



土 木 研 究 所 資 料

第 672 号

石手川ダム洪水吐水理模型実験報告書

昭和 46 年 3 月

建設省土木研究所

ま え が き

本報告書は、四国地方建設局石手川ダム工事々務所の依頼により、昭和43年、44年度に実施した石手川ダム洪水吐の水理設計及び水理模型実験の結果をまとめたものである。

石手川ダムは、重力式コンクリートダムで、洪水吐は常用の放流管1条、非常用の越流部4門とし、洪水吐減勢工は河道線形に合わせた彎曲水叩きとした。

このような洪水吐の設計案について、その水理機能を調査し最適設計を求めるために水理模型実験を行った。

土木研究所篠崎試験所

所長 川 村 幸 司

技官 齊 藤 宗 夫

目 次

まえがき

第1章 洪水吐の概要と設計条件	1
1-1 洪水吐の概要	1
1-2 設計条件	5
第2章 洪水吐の水理設計	7
2-1 放流管の設計	7
1) 設計条件	7
2) 放流管出口断面	7
3) 放流管傾斜角	10
4) 放流管の形状	13
5) 放流管主ゲートピンの位置	15
6) 放流管の放流能力	19
7) 放流管開水路部縦断形状	19
2-2 越流部の設計	21
1) 設計条件	21
2) 越流頂の敷高	21
3) 越流部の形状	22
4) 越流部の越流能力	24
5) 越流部ゲートピンの位置および導流壁高	25
2-3 減勢工の設計	30
1) 設計条件	30
2) 跳水曲線	30
3) シルの位置および高さ	31
4) 水叩き平面形状	32
第3章 洪水吐の水理模型実験	34
3-1 実験の目的と内容	34
3-2 模型と相似律	35

3-3	放流管の実験	36
1)	放流能力調査	36
2)	放流管形状の検討	38
3)	放流管主ゲートピンの位置検討	40
3-4	越流部の実験	43
1)	越流能力調査	43
2)	越流部ゲートピンの位置および導流壁高の検討	46
3)	越流面ディフレクターの形状検討	47
3-5	減勢工の実験	51
1)	放流管開水路の拡がり角の検討	51
2)	シル位置, 高さおよび形状の検討	52
3)	水叩き導流壁高の検討	60
3-6	下流河道の護岸高の検討	64
3-7	結 論	66

目 次

図一 1	石手川ダム洪水吐平面図（最終案）	2
図一 2	石手川ダム洪水吐上流面図，下流面図（最終案）	3
図一 3	石手川ダム洪水吐標準断面図（最終案）	4
図一 4	洪水調節図	6
図一 5	放流管一般図	8
図一 6	既設ダムC～H/a ₀ 関係曲線（Ⅱ型放流管）	9
図一 7	放流管開水路部底面曲線記号説明図	10
図一 8	放流管主ゲートピンの位置記号説明図	15
図一 9	放流管詳細図	18
図一 10	放流管開水路部底面形状	19
図一 11	放流管開水路部上面形状	21
図一 12	ハロルド標準型越流頂	22
図一 13	越流部詳細図	25
図一 14	越流部水面形図（WESの実験結果より）	29
図一 15	跳水の水理諸元図	30
図一 16	跳水曲線と下流水位流量曲線との関係図	31
図一 17	水叩き終端彎曲部平面形状記号図	32
図一 18	水叩き平面図	33
図一 19	放流管貯水位～流量関係図（抽出模型）	37
図一 20	放流管内面圧力測定位置図	38
図一 21	放流管内面圧力分布図（WL 18 0.0 m, WL 21 1.5 m）	39
図一 22	放流管開水路部水面形図	41
図一 23	越流部貯水位～流量関係図	44
図一 24	洪水吐貯水位～流量関係図	45
図一 25	越流部水面形図	46
図一 26	越流面ディフレクターA型形状図	48
図一 27	越流面ディフレクターB型形状図	49
図一 28	越流面ディフレクターC型形状図	50
図一 29	越流面ディフレクター沿い水面形図（C型）	51

図-30	放流管開水路部拡がり形状比較図	52
図-31	シル位置比較図	53
図-32	水叩き内水面形図(シル位置比較図) [$Q=450\text{m}^3/\text{s}$]	55
図-33	シル面圧力分布図(シル形状比較) [$Q=450\text{m}^3/\text{s}$, $Q=750\text{m}^3/\text{s}$]	58
図-34	シル詳細図(3型, 最終案)	59
図-35	最終案減勢工における水面形図(導流壁高の検討)	63
図-36	下流河道護岸位置図	64

表 目 次

表-1	ダムおよび貯水池諸元	1
表-2	放流管テンターゲートピンの位置に関する資料(既設ダム)	16
表-3	越流部テンターゲート資料(既設ダム)	27
表-4	越流面導流壁高資料(既設ダム)	28
表-5	模型の縮率	36
表-6	シル細部形状資料(既設ダム)	57

写 真 目 次

写真一 1	石手川ダム全体模型(最終案)	5
写真一 2	石手川ダム全体模型(下流より)	35
写真一 3	石手川ダム全体模型(上流面より)	35
写真一 4	放流管抽出模型(側面より)	35
写真一 5	放流管抽出模型(下流より)	35
写真一 6	放流管放流流況(WL 21 1.5 m, ゲート全開)	41
写真一 7	放流管放流流況(WL 21 1.5 m, ゲート開度 3.6 m)	42
写真一 8	越流部越流流況(WL 21 1.5 m, ゲート全開)	47
写真一 9	越流面流下流況(WL 21 1.5 m, ディフレクターなし)	47
写真一 10	越流面ディフレクターA型配置流況(WL 21 1.5 m)	48
写真一 11	越流面ディフレクターB型配置流況(WL 21 1.5 m)	49
写真一 12	越流面ディフレクターC型配置流況(WL 21 1.5 m)	50
写真一 13	シル I 型配置流況($Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$ 平面)	53
写真一 14	シル I 型配置流況($Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$ 左岸より)	53
写真一 15	シル II 型配置流況($Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$ 平面)	54
写真一 16	シル II 型配置流況($Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$ 左岸より)	54
写真一 17	シル III 型配置流況($Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$ 平面)	54
写真一 18	シル III 型配置流況($Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$ 左岸より)	54
写真一 19	最終案減勢工(平面)	60
写真一 20	最終案減勢工流況($Q = 350 \text{ m}^3/\text{s}$ 平面)	60
写真一 21	最終案減勢工流況($Q = 350 \text{ m}^3/\text{s}$ 左岸より)	60
写真一 22	最終案減勢工流況($Q = 350 \text{ m}^3/\text{s}$ 下流より)	61
写真一 23	最終案減勢工流況($Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$ 平面)	61
写真一 24	最終案減勢工流況($Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$ 左岸より)	61
写真一 25	最終案減勢工流況($Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$ 下流より)	62
写真一 26	最終案減勢工流況($Q = 750 \text{ m}^3/\text{s}$ 平面)	62
写真一 27	最終案減勢工流況($Q = 750 \text{ m}^3/\text{s}$ 左岸より)	62
写真一 28	最終案減勢工流況($Q = 750 \text{ m}^3/\text{s}$ 下流より)	63
写真一 29	下流河道流況($Q = 350 \text{ m}^3/\text{s}$ 右岸より)	64
写真一 30	下流河道流況($Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$ 右岸より)	65
写真一 31	下流河道流況($Q = 750 \text{ m}^3/\text{s}$ 右岸より)	65

第1章 洪水吐の概要と設計条件

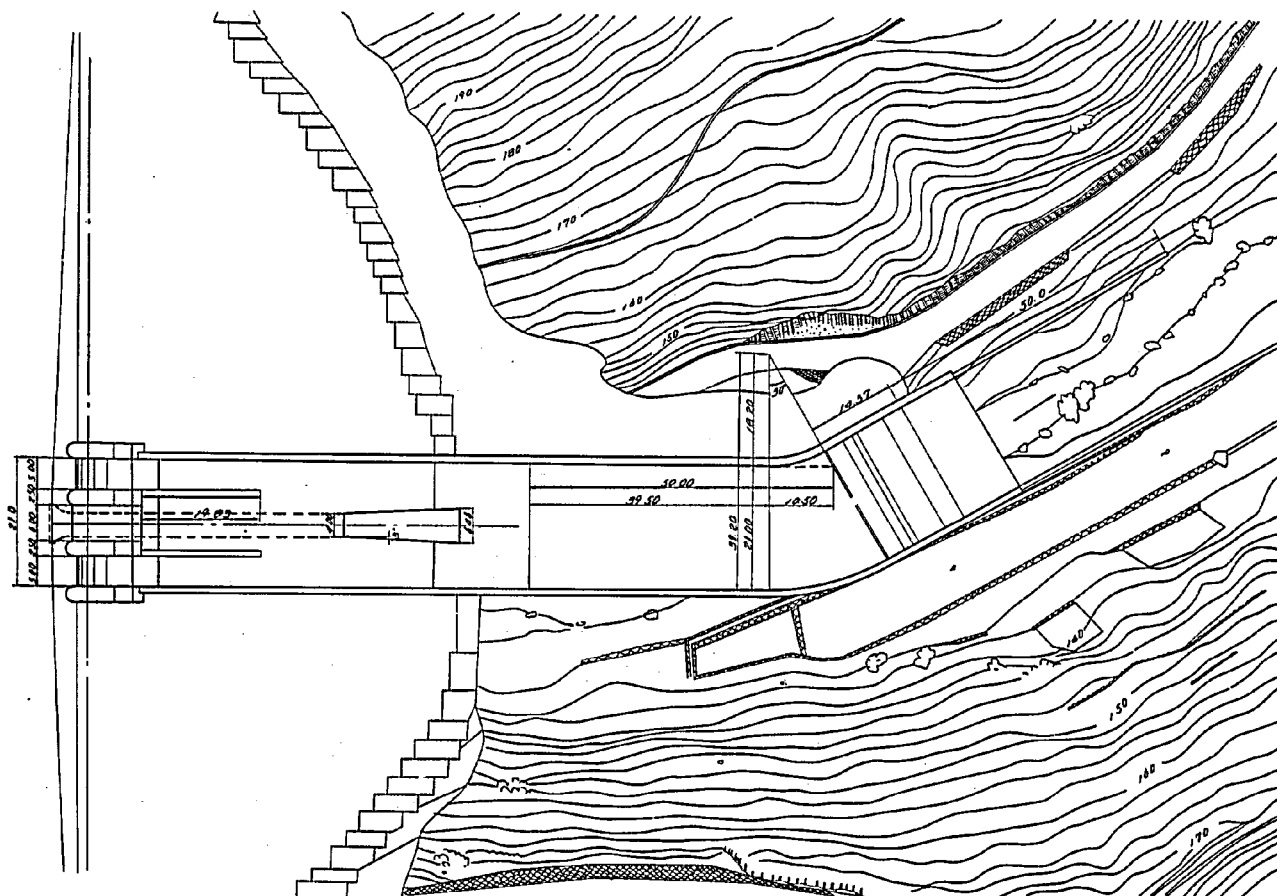
1-1 洪水吐の概要

石手川ダムの洪水調節計画は石手川の計画洪水量 $550\text{m}^3/\text{s}$ を $250\text{m}^3/\text{s}$ 調節し、 $300\text{m}^3/\text{s}$ 放流するもので、このために常用の放流管1条と非常用の越流部4門とからなる洪水吐を設けた。

ダムおよび貯水池の諸元を表-1に、洪水吐の最終形状を図-1, 2, 3, 写真-1に示す。

表-1 ダムおよび貯水池の諸元

ダ ム 名	石 手 川 ダ ム
河 川 名	重 信 川 水 系 石 手 川
位 置	愛 媛 県 松 山 市
ダ ム 型 式	重 力 式 コ ン ク リ ー ト ダ ム
堤 高	8 7.0m
堤 頂 長	2 7 9.0m
堤 体 積	4 1 6,0 0 0 m^3
集 水 面 積	7 2.6 km^2
湛 水 面 積	0.5 km^2
総 貯 水 容 量	1 2,8 0 0,0 0 0 m^3
有 効 貯 水 容 量	1 0,6 0 0,0 0 0 m^3
洪 水 調 節 容 量	4,3 0 0,0 0 0 m^3
かんがい、水道容量	6,3 0 0,0 0 0 m^3
洪 水 時 満 水 位	WL 2 1 1.5m
常 時 満 水 位	WL 2 0 1.2m
堆 砂 面	EL 1 7 4.7m
異 常 洪 水 流 量	7 5 0 m^3/s
設 計 洪 水 流 量	6 2 0 m^3/s
計 画 洪 水 流 量	5 5 0 m^3/s
計 画 最 大 放 流 量	3 0 0 m^3/s



図一 石手川ダム洪水吐平面図（最終案）

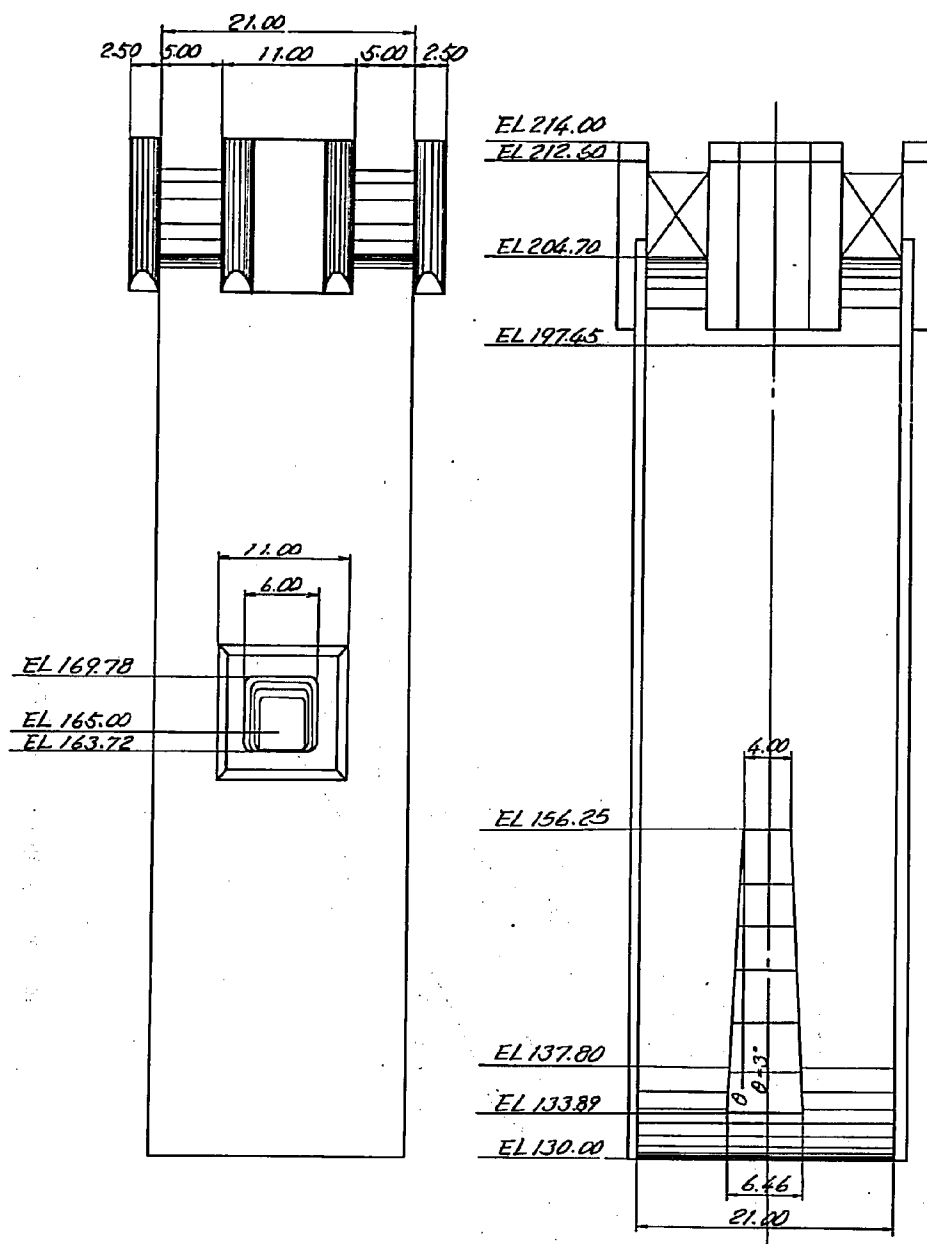


図-2 石手川ダム洪水吐上流面図，下流面図（最終案）

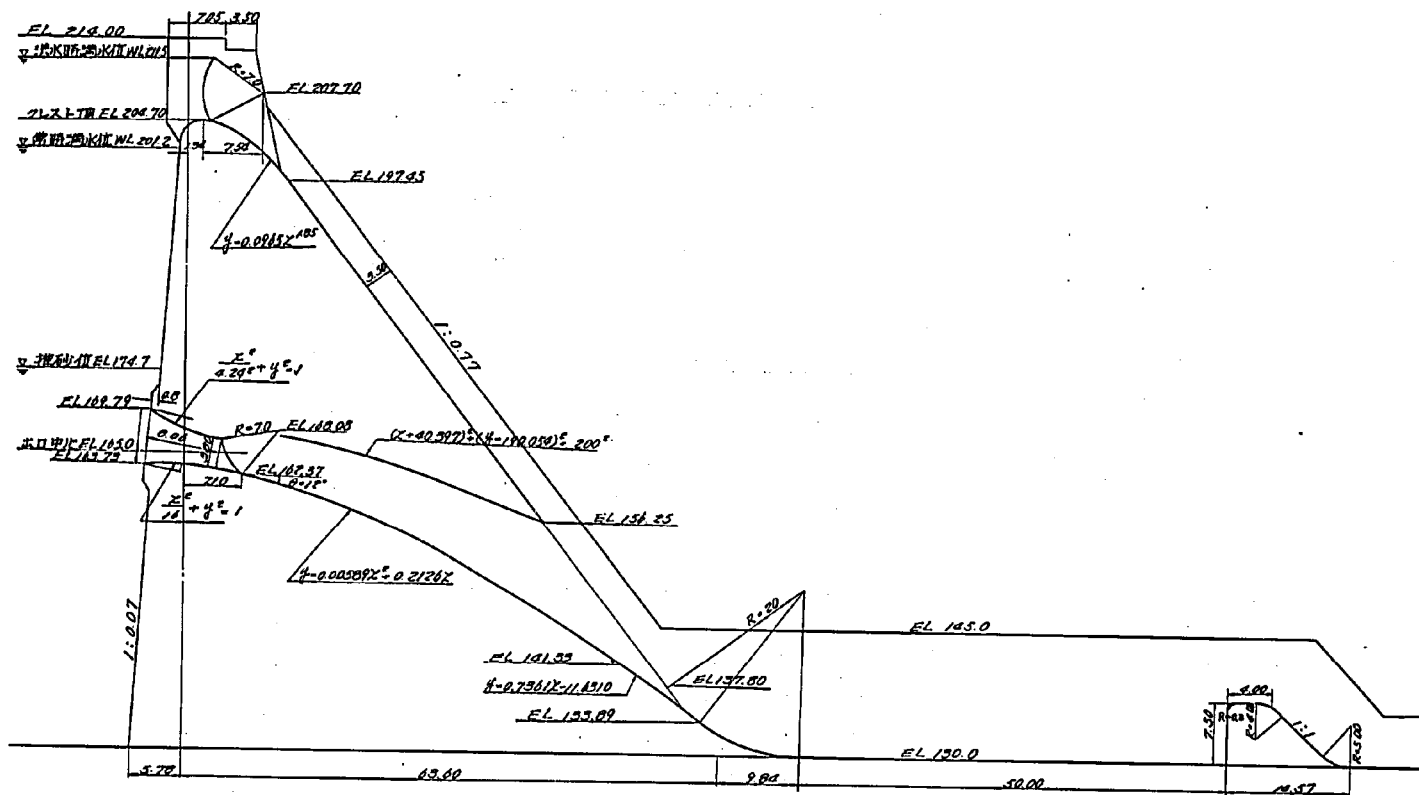


図-3 石手川ダム洪水吐標準断面図（最終案）

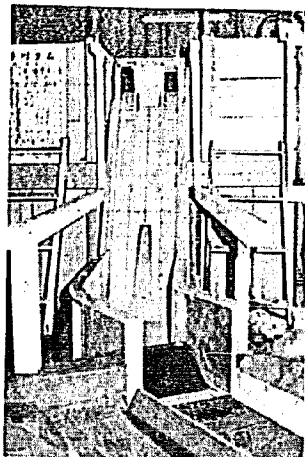


写真 - 1 石手川ダム全体模型（最終案）

1-2 設計条件

洪水調節図は図-4に示すとおりであり、洪水吐の設計条件を下記に示す。

- ① 放流管は洪水調節計画を満足する断面とし、異常洪水は放流管および越流部で処理する。
- ② 洪水調節は一定量調節方式とする。
- ③ 常時満水位 WL201.2m で $350\text{m}^3/\text{s}^*$ を放流管単独で放流できる。
- ④ 洪水時満水位 WL211.5m で異常洪水流量 $750\text{m}^3/\text{s}$ を放流管および越流部で放流できる。

* 今後の流量改定を考慮し計画最大放流量 $300\text{m}^3/\text{s}$ に $50\text{m}^3/\text{s}$ の余裕を見込み $350\text{m}^3/\text{s}$ とした。

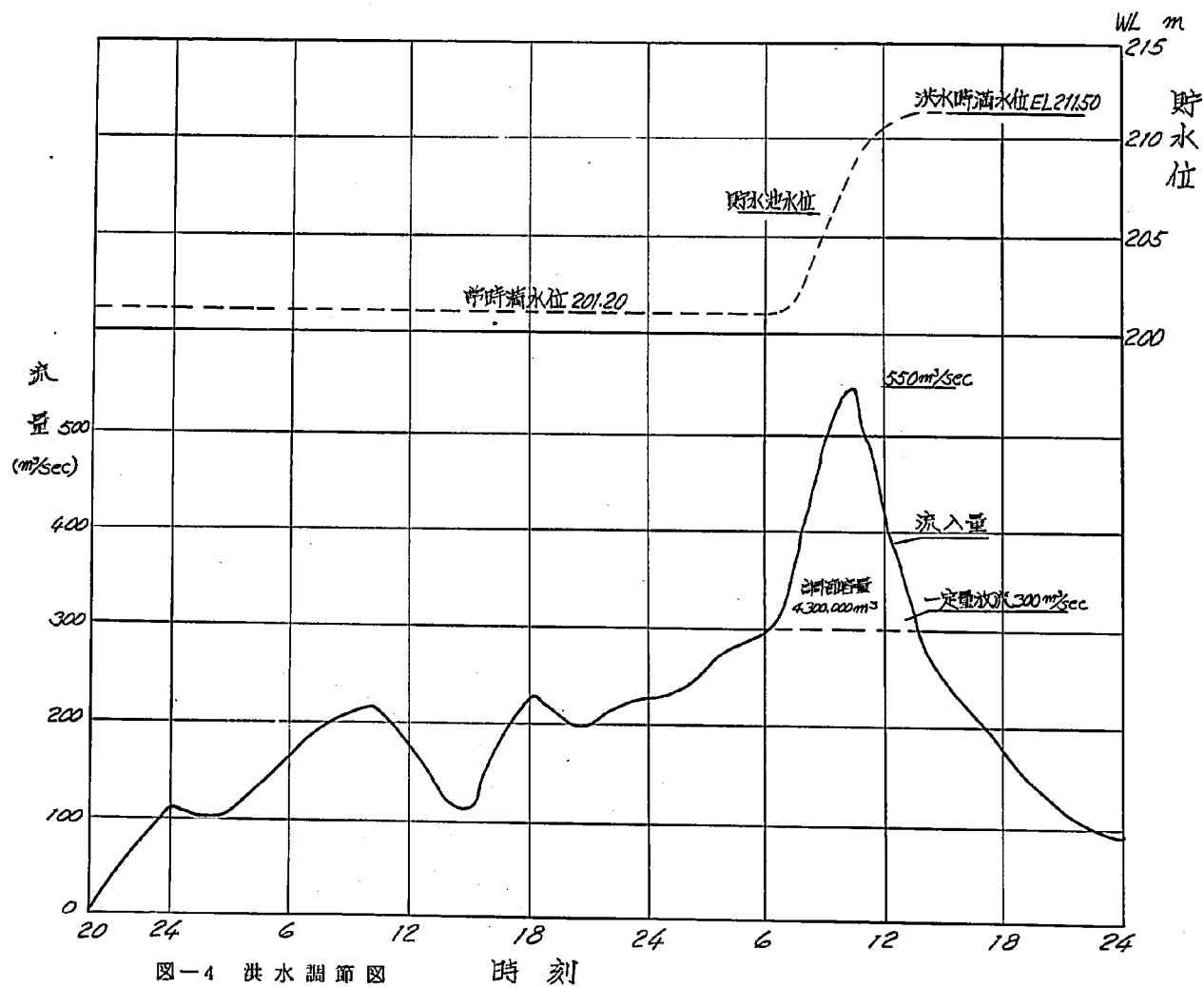


圖-4 洪水調節圖

時刻

第2章 洪水吐の水理設計

2-1 放流管の設計

1) 設計条件

- ① 放流管は洪水調節計画を満足する断面とする。
- ② 放流管は半管路型式(Ⅱ型放流管)とする。
- ③ WL 201.2mで 350 m^3/s を放流できる。
- ④ 放流管出口中心標高は EL 165.0mとする。
- ⑤ ダム基本三角形頂点を EL 212.6mとする。
- ⑥ 堤体上流面勾配は 1 : 0.07, 堤体下流面勾配は 1 : 0.77 とする。

2) 放流管出口断面

放流管出口(a ~ b)の断面積 A_n は

$$A_n = \frac{Q}{C \sqrt{2gH}}$$

ここに Q : 必要放流量 (m^3/s)

C : 流量係数

H : 貯水面と放流管出口中心との標高差 (m)

設計条件および図-6に示す既設ダムの実験結果から $Q=350\text{m}^3/\text{s}$, $C=0.95$,

$H=36.2\text{m}$ を代入すると

$$A_n = 13.83\text{m}^2$$

となる。

放流管断面形状は、ゲートの経済性から角形断面とし、隅取円は入口(i ~ j)で方形断面積の0.5%, ベルマウス終端(e ~ f)で4%の $\frac{1}{4}$ 円を用いる。また直管上面はベルマウス終端と同円にし、下面はゲートとの交点(O_0)で0になるように隅取円径を直線的に変化させる。

したがって放流管出口断面を

高さ 3.80m × 幅 4.00m (1条)

とし、隅取円を約4%と仮定すると出口断面積は

$$A_n = 3.8 \times 4.0 \times 0.96 = 14.59\text{m}^2 > 13.83\text{m}^2$$

となる。

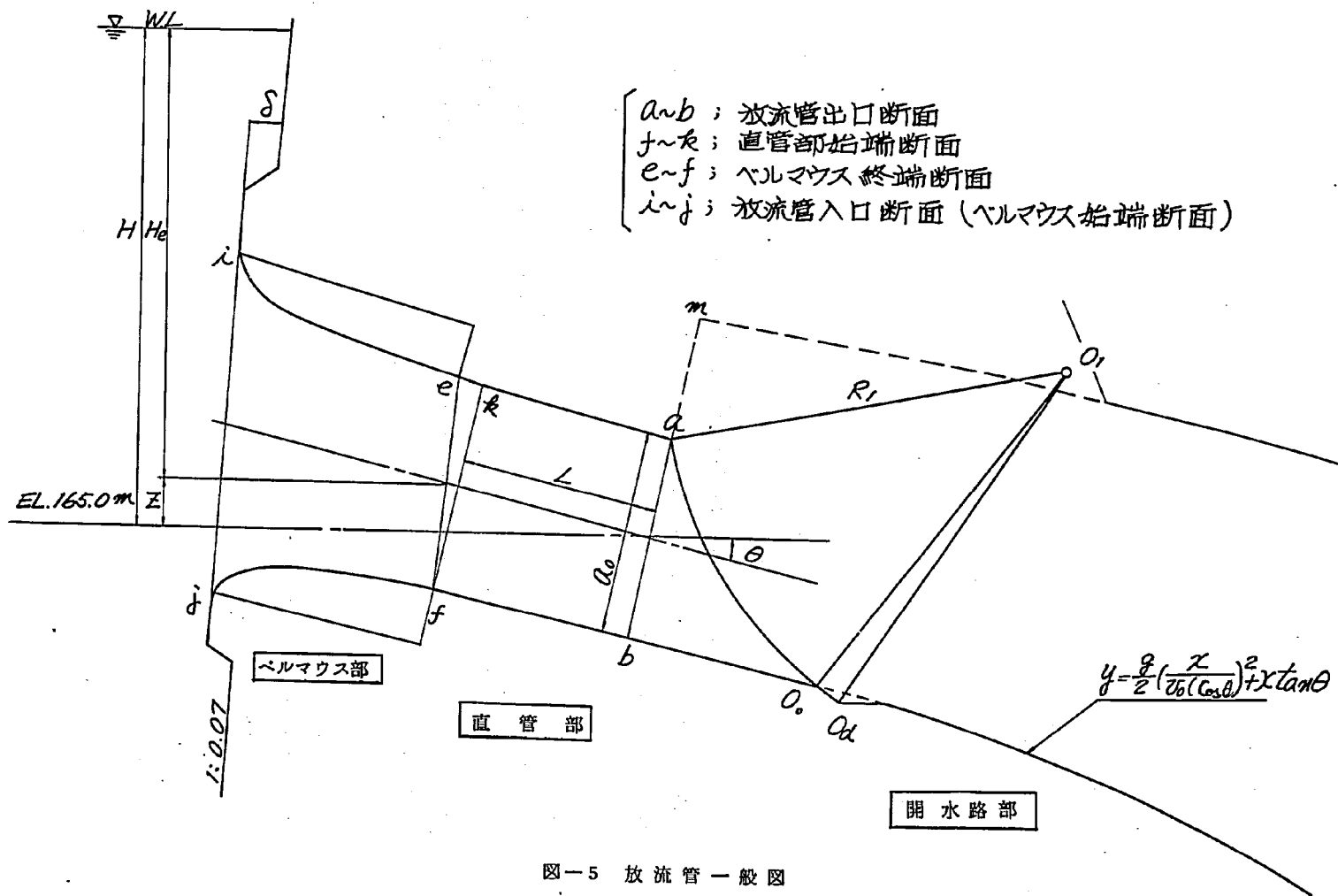


図-5 放流管一般図

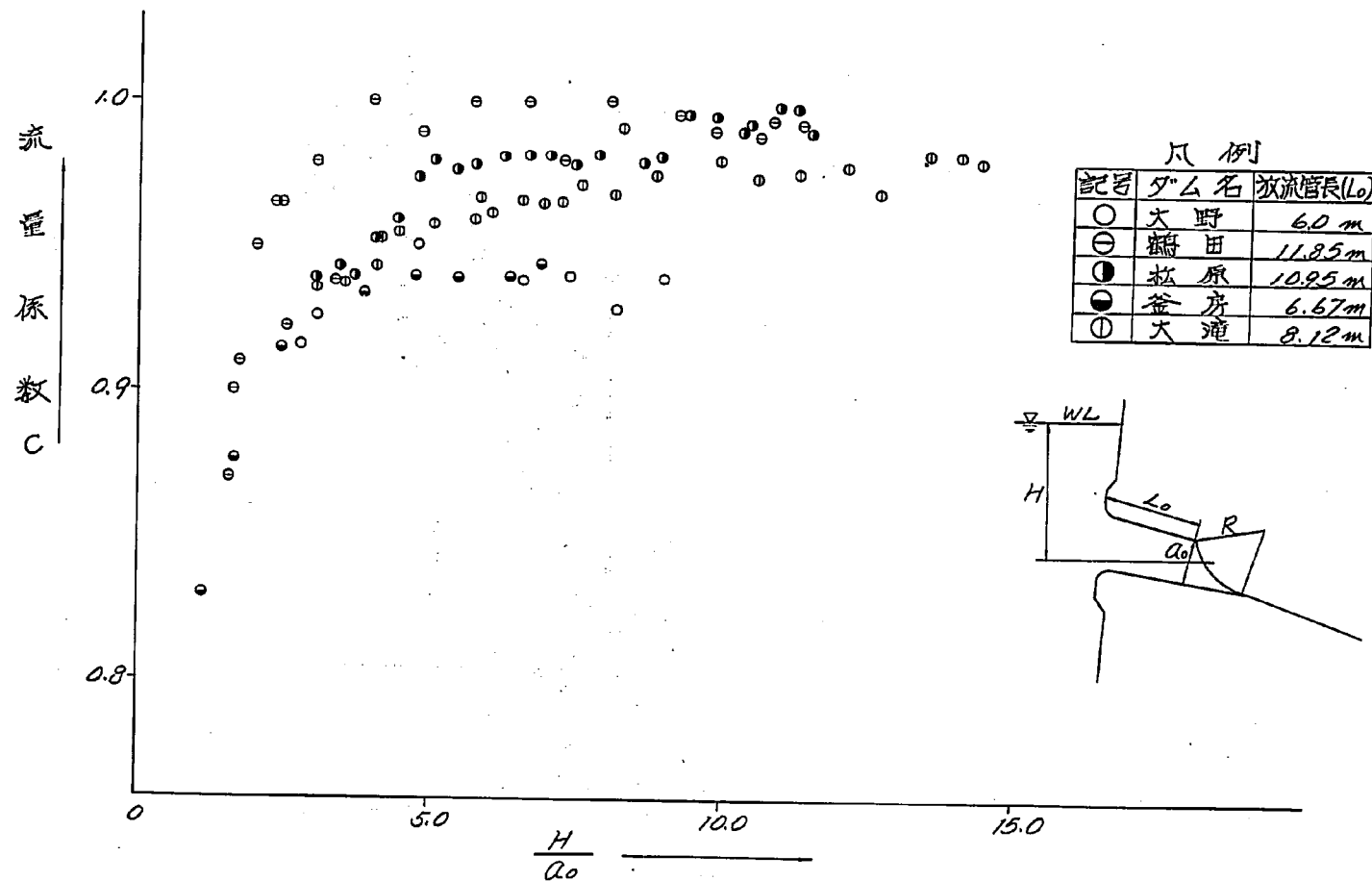
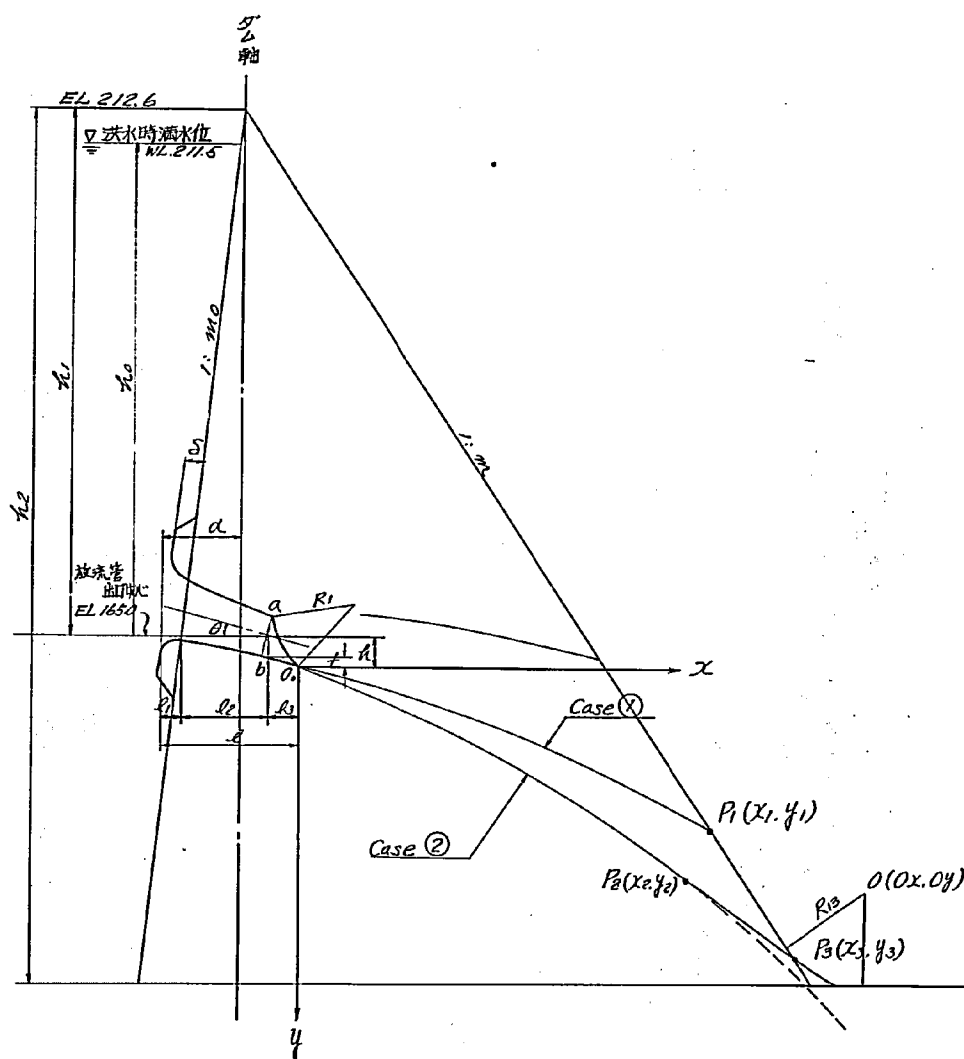


図-6 既設ダム C ~ H/a_0 関係曲線 (Ⅱ型放流管)

3) 放流管傾斜角



図一七 放流管開水路部底面曲線記号説明図

(1) 放流管開水路部底面が堤体下流面に接する場合 (図-7 case ①)

開水路部の底面形状を水脈の自由落下軌道曲線式で与えると次のようになる。

$$y = \frac{g}{2} \left(\frac{x}{v_0 \cos \theta} \right)^2 + x \cdot \tan \theta \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに g : 重力の加速度

θ : 放流管傾斜角

v_0 : 開水路始端底面の流速で次式で表わす

$$v_0 = C \sqrt{2gH_0} \quad \dots\dots\dots (2)$$

C : 流量係数 (図-7 参照)

H_0 : 貯水面と開水路始端底面 (0.) との標高差

$$H_0 = h_0 + \ell_3 \tan \theta + t = h_0 + h \quad \dots\dots\dots (3)$$

t : 放流管出口底面 (b) と開水路始端底面との標高差

なお座標原点は 0. (図-7) とする。

(1), (2), (3) 式を整理すると

$$\left. \begin{aligned} y &= Kx^2 + \tan \theta \cdot x \\ K &= \frac{1 + \tan^2 \theta}{4C^2(h_0 + h)} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。

また堤体下流面は

$$\left. \begin{aligned} y &= Ax + B \\ A &= \frac{1}{m} \\ B &= \frac{\ell - \ell_1 - d}{m} - h_1 - h \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。開水路底面と堤体下流面とが接するためには(4), (5)式を整理し、等根となる判別式にて $\tan \theta$ について整理すると

$$\left. \begin{aligned} D \tan^3 \theta + E \tan^2 \theta + F \tan \theta + G &= 0 \\ D &= \ell_3 (1 - C^2) \\ E &= h_1 + t - C^2(h_0 + t) + \frac{2C^2\ell_3 + \ell_1 + d - \ell}{m} \\ F &= \ell_3 + \frac{2C^2(h_0 + t)}{m} - \frac{C^2\ell_3}{m^2} \\ G &= h_1 + t - \frac{\ell - \ell_1 - d}{m} - \frac{C^2(h_0 + t)}{m} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (6)$$

となる。

(6)式を満足する θ が堤体下流面に接する角度で、その接点 $P_1(x_1, y_1)$ は次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{\frac{1}{m} - \tan \theta}{2K} \\ y_1 &= \frac{x_1 + \ell - \ell_1 - d}{m} - h_1 - h \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

(2) 放流管開水路部底面が堤体バケットカーブに接する場合 (図-7 cose ②)

この場合は下記の3通りの方法について考える。

- ㊤ 両曲線の間に直線を挿入する場合
- ㊦ 両曲線を直接接続する場合
- ㊧ 開水路部底面始端とバケットカーブとを直線で接続する場合

㊤の場合 バケットカーブは次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} (x-0x)^2 + (y-0y)^2 &= R^2 \\ 0x &= h_2 \cdot m + R(\sqrt{1+m^2} - m) + \ell_1 - \ell + d \\ 0y &= h_2 - h_1 - h - R \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

開水路部底面曲線終端 $P_2(x_2, y_2)$ と、バケットカーブ上の $P_3(x_3, y_3)$ とにおいて、それぞれの両曲線に接する直線式は(4)式より

$$y = (2Kx_2 + \tan \theta)x - Kx_2^2 \dots\dots\dots (9)$$

となる。(8), (9)式を整理し、判別式について整理すると

$$\left. \begin{aligned} Px_2^4 + Qx_2^3 + Sx_2^2 + Tx_2 + U &= 0 \\ P &= -K^2 \\ Q &= 4K^2 \cdot 0x \\ S &= 2K\{M + 2K(R^2 - 0x^2)\} \\ T &= 4K(R^2 \tan \theta - 0x \cdot M) \\ U &= R^2(1 + \tan^2 \theta) - M^2 \\ M &= \tan \theta \cdot 0x - 0, \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

となる。

またバケットカーブ上の接点 $P_3(x_3, y_3)$ は(8), (9)式より整理すると

$$\left. \begin{aligned} x_3 &= \frac{0x + (2Kx_2 + \tan \theta)(Kx_2^2 + 0x)}{1 + (2Kx_2 + \tan \theta)^2} \\ y_3 &= (2Kx_2 + \tan \theta)x_3 - Kx_2^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

となる。

⑥の場合は、(11)式に $x_3 = x_2$ を代入し、(10)式とを同時に満足する x_2 , $\tan \theta$ を求めればよい。

⑦の場合は、(10)式に $x_2 = 0$ を代入し、 $\tan \theta$ を求める。

以上の解法により、与えられた条件および仮定から放流管の傾斜角を求める。

$$h_0 = 4.65\text{m}, h_1 = 4.76\text{m}, h_2 = 7.26\text{m}, m = 0.77, \delta = 0.8\text{m (リセス)}$$

$$d_1 = 3.33\text{m}, \ell_1 = 0.80\text{m}, R_s = 20\text{m}, \ell = 10\text{m} \text{ 及び } \ell_3 = 2\text{m} \text{ と仮定する。}$$

$$\ell_2 = \ell - \ell_1 - \ell_3 = 7.2\text{m}$$

$$t = 1.9\text{m (出口断面高の} \frac{1}{2} \text{と仮定)}$$

各ケースの計算結果を整理すると

case	θ	P ₁		P ₂		P ₃	
		x ₁	y ₁	x ₂	y ₂	x ₃	y ₃
①	15°48'	82.53	64.73 (EL9780)				
②	a 10°47'~ 27°04'						
	b 10°47'			54.76	27.98	P ₂ = P ₃	
	c 27°04'			0	0	58.48	29.89

となる。以上の結果 cose ① については水叩き底面より低い位置で接するため不適当、cose ② において傾斜角 θ は $10^\circ 47' \leq \theta \leq 27^\circ 04'$ の範囲で採用できる。しかし放流管の傾斜角が大きくなると、堤体上流面に対する傾斜が大きくなり、入口の縦断形状において上下非対称の度合が著しくなり、入口付近に負圧が発生する等、水理的に好ましくない現象が起る。したがってなるべく傾斜が小さい方がよいから、最小値 $10^\circ 47'$ (これは開水路底面とバケット・カーブとは直接に接し、その間に直線区間がない場合) に、多少の余裕を見込んで $\theta = 12'$ とし、両曲線の間に直線区間を設ける。

4) 放流管の形状

(1) 直管部始端断面

管内に負圧を発生させないためには、直管部の断面積を下流に向かって小さくする必要がある。ところが出口断面は前項 2) において決まっているので直管始端断面 (f~k) を拡げることになる。

そこで、直管の始端と出口とにおいてベルヌーイの定理を適用し整理すると次式のよ

うになる。

$$A_s = A_s \sqrt{\frac{(H_s + Z)(1 + f_s) - H_s(f_s + \lambda \frac{L}{4R})}{H_s}}$$

ここに A_s : 直管始端断面積 (m²)

A_s : 出口断面積 (m²)

H_s : 最低貯水位 (最低貯水面と直管始端中心との標高差) (m)

Z : 直管始端中心と出口中心との標高差 (m)

f_s : 入口損失係数

λ : 摩擦損失係数

R : 管の径深 (m)

L : 直管部の長さ (m)

与えられた条件及び仮定から $A_s = 14.59 \text{ m}^2$, $H_s = 35.44 \text{ m}$, $Z = 0.76 \text{ m}$,

$f_s = 0.04$, $\lambda = 0.012$, $R = 0.94$, $L = 3.65 \text{ m}$ を代入すると

$$A_s = 14.67 \text{ m}^2$$

となる。

今、高さ 3.9 m、幅 4.0 m と仮定すると隅取円は断面積の 4% であるから純断面積は

$$A_s = 3.9 \times 4.0 \times 0.96 = 14.98 \text{ m}^2 > 14.67 \text{ m}^2$$

となる。

(2) ベルマウス形状

ベルマウスの形状は次の楕円曲線式を用いる。

$$\frac{x^2}{D^2} + \frac{y^2}{(\frac{D}{4})^2} = 1 \quad \dots\dots\dots (12)$$

ここに D : ベルマウス終端の一辺長

(12) 式をベルマウス底面形状とし、ベルマウスの上面および側面の形状はベルマウス長がすべて等しくなるようにし、かつ入口部が堤体上流面に接するようにすると

$$\text{上面ベルマウス曲線式} \quad \frac{x^2}{(4.236)^2} + y^2 = 1$$

$$\text{側面ベルマウス曲線式} \quad \frac{x^2}{(4.143)^2} + y^2 = 1$$

$$\text{下面ベルマウス曲線式} \quad \frac{x^2}{(4)^2} + y^2 = 1$$

となる。

5) 放流管主ゲートピンの位置

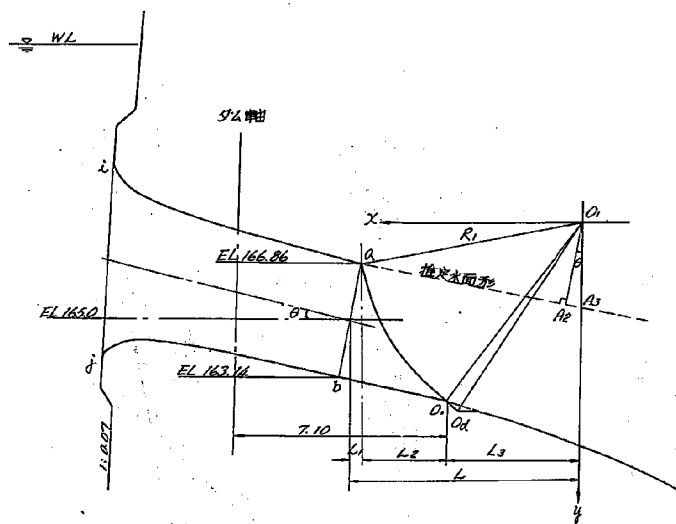


図-8 放流管主ゲートピンの位置記号説明図

放流管主ゲートは半径7.0mのテンターゲートとする。また図-8のように、放流管からの放流水が放流管軸と平行に流出すると仮定し、さらに表-2に示す既設ダムの実験結果から水面とゲートピンとの余裕($O_1 A_2$)を2.6mとする。その結果

$$L_1 = 0.40 \text{ m}, L_2 = 2.84 \text{ m}, L_3 = 4.51 \text{ m}, L = 7.75 \text{ m}$$

放流管下面とゲートとの交点(O_0) EL162.37 m

半径7.0mのゲートピンの標高 EL168.08 m

ゲートシル(O_d)の標高 EL162.0 m

とした放流管の詳細を図-9、付図1, 2, 付表-1に示す。

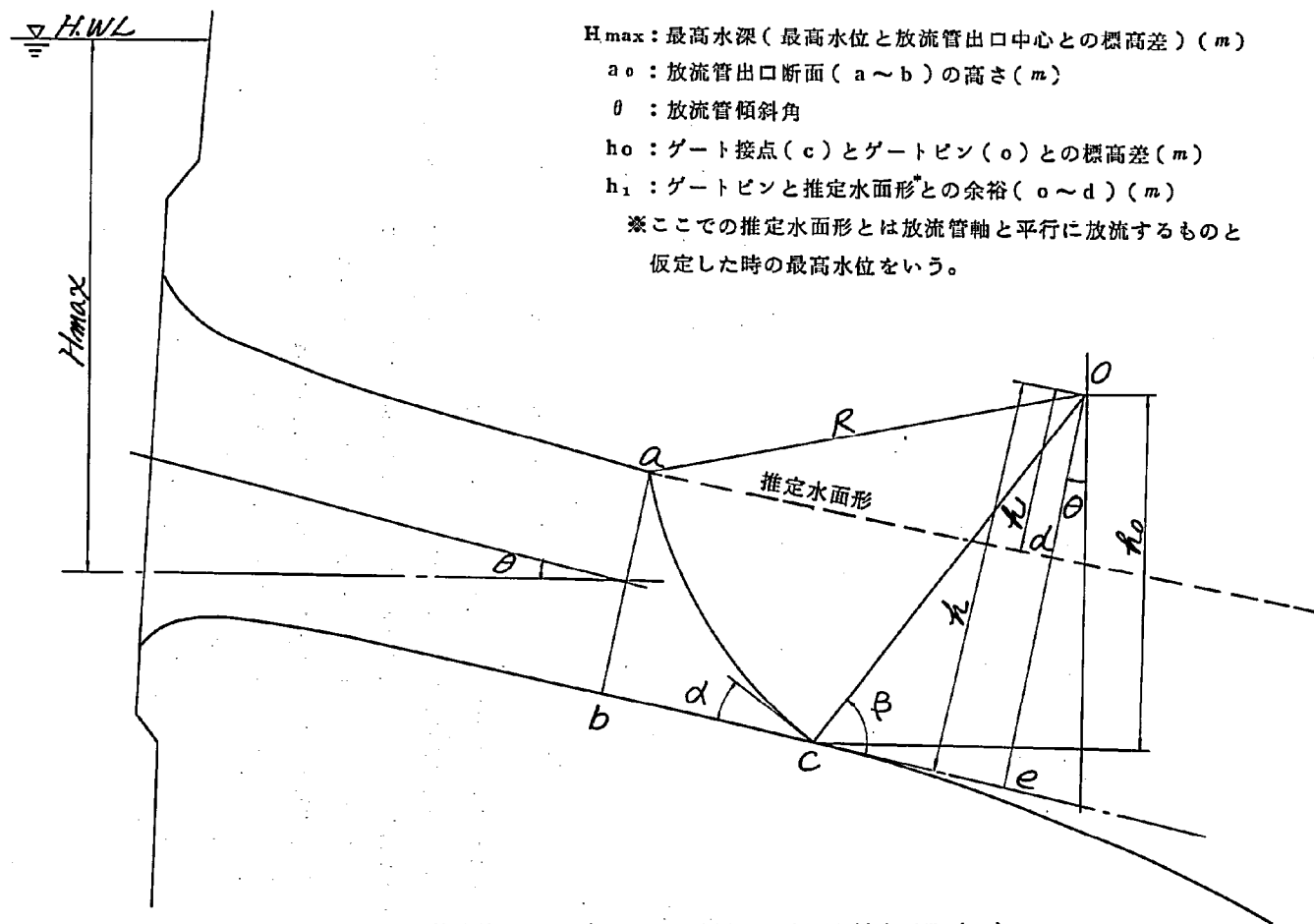
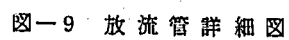


表-2 放流管テンターゲートピンの位置に関する資料(既設ダム)

ダム名	H_{max}	a_0	R	θ	h_0	h	h_1	h/a_0	β	α	備考
目屋	(m) 12.50	(m) 6.0	(m) 9.0	10°10'	(m) 5.64	(m) 6.79	(m) 0.79	1.13	48°57'	41°03'	オリフィス
四十四田	18.75	4.5	7.0	0°	5.11	5.11	0.61	1.14	46°50'	43°10'	"
横山	24.67	6.4	10.0	28°49'	4.00	7.92	1.52	1.24	67°30'	22°30'	"
下久保	21.55	6.286	9.5	16°30'	5.52	7.49	1.20	1.19	52°00'	38°00'	"
緑川	26.60	6.3	11.0	13°29'	6.36	8.27	1.97	1.31	48°46'	41°14'	"
土師	22.40	4.0	8.0	16°	5.66	7.00	3.00	1.75	61°02'	28°58'	"
湯田	5.20	2.46	5.0	44°49'	0.98	4.15	1.69	1.69	56°09'	33°51'	I型放流管
我谷	39.0	2.47	5.5	43°21'	1.15	4.53	2.06	1.83	55°25'	34°35'	"
蒲原	5.20	3.56	7.0	39°48'	0.62	4.94	1.38	1.39	44°54'	45°06'	"
二瀬	6.70	2.658	5.0	47°	1.00	4.26	1.61	1.60	58°31'	31°29'	"
鶴田	4.242	4.15	6.0	15°52'	5.00	5.72	1.57	1.38	72°18'	17°42'	II型放流管
大野	3.220	3.60	5.8	11°19'	4.16	4.87	1.27	1.35	57°04'	32°56'	"
松原	4.696	4.40	8.0	4°15'	7.29	7.52	3.12	1.71	70°01'	19°59'	"
釜房	2.630	4.0	7.0	12°	4.42	5.46	1.46	1.36	51°12'	38°48'	"
大滝	5.441	3.80	6.0	10°	5.00	5.50	1.70	1.45	66°26'	23°34'	"
石手川	4.650	3.80	7.0	12°	5.71	6.43	2.63	1.69	66°40'	23°20'	"

表一 2 . 放流管テンターゲートピンの位置に関する資料 (既設ダム)



6) 放流管の放流能力

放流管の形状が決定したので放流管の放流能力を求める。

$$Q = C \cdot A_s \cdot \sqrt{2gH}$$

ここに Q : 放流量 (m^3/s)

C : 流量係数 (図-6)

A_s : 出口純断面積 (14.80m^2)

g : 重力の加速度 ($9.8\text{m}/\text{sec}^2$)

H : 貯水頭 (m)

貯水位	必要放流量	放流量	備考
WL 201.2 m	350 m^3/s	374 m^3/s	常時満水位
211.5		429	洪水時満水位

7) 放流管開水路部縦断形状

(1) 底面縦断形状

開水路部底面縦断形状は、放流管下面とゲートとの交点 (O_0) を原点とし、自由落下軌道曲線および直線で与えると図-10、付表-2 になる。

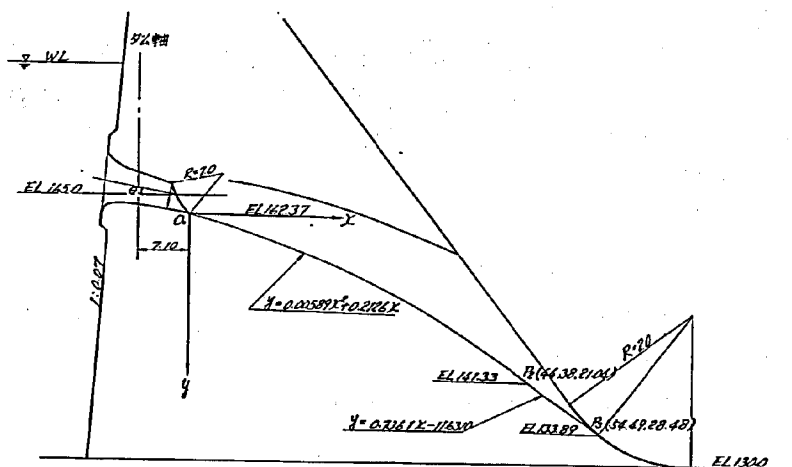


図-10 放流管開水路部底面形状

(2) 上面縦断形状

半管路(Ⅱ型)放流管の開水路部は、高速流による空気混入によって水脈の降起を生ずる。このために、開水路始端断面高($b \sim m$)を放流管出口断面高($a \sim b$)の1.5～2.0倍、上面縦断形状を底面曲率半径の1.5～2.0倍の曲率をもつ円弧とし、下流に向かって断面高を高くする必要がある。

曲率半径は次式で表わされる。

$$Rd = \frac{\left\{ 1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2y}{dx^2}} \quad \dots\dots\dots (15)$$

ここに Rd : 曲率半径

$\frac{dy}{dx}, \frac{d^2y}{dx^2}$: 曲線の微係数

自由落下曲線式(4)式より

$$\left. \begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= 2Kx + \tan \theta \\ \frac{d^2y}{dx^2} &= 2K \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (16)$$

(16)式を(15)式に代入すると

$$Rd = \frac{\left\{ 1 + (2Kx + \tan \theta)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{2K} \quad \dots\dots\dots (17)$$

となる。

曲率半径 Rd は下流になるほど大となり、自由落下軌道曲線の下流端を採用すると、非常に大きい開水路断面となり構造上好ましくない。よって、開水路始端と自由落下軌道曲線の下流端との平均値を底面の曲率半径 Rd_0 とすると

$$\therefore Rd_0 = 125 \text{ m}$$

となる。

そこで、開水路始端断面高を放流管出口断面高の1.5倍とし、上面縦断曲線は底面曲率半径(Rd_0)の1.5倍の円曲線とする。この時、円中心 O_1 は、放流管出口断面($a \sim d$)の延長上とする(図-11)。

a) 開水路始端断面高($b \sim m$) $= 1.5 \times a \sim b = 5.70 \text{ m}$

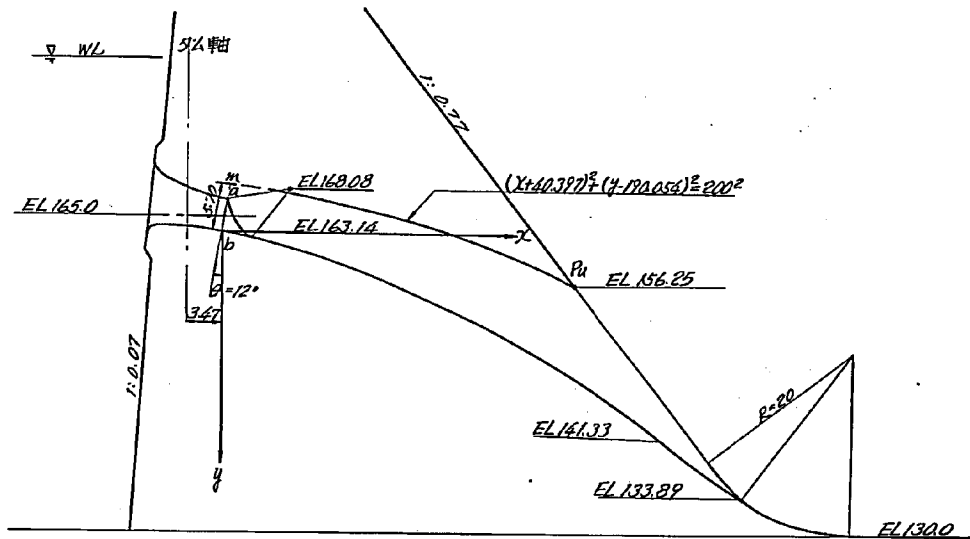
b) 上面縦断曲線半径(R_u) $= 1.5 \times Rd_0 = 200 \text{ m}$

c) 座標軸; 放流管出口下面(b) (EL 163.14 m)

d) 上面縦断曲線の中心 (O.) : ($x_{O.} = 40.40$, $y_{O.} = 190.05$)

e) 上面縦断曲線式 $(x + 40.40)^2 + (y - 190.05)^2 = 200^2$

f) 堤体下流面との交点 (P.) の座標 $\left(\begin{array}{l} x_{P.} = 39.92, y_{P.} = 6.89 \\ (EL\ 156.25m) \end{array} \right)$



図一 11 放流管開水路部上面形状

また放流管放流水脈を水叩き幅に対しできるだけ均一に拡げるため、開水路の平面形状を開水路上面終端から下流に向かって3'拡げる。

2-2 越流部の設計

1) 設計条件

- ① 越流部は、洪水時満水位で異常洪水流量を放流管と合わせて放流しうること。
- ② 越流部は、幅5.0 mの2門とする。
- ③ 橋脚幅は2.50 m、ダム軸から橋脚先端までの水平距離は2.65 mとする。
- ④ 越流部ゲートはテンターゲート(半径7.0 m)とする。

2) 越流頂の敷高

設計条件から越流部の必要放流量は、貯水位WL 211.5 mにおいて異常洪水流量 ($Q = 750 \text{ m}^3/\text{s}$) から放流管放流量を差し引いた流量とする。

越流水深 (H_c) は

$$H_c = \left(\frac{Q}{n \cdot c B_c} \right)^{\frac{2}{3}}$$

ここに Q : 必要放流量 (m^3/s)

n : 越流部の門数

c : 越流係数

B_c : 1 門当たりの越流幅 (m)

与えられた条件, 及び仮定より $Q = 750 - 429^* = 321 \text{ m}^3/\text{s}$ $n = 2$,

$C = 2.0$ (既設ダム実験より仮定), $B = 5.0 \text{ m}$ を代入すると

$$H_c = 6.74 \text{ m}$$

となる。したがって多少の余裕を見込むと, 越流頂の敷高は $\text{EL } 204.7 \text{ m}$ となる。

3) 越流部の形状

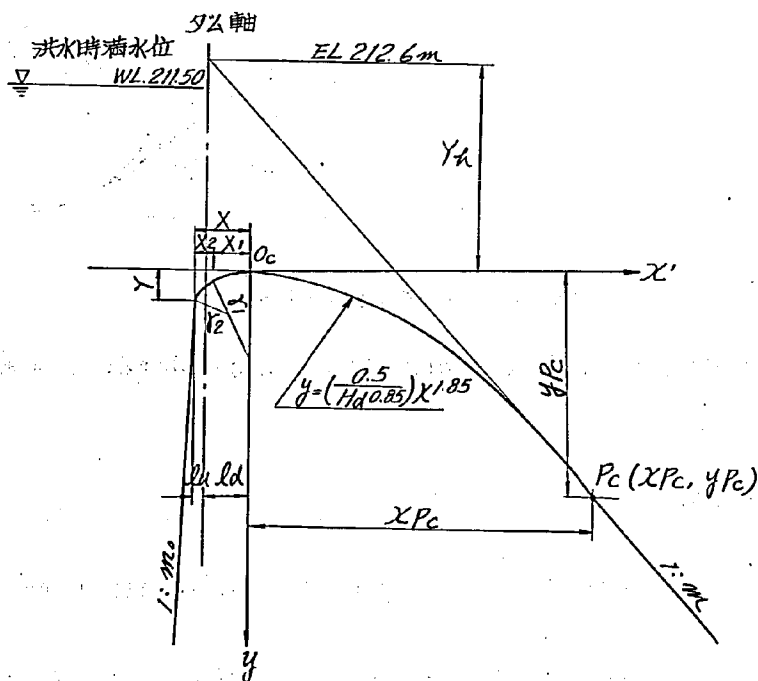


図-12 ハロルド標準型越流頂

* 2-1 6) 放流管放流能力を参照

一般に越流部の形状は、標準型としてハロルドおよびランドルフ形状が採用されており、本ダムでは図-12に示すハロルドの標準型越流面形状を採用する。座標は越流頂(Oc)を原点とする。

上流面円弧曲線

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= 0.175 H_d \\ X_2 &= 0.107 H_d \\ X &= 0.282 H_d \\ Y &= 0.126 H_d \\ r_1 &= 0.50 H_d \\ r_2 &= 0.20 H_d \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (18)$$

下流面曲線式

$$y = \left(\frac{0.5}{H_d^{0.85}} \right) x^{1.85} \dots\dots\dots (19)$$

ここに H_d : 設計水頭

設計水頭(H_d)は、堤体下流面に接し、かつ堤体上流面と越流面始端とが一致するという条件から次式のようになる。

$$H_d = \frac{Y_h (m_o + m)}{0.282 + 0.504 \left(\frac{1}{m_o} \right)^{\frac{1}{0.85}} - 0.126 m} \dots\dots\dots (20)$$

ここに Y_h : ダム基本三角形頂点と越流頂の敷高との標高差

m_o : 堤体上流面勾配

m : 堤体下流面勾配

与えられた条件より $Y_h = 7.9 \text{ m}$, $m_o = 0.07$, $m = 0.77$ を(20)式に代入すると

$$H_d = 6.926 \text{ m}$$

となる。これを(18)、(19)式に代入すると

上流面円弧

$$X_1 = 1.21 \text{ m}, X_2 = 0.74 \text{ m}, X = 1.95 \text{ m}$$

$$Y = 0.87 \text{ m}, r_1 = 3.46, r_2 = 1.38 \text{ m}$$

下流面曲線式

$$y = 0.0965 x^{1.85}$$

となる。また幾可学的条件より

a) 越流面先端(n)からダム軸までの距離 $\ell_o = 0.61 \text{ m}$

b) ダム軸から越流頂までの距離 $\ell_s = 1.34 \text{ m}$

c) 越流部下流面曲線と堤体下流面との交点 (Pc) の座標

$$[x_{pc} = 1.032, y_{pc} = 7.25 (\text{EL} 197.45 \text{ m})]$$

となる。

4) 越流部の越流能力

越流部の越流能力の推定は次式*を用いる。

$$Q = n c' B_c H_0^{\frac{3}{2}}$$

$$c' = c \left\{ 1 - M_d \left(\frac{H_0}{H_d} \right)^{\frac{3}{2}} \right\}$$

$$c = 1.704 \left\{ 1 + 0.704 \left(\frac{H_0}{H_d} \right) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$n = 1 \text{ あるいは } n \geq 2 \text{ かつ } \frac{b}{S} \geq 0.8$$

$$M_d = 0.0765 \left(\frac{H_d}{B_c} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$n \geq 2 \text{ かつ } \frac{b}{S} < 0.8$$

$$M_d = 0.0756 \left(\frac{H_d}{B_c} \right)^{\frac{1}{2}} \left\{ \frac{1}{n} + 1.465 \left(\frac{n-1}{n} \right) \left(\frac{b}{S} \right)^{1.7} \right\}$$

ここに Q : 越流量 (m³/s)

n : 門数

c' : 橋脚、橋台の影響を考慮した流量係数

B_c : 1門当たりの幅 (m)

H₀ : 貯水面と越流頂の標高差 (m)

C : 橋脚、橋台の影響を受けない二次元流れに対する流量係数

M_d : 設計水頭時の流量係数における橋脚、橋台の影響を考慮した補正值

H_d : 設計水頭 (m)

b : 橋脚幅 (m)

S : 越流頂から橋脚先端までの距離 (m)

与えられた条件 n=2, B_c=5 m, H₀=6.8 m, H_d=6.926 m, b=2.50 m,
S=4.00 を代入し整理すると Q=365 m³/s > Q_c=321 m³/s となる。又放流管

* 建設省土木研究所報告 第130号

の放流量と合わすと下表のようになる。

貯 水 位	必要放流量	推 定 放 流 量 (Q)		
		放流管部	越 流 部	合 計
WL 211.5m	750 m ³ /s	429 m ³ /s	365 m ³ /s	794 m ³ /s

よって放流条件は確保される。

5) 越流部ゲートピンの位置および導流壁高

越流部ゲートピンの位置および導流壁高を決定するには、越流部の水面形を知る必要がある。そこで、WESの実験による越流ナップ上面の形状より貯水位WL 211.5m の水面形を推定し図-13に示す。

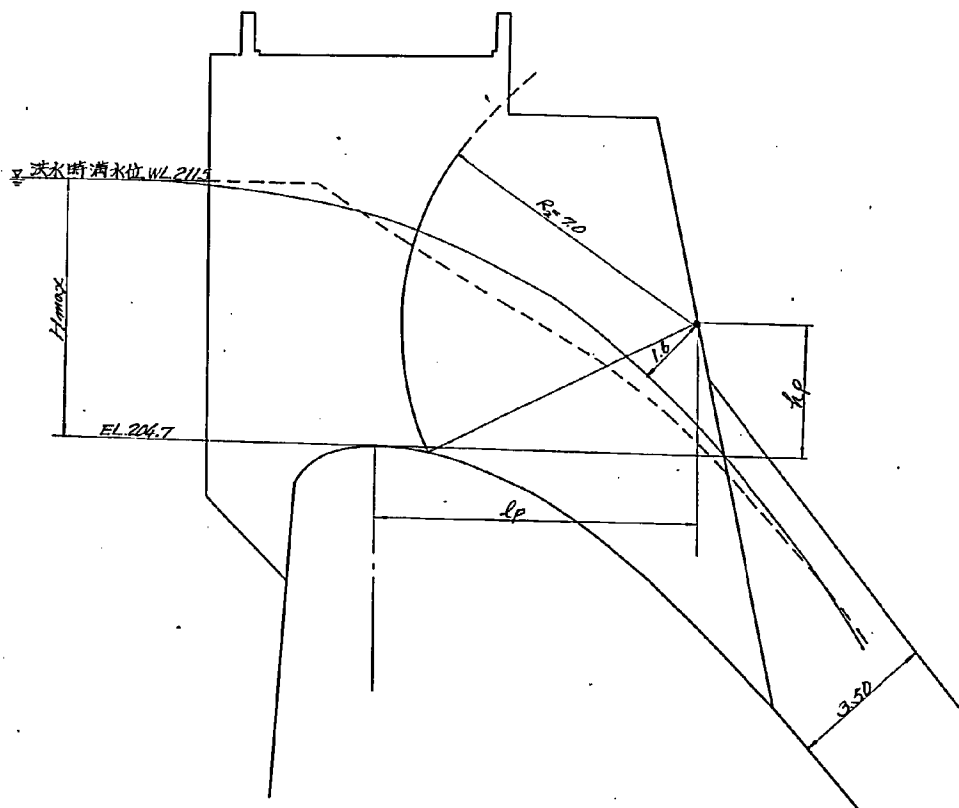


図-13 越流部詳細図

(1) ゲートピンの位置

越流部のゲートはテンターゲートとし、ゲートピンの位置は表-3に示す既設ダム越流部テンターゲートを参考とし次のように定める。

本ダムにおいては最高水深 $H_{\max} = 6.8\text{m}$ 、ゲート半径 $R_2 = 7.0\text{m}$ であるから、ゲートピンの位置を

越流頂よりの鉛直距離 $h_p = 3.0\text{m}$

水平距離 $\ell_p = 7.54\text{m}$

とすると

$$\frac{R}{H_{\max}} = 1.03$$

$$\frac{h_p}{H_{\max}} = 0.44$$

となる。また図-1-4の推定水面形との余裕^{*}も約1.6mである。

* ダム設計基準(1969. 11) 第8条

表-3 越流部テンターゲート資料(既設ダム)

ダム名	Hmax (m)	R (m)	hp (m)	R/Hmax	hp/Hmax
早明浦	18.00	18.00	8.00	1.00	0.44
鶴田	13.82	14.50	4.32	1.05	0.31
笠掘	9.00	9.00	3.50	1.00	0.39
稗梨川	9.50	11.00	4.00	1.16	0.42
浜田	7.00	7.00	3.50	1.00	0.50
布部	7.20	8.00	2.80	1.11	0.39
上市川	5.60	6.00	2.80	1.07	0.50
我谷	9.50	10.00	5.20	1.05	0.55
天ヶ瀬	4.00	4.80	2.10	1.20	0.53
四十四田	12.00	14.00	7.00	1.17	0.58
大野	10.70	12.00	5.10	1.12	0.48
畑薙	7.50	9.50	6.50	1.27	0.87
井川	11.00	11.50	4.40	1.05	0.40
横山	12.30	12.50	4.10	1.02	0.33
小瀬川	12.50	13.00	5.50	1.04	0.44
目屋	10.00	10.00	5.00	1.00	0.50
美和	6.00	8.00	2.50	1.33	0.42
神浦	7.50	8.00	3.70	1.07	0.49
松原	11.10	12.00	5.10	1.08	0.46
緑川	12.50	13.50	5.50	1.08	0.44
大滝	10.00	11.00	5.29	1.05	0.50
土師	10.40	10.50	4.50	1.01	0.43
石手川	6.80	7.00	3.00	1.03	0.44

Hmax: 最大越流水深(m)

R : テンターゲート半径(m)

hp : ゲートピンと越流頂の標高差(m)

(2) 導流壁高

表一4 越流面導流壁高資料(既設ダム)

ダム名	Hmax (m)	hw (m)	下流面勾配 1 : m	h _v (m)	$\frac{h_v}{H_{max}} \times 100$ (%)	$\frac{h_w}{H_{max}} \times 100$ (%)
松原*	11.00	5.00	1 : 0.84	7.77	70	45
四十四田	12.00	7.90	1 : 0.8	11.04	92	66
上市川	5.60	3.00	1 : 0.8	4.80	86	54
笠掘	10.50	5.00	1 : 0.8	8.00	76	48
品木	6.20	4.00	1 : 0.8	6.40	103	65
横山	12.30	6.00	1 : 0.8	9.60	78	49
神浦	7.50	4.00	1 : 0.8	6.40	85	53
棕梨川	9.50	4.50	1 : 0.79	7.26	76	47
鶴田	13.50	7.00	1 : 0.79	11.29	83	52
市房	15.30	6.50	1 : 0.78	10.57	69	42
箇原	7.00	3.00	1 : 0.78	4.88	69	43
五郷	11.00	3.20	1 : 0.78	5.20	47	29
緑川	12.50	6.50	1 : 0.78	10.57	85	52
土師	10.40	5.00	1 : 0.78	8.10	78	48
三瀬谷	16.15	6.46	1 : 0.78	10.50	65	40
我谷	9.50	5.00	1 : 0.77	8.20	86	53
大野	10.70	5.00	1 : 0.76	8.26	77	47
大滝	7.50	4.00	1 : 0.76	7.44	71	43
浜田	7.00	4.00	1 : 0.75	6.67	95	57
小瀬川	10.10	5.50	1 : 0.75	9.17	90	54
井川	11.10	5.00	1 : 0.55	10.37	94	45
石手川	6.80	3.50	1 : 0.77	5.74	84	51

Hmax : 最大越流水深 (m)

hw : 導流壁高 (越流面に垂直) (m)

h_v : 鉛直導流壁高 (m)

$$h_v = \frac{h_w}{m} (\sqrt{1 + m^2})$$

m : 下流面勾配

* 松原ダムは橋台終端にディフレクター
を設けて導流壁沿いの水面を低下させ
ている (土木研究所資料第464号)

導流壁高は、表一4の既設ダムを参考とし

堤体導流壁面に垂直 $hw = 3.5 \text{ m}$

とすると鉛直導流壁高 $h_v = 5.74 \text{ m}$ となる。

$$\frac{hw}{H_{\max}} \times 100 = 51 \quad \frac{hv}{H_{\max}} \times 100 = 84$$

また、推定水面形との余裕も約 0.7 m である。

以上の結果越流部詳細図を図一14、付表一3に示す。

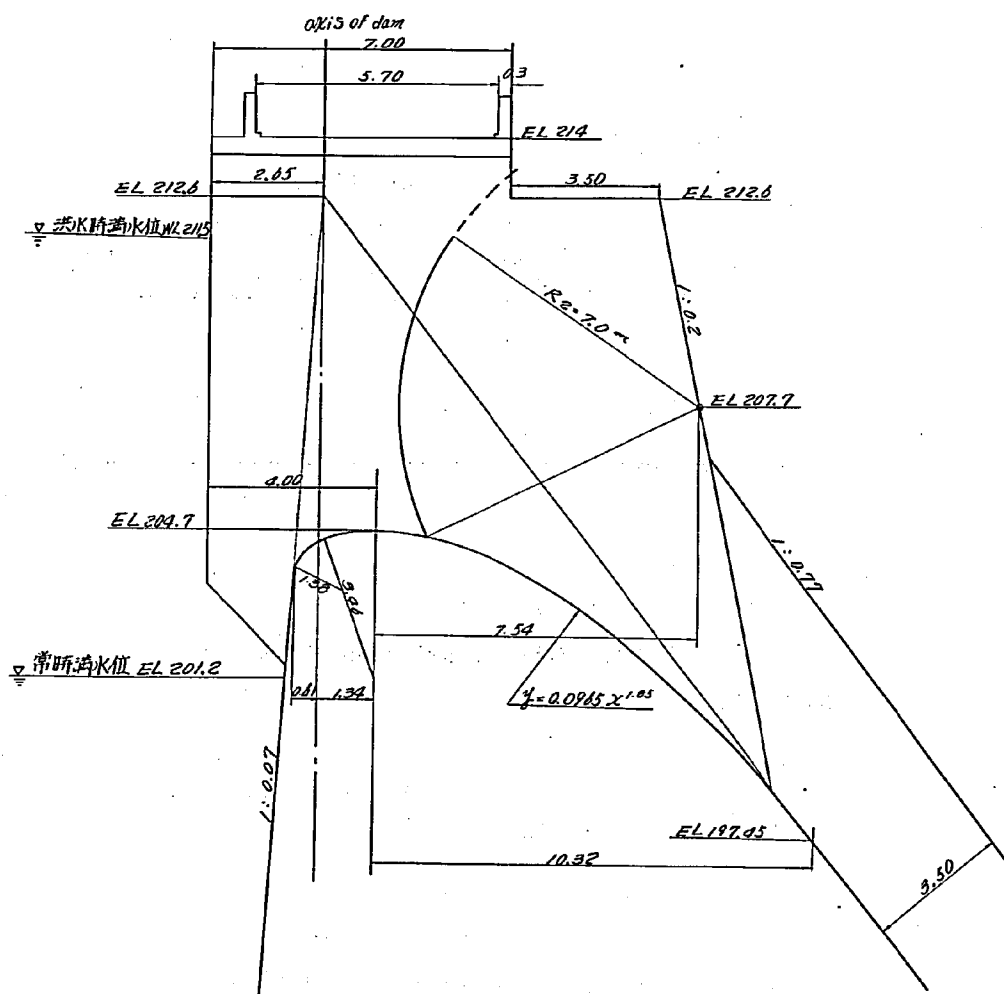


図-14 越流部水面形図(WESの実験結果より)

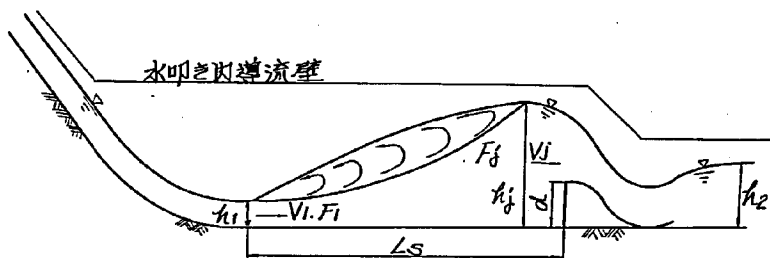
2-3 減勢工の設計

1) 設計条件

- ① 減勢処理方法は、跳水型減勢工とする。
- ② 減勢工設計対象流量は、次の条件を考慮して $450 \text{ m}^3/\text{s}$ とする。
 - ④ $750 \text{ m}^3/\text{s}$ (150年) 流入時の最大放流量 約 $450 \text{ m}^3/\text{s}$
 - ⑤ 放流管単独最大放流量 $430 \text{ m}^3/\text{s}$
- ③ 水叩き幅は 21 m とし、水叩き底面を $\text{EL} 130 \text{ m}$ とする。
- ④ 導流壁は鉛直とする。

2) 跳水曲線

図-15 跳水の水利諸元図



水叩き内に突入する射流水深 h_1 は次式により近似的に求められる。

$$h_1 = \frac{Q}{CB\sqrt{2gH}} \quad \dots\dots\dots (22)$$

ここに Q : 流量 (m^3/s)

B : 水叩き幅

C : 流量係数 (0.95)

H : 洪水時満水位と水叩き面との標高差 (m)

跳水における共役水深 h_j は

$$\left. \begin{aligned} h_j &= \frac{1}{2} h_1 (\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1) \\ F_1 &= \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}} = \frac{Q}{B\sqrt{g \cdot h_1^3}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (23)$$

ここに F_1 : 水叩き始端射流フルード数

V_1 : 水叩き始端射流流速 (m/sec)

となる。各流量について共役下流水深 h_j を求め跳水曲線を図-16に示す。

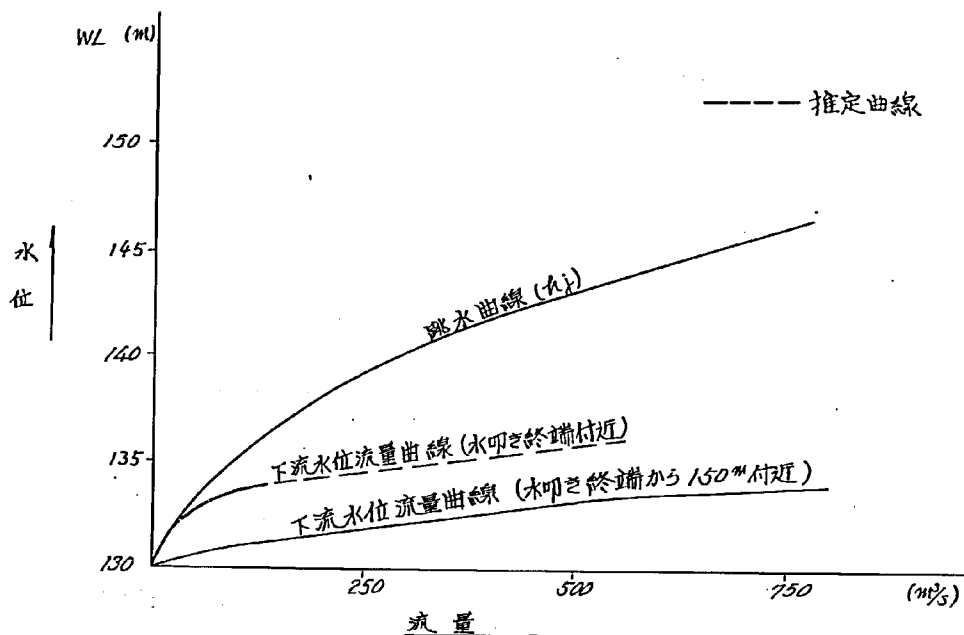


図-16 跳水曲線と下流水位流量曲線との関係図

この結果、下流水位 h_2 がすべて共役下流水深より低く、常に露出射流を生ずるから下流にシルを設け、下流水位を確保する必要がある。

3) シルの位置および高さ

必要なシル高 (d)、および必要水叩き長さ L_s は、次式*により求められる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{h} &= \frac{(1 + 2F_1^2)\sqrt{1 + 8F_1^2} - (1 + 5F_1^2)}{1 + 4F_1^2 - \sqrt{1 + 8F_1^2}} - \frac{3}{2} F_1^{\frac{2}{3}} \end{aligned} \right\} \dots\dots 24$$

$$L_s = 4 h_j$$

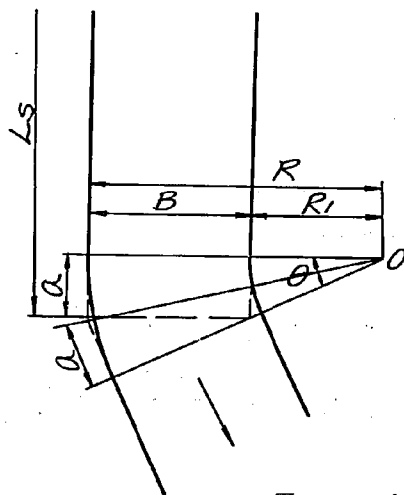
減勢工設計対象流量について 22, 23, 24 式より次表のようになる。

* 水理公式集 P219 (岩崎公式)

減勢工設計対称流量		Q	450 m ³ /s
単位幅流量		q	21.43 m ³ /s/m
水叩き始端	初期流速	V ₁	38.26 m/sec
	初期水深	h ₁	0.56 m
	初期フルード数	F ₁	16.14
共役下深水深		h _j	12.61
必要シル高		d	7.5 m
必要水叩き長		L _s	50 m

4) 水叩き平面形状

水叩き終端を下流河道の河身方向と一致させ、放流水をなめらかに下流へ流下させるためには、水叩きの終端付近を右岸方向に約30°変向し弯曲水叩とする必要がある。



図一17 水叩き終端弯曲部平面形状記号図

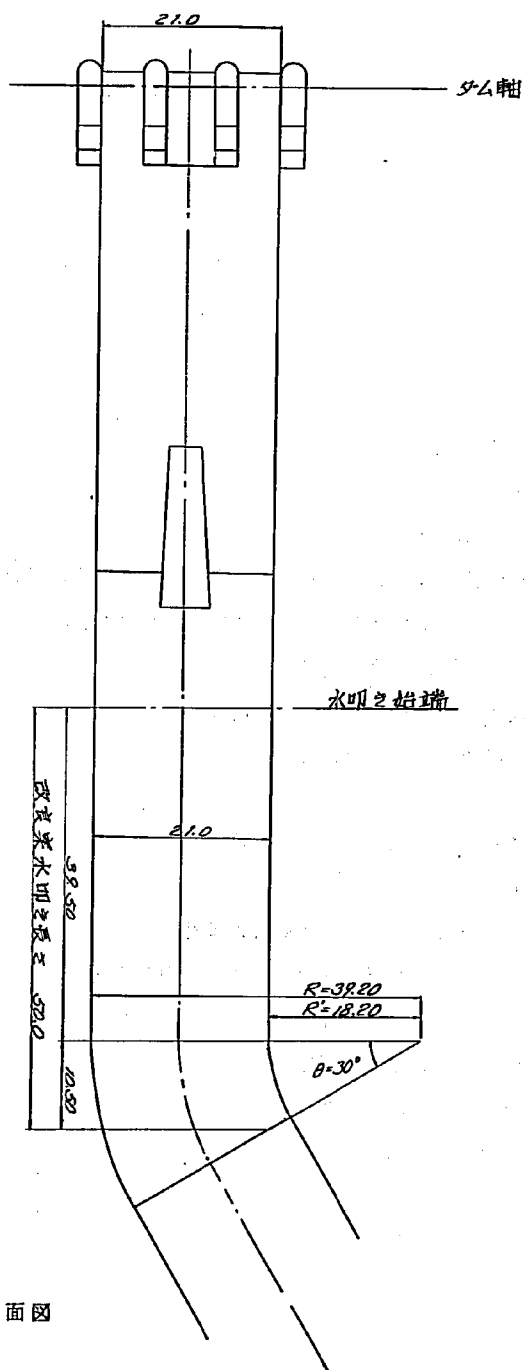
$$\theta = 30^\circ \quad B = 21 \text{ m}$$

$$R = \frac{B \tan \theta}{\tan \theta - \tan \frac{\theta}{2}} = 39.20 \text{ m}$$

$$R_1 = R - B = 18.20 \text{ m}$$

$$a = R \tan \frac{\theta}{2} = 10.50 \text{ m}$$

以上によって設計した水叩き平面図を図一18に示す。



図一18 水叩き平面図

第3章 洪水吐水理模型実験

3-1 実験の目的と内容

本実験の目的は、石手川ダム洪水吐の水理機能、すなわち放流設備の放流能力、形状の安全性および、減勢工の減勢機能を調査し、最適な洪水吐の設計を求めるものである。実験内容はつぎのとおりである。

1) 放流管

(1) 放流能力調査

(ゲート全開時およびゲート半開時の貯水位～流量測定)

(2) 放流管形状の検討

(放流管内面圧力測定)

(3) 放流管主ゲートピンの位置検討

(流況観察, 水面形測定)

2) 越流部

(1) 越流能力調査

(自由越流時およびゲート半開時の貯水位～流量測定)

(2) 越流部ゲートピンの位置, および導流壁高の検討

(流況観察, 水面形測定)

(3) 越流面ディフレクターの形状検討

(流況観察, 水面形測定)

3) 減勢工

(1) 放流管開水路部の拡がり角の検討

(流況観察)

(2) シルの位置, 高さおよび形状の検討

(流況観察, 水平形測定, シル面圧力測定)

(3) 水叩き導流壁高の検討

(流況観察, 水面形測定)

(4) 下流河道の護岸高の検討

(流況観察, 水面形測定)

3-2 模型と相似律

1) 模 型

(1) 全体模型

全体模型は縮尺 $1/50$ とし、本体（放流管部、堤頂越流部）、および水叩きを木製とし、下流河道は水叩き終端付近から下流へ約 80 m の区間をモルタル製とした。（写真-2, 3）



写真-2 石手川ダム全体模型
（下流より）

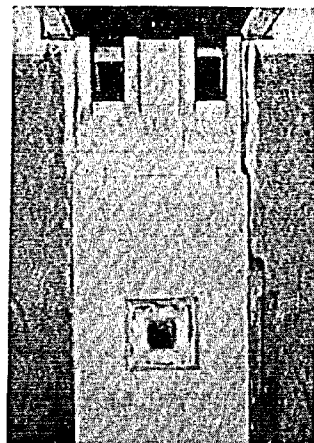


写真-3 石手川ダム全体模型
（上流面より）

(2) 放流管抽出模型

放流管の抽出模型は縮尺 $1/25$ とし、ベルマウス部、直管部および開水路部を直鋸製鋳造および黄銅板とし、直管部終端にテンターゲートを取り付けた。（写真-4, 5）

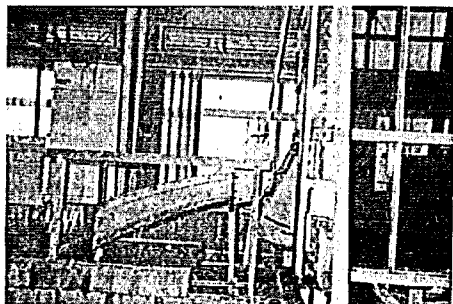


写真-4 放流管抽出模型（側面より）

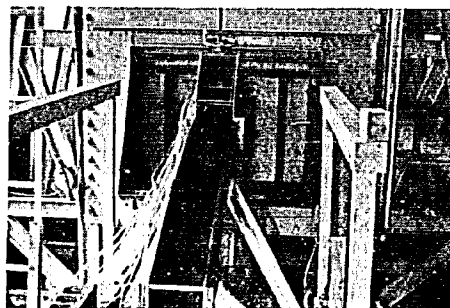


写真-5 放流管抽出模型（下流より）

2) 相似律

模型と原型との力学的相似は、フルードの法則に従うものとし、表-5に示す。

表-5 模型の縮率

諸 元	次 元		縮 率	
			全 体 模 型	放 流 管 抽 出 模 型
長さ, 水深	L	1 : n	1 : 50	1 : 25
時 間	T	1 : n ^{1/2}	1 : 7.071	1 : 5
流 速	LT ⁻¹	1 : n ^{1/2}	1 : 7.071	1 : 5
流 量	L ³ T ⁻¹	1 : n ^{3/2}	1 : 17,677	1 : 3,125
圧 力	ML ⁻¹ T ⁻²	1 : n	1 : 50	1 : 25

3-3 放流管の実験

1) 放流能力調査

放流管の貯水位(H)～流量(Q)の測定は、抽出模型によって、ゲート開度^{*}0.5mごとに全開までの8種類について行った。その結果を図-19、付表-4に示す。

実験の結果は設計条件に対して下表のとおりであり、条件を満足している。

貯 水 位	必要放流量 (QP)	実 験 値 (QM)	$\frac{QM}{QP} \times 100$	備 考
WL 2 0 1.2m	350 m ³ /s	380 m ³ /s	108%	計画最大放流量の50m ³ /s増

* 但しゲート開度とは放流管出口断面(a～b)の底面bからの高さを表わす。

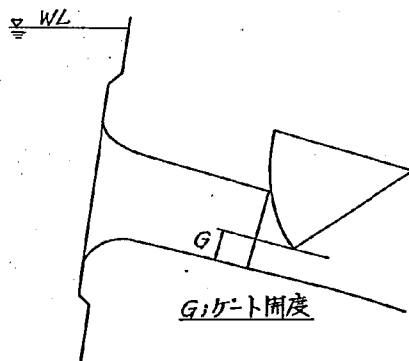
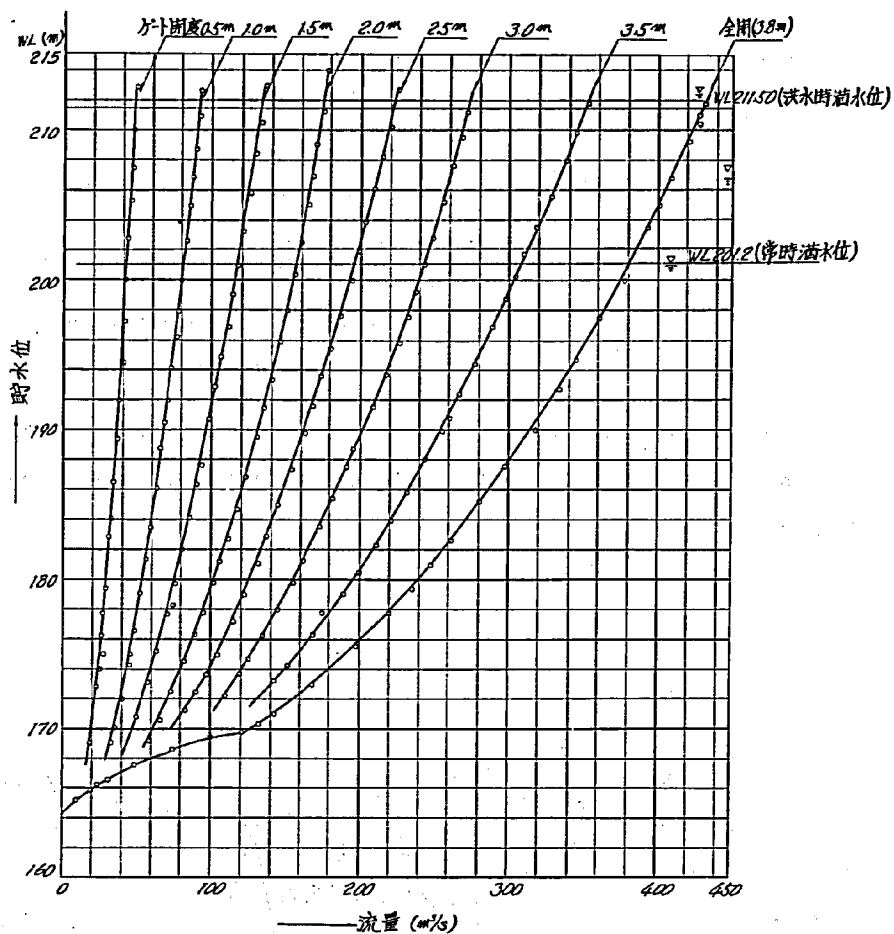


図-19 放流管貯水位～流量関係図(抽出模型)

2) 放流管形状の検討

放流管形状の適否を調べるため、抽出模型によって放流管内面圧力を次の条件のもとで測定した。その結果を図-20、付表-5に示す。

ゲート開度	全 開	
貯 水 位	WL 180.0m*	
	WL 211.5m	異常洪水位

*任意断面の平均圧力は、貯水位が低くなるほど低くなるので、
管路流を保つ条件を考慮し、最低水位WL 180.0mを想定した。

この結果、最低圧力は貯水位 WL 180.0m の時、ベルマウス終端の上面隅角部において、 -0.49 m水柱の負圧を生じたが、許容負圧 (-3 m水柱) 以内である。貯水位 WL 211.5m では、負圧が生じなかった。

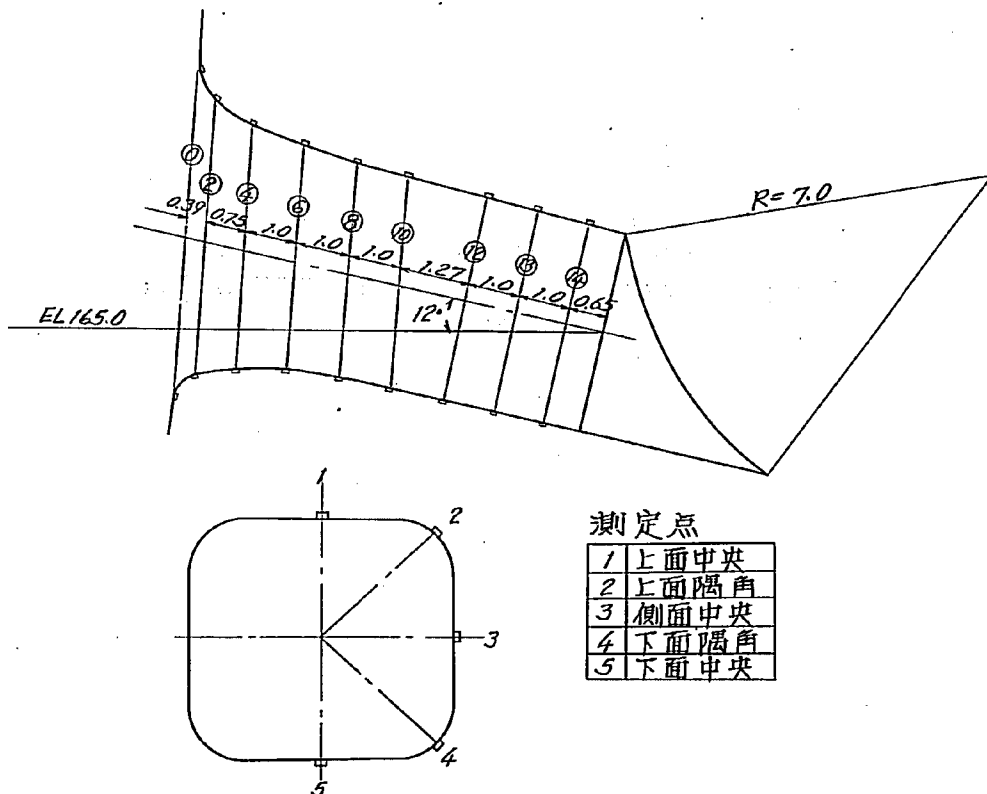
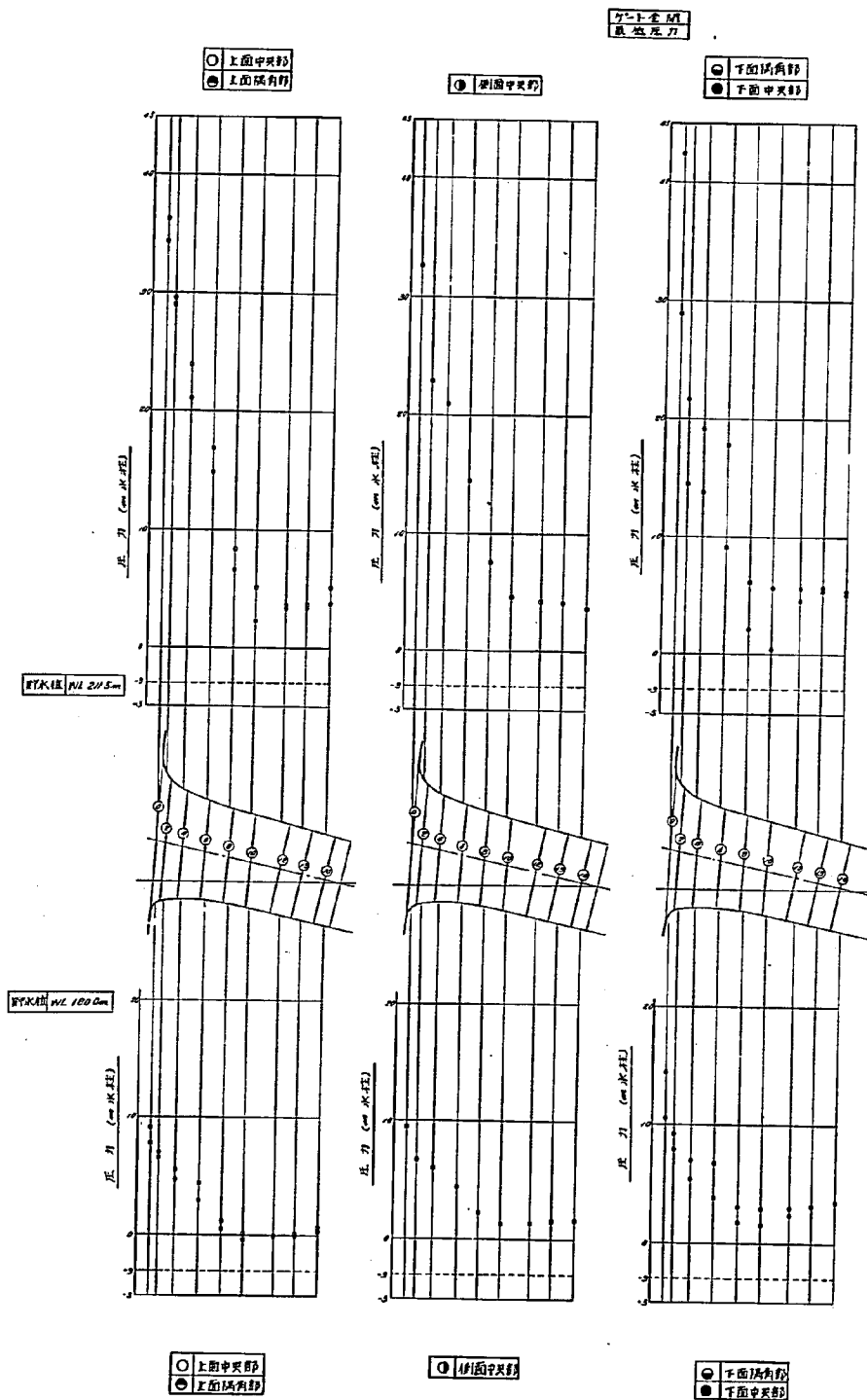


図-20 放流管内面圧力測定位置図



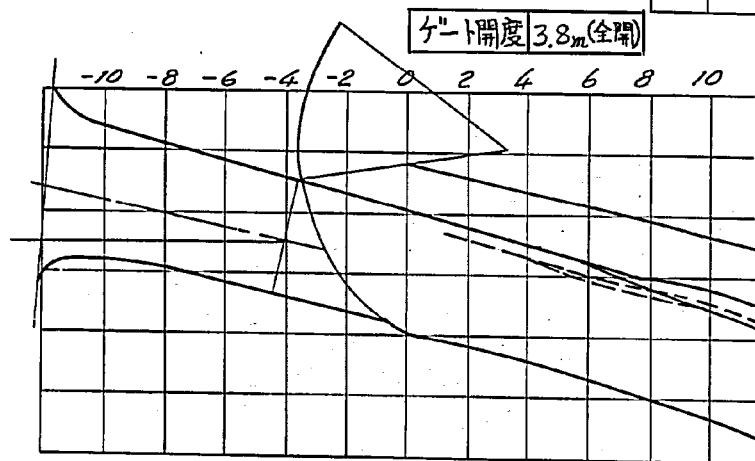
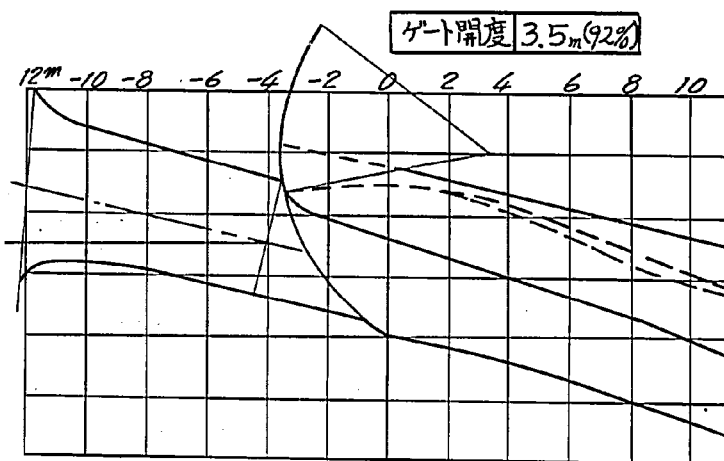
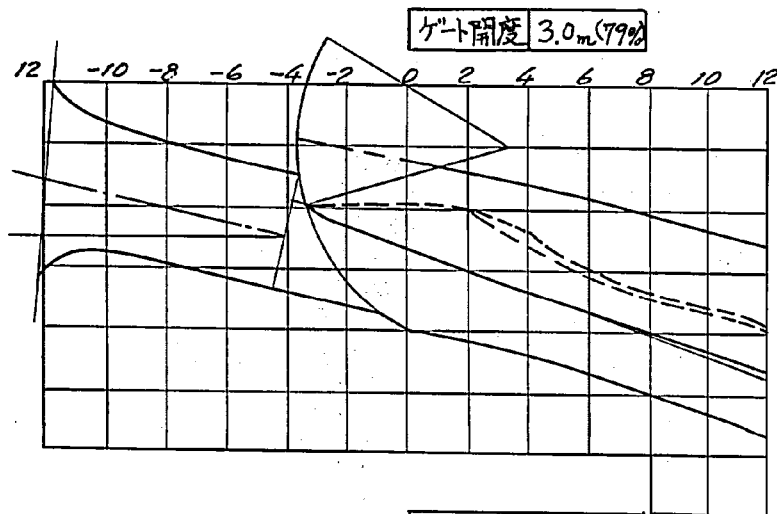
図一21 放流管内面圧力分布図 (WL 180.0m, WL 211.5m)

3) 放流管主ゲートピンの位置検討

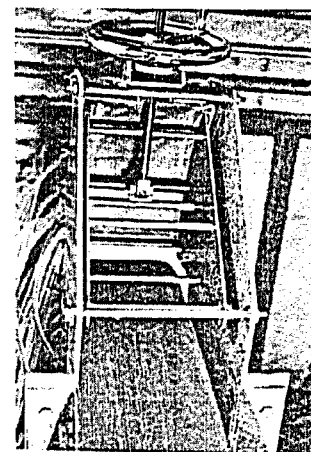
放流管ゲートピンの位置の適否を検討するために、下記の条件のもとで開水路部の流況観察および水面形測定を行った。その結果を図-22に示す。

貯 水 位	WL 21 1.5 m (洪水時満水位)
ゲート開度	3.0 m (79%)
	3.5 m (92%)
	3.6 m (95%)
	全 開 (100%)

図-22によると、ゲートピン付近で水面が最高となるのは、ゲート開度 3.6m(95%)の時で、この時、水面とゲートピンとの余裕は約 1.5 0 mあった。

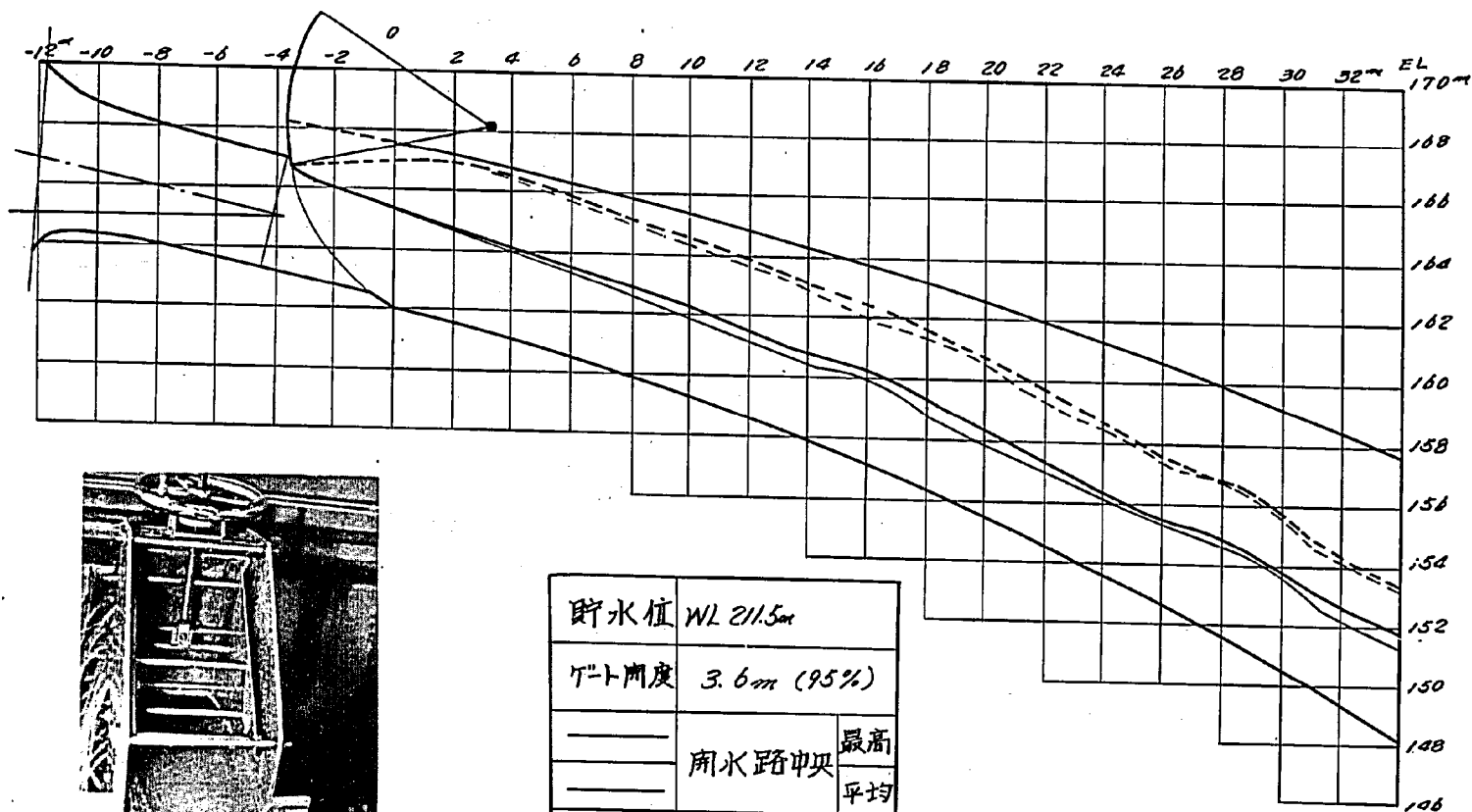


貯水位	WL 211.5m	
—	開水路中央	最高
—		平均
---	開水路右壁沿	最高
---		平均



図一22の1 放流管開水路部水面形図

写真-6 放流管放流流況
(WL 211.5 m, ゲート全開)



貯水値	WL 211.5m	
ゲート開度	3.6m (95%)	
——	開水路中央	最高
——		平均
----	開水路右岸沿	最高
----		平均

写真-7 放流管放流流況 (WL 211.5m,
ゲート開度 3.6m)

図-22の2 放流管開水路部水面形 (抽出模型実験)

3-4 越流部の実験

1) 越流能力調査

越流部の貯水位(H)～流量(Q)測定は、全体模型でゲート開度0.5 m間隔に全開までの10種類について行った。その結果を図-23, 付表-6に示す。

放流管の放流量と越流部の越流量とを合わせた全放流量を図-24に示す(但し放流管の放流量は抽出模型による)。設計条件に対して実験値は下表のとおりであり、条件を満足している。

貯水位	必要放流量(QP)	実験値(QM)	$\frac{QM}{QP} \times 100$	備考
WL 21.5m	750m ³ /s	780m ³ /s	104%	異常洪水流量

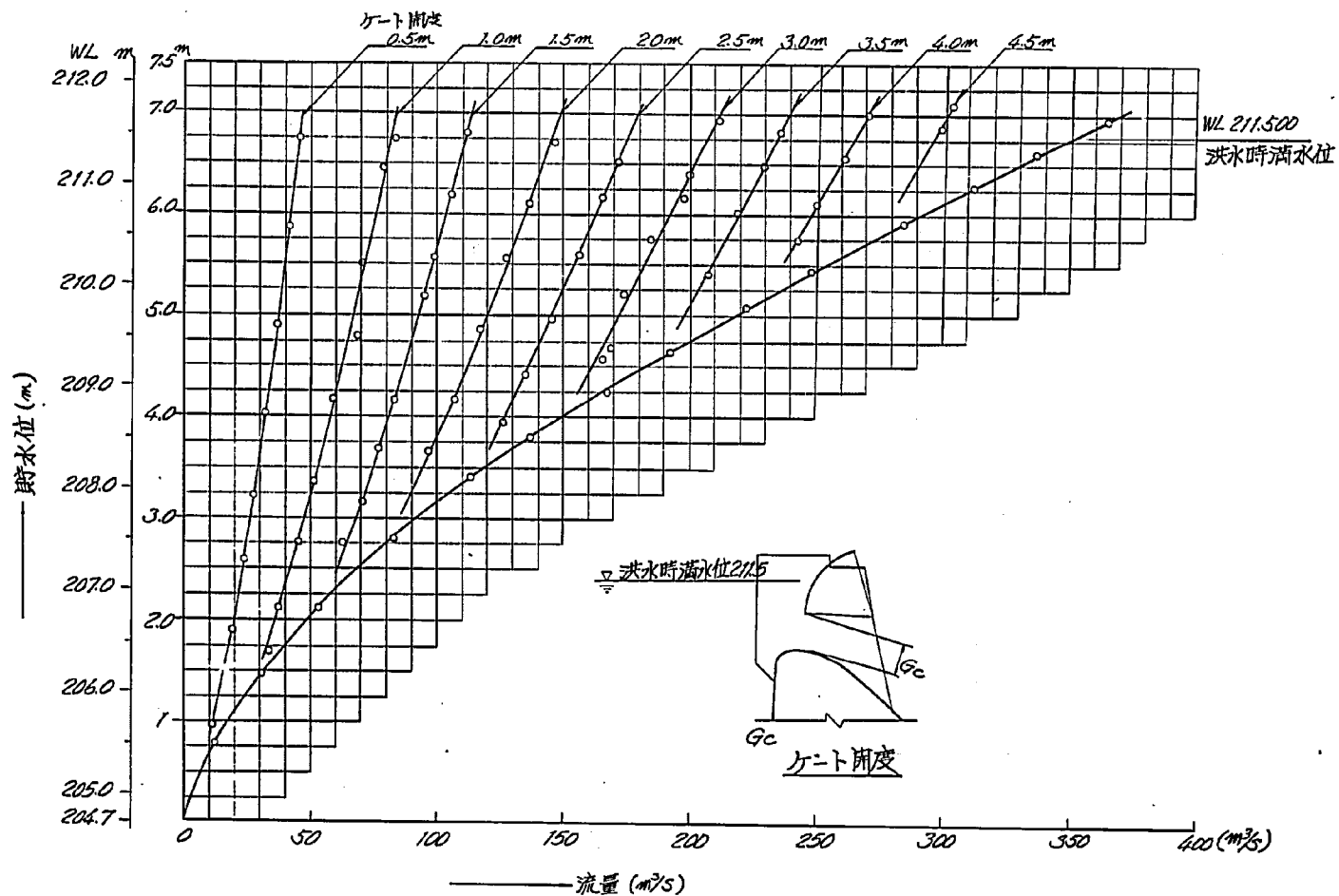
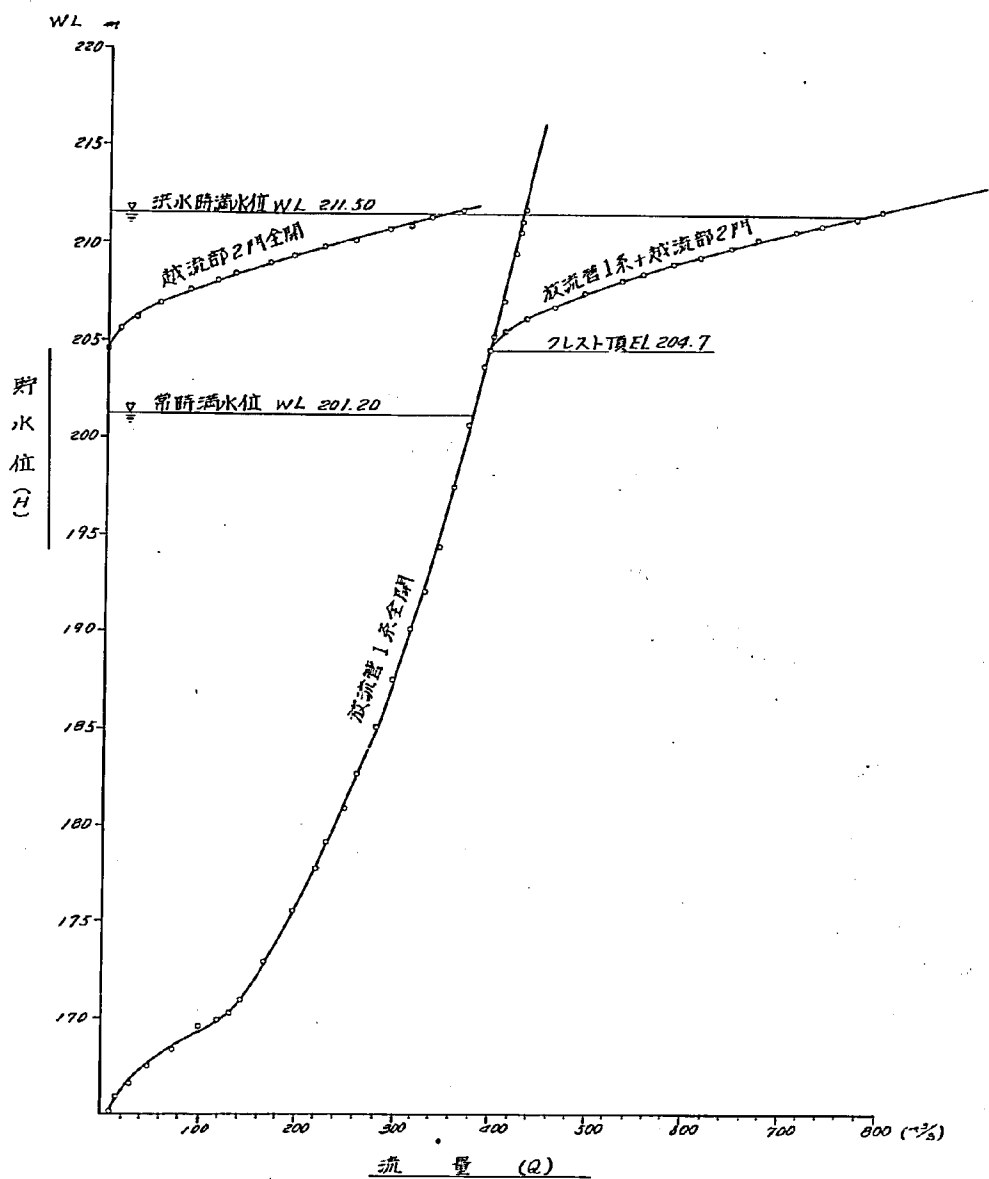


図-23 越流部貯水位～流量関係図



図一 24 洪水吐貯水位～流量関係図

2) 越流部ゲートピンの位置および導流壁高の検討

越流部ゲートピンの位置および導流壁高を検討するため、越流部の流況観察および水面形を測定し、その結果を図-25、付表-7に示す。

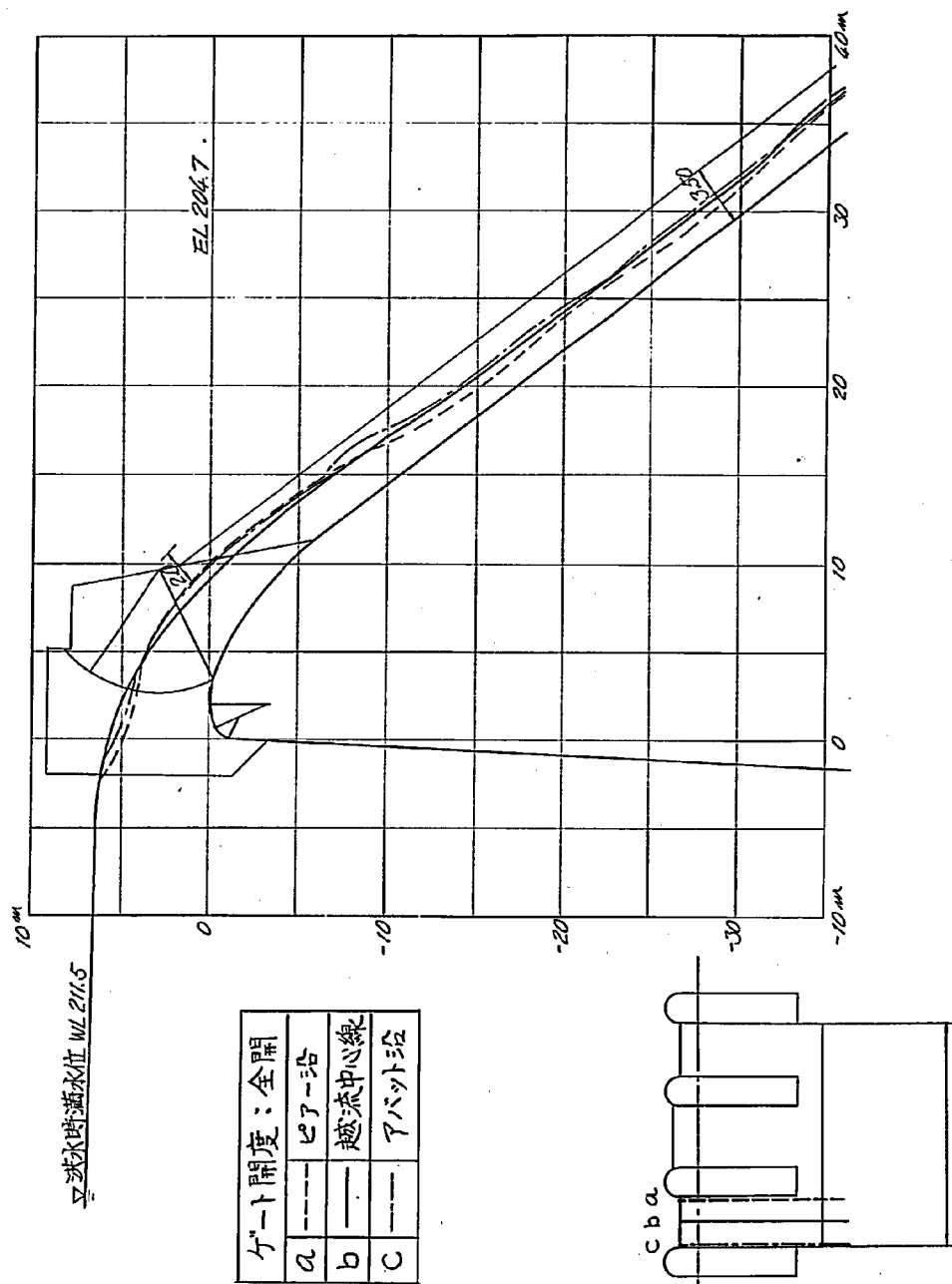


図-25 越流部水面形図



写真-8 越流部越流状況 (WL211.5m,
ゲート全開)

ゲートピン付近では、ピア沿いの水面が最も高いが、ゲートピンとの余裕は約2mあり安全である。また導流壁高さは、導流壁沿いの測定水面形に空気混入量を計算して、余裕を見込むと、堤体下流面に対して垂直に3.50mは必要である。

3) 越流面ディフレクターの形状検討

堤頂越流部からの越流水は、ピア一直下流で急激に拡がり、両側からの水脈が衝突してひれ状に隆起し、越流面上に設けられている放流管の開孔部を完全に覆うような流れとなっている(写真-9)。このような状態になると、放流管内への空気の供給が遮断され、放流管内が低圧になって空洞現象および振動が発生する危険性がある。このような現象の発生を防止するために、越流面にディフレクターを設けて、放流管の開孔部が越流水脈によって閉塞されされないようにする。

ディフレクターの位置、形状を検討するために図-26~28に示すA、B、C型の3種について、貯水位WL211.5mで越流状態にあるときの流況観察を行った。

この結果、写真-10~12に示すようにABC型ともに、ディフレクターの機能を満足していたが、流況の安定性、施工および外観からC型を採用し、ディフレクター沿いの水面形を図-29に示す。



写真-9 越流面流下流況 (WL211.5m,
ディフレクターなし)

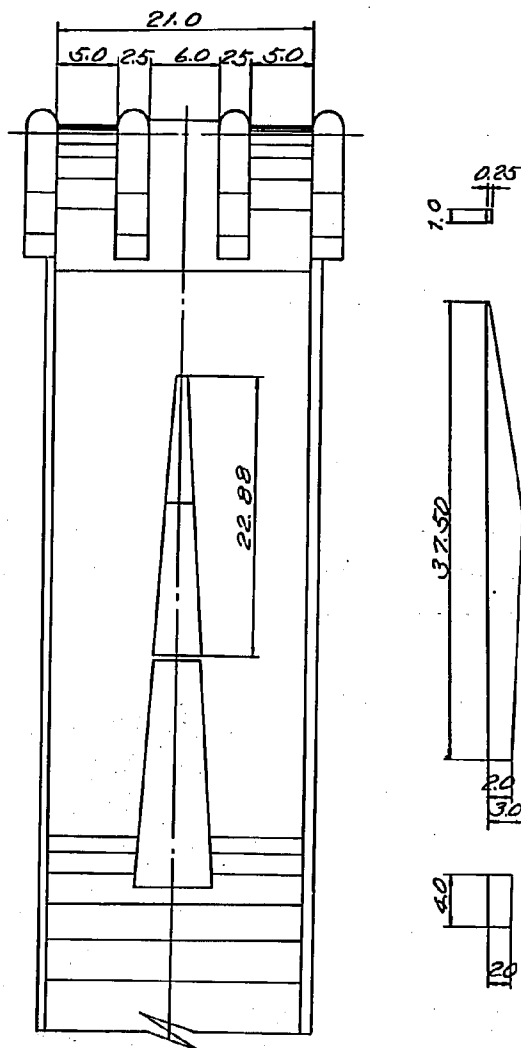


図-26 越流面ディフレクターA型形状図



写真-10 越流面ディフレクターA型配置流況
(WL 211.5 m)

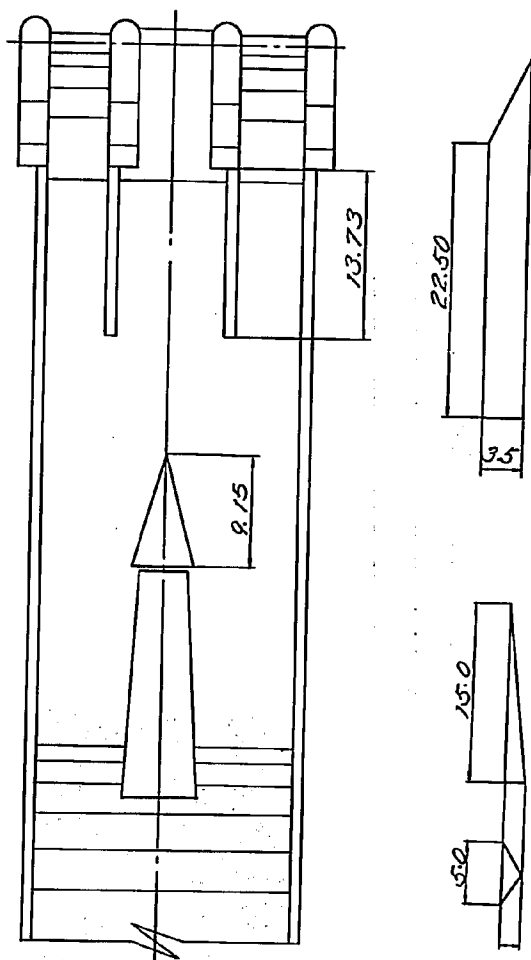


写真-11 越流面ディフレクターB型配置流況
(WL. 211.5 m)

図-27 越流面ディフレクターB型形状図

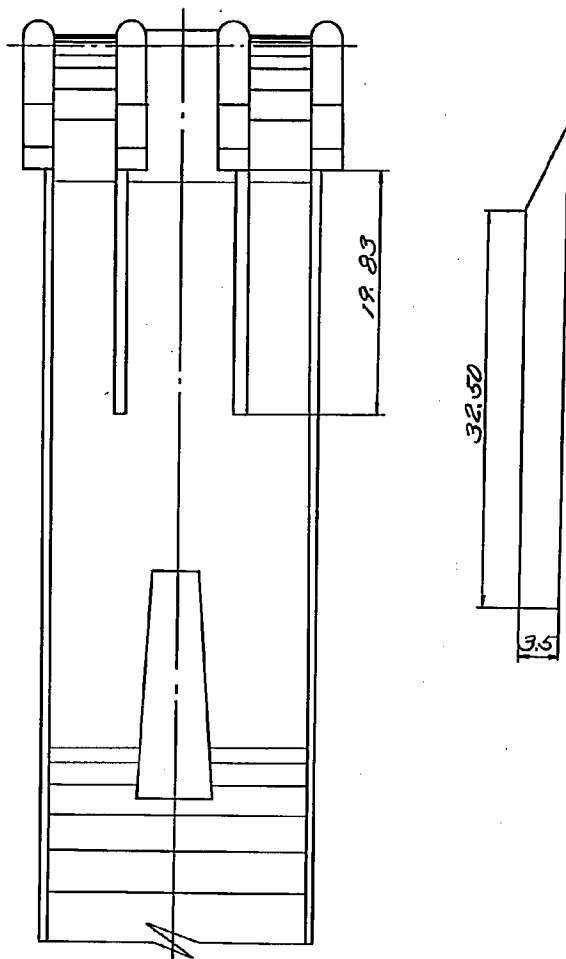


図-28 越流面ディフレクターC型形状図



写真-12 越流面ディフレクターC型配置流況
(WL 211.5 m)

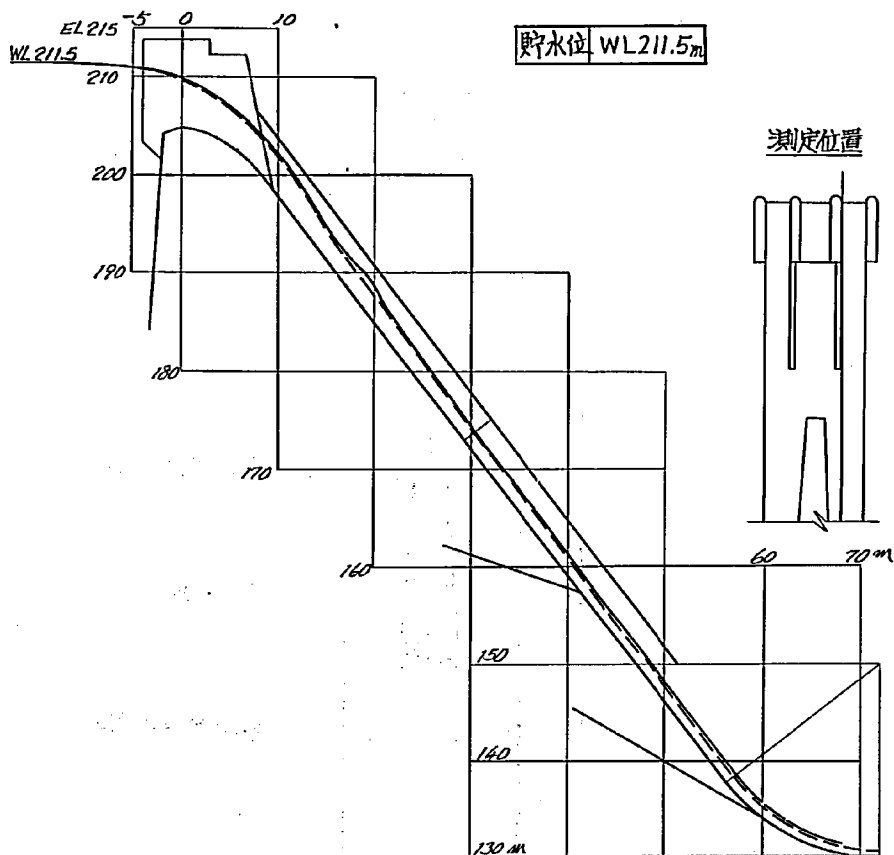


図-29 越流面ディフレクター沿い水面形図 (C型)

3-5 減勢工の実験

1) 放流管開水路部の拡がり角の検討

放流管開水路部の拡がり角を検討するため、次の2種の拡がり角について流況観察を行った。(図-30)

放流管開水路の拡がり角		流 量
①	3° (開水路上面終端から拡げる)	450 m³/s
②	0°	750 m³/s

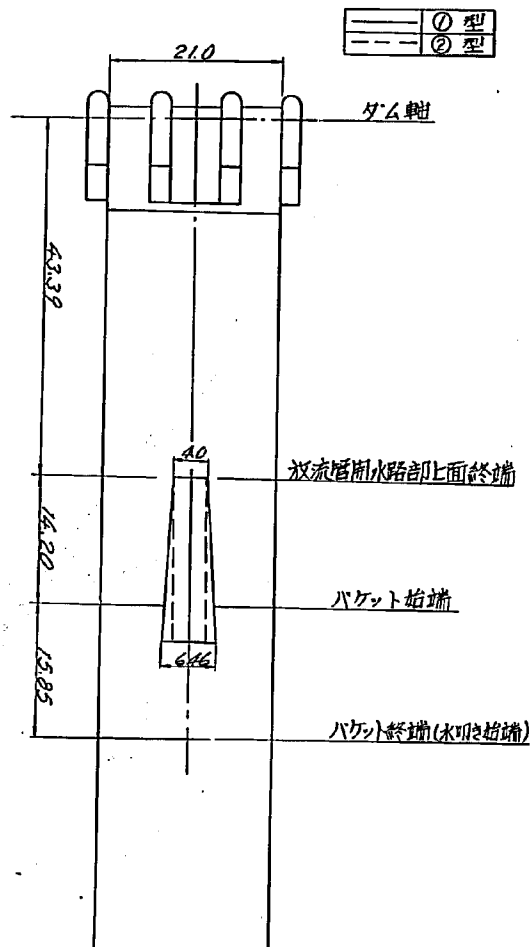


図-30 放流管開水路部拡がり形状比較図

この結果 $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合、①型、②型の流況は比較的類似しているが、 $Q = 750 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合、①型は②型に比較し、放流水が水叩き内へ均等に拡がり、露出射流の長さが短く減勢効果があがった。以上の結果から①型を採用した。

2) シル位置、高さおよび形状の検討

シルの高さを設計値の7.5 mとし、シル位置を図-31に示す3種に変えて、実験を行い、流況観察及び水面形を測定した。

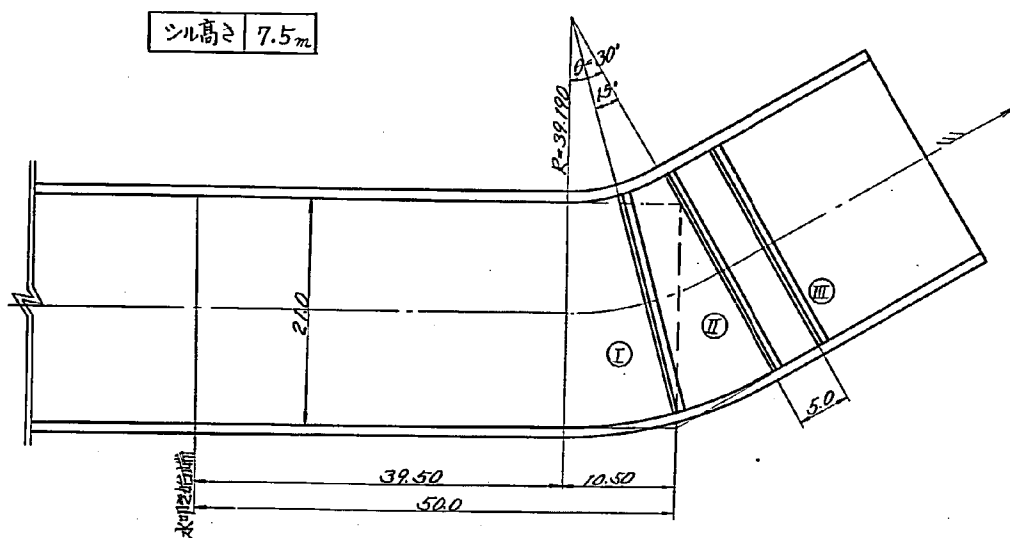


図-31 シル配置比較図(改良案水叩き)

その結果、Ⅰ型では $Q=450\text{ m}^3/\text{s}$ の場合、水叩き始端付近の水面変動がⅡ型、Ⅲ型に比べて大きく、放流管からの高速水脈がしばしばシル付近まで達しているのが認められた。

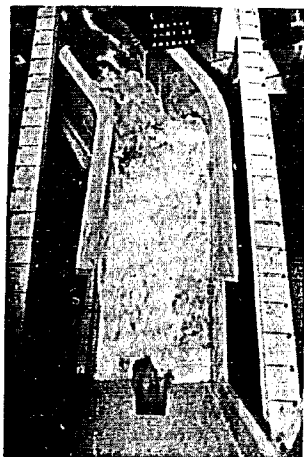


写真-13 シルⅠ型配置流況
($Q=450\text{ m}^3/\text{s}$ 平面)

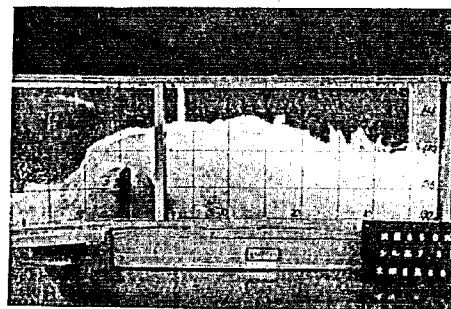


写真-14 シルⅠ型配置流況($Q=450\text{ m}^3/\text{s}$
左岸より)

Ⅱ型はⅠ型、Ⅲ型に比べて $Q=450\text{m}^3/\text{s}$ の時の最高水位は約1 m低く、水叩き内流況は最も良好であった。

Ⅲ型はⅡ型と比べ、 $Q=450\text{m}^3/\text{s}$ の時の流況は比較的類似しているが、最高水位が約1 m高く、しかもⅡ型よりシルが5 m下流なので、 $Q=750\text{m}^3/\text{s}$ の時の露出射流がいくぶん長くなった。



写真-15 シルⅡ型配置流況
($Q=450\text{m}^3/\text{s}$ 平面)

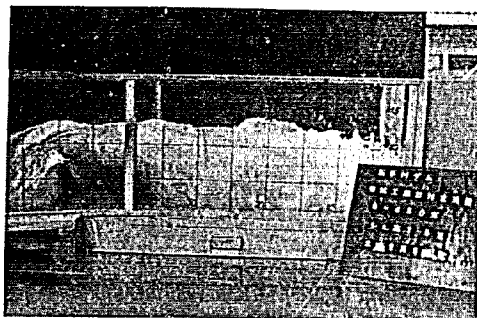


写真-16 シルⅡ型配置流況 ($Q=450\text{m}^3/\text{s}$
(左岸より))

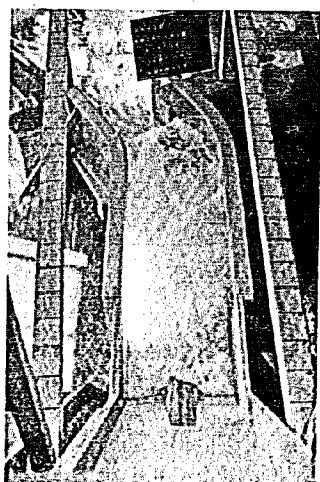
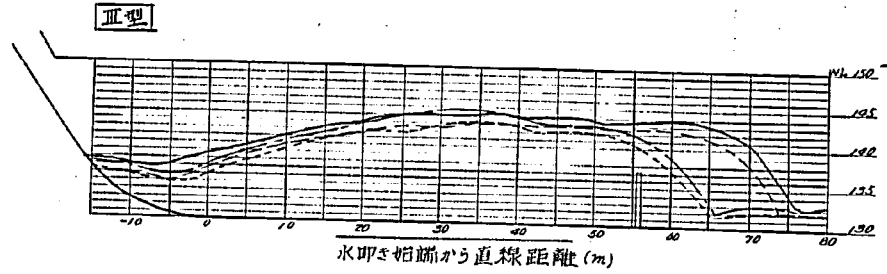
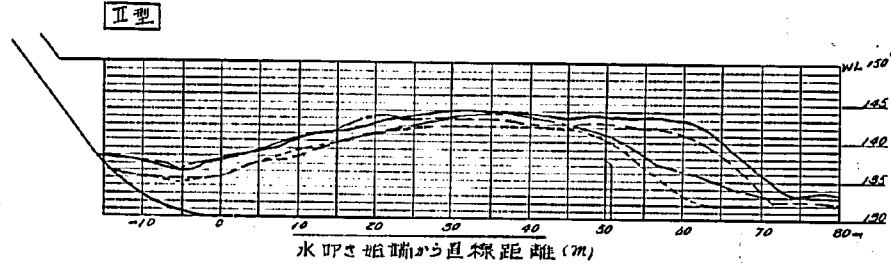
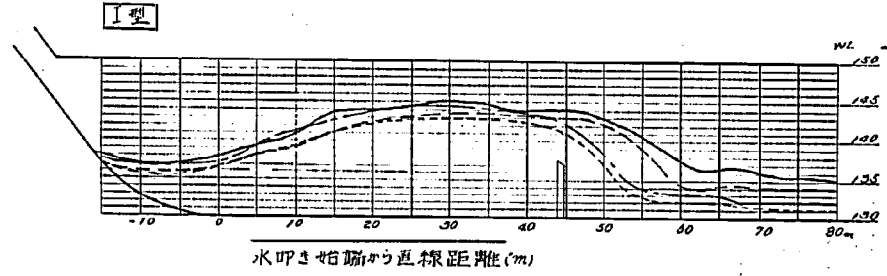


写真-17 シルⅢ型配置流況
($Q=450\text{m}^3/\text{s}$ 平面)



写真-18 シルⅢ型配置流況 ($Q=450\text{m}^3/\text{s}$
(左岸より))

流量	450 $\frac{m^3}{s}$
シル配置	7.5m
右岸岸線位置	12.5m
左岸岸線位置	4.5m



図—32 水叩き内水面形図 (シル配置比較図)

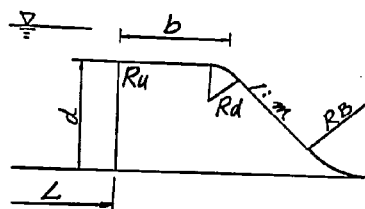
以上の結果、シル高さ7.5m、シル位置50mのⅡ型水叩きを採用した。

次にシル形状の適否を調べるために、表一6に示す既設ダムのシル形状を参考とし、図一33に示す4種の形状を考え、シル面圧力を測定した。

その結果 $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$ の最低圧力は下表のようになる。(図一33参照)

形 状	圧 力 (m 水 柱)		
	中 央	右岸導流壁沿い	平 均 値
1 型	- 1.9 5	- 2.2 0	- 2.0 8
2 型	- 2.0 5	- 1.4 0	- 1.7 2
3 型	- 1.2 0	- 1.5 5	- 1.3 8
4 型	- 1.1 0	- 1.2 0	- 1.1 5

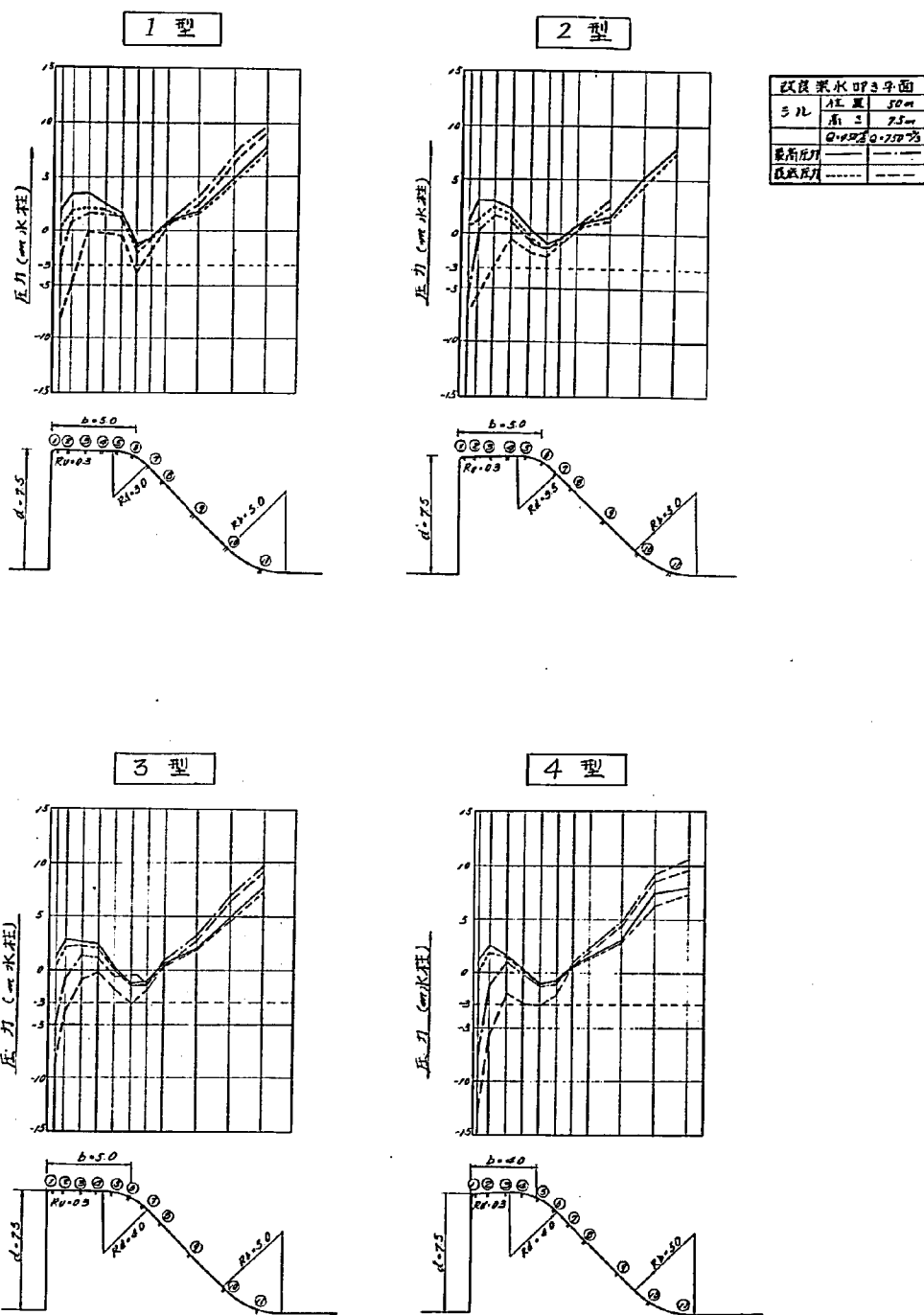
表-6 シル細部形状資料(既設ダム)



d : シル高
 Ru : 天端上端円弧半径
 b : 天端長さ
 Rd : 天端下端円弧半径
 Rb : シルバケット半径
 L : 水叩き長
 単位巾流量
 q : 減勢工設計対象流量
 q_{max} : 異常洪水流量

m : 下流面勾配
 V.S : 上流面鉛直
 S.S : 上流面傾斜

ダム名	上流面	d (m)	b (m)	Ru (m)	Rd (m)	1 : m	Rb (m)	L (m)	単位巾流量 $m^3/s/m$		b/d	b/L	b/q	備 考
									q	q _{max}				
布 部	V.S	4.5 0	3.0	0.3	2.5 0	1 : 1		32.0	9.3 8	28.7 5	0.6 7	0.0 9	0.3 2	
上市川	"	4.5 0	4.3	0.2	0.5 0	1 : 0.7	1.8 0	34.7 9	13.3 9	27.2 3	0.9 6	0.1 2	0.3 2	
浜 田	"	3.5 0	3.0	0.3	2.0 0	1 : 1		20.0 0	7.7 3	25.0 9	0.8 6	0.1 5	0.3 9	
早明浦	"	9.0 0	4.0	0.3		1 : 1	6.0 0	70.0 0	28.9 4	69.4 4	0.4 4	0.0 6	0.1 4	Rd : y = 0.1 x ²
神 浦	"	5.5 0	3.5	0.3	3.0 0	1 : 0.6		40.0 0		23.1 5	0.6 4	0.0 9		
緑 川	"	11.0 0	6.2	0.1		1 : 1	3.0 0	75.0 0	40.0 0	70.6 7	0.5 6	0.0 8	0.1 6	Rd : y = 0.1 x ²
大 滝	"	9.0 0	4.0		4.0 0	1 : 1	6.0 0	72.0 0	33.3 3	88.0 0	0.4 4	0.0 6	0.1 2	
横 山	S.S	9.5 0	4.0		5.0 0	1 : 1		48.0 0	37.5 0	87.5 0	0.4 2	0.0 8	0.1 1	上流面 1 : 1
鶴 田	"	9.7 5	6.0		6.0	1 : 1	5.0 0	70.0	50.0 0	74.4 0	0.6 2	0.0 9	0.1 2	上流面 1 : 1
小瀬川	"	7.0 0	4.0		2.5	1 : 0.6		29.8 5	26.3 2	69.4 7	0.5 7	0.1 3	0.1 5	上流面 1 : 1
松 原	"	9.0 0	7.2	1.0	6.0	1 : 1	5.0 0	77.5	33.6 7	93.0 6	0.8 0	0.0 9	0.2 1	上流面 1 : 0.2
石手川	V.S	7.5 0	5.0	0.3	4.0	1 : 1	5.0 0	50.0	21.4 3	35.7 1	0.6 7	0.1 0	0.2 3	



図一 33 シル面圧力分布図 (シル形状比較) ($Q=450\text{ m}^3/\text{s}$, $Q=750\text{ m}^3/\text{s}$)

最低圧力は、すべて天端下流端の円弧付近に発生しているが、許容負圧（ -3.0 m水柱）以内なので問題はない。

① 天端幅を一定とし、天端下流端円弧半径を変えた1型、2型、3型の最低圧力のみについていえば、円弧半径が大きいほど負圧が軽減されている。したがって3型が最も良い。

② 次に、天端下流端円弧半径を一定とし、天端の長さのみを変えた。3型と4型とを比較すると、 $Q=450 \text{ m}^3/\text{s}$ では、負圧の軽減で4型がわずかに有利であった。しかし、 $Q=750 \text{ m}^3/\text{s}$ の時すべての形状において、右岸導流壁沿いのシル天端上流端に許容を超える負圧が発生した。特に4型は他の1型、2型、3型と比べ、負圧ははるかに大きく、しかもシル越流水面が不均一であった。

以上の結果、シルの位置 50 m、高さ 7.5 m、形状3型（図-34）を採用した。

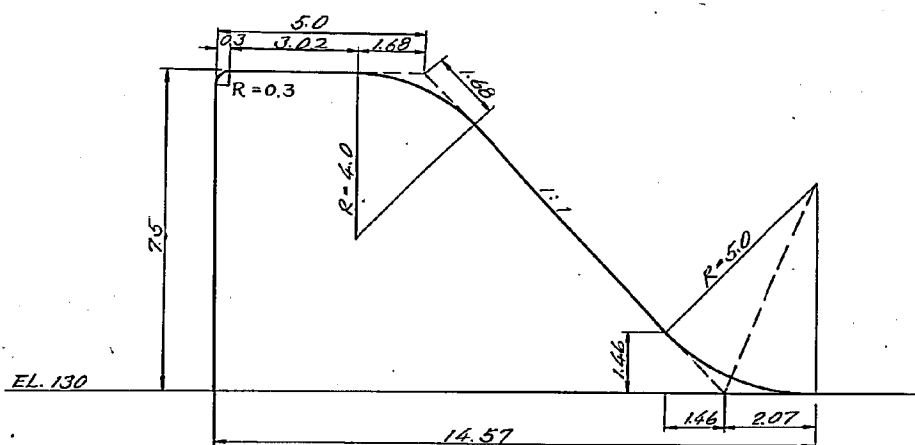


図-34 シル詳細図（3型、最終案）



写真-19 最終案減勢工(平面)

3) 水叩き導流壁高の検討

導流壁の高さを決めるために、水叩き内の流況観察および水面形測定を行った。(測定資料の詳細は付図-3, 付表-8 参照)

① $Q=350\text{ m}^3/\text{s}$

水叩き内の平均水面は WL143.5m でほぼ均一化した流れとなり、シル直上では完全に減勢されて安定した流況を示した。また計画最大放流量 $300\text{ m}^3/\text{s}$ の流況および水面形も $350\text{ m}^3/\text{s}$ とほぼ類似していた。

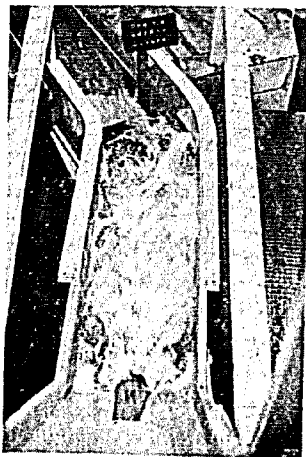


写真-20 最終案減勢工流況
($Q=350\text{ m}^3/\text{s}$ 平面)

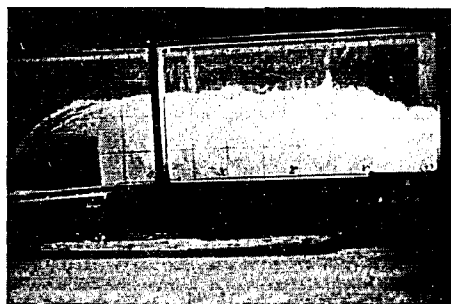


写真-21 最終案減勢工流況 ($Q=350\text{ m}^3/\text{s}$
左岸より)



写真-22 最終案減勢工流況
($Q=350\text{m}^3/\text{s}$ 下流より)

② $Q=450\text{m}^3/\text{s}$ (減勢工設計対象流量)

水叩き内の平均水面と最高水面との差は約1~2mあるが比較的安定しており、シル直上の水面は、右岸側が左岸側に比べて約0.6m高いが減勢されている。



写真-23 最終案減勢工流況
($Q=450\text{m}^3/\text{s}$ 平面)

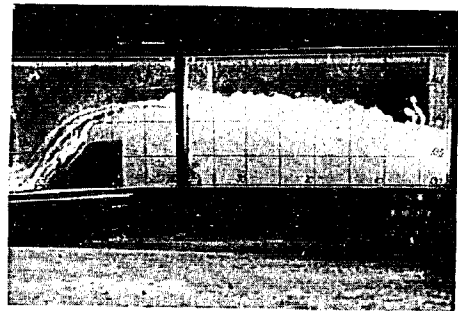


写真-24 最終案減勢工流況 ($Q=450\text{m}^3/\text{s}$
左岸より)

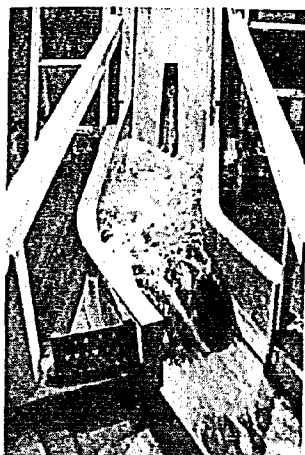


写真-25 最終案減勢工流況
($Q=450\text{m}^3/\text{s}$ 下流より)

③ $Q=750\text{m}^3/\text{s}$ (異常洪水流量)

越流部及び放流管の同時放流で、水叩き内においては高速の流れがシル前面まで達し、水叩き始端から40m下流の左岸側において最高水面 WL150.5m となった。また、シル直上の水面変動も大きい。

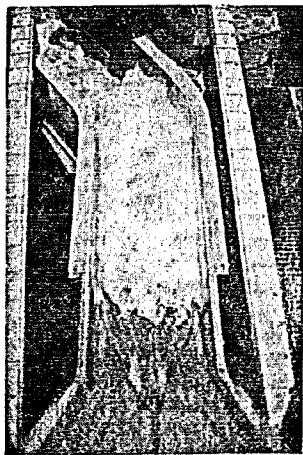


写真-26 最終案減勢工流況
($Q=750\text{m}^3/\text{s}$ 平面)

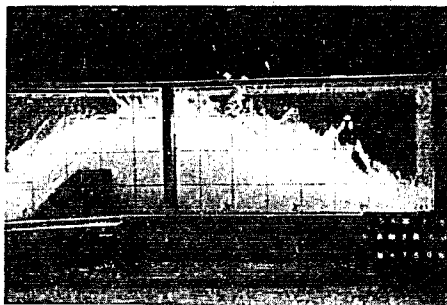


写真-27 最終案減勢工流況 ($Q=750\text{m}^3/\text{s}$
左岸より)



写真-28 最終案減勢工流況
($Q=750\text{m}^3/\text{s}$ 下流より)

——	$Q=450\text{m}^3/\text{s}$	右岸導流壁沿	最高水位
----		左岸導流壁沿	
----	$Q=750\text{m}^3/\text{s}$	右岸導流壁沿	
----		左岸導流壁沿	

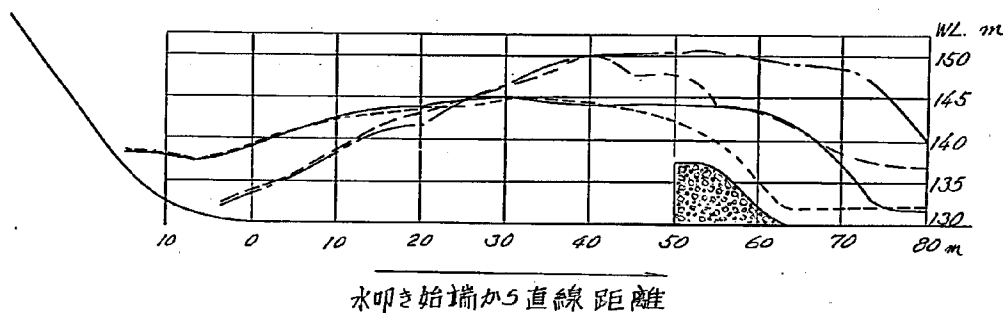


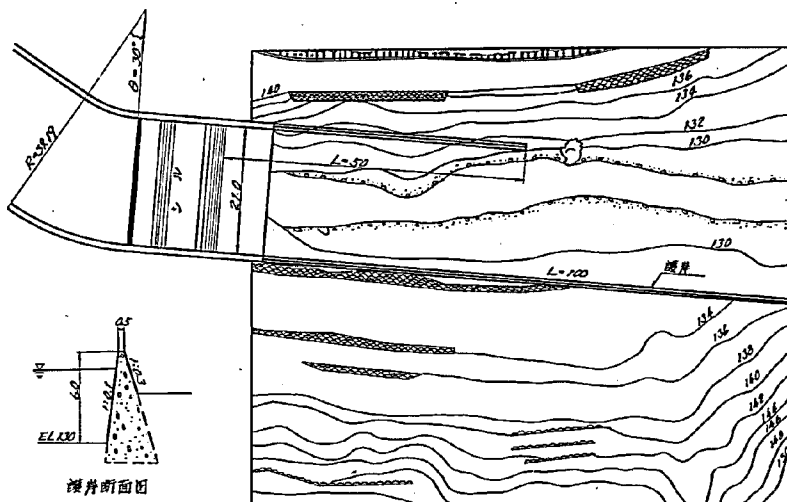
図-35 最終案減勢工における水面形図 (流導壁高の検討)

図-35に示すように減勢工設計対象流量 $450\text{m}^3/\text{s}$ に対して、最高水面に対し、高さ 15m (EL 145m) の導流壁は必要である。

異常洪水流量 $750\text{m}^3/\text{s}$ の最高水面に対しては、 22m の導流壁が必要となるが、異常洪水が導流壁を越流した場合、ダム本体基礎に対する危険性が予想されなければ、異常洪水の越流による多少の被害はやむをえないものであろう。なお導流壁に隣接して重要構造物を設置するときは、別途考慮する必要がある。

3-6 下流河道護岸高の検討

護岸の高さを決める資料を得るために、計画中の護岸を図-36のように設置し、下流河道の流況観察および水面形測定を行った。ただし下流河道模型のモルタル河床は、粗度の相似が良好でない。(測定資料の詳細は、付図-5, 付表-9 参照)



② $Q=450\text{ m}^3/\text{s}$ (減勢工設計対象流量)

シルを越流した流れは、わずかに右岸に偏流しているがほぼ均一である。下流の流況は $Q=350\text{ m}^3/\text{s}$ の場合とほとんど同じである。最高水面は、シル下流端から約25m下流の右岸護岸沿いに表われ $WL134.0\text{m}$ であった。

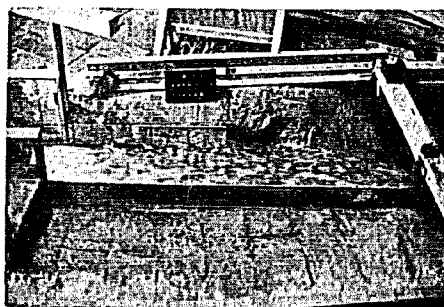


写真-30 下流河道内流況
($Q=450\text{ m}^3/\text{s}$ 右岸より)

③ $Q=750\text{ m}^3/\text{s}$ (異常洪水流量)

水叩きからの流れが右岸に偏流し、しばしば護岸を越流するがシル終端から15m下流付近で均等になる。また左岸護岸沿いの流れは、護岸終端から左方へ拡がり、ここで発生した乱れは右岸へおよび、右岸護岸沿いの水面が上昇し、しばしば護岸天端 ($EL136\text{m}$) を越流した。

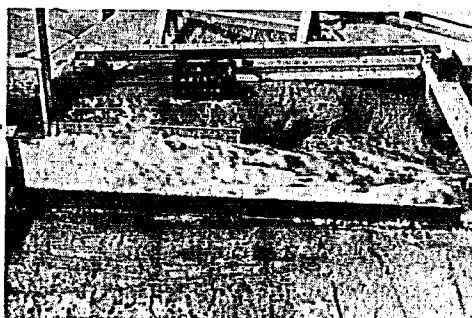


写真-31 下流河道流況
($Q=750\text{ m}^3/\text{s}$ 右岸より)

3-7 結 論

石手川ダム洪水吐水理模型実験結果を要約すると次のとおりである。

1) 放流管

(1) 放流能力

次のように設計条件を満足している。

貯水位	必要放流量	実験値	
WL201.2m	350m ³ /s	380m ³ /s	計画最大放流量300m ³ /sの 50m ³ /s増

(2) 放流管形状

原案放流管形状は、許容を越える負圧が発生しないので安全である。

(3) 放流管ゲートピンの位置は、最高水面に対して約1.5mの余裕があり安全である。

2) 越流部

(1) 越流能力

越流部の越流能力は、放流管と合わせて、つぎのように設計条件を満足している。

貯水位	必要放流量	実験値	備考
WL211.5m	750m ³ /s	780m ³ /s	異常洪水流量

(2) 越流部ゲートピンの位置および導流壁高

① 越流部のゲートピンの位置は、最高水面に対して約2mの余裕があり安全である。

② 導流壁高は、堤体下流面に対して垂直に3.5mは必要である。

(3) 越流面ディフレクター

ディフレクターは、堤体下流面に対して垂直に3.5m、堤体下流面に平行に長さ

3.25mを必要とし、図-28のように配置する。

3) 減勢工

(1) 放流管開水路部の拡がり

開水路上面終端から平面的に3'拡げる。

(2) 水叩き、導流壁およびシルの規模

水叩き長さ		50m
シル	高さ	7.5m
	形状	図-34
導流壁高		15m※

※ 但し、異常洪水が導流壁を越流した場合、ダム本体基礎に対する危険性が予想されない時。

付 表 ・ 付 図

○

○

付 表 目 次

付表一 1	放流管管路部座標値	69
付表一 2	放流管開水路部座標値	70
付表一 3	越流部座標値	71
付表一 4	放流管貯水位～流量測定値表	72
付表一 5	放流管内面圧力測定値表 (WL 180.0m, WL 211.5m)	74
付表一 6	越流部貯水位～流量測定値表	75
付表一 7	越流部水面形測定値表 (WL 211.5m)	76
付表一 8	最終案減勢工水叩き水面形測定値表 ($Q=350\text{m}^3/\text{s}$, $450\text{m}^3/\text{s}$, $750\text{m}^3/\text{s}$)	77
付表一 9	下流河道水面形測定値表 ($Q=350\text{m}^3/\text{s}$, $450\text{m}^3/\text{s}$, $750\text{m}^3/\text{s}$)	79

付 図 目 次

付図一 1	放流管断面位置図	81
付図一 2	放流管横断面図	81
付図一 3	最終案減勢工水叩き水面形図 ($Q=350\text{m}^3/\text{s}$, $450\text{m}^3/\text{s}$, $750\text{m}^3/\text{s}$)	83
付図一 4	最終案減勢工シール面圧力分布図 ($Q=350\text{m}^3/\text{s}$, $450\text{m}^3/\text{s}$, $750\text{m}^3/\text{s}$)	85
付図一 5	下流河道水面形図 ($Q=350\text{m}^3/\text{s}$, $450\text{m}^3/\text{s}$, $750\text{m}^3/\text{s}$)	88



付表-1 放流管管路部座標値

No	L	座 標 値				断 面						備 考
		上面中央部 (U)		下面中央部 (D)		高 さ				隅 取 半 径 (R)		
		Xu	標 高	X	標 高	Hu	Hd	H	幅	上面(Ru)	下面(Rd)	
0	0	10.902	169.792	11.327	163.719	3.124	2.964	6.088	6.000	0.461	0.461	ベルマウス始端
1	0.143	10.781	169.502	11.169	163.957	2.863	2.695	5.558	5.479	0.475	0.475	
2	0.393	10.548	169.282	10.912	164.076	2.695	2.524	5.219	5.150	0.499	0.499	
3	0.643	10.311	169.116	10.660	164.138	2.580	2.410	4.990	4.930	0.523	0.523	
4	1.143	9.834	168.848	10.159	164.196	2.416	2.248	4.664	4.621	0.571	0.571	
5	1.643	9.353	168.626	9.662	164.205	2.298	2.134	4.432	4.405	0.619	0.619	
6	2.143	8.870	168.433	9.168	164.184	2.209	2.051	4.261	4.248	0.667	0.667	
7	2.643	8.386	168.262	8.674	164.139	2.141	1.991	4.132	4.136	0.715	0.715	
8	3.143	7.900	168.107	8.182	164.076	2.091	1.950	4.041	4.059	0.763	0.763	
9	3.643	7.414	167.969	7.692	163.996	2.056	1.926	3.982	4.015	0.810	0.810	ベルマウス終端
10	4.143	6.926	167.844	7.202	163.900	2.035	1.919	3.954	4.000	0.858	0.858	
11	4.410	6.391	167.715	7.202	163.900	2.000	1.900	3.900	4.000	0.858	0.858	直管部始端
12	5.410	5.419	167.480	6.224	163.692	1.973	1.900	3.873	4.000	0.858	0.742	
13	6.410	4.446	167.245	5.246	163.484	1.945	1.900	3.845	4.000	0.858	0.625	直管部終端
14	7.410	3.474	167.011	4.268	163.276	1.918	1.900	3.818	4.000	0.858	0.509	
15	8.058	2.843	166.858	3.633	163.141	1.900	1.900	3.800	4.000	0.858	0.433	

付表一2 放流管開水路部座標値

開水路部上面形状座標値			
x m	y m	標高 EL m	備考
0	-5.824	168.965	
1	-5.615	168.756	
2	-5.401	168.542	
3	-5.181	168.322	
4	-4.956	168.097	
5	-4.726	167.867	
6	-4.490	167.631	
8	-4.002	167.143	
10	-3.492	166.633	
12	-2.960	166.101	
15	-2.121	165.262	
20	-0.609	163.750	
25	1.048	162.093	
30	2.853	160.288	
35	4.810	158.331	
39.919	6.889	156.252	堤体下流面との交点

① 上面形状曲線

$$(x+40.397)^2 + (y-190.054)^2 = 200^2$$

② 座標原点は放流管下面とゲートとの交点

EL 162.369m (図-12)

開水路下面形状座標値			
x_m	y_m	標高 m	備考
0	0	162.369	座標原点

付表-3 越流部座標値

x m	y m	標 高 EL m	備 考
0	0	204.700	クレスト頂
0.5	0.027	204.673	
1.0	0.096	204.604	
1.5	0.204	204.496	
2.0	0.348	204.352	
2.5	0.526	204.174	
3.0	0.737	203.963	
4.0	1.254	203.446	
5.0	1.895	202.805	
6.0	2.655	202.045	
7.0	3.532	201.168	
8.0	4.521	200.179	
9.0	5.622	199.078	
10.0	6.832	197.868	
10.324	7.247	197.453	堤体下流面との交点

※クレスト頂より下流の座標値(図-13, 15)

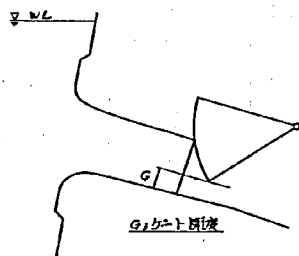
$$y = 0.00965 x^{1.85}$$

付表-4の1 放流管貯水位～流量測定値表
(図-20を参照)

ゲート開度: 0.5m (13%)		ゲート開度: 1.0m (26%)		ゲート開度: 1.5m (39%)		ゲート開度: 2.0m (53%)	
貯水位 WL m	流 量 m ³ /s	貯水位 WL m	流 量 m ³ /s	貯水位 WL m	流 量 m ³ /s	貯水位 WL m	流 量 m ³ /s
169.03	17.8	166.33	23.3	170.80	50.4	169.22	58.1
172.83	22.6	169.16	32.3	173.12	58.1	170.60	66.0
174.63	24.4	170.16	35.2	175.20	63.7	172.52	73.7
175.03	27.0	172.06	39.2	177.70	70.6	174.50	83.4
176.28	25.9	174.33	44.5	179.78	76.2	176.31	89.1
177.08	26.5	175.06	45.7	181.96	80.9	177.95	95.2
179.53	28.8	176.58	48.9	184.06	86.0	179.81	100.1
182.93	30.5	179.08	52.8	186.33	90.1	181.22	106.1
184.10	32.4	181.32	56.1	187.70	93.2	182.90	111.1
186.53	34.0	183.46	59.6	190.80	98.6	184.72	117.7
189.46	36.2	186.10	63.2	192.82	102.1	186.90	123.1
191.96	37.9	187.58	65.4	194.88	106.0	189.52	130.0
194.53	39.5	190.50	69.1	196.72	111.2	191.55	135.1
197.25	41.0	191.90	70.8	199.03	114.5	193.46	140.1
200.13	42.5	194.08	73.7	200.02	116.1	196.09	145.8
202.78	43.9	196.16	76.0	200.92	117.8	197.95	151.0
205.28	45.2	197.93	78.1	203.26	121.2	204.14	155.4
207.50	46.6	200.20	81.4	205.82	125.0	205.00	165.0
210.00	47.8	202.62	84.0	208.33	128.6	206.96	168.1
212.88	49.4	204.88	85.8	210.52	131.8	209.02	170.0
		206.81	88.1	213.08	135.5	211.22	175.0
		208.73	89.7			214.00	179.1
		210.91	92.1				
		212.66	93.5				

付表-4の2 放流管貯水位～流量測定値表

ゲート開度：2.5m (66%)		ゲート開度：3.0m (79%)		ゲート開度：3.5m (92%)		ゲート開度：3.8m (全開 100%)	
貯水位 WL m	流 量 m³/s	貯水位 WL m	流 量 m³/s	貯水位 WL m	流 量 m³/s	貯水位 WL m	流 量 m³/s
171.31	83.1	172.22	110.0	173.23	143.1	165.26	9.6
172.46	90.4	173.46	118.7	174.20	151.9	165.88	18.4
173.68	97.9	174.60	125.1	176.28	169.1	166.66	31.3
175.03	104.3	176.38	135.6	177.23	175.1	167.50	48.6
177.26	114.8	177.96	145.0	179.03	189.7	168.60	74.7
179.00	122.1	179.78	155.3	180.46	199.1	169.53	100.4
181.03	131.8	181.22	162.2	182.37	211.1	169.83	120.1
182.88	137.6	183.40	173.3	183.90	220.8	170.36	133.3
184.96	144.6	185.38	182.1	185.82	231.8	170.96	142.0
187.38	153.9	187.55	191.3	188.23	244.0	172.96	168.2
189.88	163.5	188.68	195.8	189.98	255.3	175.53	197.7
191.61	168.1	191.46	207.5	190.73	259.4	177.70	220.1
193.53	173.8			192.50	267.0	179.38	234.8
195.38	180.9	193.74	216.6	194.50	277.4	180.96	246.9
197.60	186.3	195.78	225.4	196.96	289.0	182.66	261.7
199.96	193.6	197.58	231.1	198.93	297.7	185.20	280.9
201.90	198.8	201.08	242.5	201.76	309.9	187.55	297.4
203.80	203.9	205.22	256.1	202.33	314.1	190.08	317.2
206.08	209.2	207.60	263.0	205.63	327.8	192.78	333.3
208.13	214.4	209.52	269.0	208.03	337.6	194.70	344.9
210.20	219.0	211.30	272.1	209.86	344.6	197.53	360.8
212.60	225.0			211.80	352.1	200.60	376.4
						203.58	392.9
						205.10	400.8
						206.90	409.0
						209.33	420.5
						210.53	427.0
						211.00	427.3
						211.78	430.9



付表一5 放流管内面压力测定值表

	No	压 力 (m 水 程)			
		貯水位 WL 211.5m		貯水位 WL 180.0m	
		最高压力	最低压力	最高压力	最低压力
① 上面中央部	0	34.41	34.31	8.01	7.84
	2	29.22	29.09	6.87	6.67
	4	24.13	24.03	5.55	5.40
	6	16.82	16.74	3.99	3.42
	8	8.69	8.59	1.42	1.14
	10	5.26	5.11	0.33	0.18
	12	3.77	3.64	0.07	-0.06
	13	3.86	3.73	0.33	0.18
	14	5.34	5.11	0.89	0.76
② 上面隅角部	0	37.49	37.39	9.22	9.07
	2	29.91	29.74	7.21	7.06
	4	21.24	21.12	4.94	4.74
	6	15.06	14.99	3.19	3.04
	8	6.86	6.76	0.84	0.66
	10	2.48	2.38	-0.34	-0.49
	12	3.52	3.47	0.04	-0.11
	13	3.75	3.60	0.30	0.20
	14	3.81	3.74	0.51	0.38
③ 側面中央部	0	33.12	32.52	9.80	9.50
	2	23.03	22.81	6.86	6.73
	4	21.24	20.99	6.24	6.09
	6	14.72	14.57	4.40	4.32
	8	7.65	7.58	2.30	2.23
	10	4.71	4.61	1.46	1.39
	12	4.45	4.37	1.60	1.47
	13	4.28	4.11	1.63	1.53
	14	3.86	3.76	1.72	1.62
④ 下面隅角部	0	42.57	42.40	14.57	14.45
	2	22.08	21.78	8.10	8.00
	4	14.11	13.86	5.51	5.44
	6	9.30	9.17	3.95	3.87
	8	2.50	2.28	1.95	1.70
	10	0.47	0.42	1.57	1.52
	12	4.65	4.52	2.55	2.40
	13	5.89	5.71	3.36	3.21
	14	5.73	5.52	3.40	3.33
⑤ 下面中央部	0	29.33	29.08	11.11	10.56
	2	15.02	14.42	9.55	9.27
	4	19.55	19.25	7.10	7.05
	6	18.27	17.82	6.79	6.74
	8	6.55	6.17	3.17	3.10
	10	5.98	5.70	3.15	3.05
	12	5.81	5.71	3.26	3.06
	13	5.79	5.67	3.37	3.29
	14	5.47	5.37	3.42	3.35

付表-6 越流部貯水位～流量測定位置

(図-23を参照)

ゲート開度 (m)	貯水位 (WL m)	流量 (m^3/s)
全開	205.48	12.2
	206.15	31.1
	206.83	53.6
	207.50	83.2
	208.12	114.2
	208.50	137.1
	208.95	167.3
	209.36	192.6
	209.78	223.2
	210.13	249.4
	210.63	285.2
	210.98	313.1
	211.30	337.9
	211.65	367.2

0.5	205.66	11.2
	206.05	14.6
	206.60	19.2
	207.30	24.0
	207.93	27.7
	208.74	32.6
	209.60	36.2
	210.55	40.2
	211.42	45.3

1.0	206.39	33.7
	206.84	37.1
	207.43	45.1
	208.08	50.1
	208.88	58.7
	209.50	68.1
	210.19	69.9
	211.16	78.7
	211.44	82.3

1.5	207.48	63.7
	207.90	71.2
	208.40	77.8
	208.89	84.0
	209.34	89.2
	209.88	94.9
	210.29	98.8
	210.90	105.1
	211.48	111.9

ゲート開度 (m)	貯水位 (WL m)	流量 (m^3/s)
2.0	208.36	96.7
	208.86	107.7
	209.56	116.5
	210.23	126.8
	210.80	136.8
	211.42	145.7

2.5	208.65	126.7
	209.13	135.5
	209.68	144.8
	210.30	157.0
	210.86	165.1
	211.20	172.0

3.0	209.26	164.7
	209.36	169.1
	209.91	174.1
	210.45	184.4
	210.88	197.3
	211.09	199.8
	211.62	212.1

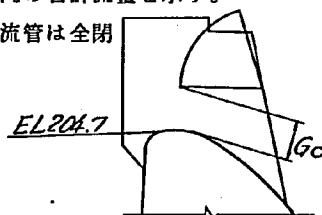
3.5	210.12	207.0
	210.74	218.6
	211.18	229.9
	211.49	236.1

4.0	210.45	243.2
	210.80	250.9
	211.28	261.3
	211.70	270.5

4.5	211.56	299.6
	211.80	304.8
	212.50	319.8

注) 越流部2門の合計流量を示す。

但し、放流管は全開



Gc:ゲート開度

付表-7 越流部水面形測定値表

貯水位	WL211.5m
ゲート開度	全開

距離	アバット沿い		越流中心線		ビアー沿い	
	最高	平均	最高	平均	最高	平均
	WL m	WL m	WL m	WL m	WL m	WL m
-16	211.50		211.50		211.50	
-14	211.50		211.48		211.48	
-12	211.45		211.46		211.46	
-10	211.44		211.43		211.43	
-8	211.41		211.41		211.41	
-6	211.40		211.30		211.40	
-4	211.40	210.94	211.28	211.25	211.40	211.28
-2	211.19	211.17	211.08	211.08	210.95	210.93
0	210.21	210.10	210.55	210.51	209.71	209.74
2	209.50	209.38	209.66	209.54	209.14	209.04
4	208.79	208.71	208.53	208.49	208.70	208.63
6	207.91	207.77	207.24	207.19	207.85	207.82
8	206.20	206.15	205.73	205.66	206.48	206.45
10	204.50	204.23	203.88	203.66	204.84	204.74
12	202.48	201.80	201.55	201.37	202.41	202.22
14	199.33	199.13	198.96	198.80	199.51	199.29
16	196.51	196.37	196.13	195.85	196.00	195.66
18	194.14	193.77	193.59	193.19	192.19	192.15
20	190.33	190.21	190.40	190.05	189.50	189.41
22	188.00	187.71	187.92	187.55	186.78	186.57
24	185.55	185.11	184.87	184.76	184.32	184.07
26	182.68	182.44	182.26	182.18	181.50	181.16
28	180.09	179.70	179.36	179.15	178.51	178.45
30	177.26	177.21	176.75	176.70	176.11	176.05
32	174.51	174.49	174.41	174.35	173.69	173.61
34	172.18	172.08	171.97	171.76	171.26	171.15
36	169.41	169.39	169.25	169.20	168.67	168.55

※距離は越流面先端（クレスト頂から1.95m上流）を
基準とした。（図-25）

付表 8 の 1 最終案減勢工水叩き水面形数値表

測定値は水叩き面 (EL 130m) からの水深

測定位置は水叩き始端からの直線距離

測定位置	右岸導流壁沿		左岸導流壁沿	
	最 高	平 均	最 高	平 均
-15m	8.85m	8.15m	9.25m	7.80m
-10	8.40	7.75	9.00	7.25
-5	9.35	8.05	9.35	7.40
0	9.45	8.45	9.45	7.50
5	10.70	9.20	10.70	9.25
10	11.05	9.95	11.30	10.15
15	12.20	11.00	12.15	10.90
20	13.15	12.25	13.15	11.25
25	13.55	12.20	13.00	11.90
30	13.45	12.60	13.30	11.95
35	13.45	12.45	13.25	12.15
40	13.30	12.35	13.30	11.90
45	13.15	12.25	12.65	11.70
50	13.40	10.00	11.35	10.90
55	13.35	12.40	8.60	7.80
60	12.30	11.60	3.60	2.20
65	9.25	8.35	1.95	1.15
70	3.25	2.35	1.65	1.40
75	1.90	1.65	1.65	1.25
80	1.65	1.25	2.00	1.35

$Q = 350 \text{ m}^3/\text{sec}$

測定位置	右岸導流壁沿		左岸導流壁沿	
	最 高	平 均	最 高	平 均
-15m	8.20	7.00m	8.50m	7.25m
-10	8.20	6.75	7.85	6.25
-5	7.60	6.60	7.45	6.00
0	9.00	7.40	9.10	7.45
5	10.85	9.55	10.55	9.10
10	12.20	10.10	12.15	10.45
15	13.45	11.85	12.40	11.10
20	13.45	12.15	13.65	11.80
25	14.85	13.95	13.70	12.05
30	14.75	13.25	14.45	12.80
35	14.40	13.15	14.75	13.00
40	14.25	13.20	14.40	13.10
45	13.75	12.90	13.35	12.35
50	14.25	12.90	12.25	11.55
55	14.10	13.00	9.50	8.45
60	13.35	12.00	3.55	2.65
65	10.65	9.25	2.05	1.55
70	4.70	3.50	2.65	1.95
75	2.60	2.05	2.25	1.85
80	2.15	1.75	2.25	1.20

$Q = 450 \text{ m}^3/\text{sec}$

付表-8の2 最終案減勢工水叩き水面形数値表

測定値は水叩き面 (EL130m) からの水深

測定位置は水叩き始端からの直線距離

測定位置	右岸導流壁沿		左岸導流壁沿	
	最 高	平 均	最 高	平 均
-15m	7.15m	—	7.85m	—
-10	3.10	—	3.15	—
-5	1.30	—	1.15	—
0	3.45	2.20m	3.95	2.15m
5	5.25	3.10	5.70	2.90
10	8.30	5.20	8.80	6.10
15	10.65	7.65	11.70	8.50
20	11.40	9.20	12.85	9.30
25	14.55	12.25	14.90	10.85
30	15.65	13.05	16.15	12.90
35	18.85	14.10	17.65	12.90
40	19.65	15.25	20.45	14.65
45	19.95	15.65	17.75	15.15
50	20.15	15.95	17.65	14.10
55	20.20	17.65	13.90	11.70
60	19.30	17.40	12.65	7.50
65	18.95	14.90	9.70	5.40
70	17.60	11.40	7.35	4.75
75	12.15	7.25	6.90	4.85
80	8.20	6.25	6.35	4.40

$Q = 750 \text{ m}^3/\text{sec}$

付表一 9 の 1 下流河道水面形測定値表

測点位値はシル終端からの距離

測点位置	右岸護岸沿い		左岸護岸沿い	
	最 高	平 均	最 高	平 均
5 ^m	WL 131.80 ^m	WL 131.20 ^m	WL 132.00 ^m	WL 131.10 ^m
10	131.55	131.10	131.70	131.10
15	131.70	131.15	131.45	131.00
20	131.80	131.50	132.00	131.15
25	132.55	131.80	131.65	131.10
30	132.20	131.65	132.20	131.45
35	132.90	131.80	132.35	131.60
40	133.15	132.00	131.95	131.70
45	132.05	131.20	131.60	131.45
50	131.75	131.15	131.70	131.25
55	131.70	131.00	131.80	131.10
60	131.60	131.00	131.80	131.10
65	131.55	131.25	132.00	131.40
70	131.85	131.60	131.80	131.25
75	131.50	131.30	131.55	130.85
80	131.40	131.00	132.05	131.50
85	131.65	130.70	132.80	132.00
90	131.05	130.65	132.30	131.60
95	131.05	130.70	131.20	130.85
100	131.05	130.60	131.20	130.80

$Q = 350 \text{ m}^3/\text{sec}$

測点位置	右岸護岸沿い		左岸護岸沿い	
	最 高	平 均	最 高	平 均
5 ^m	WL 132.70 ^m	WL 132.10 ^m	WL 132.40 ^m	WL 131.60 ^m
10	132.20	131.60	132.75	131.90
15	132.95	131.55	132.80	132.15
20	133.95	132.05	132.45	132.60
25	134.10	132.00	132.00	131.20
30	133.50	131.70	132.80	131.90
35	133.65	132.10	133.00	131.90
40	133.50	132.00	132.60	131.65
45	132.40	131.40	132.65	131.70
50	132.00	131.50	132.40	131.40
55	131.90	131.30	132.70	131.75
60	132.50	131.25	132.60	131.70
65	132.90	131.55	132.80	131.80
70	132.40	132.00	132.75	131.65
75	132.20	131.70	131.90	131.10
80	132.15	131.25	132.50	132.20
85	131.80	131.05	133.30	132.70
90	131.90	130.08	132.55	131.85
95	131.60	131.00	131.60	131.15
100	131.60	130.95	131.45	131.05

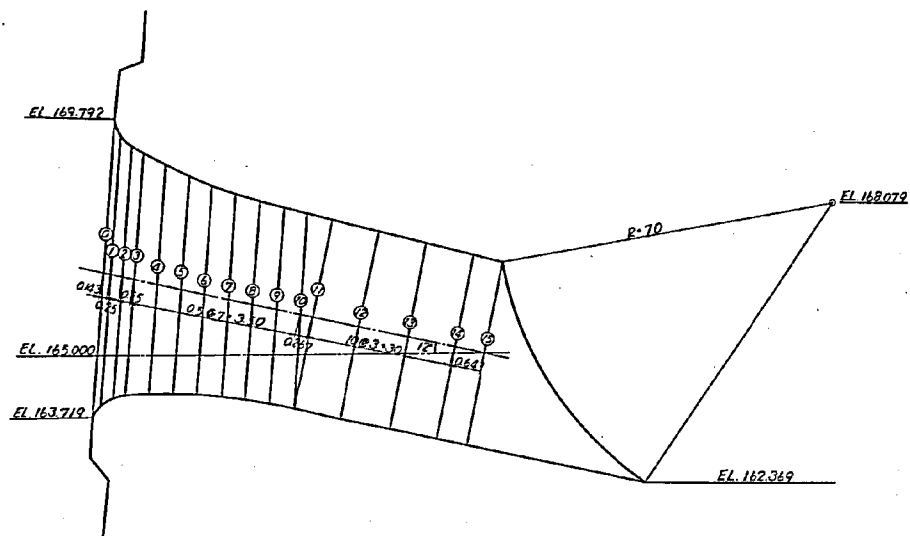
$Q = 450 \text{ m}^3/\text{sec}$

付表-9の2 下流河道 水面形測定値表

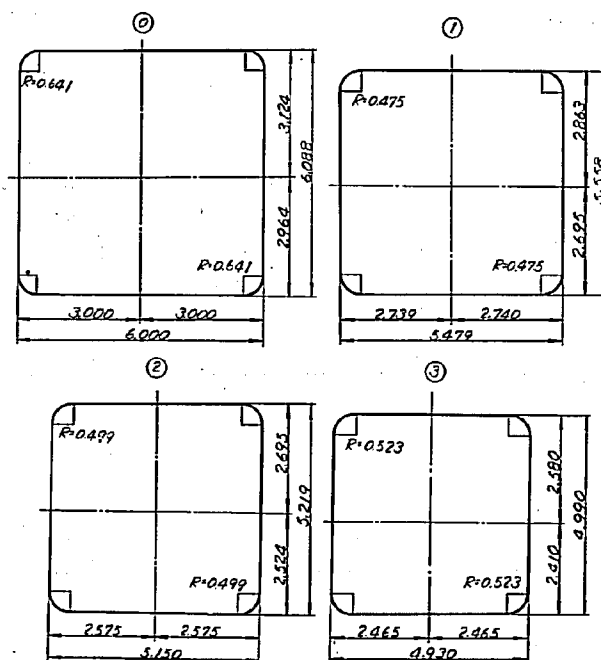
測点位置はシル終端からの距離

測点位置	右岸護岸沿い		左岸護岸沿い	
	最 高	平 均	最 高	平 均
5m	WL 143.45 m	WL 139.00 m	WL 140.40 m	WL 136.20 m
10	139.20	136.65	137.50	134.60
15	136.15	134.60	136.20	134.00
20	136.30	135.40	136.15	134.15
25	136.20	134.50	137.00	134.55
30	136.80	134.10	136.95	135.05
35	136.60	134.30	137.05	134.90
40	135.65	133.75	136.80	134.40
45	134.75	133.00	136.20	135.80
50	135.10	133.00	136.50	134.80
55	135.50	133.10	136.70	134.40
60	134.85	132.55	136.00	133.90
65	135.80	133.15	135.05	133.40
70	136.50	133.10	134.80	132.85
75	136.60	133.60	134.60	132.20
80	136.55	134.50	133.95	132.40
85	135.90	134.15	134.60	133.20
90	135.60	133.25	134.00	133.05
95	135.75	133.30	132.65	131.80
100	135.30	134.00	132.55	131.10

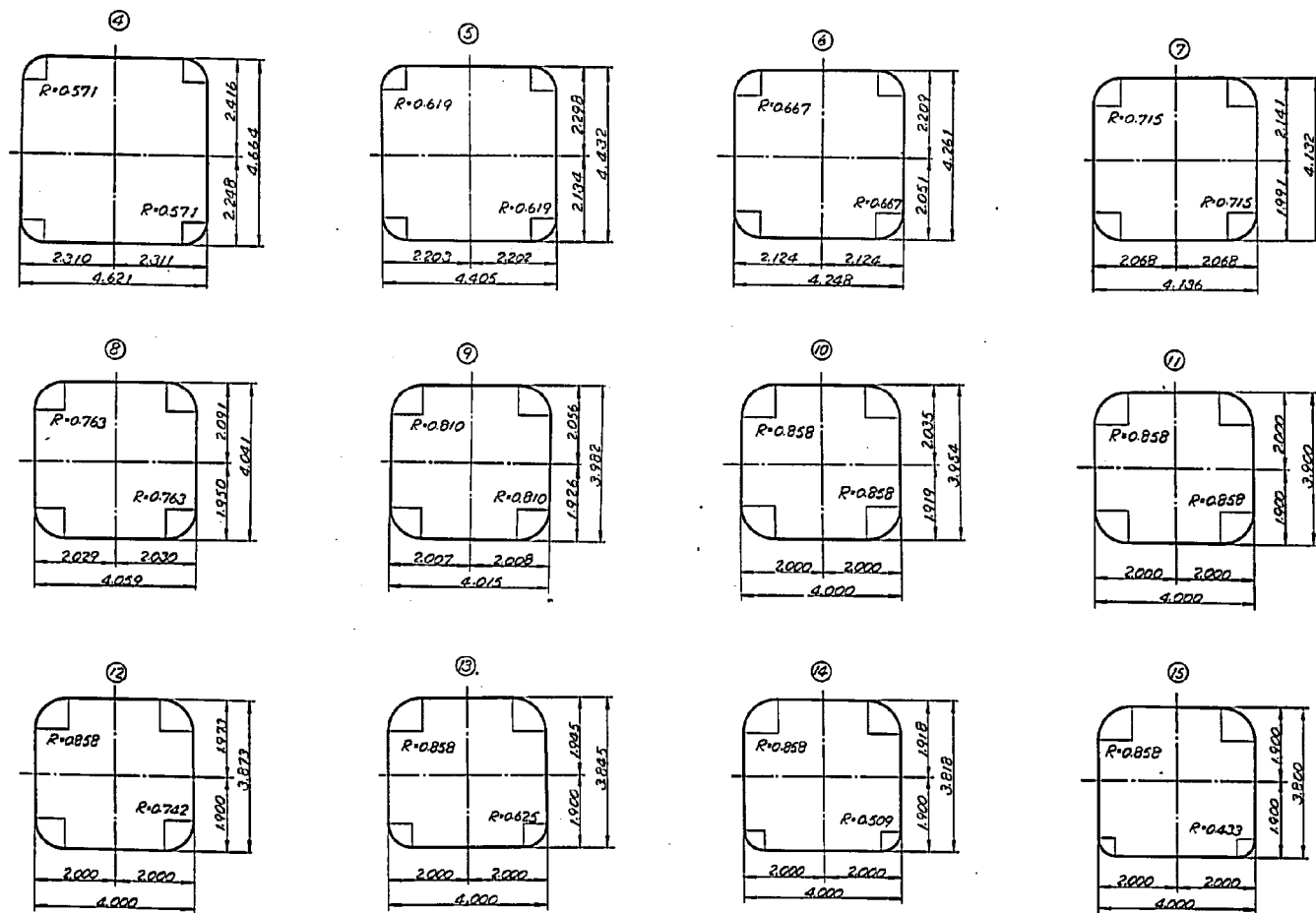
$$Q = 750 \text{ m}^3/\text{s}$$



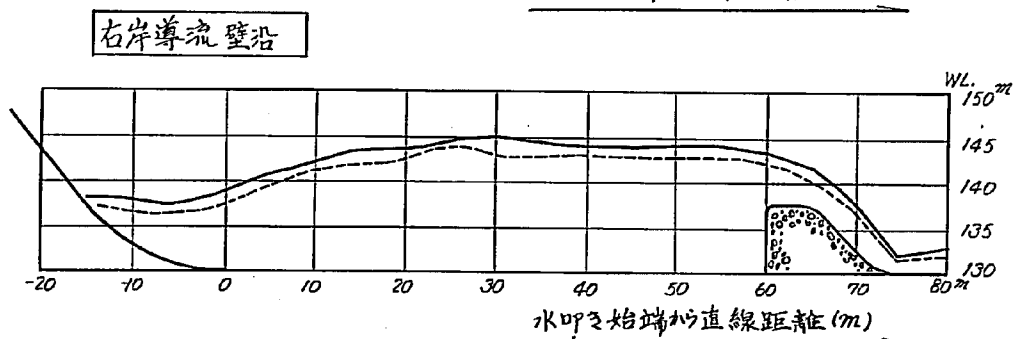
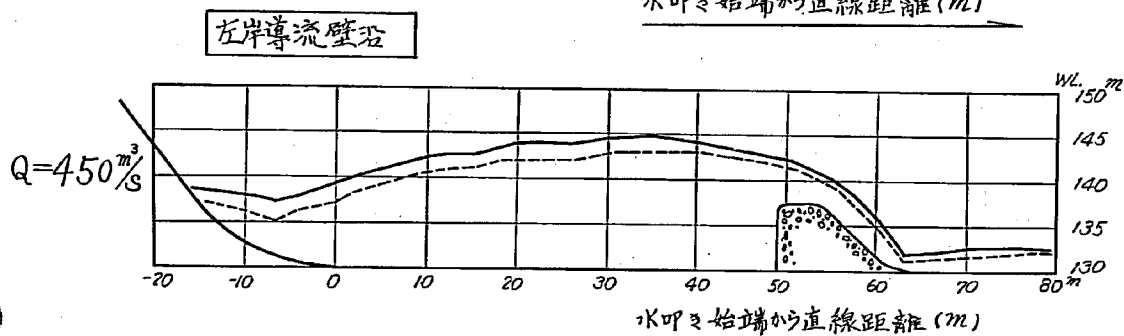
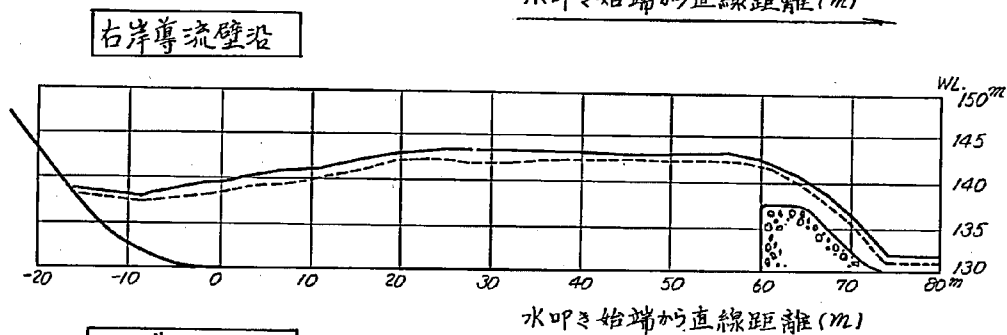
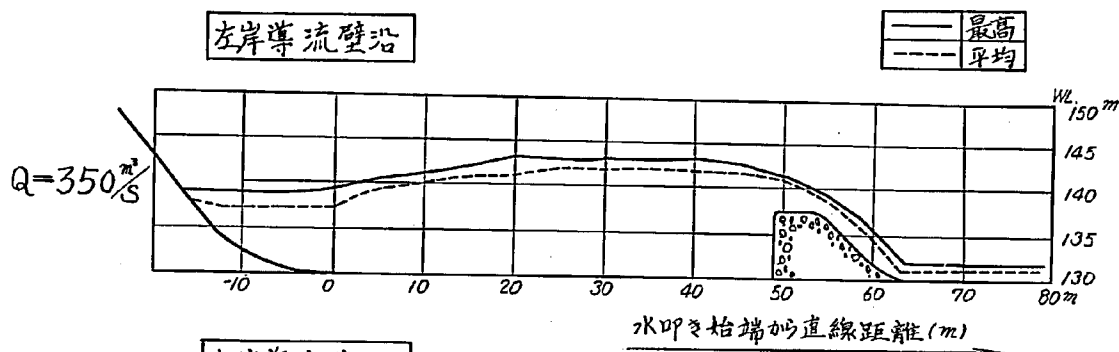
付图一1 放流管断面位置图



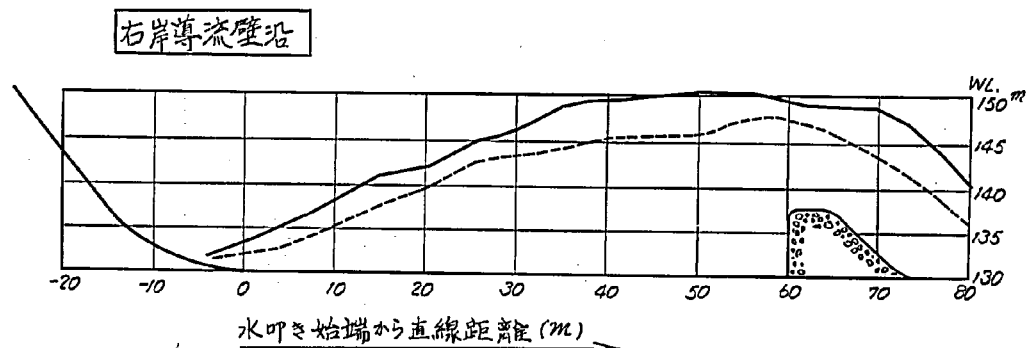
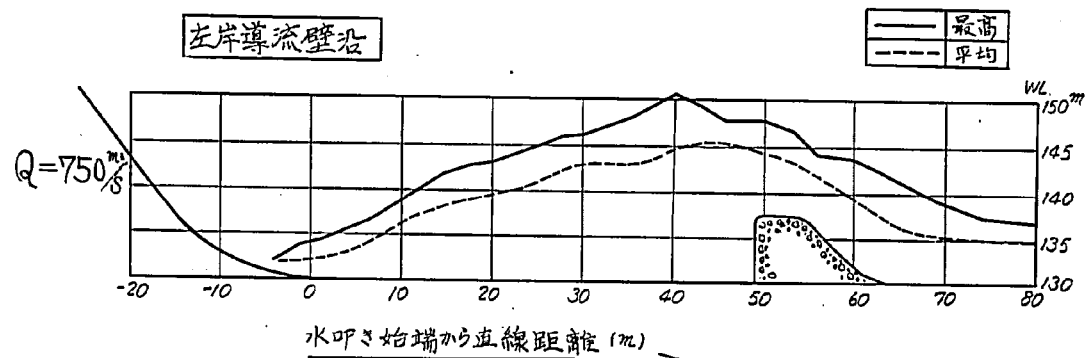
付图一2 放流管横断面图



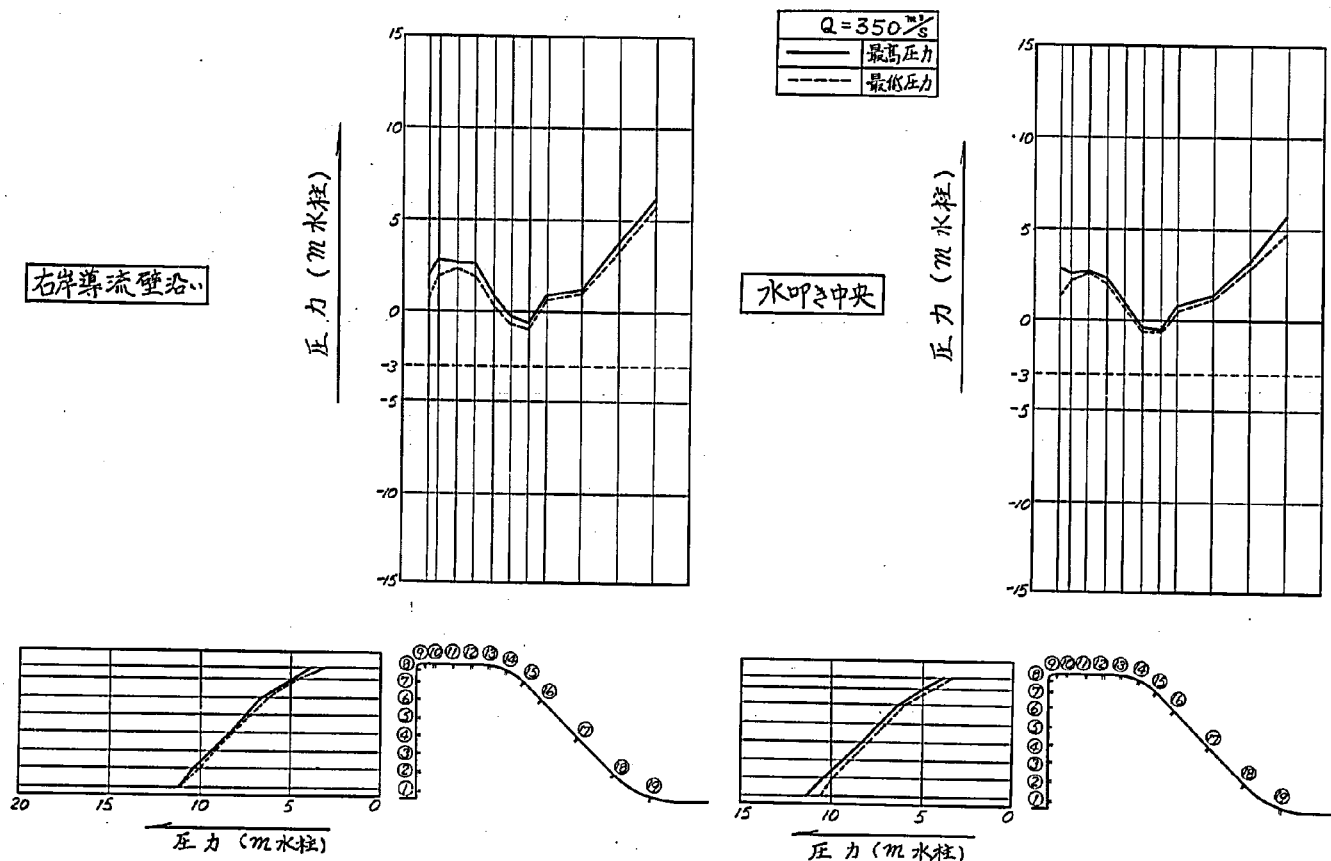
付图-2 放流管横断面图



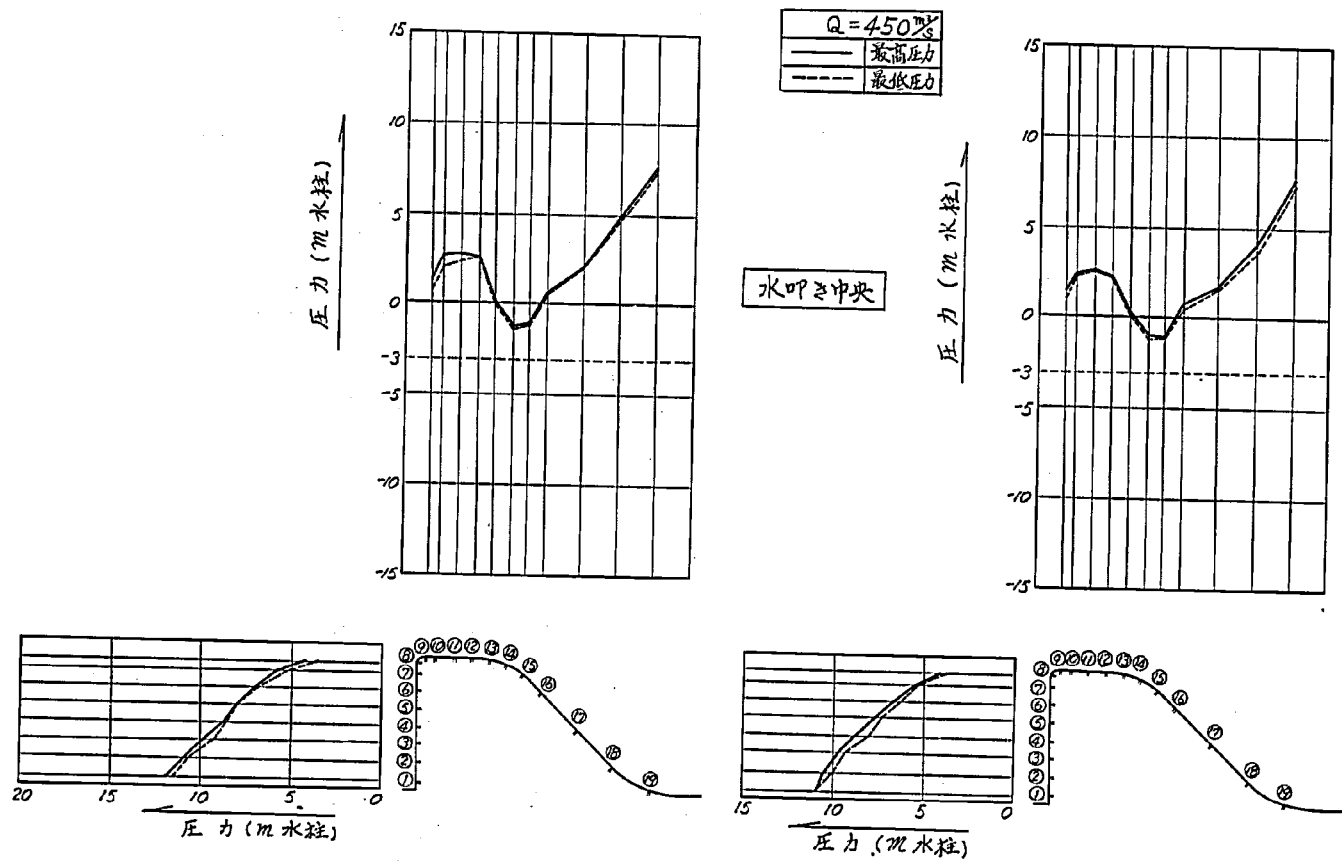
付図-3の1 最終案減勢工水叩き水面形図 (Q=350 $\frac{m^3}{s}$ 450 $\frac{m^3}{s}$)



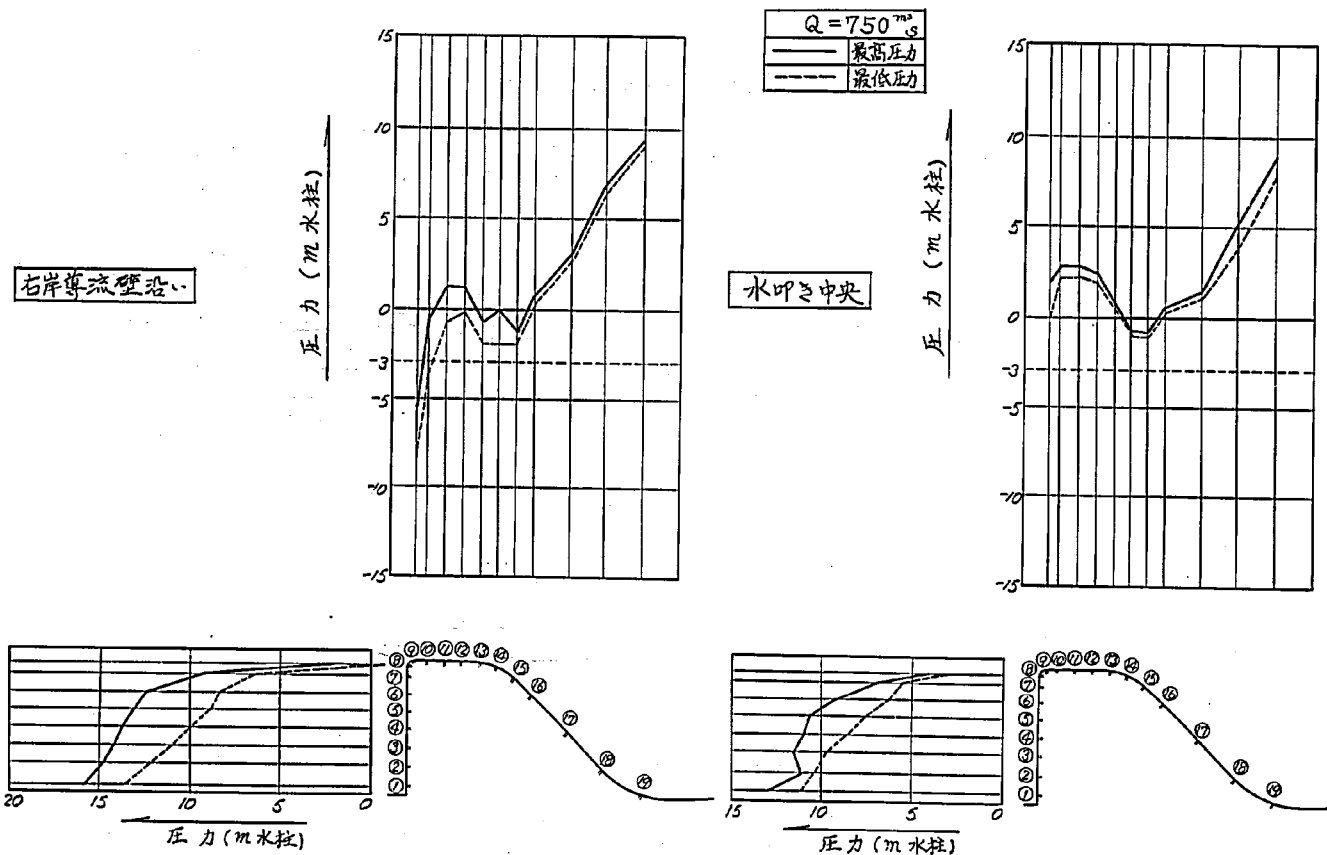
付図-3の2 最終案減勢工水叩き水面形図 ($Q = 750 \text{ m}^3/\text{s}$)



付図-4の1 最終案減勢工シル面圧力分布図 ($Q = 350 \frac{m^3}{s}$)



付図-4の2 最終案減勢工シル面圧力分布図 ($Q = 450 \frac{m^3}{s}$)

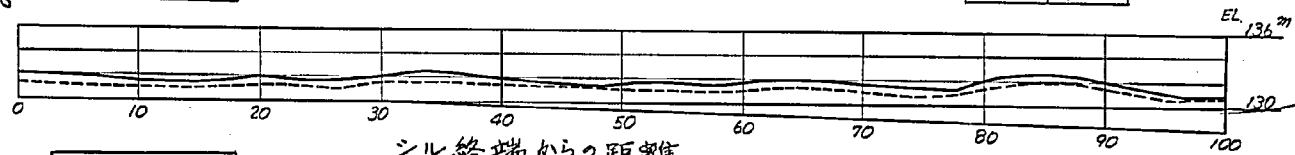


付図-4の3 最終案減勢工シル面圧力分布図 ($Q = 750 \text{ m}^3/\text{s}$)

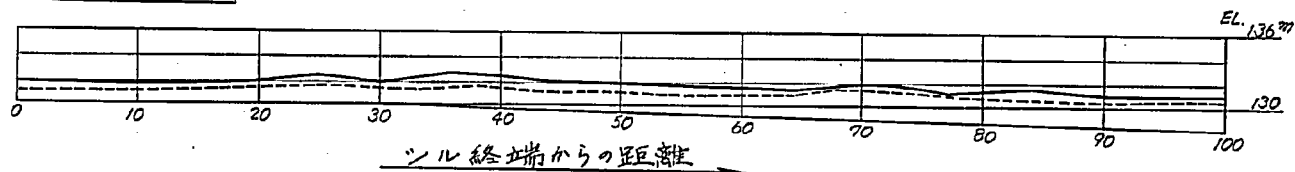
$Q=350 \text{ m}^3/\text{s}$

左岸護岸沿い

—	最高
- - -	平均

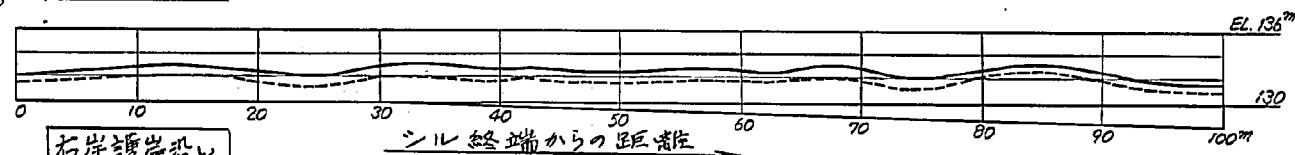


右岸護岸沿い

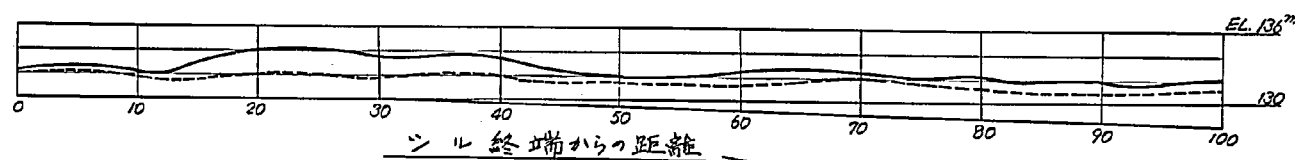


$Q=450 \text{ m}^3/\text{s}$

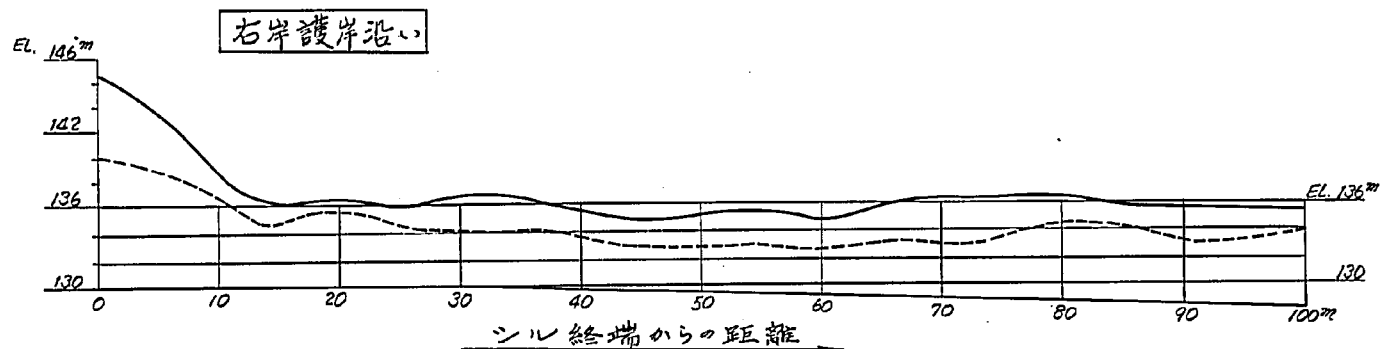
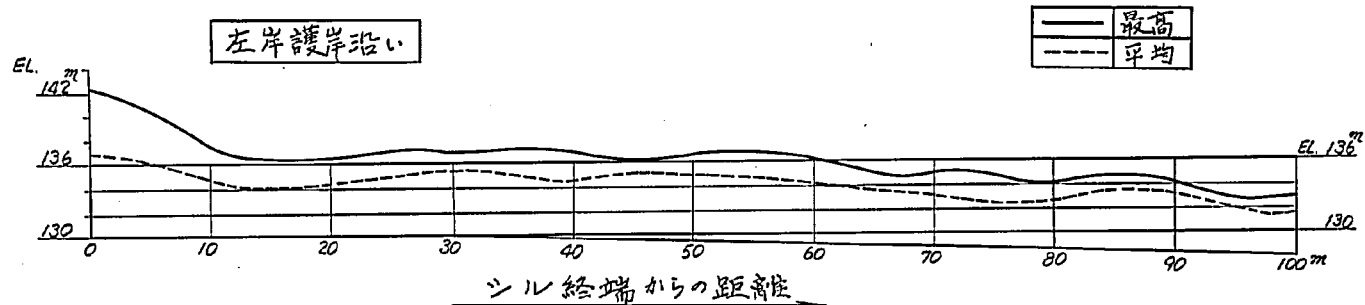
左岸護岸沿い



右岸護岸沿い



付図-5の1 下流河道水面形図 ($Q=350 \text{ m}^3/\text{s}$ $450 \text{ m}^3/\text{s}$)



付図-5の2 下流河道水面形図 ($Q=750\text{m}^3/\text{s}$)