

上小川ダム洪水調節工水理模型実験

石塚 耕一*・秋野 隆英**・浦島 三朗***

The Hydraulic Model Test of the Waste Way for the Flood Control
in the Kamiogawa Dam.

Kōichi ISHIZUKA, Takahide AKINO and Saburo URASHIMA

要 旨

本論文は、上小川ダム洪水調節工について水理学的機能と水路構造について実験を行い、負圧の発生および水クッションによる減勢効果等について検討を加え、設計の基礎資料を得たものである。

Synopsis

In this paper, we report the basic datas of the dam planning, according to the experiments we tried on the hydraulic mechanism and the canal structure of the waste way for the flood control in the kamiogawa dam, Especially the influence of negative pressure and the effect of energy dissipator by water cushion were investigated.

1. 防災ダム事業の概要

古丹別川支流チエボツナイ川沿岸の農地および農業用施設は洪水時に甚大な被害を受けている。又、本地区の受益地はチエボツナイ川に沿った沢地帯のため、築堤を行うと耕地の大部分が河川敷地となり農業経営が成立たなくなる。よって本事業では、洪水被害防止のため苫前町字小川地区内の国有林野内に洪水調節用のフィルダムを築造し、チエボツナイ川沿岸農地 412 ha の洪水被害を軽減しようとするものである。洪水調節の計画基準雨量は 50 年確率 2 日間降雨量 169 mm を対象とし、計画洪水調節地点洪水量を $130.9 \text{ m}^3/\text{sec}$ に調節しようとするものである。本事業計画の平面図を図-1 に、概要を表-1 に示す。また上小川ダムの平面図を図-2 に、概要を表-2 に示す。

洪水調節工の放水路には半径 2.15 m, 勾配 1/60, 長さ 266.6 m の仮排水トンネルを使用し、トンネル呑口から上流 30 m 離れた地点に内径 7.00

m, 外側高さが河床から 18.777 m の塔がたち、流入部はオリフィス型穴あきダム方式で径 60 cm のオリフィスが 10 個, 径 50 cm のオリフィスが 4 個設けられ、オリフィスの入口と出口に径の 0.3 倍の $\frac{1}{4}$ 円弧によるすみ取りを行った。塔下部は河床を掘り下げ深さ 4.423 m の水クッション部を設ける。塔と仮排水トンネルの接続部分は狭窄部, 漸拡部, 逆勾配部および矩形断面の取付水路からなっている。仮排水トンネルは標準馬蹄形断面であり、河川への放流はスキージャンプ式減勢工を用いている。洪水調節工の平面図および縦断面図を図-3 に示す。

2. 模 型 実 験

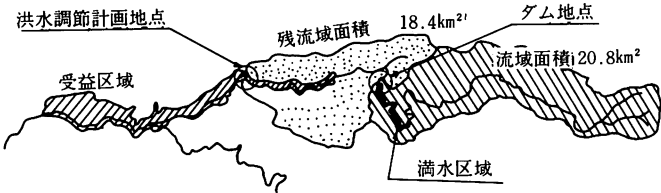
2. 1 実験の目的

一般に洪水調節工の水理設計は各々適用範囲の公式を用いて行なわれているが、多くの未知の水理要因は仮定に基づいて設定されている。ここで行う実験は上小川ダム洪水調節工の水理要因を模型によって検討し、合理的で安全かつ経済的な設計を決定するものである。従って上記の事柄から実験目的は次の 7 項目に要約される。

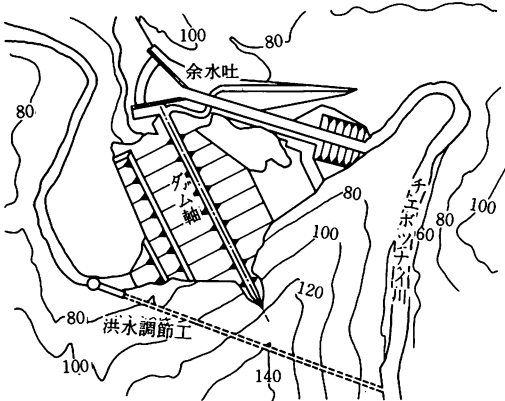
*教 授 土木工学科

**助教授 土木工学科

***助 手 土木工学科



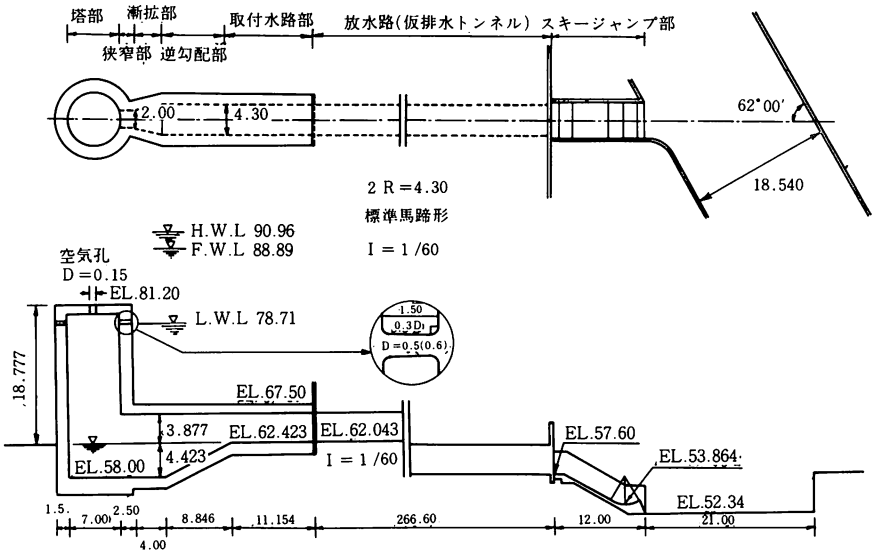
図一 事業計画平面図(単位:m)



図二 上小川ダム平面図(単位:m)

表一 防災事業計画の概要

	ダムサイト	計画地点
流域面積	29.8 km ²	48.2 km ²
計画洪水量	193.8m ³ /sec	279.6m ³ /sec
安全洪水量		130.9m ³ /sec
必要調節量		148.7m ³ /sec
ピーク時調節量		167.8m ³ /sec
ピーク時調節後流量		111.8m ³ /sec
調節後最大流量	26.9m ³ /sec	125.2m ³ /sec
調節前後の最大流量の差		154.4m ³ /sec
最大調節量	173.9m ³ /sec	167.8m ³ /sec



図三 洪水調節工平面図および縦断面図(単位:m)

- (1) オリフィス流入量と貯水位の関係。
- (2) オリフィス流入後のシャフト内の流況。
- (3) 負圧と空気孔の関係。
- (4) 落下水脈の減勢状況。
- (5) 放水路の流況およびスキージャンプ式減勢工の検討
- (6) 負圧と塔内天井高との関係。
- (7) 滞砂状態における貯水位と流入量の関係。

2. 2 模型の概要および相似率

模型実験上の諸条件を考慮して縮尺を 1/20 とし、貯水池の大きさはオリフィス流入に影響を与えない程度として、長さ 3.3 m の方形、流入孔から貯水池底までの深さを 43 cm 確保した。実物のコンクリートの粗度係数を $n_p=0.012$ とすれば、模型では $n_m=0.0073$ 程度を必要とする。従って模型材料にはアクリル材を用い、所定の粗度係数に近づけた。

貯水池の水位測定には、側壁に貯水池と連結した小さな水槽を設け砂面計を用い、スキージャンプ部の水位測定にはポイントゲージを用いた。その他の水位、受圧部ではピエゾメーターより連結した水柱マノメーターおよび負圧測定には U 字形

の水柱差動マノメーターを用い、流況については写真撮影を行った。

相似の条件はフルードによる相似率を用い、原型と模型の主要諸元を表-3 に示す。本洪水調節工の模型を写真-1 に示す。

2. 3 実験の流量および種類

洪水調節工を多孔オリフィスにより設計を行

表-2 上小川ダムの概要

堤	形 式		中心コアタイプフィルダム
	堤 高		32.6 m
	堤 長		191.5 m
	堤 体 積		194,700 m³
	満 水 面 積		44 ha
体	貯水量	総貯水量	3,588,000 m³
		有効貯水量	3,051,600 m³
余水吐	形 式		シュート式
	計画洪水量	360	m³/sec
	計画洪水位	EL. 90.96	m
洪水調節工	形 式		オリフィス式
	計画放水量	26.9	m³/sec
	洪 水 位	EL. 88.89	m
	滞 砂 面	EL. 78.71	m

表-3 原型と模型の諸元

項 目		原 型	模 型	備 考
塔 部	塔 の 外 径	10.000m	50 cm	S P. 38.9～S P. 45.9 オリフィスの数 60cm 10個 50cm 4個
	塔 の 内 径	7.000m	35 cm	
	オリフィスの径	60 cm	3 cm	
	オリフィスの径	50 cm	2.5 cm	
	水クッション深さ	4.423m	22.115cm	
	塔 の 高 さ	17.777m	88.885cm	
	空 気 孔 の 径	15 cm	0.75 cm	
狭 窄 部	狭 窄 部 長	2.500m	12.5 cm	S P. 45.9～S P. 48.4
	水 路 幅	2.000m	10 cm	
	高 さ	8.300m	41.5 cm	
漸 拡 部	漸 拡 部 長	4.000m	20 cm	S P. 48.4～S P. 52.4
	水 路 幅	2.000m～4.300m	10cm～21.5cm	
	高 さ	8.300m	41.5 cm	
逆 勾 配 部	逆 勾 配 部 長	8.846m	44.23 cm	S P. 52.4～S P. 61.246
	水 路 幅	4.300m	21.5 cm	
	高 さ	8.300m～3.877m	41.5cm～19.385cm	
	勾 配	1 / 2	1 / 2	
取付水路部	取付水路部長	11.154m	55.77 cm	S P. 61.246～S P. 72.4
	水 路 幅	4.300m	21.5 cm	
	高 さ	3.877m	19.385cm	
放 水 路 部	放 水 路 部 長	266.600m	13.330m	S P. 72.4～S P. 339 標準馬路形 (仮排水トンネル)
	半 径	2.150m	10.75 cm	
	勾 配	1 / 60	1 / 60	
	スキージャンプ部長	12.000m	60 cm	S P. 339～S P. 351
	水 路 幅	5.000m	25 cm	

い、ダム規模を変更しないで、計画地点で安全洪水量 (130.9 m³/sec) を上廻らないという条件のもとで、計画洪水位 EL.88.89 m(F.W.L.)における放水量を計算すると 30.16 m³/sec となる。本実験においては、放水量 30.16 m³/sec(模型流量;16.86 l/sec)を計画放水量として実験を行った。通水流量は主として計画放水量の 1/4, 1/2, 3/4, 1.0 および 1.1 倍の諸流量について行い、実験流量の検定は直角三角ゼキによった。

実験の種類は表-4に示す8通りである。I型はオリフィスの孔数を径50 cm 4個、径60 cm 10個とした原設計案、II型、II-1型、III型およびIV型はオリフィスの孔数を径60 cmを8個にし、オリフィスから塔天井までの高さおよび空気孔の大きさを種々変えて行ったものである。V型はII-1型の狭窄部を取り除き、VI型およびVII型は塔下部の水クッションの深さを4.423 mから2.423 mに2 m底上げを行い、狭窄部を取り除いた場合と取り付けた場合である。なおII-1型については滞砂状態の実験を併せて行った。

3. 実験結果および考察

3.1 I型(原設計案)

貯水位と流入量の関係は図-4の模型I型に示すように、同一貯水位に対する流入量は設計時の理論値を大きく上廻っている。また貯水位は振幅が20 cm前後の不規則な変動を示す。計画放水量 30.16 m³/secを通水すると貯水位は一定せず最初徐々に上昇し、EL.82 m付近で塔内の負圧が急激に大きくなりオリフィスからの流入量は通水量を上廻り貯水位は下降し、オリフィス上縁付近の水位まで下るとオリフィスからの空気供給により塔内は大気圧にもどり、貯水位は再び上昇する。

以上の実験結果から次の検討を加え、模型の改良を行った。

- (1) 設計段階ではオリフィスの形状は刃形ゼキで、流量係数は $C=0.6$ であるが、模型においては円弧の隅取りをつけているのでその値はベルマウスの 0.95~0.99 に近い値を示すものと考えられる。
- (2) 空気孔については、水路内は常に開水路の状態では下流放水路からの空気供給が充分に行われているものとし、補助的に径15 cmの空気孔を取り付けている。しかし、空気混入等により水位は計算値より大きくなり、流入量 27 m³/sec 程度になると狭窄部付近で完全に管水

路の状態になり下流からの空気供給が充分に行われない。所要空気量の算定式として次式がある。

$$Q_a = 0.04(F_r - 1)^{0.85} Q_w \quad (1)$$

ここに Q_a : 所要空気量(m³/sec)

F_r : フルード数

Q_w : 流入量(m³/sec)

(1)式より $Q_w=30.16$ m³/sec, $F_r=5.59$ とする

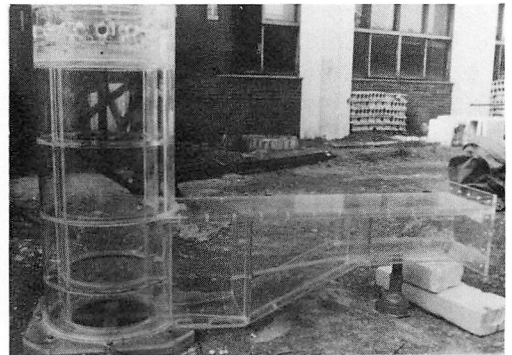


写真-1 洪水調節工の模型

表-4 実験の種類

型	塔内天井高 E.L. (m)	狭窄部	水クッション の深さ (m)	空気孔の径 (cm)
I(原設計案)	80.200	有	4.423	15
II	81.016	有	4.423	54, 60, 100
II-1	82.106	有	4.423	30, 54, 60, 100
III	83.012	有	4.423	54, 60, 100
IV	86.006	有	4.423	54, 60, 100
V	82.106	無	4.423	54
VI	82.106	無	2.423	54
VII	82.106	有	2.423	54

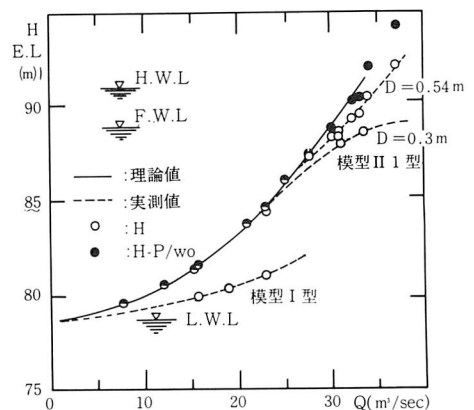


図-4 貯水位と流入量の関係

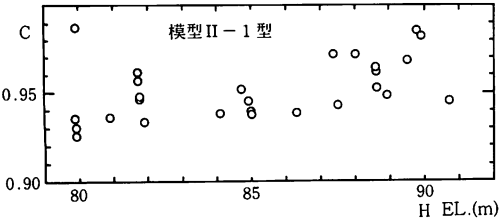


図-5 貯水位と流量係数の関係

と $Q_a=4.43 \text{ m}^3/\text{sec}$ となり、孔内風速を $30 \text{ m}/\text{sec}$ と仮定すると空気孔の径は $D=0.43 \text{ m}$ になる。

(3) オリフィスから流入した水脈は塔中央部で衝突し、水脈の盛り上がりを見せ塔天井にぶつかり、空気孔をふさいでいる。このことも負圧増大および貯水位の不規則な変動の要因と考えられる。

上記の事柄からII型以降の模型は、オリフィスの孔数を60 cm 8個に減らし、塔内の天井高および空気孔の大きさを変えて実験を行った。

3. 2 塔上部の流況

貯水位と流入量の関係は図-4の模型II-1型に示すように同一貯水位に対する流入量の実測値は、理論値を多少上廻っており、実測値は空気孔の径を大きくすることにより、また塔内天井高を高くすることにより、より理論値に近づく。実測値に平均負圧を考慮すると、空気孔の大きさおよび模型の型式にかかわらずほぼ理論値に合致する。またI型においてみられた貯水位の不規則な変動はみられなかった。

流量係数の算出には次式を使用し、貯水位と流量係数の関係を図-5に示す。

$$C = g / \sqrt{2 g(H - p/w_0)} \quad \text{---(2)}$$

ここに C : 流量係数
Q : 流入量 (m^3/sec)
g : 重力加速度 ($9.8 \text{ m}/\text{sec}^2$)
H : 貯水位(m)
 p/w_0 : 塔内の圧力水頭(m)

流量係数は空気孔の大きさや塔内天井高による変化はみられずほぼ一定値を示し、その平均値は $C \approx 0.95$ となる。また滞砂による影響もみられなかった。

実際の設計では負圧の発生に対して、コンクリートの許容し得る安全な最低圧力として一般に約 $-0.3 \text{ kg}/\text{cm}^2$ (水頭に換算すると約 -3 m) が

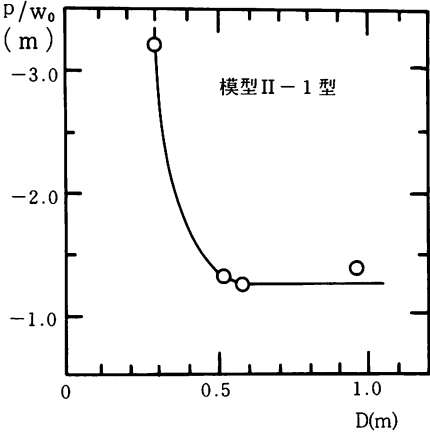


図-6 空気孔の大きさと瞬間最大負圧の関係

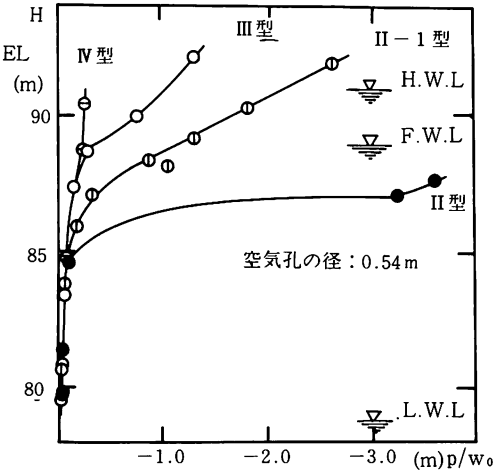


図-7 貯水位と瞬間最大負圧の関係

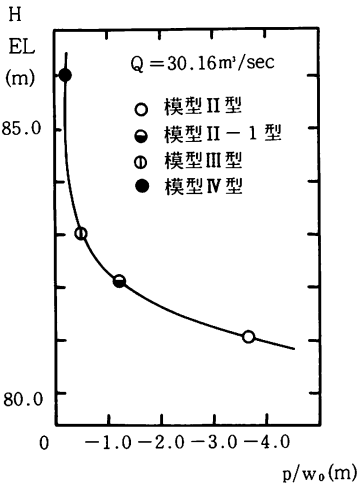
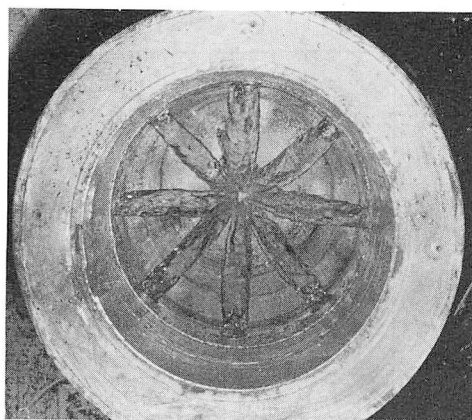
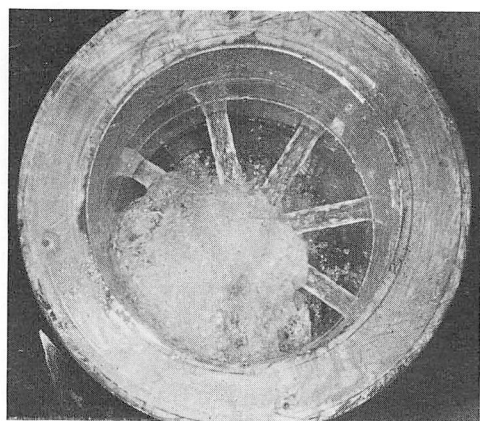


図-8 塔内天井高と瞬間最大負圧の関係



$Q=7.54\text{m}^3/\text{sec}$



$Q=22.62\text{m}^3/\text{sec}$

写真-2 流入水脈の流況

とられており、本実験においてもこの値を基準とした。空気孔の大きさと瞬間最大負圧水頭の関係を図-6に示す。空気孔を大きくすると負圧は減少するが、ある程度以上大きくしてもその効果はそれほど顕著ではなく、その際の空気孔の大きさは(1)式で求めた径0.43 mが一つの基準になると考えられる。

塔内天井高の変化に対する貯水位と瞬間最大負圧水頭の関係を図-7に示す。塔内天井高についても空気孔の大きさと同様天井高を高くすることにより負圧は減少し、IV型においては貯水位が上昇しても負圧の増加はほとんどみられない。またII-1型(空気孔の径:0.54 m)のH.W.Lの瞬間最大負圧水頭は-2 m程度で設計最低圧力水頭の-3 mを下廻っている。

流入量を一定にした場合の塔内天井高と瞬間最大負圧水頭の関係を図-8に示すように、II型からII-1型へと天井高を1.09 m高くすることにより負圧は大きく減少するが、II-1型からIV型へ3.90 m高くしてもそれほど顕著な減少を示さない。

オリフィスから流入する水脈は、写真-2に示すようにほぼ均等に流入し、流入量 $7.54\text{m}^3/\text{sec}$ 付近で互いに衝突をはじめ、衝突後水脈は盛り上りを見せる。貯水位と水脈の盛り上り高の関係を図-9に示す。流入量が増加すると盛り上り高は高くなり、貯水位EL.86 m(流入量: $25\text{m}^3/\text{sec}$)程度では約4 mになりIII型の塔内天井高とほぼ同じ高さまで盛り上る。

3. 3 塔下部、下流水路およびスキージャンプ式減勢工の流況

II型、II-1型、III型およびIV型の塔上部の改

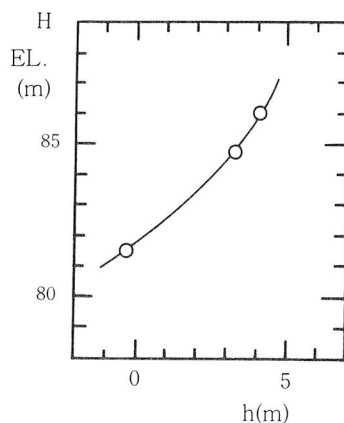


図-9 貯水位(H)盛り上り高(h)の関係

良による塔下部の流況は特に変化せず、各模型ともほぼ同じである。

動水圧は流入量 $7.54\text{m}^3/\text{sec}$ および $15.08\text{m}^3/\text{sec}$ において塔中央部付近に発生し、流入量 $22.62\text{m}^3/\text{sec}$ 以上においては動水圧はほとんど見られなかった。また流入水脈が互いに衝突する直前付近の流入量が $7.54\text{m}^3/\text{sec}$ が最も動水圧が大きく、流入量が増加するに従い衝突による減勢および塔内の水位の上昇によって動水圧は減少する。底上げを行い水クッション深さを約半分にしたVI型およびVII型は、流入量 $7.54\text{m}^3/\text{sec}$ および $15.04\text{m}^3/\text{sec}$ において動水圧はII-1型より大きな値を示すが、流入量 $22.62\text{m}^3/\text{sec}$ 以上においてはII-1型と同じようにほとんど動水圧は見られなかった。狭窄部を取除いたV型およびVI型は狭窄部を取り付けたII-1型およびVII型に比べ、動水圧があらわれる範囲は広がりがつその値は大きくなる。流入量 $7.54\text{m}^3/\text{sec}$ および $30.16\text{m}^3/\text{sec}$ の

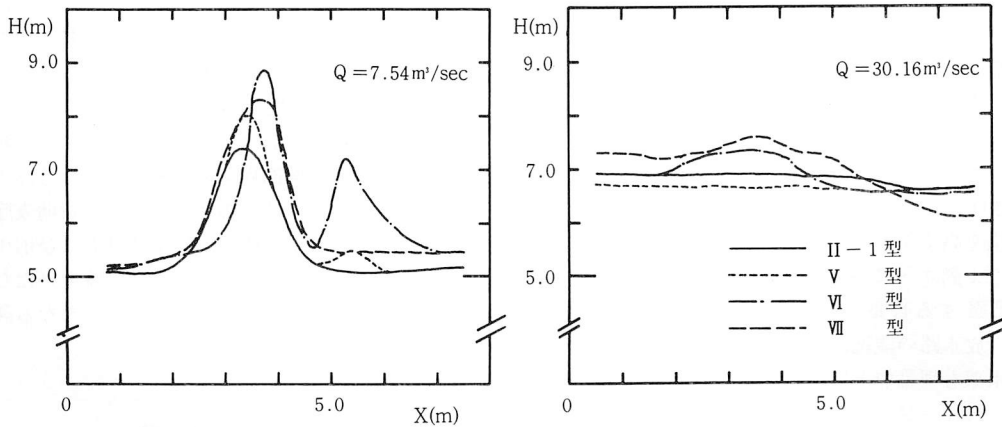


図-10 塔下部の圧力水頭(塔中央;X=3.5m)

圧力水頭図を図-10に示す。

静水圧の水頭は設計時の計算水位とほぼ等しいが、実際の水位は空気混入等により水位は上昇し計算水位よりも大きな値を示す。塔下部の流況を写真-3に示す。

塔内の水位の上昇により狭窄部付近の水路の一部は管水路の状態になるが、放水路始点付近では設計時の計算水位とほぼ等しく、その流況についても特に問題となる点は見られなかった。

流入量とスキージャンプの飛距離の関係は図-11に示すように、実測値は理論値より多少小さな値となる。下流河川に対しても特に問題はない。

4. 結 論

以上の模型実験より明らかになった点を列記すると次の通りである。

- (1) 孔径 0.6 m, 長さ 1.5 m のオリフィスで、出入口に径の 0.3 倍の $\frac{1}{4}$ 円弧の隅取りを行った場合の流量係数の値は $C = 0.95$ 程度となる。
- (2) 貯水位と流入量の関係は平均負圧を考慮した値 $H - p/w_0$ を用いると理論値にはほぼ合致し、負圧を減少させることにより貯水位は理論値により近づけることができる。
- (3) 負圧と空気孔の大きさとの関係をみると孔径 0.3 m では危険となるが孔径 0.54 m, 0.6 m および 1.0 m では安全側にあり径の大きさによる変化はほとんどない。
- (4) 負圧と塔内天井高の関係については、II-1 型 (EL.82.106 m) の時に最大負圧について許容される限度内にあり一つの限界点と思われ、さらに天井高を高くすることにより負圧はより小

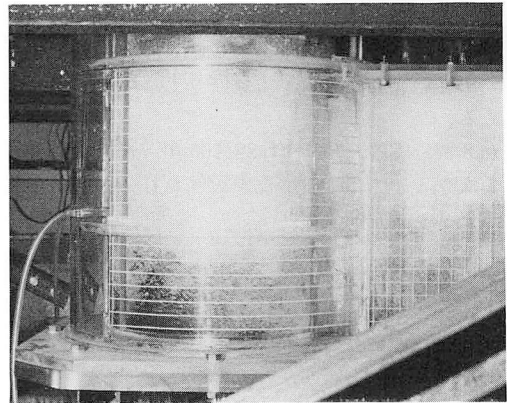
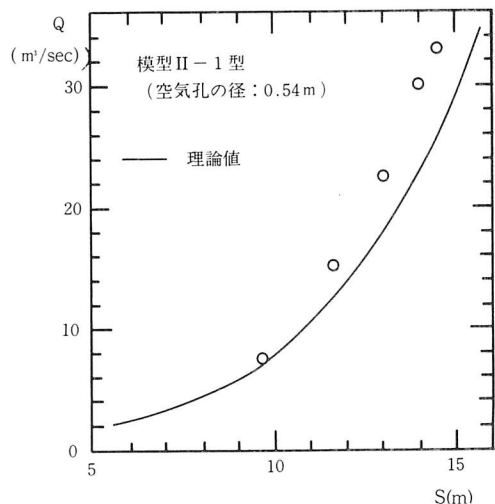
写真-3 落下水派の流況(水クッション部)
 $Q = 30.16 \text{ m}^3/\text{sec}$ 

図-11 流入量とスキージャンプ飛距離の関係

さくなる。

- (5) 滞砂による流入量、流量係数および負圧の影響は特でない。
- (6) 狭窄部を取除くと動水圧の生ずる範囲は広がりその値は多少大きくなる。
- (7) 水クッションの深さを3 m底上げすると動水圧は増大する。このため狭窄部を設け塔内水位を高くすることが望ましいが、設計にあたっては動水圧に対する塔底部の強度について十分考慮する必要がある。
- (8) 放水路の流況については特に問題はなくその水深も理論値とほぼ一致している。
- (9) スキージャンプの流況は馬蹄形から矩形への断面急変により水面形は両岸が盛り上っているが特に問題はなく、飛距離は理論値より多少小さい。
- (10) オリフィスからの流入水脈は7.54 m³/sec程度で塔中央において衝突しはじめ、流量を増すに従い火脈の衝突による盛り上り高は大きくなる。

が8個、塔内天井高EL.82.106 m、水クッションの深さ4.423 mで狭窄部を設けたII-1型の空気

孔の径0.54 mが許容される最低限度と思われ、天井高を上げるとさらに安全側となる。II-1型のF.W.Lの流入量は31.2 m³/sec、H.W.Lの流入量は35.2 m³/sec程度である。

本実験を行うにあたって御指導、御助言を賜った北海道大学農学部片岡隆四教授に深く感謝する次第である。また種々御便宜を賜った留萌支庁耕地課苜部課長、小沢係長、増田技師および前山技師に、また模型実験、データ整理に協力いただいた本校土木工学科7期生学生諸君に深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 農林省農地局;土地改良事業計画設計基準
- (2) 土木学会;水理公式集
- (3) 石原藤次郎, 本間 仁;応用水理学
- (4) 片岡隆四, 梅田安治, 桜田純司, 長沢徹明;小沢ダム洪水調節放水工報告書, 昭和51年3月
- (5) 石川忠晴;自由落下減勢工の水理機能(1), (2), 土木技術資料 Vol.21, No.6, No.12, 1979年

(昭和55年11月29日受理)