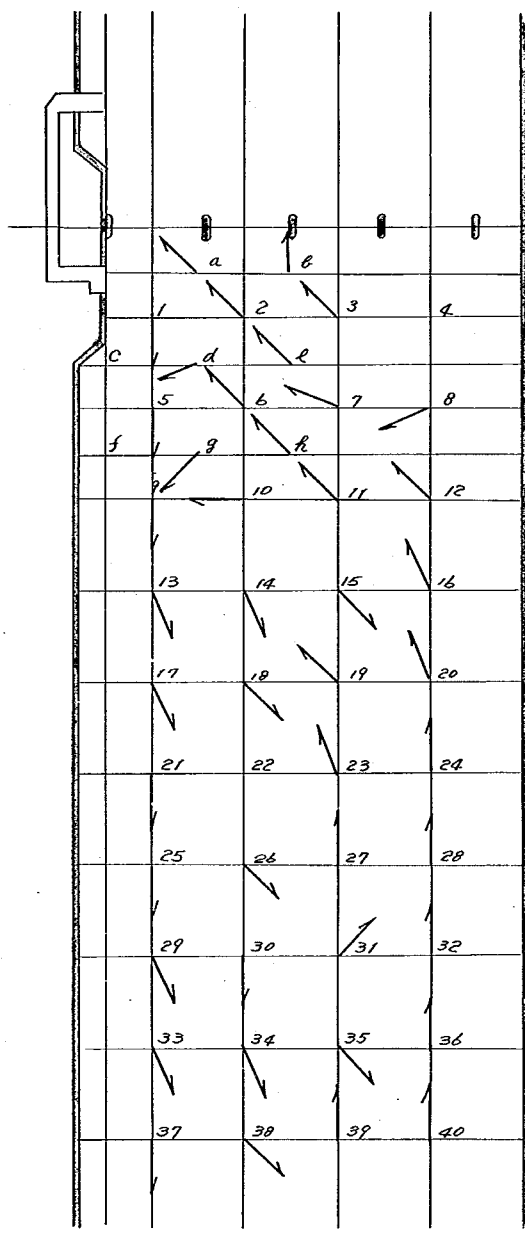
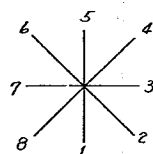
オーバーフロー

ゲート高YP+0.20^m

下流水位YP-0.10^m

放水あり

流向表示



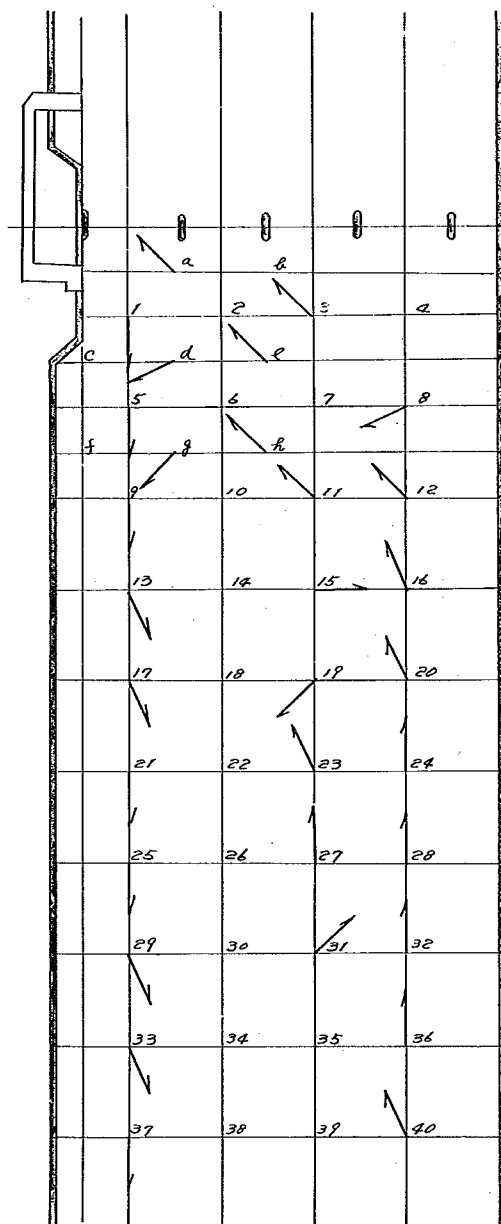


図 24-1-2 流向図

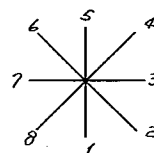
実験 I

鉛直測定 No.5

実験条件

オーバーフロー
ゲート高 $YP+0.20$
下流水位 $YP-0.10$
放水あり

流向表示



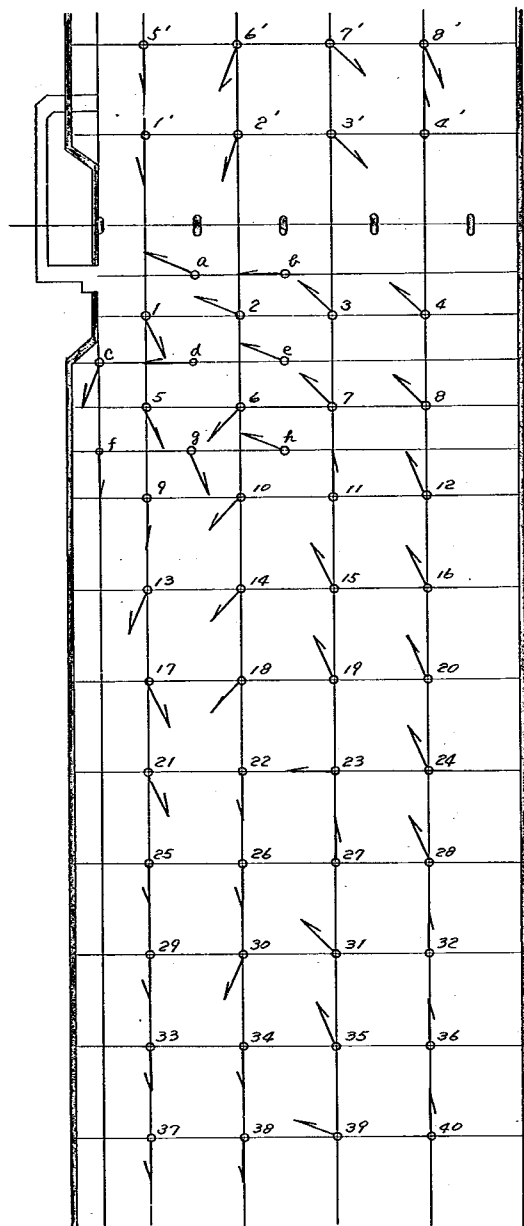


図-24-2-1 流向図

実験Ⅰ

鉛直測尺 No.1

実験条件

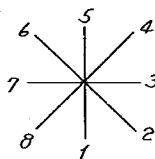
オーバーフロー

ゲート高 $Y.P + 0.2^m$

下流水位 $Y.P - 0.10^m$

放水なし

流向表示



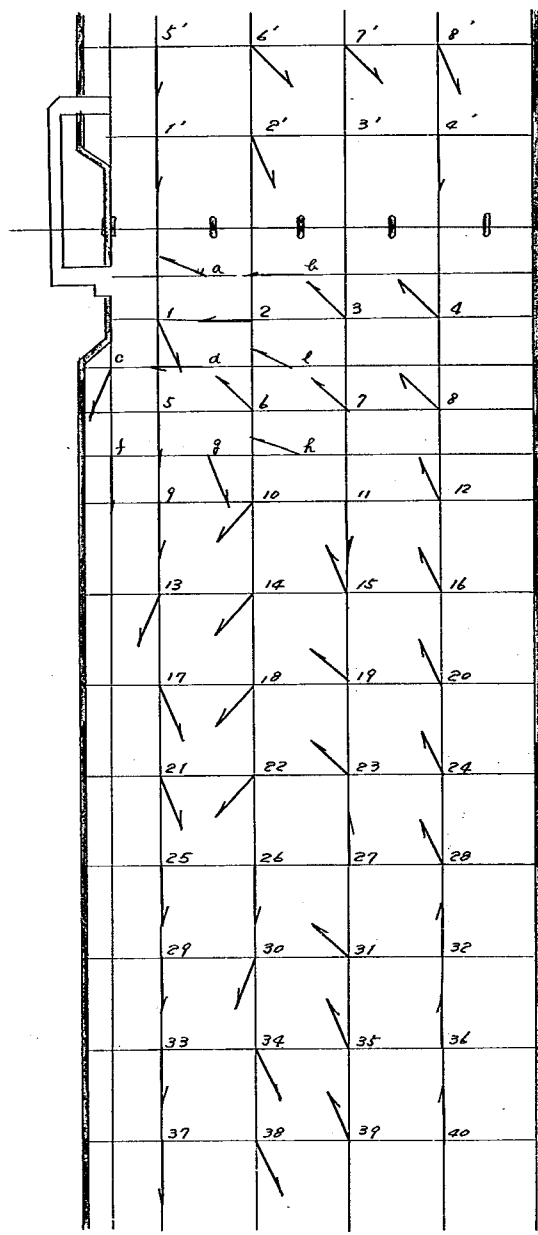


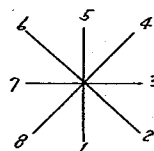
図 24-2-2 流向図

実験 I'

鉛直測尺 No.5

実験条件

オーバーフロー
ゲート高 $Y.P + 0.2^m$
下流水位 $Y.P - 0.70^m$
放水なし



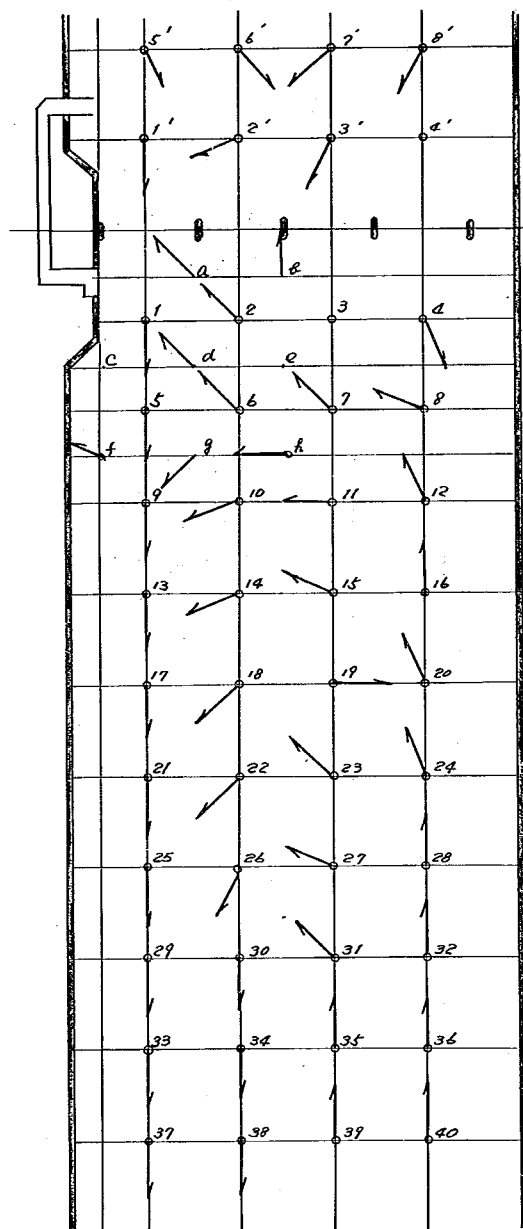


図-24-3-1 流向図

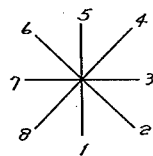
実験Ⅱ

鉛直測臭 No.1

実験条件

オーバーフロー
ゲート高YP-0.20^m
下流水位YP-0.10^m
放水あり

流向表示



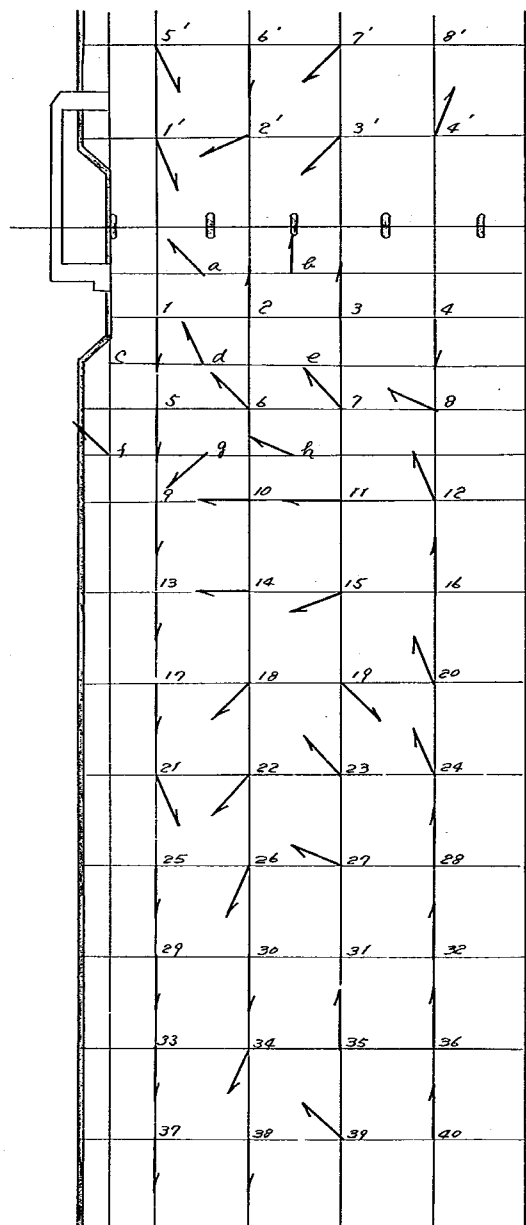


図-24-3-2 流向図

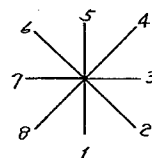
実験Ⅱ

鉛直測定 No.5

実験条件

オーバーフロー
ゲート高 $Y_P = 0.20^m$
下流水位 $Y_P = 0.10^m$
放水あり

流向表示



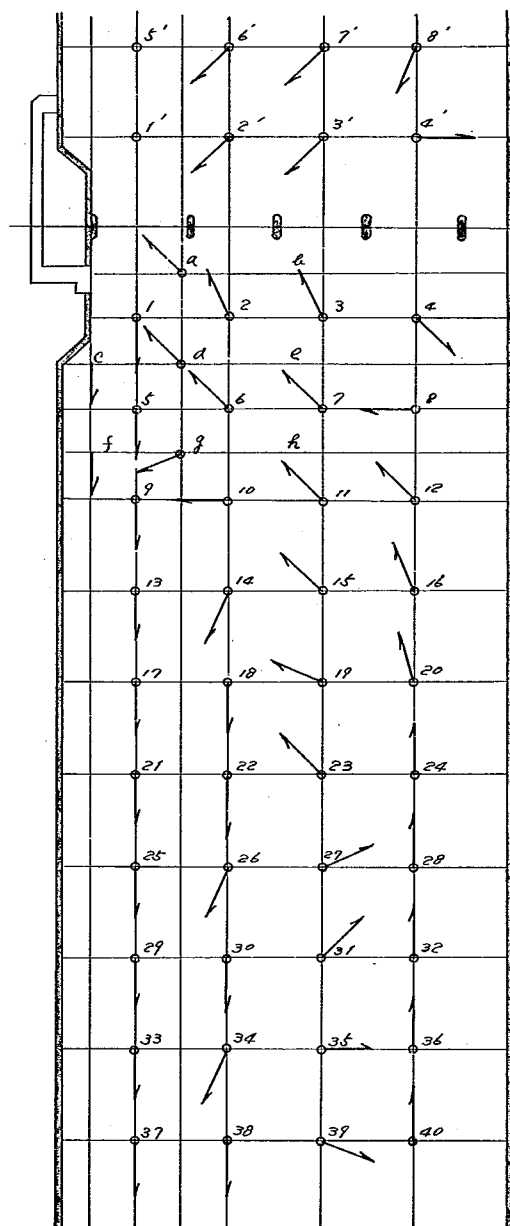


図-24-4-1 流向図

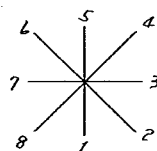
実験Ⅱ

鉛直潮表 No.2

実験条件

オーバーフロー
ゲート高 $Y.P. - 0.20$
下流水位 $Y.P. - 0.10$
放水なし

流向表示



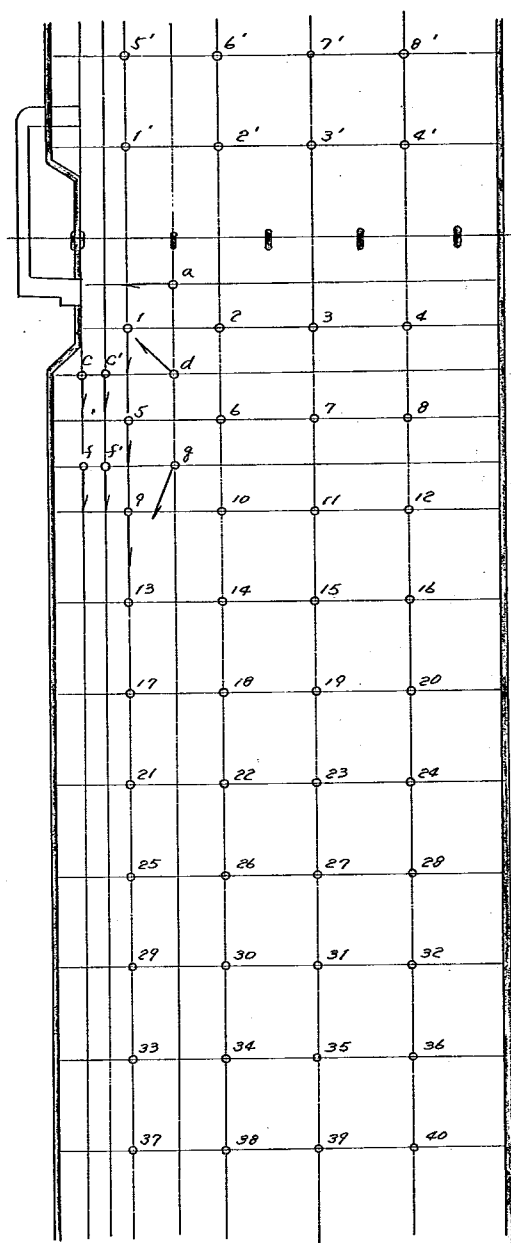


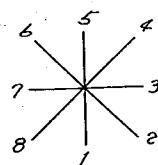
図-24-5-1 流向図

実験 III

鉛直測点 No.1

実験条件

オーバーフロー
ゲート高 Y.P 0.2m
下流水位 Y.P 0.4m
放水あり



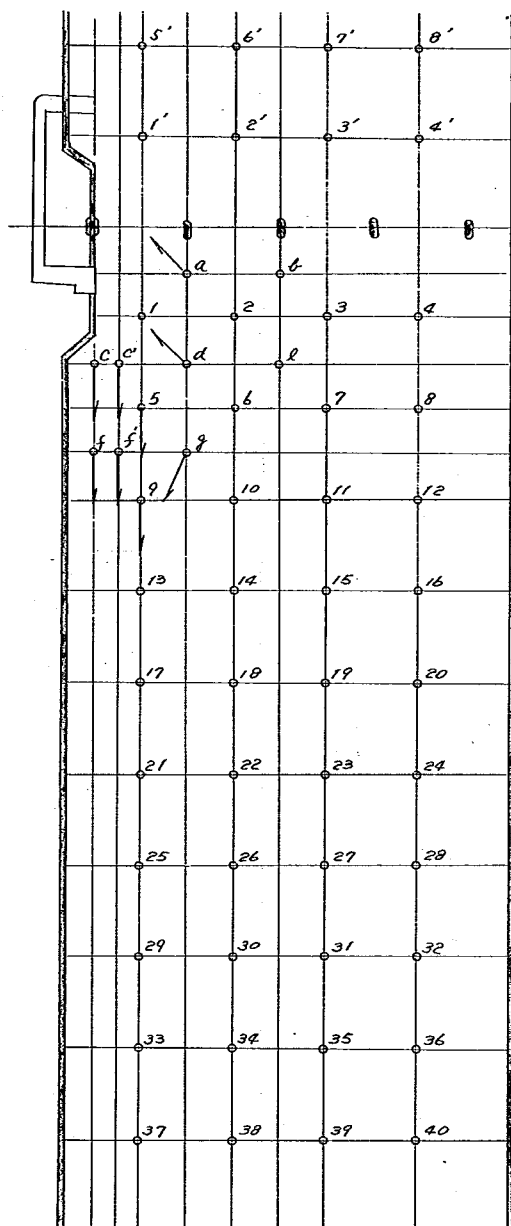


図-24-5-2 流白図

実験 III

鉛直測臭 No.5

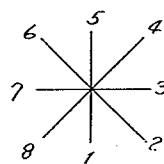
実験条件

オーバーフロー

ゲート高 Y.P. 0.2m

下流水位 Y.P. 0.4m

放水あり



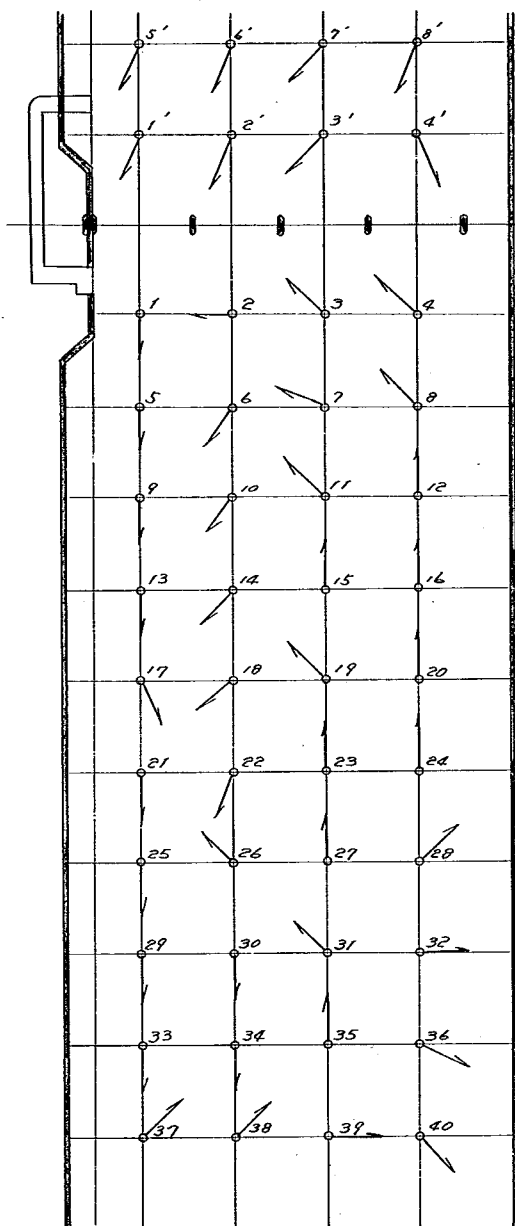


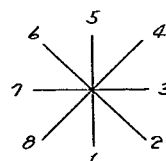
図 24-6-1 流向図

実験 IV

鉛直測尺 No. 2

実験条件

オーバーフロー
ゲート高さ 0.20
下流水位 0.40
放水有り



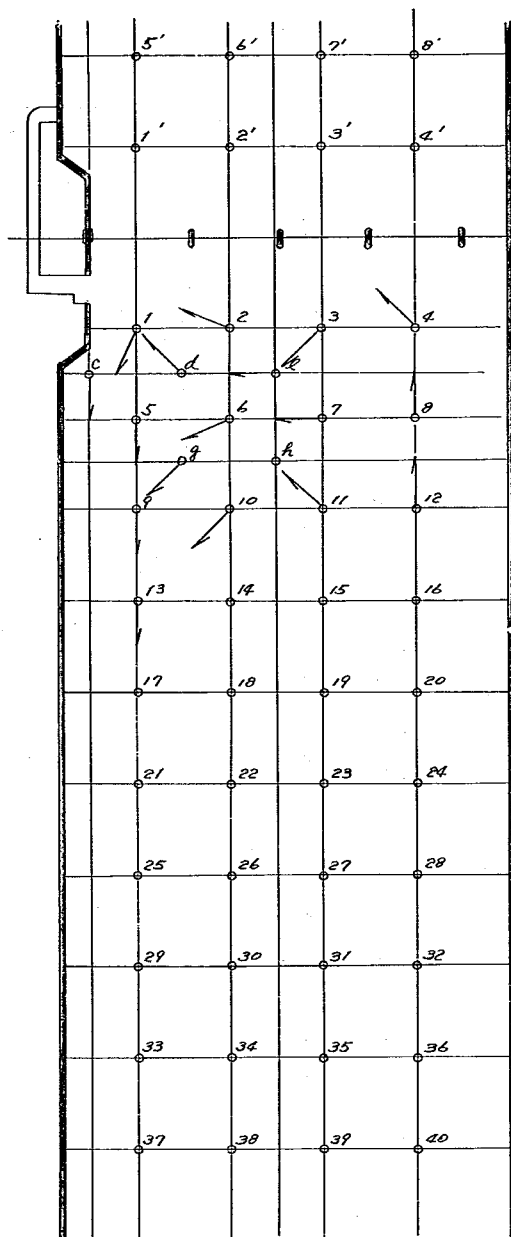


図-24-7-1 流向図

実験 V

鉛直測臭 No. 1

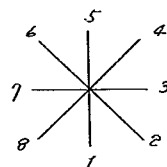
実験条件

アンダーフロー

ゲート開度 0.34

下流水位 Y.P-0.10

放水あり



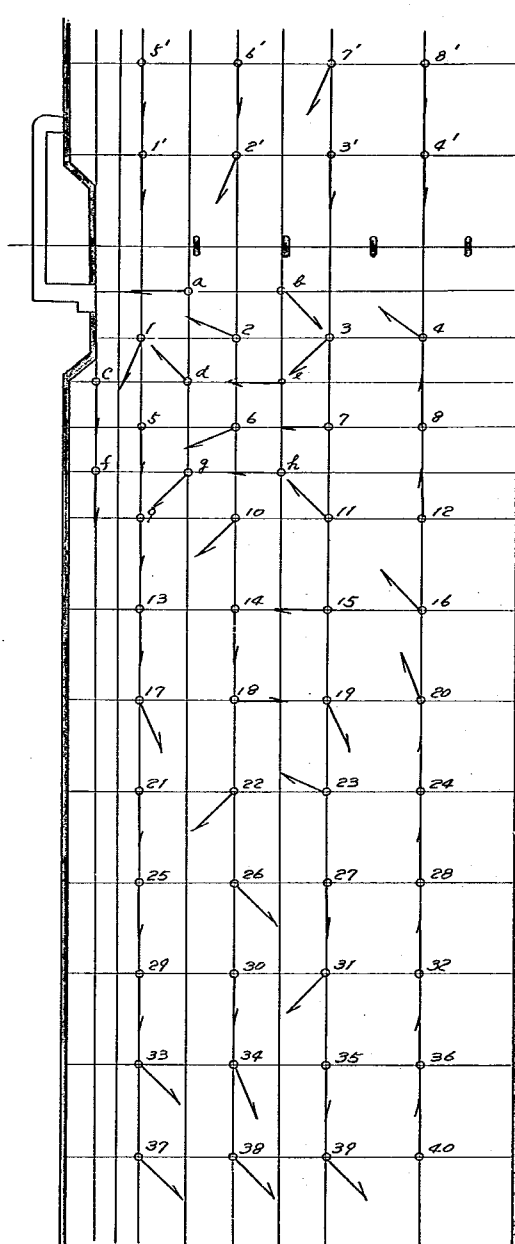


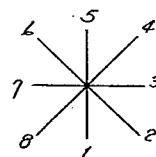
図-24-7-2 流向図

実験▽

鉛直測尺 No.2

実験条件

アンダーフロー
ゲート開度 $0.34m$
下流水位 $0.70m$
放水あり



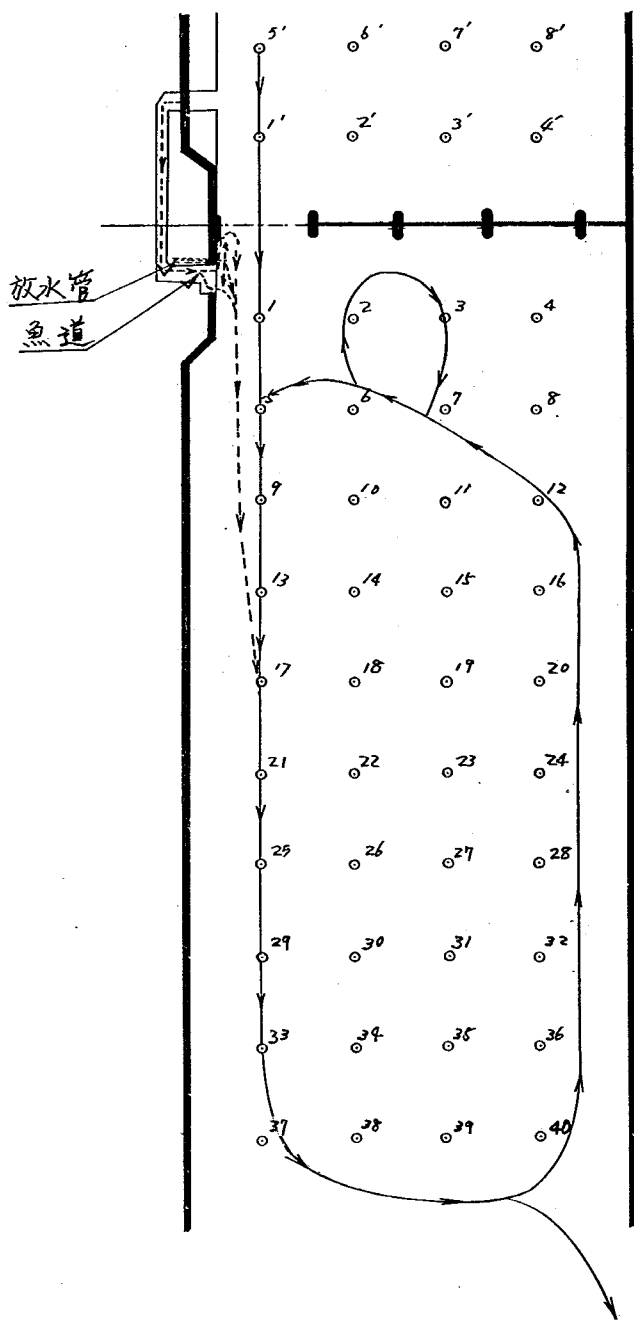


図-25.1 流況図

実験 I

実験条件

オーバーフロー
ゲート高 $Y.P. + 0.20$
下流水位 $Y.P. - 0.10$
放水あり

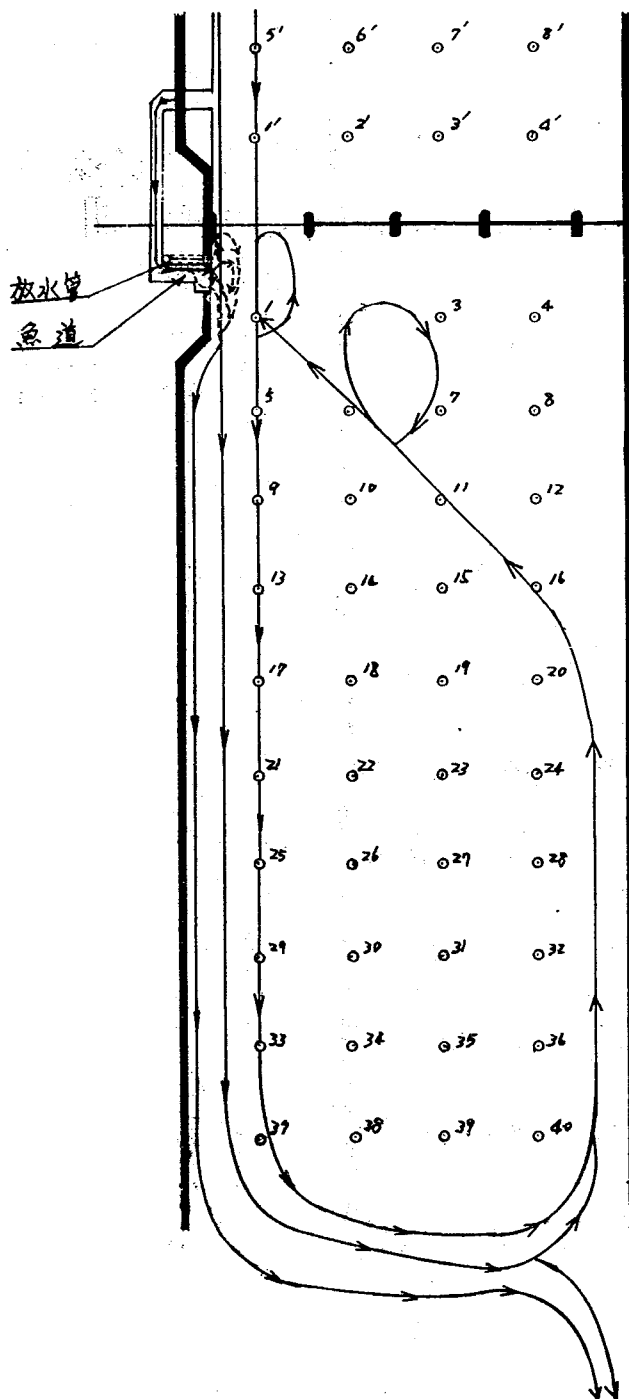


図-25.2 流況図

実験 II

実験条件

オーバーフロー

ゲート高 Y.P. - 0.20

下流水位 Y.P. - 0.70

放水有り

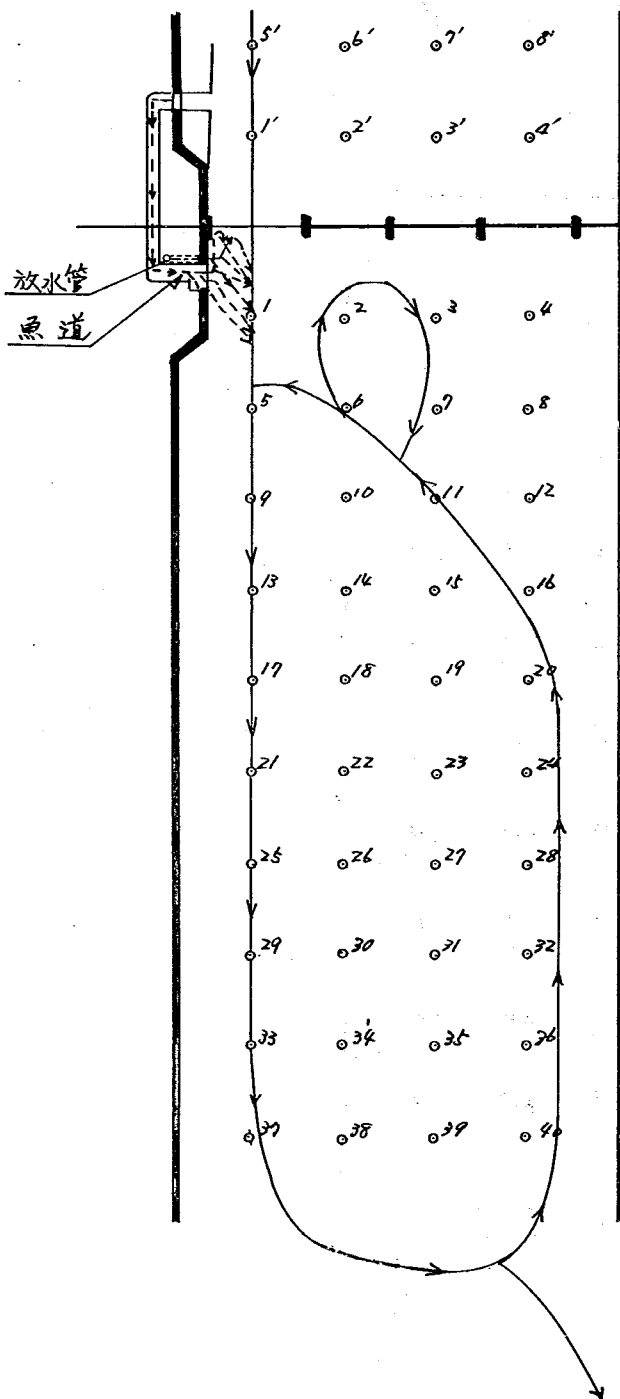


図-25.3 流況図
実験Ⅲ

実験条件

オーバーフロー
ゲート高 $Y.P. + 0.20$
下流水位 $Y.P. + 0.40$
放水有り

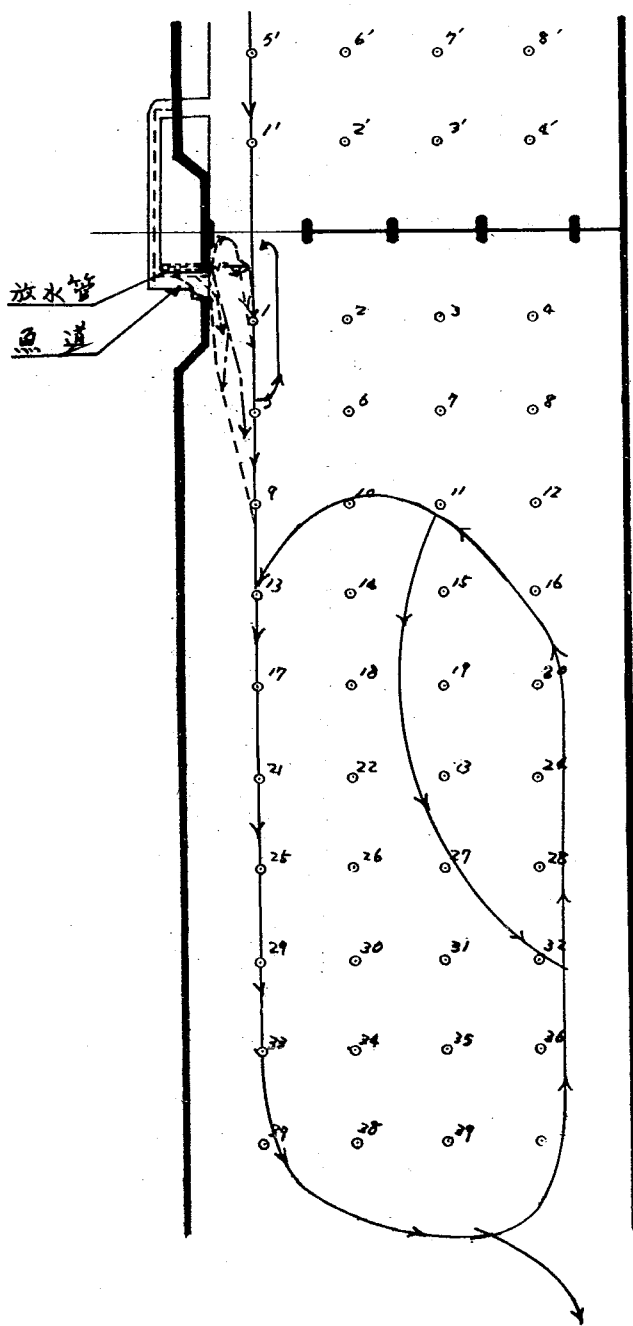


図-25.4 流泥図

実験Ⅳ

実験条件

オーバーフロー
 水位高 Y.P. - 0.20
 下流水位 Y.P. + 0.40
 放水有

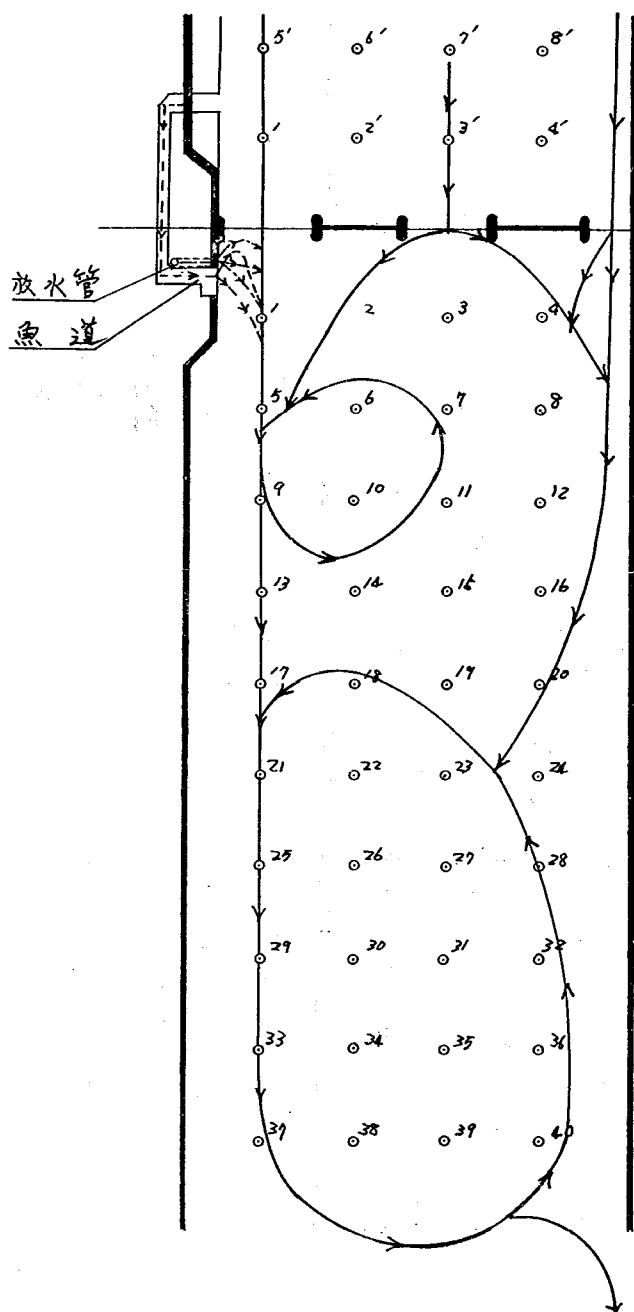


図-25.5 流泥図

実験 V

実験条件

アンダーフロー
ゲート閉度 0.34^m
下流水位 Y.P. -0.70
取水有リ

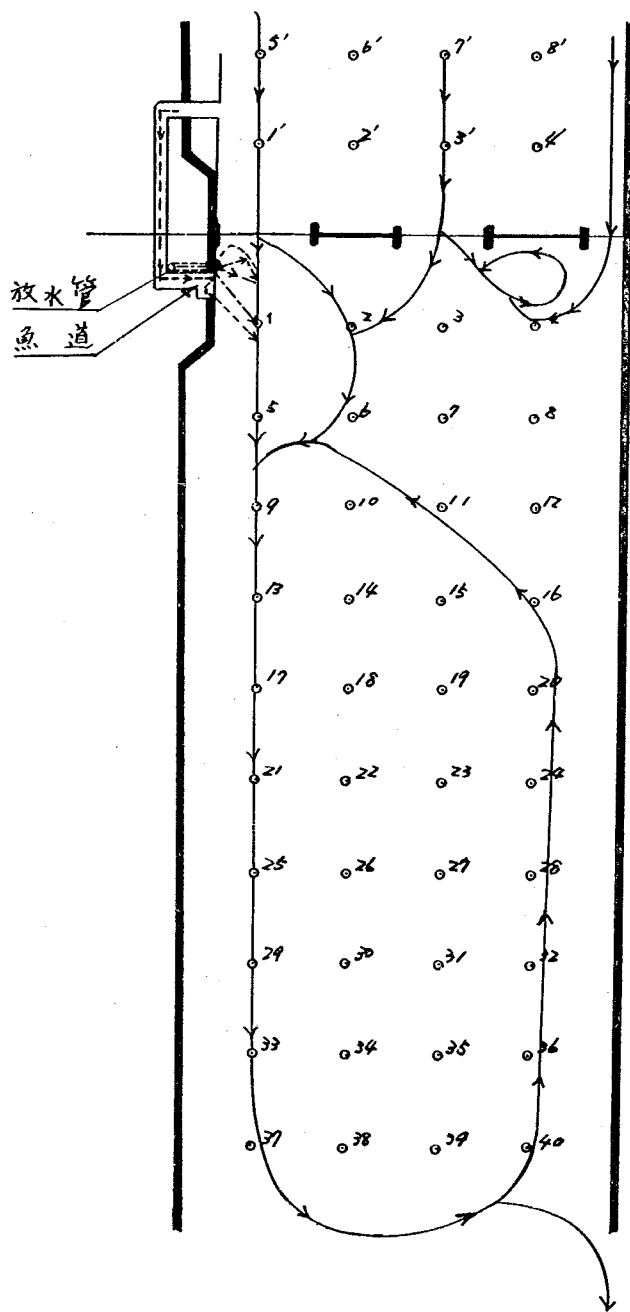


図-25.6 流況図

実験条件

インナーフロー
ゲート開度 0.34
下流水位 $Y.P. + 0.40$
放水有,

第 4 章 結 論

1. 水 位

- (1) 堰下流域では時間水位曲線の形はどの地点においてもほぼ河口の潮位曲線と同じである。むしろ堰付近の方が水位振巾は河口よりやや大きくなる。
- (2) 堰上流域の平均水位は $Y.P. 0.95m \sim Y.P. 1.00m$ である。
- (3) 堰上流域の水位変化は $15 \sim 25cm$ 程度である。
- (4) ダブルゲートオーバーフローよりもアンダーフローの方が水位低下が大きい。
- (5) 堰上流部の最高、最低水位縦断ともほぼ水平である。

2. 流 量

- (1) 堰地点における順流量の最大値は $150 \sim 250 m^3/s$ である。逆流量の最大は堰操作の相違にかかわらず $100 m^3/s$ 程度である。
- (2) 流量を時間で積分した総順流量と総逆流量についてはダブルゲートオーバーフローのみの操作方式で総逆流量 $100 \sim 120 万 m^3$ 、順流時 5 門潜流による操作方式で $250 万 m^3$ 程度であり、総順流量は上流端固有流を時間で積分した量に総逆流量を加えた量である。

3. 流 速

- (1) 堰地点の流速（計算値）の最大は順流の場合ダブルゲートオーバーフローが $2.0 m/s$ 、5 門潜流の場合 $3.0 m/s$ 程度であり、逆流の場合には $1.0 m/s$ 前後である。
- (2) 堰下流 $200m$ 地点の流速は $0.5 \sim 1.0 m/s$ 程度である。
- (3) 順流時の堰下流 $200m$ 地点の流速はダブルゲートオーバーフロー方式より、5 門アンダーフローの方が小さい。
- (4) 順流時 5 門潜流の場合は堰から $150m$ 付近までは河床付近の流速が大きくそれ以後は水面付近の方が速くなる。

4. おわりに

本実験は昭和42年度に土木研究所鹿島試験所にて行われた実験結果をまとめたものであり実験の遂行資料の整理検討については次の者が担当した。

旧鹿島試験所長	山口 高 志 (※)
旧 // 研究員	松 田 芳 夫 (※※)
// 建設技官	高 橋 晃

※ 現、土木研究所赤羽支所河川研究室主任研究員

※※ 現、科学技術庁研究調整局総合研究課