

大雪ダム余水吐水理模型実験

横内 秀明* 吉岡 紘治** 小林 伸行***

目 次

1 まえがき	17
2 大雪ダム諸元	18
3 実験目的および概要	19
4 実験結果	21
(1) 呑口部	21
(2) 余水吐調節部	21
(3) 放水路	26
(4) 水たたき部	29
(5) 非常水抜き放水路	29
(6) 部分放流	33
5 まとめ	37

1 まえがき

ダム管理に資するため、昭和43年度から実施してきた実験結果をまとめたものである。

この報告は、大雪ダムの余水吐、放水路および水たたき部分などの設計の基礎資料とするため、また完成後の実験を行なった各ダムの概要を表-1に示す。

表-1 最近のダム水理模型実験の概要

ダム名	ダム型式	堤高	堤長	計画 洪水量	模型縮尺	実験事項	実験 期間	備 考
桂沢ダム	自動式 コンクリートダム	m 63.6	m 334	m ³ /S 100年	1/85	余水吐、放水 路、減勢工	昭和 33	ゲート3門
金山ダム	中空自動式 コンクリートダム	60	297	100年 1,000	1/30~1/40	同 上	34~36	ローラーゲート3門、水平水たたき(長さ30m)、副ダム3.8m
恵袋別ダム	アースダム	30.5	168	200年 350	1/30	同 上	37~38	放水路はダム右岸で横越流型余水吐、シュートスビルウェイ、静水池内にパッフルピアおよびエンドシルあり
岩尾内ダム	自動式 コンクリートダム	57	435	1,165	1/30~1/40	余水吐、放水 路、減勢工、 放水管	39~42	フリップバケット型減勢工、ローラーゲート2門
南月形ダム	アースダム	28.8	208	200年 222	1/25	余水吐、放水 路、減勢工	42	水たたき面低下型減勢工、放水路位置はダム右岸で横越流型余水吐
幌新ダム	アースダム	27	283	200年 100	1/20	余水吐、放水 路、減勢工	43	スキージャンプ型減勢工、放水路位置はダム右岸で横越流型余水吐
豊平峡ダム	アーチダム	102.5	305	100年 820	1/60	余水吐、放水 管、副ダム等 下流状況	42~44	ゲート5門、自由落下式水たたき、バルブ2基(φ2100mm)
大雪ダム	ロックフィルダム	86.5	423	100年 1,000	1/60	余水吐、放水 路、減勢工	43~47	テンターゲート2門、オリフィス1門、水平水たたき

* 前河川研究室員 現建設省霞ヶ浦工事事務所水質保全課水質保全係長 ** 河川研究室主任研究員 *** 同室員

ダム名	ダム型式	堤高	堤長	計画 洪水量	模型縮尺	実験事項	実験 期間	備 考
駒ヶ岳ダム	自動式 コンクリートダム	43.6	79	100年 538	1/30	余水吐, 放水 路, 減勢工	46	ゲート2門, 彎曲減勢工でシュートブロックあり
上磯ダム	中心コア ロックフィルダム	26.4	408	100年 520	1/40	余水吐, 放水 路, 減勢工	48	ダム右岸に長さ100mの接近水路 および長さ400m, 幅員9.0~15.0 mの横越流型余水吐
十勝ダム	ロックフィルダム	81	380	100年 1,800	1/50	余水吐, 放水 路, 減勢工放 水管	47~	テンターゲート2門, 放水管ゲート 門, 水平たたき

2 大雪ダム諸元

ダムの諸元は次のとおりである（図-1~4 参照）。

河川名 石狩川
位置 北海道上川郡上川町字大学平
地質 粘板岩

ダム

型式 ロックフィル
堤頂標高 812.00 m
ダム高 86.50 m
堤頂長 423.00 m
堤頂幅 12.00 m
ダム体積 3,864,000 m³
勾配 上流側 1:2.65
下流側 1:1.90

貯水池

流域面積 291.56 km²

湛水面積 2.92 km²

総貯水容量 66,000,000 m³

有効貯水容量 54,700,000 m³

堆砂量 11,300,000 m³

満水面標高 807.50 m

制限水面標高 794.80 m

低水位標高 774.20 m

利用水深 33.30 m

また、洪水吐の諸元は次のとおりである。

計画洪水流量 1,200 m³/s（100年確率洪水
量1,000m³/sの1.2倍）

異状洪水流量 1,500 m³/s（計画洪水量の
約20%増し）

計画洪水時放流量 200 m³/s（満水位時オリフ
イスの余裕放流量）

計画最大流量 100 m³/s（制限水位時オリ
フィスの放流量）

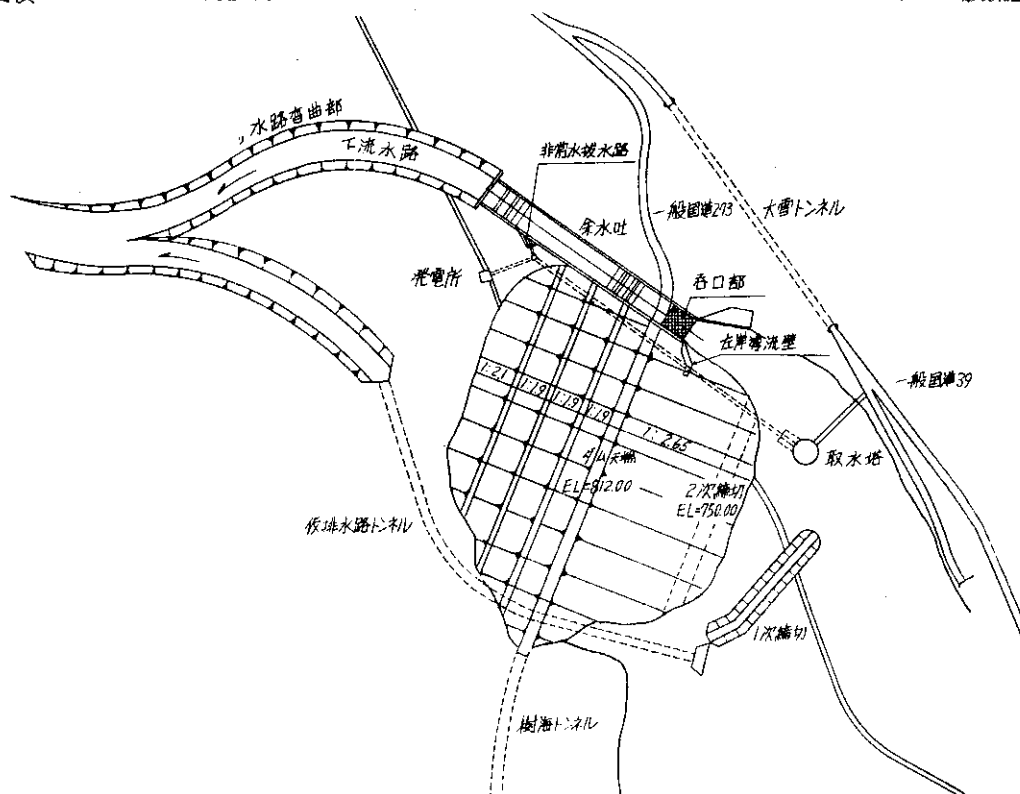
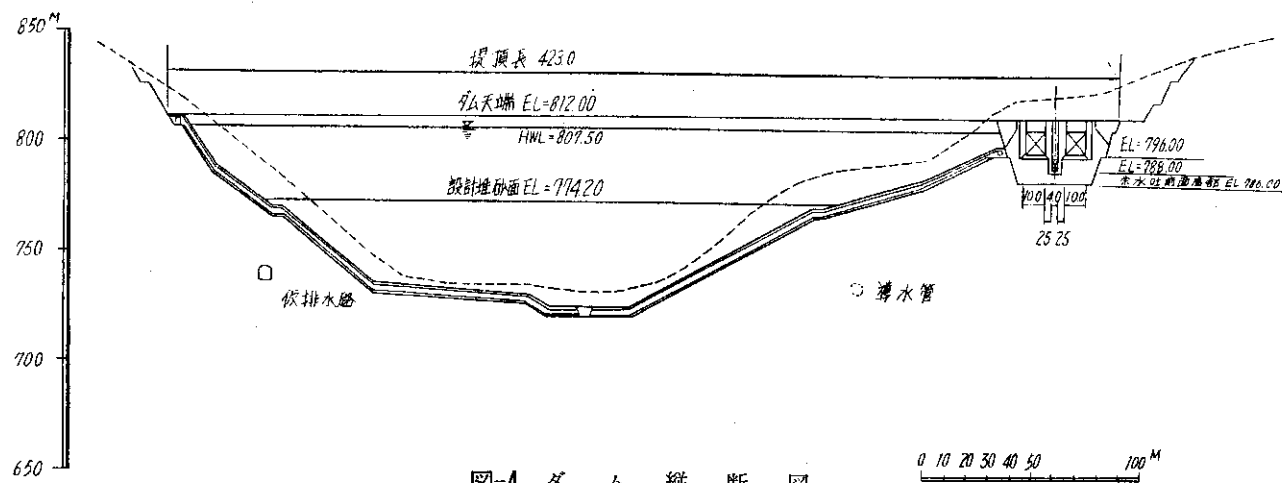
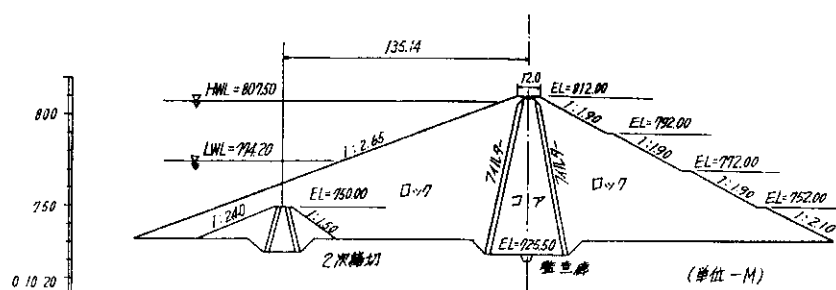
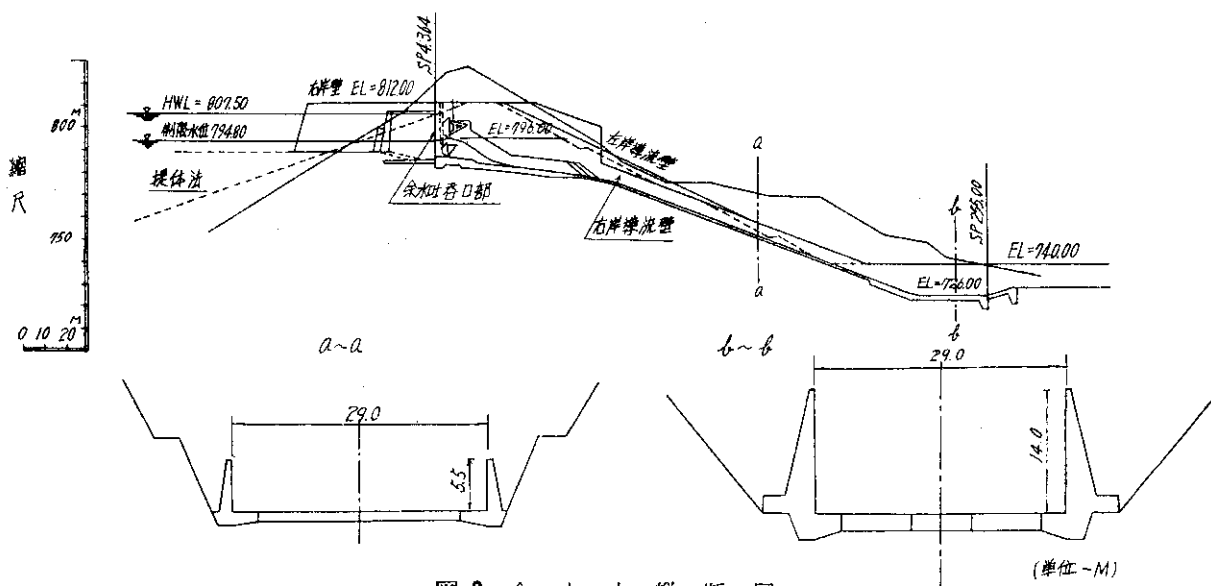


図-1 平面図



左岸側導水路側壁標高	807.50 m
クレスト越流頂標高	796.00 m
クレスト幅	10.00 m (テンターゲート 2門)
オリフィス寸法	4.0×4.0 m (テンターゲート 1門)
放水路側壁高	5.50 m
満水位	807.50 m
制限水位	794.80 m
非常放流量	45.0 m ³ /s (放水管により水

3 実験目的および概要

大雪ダムは、ロックフィルタイプであり余水吐放水路は、図-1～4に示すように、ダムの右岸側に設けられ、コンクリート重力式の高ダムなどの余水吐放水路の縦、横断形状とは大きく異なっており、その余水吐の水理機能は、実験的に検証を要する事項が多い。設計に先がけて下記の事項について実験を行ない、設計に反映させることとした。

(1) ダムからの流出接近水深が、越流水深と同程度であり、かつ流入断面形状が複雑な場合の乱流防止工法

(2) クレストおよびオリフィスの流出係数

(3) 放水路の衝激波防止工法

(4) 非常水抜き放水の影響

(5) 下流部水たき部の跳水，落下圧

(6) 部分放流における貯水位と流量の関連

実験は昭和43年度より実施してきたが、その経過は次のとおりである。

(1) 余水吐呑口部前面の乱流防止対策

イ 左岸導流壁の位置，高さ，長さで流入渦防止について形状を変えて検討

ロ 年次，昭和43，44，45年度

(2) クレストおよびオリフィスの越流係数

イ 接近水深が小さい場合の越流係数の検討

ロ 年次，昭和44，45，46年度

(3) 放水路の衝激波防止対策

イ 衝激波とその防止工法および放水路面の圧力の測定

ロ 年次，昭和43，44，45年度

(4) 水たきの水理機能（跳水，落下圧）

イ 水たきの長さ，異状洪水時の落下圧の検討

ロ 年次，昭和45，46年度

(5) 非常水抜き放水の影響

イ 非常水抜きの水脈追跡，側壁への衝撃力および

水面高の検討

ロ 年次，昭和46年度

(6) クレストおよびオリフィスゲートの開度毎における放流量

イ ダム管理に資するため，ゲート開度ごとの流下量，遷移流域限界の検討

ロ 年次，昭和47年度

模型縮尺は $\frac{1}{50}$ および $\frac{1}{30}$ とし，余水吐呑口部（調節部）と放水路は，木製および塩化ビニール製，ゲートは鋼製，ダム貯水部と下流水路は表面モルタルとした（図-5 参照）。

水位測定はポイントゲージ，圧力測定はピエゾメーター，流速測定はピトー管を各々使い，フルードの相似則（表-2参照）に従い，前述の内容について実験を行なった。

表-2 縮尺率（フルード）

基本線	縮	尺
長さまたは水深	X	1/50
面積	X ²	1/2,500
体積	X ³	1/125,000
流速	X ^{1/2}	1/7.071
流量	X ^{3/2}	1/17,678
粗度係数	X ^{1/6}	1/1.919
圧力	X	1/50

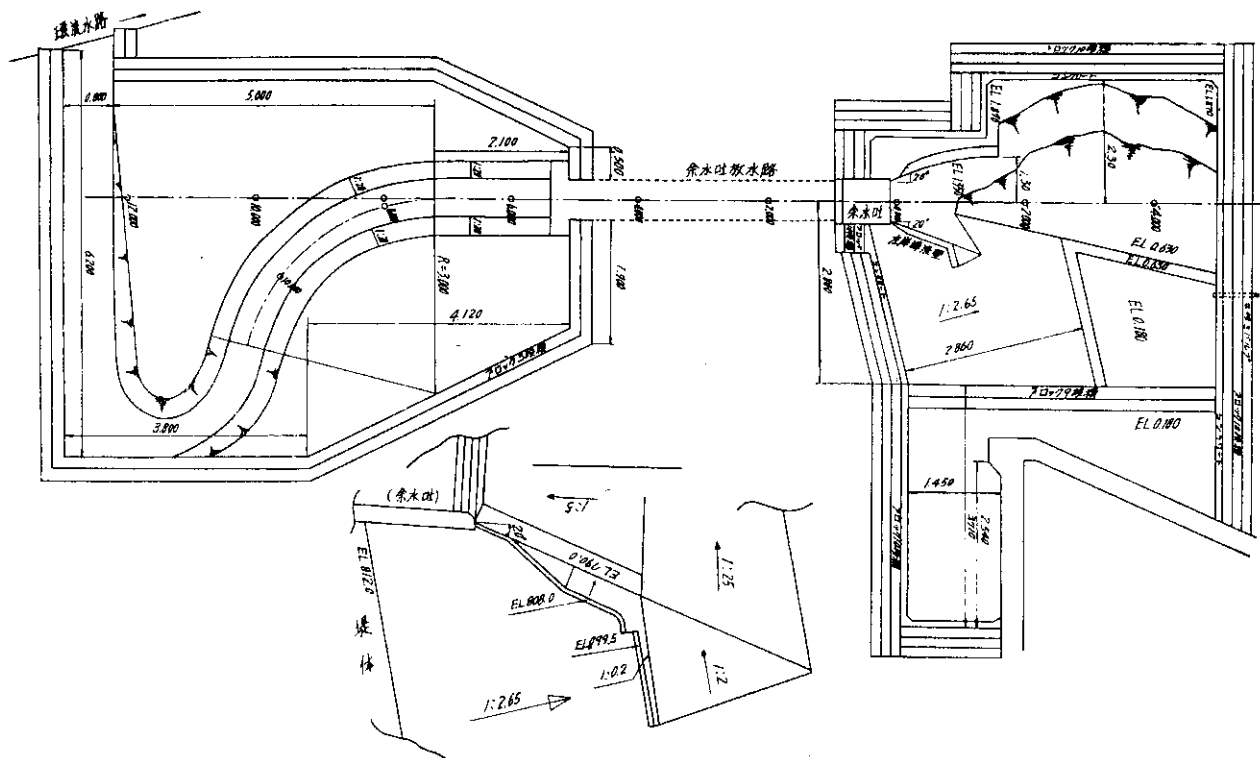


図-5 大雪ダム水理模型平面図

(1) 吞 口 部

そこで、図-6に示すとおり、各年次ごとに呑口部前面の底面形状を変えて実験を行ってきたが、(後述)、満水位、あるいは、それに近い水位では、この底面形状の違いによる影響が水面まで及ぶことはなく、左岸側に発生する流入水脈の乱れは、導流壁を設けることにより、次に示すように改良することができた。

に左岸側に巻込み渦が発生し、流線が非常に乱れている。そこで約20mの導流壁を写真-2のように取付けたところ、乱れはいくぶん少なくなったが、導流壁最上流端に生ずる巻込み渦が、導流壁沿いにクレスト頂部まで影響を及ぼしている。そこで、さらに導流壁を堤体側に沿って18m延長すると渦はほとんど消滅して、下流への影響がなくなることが明らかとなった(写真-3、図-5参照)。

イ クレスト

左岸導流壁

グリスト 頂部

オリフィス部

EL 796.00

EL 791.4

EL 788.0

EL 786.00

EL 812.00

— S43.44年度 } 呑口部前面の
 - - - S45年 } 底面形
 - · - S46年 }

21

表-3 クレストの越流係数（ハロルド標準型）

	流 量 Q(m³/s)	越 流 水 深 h(m)	接 近 流 速 va(m/s)	接 近 流 速 ha(m²/s)	越 流 水 頭 H(m)	$H^{\frac{3}{2}}(m^{\frac{3}{2}})$	越 流 係 数 K	H/Hd
1	100.8	2,120	0.188	0.001	2,121	3,090	1.630	0.164
2	185.3	3,087	0.320	0.005	3,092	5,437	1.703	0.239
3	268.9	3,894	0.435	0.009	3,904	7,715	1.742	0.302
4	341.7	4,498	0.529	0.014	4,512	9,585	1.782	0.350
5	439.5	5,246	0.644	0.021	5,267	12,085	1.817	0.408
6	524.6	5,851	0.738	0.027	5,878	14,253	1.840	0.456
7	629.6	6,541	0.846	0.036	6,578	16,873	1.865	0.510
8	709.3	7,062	0.921	0.043	7,105	18,939	1.872	0.551
9	799.4	7,503	1.010	0.052	7,555	20,766	1.924	0.586
10	884.3	7,998	1.084	0.060	8,058	22,874	1.933	0.625
11	973.8	8,545	1.156	0.068	8,613	25,278	1.926	0.668
12	1,145.8	9,381	1.296	0.085	9,467	29,132	1.966	0.734
13	1,238.9	9,812	1.368	0.095	9,908	31,190	1.985	0.768
14	1,417.0	10,614	1.496	0.114	10,758	35,287	2.007	0.834
15	1,631.6	11,607	1.639	0.137	11,745	40,251	2.026	0.911

$$Q = KBH^{\frac{3}{2}}$$

$$H = h + \frac{Va^2}{2g}$$

ここに K : 流量係数
B : 底 幅
h : 越流水深

H : 越流水頭
Va : 接近流速
Hd : 設計水頭 (12,892m)

表-4 圧力水頭/設計水頭

x/Hd	H/Hd	0.5	1.0	1.33	x/Hd	H/Hd	0.5	1.0	1.33
-0.28		0.46	0.28	-0.15	0.35		0.14	0.02	-0.19
-0.23		0.35	0.05	-0.45	0.50		0.10	0.01	-0.16
-0.18		0.28	0.00	-0.48	0.68		0.10	0.02	-0.10
-0.08		0.25	0.02	-0.33	1.00		0.07	0.04	-0.05
0.00		0.20	0.00	-0.35	1.32		0.05	0.03	0.02
0.16		0.17	0.05	-0.20					

H : 水深 Hd : 設計水深 x : x方向の距離

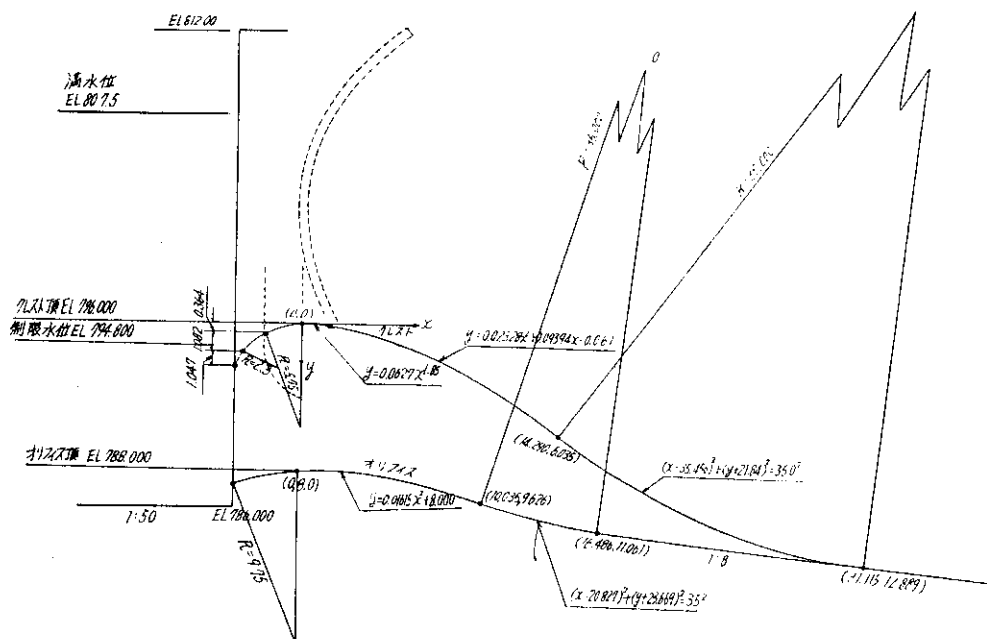


図-9 クレストおよびオリフィス形状

これから、設計水深以下の水深では自由越流のとき、越流部表面には負圧が生じないことがわかるが、先に述べたとおり、ゲート半開時にクレスト表面に負圧が生じないように、ゲート開度0.30 mの時の流出形から当ダムのクレスト形状を最終的に決定した²⁾ (図-9 参照)。

この時の越流係数は表-5、図-10 のようになり、次式で近似できる。

$$K = 1.6 \cdot \frac{1 + 0.762H/H_d}{1 + 0.381H/H_d} \quad (4)$$

図-10 より 45, 46 年度実験値と 47 年度実験値を比較

すると、越流水深が小さくなると多少のバラツキを示している。これはピアーによる縮流および粘性力の影響が予想されたので、47 年度の実験では、模型縮尺を $\frac{1}{30}$ から実験場のスペース、ポンプ性能などを考慮し、 $\frac{1}{40}$ に変更した結果である。

(4)式はナップ形状がハロルドの標準型より厚くなったため、流出係数はハロルド標準型の係数より、やや小さな値を示している。竹内²⁾らは、クレストナップの標準型と他の形状をもつクレストについて、越流係数の比較実験を行ない、次式を提案している。

表-5 クレスト越流部越流係数

流 量 Q (M ³ /S)	越 流 水 深 h (M)	接近流速水頭 h _a (M)	全 水 頭 H (M)	越 流 係 数 K	備 考
223.7	3.414	0.015	3.429	1.761	S 45年実験値
311.3	4.186	0.025	4.211	1.801	
995.0	8.518	0.140	8.658	1.953	
508.7	5.681	0.053	5.734	1.852	
811.0	7.504	0.106	7.610	1.932	
1,200.0	9.642	0.178	9.820	1.950	
1,500.2	10.773	0.246	11.019	2.051	
1,580.9	11.276	0.256	11.535	2.018	
500.0	5.710		5.710	1.832	S 46年実験値
1,000.0	8.765		8.765	1.927	
1,500.0	11.245		11.245	1.989	
1,529.1	11.500		11.500	1.960	
300.0	3.996		3.996	1.878	S 47年実験値
400.0	4.830		4.830	1.884	
600.0	6.327		6.327	1.885	
800.0	7.470		7.470	1.959	
1,000.0	8.628		8.628	1.973	
1,200.0	9.705		9.705	1.985	

ここで K_d: 設計越流係数

$\xi: x/H_d = 0.5$ におけるダム表面位置 (図-14 参照)

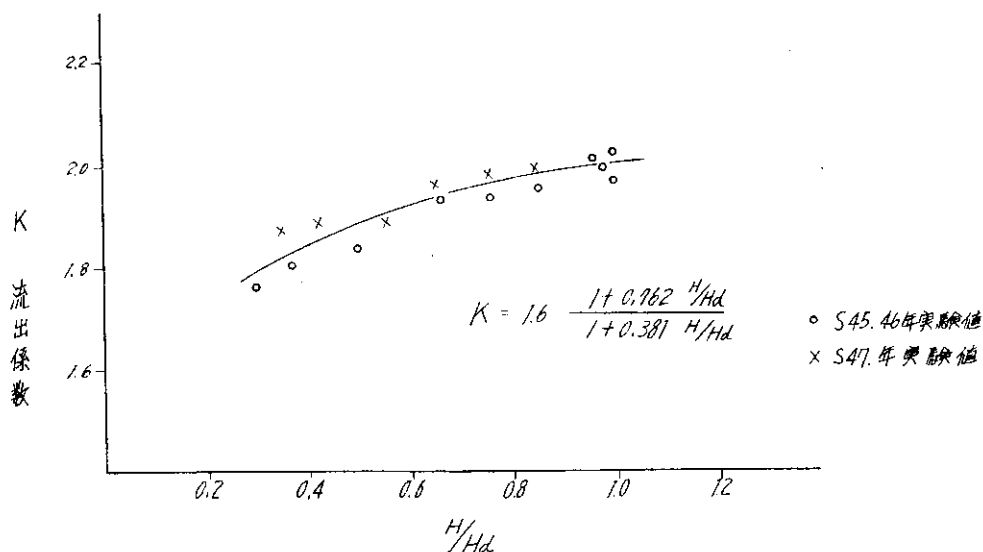


図-10 $K \sim H/H_d$

$$Kd=1.971+0.498\xi+6.63\xi^2$$

(5)式を使い計算を行なうと表-6のようになり、図-9に示す越流形状の場合、ハロルドの標準型に比べて3.0% (実測値では3.3%) 小さくなっている。

表-6 クレスト形状の違いによる流出係数の変化

クレスト形状	ξ	Kd	実測値Kd
ハロルド標準型	0.1388	2.168	2.053
改良型(図-6参照)	0.1086	2.103	1.986

なお、計算による設計越流係数 Kd に対して、実測値のほうが小さいのは、前者の越流係数は縮流の影響がない場合の値であるためである。

また、クレスト越流量と貯水位の関係を図-12に示す。

ロ オリフィス

呑口部前面の底面形状は、図-6に示すとおりであるが昭和43、44年度は底面を E.L 786.00 m で水平とし、呑口部の流況を検討した。

実験の結果、左岸側に流入水脈の乱れが発生したため、この改良が45年以後の課題となったが、一方クレスト部とオリフィス部からの流出流量が計画流量を上まわったが、オリフィス部からの流出量が計画流量(100 m³/s)を下まわったため、さらに46年度には図-6の一点鎖線のような形状として検討した結果、オリフィス部からの流出流量も計画流量を上まわり、良好な結果が得られた。

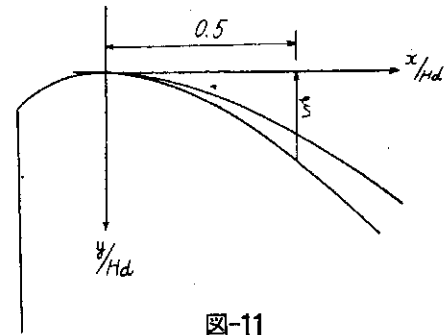


図-11

この時の実験結果を次に述べる。

オリフィス流出部の形状は、頂部前面をハロルドの標準型に一致させ ($Hd=19.5$ m) 後面形状はオリフィス全開時のオリフィスジェットの流れナップに一致させた(図-9参照)。

オリフィス流出量は次式により求めることができる。

$$Q=K \cdot B(H_1^{3/2}-H_2^{3/2})$$

ここで、

Q : 流出量 (m³/s)

K : 流出係数

B : 流出幅 (m)

H_1 : ゲート全閉時の底部位置を基準とした水頭(m)

H_2 : ゲート底面を基準とした水頭 (m)

実験結果から(6)式で表わされる流出係数を求めると、表-7のとおりである。

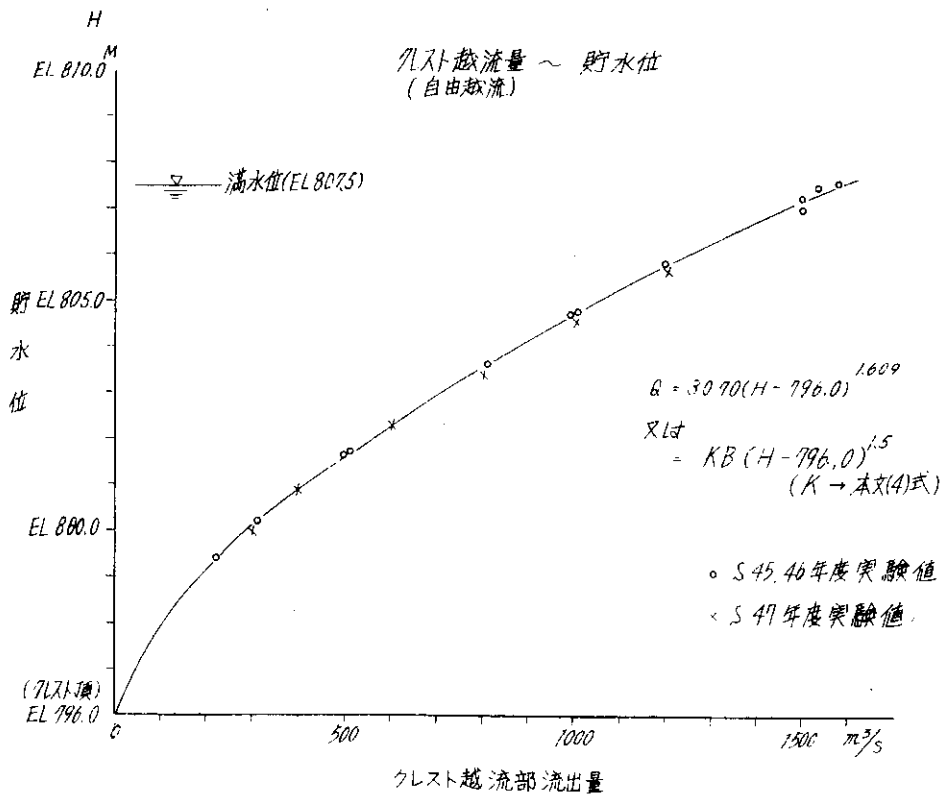


図-12 クレスト越流部流出量

表-7 オリフィス流出係数

区 分	水 位	H_1 (m)	H_2 (m)	Qm^3/s	K
制限水位	794.8	6.80	2.80	109.3	2.094
満 水 位	807.5	19.50	15.50	244.5	2.436

なお、当ダムのようにオリフィス前面が浅い場合、その前面形状がオリフィスに与える影響が大きいため、前面形状の決定には注意を要する。ダム構造上やむを得ず前面水深を浅くする場合は、その底面は平で二次流なるべく発生しないような形状が望ましい。

(3) 放 水 路

放水路縦断勾配は図-13に示すとおりである。

実験当初、勾配を上流側 $\frac{1}{20}$ 、下流側 $\frac{1}{2.8}$ と計画していたが、その後ダム堤体の形状変更に伴い、図のように

上流 $\frac{1}{8}$ 、下流 $\frac{1}{2.7}$ と変えた。

余水吐調節部の左右クレスト2門から流出した水脈が放水路上で衝突して衝撃波が生じ、これが下流に伝わり放水路側壁と衝突して放水路外に越水する恐れがある。そこで余水吐調節部のピア末端部を、縦断勾配が $\frac{1}{8}$ から $\frac{1}{2.7}$ に移行するまで延長することにより、左右クレストからの流出水の合流点を $\frac{1}{2.7}$ の急勾配放水路上に移動させ、これによる衝突跳上がり高を小さくし、かつ衝撃波が放水路側壁と衝突する地点を側壁余裕高が十分ある下流の水たたき内に移動させ、放水路外への越水を防ぐことができた。調節部のピア末端部を縦断勾配移行地点まで延長した場合(A)とそうでない場合(B)の衝突跳上がり高と衝撃波図を図-14、15に示す。同図によると、ピア末端部を水路縦断勾配移行点 ($\frac{1}{8} \sim \frac{1}{2.7}$) まで延長することにより、衝撃波と側壁との衝突地点を水たたき内

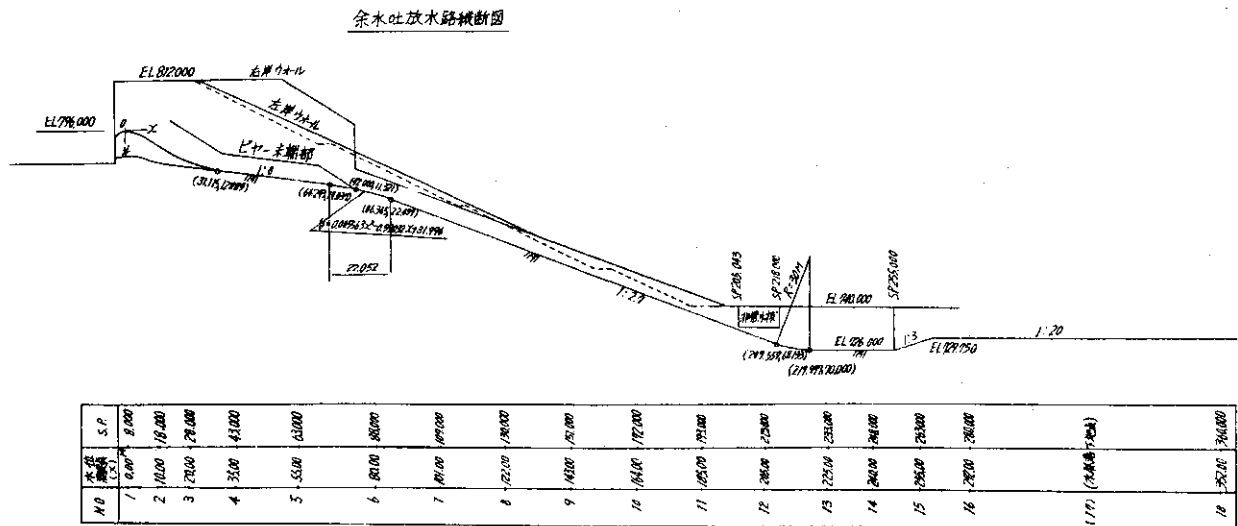


図-13 余水吐放水路縦断図

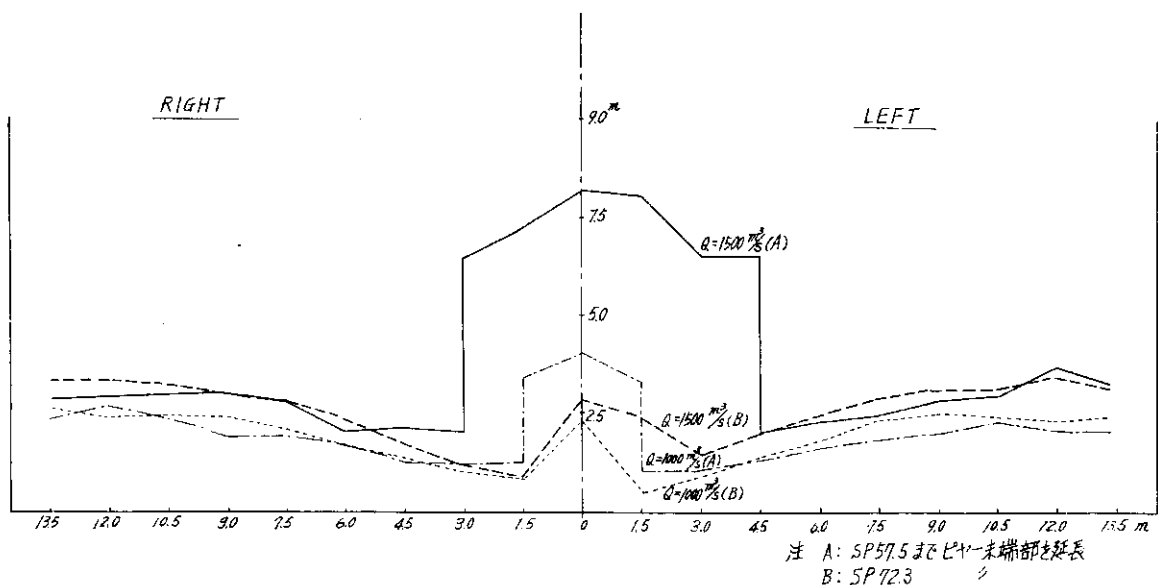


図-14 左右クレスト流出水の衝突はね上がり図 (クレストのみ全開)

表-8 放水路床面圧力測定表

(単位m)

放水路 位置	測点番号 (側線)	放水流量 (m³/s)					
		Ⅱ-1	Ⅱ-2	Ⅱ-3	Ⅱ-4	Ⅱ-5	Ⅱ-6
中央	1	807.50	807.50	807.50	807.50	794.80	807.50
	2	0.82	2.67	3.07	3.42	0.12	0.87
	3	0.62	2.04	2.12	2.37	0.57	0.64
	4	0.90	1.90	2.00	2.25	0.60	0.65
	5	1.99	2.09	2.29	2.67	1.24	0.64
	6	0.62	1.52	1.57	1.82	0.52	0.62
	7	0.67	2.00	2.11	2.47	0.52	0.57
	8	0.62	2.62	2.97	3.32	0.47	0.62
	9	0.61	3.96	2.91	3.21	0.46	0.61
	10	0.72	—	2.52	2.82	0.67	0.37
左側	1	0.55	1.90	2.10	2.35	0.30	0.35
	2	0.75	1.75	2.00	2.35	0.65	0.80
	3	0.61	—	1.61	1.65	0.56	0.61
	4	0.97	1.27	0.87	1.12	0.45	0.72
	5	1.83	1.43	1.68	2.13	0.53	0.68
	6	0.50	0.80	0.95	1.45	0.45	0.50
	7	0.56	1.26	1.31	1.71	0.46	0.56
	8	0.62	2.12	2.37	2.77	0.52	0.67
	9	0.38	1.63	1.83	2.33	0.43	0.33
	10	0.34	1.27	1.82	2.27	0.47	0.22
1/4	1	0.40	1.75	1.70	2.25	0.45	0.25

---11段降

表-9 放水路縦断水位 (オリフィス,
クレスト全開...1769.8m³/s) (単位M)

測定位置 No.	(右) 10M	(右) 5M	中心 (L)	(左) 5M	(左) 10M
1	9.39		3.85		9.14
2	6.78		3.57		6.38
3	5.62		3.30		5.24
4	4.16		3.41		4.44
5	3.25		3.21		3.70
6	3.74	2.25	2.36	2.69	3.57
7	3.33	3.14	2.93	2.33	3.39
8	2.52	2.56	3.00	2.39	2.38
9	2.04	2.66	3.21	2.51	1.87
10	1.81	2.51	2.57	2.14	2.09
11	1.83	2.83	2.73	2.61	2.70
12	1.88	2.24	2.21	2.36	2.27
13	1.75	1.84	1.99	2.07	2.01
14	1.97	1.79	2.07	1.80	1.97
15	1.96	1.84	2.16	2.10	2.33
16	7.92	5.25	5.47	7.67	5.09
17	1.54	3.61	5.03	3.41	2.89
18			4.57		

(* 水脈落下地点 SP 347.75m)

表-10 放水路縦断水位 (クレスト流出量 1500m³/s)
(単位M)

測定位置 No.	(右) 10M	(右) 5M	中心 (L)	(左) 5M	(左) 10M
1	9.28				8.90
2	6.57				6.31
3	5.28				5.13
4	3.97				4.30
5	3.84				3.48
6	3.70	1.94	0.05	2.57	3.90
7	3.21	1.65	3.60	2.11	2.89
8	2.06	1.85	3.51	1.60	1.90
9	1.61	2.46	3.21	1.25	1.65
10	1.40	2.52	2.47	2.11	1.45
11	1.37	2.60	2.43	2.37	1.32
12	1.85	2.03	2.02	2.25	2.12
13	1.38	1.60	1.88	1.83	1.72
14	1.68	1.69	2.45	1.76	1.87
15	2.00	2.03	2.49	1.76	1.67
16	5.51	6.10	4.97	7.50	5.81
17	3.28	3.90	4.43	3.57	3.31
18			2.66		

表-11 放水路縦断水位 (オリフィス
流出量 200 m³/s) (単位M)

測定位置 No.	(右) 10M	(右) 5M	中心 (L)	(左) 5M	(左) 10M
1			3.56		
2			3.34		
3			2.66		
4			3.41		
5			3.42		
6		0.21	1.95	0.32	
7	0.19	0.54	0.74	0.57	0.22
8	0.28	0.39	0.45	0.38	0.21
9	0.28	0.31	0.34	0.35	0.21
10	0.27	0.27	0.27	0.31	0.28
11	0.70	0.29	0.25	0.30	0.60
12	0.56	0.26	0.28	0.26	0.52
13	4.64	4.49	4.64	4.46	4.35
14	5.27	4.36	4.81	5.40	5.42
15	4.93	5.14	5.05	5.18	5.29
16	1.45	1.19	1.05	1.12	1.26
17					
18			2.04		

に収めることができ、跳上がり高さを約 $\frac{1}{2}$ に押えることができた。

また放水路勾配が $\frac{1}{20}$ から $\frac{1}{2.8}$ に移行する放水路彎曲部表面の圧力測定結果(43年度)を図-16、表-8に示す。これによれば、流量を $100 \text{ m}^3/\text{s}$ から $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ まで変え

たとき、負圧はいずれの地点にも生じていない。当ダムは、曲率半径がさらに大きいため、圧力は表-8より大きくなり安全側の値をとるものと考えられる。

なお、満水位でクレスト、オリフィス全開のときの縦断水位図を図-17に示す。このときの余裕高は 1.7 m で

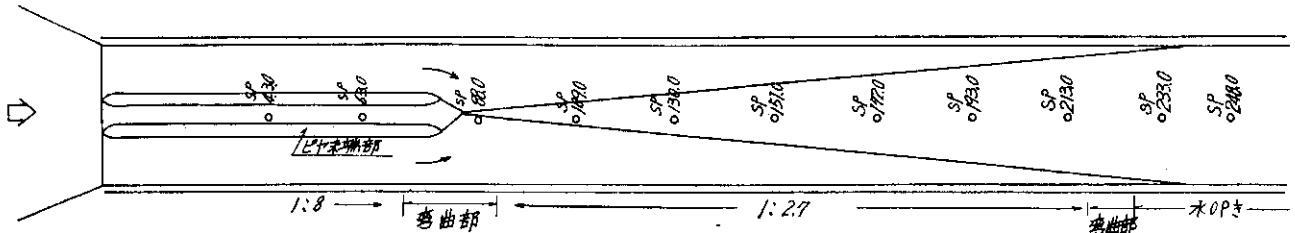
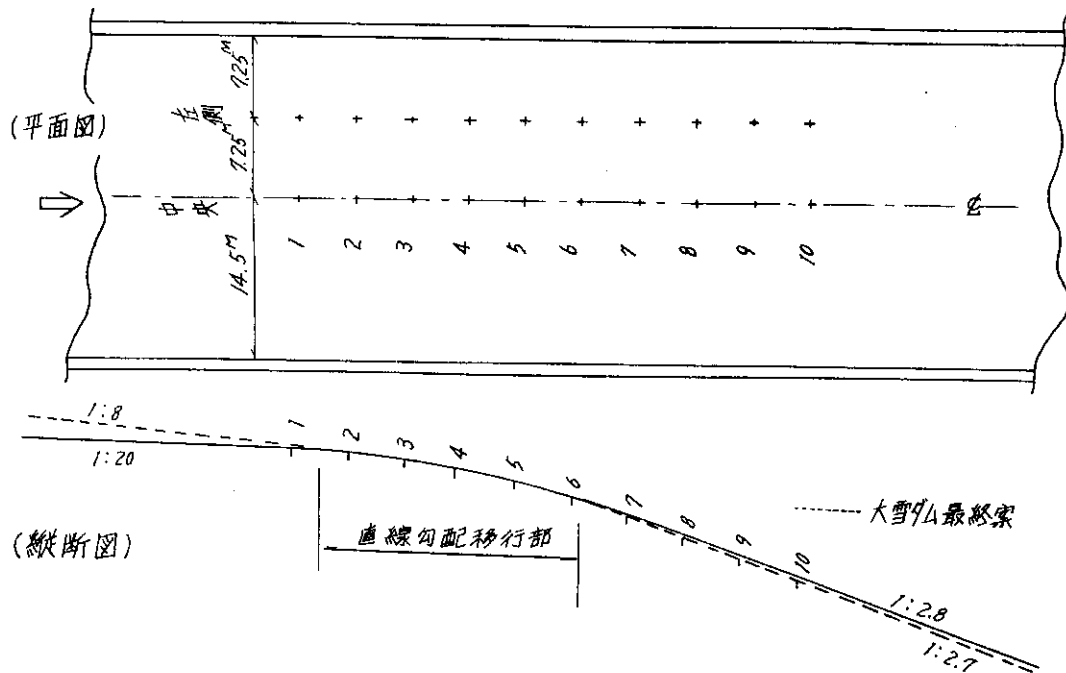


図-15 衝撃波図 (満水位でクレスト全開オリフィス閉— $1529 \text{ m}^3/\text{s}$)



測定間隔	m
0	5.17
10.42	15.69
21.04	26.57
31.81	36.79
41.84	46.81

図-16 水路勾配移行部の圧力測定位置

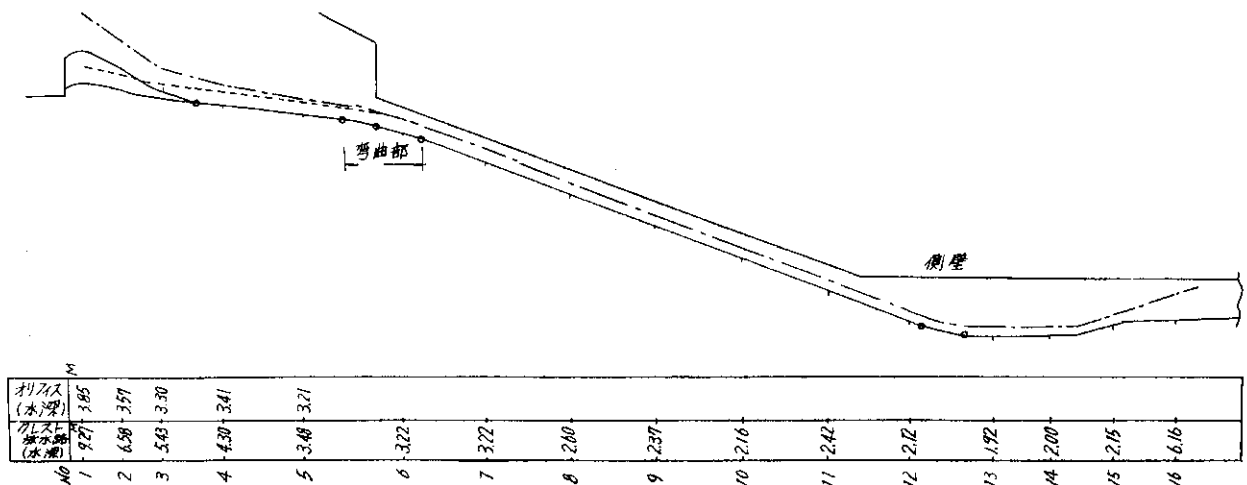


図-17 縦断水位図 (オリフィス, クレスト全開— $1766.8 \text{ m}^3/\text{s}$)

ある。また、表-9~11に各流出量の縦断水位を示す。

(4) 水たたき部

減勢工は水平水たたきとし、水たたきの設計流量は $200 \text{ m}^3/\text{s}$ とし、下流側水位は不等流計算により SP 280 m 地点で E.L 731.80 m, $h_0=0.3 \text{ m}$ として次式により計算した (図-18 参照)。

$$\frac{h_2}{h_0} = \frac{1}{2}(\sqrt{1+8Fr^2}-1) \quad (7)$$

$$lw=4.5\sim 5.0h_2 \quad (8)$$

ここで

$$Fr=v_0/\sqrt{gh_0} \quad (9)$$

これから水たたき長 (lw) は 2.7 m となる。実験の結果、設計流量 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ で完全跳水し、さらに流量を増していくと $240 \text{ m}^3/\text{s}$ 付近まで跳水することが判明した。

なお、流量 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 放流時の水たたき内の流速分布図

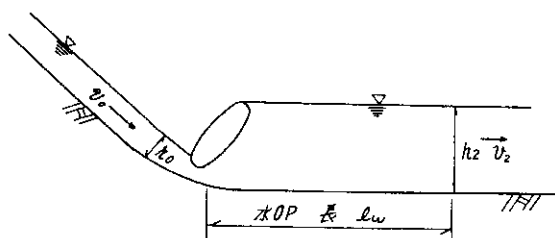


図-18

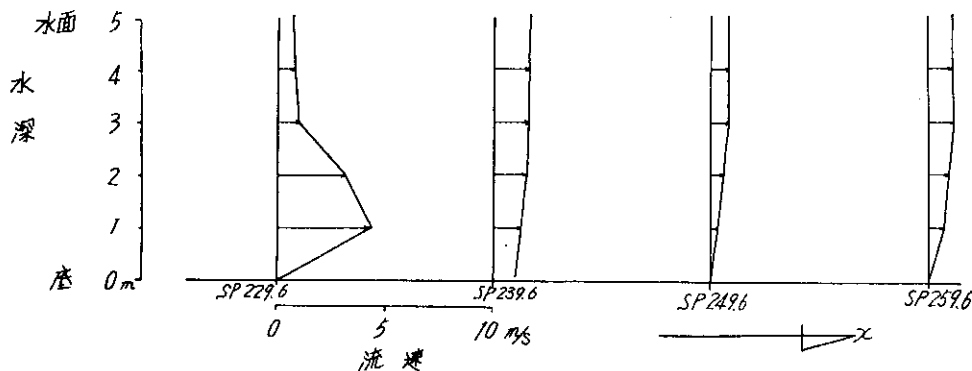


図-19 流速分布図 ($Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$ オリフィス閉・クレスト開, 非常放流なし)

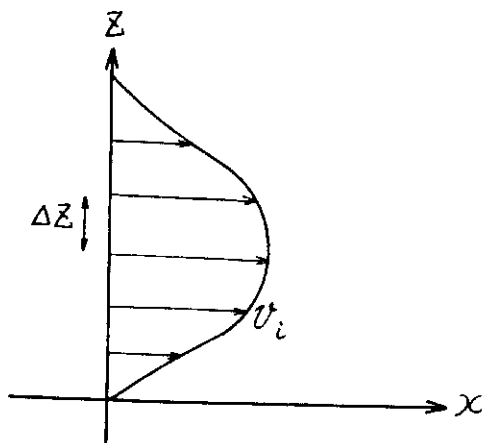


図-20

を 図-19 に示したが、この図から明らかなとおり水たたき底面の流速は水たたき内で減勢されその機能を十分発揮している。

(5) 非常水抜き放水路

堤体に異状が生じ、貯水位を E.L 788.00 m 以下に一時的に下げる必要がある場合、非常水抜きを利用すれば E.L 765.00 m まで下げることができる。ここでは、非常水抜き放水路から、最大放流量 $45 \text{ m}^3/\text{s}$ を水たたき内に放流した時の流況を検討した。

放水路より水たたき内へ落下した後の流速分布をピート管により測定した。なお、放水路より落下後は重力が支配的と考えられるので、前節同様フルードの相似則に従って実験を行なった。

図-20 に示す流速分布をもつ流れの運動量は次式で表わすことができる

$$Mx = \int \rho v^2 dz = \sum_{i=1}^{n-1} \rho \left(\frac{v_i + v_{i+1}}{2} \right)^2 \cdot \Delta z \quad (10)$$

ここで、

Mx : 運動量 (t/m)

v_i : 各水深での流速 (m/s)

ρ : 密度

z : 水深 (m)

まず、余水吐放水路からは放流せず、非常水抜き放水路から、 $45 \text{ m}^3/\text{s}$ を放流し (この時、水たたき内の水深が $6\sim 7 \text{ m}$ となるように水たたき下流で水位調節を行なった)、図-21 の水路平面図に示す各点で流速を測定した。

図-22 に x 軸上の水深方向の流速分布を示し、これらの各地点で最大流速を示す水深での水平方向の流速分布を図-23 に示す。

(10) 式より、各地点での運動量を計算し、次式により全運動量を計算した (図-24 参照)。

$$\overline{Mx} = \sum_{i=1}^n \frac{Mx_i + Mx_{i+1}}{2} \Delta y \quad (11)$$

ここで $\overline{Mx}$: 全運動量 (t)

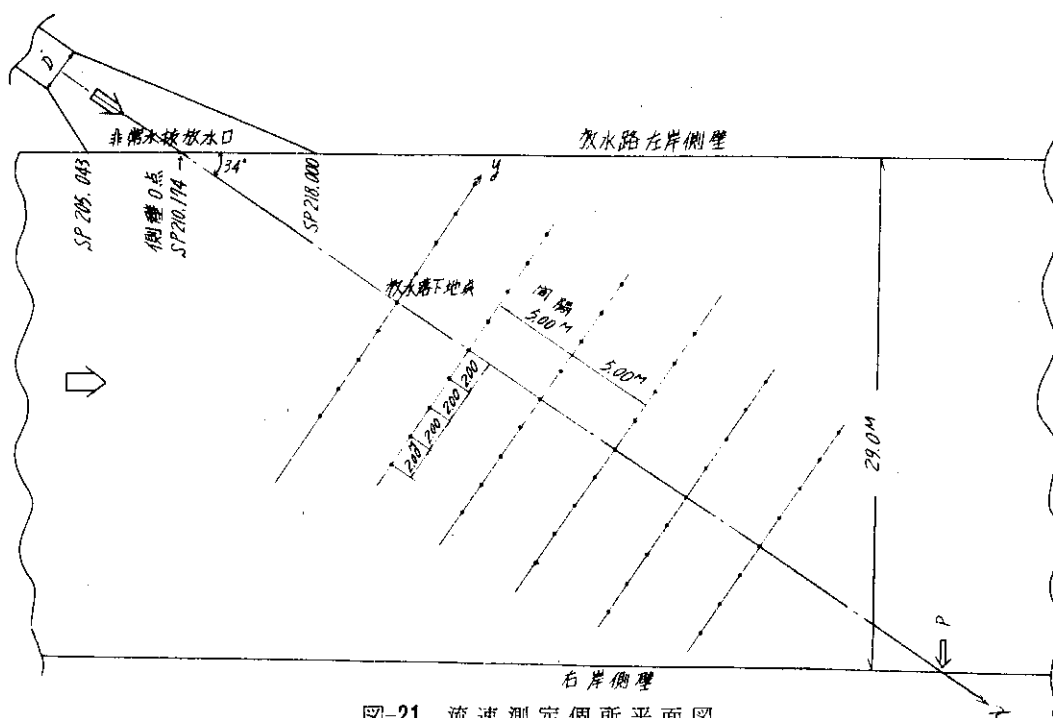


図-21 流速測定箇所平面図

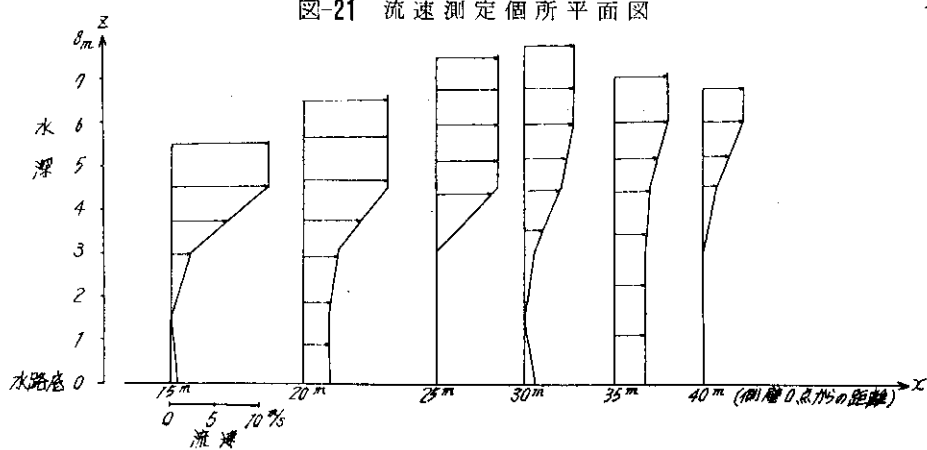


図-22 流速分布図 (非常水抜き $45 \text{ m}^3/\text{s}$ オリフィス閉, クレスト閉)

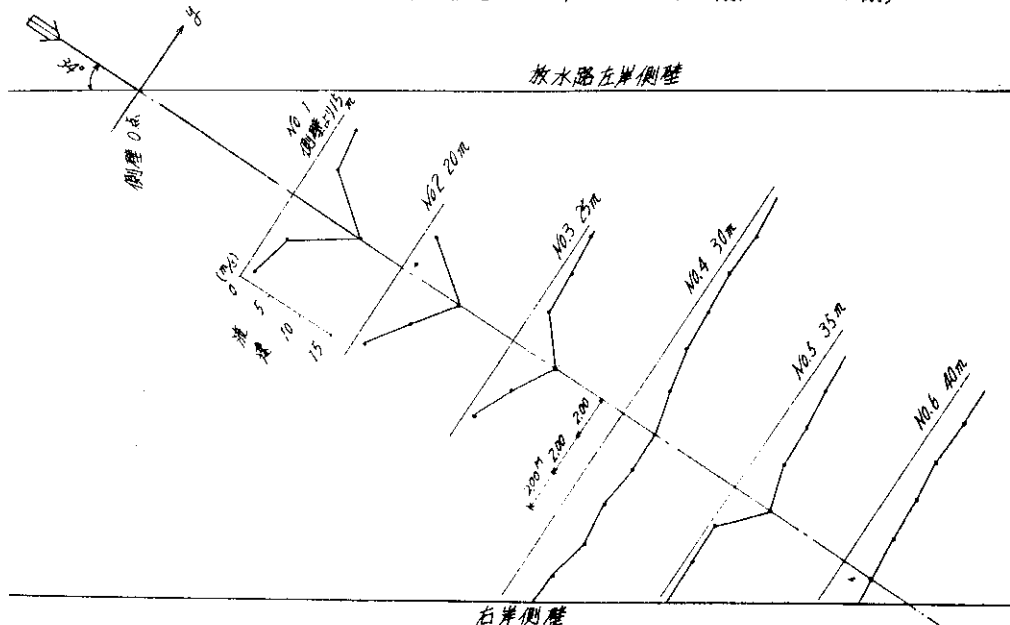


図-23 流速分布図 (非常水抜き $45 \text{ m}^3/\text{s}$ オリフィス閉, クレスト閉)

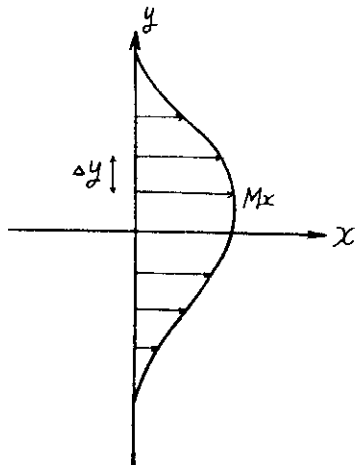


図-24 運動量分布図

ここで,

$\bar{M}_x$: 全運動量 (t)

図-25に中心線上の運動量を示したが、図中の直線のように運動量は減少しており、右岸側壁との衝突地点(図-21のP点, $x/D=11.7$)での運動量 M_x を求めることができる。同様に y 方向の各地点の運動量を求め(1)式により、P点での全運動量($\bar{M}_x$)を計算した(表-12参照)。

表-12 x 方向の運動量

$Y(m)$	$M_{xi}(t/m)$	$\bar{M}_x(t)$
2.0	0.200	4.725
1.0	4.525	6.625
0	2.100	4.325
-1.0	2.225	4.750
-2.0	2.525	
合計		20.43

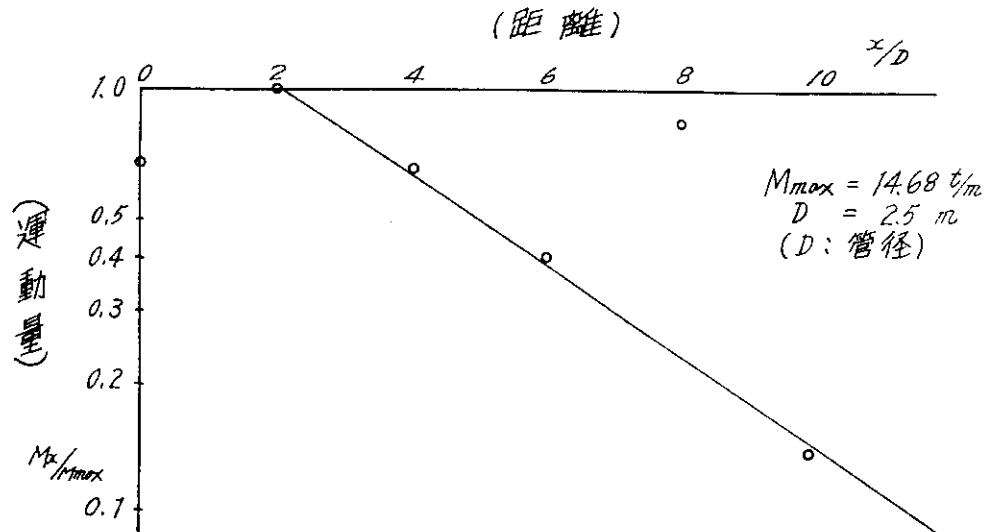


図-25 中心線上の運動量 (非常水抜き 45 m³/s オリフィス閉, クレスト閉)

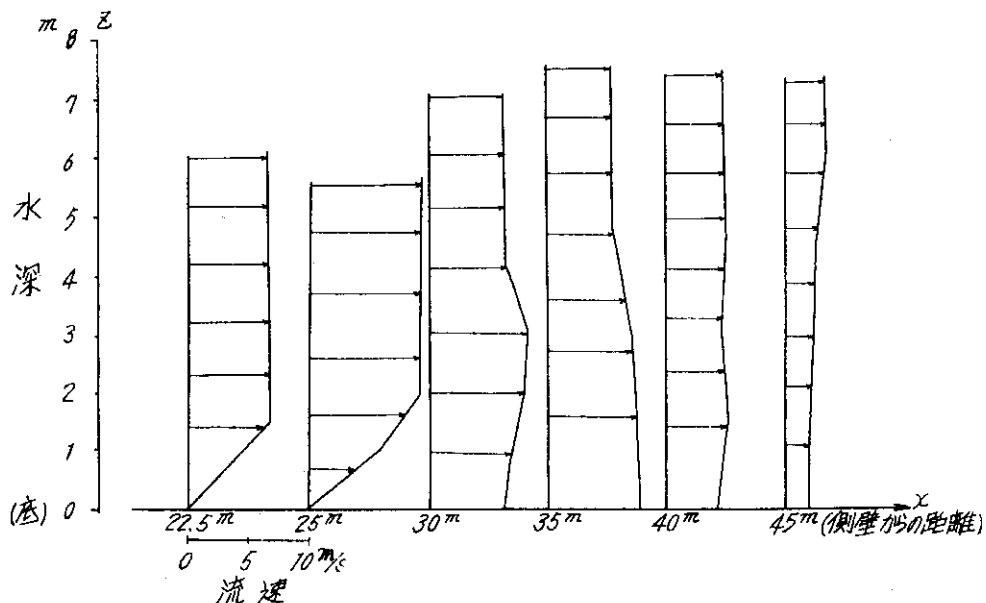


図-26 流速分布図 ($Q=200\text{m}^3/\text{s}$ 非常水抜き 45 m³/s オリフィス閉, クレスト閉)

以上から右岸側壁に直角な方向の全圧力は、

$$P = \overline{M}x \sin 34^\circ = 20.43 \sin 34^\circ = 11.42 \text{ t}$$

となる。なお単位幅当たりの最大圧力は $y = -1.0$ において $q = 4.425 \sin^2 34^\circ = 1.38 \text{ t/m}$ である。

次に、余水吐放水路からは $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 放流し、非常水抜き放水路から $45 \text{ m}^3/\text{s}$ 放流させた場合について、上記と同様な方法で、側壁での水圧を求める。このときの水深方向と水平方向の流速分布を、図-26、27に示す。

図-21と比較すると余水吐放水路流量 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ の影響で水脈が下流側に押されていることがわかるが、最大流速は、ほぼ中心線上にのっている。図-28に中心線軸上の運動量を示す。他の地点でも同様に求めて、右岸側壁P点での全運動量を求め(表-13参照)、側壁に直角方向

の全圧力を求めると、

$$P = \overline{M}x \sin 34^\circ = 16.97 \sin 34^\circ = 9.49 \text{ t}$$

表-13 x方向の運動量

Y(m)	$M_{xi}(\text{t/m})$	$\overline{M}x(\text{t})$
2.0	2.870	3.496
1.0	0.626	
0	1.438	2.064
-1.0	4.425	5.863
-2.0	1.123	5.548
合計		16.97

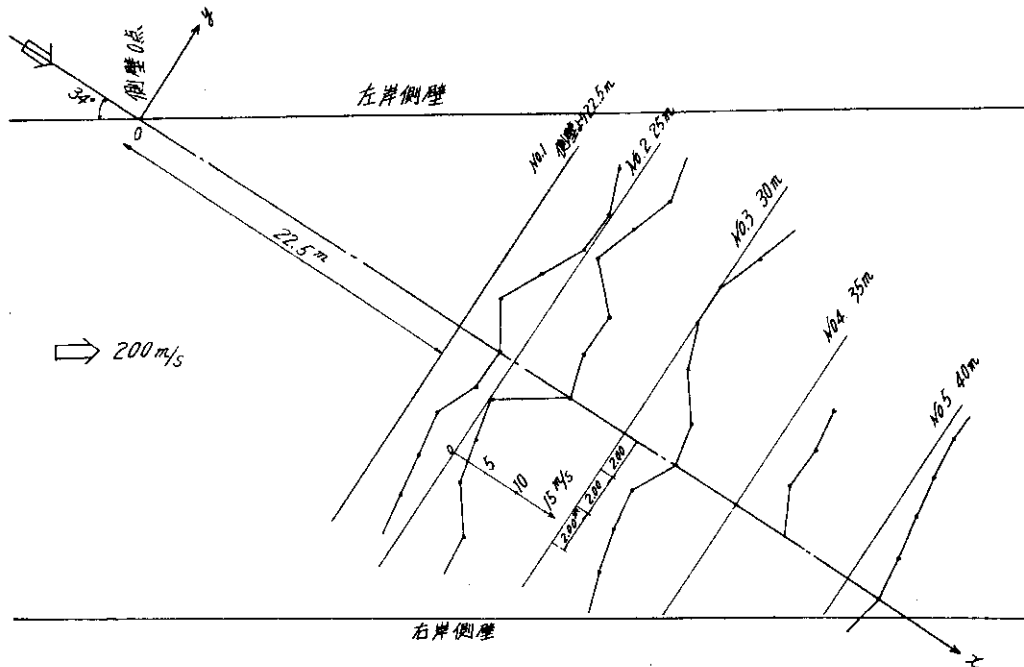


図-27 流速分布図 ($Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$ 非常水抜き $45 \text{ m}^3/\text{s}$ オリフィス開, クレスト閉)

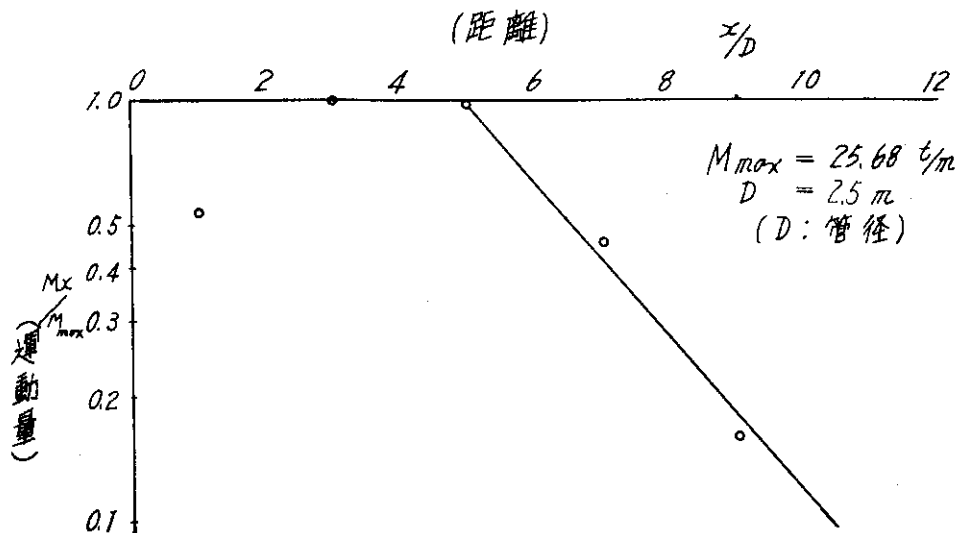


図-28 中心線上の運動量 ($Q=200 \text{ m}^3/\text{s}$ 非常水抜き $45 \text{ m}^3/\text{s}$ オリフィス開, クレスト閉)

となる。なお、単位幅当たりの最大圧力は $y=1.0$ の地点において $p=4.525\sin^2 34^\circ=1.41 \text{ t/m}$ である。

下流水路では、流量が $240 \text{ m}^3/\text{s}$ を越えると水たたき内で跳水せず、エンドシルからジャンプして下流水路に落下する。そこで $500, 1000, 1500, 1529.1, 1769.8 \text{ m}^3/\text{s}$ の各流量について、落下角度 θ と落下水脈の断面積を測定し、次のような方法により落下水圧を求めた。

落下面に垂直な圧力は (図-29 参照)。

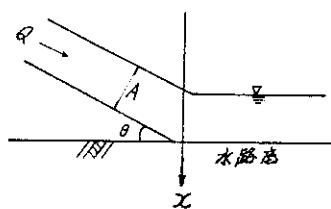


図-29

$$P=Mx=\rho Q V \sin \theta=\frac{w}{g} \cdot Q \cdot \frac{Q}{A} \cdot \sin \theta$$

ここで、

P : x 方向の圧力

Q : 流量

w : 水の密度

g : 重力加速度

A : 落下水脈の断面積

θ : 落下水脈の落下面に対する角度

となる。これより各流量について落下面の圧力を求めた結果を表-14に示す。

表-14 落下圧力

流 量 Q	断 面 積 A	角度 θ	葉 下 圧 P	單位面積 当 圧 力 p
m^3/s	m^2	$^\circ$	t	kg/cm^2
500	22.4	5	99	0.04
1,000	$\begin{cases} A & 32.7 \\ A' & 15.7 \end{cases}$	$\begin{cases} 20 \\ 15 \end{cases}$	$\begin{cases} 488 \\ 177 \end{cases}$	$\begin{cases} 0.51 \\ 0.29 \end{cases}$
1,500	82.2	20	956	0.40
1,529.1	83.5	20	977	0.40
1,769.8	$\begin{cases} A & 53.9 \\ A' & 54.0 \end{cases}$	$\begin{cases} 24 \\ 23 \end{cases}$	$\begin{cases} 603 \\ 580 \end{cases}$	$\begin{cases} 0.46 \\ 0.42 \end{cases}$

注 $\gamma=P/A \sin \theta$

ここで A, A' の2つの断面積に分けてあるのは、落下水脈がジャンプ後ほぼ2つに分離している場合である。なお、流量が増加するに従い空気の入量も増加し、水脈の表面は大小の飛沫を伴っている。

(6) 部分放流

放流量の推定に関して、自由越流時における放流量については現在まで数多くの理論的、実験的研究が行なわれ、その水理特性は前述のようにかなり明らかになっている。

しかし、ゲート操作による半開時放流量の推定に関する研究は少なく、まだ正確な放流量を推定することは困難である。

そこで、ダム竣工後における管理資料とするため、“貯水位～放流量～開度”の関連を知るべく実験を行なった。まず、各流量を自由越流させ、その時一定となった時の越流水深を測定し、次にゲート開度が自由越流深のおおむね、20%、40%、60%、70%、80%、90%、

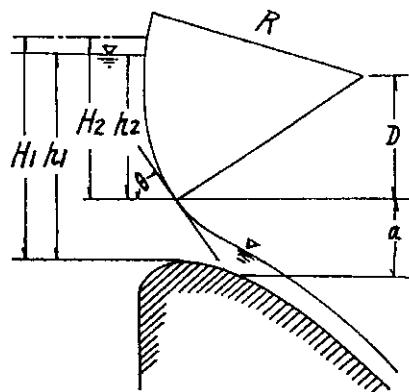


図-30 越済頂テンターゲートからの流出

表-15 オリフィス部分放流一覧表

(オリフィス開、クレスト閉)

$Q (\text{M}^3/\text{s})$	$a (\text{M})$	$H_1 (\text{M})$	$H_2 (\text{M})$	K	貯水位 (M)	大重量公式 $Q (\text{M}^3/\text{s})$
25	全開	2.220		1.890	790.220	23
	1.200	3.213	2.073	2.253	791.213	24
	1.050	4.293	3.303	2.161	792.293	26
	0.900	4.341	3.501	2.506	792.341	23
	0.750	5.388	3.698	2.690	793.388	22
50	全開	3.501		1.908	791.501	48
	1.800	5.343	3.603	2.208	793.343	48
	1.650	5.715	4.125	2.365	793.715	47
	1.350	7.752	6.462	2.424	795.752	49
	1.200	10.386	9.246	2.334	798.386	51
75	全開	4.602		1.899	792.602	78
	2.550	6.642	4.152	2.166	794.642	74
	2.250	7.938	5.748	2.184	795.938	75
	1.950	9.570	7.680	2.253	797.570	76
	1.650	12.216	10.626	2.327	800.216	75
(109.3)	(全開)	(6.800)	(2.800)	(2.094)	(794.800)	
100	全開	5.958	1.958	2.118	793.958	98
	2.850	8.787	5.997	2.200	796.787	96
	2.550	10.632	8.142	2.186	798.632	100
	2.250	13.275	11.085	2.182	801.275	102
	1.950	15.690	13.800	2.297	803.690	97
150	全開	9.468	5.468	2.294	797.468	148
	3.000	15.285	12.345	2.289	803.285	149
	2.700	17.970	15.330	2.321	805.970	149
(244.5)	(全開)	(19.500)	(15.500)	(2.436)	(807.500)	
200	全開	13.857	9.857	2.423	801.857	201

() 青きは S46 年実験値

100%の7開度について放流し、一定となった時の貯水位を測定した。

なお、放流条件は次の3ケースによった。

イ クレストゲート閉扉状態でオリフィスゲートより放流した場合

ロ オリフィスゲート閉扉状態で、クレストゲートより放流した場合

ハ オリフィスゲート全開状態で、クレストゲートより放流した場合

流出係数の算出には、前述の(6)式および次式によった。

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot C \cdot B (H_1^{3/2} - H_2^{3/2}) \quad (13)$$

ここで、

Q : 流出量 (m^3/s)

g : 重力加速度 ($9.8 m/s^2$)

C : 流出係数

B : 流出幅 (m)

H_1 : ゲート全開時の戸当たりを基準とした総水頭 (m)

H_2 : ゲート底面を基準とした総水頭 (m)

以上の結果を表-15~17に示す。また、“流量~貯水深~開度”の関連を図-31~33に示すが、これによると流量および開度が小さくなると枝線にバラツキがでてく

表-16 クレスト部分放流一覧表
(クレスト開、オリフィス閉)

Q (M ³ /s)	a (M)	H ₁ (M)	H ₂ (M)	C	F	貯水位 (M)	土質推定式 Q (M ³ /s)	大重推定式 Q (M ³ /s)
(213.2)	(0.863)	(11.500)	(10.637)	(0.842)	(2.484)	(807.500)		
(278.7)	(1.150)	(11.500)	(10.350)	(0.828)	(2.244)	(807.500)		
300	全開	3.996		0.636	1.878	799.996		285
	2.400	6.528	4.248	0.641	1.893	802.528	291	305
	2.100	7.212	5.232	0.687	2.027	803.212	270	287
	1.950	8.409	6.579	0.677	1.997	804.409	274	293
303	1.650	11.850	10.320	0.672	1.984	807.850	278	302
400	全開	4.830		0.638	1.884	800.830		386
	3.000	7.545	4.668	0.637	1.880	803.545	399	411
	2.700	8.754	6.174	0.642	1.894	804.754	395	410
	2.400	11.040	8.760	0.553	1.911	807.040	402	422
(500)	(全開)	(5.710)		(0.621)	(1.832)	(801.710)		
600	全開	6.327		0.639	1.885	802.330		597
	4.050	8.988	5.058	0.653	1.927	804.988	605	604
	3.600	10.455	6.975	0.661	1.950	806.455	592	596
	全開	7.470		0.664	1.959	803.470		782
800	4.950	10.503	5.673	0.660	1.949	806.503	825	799
	4.350	12.300	8.070	0.671	1.979	808.300	802	781
	全開	8.628		0.668	1.973	804.628		991
1,000	5.850	11.973	6.243	0.656	1.936	807.973	1,078	1,009
	(全開)	(8.765)		(0.653)	(1.927)	(804.765)		
	全開	9.705		0.672	1.985	805.705		1,201
1,200	6.600	13.146	6.666	0.668	1.970	809.146	1,314	1,193
(1,500)	(全開)	(11.245)		(0.674)	(1.989)	(807.245)		
(1,529.1)	()	(11.500)		(0.664)	(1.960)	(807.500)		

る。これは流量が小さくなり、粘性力、あるいは表面張力などの影響があると考えられる。

土研の梅原³⁾による、半開時放流量の推定公式(14, 15式, 図-34参照)。

$$Qp = Cp \cdot n \cdot B \{ (H - y_0)^{3/2} - (H - y_1)^{3/2} \} \quad (14)$$

$$Cp = \{ 1.940 + 0.08(H/Hd) - 0.295(a/Hd) + 0.892(a/Hd)^2 \} / (1 + 0.1676 \cdot \tan \theta) \quad (16)$$

ここで

Qp : 半開時放流量 (m^3/s)

Cp : 半開時流量係数

n : 径間数

B : 1径間当たりの越流幅 (m)

H : 貯水頭 (m)

y_0, y_1 : ゲート下端および越流面座標 (m)

Hd : 設計水頭 (m)

a : ゲート開度 (m)

θ : ゲートリップ角

ただし(16)式の適用範囲

$$0.2 < H/Hd < 1.5, 0.07 < a/Hd < 0.75$$

$$-30^\circ < \theta < 30^\circ$$

表-17 オリフィス、クレスト部分放流一覧表
(オリフィス開、クレスト開)

Q (M ³ /s)	a (M)	H ₁ (M)	H ₂ (M)	貯水位 (M)	大重推定式 Q (M ³ /s)
300	全開	2.400		798.400	288
	1.350	3.630	2.400	799.630	296
	1.200	4.206	3.126	800.206	300
	1.050	4.906	3.975	800.905	303
	0.900	5.667	4.887	801.667	302
	0.600	8.565	8.085	804.565	303
400	全開	3.366		799.366	390
	1.950	5.286	3.456	801.286	414
	1.800	5.652	3.972	801.652	411
	1.500	6.795	5.415	802.795	410
	1.350	7.734	6.504	803.734	412
	0.900	11.619	10.839	807.619	397
600	全開	4.890		800.890	585
	3.000	7.200	4.320	803.200	614
	2.700	8.040	5.460	804.040	600
	2.400	9.165	6.885	805.165	609
	2.100	10.689	8.709	806.689	605
	全開	6.156		802.156	776
800	4.050	8.634	4.704	804.634	818
	3.600	9.783	6.303	805.783	808
	3.150	11.490	8.460	807.490	804
	全開	7.422		803.422	990
1,000	4.950	10.050	5.220	806.050	1,018
	4.350	12.054	7.824	808.054	1,020
	全開	8.596		802.370	1,212
1,200	5.700	11.382	5.802	807.382	1,203
	5.100	13.110	8.130	809.130	1,190
(1,769.8)	(全開)	(11.500)		(807.500)	1,837

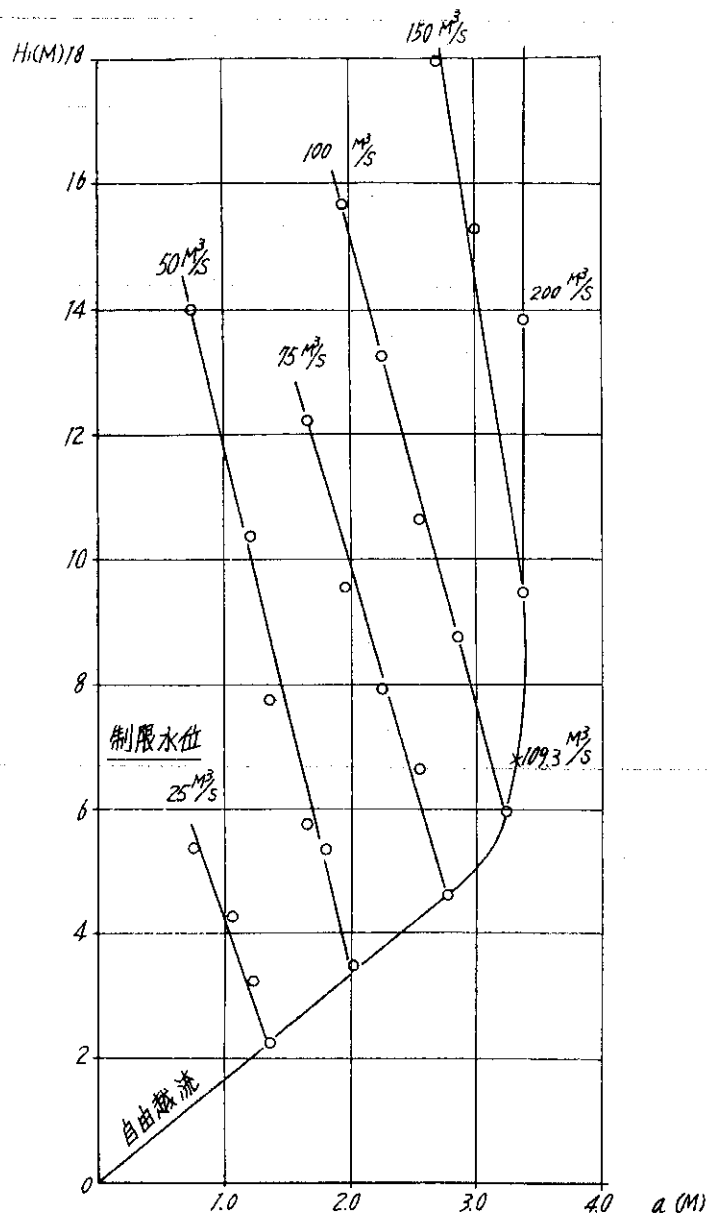


図-31 オリフィス開，クレスト閉—流量・貯水深・開度曲線

から求めた推定流量と実験流量を比較検討した結果を表-16，図-35に示したが，その誤差が0.3～10%の範囲であるので，ここでは大雪ダムの放流形状に合致し，かつ貯水頭とゲートの開度を与えると放流量を推定することのできる大雪推定公式を作成し次に示す。また，実測流量と比較した結果は表-15～17に示すように誤差がおおむね5%以下となる。

(i) クレスト半開放流推定式

$$Qp = Cp \cdot 20 \{ (H_1 - Y_0)^{3/2} - (H_1 - Y_1)^{3/2} \}$$

$$Cp = \{ 1.798(a/H_1)^2 - 1.705(a/H_1) + 2.523 - 0.013H_1 \} / (1 + 0.0003a^2 - 0.018a + 0.095)$$

$a < 4.05$ m の場合

$$Y_0 = 0.002a^2 - 0.025a + 0.063$$

$a \geq 4.05$ m の場合

$$Y_0 = 0$$

$$Y_1 = -0.0002a^2 + 1.001a - 0.133$$

適用範囲

$$0.57 < H_1/Hd < 1.14$$

$$0.14 < a/H_1 < 0.50$$

(ii) オリフィス半開放流推定式

$$Qp = Cp \cdot 4 \{ (H_1 - Y_0)^{3/2} - (H_1 - Y_1)^{3/2} \}$$

$$Y_0 = 0.007a^2 - 0.038a + 0.059$$

$$Y_1 = 0.002a^2 + 0.993a - 0.072$$

$Q < 100$ m³/s の場合

$$Cp = \{ 7.350(a/H_1)^2 - 6.437(a/H_1) + 4.134 - 0.059H_1 \} / (1 + 0.005a^2 - 0.055a + 0.171)$$

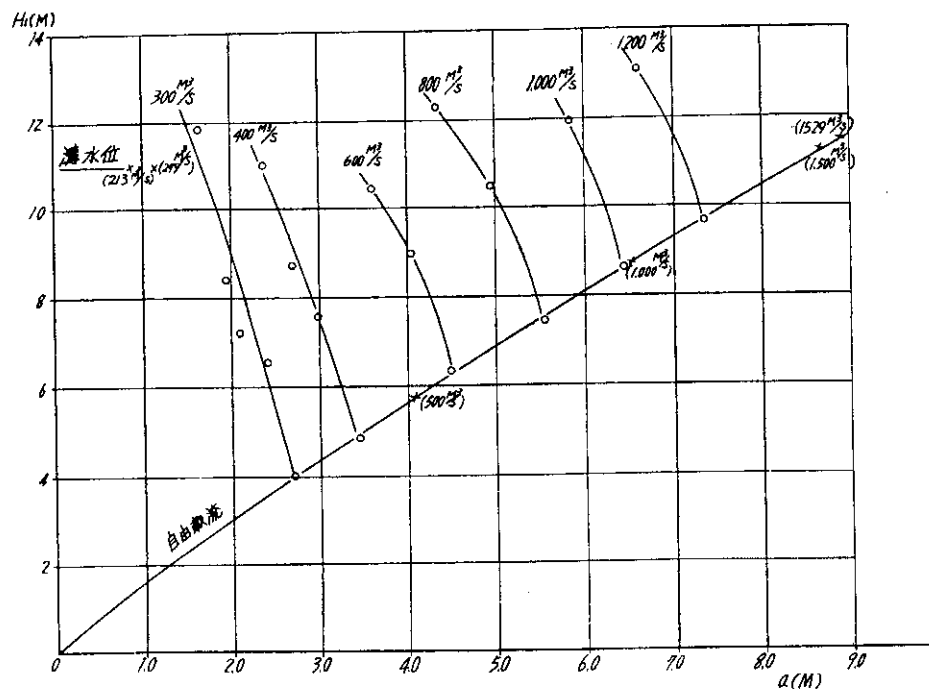


図-32 クレスト開, オリフィス閉—流量・貯水深・開度曲線

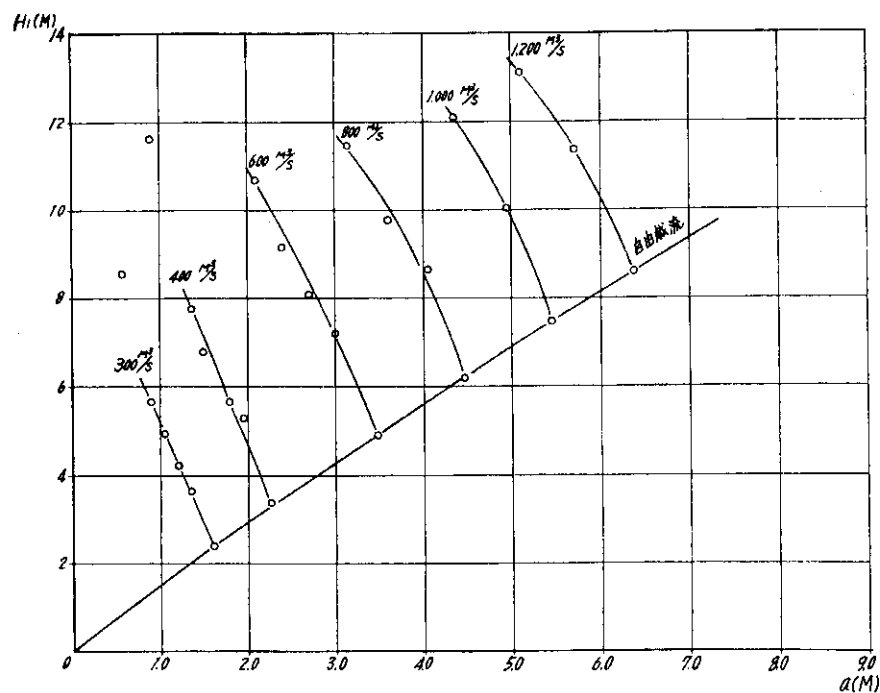


図-33 クレスト開, オリフィス開—流量・貯水深・開度曲線

適用範囲

$$0.47 < H_1/H_d < 1.29$$

$$0.14 < a/H_1 < 0.38$$

$Q \geq 100 \text{ m}^3/\text{S}$ の場合

$$Cp = \{6.128(a/H_1)^2 - 3.589(a/H_1) + 2.888 - 0.001H_1\} / (1 + 0.005a^2 - 0.055a + 0.171)$$

適用範囲

$$1.29 < H_1/H_d < 2.65$$

$$0.12 < a/H < 0.32$$

ここで,

Qp : 半開時放流量 (m^3/S)

Cp : 半開時放流係数

H_1 : 貯水頭 (m)

Y_0 : ゲート下端と越流頂の差 (m)

Y_1 : 越流頂とゲート下端接線の越流面の交点との差 (m)

a : ゲート開度(ゲート下端と戸当たりとの差, m)

Hd : 設計水頭 (m)

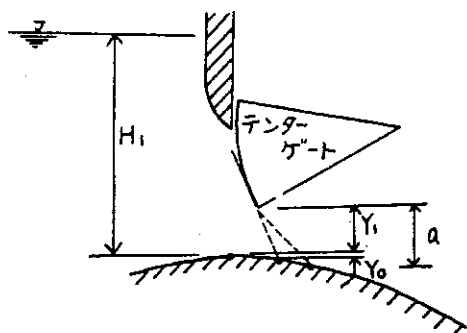


図-34 記号説明図

公式(13)により求めた越流係数を、米国開拓局の平均曲線図(図-36参照)にプロットし比較したがおおむね近似した曲線が得られた。

半開時放流した時の流量公式の適用範囲を知ることは大変重要なことである。実際の流況は a/H_1 が 1.0 のときは自由越流況を呈し、 a/H_1 が小さくなると共に遷移流況から半開時放流況状態に変化する。この遷移流域内では不安定な流況を呈していることが考えられる。

しかし、これら領域の限界を正確に知ることは困難であり、本実験では越流水深および越流頂水深を測定し、その比を図 37 に示した。

この図より、オリフィス頂からの越流についてはバラツキが多いが、ほぼ直線であり次式で表わされる。

$$h/H_0 = 0.79(H/H_0) \quad (16)$$

ここで、

h : 自由越流頂水深 (m)

H : 自由越流水深 (m)

H_0 : 設計水深 (m)

(16)式より当ダムのクレスト形状では、ゲート開度が $0.79H$ より大きければ自由越流であり、小さければ遷移流状態も含め、半開時放流状態と考えてよいようである。

5 まとめ

以上の模型実験の結果を列記すると次のとおりである。

- (1) 余水吐前面に、左側流入水脈のまき込みにより生ずる渦を、余水吐の左側前面に導流壁を約 20 m 延長し、さらに堤体沿いに 18 m 延長することにより、越流および越流後の流況に影響を及ぼさない程度に抑えることができる。
- (2) クレスト頂部越流係数は自由越流の場合、次式で近似できる。

$$K = 1.6 \cdot \frac{1 + 0.762H/Hd}{1 + 0.381H/Hd}$$
- (3) クレスト越流部からは、満水位 (E.L 807.50 m) において $1,529.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 流出し、設計流量 $1,500 \text{ m}^3/\text{s}$ を吐くことができる。
- (4) オリフィス流出部からは、満水位のとき 244.5

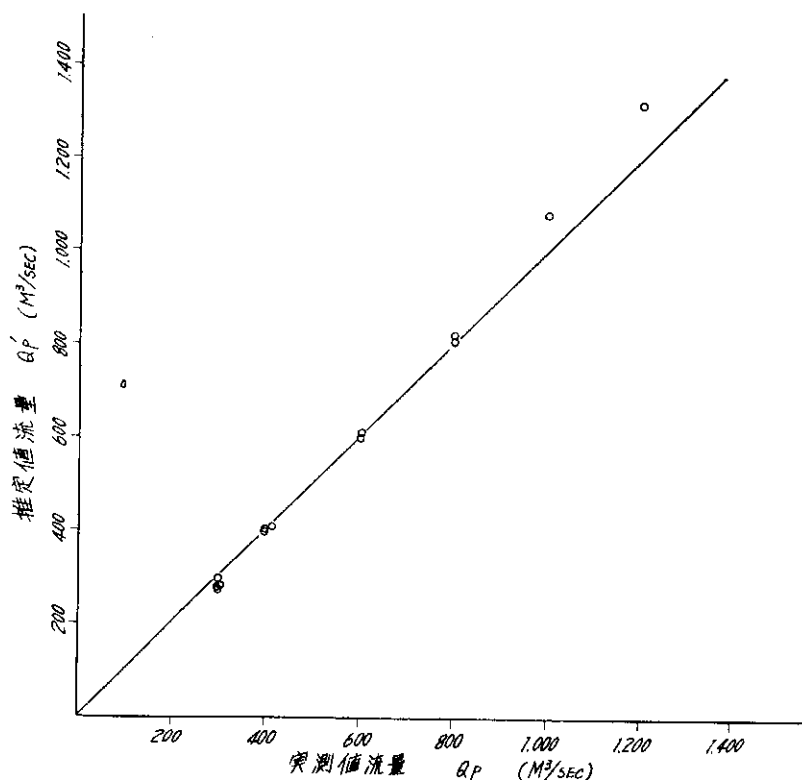


図-35 半開時放流の推定流量と実測流量の比較

m³/s 制限水位 (E.L 794.80 m) のとき 109.3 m³/s 流出し、各々設計流量 (満水位時 200 m³/s, 制限水位時 100 m³/s) を吐くことができる。

- (5) クレスト越流部およびオリフィス流出部ともに全開で、かつ満水位のとき 1,769.8 m³/s 流出する。
- (6) 放水路側壁の最小余裕高は 1.70 m である。
- (7) 水たたき内において、流量 240 m³/s まで完全跳水

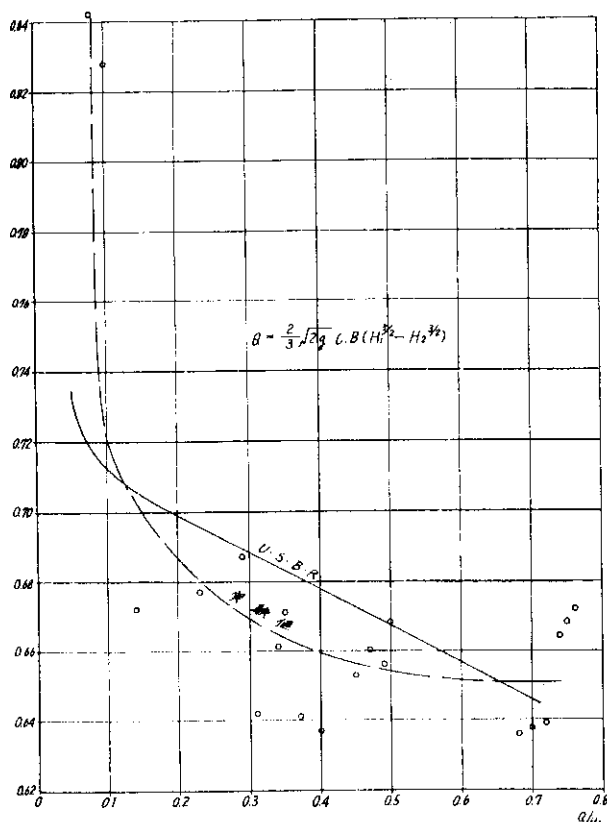


図-36 半開時放流式の流量係数平均曲線図

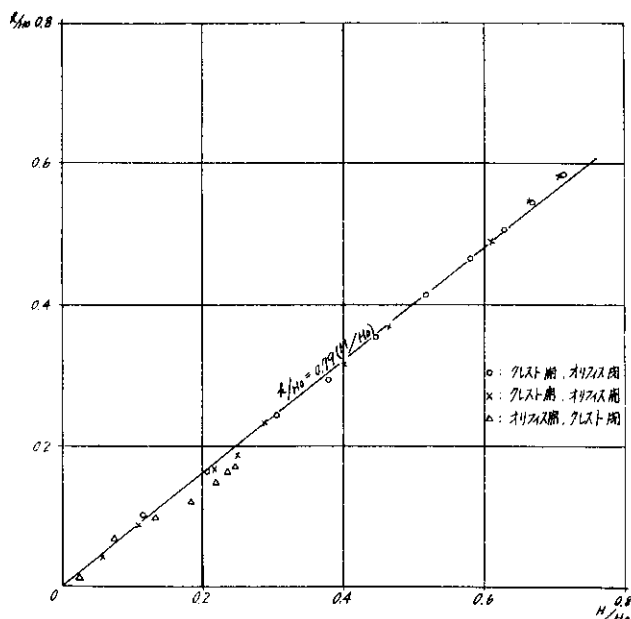


図-37 越流水深と越流頂水深

し設計流量 200 m³/s を満足する。

- (8) 非常水抜き水路から 45 m³/s を余水吐水路内に放流した場合、余水吐より放流が行なわれていない時と、余水吐から 200 m³/s の流出がある時では、非常水抜き水路からの放流水脈が右岸側壁に与える圧力は、各々 11.42 t, 9.42 t であった。
- (9) 余水吐から 200 m³/s 流出している時、水たたき内では完全跳水をしているが、この水たたき内に、さらに非常水抜き水路から 45 m³/s を放流しても跳水している。

ただし、非常水抜き水路からの放流により、右岸側壁の水深は約 8 m となり、余水吐のみから 200 m³/s 流出して完全跳水している時より、水位が約 3 m 高くなると推定される。

- (10) 余水吐よりの流量が 240 m³/s を越えていると、水たたき末端のエンドシルから水脈はジャンプして、下流水路床に落下するが、このときの水路床に直角方向の落下圧は、流量が 1000 m³/s ~ 1500 m³/s のとき、0.2 ~ 0.6 kg/cm² の範囲内にあるものと推定される。

また、下流河川落下以後の水脈は、流量が約 720 m³/s を越えると、水路彎曲部でオーバーフローを始める。

- (11) ゲート操作による半開時放流した場合の開度、流量、貯水位関係を測定し図示したが、流量および開度が小さくなると粘性、ゲート操作のわずかな誤差の影響と見られるバラツキがでてくる。

実際のダム管理で小さな放流量に対し、より以上の精度を要する場合は、今後試験放流による検証が必要と思われる。

- (12) クレスト頂からの放流については、ゲート開度が自由越流深のおおむね 79 % より大きければ、自由越流状態であり、それ以下では遷移流状態を含め、半開時放流である。
- (13) 満水位 (E.L 807.50 m) における、クレストゲート左右 1 門ずつ放流した場合の流況を観察した。その結果越流頂で、右クレスト E.L 805.29 m, 左クレスト E.L 805.89 m と左右 0.60 m の差が生じ、左クレスト開のとき閉扉された右クレストゲート前面に左クレストに比べ大きな渦が生じている (写真-4, 5 参照)。これは導水路の左右不对称による流心の違いによる結果である。しかし、放流量についてはその差はまったく見られなかった。

- (14) 竣工後における放流量を管理する推定公式は、種々の条件により次のように使い分ける必要がある。
イ クレストより自由越流する場合

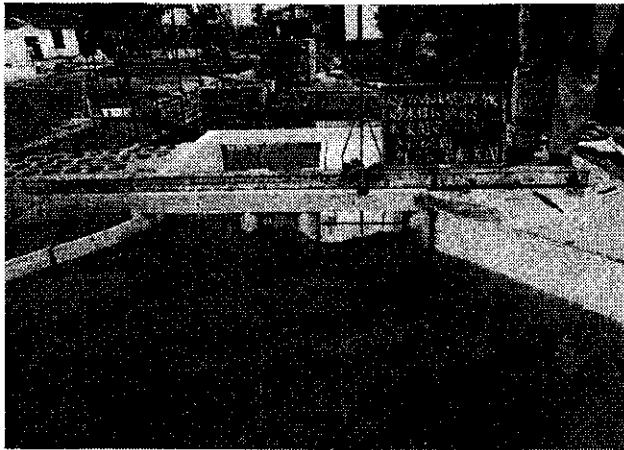


写真-4 クレストゲート右開、左閉状態の前面流況

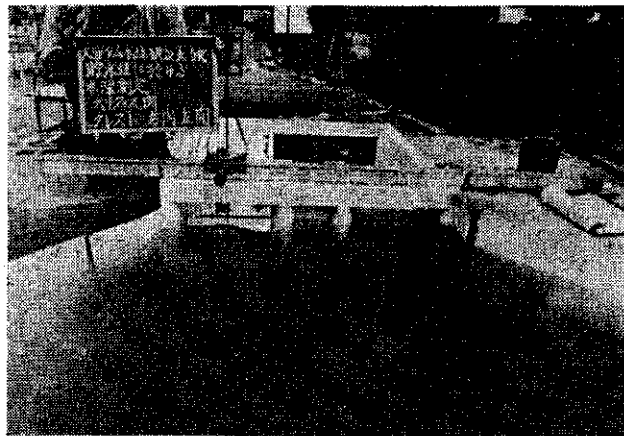


写真-5 クレストゲート左開、右閉状態の前面流況

$$Q = KBH_1^{3/2}$$

ここで、

$$K = 1.6 \frac{1+0.762(H_1/Hd)}{1+0.381(H_1/Hd)}$$

$$\text{または } Q = 30.70H_1^{1.609}$$

ロ クレストより半開放流する場合

$$Qp = Cp \cdot 20 \{ (H_1 - Y_0)^{3/2} - (H_1 - Y_1)^{3/2} \}$$

ここで、

$$Cp = \{ 1.798(a/H_1)^2 - 1.705(a/H_1) + 2.523 - 0.013H_1 \} / (1 + 0.0003a^2 - 0.018a + 0.095)$$

$$Y_0 = 0.002a^2 - 0.025a + 0.063 \quad a < 4.05 \text{ m の場合}$$

$$Y_0 = 0 \quad a > 4.05 \text{ m の場合}$$

$$Y_1 = -0.0002a^2 + 1.001a - 0.133$$

適用範囲

$$0.57 < H_1/Hd < 1.14$$

$$0.14 < a/H_1 < 0.05$$

ハ オリフィスより全開自由越流する場合

$$Q = C' BH_1^{3/2} \quad H_1 < 4.60 \text{ m の場合}$$

ここで、

$$C' = 1.6 \frac{1+0.618(H_1/Hd)}{1+0.309(H_1/Hd)}$$

$$Q = C'' A \sqrt{2gH_1} \quad H_1 > 4.60 \text{ m の場合}$$

ここで、

$$C'' = -0.025(H_1/4.0)^2 + 0.222(H_1/4.0) + 0.294$$

ニ オリフィスより半開放流する場合

$$Qp = Cp \cdot 4 \{ (H_1 - Y_0)^{3/2} - (H_1 - Y_1)^{3/2} \}$$

ここで、

$$Y_0 = 0.007a^2 - 0.038a + 0.059$$

$$Y_1 = 0.002a^2 + 0.993a - 0.072$$

$$Cp = \{ 7.350(a/H_1)^2 - 6.437(a/H_1) + 4.134 - 0.059H_1 \} / (1 + 0.005a^2 - 0.055a + 0.171)$$

$$Qp < 100 \text{ m}^3/\text{S} \text{ の場合}$$

適用範囲

$$0.47 < H_1/Hd < 1.29$$

$$0.14 < a/H_1 < 0.38$$

$$Cp = \{ 6.128(a/H_1)^2 - 3.589(a/H_1) + 2.888 - 0.001/H_1 \} / (1 + 0.005a^2 - 0.055a + 0.171)$$

$$Qp \geq 100 \text{ m}^3/\text{S} \text{ の場合}$$

適用範囲

$$1.29 < H_1/Hd < 2.65$$

$$0.12 < a/H_1 < 0.32$$

以上が昭和43年度以来5年間にわたって続けた水理模型実験の結果を集約したものであるが、実験の実施にあたり、終始資料提供に尽力戴いた大雪ダム建設事業所の関係者と適切な御指導を戴いた山口甲河川計画課補佐（前河川研究室長）に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 川村幸司；ダム洪水吐の水理設計，土木技術資料 11-10，昭和44年
- 2) 石原藤次郎，本間 仁；応用水理学中I，せきと水門 丸善
- 3) 梅原暁也；越流余水吐の放流量の推定方法，土木技術資料 14-2，昭和47年
- 4) 久保七郎；ダム余水吐の水理設計について，昭和39年9月
- 5) 村 幸雄；ダム放水管の水理設計法，土木技術資料，昭和34年
- 6) 石原藤次郎，本間 仁；応用水理学下I，水理実験 丸善
- 7) 石原藤次郎；開水路の水理学II，余水吐における流れ 丸善
- 8) 農林省農地局；土地改良事業計画設計基準第3部，第1編フィルダム，1951年
- 9) 森 正秋，広田郁男；岩尾内ダム水理模型実験

- (I), 土木試験所報告第41号, 昭和41年6月
- 10) 広田郁男, 森田 勇, 小川芳昭; 岩尾内ダム放水路水理模型実験(Ⅱ), 土木試験所報告, 昭和42年
- 11) 横内秀明, 池田保夫; 大雪ダム水理模型実験について, 第13回開発局技術研究発表会論文集, 昭和45年
- 12) 横内秀明, 野 重克; 大雪ダム水理模型実験について, 第14回開発局技術研究発表会論文集, 昭和46年
- 13) 水理公式集, 昭和46年改訂版 土木学会