

土 木 研 究 所 資 料

既設高圧スライドゲートの部分開放流に関する調査報告書

昭 和 57 年 4 月

建 設 省 土 木 研 究 所

ダム部ダム水工研究室

Copyright ©1982 fiscal year by P.W.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor transland into a machine language without the written permission of the Director of P.W.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。
したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

ま え が き

本報告は関東地方建設局の依頼により、五十里ダムに設置されている洪水調節用放流管についてその改造計画案を策定するために実施された「五十里ダム水理模型実験」（昭和55年度）の検討内容およびその結果をとりまとめたものである。

本報告書の作成にあたっては「五十里ダム水理模型実験」に加えて下記の4冊の報告書を参考としている。

- 1) 「五十里ダム放水管高圧スライドゲート半開操作の可否に関する検討書」昭和34年3月 建設省土木研究所
- 2) 「田瀬ダム放水管ゲート半開放流の可能性に関する検討」昭和43年3月 建設省土木研究所
- 3) 「田瀬ダム放水管のゲート半開放流に関する調査」昭和51年12月 建設省土木研究所
- 4) 「田瀬ダム放水管ゲート戸溝形状に関する調査」昭和53年3月 建設省土木研究所

昭和57年4月

建設省土木研究所
ダム部ダム水工研究室

目

次

ま え が き

1. 調 査 目 的	1
2. 五十里ダム放流管および田瀬ダム放流管の形状	2
3. 調査内容（従来の研究について）	5
3.1 五十里ダム放水管高圧スライドゲート半開操作の可否に関する検討書	5
3.2 田瀬ダム放水管ゲート半開放流の可能性に関する検討	5
3.3 田瀬ダム放水管のゲート半開放流に関する調査	5
4. 調査内容（五十里ダム水理模型実験）	12
4.1 実 験 目 的	12
4.2 実 験 結 果	13
4.2.1 貯水位の換算法	13
4.2.2 模型の縮尺効果	15
4.2.3 改造放流管の水理特性	16
4.2.4 ゲート下流断面形状遷移部の水理特性	25
5. 結 論	37
5.1 概 要	37
5.2 曲 管 部	37
5.3 直 管 部	38
5.4 ゲート下流断面形状遷移部	39
5.5 ゲ ー ト 部	39
5.6 ゲート上流部	39

1. 調 査 目 的

五十里ダムは洪水調節、かんがい補給及び発電を目的とする多目的ダムとして、鬼怒川左支川男鹿川に建設された重力式コンクリートダムであり、昭和32年に完成している。洪水調節はクレストローラゲート3門及び放流管1条を用いてダム地点での洪水流量 $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ を $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ に軽減しようとするものである。放流管には高圧スライドゲートが設置されており、洪水初期に全開・全閉操作により、 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度の放流を実行する計画となっている。

しかし、洪水初期に使用出来る唯一の洪水調節用設備である放流管の放流量は零または $100 \text{ m}^3/\text{s}$ の2量しか与えられず、しかも両者に極端な差があるため貯水位の維持が非常に難しく、さらに下流河道の水位上昇の観点からも管理上大きな問題となっている。

このため、この放流管を改造してゲートの部分開放流が可能な形状とし、管理上の問題点を解決しようとする要望があり、その技術的問題点を水理学的観点から明らかにするために土木研究所において水理模型実験を中心とする調査を実施したものである。

なお、まえがきに示される参考文献1)及び2)は五十里ダム放流管と田瀬ダム放流管についての部分開放流の実測調査報告書であり、放流管等の改造を行わずに現形状でのゲートの部分開放流の可否を検討したものである。

2. 五十里ダム放流管および田瀬ダム放流管の形状

五十里ダム放流管は図1に示される形状となっており上流から下流へ向って下記の部分で構成されている。

- a) 呑口ベルマウス部（一部直管を含む）
- b) ゲート上流側形状遷移部（円断面から角断面への遷移）
- c) ゲート部
- d) ゲート下流側形状遷移部（角断面から円断面への遷移）
- e) 下流直管部
- f) 曲管部

田瀬ダム放流管の形状は図2に示されるもので、五十里ダム放流管と同様上記 a)～f) の部分で構成されほぼ同形状となっている。

両者の主要諸元を表1に比較して示す。

表1 五十里ダム放流管と田瀬ダム放流管の比較

	五十里ダム	田瀬ダム
① 呑口標高	5 4 5 m	1 7 3.7 0 6 m
② 吐口標高	5 3 9.0 7 6 m	1 7 0.6 m
③ 標高差	5.9 m	3.1 m
④ 呑口断面積	1 3.9 6 7 m ²	9.2 6 2 m ²
⑤ 直管部断面積	5.2 6 9 m ²	5.2 6 9 m ²
⑥ 吐口断面積	4.1 0 7 m ²	4.4 7 7 m ²
⑦ 断面積比	7 8 %	8 5 %
⑧ 直管部長さ	1 6.4 9 6 m	1 8.8 8 3 m
⑨ 曲管部曲率半径	2 1.0 9 1 m	1 9 m

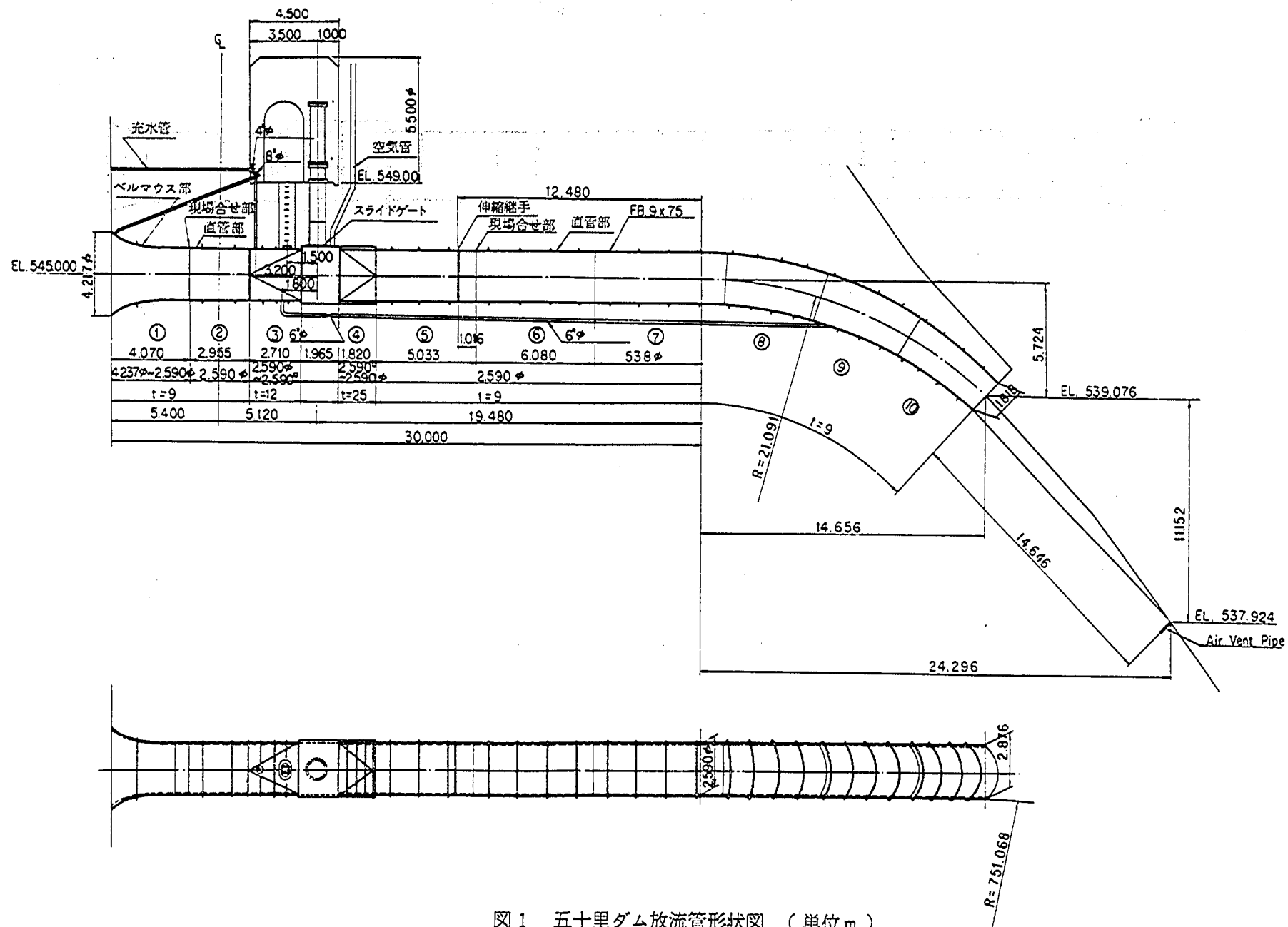


図1 五十里ダム放流管形状図 (単位 m)

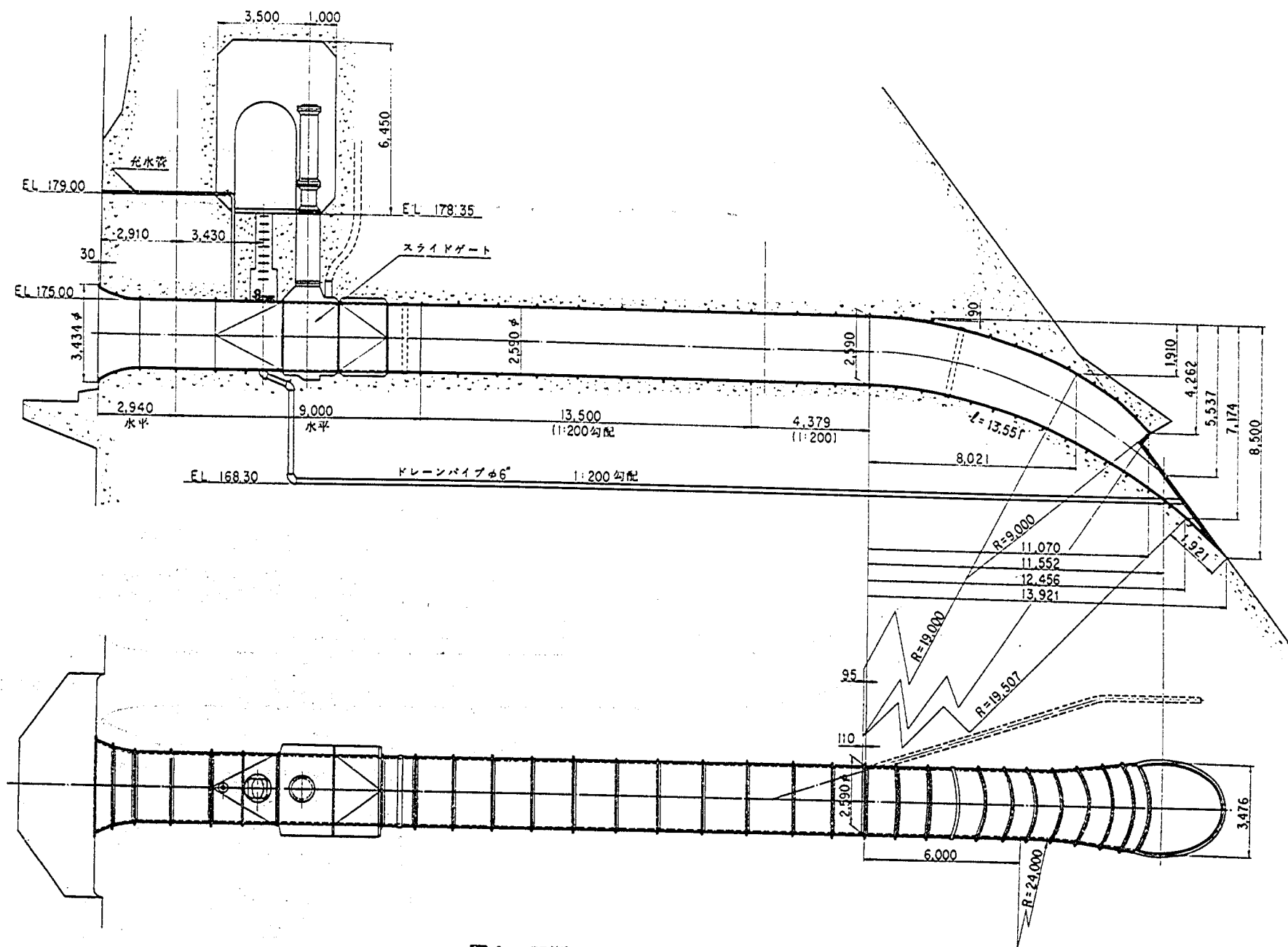


図2 田瀬ダム放流管形状図(単位m)

3. 調査内容（従来の研究について）

3.1 「五十里ダム放水管高圧スライドゲート半開操作の可否に関する検討書」

本検討書は五十里ダム放流管を使用して $1 \text{ m}^3/\text{s}$ の部分開放流が可能か否かを実測を中心として検討したものである。この $1 \text{ m}^3/\text{s}$ の放流は五十里ダムが川治温泉をひかえ観光地として著名な所であるため、常時水を流して美観を損わないようにするとともに河道の汚水を流送して衛生上の効果を期待するためのものである。

本検討書は参考資料 1 として巻末に抜粋して掲載してあるが、その結果を要約すると以下の様になる。

- 1) ゲート開度が 4 % 以下（開きが約 10 cm 以下）ならばゲート室内の圧力降下量は 3 m 水柱以下である。（作用水頭 40.3 m）
- 2) ゲート開度が 10 % 以下ならば放流管が途中で満水することはない。（作用水頭 40.3 m）
- 3) 給気管入口の損失を減少させるための適当な処置を講じること。

上記の事実から、貯水位が常時満水位付近であれば、ゲート開度が 10 % 以下ではゲート下流管路は満管状態とはならず、ボア（逆流吹上げ現象）が発生する恐れはない。また、この程度の開度でも流水による空気連行は顕著であり、ゲートの部分開放操作を考えるならば給気管の径を大きくすることは絶対的な必要条件であることが理解される。

3.2 「田瀬ダム放水管ゲート半開放流の可能性に関する検討」

本検討書は田瀬ダム放流管の高圧スライドゲートの部分開操作が安全に行えるか否かを実測を中心として検討したものである。田瀬ダムには洪水調節のために 4 条の放流管が設置されているが、中小洪水あるいは洪水初期の流量調節時には 1 条だけが全開となる状態で放流することになる。このため、水叩き内に不均一に流下した水脈が平面渦を発生させ水叩き内に下流河床の砂利を巻き込んで水叩き底面に損傷を与えている。このため水叩きに対して左右対称な放流を行い渦流の発生を防止するためにゲートの部分開放流が必要となり、この検討が行われたものである。

本検討書は参考資料 2 として巻末に抜粋して掲載してあるが、その結果を要約すると以下の様になる。

- 1) ゲート開き 20 cm（開度 8 %）以下、ゲート開き 200 cm（開度 77 %）以上であれば放流管内の圧力降下量は 2 m 水柱以下である。（作用水頭 35.5 m）
- 2) 振動測定の結果からゲート開きは 20 cm 以下に制限することが好ましい。

3.3 「田瀬ダム放水管のゲート半開放流に関する調査」

本調査は前節の 2 つの実測による検討の成果を踏まえて、ゲート下流へ空気を供給する給気管の機能を増強する改造によりゲート半開放流が可能となる流量範囲を検討するために実施されたものである。この調査は縮尺 1/20 の透明アクリル製の田瀬ダム放流管模型を用いて水理実験により行われたもので壁面の

作用圧力の測定及び管内の流況観察が実施されている。

本検討書は参考資料 3 として巻末に実験データを抜粋して掲載してあるが、その結果を要約すると以下の様になる。

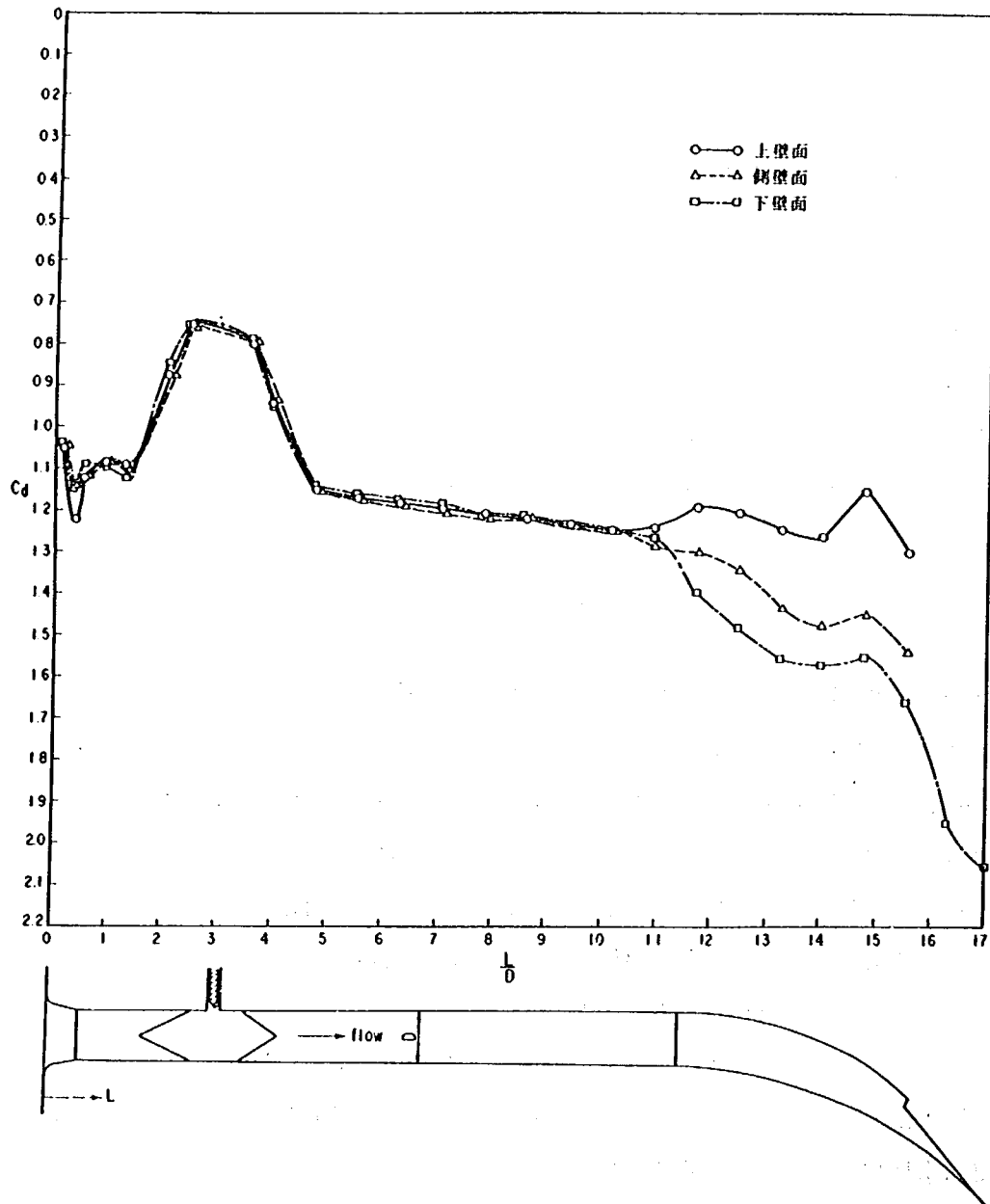
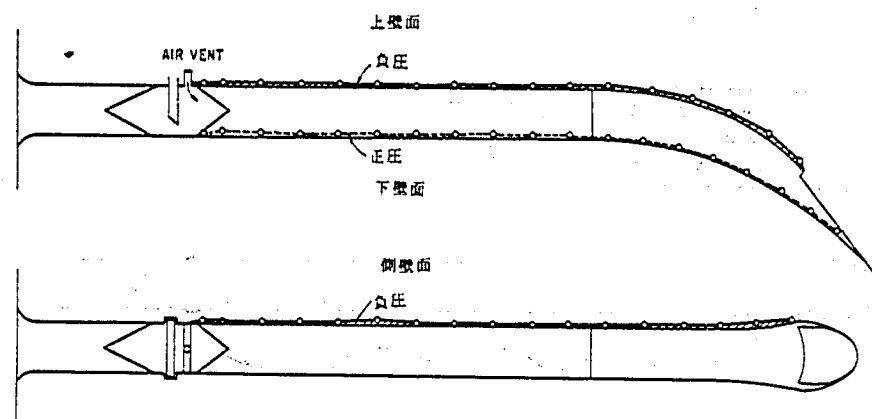
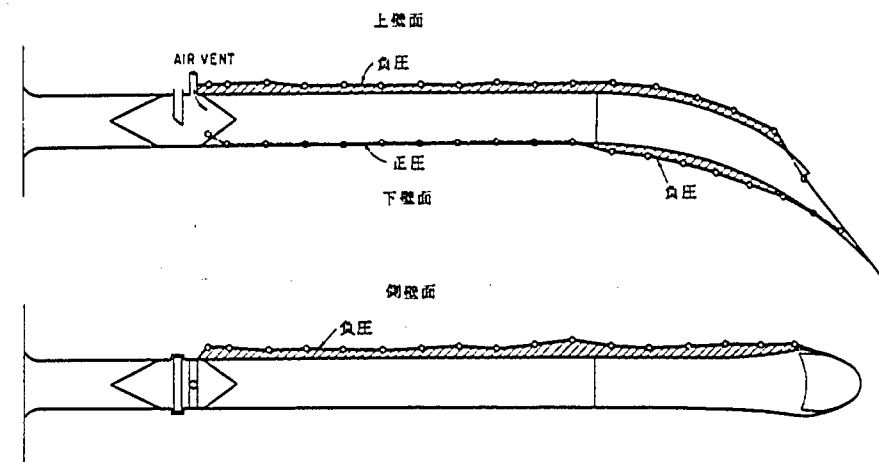


図 3 田瀬ダム放流管圧力分布（圧力降下係数）



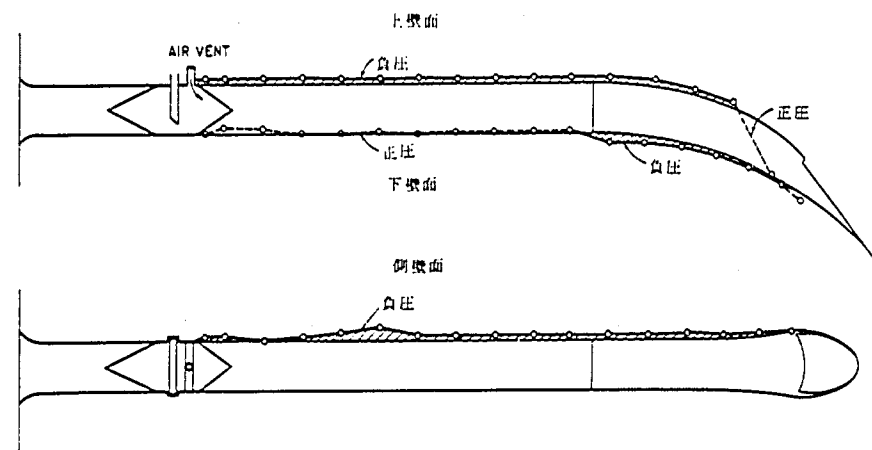
PRESSURE
SCALE
0 -5 -10 $\frac{1}{m^2}$

G = 19.2 % (0.5m)
EL = 193.33m (L.W.L.)
Q = 15.85 m^3/sec



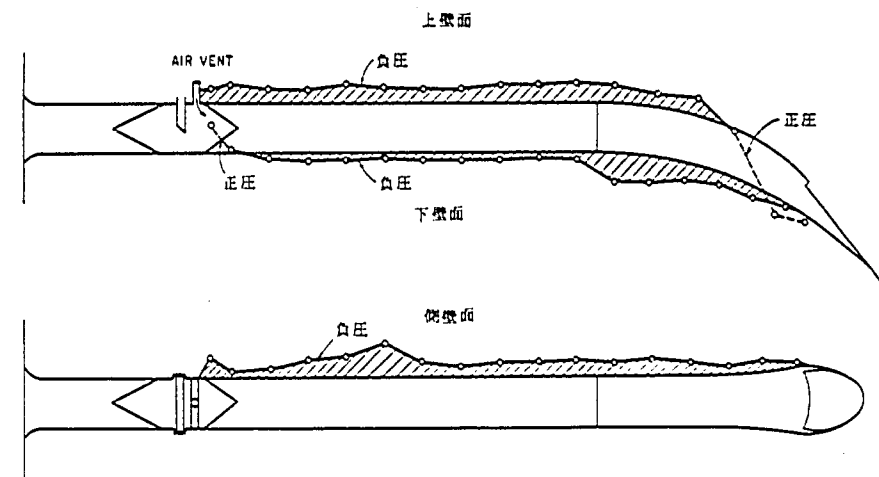
PRESSURE
SCALE
0 -5 -10 $\frac{1}{m^2}$

G = 38.5 % (1.0m)
EL = 190.49m (L.W.L.)
Q = 33.18 m^3/sec



PRESSURE
SCALE
0 -5 -10 $\frac{1}{m^2}$

G = 19.2 % (0.5m)
EL = 214.93m (H.W.L.)
Q = 24.81 m^3/sec



PRESSURE
SCALE
0 -5 -10 $\frac{1}{m^2}$

G = 38.5 % (1.0m)
EL = 215.37m (H.W.L.)
Q = 51.43 m^3/sec

図4 田瀬ダム放流管模型管内圧力分布(1)

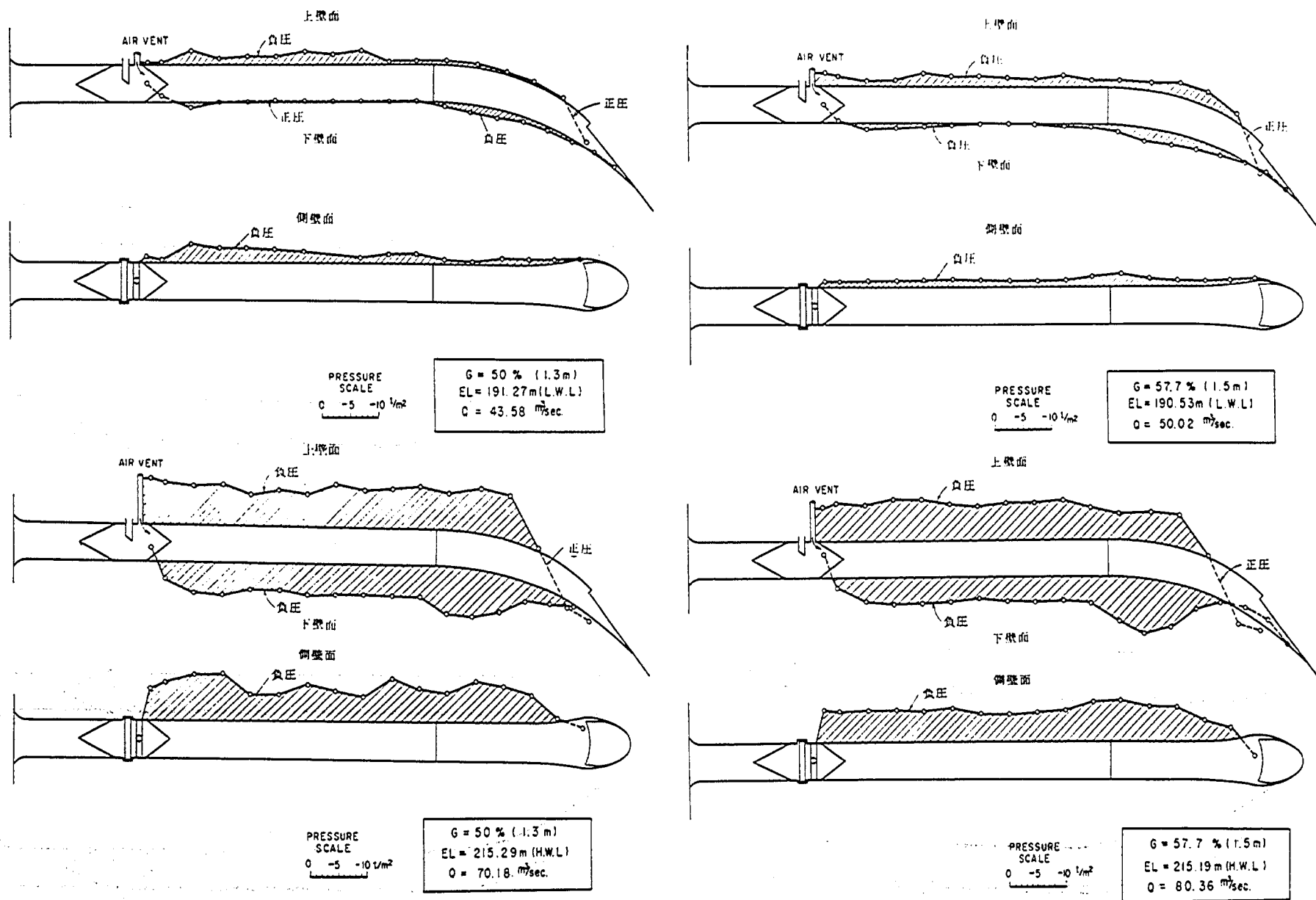
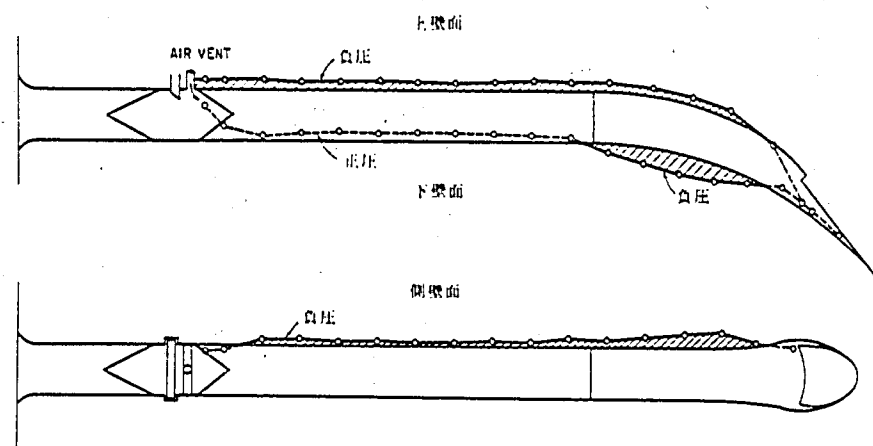
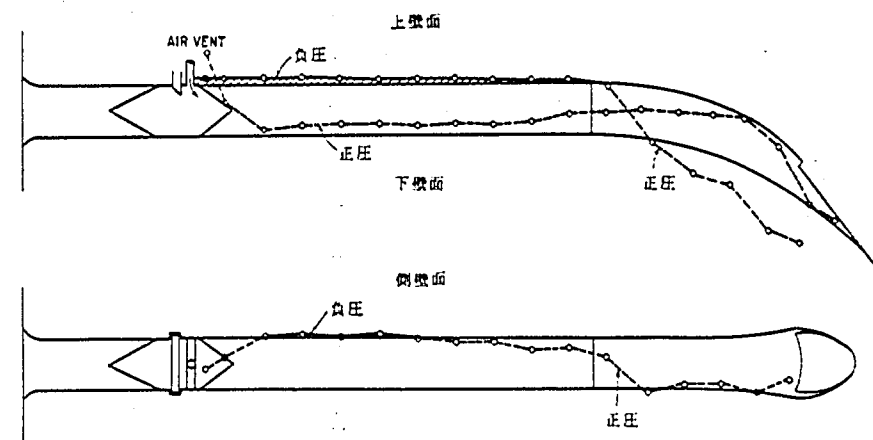


図4 田瀬ダム放流管模型管内圧力分布(2)



PRESSURE
SCALE
0 -5 -10 $\frac{1}{m^2}$

G = 76.9 % (2.0m)
EL = 190.17m (L.W.L.)
Q = 66.92 $\frac{m^3}{sec}$



PRESSURE
SCALE
0 -5 -10 $\frac{1}{m^2}$

G = 76.9 % (2.0m)
EL = 214.89m (H.W.L.)
Q = 105.08 $\frac{m^3}{sec}$

図 4 田瀬ダム放流管模型管内圧力分布(3)

1) ゲート全開時における管路内の圧力

ゲート全開時における管路内の圧力分布を貯水位が最低水位（水頭 16.3m）からサーチャージ水位（水頭 41.3m）までの 6 ケースについて調査した。管路内の圧力分布は次の圧力降下係数 C_d を用いて無次元化表示出来る。

$$C_d = \frac{H-P}{V_0^2 / 2g}$$

ここで、 H は直管部中心を基準とする貯水頭高(m)， P は直管部中心を基準とするピエゾ水頭高(m)， V_0 は直管部の断面平均流速 (m/s)。

前記 6 ケースについて求めた圧力降下係数を各測定ごとに平均し、それを各点の代表値として示したものが図 3 である。この圧力分布は後に、五十里ダム水理模型実験に際して、換算貯水位を求める時に利用する。この圧力分布からは、a) ベルマウス終端付近の圧力降下、b) ゲート部近傍の断面拡大による圧力増加、c) 曲管部の曲りの影響（影響範囲は直管部下流端から管径程度上流まで）の事実が理解される。

2) ゲート部分開放時における下流管路内の圧力

ゲート部分開放時の下流管路内の圧力はゲート開度や有効水頭によって異なってくる。また、下流管路への給気量の違いによってもかなり影響を受ける。しかし気液二相流に関しては未だ確立された相似性がなく模型実験において原型と対応する給気量を設定することは出来ないで、まず給気管の断面積を模型と同じ縮尺（ただし長さは零）として下流管路内の圧力分布を求めている。管内圧力分布の一例を図 4 に示す。目視による流況観察によると、ゲート開度がおおよそ 20% で放流管吐口は流水で満たされ、大気と遮断されるが給気管からの空気量が十分であるため 20% 以上の開度でも管内の流況は安定した開水路流となっている。このとき空気連行は曲管部の閉塞部分で顕著であり、支配的である。管内の圧力はゲート開度の増加とともに降下し、50% 程度で最も降下するが、ゲート開度～圧力降下量の変化は比較的ゆるやかである。開度が 80% で満管状態（水頭 41.3 m 時、水頭 16.3 m 時は 88.5 %）となり、管内の圧力はほぼ大気圧となる。満管状態となる直前には曲管部の閉塞部分が急激に上流に移動し、ゲート直下で跳水を発生させることとなり、空気連行はこの部分で生じることになる。図 5 にはゲート部分開放時ゲート下流直管部に生じる最低圧力とゲート開度との関係を示す。

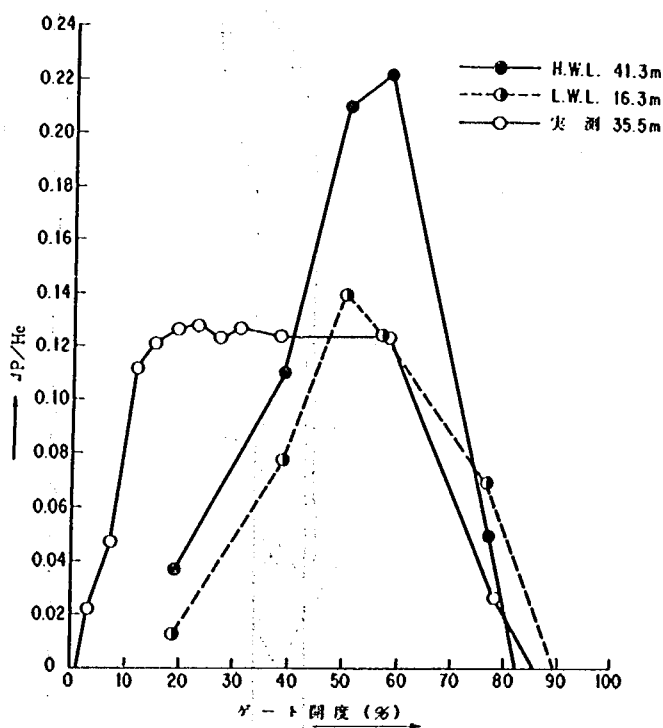


図 5 ゲート下流部の最低圧力

3) 給気管の効果

給気量の違いによる圧力及び流況の変化を調査するために給気管の径を変化させて水理実験を実施している。

給気管の断面積を2倍、4倍と増した場合、図6に示す様に下流直管部の最低圧力は大気圧に近づくこととなるが流況に変化は認められない。

一方、給気管の断面積を原型の $1/2$ 倍とした場合には、開度20%程度以下では安定した開水路流となるが、開度38%になると流れの状態は急激に変化する。すなわち、管内の圧力がある値より低下すると直管部の中央あたりから管全断面が白濁するような空気混入流となり、給気量も急激に増加する。また管内の圧力もこのゲート開度で急激に降下する。開度が57%になると白濁の度合いが減少し圧力も上昇する。この給気管断面積の場合も水頭41.3 mでは開度80%で管内の圧力はほぼ大気圧となる。

さらに、給気管の断面積を原型の $1/3$ 倍とすると開度11%で流れの状態は開水路流から空気混入流へ急激に変化し管全体が白濁する。開度が38%になると流れは白濁の度合いをさらに増し圧力降下量が最も大きくなる。開度が77%に達しても流れは空気混入流となっているが管内の圧力は上昇する。開度が80%では満管状態となり管内の圧力はほぼ大気圧となる。

以上の水理模型実験の結果から、田瀬ダムの放流管では給気管の径を1 m程度（管内の圧力を-1 m以内にすることを目標として）に拡大したとしても、少なくともゲート開度20%～80%での使用は不可能であると結論付けられている。また、10%以下で使用するにしても、ゲート戸溝周辺、ゲート直下の断面遷移部および下流直管部曲管部の凹凸等の形状に対する詳細な検討が必要である。

3.4 田瀬ダム放水管ゲート戸溝形状に関する調査

本調査は田瀬ダム放流管に採用されているゲート戸溝形状と米国で流量調節用主ゲートとして使用実績の多いスライドゲートの戸溝形状との水理機能を比較検討して田瀬ダム高圧スライドゲートの部分開放操作に係る問題点を明示する目的で先の「田瀬ダム放水管のゲート半開放流に関する調査に引き続いて実施されたものである。

本検討書は参考資料4として巻末に掲載してあるが結論までは言及されていない。これは水理実験が2次元の部分模型を用いて実施されており、流れの3次元性による影響度合いについて結論づけられなかったことによるものである。

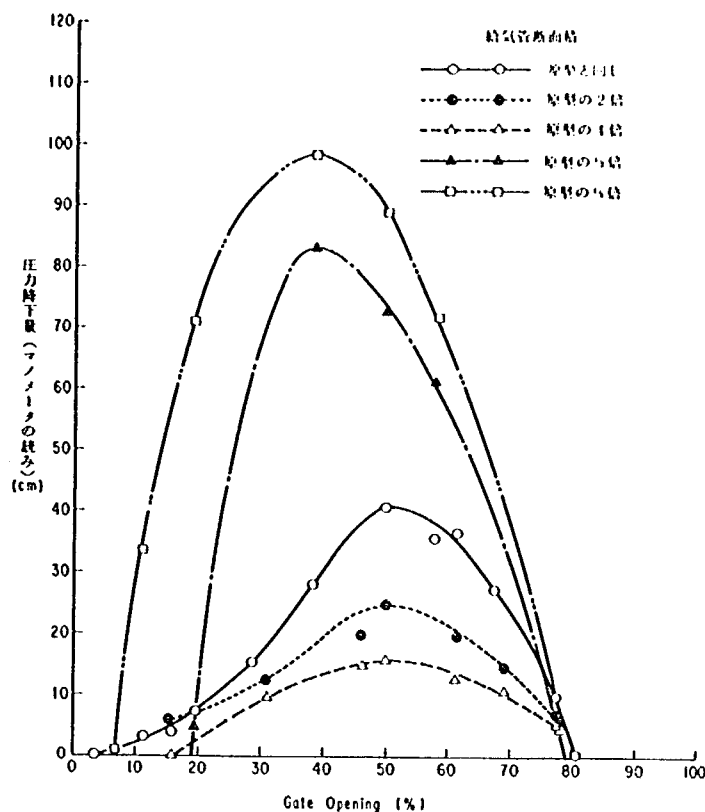


図6 給気管の断面積の違いによる圧力降下

4. 調査内容（五十里ダム水理模型実験）

4.1 実験目的及び実験方法

前述の参考文献 1) 2) 3) 4) の結果、五十里ダム放流管については以下の事項を踏まえて改造案を水理実験により検討することとする。

- 1) 現在の高圧スライドゲートを主ゲートとして使用する。
- 2) 高圧スライドゲートの下流には十分な給気を行い、安定した開水路流として放流する。

項目 1 の対案としては放流管吐口の曲管部分の改造を行い、その下流端に流量制御用のゲートあるいはバルブを設置し、現在の主ゲート（高圧スライドゲート）を副ゲートとして利用する案が考えられる。この対案の問題点はゲート・バルブ等の据付工事における施工の難しさであり、水理的な意味での問題点はほとんどないと判断されたので今回の水理実験の対象とはしなかった。

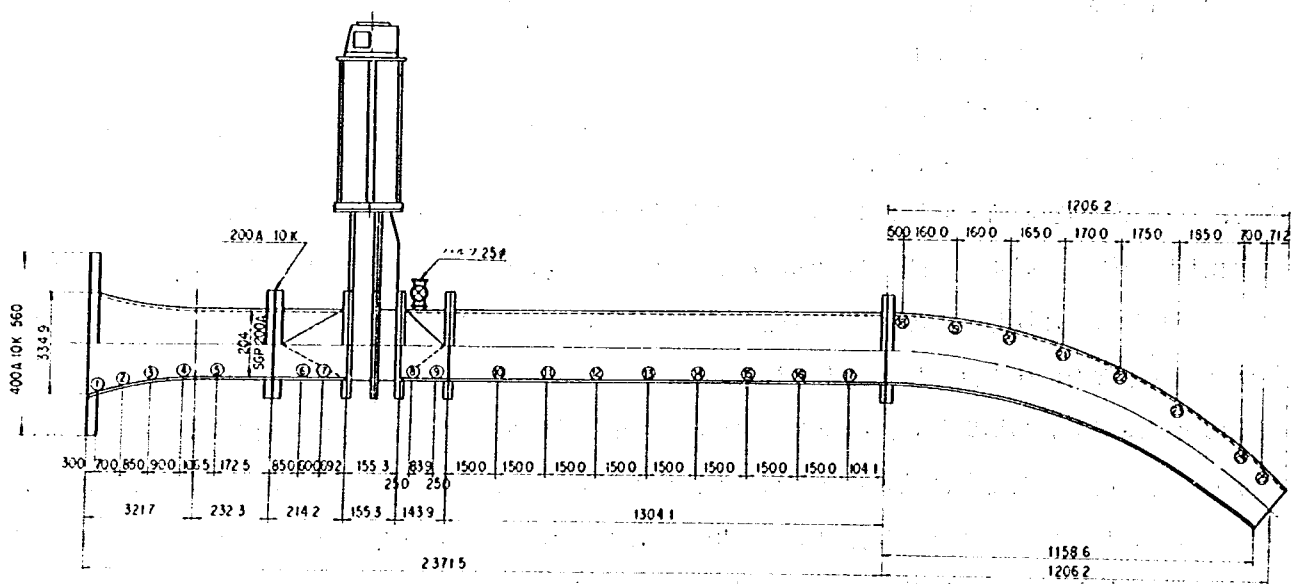


図7 五十里ダム放流管模型概要図（単位mm）

実験は放流管の各部分について、その必要性及び改造の可能性に対する検討のための資料を入手する目的で実施した。

実験には縮尺約 $1/12.7$ の模型を使用し基本的にはフルードの相似則が適用出来るものとしている。しかし、高速流現象に関与する空気連行現象が実流速の値に大きく影響されるため、その効果を含めて検討するため実験模型は高速流実験装置（最大吐出圧 5 kg/cm^2 ）に設置した。なお、この装置を使用した場合、

模型をポンプの吐出管に直接接続することになるので貯水池と見なせる部分は存在しない。

このため、ベルマウス下流端部の圧力値から貯水頭を換算した。

実験は主として以下の項目について行った。

- イ) 現在の放流管形状における管内圧力分布の測定（ゲート全開）
- ロ) 現在の放流管形状におけるゲート下流管路内の流況調査（ゲート部分開放時）
- ニ) 曲管部を除去した放流管形状における管内圧力分布の測定（ゲート部分開放時）
- ホ) ハ)の形状におけるゲート下流管路内の流況調査（ゲート部分開放時）
- ハ) 直管部及び曲管部を除去した放流管形状におけるゲート下流部の流況調査（ゲート部分開放時）

実験項目の内イ)は、田瀬ダム放流管の水理模型実験結果の圧力分布を用いて五十里ダム放流管の作用水頭を求めるための資料とするために行われたものである。実験項目ロ)は田瀬ダム放流管の水理模型実験結果と流況を比較し、模型縮尺の効果を検討するため行なわれたものである。また、実験項目ハ)ニ)ホ)はゲート下流管路の改造方法を検討するために実施するものである。

模型実験に際して行われた測定は圧力測定および流量測定であり、以下の方法によった。

- 1) 圧力測定 放流管模型に設置されたピエゾ管を硬質ビニール管で圧力変換器に接続し、その出力をミニコンを通して収集、解析を行った。
- 2) 流量測定 放流管模型上流に設置されている電磁流量計の出力値を用いた。

模型実験の測定量を原型に換算するには、フルードの相似法則に基づく表2による。

4.2 実験結果

4.2.1 貯水位の換算法

前節で述べた様に五十里ダム放流管水理実験で得られた実験資料を整理するためには作用圧力分布から放流管に作用する貯水頭を換算して求める必要がある。

田瀬ダムにおける圧力分布の実験資料（図3）と五十里ダムにおける圧力分布を比較検討すると、ゲート部

直上流の圧力値が安定しており、かつベルマウス上流部の管路（五十里ダムと田瀬ダムでは異なる）の影響がなくなっていると判断できる。このため、この位置で田瀬ダム模型と五十里ダム模型で圧力降下係数が等しいと仮定する。すなわち、五十里ダムにおける圧力分布の実験資料で図7および図9の第5断面の圧力降下係数の平均が1.11となる様に貯水位を逆算し求めることにする。図3及び五十里ダムの圧力分布である図8を比較すると上面、側面、下面の圧力降下係数が図8ではバラつきが若干大きく、全体的な分布も滑らかではない。

表 2

諸 量	比 較	模型の縮尺関係
長さ・水深・圧力	$1/m$	$1/12.89$
流 速	$1/n^{1/2}$	$1/3.59$
流 量	$1/n^{5/2}$	$1/596.5$

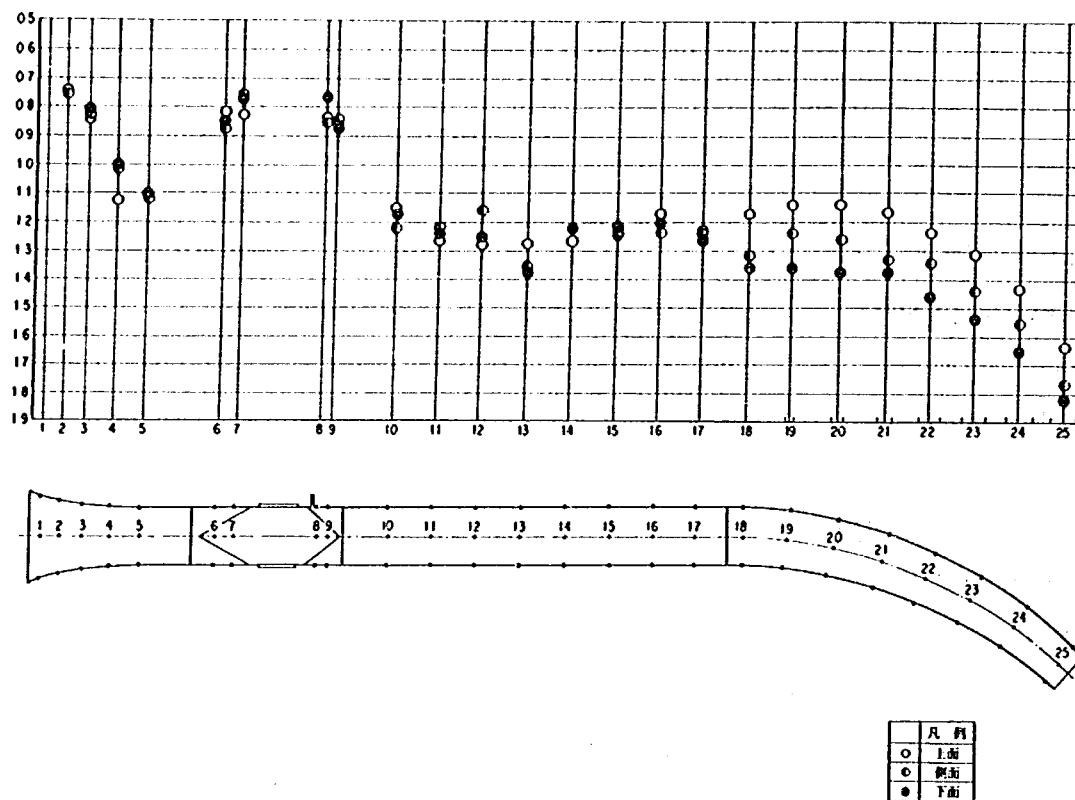


図8-1 五十里ダム原型放流管压力分布(压力降下係数)

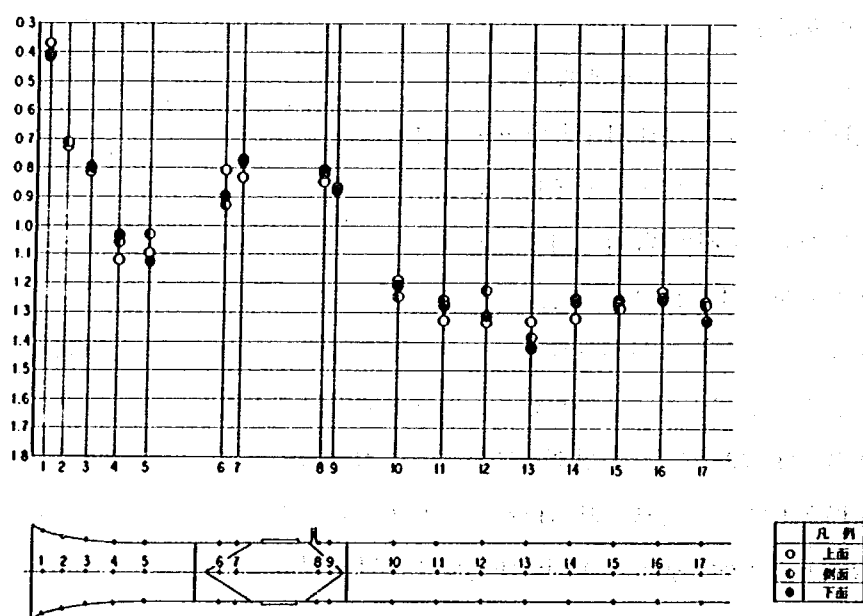


図8-2 五十里ダム改造放流管压力分布(压力降下係数)

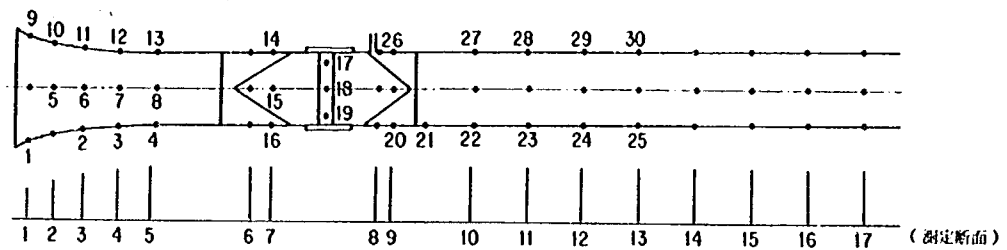


図9 圧力測定点位置図(圧力センサ番号)

これは模型が鋼鉄製であるため、アクリル製模型と比較して製作精度が悪くなっていることによる。

ゲート全開時の圧力基準点は第5断面としたがこの断面はゲート部分開操作時にはその影響を受ける可能性があるため、検討の必要がある。図10は図9に示す圧力測定点(センサ番号)の一部について作用圧力とゲート開度との関係を示したものである。圧力測定点14, 15, 16(図9での第7断面)がゲート開度の影響を強く受けているのに比較して圧力測定点4, 8, 13(図9での第5断面)はほとんど影響がない。このことから部分開操作

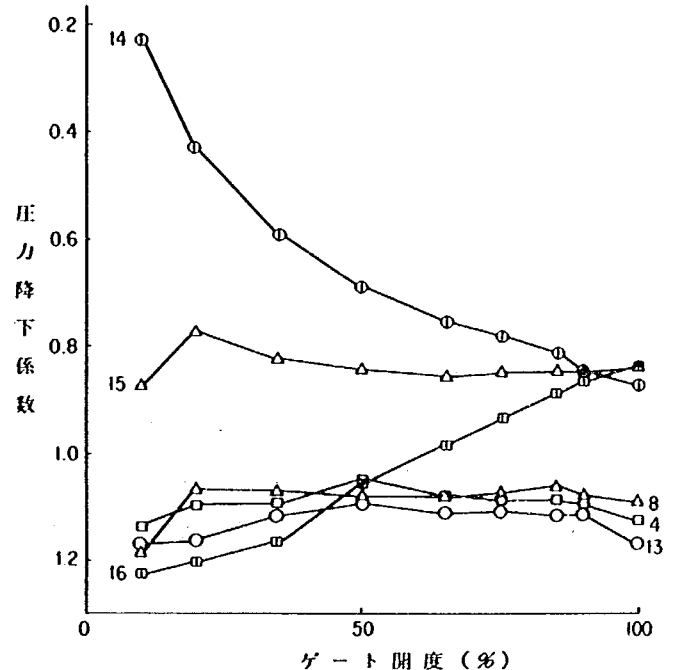


図10 圧力降下係数(第5, 7断面)

時でも第5断面の作用圧力の平均値を基準圧力値とし、貯水頭を換算しても十分な精度があると判断される。

4.2.2 模型の縮尺効果

田瀬ダム放流管水理模型実験に用いられた模型は縮尺 1/20、五十里ダム放流管の模型は 1/12.7 である。放流管の詳細形状については、ベルマウス部及び下流曲管部にはかなりの差異があるが、高压スライドゲート及びその下流直管部はほとんど同形状とみなすことができる。このため、ゲート部分開放時の下流管路内の流況については模型の縮尺効果の比較検討が十分可能であると考ええる。

写真1にその結果を示す。写真から判断するとどのゲート開度においてもゲート下流管壁沿いの水脈の跳ね上りの様子は両者ともほとんど同じであるが跳ね上った水脈に対する空気混入の度合いが五十里ダムでは格段に大きくなっている。(写真では水の白濁の程度で示されている)放流管実機では空気混入の度合いはさらに顕著になるものと考えられるが、全体的な流況パターンは模型実験とほぼ同様になるものと推察される。

一方、この範囲のゲート開度では曲管部での跳水現象に供う空気連行現象が卓越しており、田瀬ダム放

流管模型でもこの部分の空気連行が顕著であり、白濁しているため五十里ダムとの存異な差は写真から読み取ることとは出来ない。

4.2.3 改造放流管の水理特性（先端曲管部除去形状）

a) 放流管吐口からの通気

水理模型実験の結果によると五十里ダム放流管の現形状ではゲート開度が20%程度（貯水頭約40m）より大きくなると放流管吐口が流水で満たされゲート下流への給気は給気管のみに依存することになる。写真2-1はゲート開度10%の場合の流況を示したもので、給気管（模型では $\phi 25$ のストップ弁）の全開、全閉の状態を比較したものである。

写真より明らかなように、給気の有無にかかわらず管内の流況は一定である。尚、写真では先端曲管部が満管のように見えるが、実際には流れはそこではドーナツ状となっており管断面中央部からの給気が可能な状態である。ゲート開度20%では写真2-2に示されるように給気管の状態により流況は急変する。すなわち、給気管からの給気が断たれると管全体が大きな負圧の状態となり管内は完全に流水で満される。このとき写真では判断出来ないがゲート下流上面には渦が形成されている。現形状の放流管ではゲート開度がこれ以上大きくなっても管吐口からの通気は完全に遮断されている。

先端曲管部を除去した場合には上記の現象とはかなり異った状況となる。写真3-1～3-4に示すように、ゲート開度が20%～35%程度（貯水頭約40m）及び80%以上では管吐口からの給気が期待出来ない。逆にゲート開度が35%～80%では現形状の放流管とは異なり管吐口からの給気を期待することが出来る。ただし、これらの現象は貯水頭によりその境界が変化する。たとえば、写真3-2で示す様に同じゲート開度が35%であっても貯水頭が41mの場合は下流吐口からの給気が確保されているが、貯水頭が42mになると給気が遮断されることになる。

写真4はゲート開度30%、貯水頭約40mにおいて給気管を全開から急激に閉塞した時の流況の変化を示したものである。全開時には流れはほぼ安定した開水路の状態となっているが給気管の閉塞と同時に白濁した満管流となり、その後徐々に管内の気泡が流出して最終的には気泡の含まれない管路流となる。このとき、管路内部は全体に大きな負圧の状態となっている。

b) ゲート下流部の流れ

給気が十分に行われている場合、ゲート開度の小さな場合を除きゲート直下に見られる壁面沿いの跳ね上りは直管部下流端ではほぼ整流されて流出している。この状況は写真5-1～5-3に示されているがゲート開度の小さい場合は、ゲート下流形状遷移部で流れが完全に底面から剥離しており、そのまま下流端より吐出しているものである。ゲート開度が大きい場合は水重により押え込まれて底面からの跳躍は見られなくなるが、圧力測定により大きな負圧として検出される。尚、写真5-3で示されるゲート開度80%のゲート下流断面形状遷移部直下流（模型では接続フランジ直下流）の底面に白濁した部分が認められるが、これは圧力の非常に低い底面部分に開水路表面から空気が廻り込んだものである。

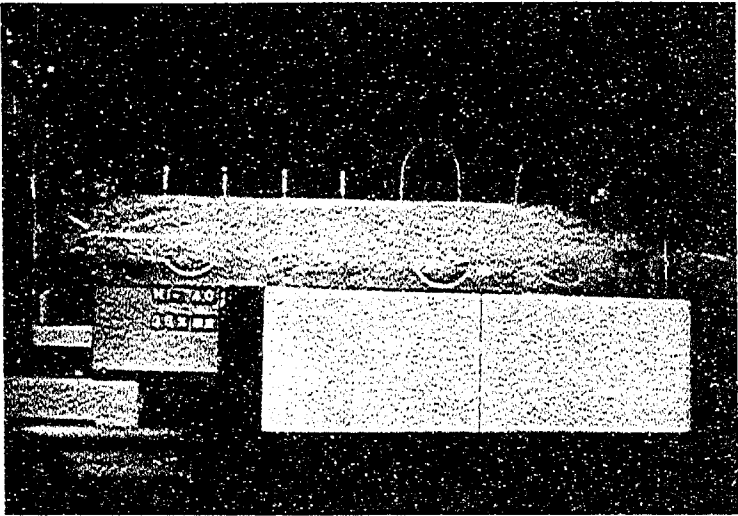
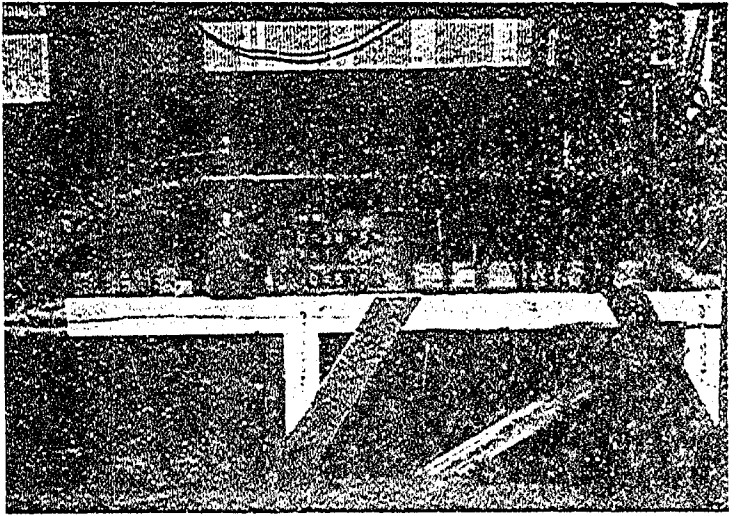
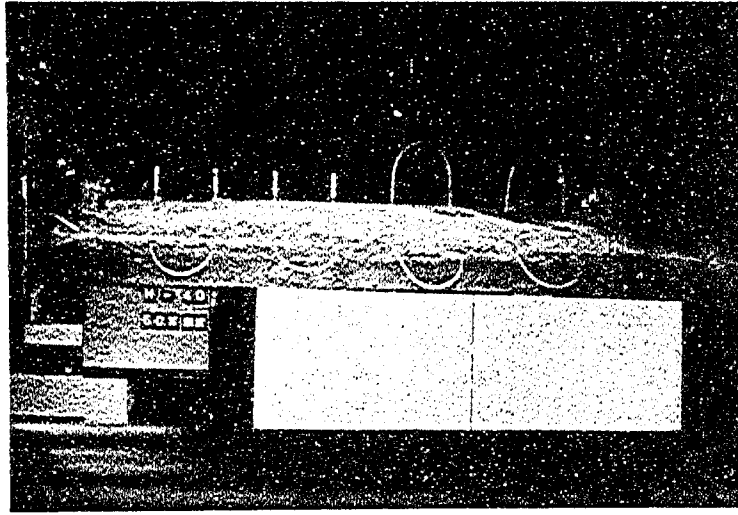
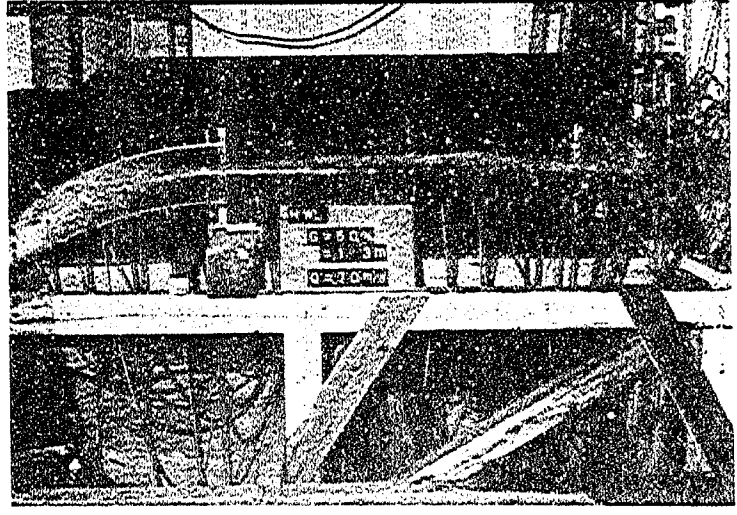
五十里ダム放流管模型	田瀬ダム放流管模型
ゲート開度 35% 	ゲート開度 38.5% 
ゲート開度 50% 	ゲート開度 50% 

写真1-1 模型の縮尺効果（貯水頭約40m）

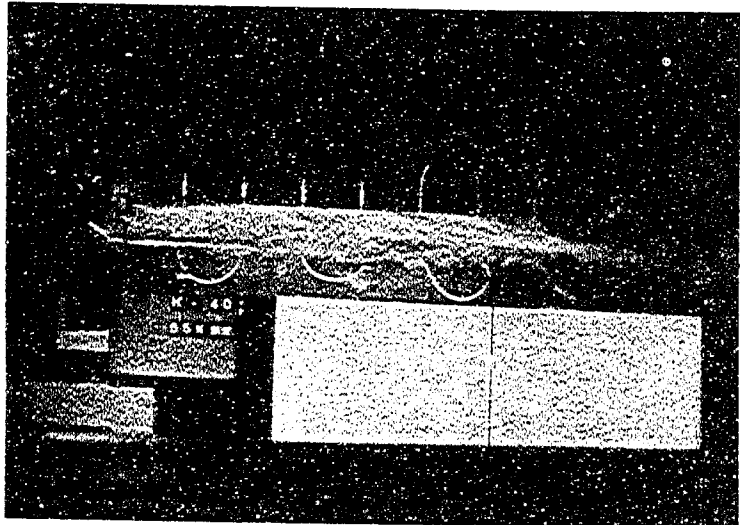
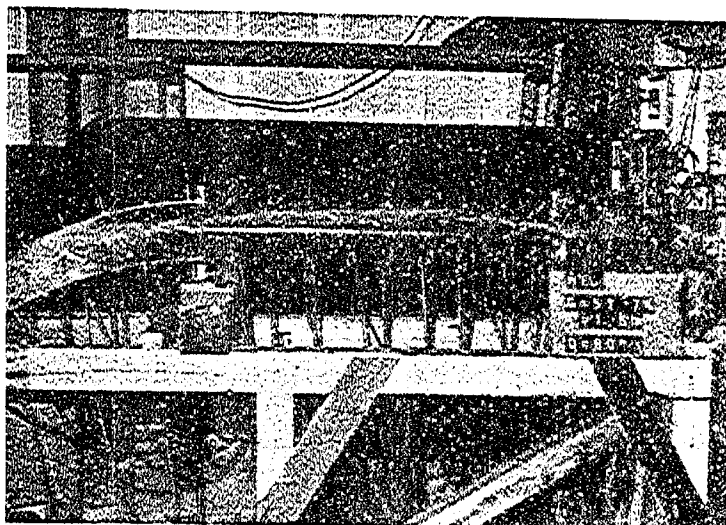
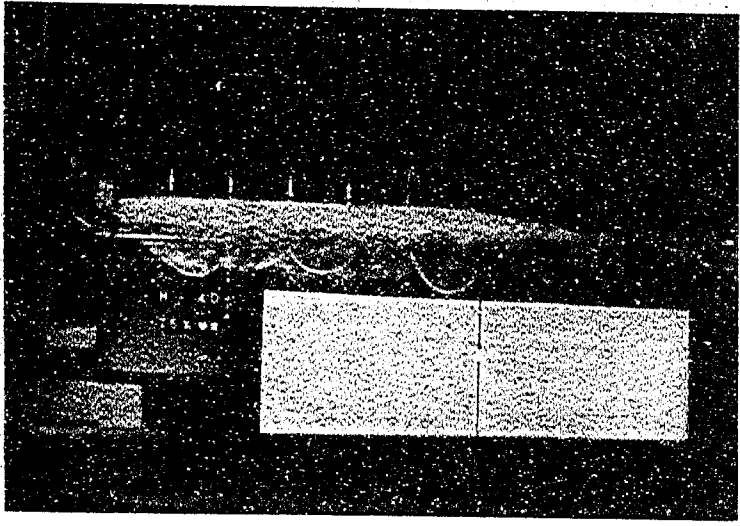
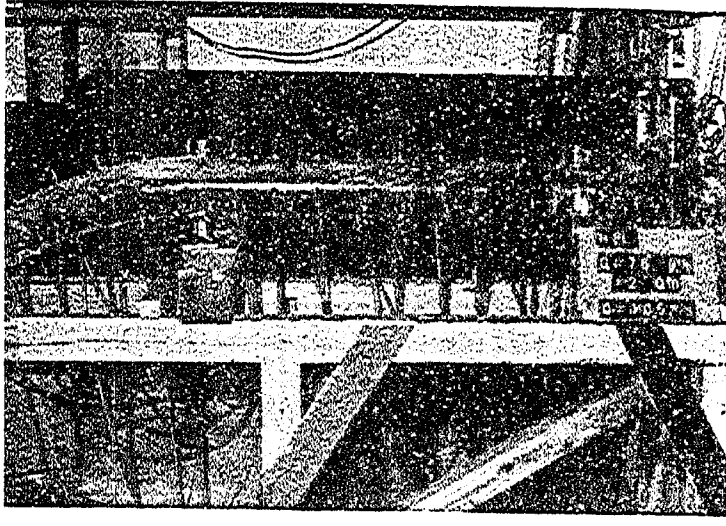
五十里ダム放流管模型	田瀬ダム放流管模型
ゲート開度 65% 	ゲート開度 57.7% 
ゲート開度 75% 	ゲート開度 76.9% 

写真 1 - 2 模型の縮尺効果 (貯水頭約 40 m)

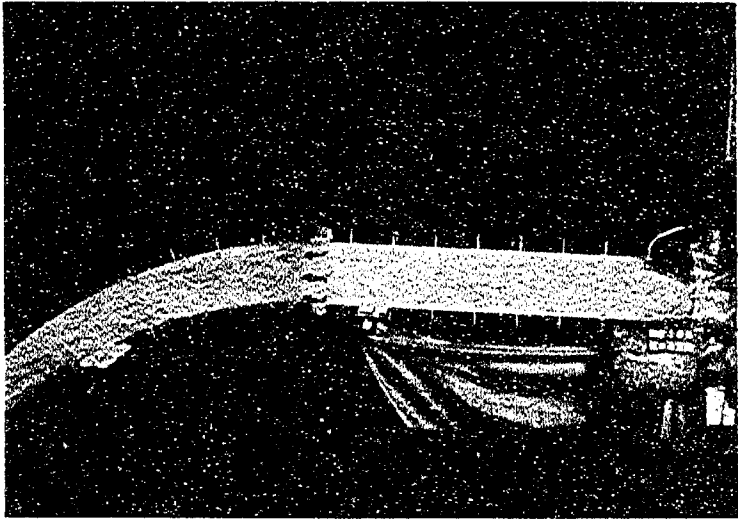
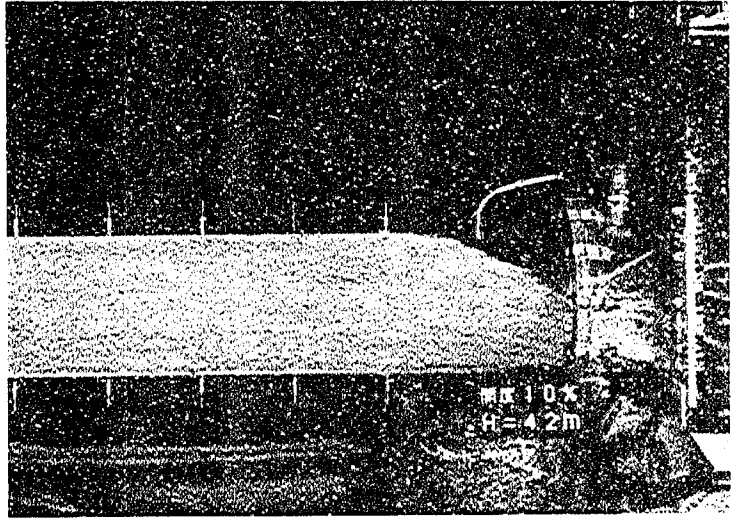
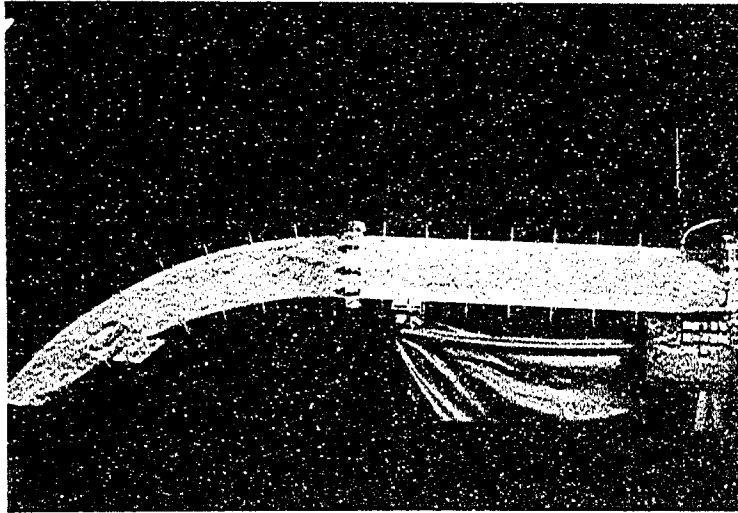
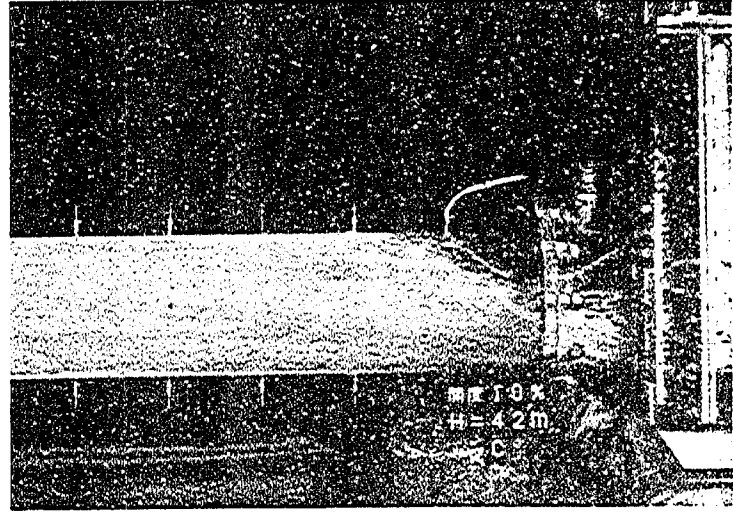
五十里ダム放流管下流管路部流況		五十里ダム放流管ゲート下流部流況	
給 気 管 全 開		給 気 管 全 開	
			

写真 2 - 1 原形状での給気管の効果（ゲート開度 10%，貯水頭 42 m）

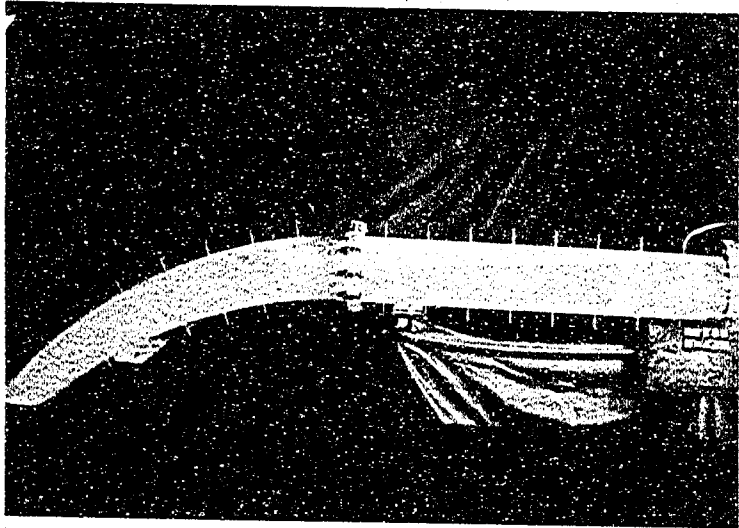
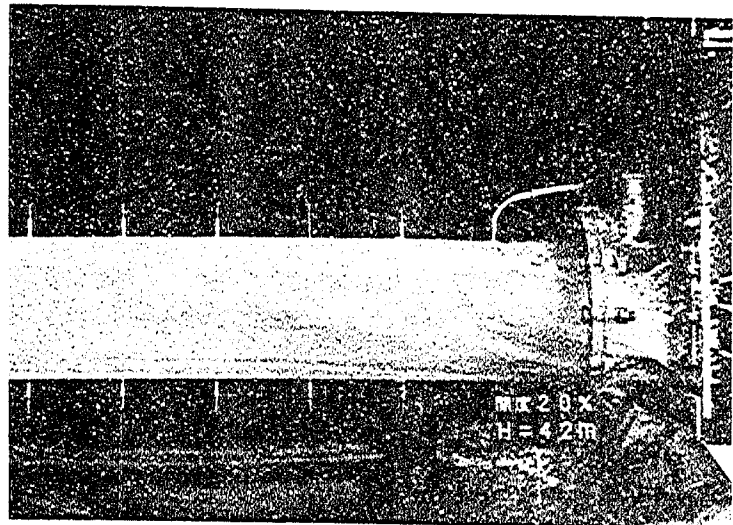
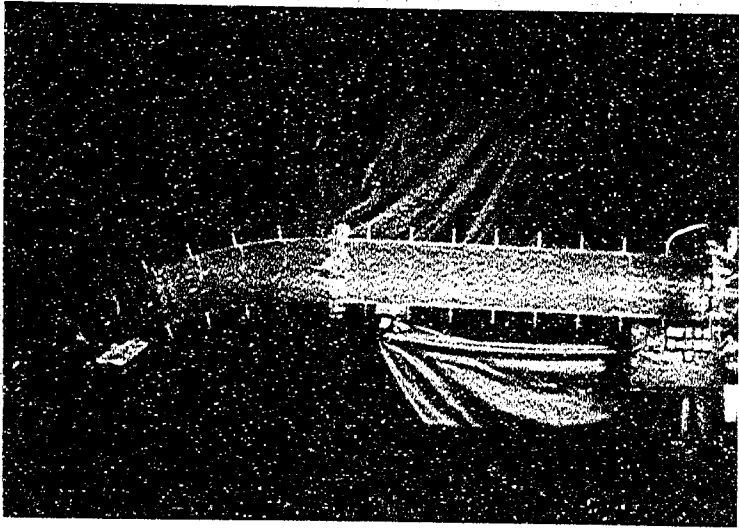
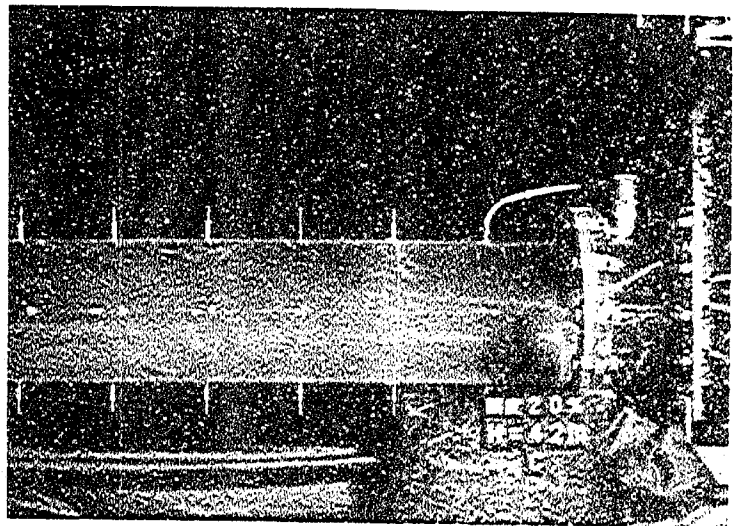
五十里ダム放流管下流管路部流況	五十里ダム放流管ゲート下流部流況
給 気 管 全 開 	給 気 管 全 開 
給 気 管 全 閉 	給 気 管 全 閉 

写真 2 - 2 原形状での給気管の効果（ゲート開度 20%，貯水頭 42 m）

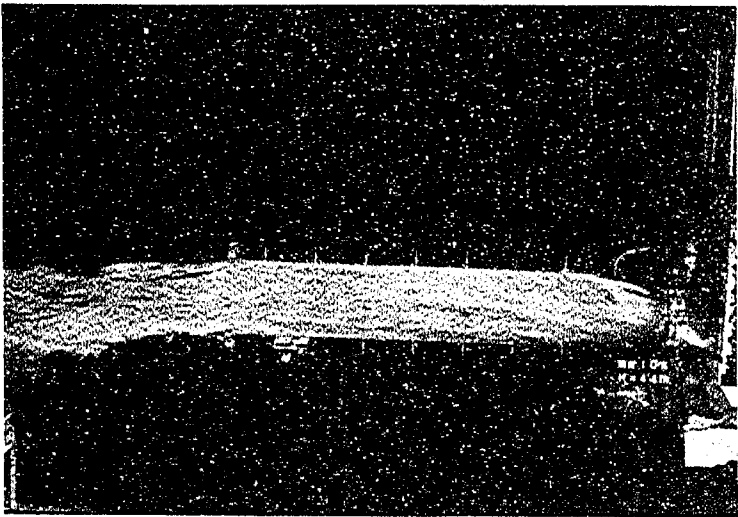
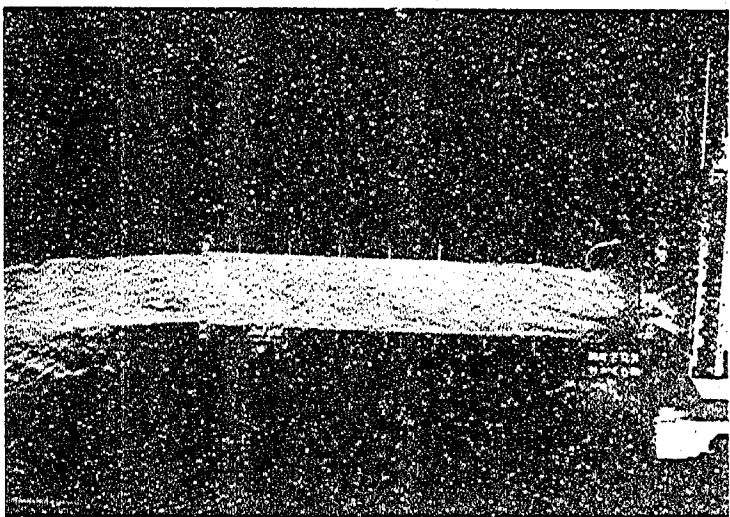
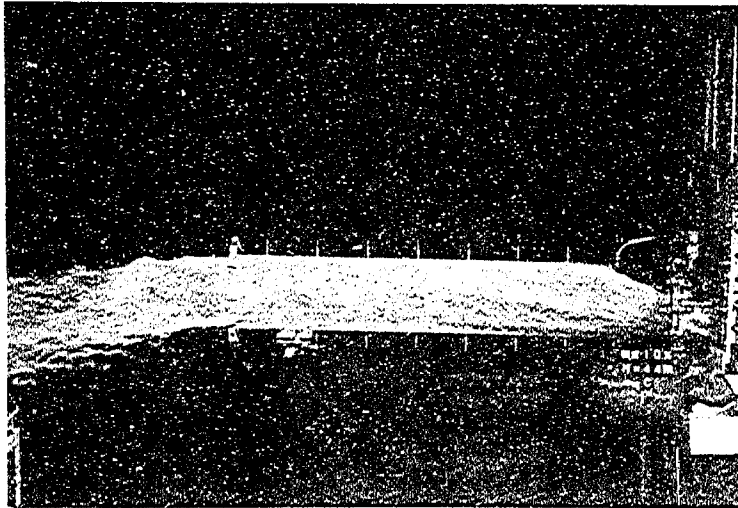
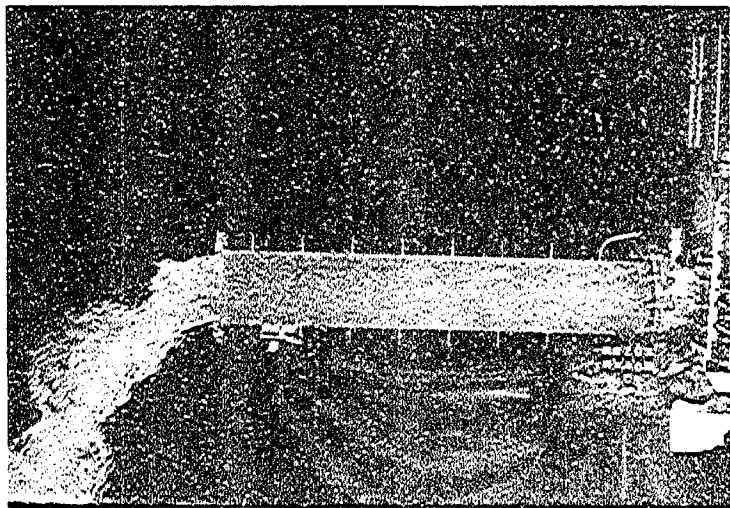
ゲート開度 10 % 貯水頭 44 m		ゲート開度 20 % 貯水頭 40 m	
給 気 管 全 開		給 気 管 全 開	
給 気 管 全 閉		給 気 管 全 閉	

写真 3 - 1 改造形状での給気管の効果

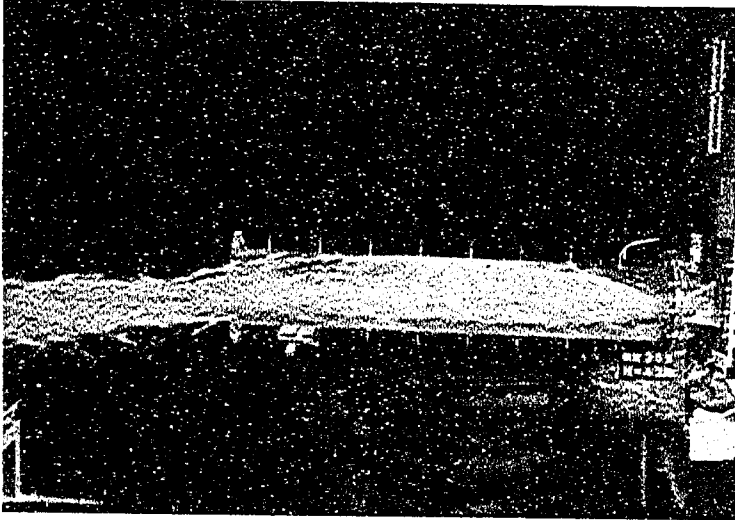
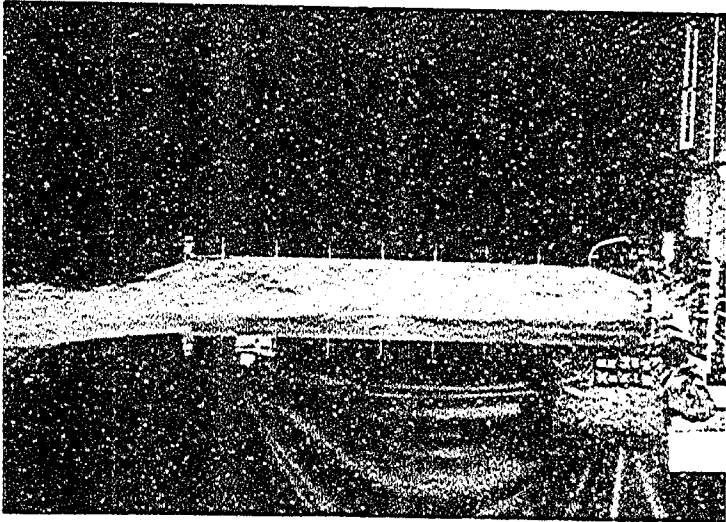
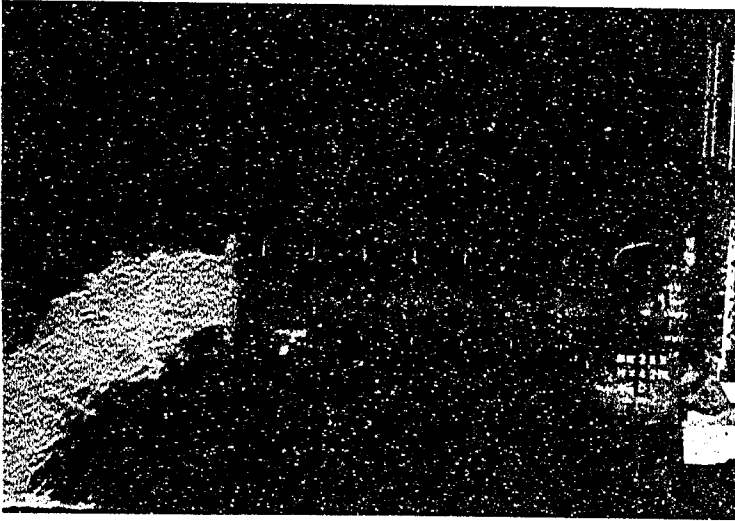
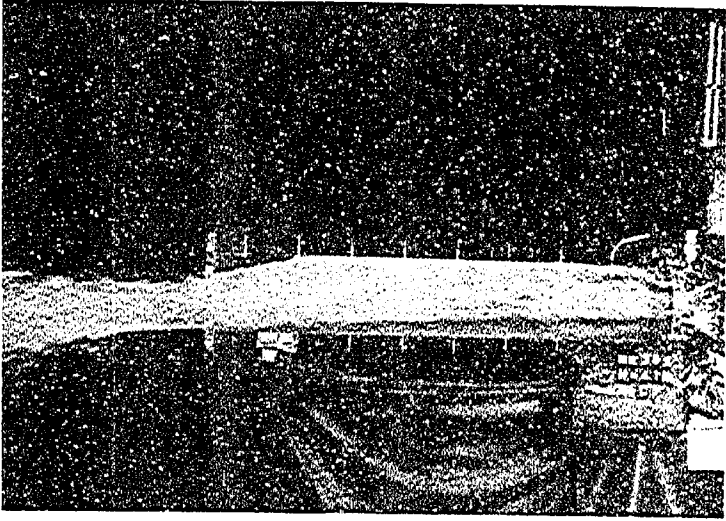
ゲート開度 35 % 貯水頭 42 m		ゲート開度 35 % 貯水頭 41 m	
給 気 管 全 閉		給 気 管 全 閉	
給 気 管 全 開		給 気 管 全 開	

写真 3 - 2 改造形状での給気管の効果

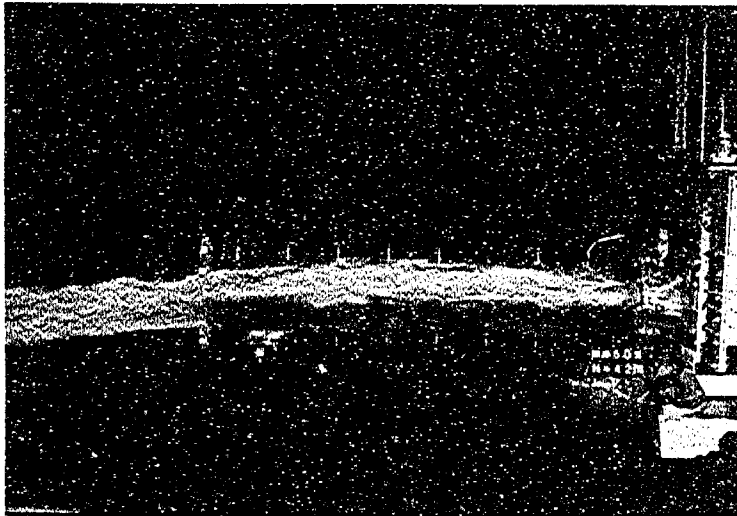
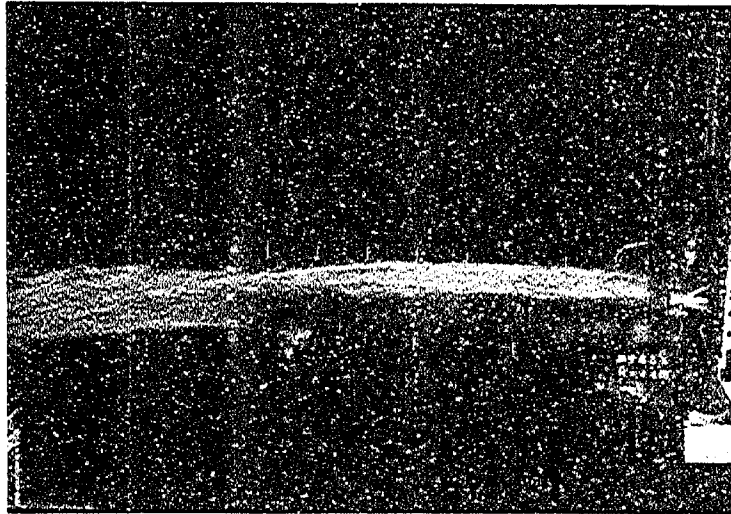
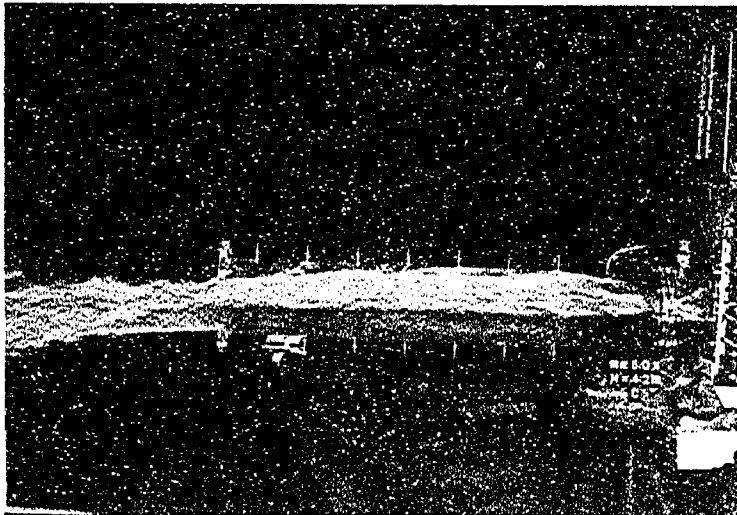
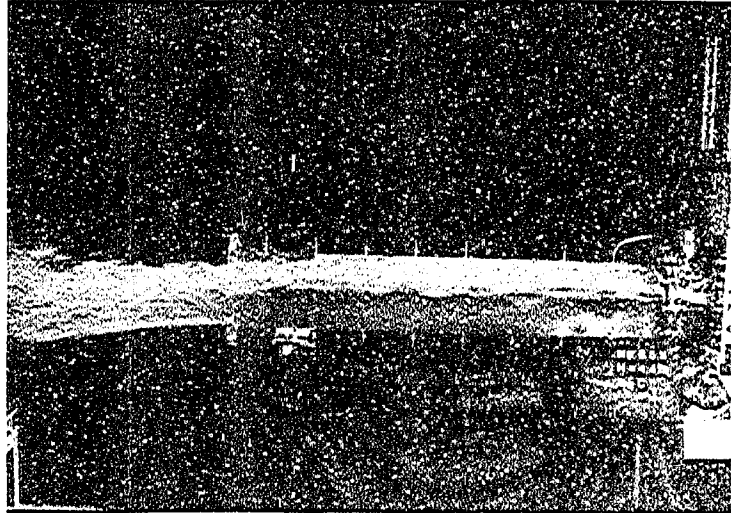
ゲート開度 50% 貯水頭 42 m		ゲート開度 65% 貯水頭 44 m	
給 気 管 全 開		給 気 管 全 開	
			

写真 3 - 3 改造形状での給気管の効果

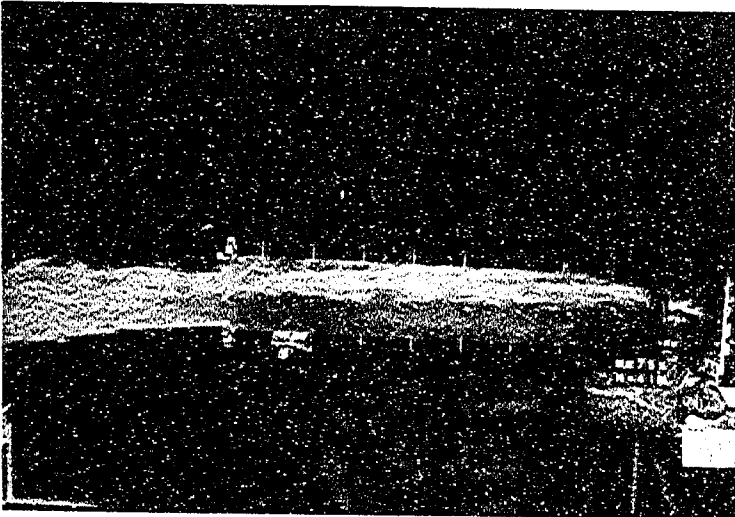
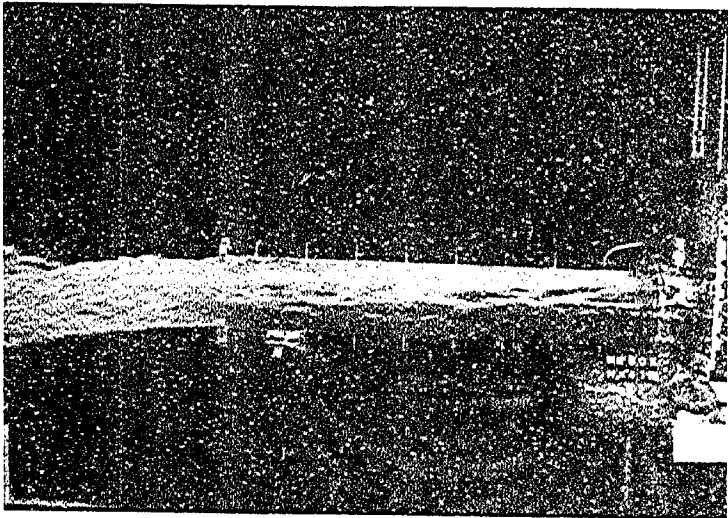
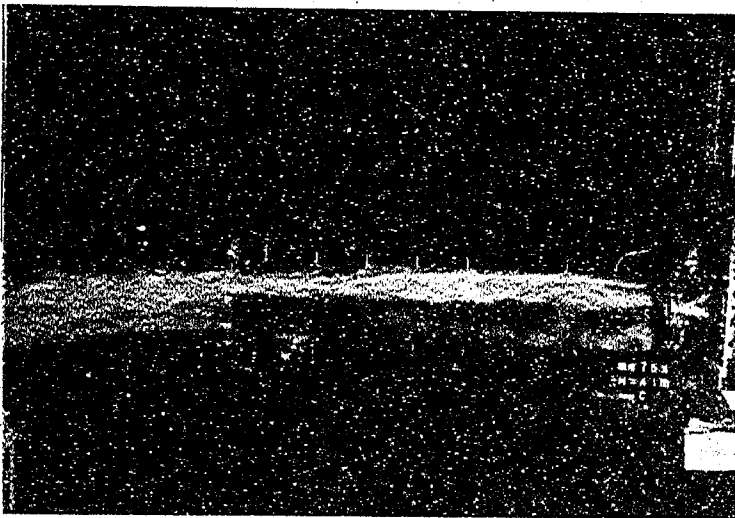
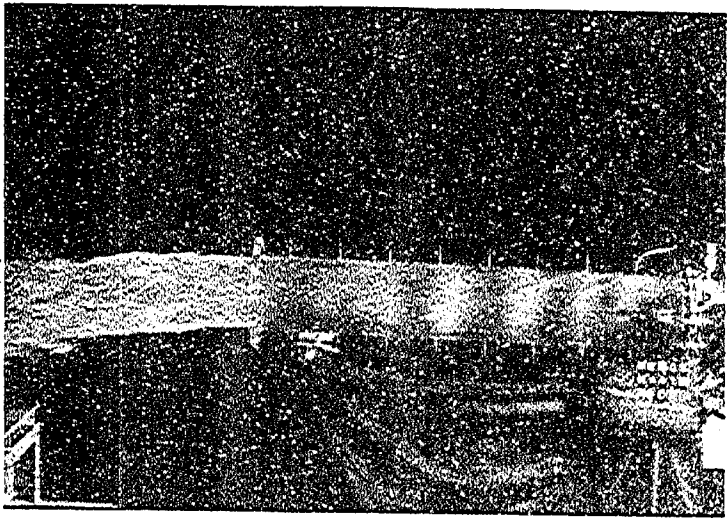
ゲート開度 75 % 貯水頭 41 m		ゲート開度 80 % 貯水頭 41 m	
給 気 管 全 閉		給 気 管 全 閉	
			

写真 3 - 4 改造形状での給気管の効果

改造放流管の管内圧力の測定結果を資料Bに示す。資料B-1は測定の実データを記載したものである。資料B-2はゲート上流側の圧力分布を圧力降下係数として再整理したものであり、資料B-3はゲート下流側について表2の換算式に従って実機に作用する圧力値として示したものである。

センサ番号は図9に示すものであるが、ゲート下流の断面形状遷移部の下流の直管部分に大きな負圧が発生していることが理解される。

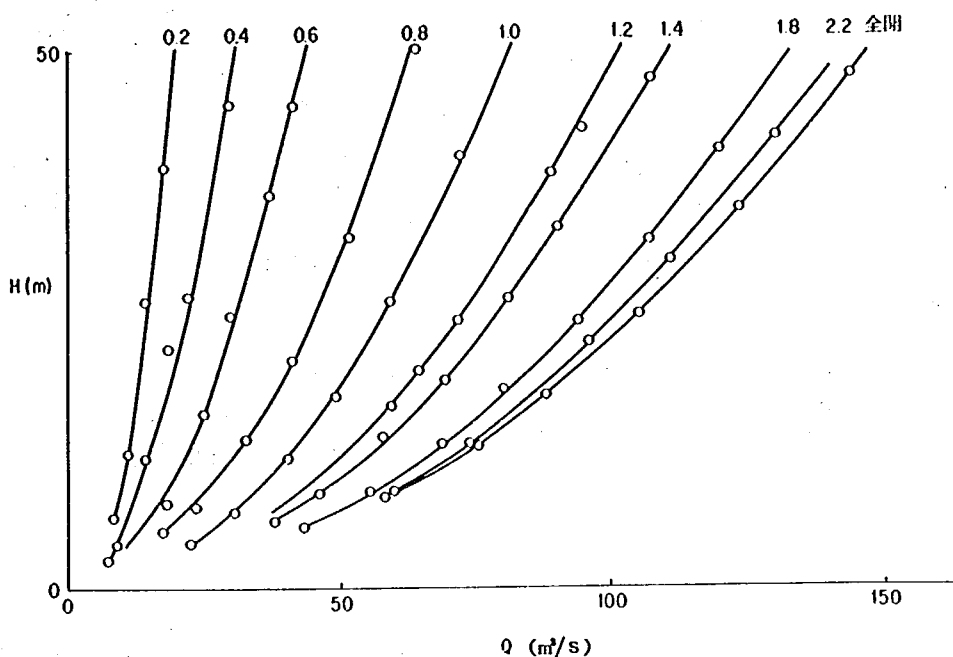


図 11 五十里ダム放流管機能曲線（改造後）

c) 改造放流管の水理機能

先端曲管部を除去した改造放流管の放流能力曲線は図11に示す通りである。

必要空気量についてはゲート直下流上面の圧力値より定性的な把握が可能である。すなわち、図12に示すように実測の圧力降下量は模型のその約2倍程度となっているが、ゲート開度の変化に対する圧力変化のパターンは実機と模型ではほとんど変化していない。これは、実機での空気連行量が相対的に大きくなっていることを示しているものの、同時に流れの全体的なパターンについては模型ではかなり再現できていることが推察される。また改造放流管では必要空気量は現形状と比較して相当に減少していることが理解される。特に、ゲート開度40～70%では下流からの給気が主で給気管はほとんど作動していないことがうかがわれ、本節a)での結果を裏付けている。

4.2.4 ゲート下流断面形状遷移部の水理特性

これまでの実験結果からゲート下流の断面形状遷移部の存在が高圧スライドゲートの部分開放流時に問

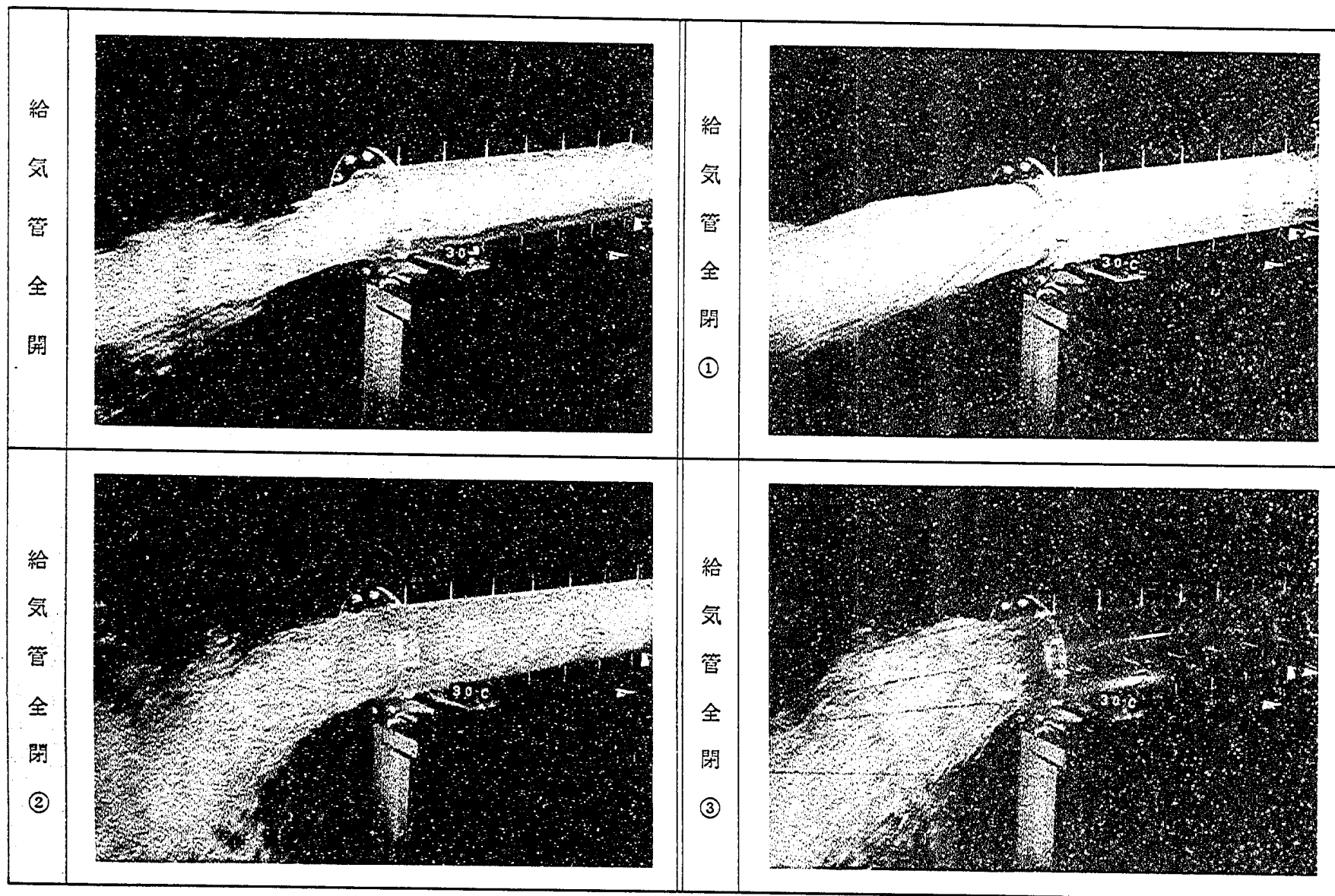


写真4 給気管閉塞による流況の変化（ゲート開度30％）

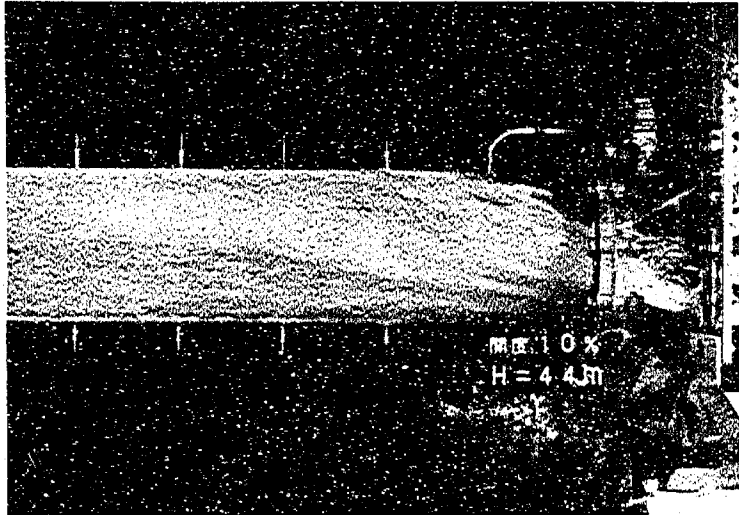
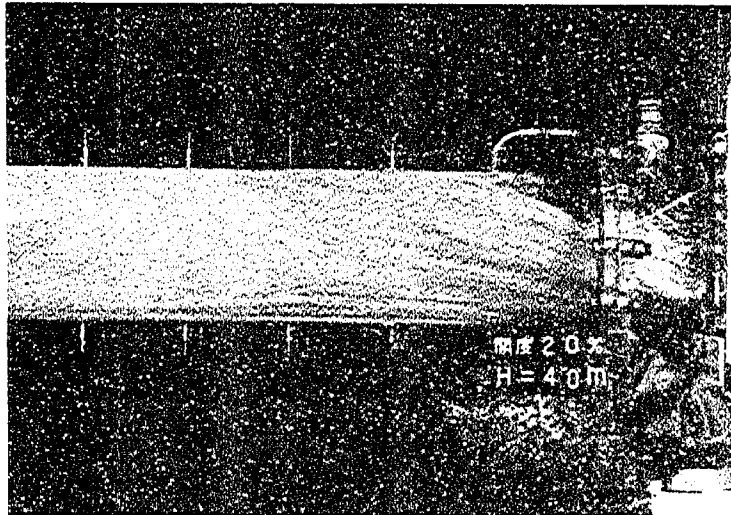
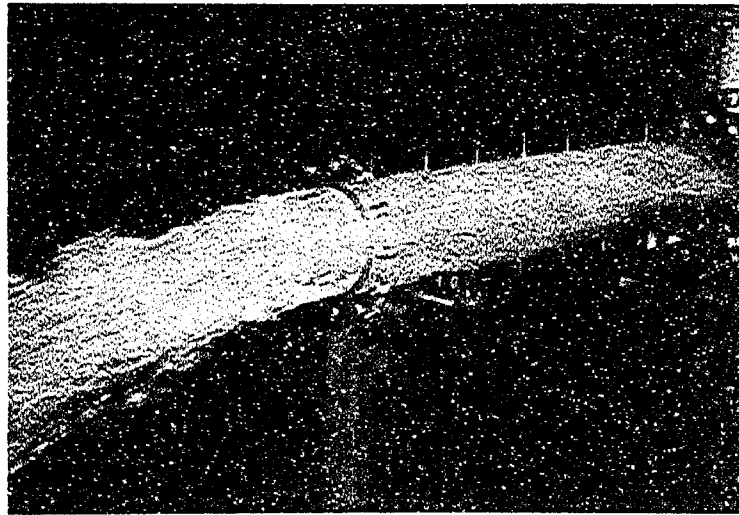
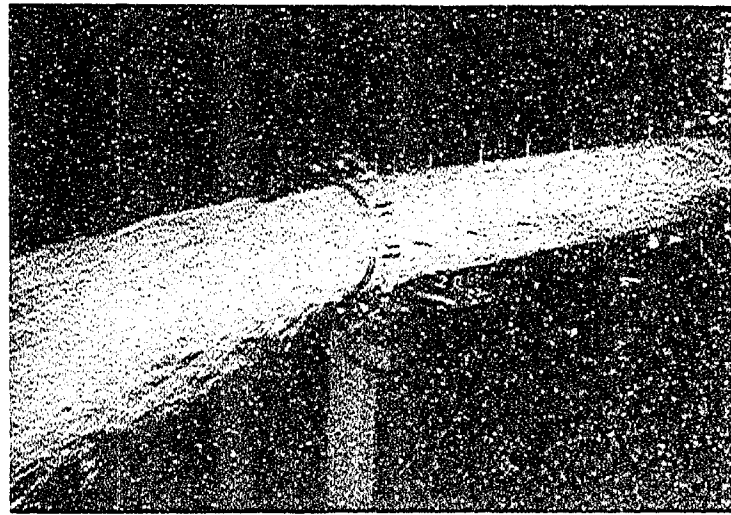
ゲート開度 10% 貯水頭 44 m		ゲート開度 20% 貯水頭 40 m	
ゲ ー ト 下 流 部		ゲ ー ト 下 流 部	
			

写真 5-1 改造形状の流況

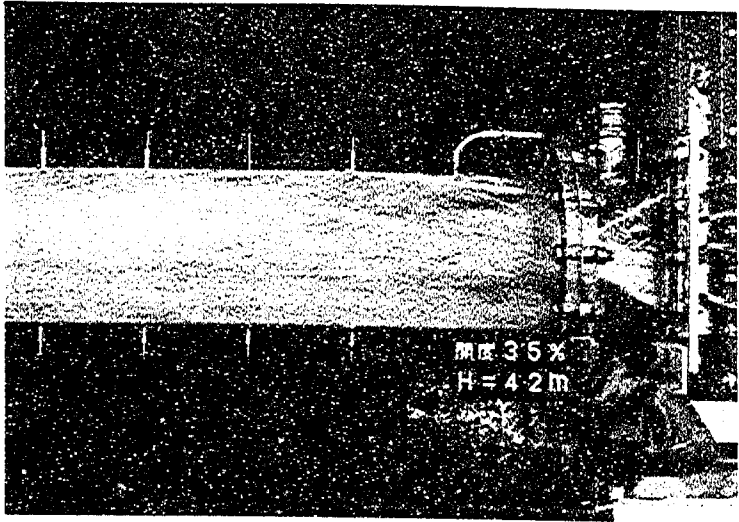
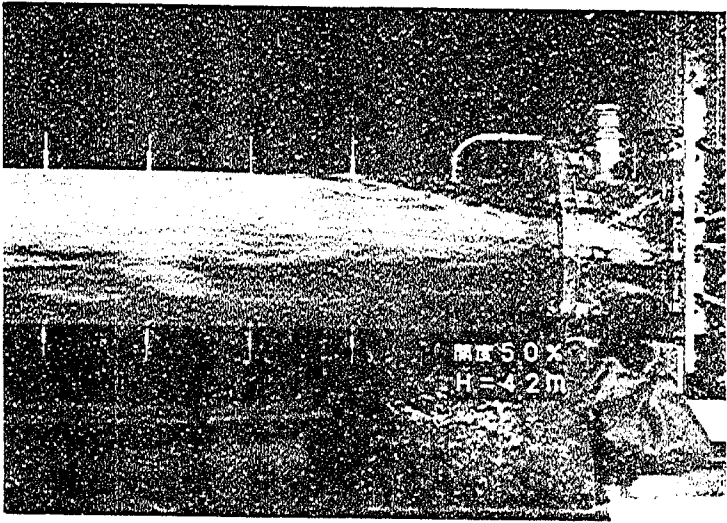
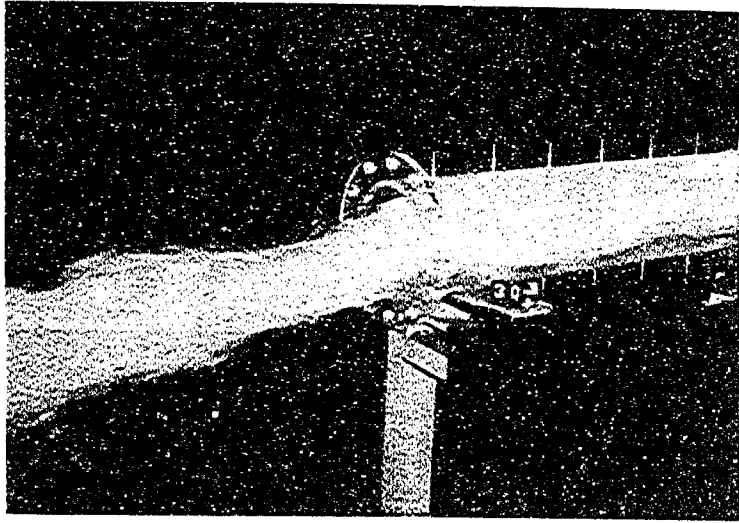
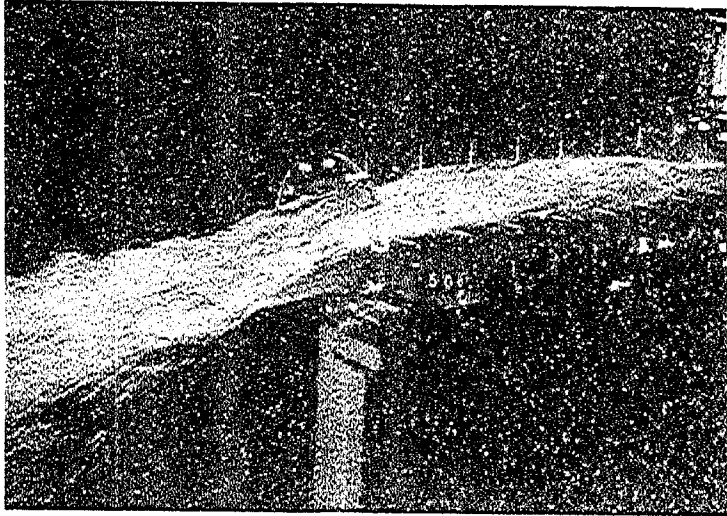
ゲート開度 35 % 貯水頭 42 m	ゲート開度 50 % 貯水頭 42 m
ゲ ー ト 下 流 部 	ゲ ー ト 下 流 部 
直 管 部 吐 口 	直 管 部 吐 口 

写真 5 - 2 改 造 形 状 の 流 況

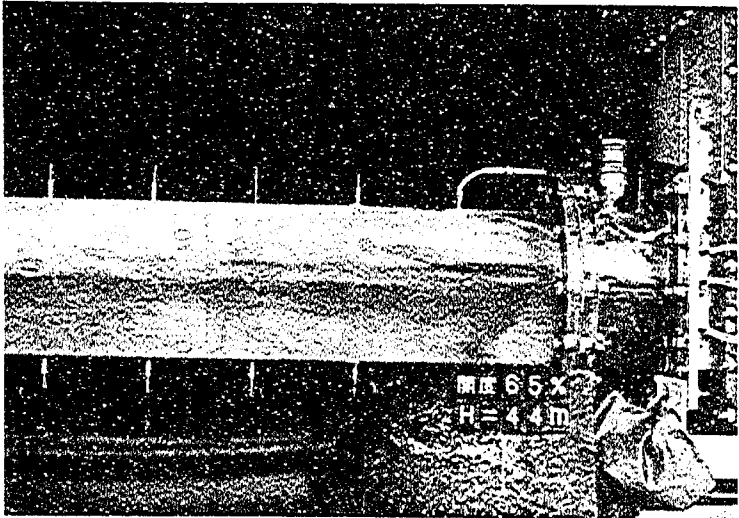
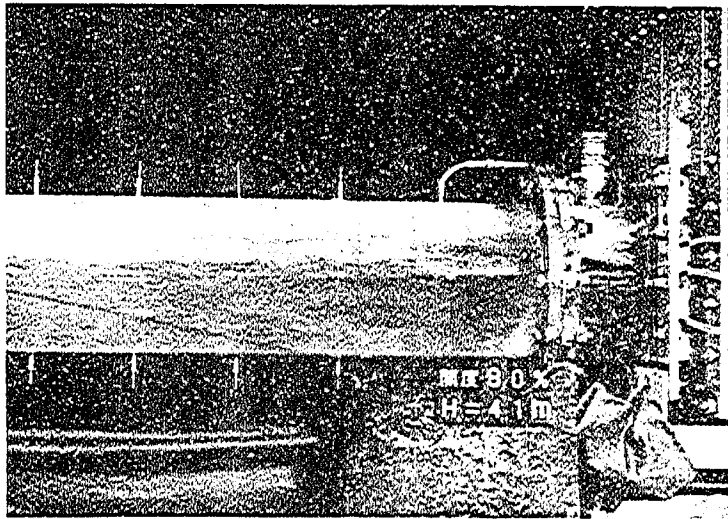
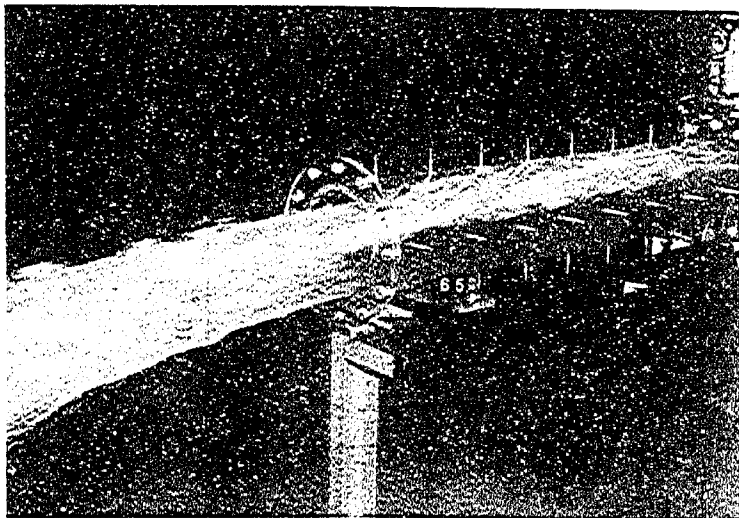
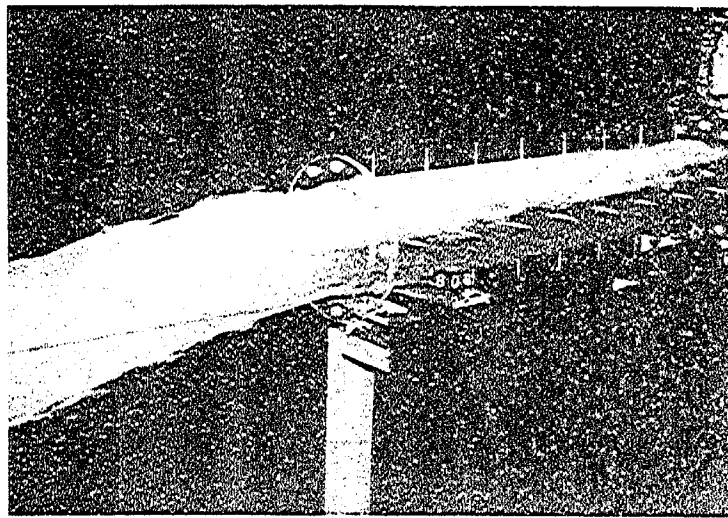
ゲート開度 65% 貯水頭 44 m		ゲート開度 80% 貯水頭 41 m	
ゲ ー ト 下 流 部		ゲ ー ト 下 流 部	
			

写真 5-3 改造形状の流況

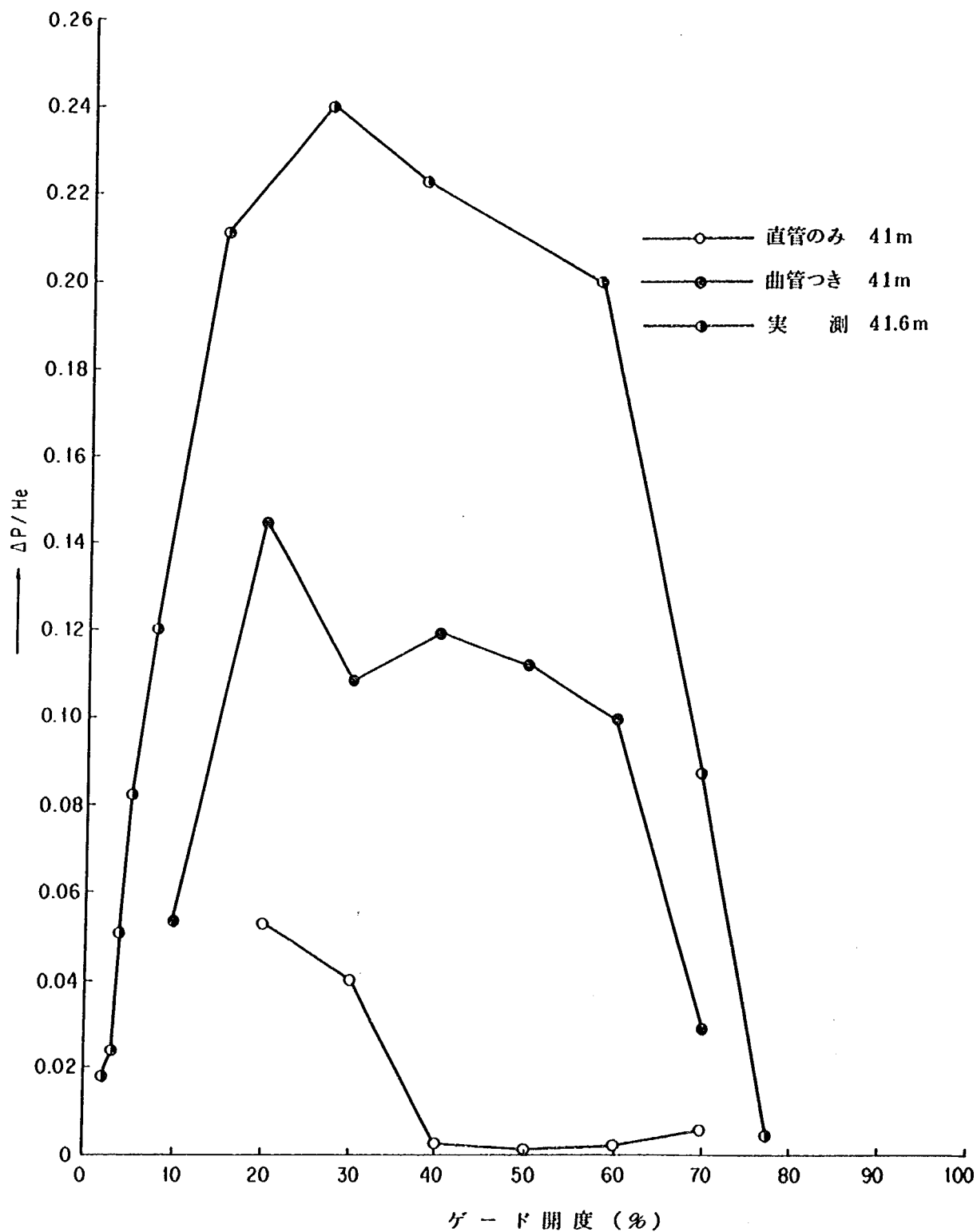


図 12 ゲート直下流上面の圧力変化

題となることが明らかになったので、この部分の水理特性を確認するために実験を行った。この断面形状遷移部は図13に示す様にゲート部分の角断面を直管部の円断面まで形状遷移させているもので流れは管中心軸に向かって押し込められる形態となる。実験結果を写真6-1～6-5に示す。写真は各ゲート開度ごとにシャッタースピードを $1/125$ 及び $1/1000$ の2種で撮影したものであるが、これから形状遷移部の水理特性は十分に理解される。ただし、シャッタースピード $1/1000$ の写真で流れが水滴状になっている部分は主流水脈ではないことに注意する必要がある。なお、これらの写真はすべて作用水頭が40mのときのものである。

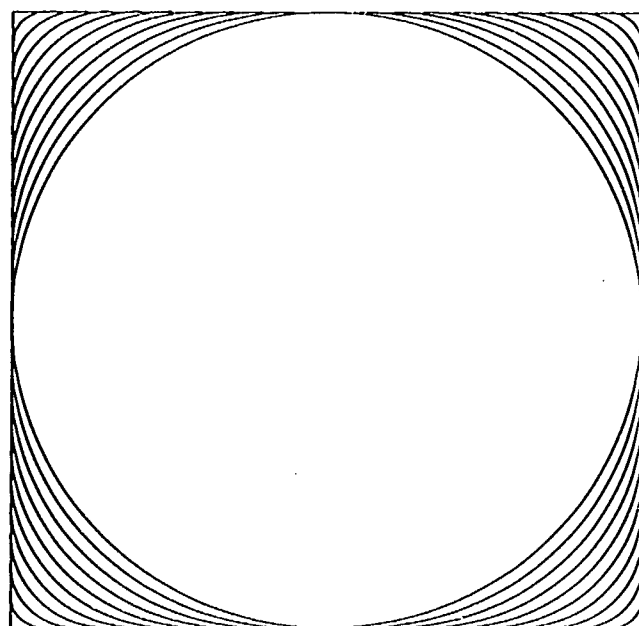


図 13 断面形状遷移部正面図

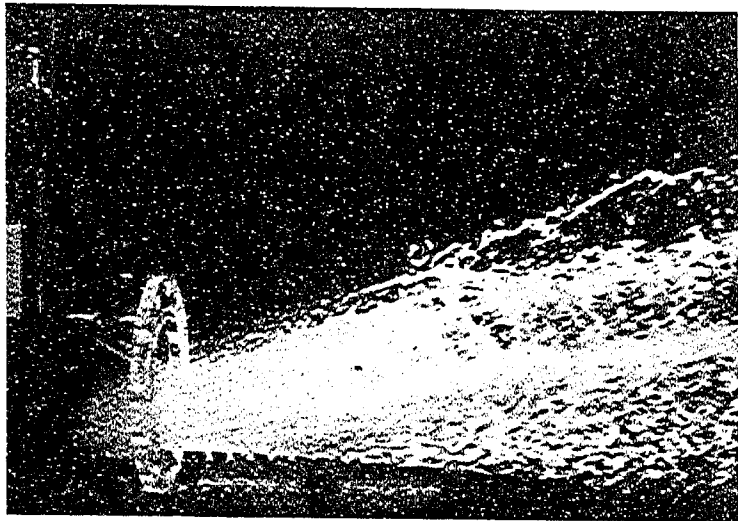
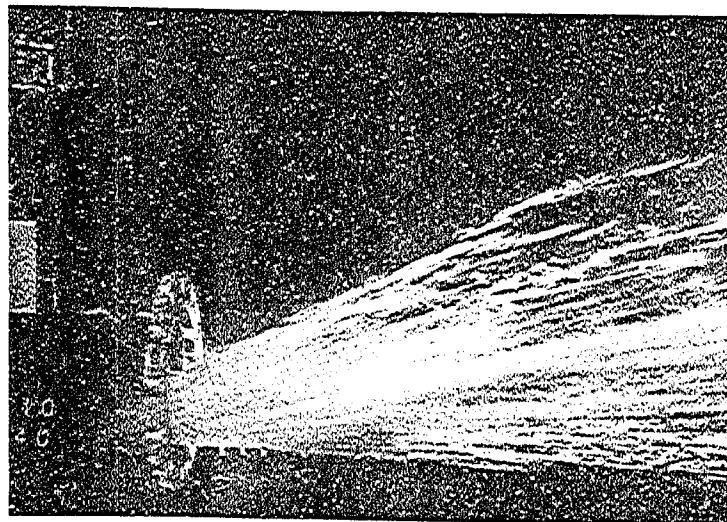
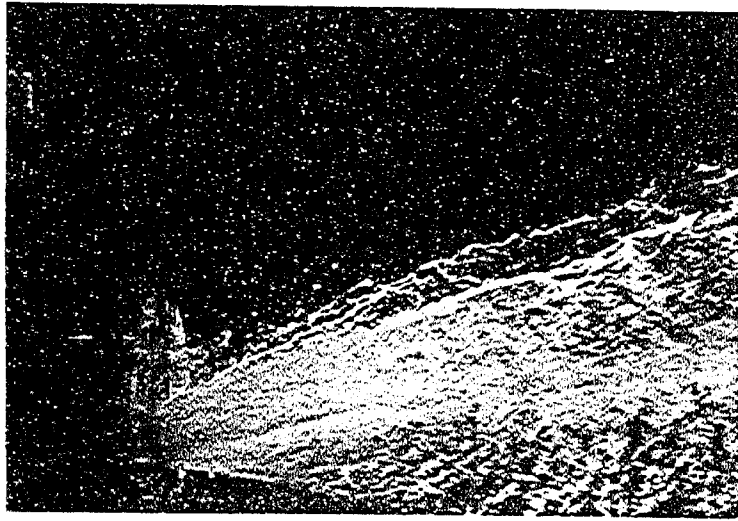
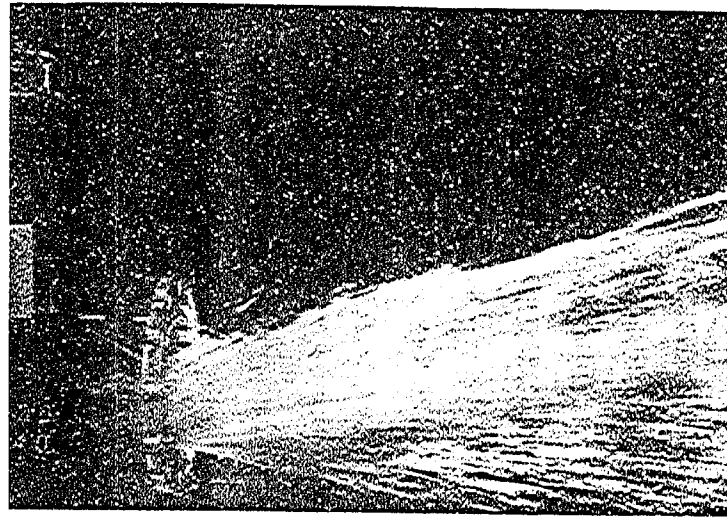
シャッタースピード $S = 1/1000$		シャッタースピード $S = 1/125$	
ゲート開度 10%		ゲート開度 10%	
			

写真 6 - 1 ゲート下流断面形遷移部の水理特性

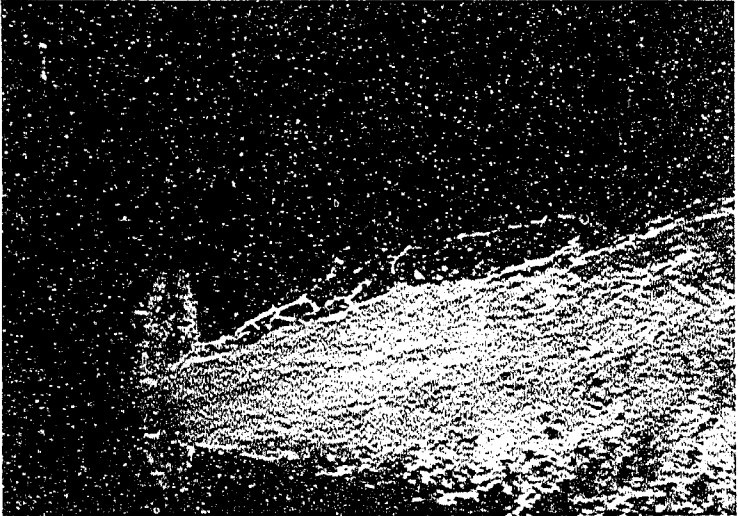
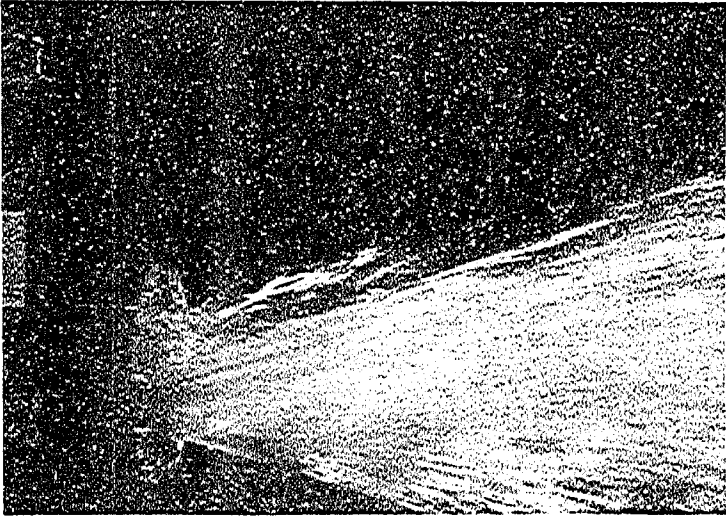
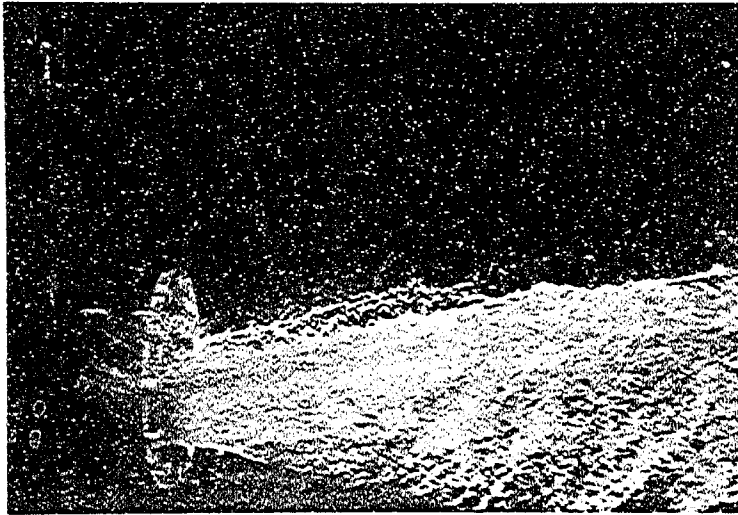
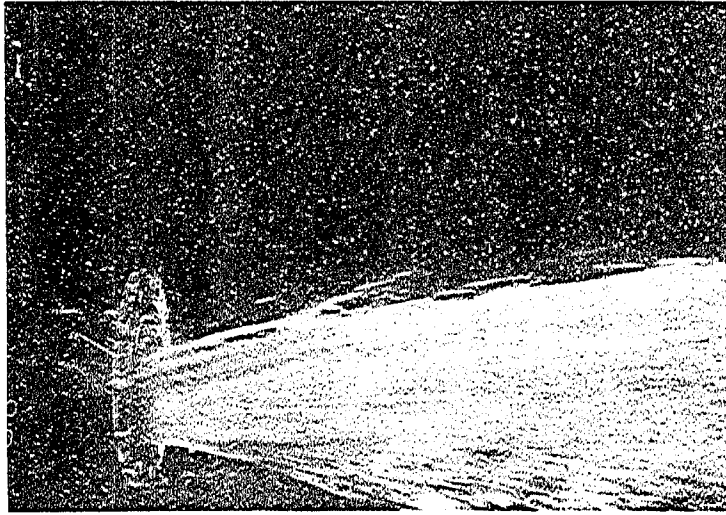
シャッタースピード $S = 1/1000$		シャッタースピード $S = 1/125$	
ゲート開度 35%		ゲート開度 35%	
ゲート開度 50%		ゲート開度 50%	

写真 6 - 2 ゲート下流断面形遷移部の水理特性

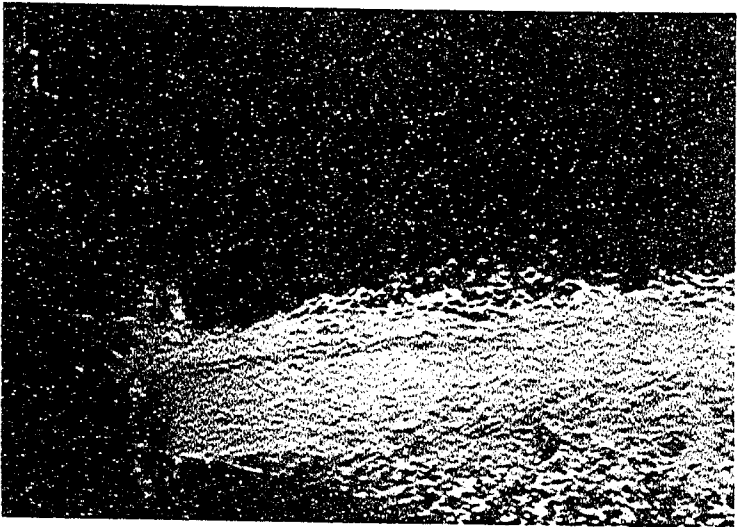
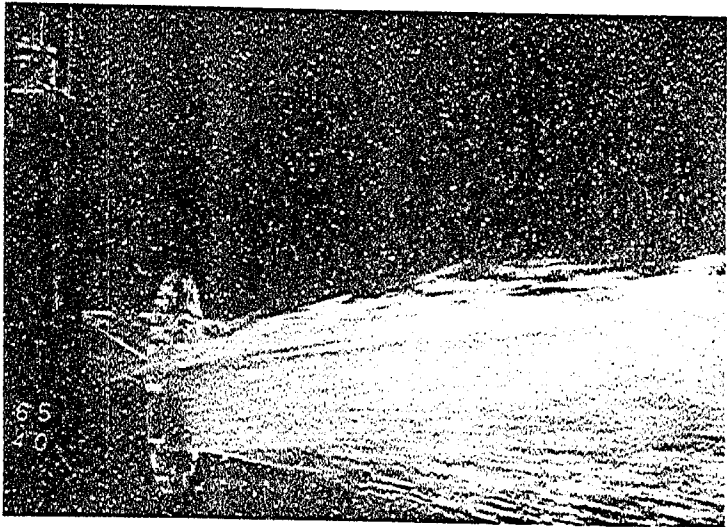
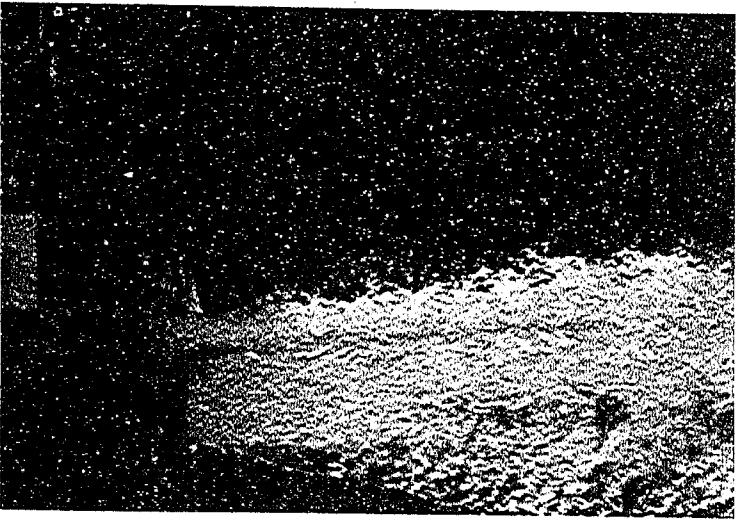
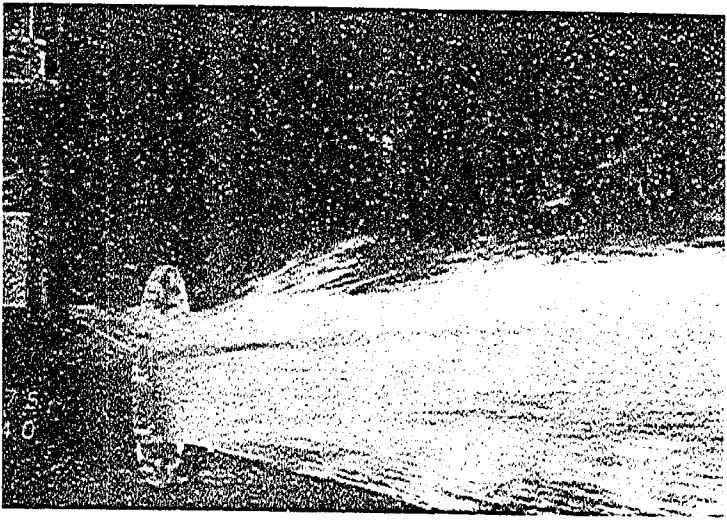
シャッタースピード $S = 1/1000$		シャッタースピード $S = 1/125$	
ゲート開度 65%		ゲート開度 65%	
			

写真 6-3 ゲート下流断面形遷移部の水理特性

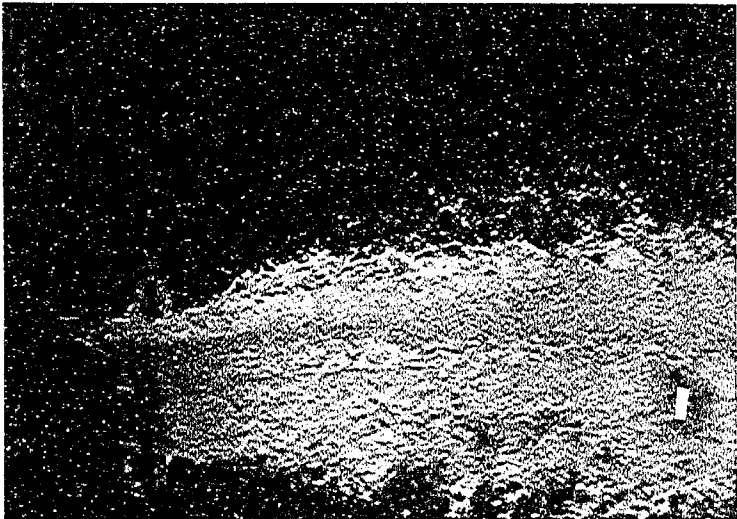
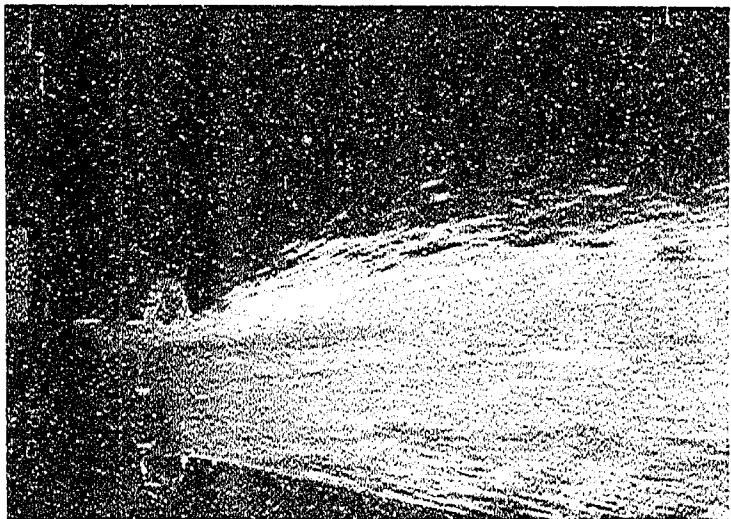
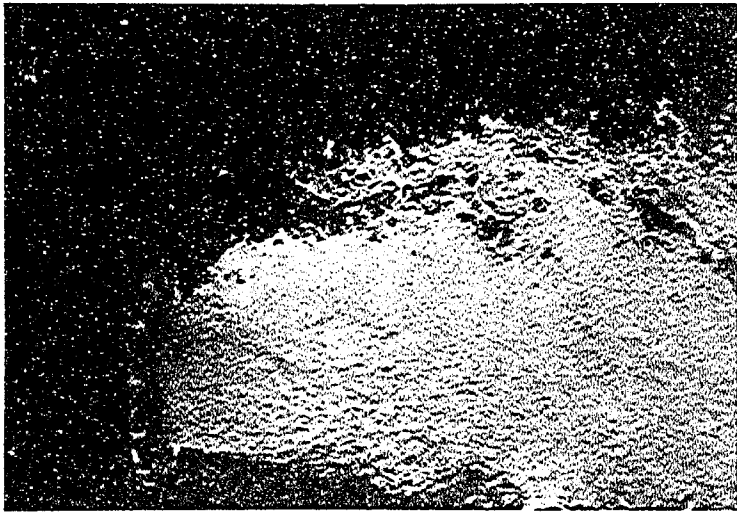
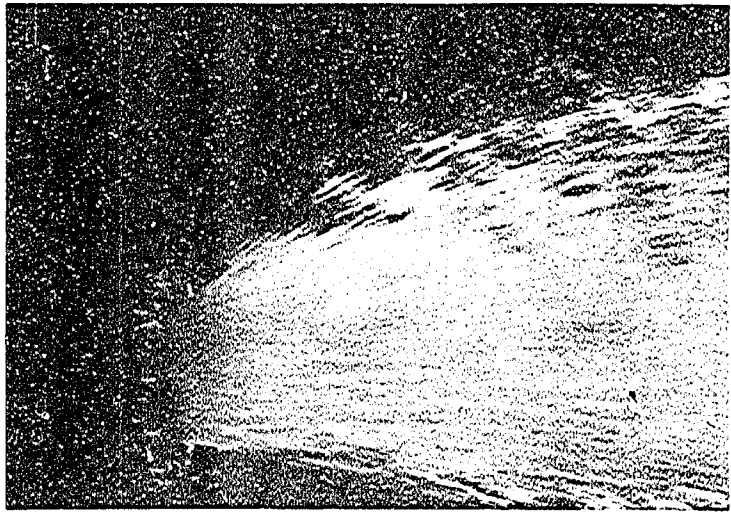
シャッタースピード $S = 1/1000$		シャッタースピード $S = 1/125$	
ゲート開度 85%		ゲート開度 85%	
ゲート開度 90%		ゲート開度 90%	

写真 6 - 4 ゲート下流断面形遷移部の水理特性

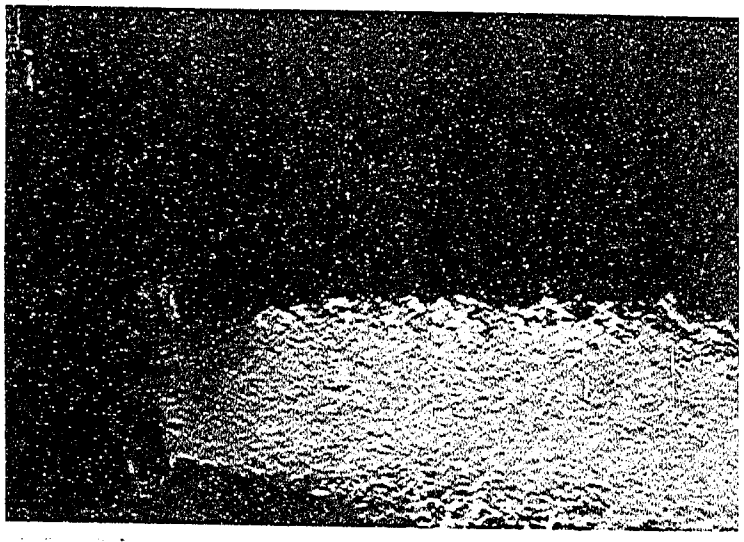
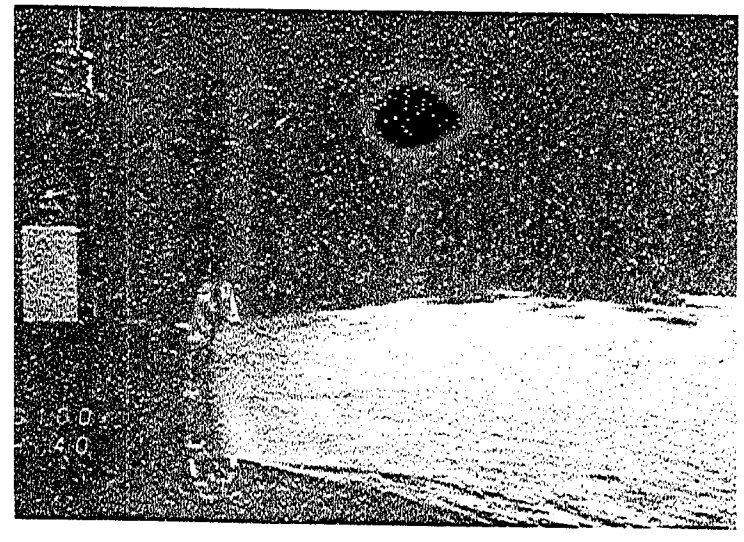
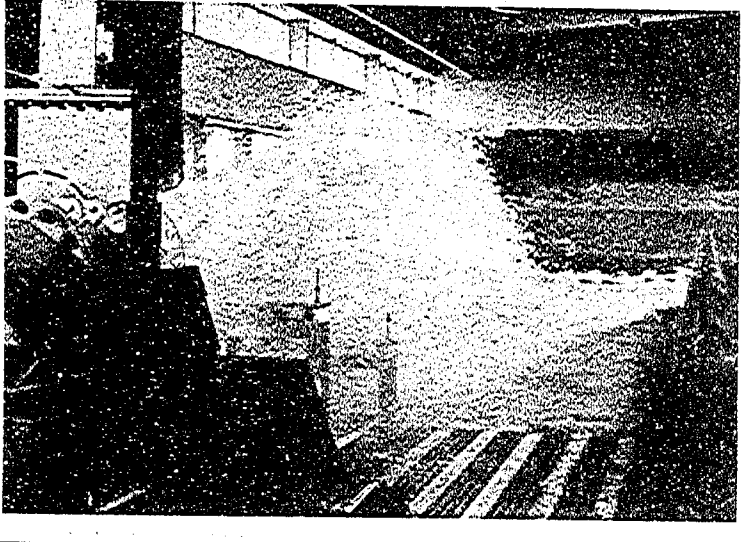
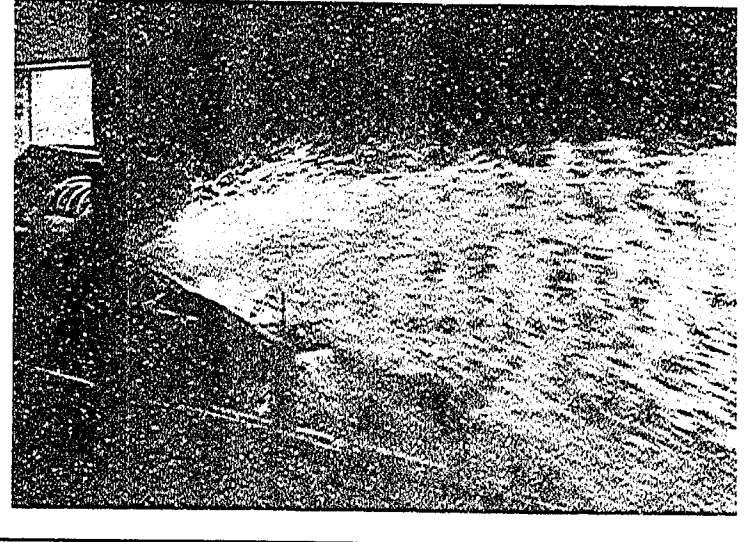
シャッタースピード $S = 1/1000$		シャッタースピード $S = 1/125$	
ゲート開度 100%		ゲート開度 100%	
			

写真 6 - 5 ゲート下流断面形遷移部の水理特性

5. 結 論

5.1 概 要

本節では五十里ダム放流管を構成する下記の部分について水理的な面から個別に考察を加える。

- イ) 曲 管 部
- ロ) 直 管 部
- ハ) ゲート下流断面形状遷移部
- ニ) ゲート部
- ホ) ゲート上流部

5.2 曲 管 部

曲管部は放流管からの放流水を堤体下流面に添わせるために設けられているもので、直管部の中心標高と吐口の中心標高との標高差 5.9 m に起因する直管部より上流部分の壁面に作用する圧力の低下及び遠心力に起因する曲管部底面の圧力の低下を規制しそれらの部分の圧力を大気圧以上に保つため下流に向かって断面積を78%に漸縮している。この漸縮形状と鉛直曲り形状のため、ゲート開度が比較的小さいうちに放流管の吐口が水で満され管内部と外気とが遮断される。このゲート開度は実測資料によれば15%、今回の模型実験では20%程度となっている。この時、両者の貯水位は同じ条件に設定されているので、実測で吐口の閉塞が模型実験より小さい流量で起るのは空気混入による流水断面の増加によるものと推察される。この様に考えると実機ではゲートが小開度の状態でも激しい空気混入が発生している事が推察されるが、ゲート下流で十分な結気を行い、管内の圧力低下量を規制してやれば模型実験に近い安定した開水路流れが得られるものと考えられる。

模型実験によると安定した開水路流れであると管が水で満されている範囲はゲート開度80%以下では曲管部分だけであり、それ以上になると急激にゲート直下まで満管状態となる。この様に流れが安定した開水路流であれば曲管部の存在はゲートの部分開放流を否定することにはならない。しかし、上述の現象説明はあくまでも推察にすぎず、また空気連行及び空気混入現象の研究が十分に確立されていない現状では管内の圧力状態を良好に保つためには安全側として管路外の通気を確実に確保するのが良策であろう。

以上の理由により曲管部は取り去るべきものとする。

直管部下流端の圧力降下係数を図3及び図7から読み取ると田瀬ダムで1.275、五十里ダムで1.220となっている。もし、下流曲管部がなく、この直管部下流端が支配断面となる場合、全開時の流量係数は次式を用いてそれぞれ0.905、0.886となる。

$$C = \frac{1}{\sqrt{C_p}} \quad C : \text{流量係数} \quad C_p : \text{圧力降下係数}$$

現在の形状での流量係数(計算上)はそれぞれ0.815、0.775であるので直管部下流端より上流部分の

圧力値を現在より降下させずにこの部分に改造を加えるにはこの先端部分の流量係数が五十里ダムで0.9、田瀬ダムで0.875となるような流量制御用のゲートあるいはバルブを選定すればよいことになる。

水理学的見地からすれば五十里ダム放流管の改造案としては新しい主ゲートまたはバルブを設置するというこの案が第1のものであると考える。

5.3 直 管 部

曲管部を取り去った後では直管部はゲート部および下流遷移部からの噴流に対する一種の整流管として機能することになる。

これはゲート下流断面形状遷移部でその形状変化により偏向させられた流れを整流するものである。この種の整流管はジェットフローゲート等の中規模放流設備の下流に設置され、ゲートの部分開放時の偏向された流れを整流する目的で設置されることが多いが、その設計には次の事項が考慮されている。

- 整流管内の圧力降下を規制するため整流管の径はジェットフローゲートのノズルの径の1.2倍以上とする。
- 整流管の長さは径の5倍以上とする。
- 流水が壁面より剥離する部分には確実に結気を行う。

必要事項a)を満足するためには五十里ダム放流管ゲートの部分開操作はゲート開度80%以下に制限する必要がある。ただし、今回の実験結果により必要事項が裏づけられているわけではない。

必要事項b)は満足されており、流況観察の結果からも流れは十分に整流されていると判断することが出来る。

必要事項c)に関連する問題として、五十里ダム放流管ではゲート下流断面形状遷移部と直管部の接続部分で壁面が折れ曲る形状となっており流水が剥離する。この現象は資料Bの実験結果の中で測点21での負圧の発生と結びついている。流況観察の結果を踏まえて判断すると、この部分への給気は自然には十分に行われる可能性はなく、給気溝（エアレーク）設置するなどの改造が必要である。図14にエアレークの実施例を示す。

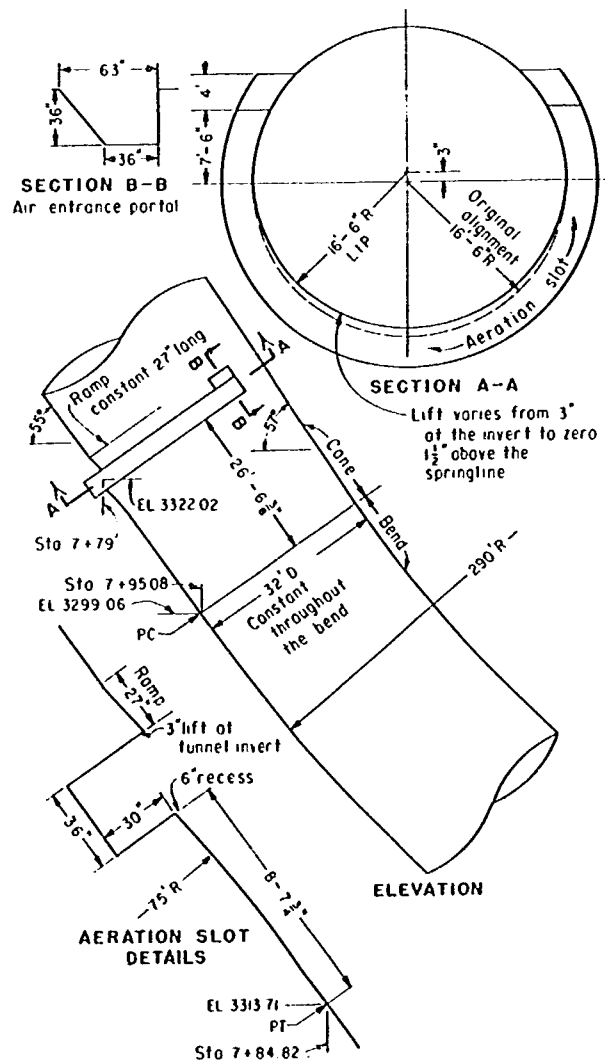


図 14 エアレークの実施例

5.4 ゲート下流断面形状遷移部

この遷移部が下流直管部に悪影響を与えているわけであり、この部分を含めてゲート下流部分をすべて取り去り断面を大きくすれば洪水調節放流設備として数多く採用されている部分管路型放流管となり水理的な問題点はゲート形式に関するものを除いてクリアされることになる。

5.5 ゲート部

高圧スライドゲートは部分開放状態で使用すると、振動や戸溝形状に起因するキャビテーションに対して負の要因となるので注意を要するが、まえがきで述べた参考文献1), 2), 4) の検討結果及び放流管の操作規則から総合的に判断すると、五十里ダムでは水理的にはゲート周りについては改造の必要はないと判定される。ただし、定期的にゲート部周辺の点検を実施することを前提条件とする。

5.6 ゲート上流部

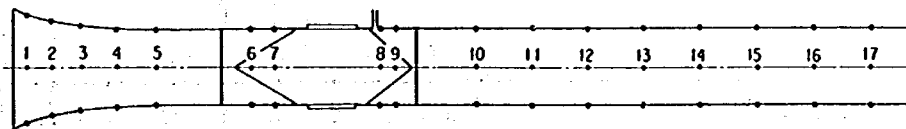
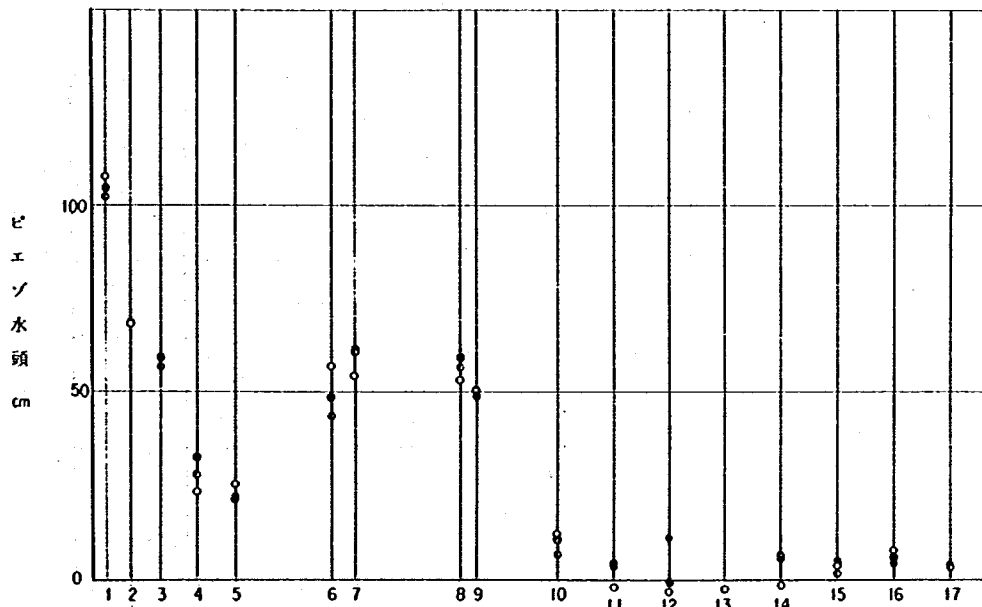
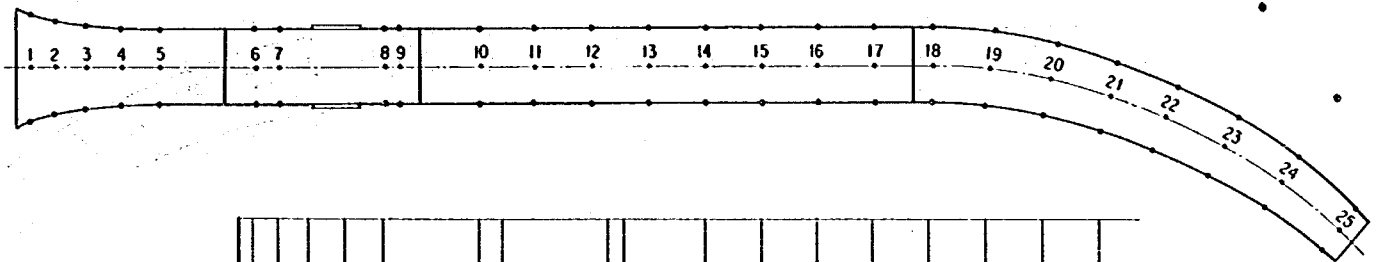
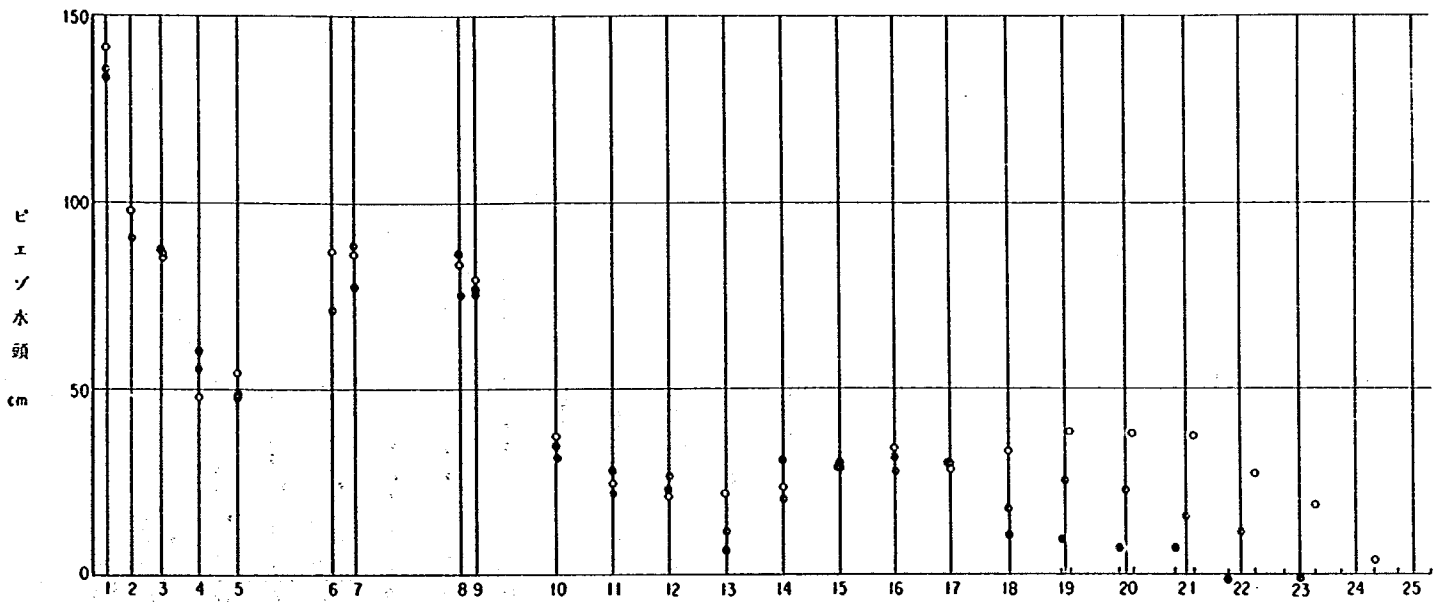
ゲート上流部はゲートの部分開放操作によって圧力調整は容易に出来るので改造の対象となる事項は存在しない。ゲート開度については曲管部を取り去った場合は約90%, 直管部を取り去った場合は約85%以下に制限される。

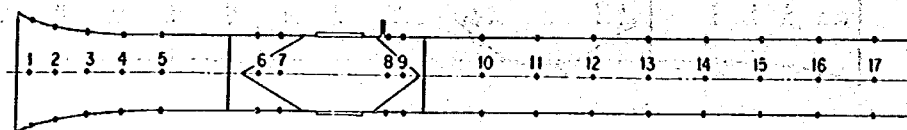
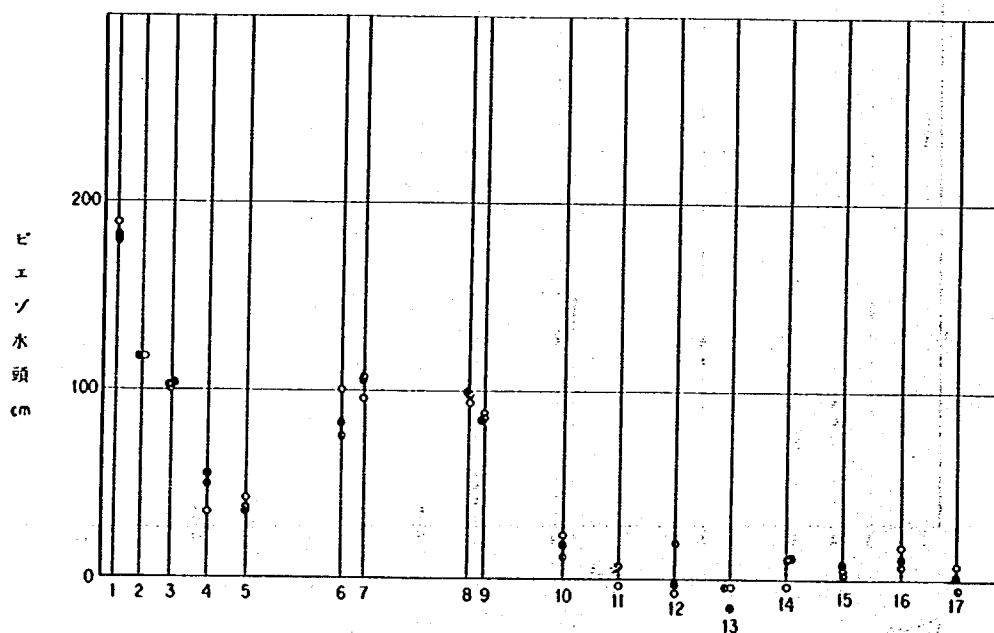
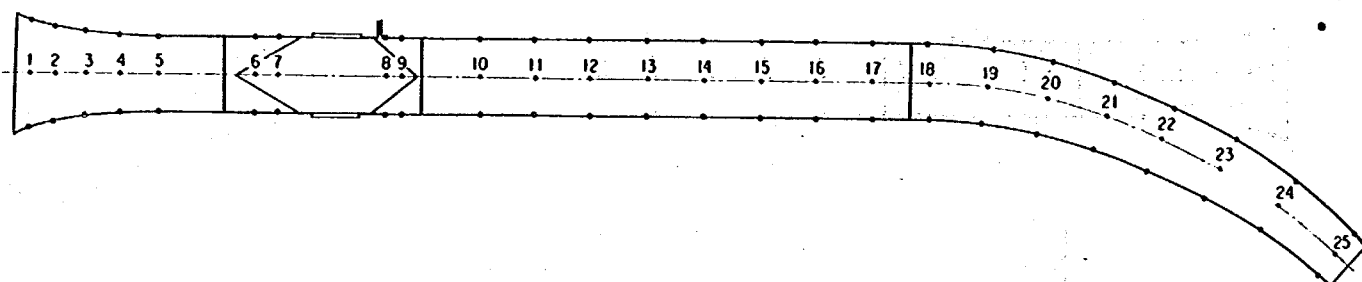
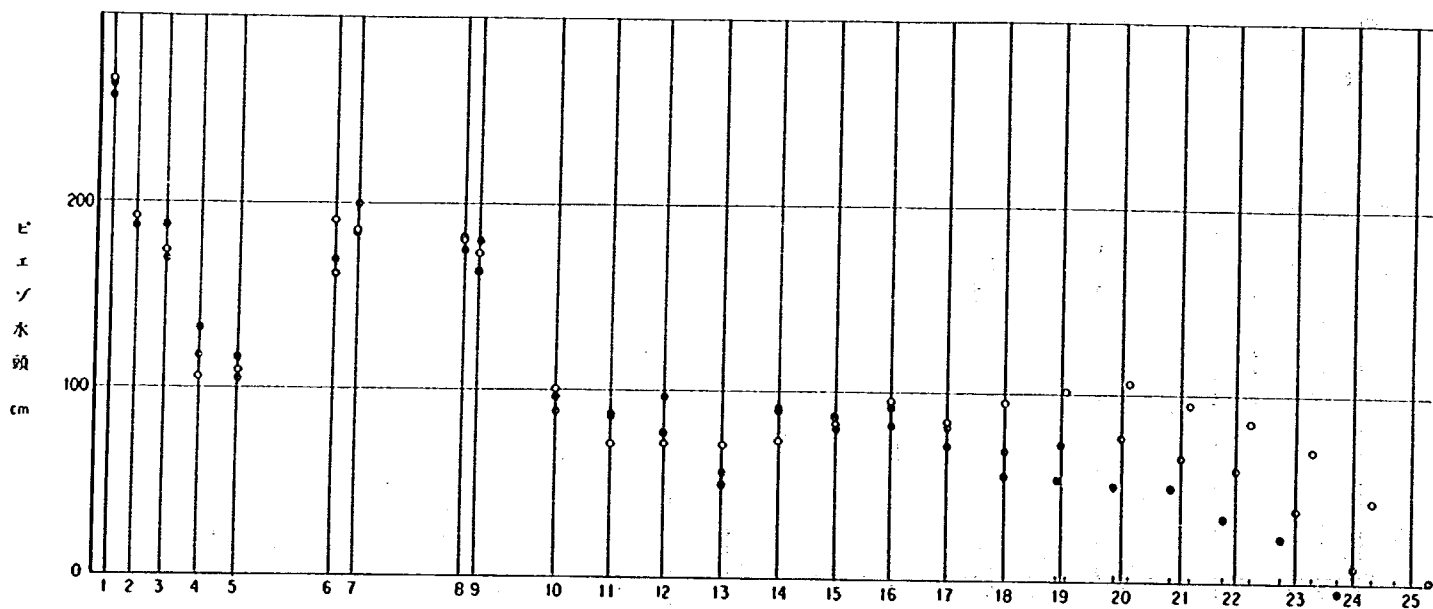
資 料

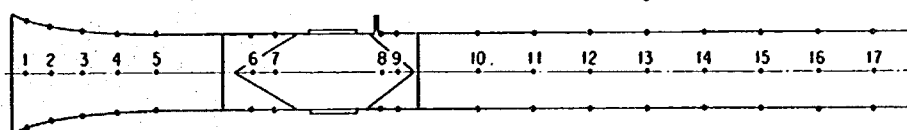
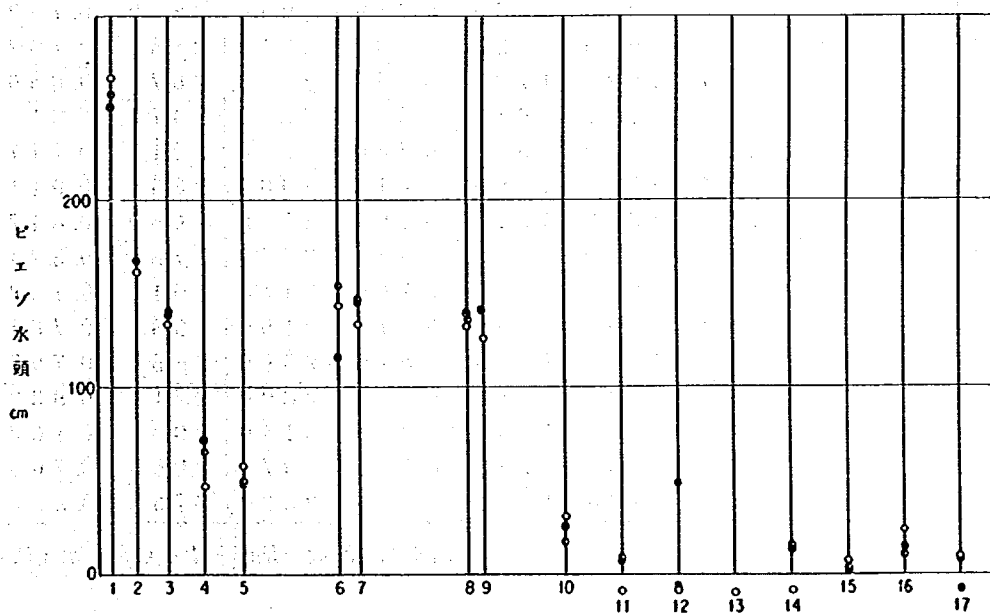
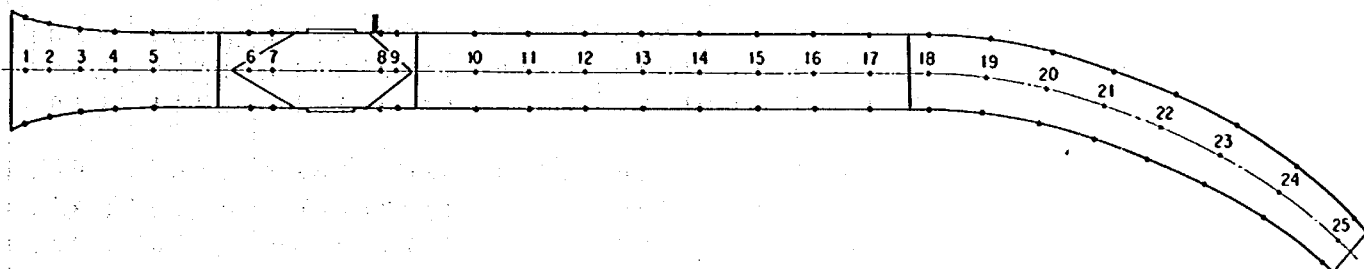
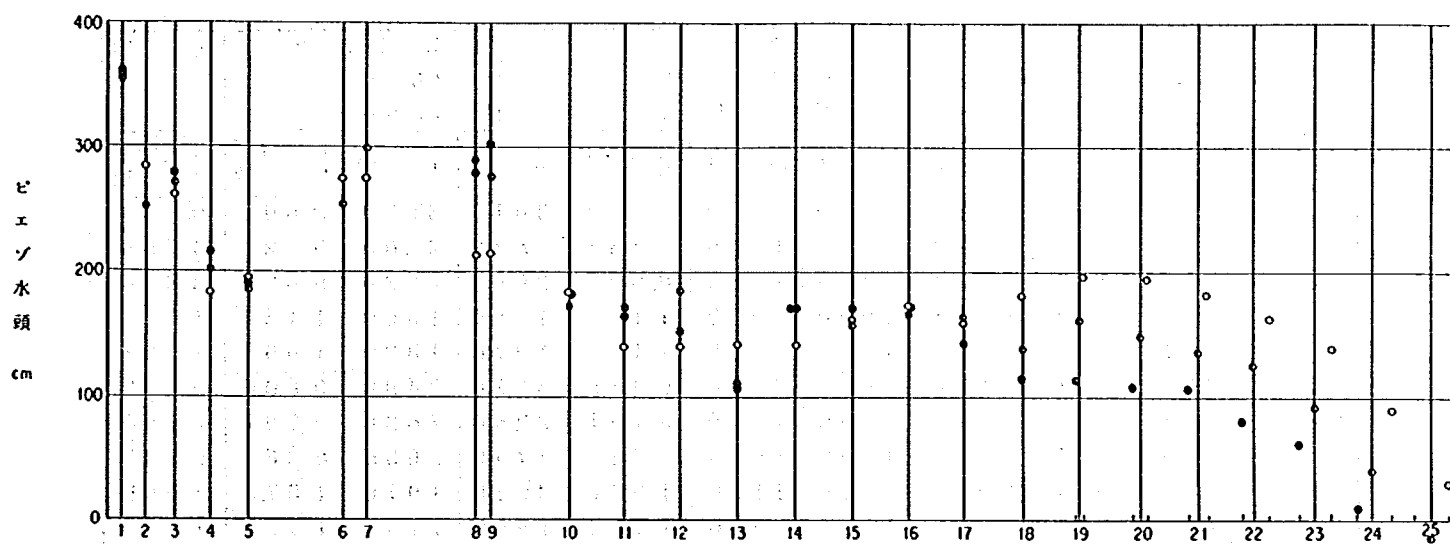
1000

1000

資料 A - 1







資料 A - 2

測 点 番 号		実 験 番 号 1 Q = 1 6 2.9 ℓ/s H = 1.8 9 3 m			実 験 番 号 2 Q = 2 1 3.5 ℓ/s H = 3.5 1 2 m			実 験 番 号 3 Q = 2 6 3.0 ℓ/s H = 5.5 5 0 m			平 均
		最 大	最 小	圧力降下 係 数	最 大	最 小	圧力降下 係 数	最 大	最 小	圧力降下 係 数	圧力降下 係 数
上 面	1	1414	1414	0.378	2690	2600	0.399	3610	3520	0.602	0.459
	2	983	974	0.722	2000	1840	0.732	2880	2800	0.821	0.758
	3	854	848	0.823	1770	1680	0.822	2650	2580	0.889	0.845
	4	480	475	1.118	1090	1030	1.127	1850	1800	1.129	1.125
	5	511	497	1.097	1220	960	1.114	1970	1880	1.098	1.103
側 面	1	1367	1350	0.422	2660	2460	0.438	3610	3490	0.606	0.489
	2	998	982	0.713	1960	1770	0.757	2960	2880	0.797	0.756
	3	870	862	0.811	1750	1640	0.835	2740	2650	0.865	0.837
	4	557	552	1.057	1210	1130	1.077	2050	1970	1.073	1.069
	5	488	478	1.114	1130	970	1.132	1950	1750	1.121	1.122
下 面	1	1337	1334	0.440	2710	2560	0.403	3670	3550	0.588	0.477
	2										
	3	875	868	0.807	1900	1830	0.757	2820	2740	0.839	0.801
	4	604	598	1.021	1360	1270	1.010	2180	2110	1.032	1.021
	5	480	472	1.119	1250	1060	1.084	1960	1810	1.111	1.104
上 面	6	872	866	0.809	1950	1840	0.743	2800	2680	0.852	0.801
	7	862	854	0.818	1900	1800	0.764	2820	2660	0.852	0.811
	8	837	826	0.838	1850	1750	0.787	2670	2590	0.885	0.837
	9	795	790	0.869	1750	1690	0.824	2680	2590	0.883	0.859
上 面 隅 角	6	822	805	0.853	1910	1730	0.778	2880	2600	0.852	0.827
	7	911	896	0.782	2020	1880	0.718	3040	2830	0.792	0.764
	8	931	918	0.765	2030	1920	0.707	3010	2860	0.792	0.755
	9	804	795	0.864	1820	1730	0.799	2780	2670	0.856	0.839
側 面	6	716	700	0.936	1750	1630	0.838	2610	2470	0.912	0.895
	7	885	877	0.799	2050	1930	0.700	3060	2910	0.777	0.759
	8	765	758	0.894	1790	1680	0.817	2900	2850	0.811	0.840
	9	769	758	0.892	1860	1710	0.794	2860	2650	0.847	0.844
下 面 隅 角	6	811	808	0.856	1760	1650	0.831	2880	2780	0.824	0.837
	7				1920	1770	0.766	3120	2910	0.768	0.767
	8	922	908	0.773	1930	1730	0.773	3150	2930	0.761	0.769
	9	828	815	0.846	1770	1660	0.826	2990	2850	0.797	0.823
下 面	6				1720	1510	0.872	2890	2710	0.833	0.853
	7	882	868	0.804	1940	1750	0.766	3140	2930	0.762	0.777
	8	865	859	0.814	1850	1760	0.785	3070	2960	0.768	0.789
	9	767	760	0.892	1700	1560	0.865	2860	2750	0.832	0.863

直管部中心軸を基準とするピエゾ水頭値 (単位 mm)

測 点 番 号	実 験 番 号 1 Q = 162.9 ℓ/s H = 1.893 m			実 験 番 号 2 Q = 213.5 ℓ/s H = 3.512 m			実 験 番 号 3 Q = 263.0 ℓ/s H = 5.550 m			平 均	
	最 大	最 小	圧力降下 係 数	最 大	最 小	圧力降下 係 数	最 大	最 小	圧力降下 係 数	圧力降下 係 数	
上 面	10	373	367	1.203	1060	940	1.155	1940	1730	1.126	1.161
	11	251	244	1.300	750	660	1.291	1470	1310	1.261	1.284
	12	215	207	1.329	780	650	1.286	1480	1290	1.262	1.292
	13	220	214	1.324	780	630	1.291	1490	1320	1.256	1.290
	14	240	232	1.309	800	680	1.274	1480	1330	1.256	1.280
	15	292	287	1.267	890	770	1.233	1670	1540	1.195	1.232
	16	346	330	1.228	1010	890	1.178	1830	1620	1.159	1.188
側 面	17	292	288	1.266	890	810	1.224	1660	1540	1.197	1.229
	10	318	311	1.247	950	800	1.212	1770	1650	1.164	1.208
	11	311	305	1.252	920	790	1.222	1740	1560	1.182	1.218
	12	367	358	1.209	1060	880	1.169	1930	1740	1.126	1.168
	13	124	111	1.402	650	490	1.353	1210	990	1.348	1.368
	14	307	301	1.255	960	860	1.196	1740	1650	1.168	1.206
	15	265	257	1.289	860	760	1.242	1620	1510	1.208	1.246
下 面	16	280	272	1.277	870	770	1.238	1710	1580	1.183	1.233
	17	301	293	1.261	880	760	1.238	1680	1550	1.192	1.230
	10	346	242	1.263	1010	910	1.173	1910	1750	1.127	1.188
	11	281	275	1.276	960	780	1.215	1720	1550	1.186	1.225
	12	234	221	1.316	810	730	1.261	1610	1420	1.223	1.266
	13	72	60	1.443	560	440	1.385	1150	960	1.362	1.397
	14	309	304	1.253	950	830	1.206	1760	1630	1.168	1.209
上 面	15	301	297	1.259	910	830	1.215	1770	1630	1.167	1.213
	16	317	312	1.247	950	880	1.194	1780	1660	1.161	1.200
	17	211	205	1.331	780	660	1.284	1480	1350	1.253	1.289
	18	333	330	1.233	970	930	1.178	1850	1740	1.138	1.183
	19	390	385	1.189	1080	960	1.146	2010	1910	1.088	1.141
	20	380	378	1.196	1090	1020	1.130	2000	1880	1.094	1.140
側 面	21	375	369	1.201	970	920	1.180	1850	1760	1.135	1.172
	22	274	270	1.280	880	820	1.224	1670	1570	1.191	1.232
	23	189	185	1.348	710	680	1.295	1440	1330	1.262	1.301
	24	36	34	1.468	440	420	1.417	1010	950	1.385	1.423
	25	-209	-208	1.660	20	-10	1.612	310	270	1.594	1.622
	18	177	174	1.357	720	650	1.300	1440	1320	1.264	1.307
	19	252	248	1.298	880	780	1.233	1630	1540	1.202	1.244
下 面	20	225	223	1.318	810	720	1.263	1530	1430	1.233	1.271
	21	156	154	1.373	680	630	1.314	1380	1310	1.274	1.320
	22	117	115	1.404	620	580	1.339	1290	1220	1.302	1.348
	23	-5	-6	1.500	400	360	1.440	920	890	1.408	1.449
	24	-190	-191	1.646	90	60	1.580	400	380	1.564	1.596
	25	-489	-489	1.882	-240	-260	1.730	-120	-130	1.720	1.777
	18	107	104	1.412	590	520	1.360	1210	1080	1.335	1.369
上 面	19	93	91	1.423	570	510	1.366	1150	1090	1.342	1.377
	20	72	70	1.439	540	480	1.380	1120	1040	1.355	1.391
	21	71	70	1.440	530	470	1.385	1120	990	1.362	1.395
	22	-12	-12	1.505	360	320	1.458	830	770	1.439	1.467
	23	-94	-96	1.570	240	210	1.511	640	600	1.494	1.525
	24	-244	-245	1.688	-70	-30	1.638	220	160	1.624	1.650
	25				-480	-450	1.829	-410	-470	1.815	1.822

直管部中心軸を基準とするピエゾ水頭値(単位 mm)

測 点 番 号		実 験 番 号 4 Q = 153.5 ℓ/s H = 1.476 m			実 験 番 号 5 Q = 207.0 ℓ/s H = 2.657 m			実 験 番 号 6 Q = 248.5 ℓ/s H = 3.779 m			平 均
		最 大	最 小	圧力降下 係 数	最 大	最 小	圧力降下 係 数	最 大	最 小	圧力降下 係 数	
上 面	1	1078	1074	0.356	1949	1819	0.378	2710	2580	0.385	0.373
	2	683	679	0.707	1219	1119	0.728	1690	1520	0.738	0.724
	3	567	565	0.810	998	995	0.812	1350	1310	0.831	0.817
	4	235	233	1.105	379	329	1.126	500	410	1.128	1.120
	5	247	243	1.095	427	416	1.093	630	490	1.092	1.093
側 面	1	1024	1018	0.405	1819	1759	0.424	2640	2480	0.414	0.414
	2	689	684	0.702	1171	1156	0.730	1730	1600	0.717	0.717
	3	569	564	0.809	1021	1011	0.802	1450	1310	0.814	0.808
	4	282	276	1.065	497	480	1.060	690	600	1.063	1.063
	5	225	218	1.116	909	829	0.874	580	390	1.118	1.036
下 面	1	1042	1039	0.387	1889	1749	0.410	2560	2420	0.437	0.412
	2										
	3	593	589	0.787	1034	1025	0.796	1440	1350	0.809	0.797
	4	325	323	1.025	546	543	1.033	750	670	1.041	1.033
	5	221	216	1.119	399	309	1.126	550	410	1.119	1.121
上 面	6	574	564	0.807	1007	1003	0.808	1460	1370	0.802	0.806
	7	551	543	0.827	963	948	0.832	1370	1260	0.836	0.831
	8	531	526	0.843	937	931	0.843	1350	1260	0.839	0.842
	9	503	502	0.866	873	868	0.874	1220	1080	0.892	0.877
上 面 隅 角	6	534	528	0.841	938	925	0.844	1300	1230	0.853	0.846
	7	618	609	0.767	1081	1066	0.774	1560	1380	0.784	0.775
	8	635	624	0.753	1098	1091	0.764	1600	1460	0.763	0.760
	9	526	519	0.848	916	908	0.853	1300	1190	0.860	0.854
側 面	6	442	433	0.924	750	747	0.933	1090	960	0.935	0.930
	7	612	603	0.773	1066	1060	0.779	1560	1360	0.787	0.780
	8	565	562	0.812	972	970	0.824	1360	1330	0.826	0.821
	9	492	486	0.878	853	845	0.884	1220	1090	0.890	0.884
下 面 隅 角	6	519	518	0.852	887	886	0.866	1330	1150	0.862	0.860
	7	621	613	0.764	1041	1028	0.793	1520	1360	0.794	0.784
	8	656	642	0.736	1100	1073	0.768	1600	1430	0.768	0.757
	9	492	486	0.878	945	940	0.838	1420	1260	0.828	0.848
下 面	6	492	484	0.879	823	815	0.899	1220	1080	0.892	0.890
	7	614	606	0.770	1045	1033	0.791	1520	1370	0.792	0.784
	8	591	586	0.790	990	982	0.817	1440	1340	0.811	0.806
	9	506	497	0.867	841	831	0.890	1240	1150	0.877	0.878

直管部中心軸を基準とするピエゾ水頭値(単位 mm)

測点番号		実験番号 4 Q = 153.5 ℓ/s H = 1.476 m			実験番号 5 Q = 207.0 ℓ/s H = 2.657 m			実験番号 6 Q = 248.5 ℓ/s H = 3.779 m			平均
		最大	最小	圧力降下係数	最大	最小	圧力降下係数	最大	最小	圧力降下係数	圧力降下係数
上 面	10	124	118	1.206	228	220	1.190	330	250	1.184	1.193
	11	-18	-28	1.334	-32	-42	1.317	-40	-160	1.316	1.322
	12	-31	-37	1.343	-63	-76	1.333	-50	-140	1.315	1.330
	13	-22	-27	1.335	-32	-46	1.318	-60	-160	1.320	1.324
	14	-11	-15	1.325	-28	-43	1.317	-60	-130	1.315	1.319
	15	37	35	1.281	55	51	1.273	80	40	1.262	1.272
	16	79	70	1.247	177	150	1.219	280	160	1.208	1.225
	17	42	41	1.276	70	65	1.266	100	50	1.257	1.266
側 面	10	71	65	1.253	117	112	1.243	164	163	1.227	1.241
	11	43	38	1.277	67	61	1.268	79	75	1.256	1.267
	12	113	109	1.214	192	186	1.207	282	278	1.187	1.203
	13	-139	-144	1.439	-11	-61	1.317	-361	-396	1.411	1.389
	14	66	61	1.257	111	105	1.246	150	149	1.232	1.245
	15	15	13	1.301	26	23	1.287	26	24	1.274	1.287
	16	42	41	1.276	74	71	1.264	101	98	1.249	1.263
	17	32	30	1.286	21	18	1.290	78	75	1.256	1.277
下 面	10	107	103	1.220	180	176	1.212	248	245	1.199	1.210
	11	37	34	1.282	57	43	1.275	58	54	1.263	1.273
	12	-7	-12	1.322	-26	-42	1.316	-59	-69	1.304	1.314
	13	-150	-158	1.450	-121	-181	1.373				1.412
	14	57	55	1.263	106	97	1.250	132	131	1.238	1.250
	15	51	47	1.270	87	83	1.258	114	113	1.244	1.257
	16	61	57	1.261	115	109	1.244	138	136	1.236	1.247
	17	-35	-39	1.346	-45	-51	1.323	-80	-86	1.310	1.326

直管部中心軸を基準とするピエゾ水頭値(単位 mm)

資料B - 1

	Q (1/s)	GATE (cm)	AIR VENT	1	2	3	4	5	6	7	SENSOR 8	9	10	11	12	13	14	15
CASE27	301.1	201	CLOSE	362 8	197 7	92 6	61 6	239 8	189 7	78 6	48 7	324 10	228 7	185 6	53 5	68 6	169 7	108 6
CASE28	240.0	201	CLOSE	240 6	134 6	64 6	42 6	162 7	120 6	54 5	47 7	220 7	155 6	126 6	38 5	41 5	115 4	122 6
CASE1	197.0	201	CLOSE	158 8	82 11	38 9	24 17	31 15	99 12	33 8	23 12	173 11	118 11	82 7	26 6	24 11	72 5	77 11
CASE2	166.7	201	CLOSE	166 7	59 11	27 8	17 14	61 14	56 12	23 9	28 13	99 9	83 10	59 6	19 6	16 10	58 4	55 12
CASE3	129.6	201	CLOSE	65 5	38 8	17 6	11 10	34 10	36 9	16 7	14 10	65 6	65 8	39 5	14 5	11 8	33 3	36 9
CASE4	98.9	201	CLOSE	36 5	22 7	9 4	6 8	15 8	20 7	9 6	8 7	39 5	46 7	24 5	9 5	6 7	19 3	22 6
CASE5	75.5	201	CLOSE	19 6	13 6	5 6	4 5	5 6	12 6	5 5	5 5	25 5	36 6	15 5	7 5	4 6	13 3	14 5
CASE6	51.0	201	CLOSE	10 2	16 2	5 2	5 2	0 2	18 2	5 2	6 2	16 2	31 2	12 1	8 2	5 2	11 1	11 1
CASE7	34.1	201	CLOSE	6 1	8 1	6 1	7 0	-2 1	9 1	7 0	7 0	13 1	29 0	11 0	9 0	7 0	11 0	10 0

	Q (1/s)	GATE (cm)	AIR VENT	16	17	18	19	20	21	22	SENSOR 23	24	25	26	27	28	29	30
CASE27	301.1	201	CLOSE	182 6	185 7	154 6	189 7	8 0	43 2	28 2	23 2	9 1	10 2	175 0	4 0	6 0	1 0	0 0
CASE28	240.0	201	CLOSE	123 5	124 5	131 5	127 5	0 0	38 1	15 2	17 2	8 1	9 1	116 6	1 0	2 0	8 0	-1 0
CASE1	197.0	201	CLOSE	78 11	78 11	79 11	78 11	72 8	39 8	18 7	28 6	13 5	12 3	66 14	-1 0	-5 0	-3 0	-5 0
CASE2	166.7	201	CLOSE	55 11	55 13	56 13	54 11	78 0	35 0	16 8	17 8	13 6	11 4	42 16	-3 0	-6 0	-5 0	-6 0
CASE3	129.6	201	CLOSE	36 8	35 10	37 10	35 8	68 0	31 0	16 6	16 6	13 5	11 3	23 13	-6 8	-7 0	-6 0	-7 0
CASE4	98.9	201	CLOSE	21 6	20 7	21 7	20 6	28 0	28 8	14 5	14 4	12 4	11 2	7 8	-7 0	-18 0	-8 0	-8 0
CASE5	75.5	201	CLOSE	14 5	12 5	14 4	12 5	24 0	28 0	14 4	14 3	13 2	11 2	-1 5	-8 0	-18 0	-8 0	-6 0
CASE6	51.0	201	CLOSE	11 1	9 1	10 1	9 1	26 0	38 8	16 1	16 1	15 1	14 0	-4 1	-6 8	-8 0	-7 0	-7 0
CASE7	34.1	201	CLOSE	10 0	8 0	10 0	8 0	27 0	32 0	19 0	19 0	18 0	17 0	-4 0	-4 0	-7 0	-4 0	-4 0

	Q (1/s)	GATE (cm)	AIR VENT	1	2	3	4	5	6	7	SENSOR 8	9	10	11	12	13	14	15
CASE29	243.5	180	OPEN	288 5	179 4	189 3	89 4	236 5	173 4	101 3	93 5	262 8	197 5	178 4	84 3	88 3	178 4	167 5
CASE30	246.9	180	CLOSE	269 7	138 6	89 5	68 5	186 7	152 6	79 5	73 7	242 9	178 7	151 5	62 5	67 5	148 7	145 6
CASE31	195.8	180	CLOSE	173 5	102 5	55 4	43 4	119 6	97 5	58 4	46 7	155 7	114 5	96 4	48 4	42 4	93 4	92 5

	Q (1/s)	GATE (cm)	AIR VENT	16	17	18	19	20	21	22	SENSOR 23	24	25	26	27	28	29	30
CASE29	243.5	180	OPEN	160 3	86 13	118 14	148 10	8 0	-8 0	-1 1	11 1	6 1	10 2	-3 0	-15 0	-15 0	-12 0	-8 0
CASE30	246.9	180	CLOSE	148 5	63 10	96 11	138 9	8 8	6 1	8 2	16 2	8 1	9 1	-38 2	-2 0	-7 0	-11 0	-11 0
CASE31	195.8	180	CLOSE	88 4	43 9	66 8	83 6	8 0	6 1	7 2	13 1	8 1	9 1	-21 0	-8 0	-11 0	-14 0	-13 0

----- UPPER:MEAN-VALUE (cmAq) LOWER:VARIANCE (cmAq) -----

	Q (1/s)	GATE (mm)	AIR VENT	SENSOR														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CASE32	190.7	170	OPEN	220 5	154 4	111 3	99 3	170 6	149 4	104 3	102 6	203 7	163 5	148 4	96 3	98 3	150 2	145 3
CASE33	198.3	170	CLOSE	183 6	112 6	66 6	53 6	130 7	107 6	60 5	57 11	163 9	125 7	107 6	51 5	53 5	107 3	102 6
CASE35	154.1	170	OPEN	143 3	102 3	72 2	66 2	112 4	98 2	69 2	68 5	136 8	108 3	97 2	63 2	65 2	100 1	95 2
CASE34	157.7	170	CLOSE	118 6	73 5	42 5	35 5	84 6	69 5	39 5	37 7	111 7	81 6	69 5	33 5	34 5	70 4	66 6
CASE36	107.5	170	OPEN	73 3	52 3	36 2	35 3	55 4	49 3	35 2	38 9	70 5	54 4	50 2	33 2	33 2	51 1	48 2
CASE37	110.0	170	CLOSE	57 5	36 6	19 4	17 5	40 6	33 5	18 4	17 12	54 5	39 5	33 4	15 4	15 4	33 4	31 5
CASE39	52.4	170	OPEN	20 1	16 1	11 1	12 1	16 1	14 1	10 1	11 1	19 1	14 1	14 1	10 0	10 1	15 0	14 1
CASE38	54.3	170	CLOSE	17 1	13 1	7 1	8 1	12 1	10 1	6 1	7 1	15 1	10 1	10 1	6 1	6 1	11 1	10 1

	Q (1/s)	GATE (mm)	AIR VENT	SENSOR															
				16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
CASE32	190.7	170	OPEN	137 3	124 9	87 9	115 7	0 0	-9 0	-5 0	6 0	3 0	6 1	-13 0	-12 0	-15 0	-15 0	-11 0	
CASE33	198.3	170	CLOSE	95 5	78 8	48 12	73 9	0 0	-14 1	1 2	11 2	8 1	9 2	-82 0	-7 0	-11 0	-14 0	-13 0	
CASE35	154.1	170	OPEN	90 1	81 6	60 6	77 6	0 0	-2 0	0 0	8 0	7 0	9 0	-14 0	-12 0	-13 0	-13 0	-8 0	
CASE34	157.7	170	CLOSE	61 4	51 8	43 16	41 7	0 0	-7 1	1 2	9 2	7 1	8 1	-66 1	-11 0	-14 0	-16 0	-13 0	
CASE36	107.5	170	OPEN	45 1	41 4	31 4	38 3	0 0	5 0	5 0	10 0	10 0	12 0	-12 0	-11 0	-11 0	-11 0	-7 0	
CASE37	110.0	170	CLOSE	28 4	23 5	15 5	21 5	0 0	1 1	3 2	8 1	7 1	8 1	-40 1	-14 0	-16 0	-17 0	-13 0	
CASE39	52.4	170	OPEN	13 0	11 1	10 1	10 1	0 0	10 0	8 0	11 0	12 0	14 0	-10 0	-9 0	-11 0	-10 0	-6 0	
CASE38	54.3	170	CLOSE	9 1	7 1	7 1	6 1	0 0	10 0	7 0	10 0	10 0	12 0	-21 0	-15 0	-15 0	-16 0	-11 0	

----- UPPER:MEAN-VALUE (caAq) LOWER:VARIANCE (caAq) -----

	Q (1/s)	GATE (mm)	AIR VENT	SENSOR														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CASE47	184.3	150	OPEN	306 5	243 5	202 4	191 4	259 5	238 5	197 4	194 6	289 5	249 5	239 4	185 3	190 4	245 4	235 4
CASE46	197.0	150	CLOSE	218 16	145 14	98 13	85 13	163 14	140 14	92 12	88 12	199 15	156 14	139 13	81 10	84 13	148 8	135 11
CASE44	156.2	150	OPEN	221 3	176 2	146 2	139 2	187 3	172 2	142 2	141 4	209 4	181 2	172 2	136 1	137 2	178 3	169 3
CASE45	156.2	150	CLOSE	217 4	172 3	143 3	135 3	183 4	168 3	138 3	137 5	204 5	176 4	168 3	131 2	133 3	173 2	165 3
CASE43	104.8	150	OPEN	99 3	80 2	66 2	64 2	84 3	77 2	64 2	64 4	95 3	81 3	77 2	61 1	61 2	79 1	76 1
CASE42	105.1	150	CLOSE	99 2	80 2	66 2	64 1	84 2	77 2	64 2	63 1	94 3	80 2	77 2	61 1	61 1	80 1	76 1
CASE40	50.9	150	OPEN	24 1	21 1	16 1	17 0	20 1	18 1	15 0	15 1	23 2	18 1	18 0	14 0	14 0	19 0	18 0
CASE41	51.2	150	CLOSE	25 1	21 1	15 1	17 0	20 1	18 1	15 1	16 1	23 3	18 1	19 0	15 0	14 0	19 0	19 1

	Q (1/s)	GATE (mm)	AIR VENT	SENSOR																
				16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
CASE47	184.3	150	OPEN	221 3	287 21	107 12	177 18	0 0	-15 0	-9 0	3 0	-3 1	-1 1	-16 0	-21 0	-23 0	-21 0	-17 0		
CASE46	197.0	150	CLOSE	119 11	195 22	-9 14	46 56	0 0	-77 3	-24 8	3 7	4 3	7 4	-181 2	-25 1	-25 0	-25 0	-22 0		
CASE44	156.2	150	OPEN	159 2	204 13	81 7	131 6	0 0	-7 0	-3 0	6 0	2 0	5 0	-10 0	-10 0	-10 0	-12 0	-6 0		
CASE45	156.2	150	CLOSE	155 2	197 14	81 10	111 29	0 0	-10 0	-6 0	4 0	0 0	3 0	-13 0	-15 0	-14 0	-14 0	-6 0		
CASE43	104.8	150	OPEN	71 1	90 8	38 5	58 3	0 0	2 0	2 0	7 0	7 0	9 0	-9 0	-8 0	-9 0	-11 0	-4 0		
CASE42	105.1	150	CLOSE	70 1	91 9	38 4	57 3	0 0	2 0	3 0	7 0	8 0	9 0	-9 0	-9 0	-9 0	-11 0	-5 0		
CASE40	50.9	150	OPEN	16 0	19 2	11 1	13 0	0 0	8 0	6 0	8 0	9 0	11 0	-10 0	-9 0	-9 0	-10 0	-6 0		
CASE41	51.2	150	CLOSE	17 0	20 2	11 1	13 1	0 0	8 0	6 0	8 0	9 0	11 0	-10 0	-8 0	-9 0	-10 0	-5 0		

----- UPPER:MEAN-VALUE (cmAq) LOWER:VARIANCE (cmAq) -----

	Q (1/s)	GATE (mm)	AIR VENT	SENSOR														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CASE48	188.0	130	OPEN	443 4	378 4	337 3	325 3	396 4	373 3	331 3	328 6	426 5	383 4	373 3	320 2	324 3	384 3	370 5
CASE49	190.0	130	CLOSE	445 5	379 4	337 3	325 4	397 5	374 4	331 4	328 6	428 7	385 5	374 4	322 4	324 4	391 5	372 5
CASE50	143.2	130	OPEN	258 4	221 3	196 2	190 3	230 5	217 3	193 3	191 8	246 4	222 4	217 3	188 3	189 2	225 2	215 4
CASE51	98.5	130	OPEN	124 3	107 4	94 2	92 4	110 7	104 3	92 3	91 12	119 6	106 4	104 3	90 2	90 2	108 2	102 2
CASE52	40.8	130	OPEN	19 1	18 1	13 1	15 1	17 1	16 1	14 1	14 1	18 1	15 1	16 1	13 1	13 0	17 0	16 0

	Q (1/s)	GATE (mm)	AIR VENT	SENSOR															
				16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
CASE48	188.0	130	OPEN	347 3	305 16	213 15	248 15	0 0	-28 1	-15 1	-2 1	-12 2	-8 1	-16 0	-24 0	-23 0	-22 0	-20 0	
CASE49	190.0	130	CLOSE	349 4	307 14	212 15	246 13	0 0	-34 1	-20 1	-7 1	-15 1	-13 2	-14 1	-26 0	-26 0	-26 0	-21 0	
CASE50	143.2	130	OPEN	201 2	171 10	129 8	141 8	0 0	-12 0	-4 0	5 0	1 0	4 0	-5 0	-14 0	-19 0	-16 0	-12 0	
CASE51	98.5	130	OPEN	95 1	79 5	62 6	65 5	0 0	-1 0	1 0	7 0	7 0	8 0	-5 0	-13 0	-16 0	-14 0	-11 0	
CASE52	40.8	130	OPEN	14 0	10 1	10 1	8 0	0 0	6 0	5 0	8 0	9 0	10 0	-5 0	-13 0	-16 0	-14 0	-11 0	

----- UPPER: MEAN-VALUE (cmAq) LOWER: VARIANCE (cmAq) -----

	Q (1/s)	GATE (mm)	AIR VENT	SENSOR														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CASE53	188.3	100	OPEN	798 11	731 10	691 9	679 9	753 11	727 10	685 9	681 10	785 12	730 10	726 10	676 9	678 9	750 9	725 11
CASE54	189.2	100	CLOSE	806 11	738 10	696 10	684 10	760 11	734 10	691 9	686 10	786 11	735 11	733 10	681 8	683 9	757 10	731 15
CASE55	129.6	100	OPEN	382 7	352 8	330 5	326 7	360 7	347 7	328 5	325 5	377 6	348 7	347 5	324 4	324 6	361 4	347 6
CASE56	129.4	100	CLOSE	379 9	348 11	327 7	323 13	358 12	345 11	325 6	324 9	370 8	346 12	345 7	321 6	322 7	356 5	344 7
CASE57	90.8	100	OPEN	186 9	172 14	160 7	160 14	175 13	169 13	160 7	158 8	193 6	169 14	169 7	159 5	158 8	175 3	168 6
CASE58	51.3	100	OPEN	54 5	51 6	46 4	47 5	51 7	49 7	45 3	46 3	54 3	48 8	49 3	45 2	46 3	51 1	49 2

	Q (1/s)	GATE (mm)	AIR VENT	SENSOR															
				16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
CASE53	188.3	100	OPEN	685 9	591 12	678 38	392 16	0 0	-49 1	-23 1	-9 1	-27 1	-24 2	-14 0	-20 0	-22 0	-26 0	-23 0	
CASE54	189.2	100	CLOSE	690 10	595 13	700 38	388 16	0 0	-61 1	-36 3	-20 3	-41 4	-38 3	-26 3	-27 2	-33 0	-36 0	-30 0	
CASE55	129.6	100	OPEN	327 4	270 5	333 22	182 10	0 0	-17 0	-7 0	2 0	-8 1	-6 1	-6 0	-7 0	-14 0	-16 0	-14 0	
CASE56	129.4	100	CLOSE	324 5	270 7	330 23	181 8	0 0	-17 0	-8 1	1 1	-7 1	-6 1	-7 0	-6 0	-14 0	-16 0	-15 0	
CASE57	90.8	100	OPEN	158 3	127 3	164 14	86 5	0 0	-4 0	0 0	5 0	2 0	2 0	-4 0	-2 0	-10 0	-13 0	-11 0	
CASE58	51.3	100	OPEN	45 1	34 1	50 4	22 2	0 0	2 0	3 0	6 0	6 0	6 0	-4 0	-2 0	-10 0	-13 0	-10 0	

----- UPPER:MEAN-VALUE (caAq) LOWER:VARIANCE (caAq) -----

	Q (1/s)	GATE (mm)	AIR VENT	SENSOR														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CASE25	128.5	70	OPEN	790 9	758 8	738 8	735 8	763 8	757 8	738 8	736 8	784 9	770 8	760 8	735 7	734 8	771 7	753 11
CASE26	129.2	70	CLOSE	795 8	763 8	742 7	739 8	767 8	761 8	742 7	740 8	789 8	775 8	765 7	741 7	738 7	777 7	759 11
CASE23	107.7	70	OPEN	555 5	532 5	519 5	516 5	533 5	533 5	518 5	518 5	551 5	548 5	535 5	517 5	516 5	543 4	531 7
CASE24	107.0	70	CLOSE	539 5	517 5	503 4	501 5	517 5	517 4	502 4	502 4	537 5	534 5	519 4	503 4	501 4	527 6	515 7
CASE21	75.1	70	OPEN	271 3	261 3	253 3	254 3	256 3	261 3	253 3	254 3	271 3	279 3	265 3	256 3	252 3	269 2	262 3
CASE22	75.6	70	CLOSE	273 3	262 3	255 3	256 3	257 3	263 3	255 3	256 3	273 3	281 3	266 3	257 3	254 3	270 3	264 4
CASE20	48.5	70	OPEN	108 2	103 2	100 1	101 2	96 2	105 1	101 2	102 2	110 2	124 2	109 1	104 1	100 1	109 1	106 1

	Q (1/s)	GATE (mm)	AIR VENT	SENSOR														
				16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
CASE25	128.5	70	OPEN	728 8	627 8	525 5	527 17	14 0	-14 0	-15 1	-7 2	-25 2	-24 0	-14 1	-21 0	-28 0	-25 0	-23 0
CASE26	129.2	70	CLOSE	732 7	633 9	529 6	531 21	14 0	-21 0	-20 3	-13 4	-30 4	-23 1	-20 4	-26 1	-32 1	-31 1	-28 0
CASE23	107.7	70	OPEN	511 5	431 5	365 4	367 15	16 0	-1 0	-8 1	-2 2	-14 2	-13 0	-8 1	-16 0	-24 0	-24 0	-21 0
CASE24	107.0	70	CLOSE	496 5	421 5	354 3	359 14	15 0	-3 0	-10 1	-3 1	-15 2	-15 0	-10 1	-18 0	-24 0	-23 0	-19 0
CASE21	75.1	70	OPEN	251 3	202 4	173 2	183 7	17 0	10 0	1 0	5 0	-1 1	-1 0	-1 0	-8 0	-19 0	-18 0	-17 0
CASE22	75.6	70	CLOSE	253 3	200 3	174 3	182 9	16 0	9 0	1 0	5 0	0 1	-1 0	-2 0	-9 0	-20 0	-18 0	-17 0
CASE20	48.5	70	OPEN	101 1	82 1	69 1	70 3	17 0	18 0	3 0	6 0	5 0	6 0	0 0	-8 0	-18 0	-18 0	-16 0

----- UPPER:MEAN-VALUE (cmAq) LOWER:VARIANCE (cmAq) -----

	Q (1/s)	GATE (mm)	AIR VENT	SENSOR														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CASE13	80.9	40	OPEN	952 8	940 8	933 8	931 8	942 8	940 8	932 8	931 8	951 8	944 8	943 8	933 8	930 8	946 9	936 9
CASE14	59.9	40	OPEN	517 5	510 5	506 5	506 5	506 5	510 5	505 5	506 5	517 5	522 5	514 4	508 4	505 5	516 4	510 5
CASE15	65.5	40	CLOSE	471 5	464 5	458 4	458 5	460 5	464 5	458 4	459 5	472 5	476 5	468 5	461 4	458 5	470 3	464 5
CASE16	39.4	40	OPEN	214 1	212 1	208 1	210 2	204 1	212 1	209 1	210 1	216 1	229 1	215 1	213 1	210 1	217 1	214 1
CASE17	39.2	40	CLOSE	209 2	207 2	204 2	205 2	199 2	207 2	204 2	206 2	211 2	224 2	210 2	208 2	205 2	212 2	209 2
CASE18	18.8	40	OPEN	38 1	37 1	36 1	38 1	28 1	39 1	37 1	39 1	41 1	58 1	42 1	40 1	37 1	42 1	42 1

	Q (l/s)	GATE (mm)	AIR VENT	SENSOR														
				16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
CASE13	80.9	40	OPEN	924 8	765 9	768 9	708 11	19 0	33 0	-16 3	-22 4	-46 5	-15 1	-21 4	-22 0	-25 0	5 1	5 0
CASE14	59.9	40	OPEN	503 5	406 5	410 5	385 4	18 0	18 0	-9 2	-11 2	-23 2	-15 0	-11 2	-15 0	-29 0	-20 1	-14 0
CASE15	65.5	40	CLOSE	455 4	338 5	342 4	309 6	18 0	-135 0	-140 9	-97 15	-63 16	-29 6	-179 1	-174 1	-137 2	-90 2	-61 3
CASE16	39.4	40	OPEN	210 1	166 2	168 1	157 2	18 0	21 0	-7 2	-6 2	-11 2	-15 0	-6 1	-14 0	-24 0	-24 0	-22 0
CASE17	39.2	40	CLOSE	205 2	163 2	165 1	154 3	17 0	20 0	-7 2	-6 3	-11 3	-15 0	-7 3	-14 0	-25 1	-25 1	-23 1
CASE18	18.8	40	OPEN	39 1	30 0	30 0	26 1	17 0	19 0	0 0	5 0	5 0	5 0	0 0	-9 0	-20 0	-18 0	-17 0

----- UPPER:MEAN-VALUE (cmAq) LOWER:VARIANCE (cmAq) -----

	Q (1/s)	GATE (mm)	AIR VENT	SENSOR														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CASE12	40.1	20	OPEN	945 7	942 7	940 7	940 7	942 7	942 7	940 7	940 7	946 7	944 7	945 7	942 7	940 7	946 6	941 7
CASE11	39.7	20	CLOSE	926 9	923 9	921 9	921 9	922 9	923 9	921 9	921 9	927 9	925 9	926 9	922 9	920 9	926 9	923 10
CASE9	33.3	20	OPEN	646 7	646 7	645 7	644 7	643 7	646 7	643 7	644 7	649 7	653 7	649 7	646 6	644 7	651 6	646 6
CASE10	33.4	20	CLOSE	648 4	648 4	648 4	647 4	645 5	648 5	646 5	646 4	652 4	655 5	651 4	649 4	647 4	653 4	649 4
CASE8	12.8	20	OPEN	74 0	77 0	77 0	77 0	68 1	78 1	77 0	77 0	80 0	97 0	81 0	79 0	78 0	81 0	80 0

	Q (1/s)	GATE (mm)	AIR VENT	SENSOR															
				16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
CASE12	40.1	20	OPEN	939 7	814 4	833 5	832 6	19 0	4 0	-10 0	-12 0	-35 1	-18 0	-7 0	-6 0	-6 0	-2 1	1 1	
CASE11	39.7	20	CLOSE	920 9	793 5	813 6	813 7	20 0	5 0	-10 0	-12 1	-30 3	-16 1	-9 0	-7 0	-7 0	-1 2	3 1	
CASE9	33.3	20	OPEN	644 6	516 3	538 4	561 5	22 0	14 0	-6 0	-8 0	-26 0	-21 1	-5 0	-6 0	-5 0	-4 0	2 0	
CASE10	33.4	20	CLOSE	647 4	522 2	544 2	563 3	21 0	13 0	-7 0	-8 0	-22 2	-19 1	-6 0	-6 0	-8 0	-6 0	0 0	
CASE8	12.8	20	OPEN	79 0	64 0	68 0	67 0	23 0	18 0	1 0	3 0	1 0	3 0	-1 0	-2 0	-4 0	-3 0	-2 0	

----- UPPER::MEAN-VALUE (cmAq) LOWER::VARIANCE (cmAq) -----

資料 B - 2

	Q (m/s)	HEAD (m)	GATE (%)	AIR VENT	1	2	3	4	5	6	7	SENSOR				10	11	12	13	14	15	16
												8	9									
CASE27	179.8	73.5	100	CLOSE	.444	.803	1.032	1.099	.712	.820	1.062	1.084	.527	.736	.829	1.116	1.101	.864	.840	.836		
CASE28	148.1	50.0	100	CLOSE	.441	.807	1.031	1.102	.717	.826	1.054	1.086	.531	.740	.833	1.115	1.105	.868	.845	.842		
CASE1	117.6	31.5	100	CLOSE	.472	.817	1.041	1.112	.772	.828	1.067	1.087	.528	.634	.817	1.102	1.112	.868	.843	.838		
CASE2	99.5	22.5	100	CLOSE	.481	.814	1.042	1.113	.800	.836	1.070	1.091	.530	.601	.814	1.098	1.120	.878	.843	.843		
CASE3	77.4	13.9	100	CLOSE	.490	.808	1.054	1.125	.855	.831	1.066	1.090	.490	.490	.796	1.090	1.125	.866	.831	.831		
CASE4	59.0	8.1	100	CLOSE	.525	.808	1.070	1.131	.949	.848	1.070	1.090	.465	.324	.767	1.070	1.131	.868	.808	.828		
CASE29	145.4	54.5	90	OPEN	.438	.800	1.033	1.100	.711	.820	1.060	1.087	.524	.740	.830	1.117	1.103	.830	.840	.864		
CASE30	147.4	52.9	90	CLOSE	.447	.807	1.030	1.098	.716	.826	1.062	1.082	.535	.742	.829	1.117	1.101	.839	.849	.865		
CASE31	116.9	33.3	90	CLOSE	.428	.794	1.036	1.097	.706	.819	1.061	1.082	.521	.732	.825	1.113	1.103	.840	.845	.866		
CASE32	113.8	39.1	85	OPEN	.439	.797	1.030	1.095	.710	.824	1.068	1.079	.531	.748	.829	1.112	1.101	.819	.846	.889		
CASE33	118.4	35.3	85	CLOSE	.448	.804	1.035	1.100	.714	.829	1.065	1.080	.548	.739	.829	1.110	1.100	.829	.854	.889		
CASE35	92.0	25.5	85	OPEN	.447	.787	1.037	1.087	.704	.821	1.062	1.070	.505	.738	.829	1.111	1.095	.804	.846	.887		
CASE34	94.1	22.4	85	CLOSE	.435	.792	1.038	1.094	.705	.824	1.062	1.078	.491	.729	.824	1.110	1.102	.816	.848	.887		
CASE36	64.2	12.6	85	OPEN	.415	.774	1.047	1.064	.723	.825	1.064	1.013	.467	.740	.808	1.098	1.098	.791	.842	.893		
CASE37	65.7	10.8	85	CLOSE	.423	.766	1.043	1.075	.700	.814	1.059	1.075	.472	.717	.814	1.108	1.108	.814	.847	.896		

	Q (m/s)	HEAD (m)	GATE (%)	AIR VENT	1	2	3	4	5	6	7	SENSOR				10	11	12	13	14	15	16
												8	9									
CASE47	110.0	49.2	75	OPEN	.423	.789	1.027	1.091	.696	.818	1.056	1.074	.522	.754	.818	1.126	1.097	.777	.836	.917		
CASE46	117.6	39.0	75	CLOSE	.421	.792	1.031	1.097	.700	.817	1.061	1.082	.517	.736	.823	1.117	1.102	.777	.843	.924		
CASE44	93.3	35.5	75	OPEN	.426	.790	1.032	1.089	.701	.822	1.064	1.073	.523	.749	.822	1.113	1.105	.773	.846	.927		
CASE45	93.3	35.0	75	CLOSE	.426	.790	1.024	1.089	.701	.822	1.064	1.073	.531	.757	.822	1.121	1.105	.781	.846	.927		
CASE43	62.6	16.0	75	OPEN	.435	.776	1.028	1.064	.705	.830	1.064	1.064	.507	.758	.830	1.118	1.118	.794	.848	.938		
CASE42	62.7	16.0	75	CLOSE	.439	.778	1.028	1.064	.707	.832	1.064	1.082	.528	.778	.832	1.118	1.118	.778	.850	.957		
CASE48	112.2	67.6	65	OPEN	.435	.798	1.027	1.094	.698	.826	1.061	1.077	.530	.770	.826	1.122	1.100	.765	.843	.971		
CASE49	113.4	68.3	65	CLOSE	.441	.802	1.032	1.097	.704	.829	1.064	1.081	.534	.769	.829	1.114	1.103	.736	.840	.966		
CASE50	85.5	39.4	65	OPEN	.438	.794	1.035	1.092	.707	.832	1.063	1.083	.553	.784	.832	1.112	1.102	.755	.852	.986		
CASE51	58.8	18.8	65	OPEN	.419	.765	1.029	1.070	.704	.826	1.070	1.090	.521	.785	.826	1.110	1.110	.744	.866	1.009		
CASE53	112.4	113.8	50	OPEN	.435	.808	1.031	1.097	.686	.830	1.064	1.086	.508	.814	.836	1.114	1.103	.702	.841	1.064		
CASE54	113.0	114.7	50	CLOSE	.426	.801	1.033	1.099	.680	.823	1.060	1.088	.537	.818	.829	1.116	1.105	.697	.840	1.066		
CASE55	77.4	54.3	50	OPEN	.427	.790	1.038	1.085	.686	.839	1.062	1.097	.486	.827	.839	1.109	1.109	.674	.839	1.074		
CASE56	77.3	53.9	50	CLOSE	.425	.791	1.038	1.085	.673	.826	1.062	1.074	.531	.814	.826	1.109	1.097	.696	.838	1.074		
CASE57	54.2	26.5	50	OPEN	.439	.774	1.062	1.062	.703	.846	1.062	1.110	.511	.846	.846	1.086	1.110	.703	.870	1.110		
CASE58	30.6	7.8	50	OPEN	.445	.670	1.045	.970	.670	.820	1.045	1.045	.445	.895	.820	1.120	1.045	.670	.820	1.120		

	Q (m/s)	HEAD (m)	GATE (%)	AIR VENT	SENSOR															
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
CASE25	76.71	107.3	35	OPEN	.436	.818	1.057	1.093	.758	.830	1.057	1.081	.507	.675	.794	1.093	1.105	.663	.879	1.177
CASE26	77.11	108.0	35	CLOSE	.439	.817	1.065	1.101	.770	.841	1.065	1.089	.510	.675	.793	1.077	1.112	.651	.864	1.183
CASE23	64.3	75.4	35	OPEN	.440	.831	1.052	1.103	.814	.814	1.069	1.069	.508	.559	.780	1.086	1.103	.644	.848	1.188
CASE24	63.9	73.3	35	CLOSE	.443	.822	1.063	1.098	.822	.822	1.081	1.081	.477	.529	.788	1.063	1.099	.650	.857	1.184
CASE21	44.8	36.9	35	OPEN	.474	.824	1.104	1.069	.999	.824	1.104	1.069	.474	.194	.684	.999	1.139	.544	.789	1.174
CASE22	45.1	37.2	35	CLOSE	.471	.850	1.092	1.058	1.023	.816	1.092	1.058	.471	.194	.712	1.023	1.127	.574	.781	1.161
CASE20	29.0	14.9	35	OPEN	.538	.957	1.209	1.125	1.545	.790	1.125	1.041	.370	-.804	.454	.873	1.209	.454	.706	1.125
CASE13	40.31	25.7	20	OPEN	.484	.846	1.057	1.117	.786	.846	1.087	1.117	.514	.725	.756	1.057	1.148	.665	.967	1.328
CASE14	35.8	68.3	20	OPEN	.481	.866	1.086	1.086	1.086	.866	1.141	1.086	.481	.206	.646	.976	1.141	.536	.866	1.251
CASE15	39.1	62.6	20	CLOSE	.516	.838	1.114	1.114	1.022	.838	1.114	1.068	.470	.286	.654	.976	1.114	.562	.838	1.252
CASE16	23.5	28.4	20	OPEN	.559	.813	1.322	1.067	1.830	.813	1.194	1.067	.305	-1.348	.432	.686	1.067	.178	.559	1.067
CASE17	23.4	27.7	20	CLOSE	.597	.853	1.239	1.110	1.881	.853	1.239	.982	.340	-1.330	.468	.725	1.110	.211	.597	1.110
CASE12	23.91	23.2	10	OPEN	.527	.895	1.140	1.140	.895	.895	1.140	1.140	.404	.649	.527	.995	1.140	.404	1.018	1.263
CASE11	23.71	20.7	10	CLOSE	.474	.950	1.100	1.100	.975	.850	1.100	1.100	.349	.599	.474	.975	1.225	.474	.850	1.225
CASE9	19.9	84.5	10	OPEN	.821	.821	.999	1.177	1.355	.821	1.355	1.177	.287	-.424	.287	.821	1.177	-.069	.821	1.177
CASE10	19.9	84.9	10	CLOSE	1.000	1.000	1.000	1.176	1.530	1.000	1.353	1.353	.292	-.239	.469	.823	1.176	.115	.823	1.176
CASE8	7.6	10.2	10	OPEN	5.477	1.864	1.864	1.864	12.703	.659	1.864	1.864	-1.750	-22.22	-2.954	-.545	.659	-2.954	-1.750	-.545

資料B-3

	Q (m/s)	HEAD (m)	GATE (%)	AIR VENT	20	21	22	23	24	SENSOR 25	26	27	28	29	30
CASE27	179.8	73.4	100	CLOSE	0.00	5.55	2.58	2.97	1.16	1.29	22.58	.52	.77	.13	0.00
CASE28	148.1	50.0	100	CLOSE	0.00	3.87	1.94	2.19	1.03	1.16	14.96	.13	.26	0.00	-.13
CASE1	117.6	31.5	100	CLOSE	9.29	5.03	2.32	2.58	1.68	1.55	8.51	-.13	-.65	-.39	-.65
CASE2	99.5	22.5	100	CLOSE	9.03	4.52	2.06	2.19	1.68	1.42	5.42	-.39	-.77	-.65	-.77
CASE3	77.4	13.8	100	CLOSE	8.77	4.00	2.06	2.06	1.68	1.42	2.97	-.77	-.90	-.77	-.90
CASE4	59.0	8.0	100	CLOSE	2.58	3.61	1.81	1.81	1.55	1.42	.90	-.90	-1.29	-1.03	-1.03
CASE29	145.4	54.4	90	OPEN	0.00	-1.03	-.13	1.42	.77	1.29	-4.90	-1.94	-1.94	-1.55	-1.03
CASE30	147.4	52.8	90	CLOSE	0.00	.77	1.03	2.06	1.03	1.16	-8.39	-.26	-.90	-1.42	-1.42
CASE31	116.9	33.2	90	CLOSE	0.00	.77	.90	1.68	1.03	1.16	-7.22	-1.03	-1.42	-1.81	-1.68
CASE32	113.8	39.0	85	OPEN	0.00	-1.16	-.65	.77	.39	.77	-6.19	-1.55	-1.94	-1.94	-1.42
CASE33	118.4	35.3	85	CLOSE	0.00	-1.81	.13	1.42	1.03	1.16	-15.09	-.90	-1.42	-1.81	-1.68
CASE35	92.0	25.5	85	OPEN	0.00	-.26	0.00	1.03	.90	1.16	-6.32	-1.55	-1.68	-1.68	-1.03
CASE34	94.1	22.4	85	CLOSE	0.00	-.90	.13	1.16	.90	1.03	-13.03	-1.42	-1.81	-2.06	-1.68
CASE36	64.2	12.6	85	OPEN	0.00	.65	.65	1.29	1.29	1.55	-6.06	-1.42	-1.42	-1.42	-.90
CASE37	65.7	10.8	85	CLOSE	0.00	.13	.39	1.03	.90	1.03	-9.68	-1.81	-2.06	-2.19	-1.68

	Q (m/s)	HEAD (m)	GATE (%)	AIR VENT	20	21	22	23	24	SENSOR 25	26	27	28	29	30
CASE47	110.0	49.0	75	OPEN	0.00	-1.94	-1.16	.39	-.39	-.13	-6.58	-2.71	-2.97	-2.71	-2.19
CASE46	117.6	39.0	75	CLOSE	0.00	-9.93	-3.10	.39	.52	.90	-27.86	-3.23	-3.23	-3.23	-2.84
CASE44	93.3	35.4	75	OPEN	0.00	-.90	-.39	.77	.26	.65	-5.81	-1.29	-1.29	-1.55	-.77
CASE45	93.3	34.9	75	CLOSE	0.00	-1.29	-.77	.52	0.00	.39	-6.19	-1.94	-1.81	-1.81	-.77
CASE43	62.6	15.9	75	OPEN	0.00	.26	.26	.90	.90	1.16	-5.68	-1.03	-1.16	-1.42	-.52
CASE42	62.7	16.0	75	CLOSE	0.00	.26	.39	.90	1.03	1.16	-5.68	-1.16	-1.16	-1.42	-.65
CASE48	112.2	67.4	65	OPEN	0.00	-3.61	-1.94	-.26	-1.55	-1.03	-6.58	-3.10	-2.97	-2.84	-2.58
CASE49	113.4	68.0	65	CLOSE	0.00	-4.39	-2.58	-.90	-1.94	-1.68	-6.32	-3.35	-3.35	-3.35	-2.71
CASE50	85.5	39.2	65	OPEN	0.00	-1.55	-.52	.65	.13	.52	-5.16	-1.81	-2.45	-2.06	-1.55
CASE51	58.8	18.7	65	OPEN	0.00	-.13	.13	.90	.90	1.03	-5.16	-1.68	-2.06	-1.81	-1.42
CASE53	112.4	113.2	50	OPEN	0.00	-6.32	-2.97	-1.16	-3.48	-3.10	-6.32	-2.58	-2.84	-3.35	-2.97
CASE54	113.0	114.1	50	CLOSE	0.00	-7.87	-4.64	-2.58	-5.29	-4.90	-7.87	-3.48	-4.26	-4.64	-3.87
CASE55	77.4	54.0	50	OPEN	0.00	-2.19	-.90	.26	-1.03	-.77	-5.29	-.90	-1.81	-2.06	-1.81
CASE56	77.3	53.6	50	CLOSE	0.00	-2.19	-1.03	.13	-.90	-.77	-5.42	-.77	-1.81	-2.06	-1.94
CASE57	54.2	26.4	50	OPEN	0.00	-.52	0.00	.65	.26	.26	-5.03	-.26	-1.29	-1.68	-1.42
CASE58	30.6	7.7	50	OPEN	0.00	.26	.39	.77	.77	.77	-5.03	-.26	-1.29	-1.68	-1.29

	Q (m/s)	HEAD (m)	GATE (%)	AIR VENT	20	21	22	23	24	SENSOR 25	26	27	28	29	30
CASE25	76.7	106.7	35	OPEN	1.81	-1.81	-1.94	-.90	-3.23	-3.10	-1.81	-2.71	-3.61	-3.23	-2.97
CASE26	77.1	107.4	35	CLOSE	1.81	-2.71	-2.58	-1.68	-3.87	-2.97	-2.58	-3.35	-4.13	-4.00	-3.61
CASE23	64.3	75.0	35	OPEN	2.06	-.13	-1.03	-.26	-1.01	-1.68	-1.03	-2.06	-3.10	-3.10	-2.71
CASE24	63.9	72.9	35	CLOSE	1.94	-.39	-1.29	-.39	-1.94	-1.94	-1.29	-2.32	-3.10	-2.97	-2.45
CASE21	44.0	36.7	35	OPEN	2.19	1.29	.13	.65	-.13	-.13	-.13	-1.03	-2.45	-2.32	-2.19
CASE22	45.1	37.0	35	CLOSE	2.06	1.16	.13	.65	0.00	-.13	-.26	-1.16	-2.58	-2.32	-2.19
CASE20	29.0	14.8	35	OPEN	2.19	2.32	.39	.77	.65	.77	0.00	-1.03	-2.32	-2.32	-2.06
CASE13	48.3	124.9	20	OPEN	2.45	4.26	-2.06	-2.84	-5.93	-1.94	-2.71	-2.84	-3.23	.65	.65
CASE14	35.8	67.8	20	OPEN	2.32	2.32	-1.16	-1.42	-2.97	-1.94	-1.42	-1.94	-3.74	-2.58	-1.81
CASE15	39.1	62.2	20	CLOSE	2.32	-17.42	-18.06	-12.51	-8.13	-3.74	-23.09	-22.45	-17.67	-11.61	-7.87
CASE16	23.5	28.2	20	OPEN	2.32	2.71	-.90	-.77	-1.42	-1.94	-.77	-1.81	-3.10	-3.10	-2.84
CASE17	23.4	27.6	20	CLOSE	2.19	2.58	-.90	-.77	-1.42	-1.94	-.90	-1.81	-3.23	-3.23	-2.97
CASE12	23.9	122.5	10	OPEN	2.45	.52	-1.29	-1.55	-4.52	-2.32	-.90	-.77	-.77	-.26	.13
CASE11	23.7	120.0	10	CLOSE	2.58	.65	-1.29	-1.55	-3.87	-2.06	-1.16	-.90	-.90	-.13	.39
CASE9	19.9	83.9	10	OPEN	2.84	1.81	-.77	-1.03	-3.35	-2.71	-.65	-.77	-.65	-.52	.26
CASE10	19.9	84.3	10	CLOSE	2.71	1.68	-.90	-1.03	-2.84	-2.45	-.77	-.77	-1.03	-.77	0.00
CASE8	7.6	10.1	10	OPEN	2.97	2.32	.13	.39	.13	.39	-.13	-.26	-.52	-.39	-.26

資料C

$G(m)$	$H(m)$	$Q(m^3/s)$	$G(m)$	$H(m)$	$Q(m^3/s)$
全開	6 4.4 6	1 6 7.6 6	1.0	5 9.5 3	8 9.4 9
	4 7.8 6	1 4 5.4 5		4 0.0 2	7 2.7 0
	3 5.3 7	1 2 4.0 2		2 6.8 5	5 9.6 1
	2 5.9 0	1 0 6.4 0		1 8.0 7	4 9.2 8
	1 8.0 6	8 8.6 6		1 2.0 0	4 0.2 2
	1 3.2 5	7 5.4 6		7.4 1	3 0.9 4
	8.1 2	5 8.2 8		4.3 6	2 2.4 3
	4.9 5	4 3.8 0			
2.2	6 2.3 8	1 6 0.7 6	0.8	5 0.6 0	6 4.2 5
	5 3.3 2	1 4 7.3 9		3 2.7 2	5 1.9 3
	4 1.9 7	1 3 0.6 5		2 1.2 9	4 1.5 4
	3 0.1 7	1 1 1.5 4		1 3.6 1	3 3.0 9
	2 3.1 2	9 6.6 7		7.4 5	2 3.7 5
	1 3.5 2	7 4.4 1		5.3 5	1 7.9 5
	9.0 8	6 0.2 1	0.6	6 1.8 4	4 8.5 6
	6.2 2	4 8.5 6		4 4.9 3	4 1.7 1
1.8	6 3.2 0	1 5 0.5 4		3 6.7 6	3 7.0 1
	5 1.4 4	1 3 5.3 4		2 3.1 0	3 0.3 3
	4 0.6 6	1 2 0.3 2		1 6.5 8	2 5.4 7
	3 1.9 6	1 0 7.0 0		8.1 3	1 8.5 0
	2 4.9 0	9 4.1 3	0.4	6 8.3 2	3 6.3 5
	1 8.5 3	8 0.4 9		4 4.9 2	2 9.6 7
	1 3.4 9	6 8.9 4		2 7.1 7	2 3.2 0
	8.9 3	5 5.6 3		2 2.5 4	1 9.1 1
1.4	5.7 1	4 2.9 2		1 2.5 6	1 4.5 8
	6 0.8 2	1 2 3.1 9	0.2	6 8.3 3	2 3.7 5
	4 7.2 8	1 0 7.1 0		5 3.5 3	2 1.0 5
	3 3.5 0	9 0.8 2		3 9.2 3	1 8.0 6
	2 6.9 2	8 1.1 0		2 6.5 7	1 4.8 1
	1 9.4 2	6 9.8 3		1 2.5 6	1 1.1 6
	1 3.8 2	5 8.0 0		6.7 2	8.0 7
	8.7 4	4 6.0 2	G : ゲート開き H : 貯水頭 Q : 放流量		
1.2	6.3 4	3 7.7 3			
	4.5 2	2 9.4 4			
	5 8.0 2	1 0 9.9 3			
	4 2.8 7	9 4.4 7			
	3 8.6 6	8 9.9 9			
	2 5.0 8	7 2.3 7			
	1 7.3 2	6 0.1 6			
	9.3 6	4 4.1 4			
	4.9 0	2 9.3 9			

参考資料 1

五十里ダム放水管高圧スライドゲート 半開操作の可否に関する検討（抜萃）

昭和34年3月

建設省土木研究所

担当研究室：ダム部ダム水理研究室
：材料構造部構造研究室

目 次

I 概 要	参1-1
II 水理的問題の検討	参1-2
1. 問題点の解説と検討方法	参1-2
2. 水理計算の方法	参1-3
3. 現地観測の方法と経過	参1-5
4. 水理計算および現地観測の結果	参1-6
5. 水理的問題の検討	参1-10
III 振動観測結果の検討	(省 略)
IV 結 語	参1-16

目 次

第一章 日本国憲法と地方自治の発展

1. 日本国憲法の発展

2. 地方自治の発展

第二章 地方自治の発展と地方自治体の役割

1. 地方自治体の役割

第三章 地方自治体の組織と運営

1. 地方自治体の組織	3
2. 地方自治体の運営	10
3. 地方自治体の役割	15
4. 地方自治体の発展	20
5. 地方自治体の将来	25
6. 地方自治体の課題	30
7. 地方自治体の展望	35
8. 地方自治体の発展と地方自治体の役割	40
9. 地方自治体の発展と地方自治体の役割	45
10. 地方自治体の発展と地方自治体の役割	50
11. 地方自治体の発展と地方自治体の役割	55
12. 地方自治体の発展と地方自治体の役割	60
13. 地方自治体の発展と地方自治体の役割	65
14. 地方自治体の発展と地方自治体の役割	70
15. 地方自治体の発展と地方自治体の役割	75
16. 地方自治体の発展と地方自治体の役割	80
17. 地方自治体の発展と地方自治体の役割	85
18. 地方自治体の発展と地方自治体の役割	90
19. 地方自治体の発展と地方自治体の役割	95
20. 地方自治体の発展と地方自治体の役割	100

1 概 要

五十里ダムの完成により、ダム地点より下流鬼怒川との合流点に至る男鹿川では、洪水時を除き水が渦れ、甚しく美観を害するようになった。当地は、川治温泉をひかえ、観光地として著名な所であるため、観光上、常時約 $1 \text{ m}^3/\text{sec}$ の水を流して美観を損なわないようにするとともに、河道の汚水を流掃して衛生上の効果をも挙げるようにとの要望が高まってきた。貯水位が越流頂より低下した場合に、この放流を行うには、放水管を使用するほかないが、高水圧下で放水管のスライドゲートを半開することは、従来禁止されてきた。所要放流量が $1 \text{ m}^3/\text{sec}$ という非常に小さなものであるとはいえ、ゲート背後の圧力降下によりゲートの振動や空洞現象による表面破壊をひきおこす可能性は充分予想される。そこで、このような高圧スライド半開操作が安全に行われるかどうかを検討することとなった。

この種の検討は、水理的問題、ゲート構造上の問題、ゲート機構上の問題、維持管理上の問題その他あらゆる総合的な面から実施されなければならない。本報告は、この中、土木研究所が行った水理的な面の検討およびゲートの振動問題に関する検討を取扱ったものである。水理的な面の検討は、主としてダム部ダム水理研究室で行われ、ゲートの振動問題に関する検討は、主として材料構造部構造研究室で行われた。

五十里ダム放水管の形状は図-1に、ゲートの詳細は図-2に、五十里ダムの標準断面形は図-3に示される。又、必要な水理資料の概要を表-1に示す。

表-1 水 理 資 料 の 概 要

放水管入口中心線標高	545.00 m
夏期制限水位標高	575.00 m
常時満水位標高	586.00 m
洪水時満水位標高	591.00 m
越流頂標高	578.00 m
放流管最大放流容量	$115 \text{ m}^3/\text{sec}$

II 水理的問題の検討

1. 問題点の解説と検討方法

ゲートを半開操作すると、ゲートからの噴出高速流は、ゲート背後の空気を連行して、ゲート室内の圧力を低下させる。又、連行空気による流積増加は予想外に早く、管路の満水状態を発生させる。管内流が全管長にわたって自由流状態（自由表面をもった流れの状態）であれば、管内圧力降下は主として空洞現象の面からのみ心配される。しかし、管の一部で流れが圧力流状態となると、その部分で流れが阻害され、圧力流の状態は上流に波及する。この現象がひどい場合は、いわゆるボアーと呼ばれる吹上げ逆流現象となるが、圧力流状態がゲート室まで波及しない場合でも、自由流から圧力流への変化点は不安定に変動し、そのためゲート背後の空間の圧力は、たえず振動する。このような圧力振動は、ゲートの振動を誘発する一つの原因となるかもしれない。

約言すれば、放水管高圧スライドゲートを半開操作した時に心配される点は、

- i) ゲートの背後の圧力が極度に下って、空洞現象による構造物の破壊を生ずる恐れがないかどうか。
- ii) 放水管の出口に近い部分が満水してゲート室の圧力状態を不安定にし、ひいてはゲートに好ましくない振動をひき起す恐れがないかどうか。

の二点である。

このような考えに立って高圧スライドゲートの半開操作の可否を論ずる際に先ず問題となるのはゲート背後の圧力である。

いま、ゲート噴出流の有する圧力水頭は、ほとんど0に近く、また、流路の壁面は相当の区間ほぼ直線的であるから、流水内の圧力は、ゲート室の圧力とほぼ等しいと考えてよい。従ってゲート室の圧力減少の許容限度は、一般の空洞現象許容圧力（－3 m 水位）と等しくとられてもよいであろう。もっとも現在のところ、空気連行流の分野における研究はいまだ日が浅く、ゲート室における圧力を推定しようとしても、理論的解析方法はもとより、役に立つ実測資料も、又実験の方法もない。そこでわれわれは現地観測を行って必要給気量を測定し、その結果から計算によってゲート室圧力を推定することとした。

放水管が出口で満水状態になるかどうかは、不等流計算によって求められた放水管出口における実質水深（空気連行現象を考慮しない場合の水深）に、現地観測で測定した給気量を使って求めた水深増加を加算して推定された。又実質流速と、連行空気流速とが異っていることも予想されるので、現地観測の際、放水管出口の流れの水深も測定された。

2. 水理計算の方法

各ゲート開度に対する出口実質流水深を求めるための水理計算は、次のようにして行われた。

i) 初期条件

不等流計算開始断面は、0-1にとられた(図-1参照)。

この断面における水深(初期水深) h_0 は、

$$h_0 = \mu a \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 a : ゲート開き(m), μ : 縮脈係数である。

縮脈係数とゲート開度との関係は図-4のように仮定された。各開度毎の流量の推定方法は(4)で示す。推定された流量は図-5に示されている。

ii) 不等流計算式-1

放水管の湾曲によって生ずる遠心力効果を考慮しない不等流計算式は、どの教科書にもみられるように、

$$-\sin\theta + \frac{dh}{dx} \cos\theta + \frac{Q^2}{C^2 R A^2} + \alpha \frac{Q^2}{2g} \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{A^2} \right) = 0 \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 θ : 水路底が水平となす角(下り勾配+), h : 水深, Q : 流量, C : シエジ一係数, R : 流水の径深, A : 流れの流線に直角な断面積, α : 速度分布の特性を示す係数, g : 重力の加速度である。(以下記号は新しいもののみ説明することにするが、巻末にもまとめて表示する。)

水路底にそって Δx の距離のはなれた二点を取り、上流を断面1、下流を断面2とすれば、(2)式は近似的に、

$$\Delta h \cos\theta - \Delta x \sin\theta = \left\{ \left(\frac{1}{G_1} - \frac{1}{G_2} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} \right) \right\} Q^2 \dots\dots\dots (3)$$

$$\left. \begin{aligned} F &= \frac{C^2 R A^2}{\Delta x} \\ G &= \frac{2gA^2}{\alpha} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

ただし、サフィックスは断面の番号を示し、 Δh は1断面と2断面の間での水深変化、すなわち、 $\Delta h = h_2 - h_1$ である。計算の際には、 $\alpha = 1$, $g = 9.8 \text{ m/sec}^2$ と仮定された。

iii) 不等流計算式-2

楕円断面の曲管部に関する遠心圧力を考慮した不等流計算式は、

$$\frac{dh}{dx} = \frac{\left(H \frac{h}{r_0} \right) \sin\theta - \frac{Q^2}{C^2 R A^2}}{\cos\theta - \frac{\left\{ \psi + \frac{1}{2} \sqrt{h(2b-h)} \right\}}{16gm^2\psi^3(r_0+h)^3}} Q^2 \dots\dots\dots (5a)$$

$$\psi = (r_0 + b) \tan^{-1} \sqrt{\frac{h}{2b-h}} + \frac{1}{2} \sqrt{h(2b-h)} - \sqrt{r_0(2b+r_0)} \tan^{-1} \sqrt{\frac{h(1+2b/r_0)}{2b-h}} \dots\dots\dots (5b)$$

ただし、 r_0 : 水路底面の曲率半径、 $b = D/2$ 、 D : 断面の高さ、 $m = W/D$ 、 W : 管の楕円断面の巾。しかし、この式は土木研究所報告第93号30頁の冒頭に記載されたものと同じ仮定に基づいて導かれたものであり、かなり実情にそわない面がある。本計算の場合、曲率半径 r_0 は非常に大きく、遠心効果は小さいものと考えられるから、実際の計算には(2)を使うことにした。

iv) 準 備 計 算

円断面および楕円断面における流積 A は、

$$\left. \begin{aligned} A &= A_* A_0 \\ A_* &= \frac{1}{\pi} \left\{ \cos^{-1}(1-2t) - 2(1-2t) \sqrt{t(1-t)} \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

ただし、 A_0 は断面の全面積で、円断面の場合、 $A_0 = \frac{\pi}{4} D^2$ 、楕円断面の場合、 $A_0 = \frac{\pi}{4} WD$ (D : 断面の高さ)、 t は断面の高さに対する水深の比、すなわち、 $t = h/D$

円断面の潤辺 Pe は、

$$\left. \begin{aligned} Pe &= \frac{180}{\pi} \cos^{-1}(1-2t) P_0 \\ P_0 &= \pi D \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

ただし、 $\cos^{-1}(1-2t)$ は度で表わすものとする。

楕円断面の潤辺 Pe は、

$$\left. \begin{aligned} Pe &= W \int_0^\phi \sqrt{1-k^2 \sin^2 \varphi} \, d\varphi \\ k^2 &= \frac{W^2 - D^2}{W^2} = 1 - \left(\frac{1}{m}\right)^2 \\ \phi &= \cos^{-1} \frac{1-2t}{\sqrt{(1-2t)^2 + 4m^2(t-t^2)}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

級数展開による近似解を求めると、

$$I_c = \int_0^\phi \sqrt{1-k^2 \sin^2 \varphi} \, d\varphi = \phi$$

$$- \phi (0.25000k^2 + 0.04688k^4 + 0.01953k^6 + 0.01068k^8 + 0.00673k^{10} + 0.00463k^{12}) + \sin \phi \cos \phi \{ (0.25000k^2 + 0.04688k^4 + 0.01953k^6 + 0.01068k^8 + 0.00673k^{10} + 0.00463k^{12}) + \sin^2 \phi (0.03125k^4 + 0.01302k^6 + 0.00712k^8 + 0.00449k^{10} +$$

$$0.00308k^{12}) + \sin^4 \phi (0.01042k^6 + 0.00570k^8 + 0.00359k^{10} + 0.00247k^{12}) + \\ \sin^6 \phi (0.00488k^8 + 0.00308k^{10} + 0.00212k^{12}) + \sin^8 \phi (0.00273k^{10} + 0.00188k^{12}) \\ + \sin^{10} \phi (0.00171k^{12} + \dots) \} \dots\dots\dots (9)$$

v) 径深: R は, 円断面では,

$$R = A/P_c = \left\{ \frac{1}{4} - \frac{(1-2t)\sqrt{t(1-t)}}{2\cos^{-1}(1-2t)} \right\} D \dots\dots\dots (10)$$

楕円断面では,

$$R = A/P_c$$

vi) シェジー係数 C は,

$$\left. \begin{aligned} C &= \frac{\sqrt{8g}}{\sqrt{f}} \quad , \quad C^2 = \frac{8g}{f} \\ f &= \frac{1}{(1.74 + 2\log \frac{2R}{K})^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

ただし, K は壁面の絶対粗さ, $\log$ は常用対数。実際の計算には $K = 0.026 \text{ cm}$ と仮定された。R と f の関係を図-6 に示す。

3. 現地観測の方法と経過

現地観測における測定項目, 使用計器等は次の通りである。

i) 給気管内空気流速測定:

- a. 標準ピトー管, 直径 10mm 動静圧両孔, 可動式 (ストローク長 500mm), 東京航空計器 KK 製, 2 台。
- b. 空盒差圧計式速度計, 型式 TKK-SA-22, 測定速度範囲 20 m/sec ~ 130 m/sec, 東京航空計器 KK 製, 2 台。
- c. ストレナー (図-7 参照), 三友機械 KK 製, 1 本。

ii) 貯水池水位測定: スチブンソン型自記水位計,

iii) 放水管出口水位は, コンディットラフ側面にペンキで水位票を描き, 左岸側堤体導流壁上の足場および水叩き左岸の山腹にある岩上から直視観測された。直視観測には, 双眼鏡およびトランシットが用いられた。

現地観測は, 昭和 33 年 11 月 27 日に行われた。

観測前日の 26 日には, 簡単な予備実験を行った。

観測時のゲート操作の要領は表-2 の通りである。

また, 各測定器具と観測員の配置は, 図-8 の通りであった。

表-2 観測時ゲート操作要領

観測番号	ゲート開き (cm)	ゲート開き (%)	観測時間 (秒)
1	5	1.9	720
2	8	3.0	720
3	10.5	4.0	720
4	13	5.0	300
5	20	7.7	720
6	40	15.4	300
7	70	27.0	300
8	100	38.6	300
9	150	57.9	180
10	180	69.5	180
11	200	77.2	180
12	210	81.1	180
13	230	88.8	180
14	246	95.0	180
15	259	100.0	300

4. 水理計算および現地観測の結果

不等流計算により求められた放水管出口実質流水深を、図-9に示す。現地観測で測定された貯水池水位は、ゲート開度との関連で図-10に示される。

また、観測された放水管出口における空気連行流の水深は、図-9にプロットされる。

給気量は、測定された給気管流入空気速度をもとに、速度分布図をつくりそれを図的に積分することによって求められた。ゲート開度と給気管流入空気量との関係は、図-11に示される。

これらの観測値にもとづき、次のようにしてゲート背後の管内圧力が求められた。まず、給気管流入直後の断面（空気流速測定断面）を断面Ⅰとし、その断面における数値にはサフィックスⅠをつけて表わし、給気管への流入前の状態を示す数値には、サフィックスⅡをつけて表わすことにすると、この間でたてられるベルヌーイの式は、

$$P_0 = P_1 + \frac{\rho_1 V_1^2}{2g} + f_e \frac{\rho_1 V_1^2}{2g} \dots\dots\dots (12)$$

定温変化の条件は、

$$\frac{P_1}{P_0} = \frac{\rho_1}{\rho_0} \dots\dots\dots (13)$$

ここで、 P : 圧力 (重力単位)

ρ : 空気密度

V : 断面平均空気流速

f_e : 空気の給気管への流入損失

ところで、我々が測定した空気流速の値を V_m とすると、 V_m は P_1 、 ρ_1 という大気圧下とは異なった条件のもとで測定されたピトー管差圧から大気圧下の状態という仮定で、算出されたものである。したがって、ピトー管差圧を P_p とすると、

$$P_p = \frac{\rho_0 V_m^2}{2g} = \frac{\rho_1 V_1^2}{2g} \dots\dots\dots (14)$$

式(12)、(13)、(14)から、

$$P_1 = P_0 - (1 + f_e) \frac{\rho_0 V_m^2}{2g} \dots\dots\dots (15a)$$

$$\rho_1 = \frac{\rho_0}{P_0} P_1 \dots\dots\dots (15b)$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_1}} \cdot V_m \dots\dots\dots (15c)$$

で、断面 I に関する諸量を求めることができる。

次に、ある断面 n の状態が既知であり、その値から次の断面 $n+1$ における状態を求めようとする場合には、断面 n と $n+1$ の間に適用されるベルヌーイの式は、

$$P_n + \frac{\rho_n V_n^2}{2g} = P_{n+1} + (1 + f') \frac{\rho_{n+1} V_{n+1}^2}{2g} \dots\dots\dots (16)$$

定温変化の条件は、

$$\frac{\rho_n}{\rho_{n+1}} = \frac{P_n}{P_{n+1}} \dots\dots\dots (17)$$

連続の条件は、

$$\rho_n A_n V_n = \rho_{n+1} A_{n+1} V_{n+1} \dots\dots\dots (18)$$

ここで、 f' は、両断両間における諸種のエネルギー損失係数で、われわれの場合には、摩擦損失と湾曲損失が問題となる。

摩擦損失の場合は、

$$f' = 4\mu \frac{L(n, n+1)}{D(n, n+1)}$$

であり、湾曲損失の場合は、 $f' = 4\mu \bar{n}$ である。 μ は管の摩擦損失係数、 $L(n, n+1)$ は断面 n から $n+1$ までの給気管の長さ、 $D(n, n+1)$ は断面 n と $n+1$ の間の平均給気管直径、 $\bar{n}$ は湾曲損失を表わす係数である。また、 A_n 、 A_{n+1} はそれぞれ断面 n と $n+1$ における

給気管の管断面積である。われわれの場合には、 $A_n = A_{n+1}$ である。式(16), (17), および(18)から断面 $n+1$ における諸量は,

$$P_{n+1} = \frac{1}{2} \left\{ \left(P_n + \frac{\rho_n V_n^2}{2g} \right) + \sqrt{\left(P_n + \frac{\rho_n V_n^2}{2g} \right)^2 - 4(1+f') \frac{P_n \rho_n V_n^2 (A_n/A_{n+1})^2}{2g}} \right\} \dots\dots\dots (19a)$$

$$P_{n+1} = \rho_n \frac{P_{n+1}}{P_n} \dots\dots\dots (19b)$$

$$V_{n+1} = \frac{P_n}{P_{n+1}} \frac{A_n}{A_{n+1}} V_n \dots\dots\dots (19c)$$

で表わされる。

われわれは、給気管を図-12のように分割し、式(19)と(19)とを使って管内の圧力 P_g および圧力降下量 $\Delta P = P_0 - P_g$ を求めた。計算に当っては、 $\rho_0 = 1.270 \text{ Kg/m}^3$, $P_0 = 10,336 \text{ Kg/m}^2$, $4\mu = 0.0141$, $\bar{n} = 12$ と仮定した。算出された圧力降下 ΔP とゲート開度との関係は、図-11に示される。

以上の結果は、ゲートシール上貯水池水深が約 41 m の場合のものである。しかし、実際に放水管を操作して観光放流を行うのは、貯水位が越流頂より下った時、すなわち、ゲートシール上貯水深が 34.3 m より小さい場合である。したがってこのように貯水位が低い場合の空気連行量、およびゲート背後の圧力がわれわれが現地調査を行った状態のもとにおける値より、大きい小さいかを検討しなければならない。そこで、貯水池水位が異なる二つの仮定的場合について考える。まずわれわれは次のような仮定をする。

- i) 流れの乱れの強度は、水流速 V のみに依存し、乱れの速度 V' は V に比例的である。
- ii) 連行空気質量 ρQ は、水面から表面張力に打勝って飛出した水滴が周囲の空気を与える力と比例的である。
- iii) 単位時間内に水面から飛出す水滴の量 N は乱れの速度に比例的であり、飛出した水滴の平均直径 d はほぼ一定である。

以上の仮定にたてば、

$$\frac{\rho_1 Q_1}{\rho_2 Q_2} = \frac{\rho_1 V_1'^2 d^2 N_1}{\rho_2 V_2'^2 d^2 N_2} = \frac{\rho_1 V_1^3}{\rho_2 V_2^3} \dots\dots\dots (20)$$

大気圧を P_0 , $P/P_0 = k$ とすれば、

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\left(\frac{H_1}{P_0} + 1 - k_1 \right) / \left(\frac{H_2}{P_0} + 1 - k_2 \right)}$$

であるから、(20)式は次のように表わされる。

$$\frac{\rho_1 Q_1}{\rho_2 Q_2} = \frac{k_1 Q_1}{k_2 Q_2} = \frac{k_1}{k_2} \left\{ \frac{\frac{H_1}{P_0} + 1 - k_1}{\frac{H_2}{P_0} + 1 - k_2} \right\}^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (21)$$

すなわち、貯水池水頭 H_1 の場合の所要給気量が Q_1 である場合、貯水池水頭が H_2 にか
わると所要給気量 Q_2 は(2)式のように変化する。

$$Q_2 = Q_1 \left\{ \frac{\frac{H_2}{P_0} + 1 - k_2}{\frac{H_1}{P_0} + 1 - k_1} \right\}^{2/3} \dots\dots\dots (2)$$

ゲート背後の圧力条件が変化しないものとすれば、 $k_1 = k_2$ であるから $H_2 < H_1$ ならば
 $Q_2 < Q_1$ となる。したがって実際に観光放流のための放水管操作を行わねばならないよう
な低い貯水池水深では、所要給気量は我々の観測値よりも減少し、そのため、ゲート背後
の圧力降下量 ΔP も減少するであろう。

(2)～(2)式で用いられた記号をあらためて説明すると、

P : ゲート背後 (ゲート室内) の圧力

ρ : ゲート背後の空気密度

H : ゲートシール上の貯水深

Q : ゲート室内の空気が、ゲート噴出流によって連行される容積

V : ゲート噴出水流速

V' : ゲート噴出流の乱れの数

d : 水面から飛出した水滴の平均直径

N : 単位時間内に水面から飛出す水滴の量

k : P/P_0 , P_0 は大気圧

サフィックス 1 : 仮定された第 1 の場合

サフィックス 2 : 仮定された第 2 の場合

ここに推論されたような関係が正しいものであると実証するのは、現在のところ困難で
ある。ただ、そのような傾向がありそうだとすることは常識的に首肯されるし、また次の
ようにして推測することができる。

われわれの場合、 $k = P_g/P_0$ を用い、ゲート室内の空気の容積的連行量 Q_a' を観測値
 Q_a から求めると、

$$Q_a' = Q_a/k \dots\dots\dots (2)$$

ゲート室の圧力が大気圧に等しい場合を想定すると、その時に予想される連行空気量 Q_0
は、

$$Q_0 = \frac{Q_a'}{\left\{ 1 + \frac{P_0}{H} (1-k) \right\}^{3/2}} \dots\dots\dots (2)$$

この算出値から、空気水流量比 $\beta_0 = \frac{Q_0}{Q_w}$ を求めると $G_0 < 8\%$ の範囲、すなわち P_g
の計算値にかなりの信頼がおけ、しかも管内流況が完全開水路状態と考えられる範囲にお
いて、 $\beta_0 = 0.99 \sim 1.36$ をえた。

ゲート室の圧力が大気圧に等しいという条件で、貯水池水頭Hが異なる二つの場合を比較すると、(2)式で、 $k_1 = k_2 = 1$ とおけばよいから、

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{H_1}{H_2}\right)^{3/2} \dots\dots\dots (2)$$

同一ゲート開度の場合には Q_w は噴出水の流速、いかえれば、Hの平方根に比例するから、両者の空気水流量比 β_0 の比は、

$$\frac{\beta_{01}}{\beta_{02}} = \frac{H_1}{H_2} \dots\dots\dots (2)$$

となるはずである。

われわれは、容易に入手しうる資料として、井川ダム放水管における測定値を用い同様の計算を行い、 $H=86\text{ m}$ の場合の β_0 として2.01~2.26をえた。井川ダムの $H=86\text{ m}$ は、五十里ダムの $H=41\text{ m}$ の約2倍であり、また β_0 もほぼ2倍になっていることから、(2)式のような推論の結果には、そう大きな誤りはないであろう。

各ゲート開度ごとの噴出水流量 Q_w は、次のようにして推定された。

$$Q_w = B\mu a \sqrt{\frac{2g(H+\Delta P-\mu a)}{1+0.016(B\mu a)^2}} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、Bはゲートの巾で2.59mである。

5. 水理的問題の検討

以上の結果から次のように推論される。

- i) ゲートシール上貯水深が約4.1 mの場合、 $1\text{ m}^3/\text{sec}$ 放流するのに必要なゲートの開きは約2 cm (0.07%開度)である。実際に操作される状態が、貯水位570 m程度のときであるとすれば、必要なゲート開きは約2.5 cmになる。所要ゲート開度を計算する場合には、 $\Delta P=0$ と仮定して(2)式からaを求めればよい。
- ii) ゲート開度 $G_0 = a/2.59$ (m単位使用)が4%以下(開きaが約10 cm以下)ならば、ゲート室内圧力降下は3 m水柱以下で、空洞現象発生危険性はないであろう。
- iii) G_0 が10%よりも小さければ放水管が途中で満水することはないであろう。
- iv) 以上のことから50%の余裕を見込んだとしても $a < 6.5\text{ cm}$ ($G_0 < 2.5\%$)の範囲ならば高圧スライドゲートを半開操作しても、水理的にとくに支障はないものと考えられる。

ただここで注意しなければならないのは、この条件があくまでも空洞現象や管の満水による圧力変動等に起因する破壊を対象としての議論であって、その他の問題にふれていないということである。

流水の侵蝕能力は、水中に土砂等の不純物が含まれていなければかなり小さいものであるが、それでも非常に長時間継続して放流を続ければ、ある程度の侵蝕摩耗を覚悟しなけ

ればならない。観光放流の対象となるような小開度での放流水の侵蝕能力は、ゲートを全開した場合の侵蝕力より小さいだろうと予想されるが、しかし、操作時間がきわめて長いから侵蝕のおそれは考慮しなければならない。また、ゲートの開きを長時間一定に保つことの困難さも問題となるであろう。

もしも、砂礫等の管内への流入が起りうるならば、侵蝕能力の増大を招くとともに、これらがゲートの刃先につまる恐れも考えられる。このような場合には、ゲートを閉止するまえに必らず一度開きを大きくして、溜った砂礫を掃流しなければならない。

また、以上の結論は給気管入口の形状が、観測時に用いられたものと同じ場合にのみいえることであって、現状のような給気管の入口にキャップがかぶさっている状態では、給気管への空気の流入損失が著しく増大するため、ゲート室圧力降下が増大して危険である。したがって、観光放流のために高圧スライドゲートを半開操作しようとするときには、給気管入口の損失を減少させるための適当な処置を講じなければならない。

水 理 関 係 使 用 記 号 一 覧 表

D	: 放水管断面の高さ, m
W	: 放水管断面の巾, m
A_0	: 放水管全断面積, m^2
B	: 高圧スライドゲートの巾, m
b	: $D/2$, m
m	: W/D
a	: ゲートの開き, m
G_0	: ゲートの開度, %
Δx	: 不等流計算断面区間距離, m
r_0	: 放水管底面縦断曲線の曲率半径, m
P	: 放水管の潤辺, m
R	: 放水管の径深, m
θ	: 放水管底面が水平面となす角(下り勾配+)
μ	: ゲート噴出流の縮脈係数, 給気管抵抗係数
α	: 速度分布特性を示す係数
β	: 空気—水混合係数
K	: 放水管壁面の絶対粗さ, cm
C	: シェジイの抵抗係数
f	: 放水管壁面の摩擦抵抗係数
f_e	: 給気管への空気流入損失係数

f' : 給気管空気流の総合損失係数
 $\bar{n}$: 給気管曲り損失係数
 k : P_g/P_0 , ゲート室圧力降下係数
 h : 流れの水深, m
 h_0 : 0-1断面における水深(初期水深), m
 h_e : 放水管出口における水深, m
 Λ : 放水管内流の流積, m^2 給気管断面積, m^2
 V : 給気管内空気流流速, m/sec
 g : 重力の加速度, m/sec^2
 V : 放水管ゲート噴出流の速度, m/sec
 V' : 放水管ゲート噴出流の乱れの速度, m/sec
 Δh : $h_2 - h_1$, 不等流計算における水深増分, m
 d : 飛翔水滴の平均直径
 N : 乱れによる単位水面積当り跳躍水滴量
 H : ゲートシール上貯水池水深, m
 P : 空気圧力, Kg/m^2 又は m-水柱
 P_0 : 大気圧力, Kg/m^2 又は m-水柱
 P_g : 放水管内ゲート室圧力, Kg/m^2 又は m-水柱
 ΔP : ゲート室圧力降下 ($P_0 - P_g$), Kg/m^2 又は m-水柱
 Q_w : 放流水量, m^3/sec
 Q_a : 大気圧換算給気量, m^3/sec
 Q_a' : ゲート室圧力換算給気量, m^3/sec
 Q_0 : 可能最大連行空気量, m^3/sec
 ρ : 空気密度, Kg/m^3
 ρ_0 : 大気密度 Kg/m^3

表-3 五十里放水管水理関係計算および観測諸資料一覧表

観測 番号	ゲート開き a	ゲート開度 Go	仮定初期フルー ド数 F	推定流量 Qw	観測給気量 Qa	平均給気速度 Va	推定ゲート室 圧力降下 ΔP	観測出口水深 he	計算出口水深 he'	貯水池水位 WL	ゲートシール 上貯水深 H	推定空気流量 Qa'	B = Qa/Qw	B = Qa'/Qw	観測 番号
	cm	%		m ³ /sec	m ³ /sec	m/sec	m-水柱	m	m	EL-m	m	m ³ /sec			
1	5	1.93	49.3	2.6	3.392	51.4	0.759	1.27	0.151	585.332	41.627	3.66	1.297	1.40	1
2	8	3.09	38.7	4.3	3.929	59.5	1.036	1.35	0.189	585.331	41.626	4.37	0.919	1.02	2
3	10.5	4.02	34.3	5.7	5.444	82.4	2.115	1.42	0.218	585.328	41.623	6.84	0.953	1.20	3
4	13	5.02	31.5	7.1	6.617	100.2	3.429	1.46	0.248	585.326	41.621	9.90	0.927	1.39	4
5	20	7.72	26.2	11.5	7.559	114.4	5.356	1.58	0.320	585.325	41.620	15.69	0.659	1.37	5
6	40	15.44	18.7	24.0	8.612	130.4	(8.8)	1.79		585.323	41.618	(57.9)	0.358	(2.4)	6
7	70	27.07	13.7	42.9	8.909	134.9	(10.0)	1.82	0.697	585.322	41.617	(272.0)	0.208	(6.3)	7
8	100	38.61	11.1	61.8	8.721	132.0	(9.3)	1.82	0.909	585.315	41.610	(88.1)	0.141	(1.4)	8
9	150	57.92	8.2	87.4	8.497	128.6	(8.4)	1.82	1.323	585.307	41.602	(45.4)	0.097	0.52	9
10	180	69.54	6.4	96.4	6.759	102.3	3.619	1.82		585.300	41.595	10.40	0.070	0.11	10
11	201	77.53	5.6	102.0	0.770	11.7	0.218	1.82		585.290	41.585	0.79	0.008	0.01	11
12	210	81.08	5.3	104.5	0.000	0.0	0.000	1.82		585.285	41.580	0.00	0.000	0.00	12
13	230	88.80	4.7	109.6	0.000	0.0	0.000	1.82		585.277	41.572	0.00	0.000	0.00	13
14	246	94.98	3.9	112.3	0.000	0.0	0.000	1.82		585.263	41.558	0.00	0.000	0.00	14
15	259	100.00	3.3	112.8	0.000	0.0	0.000	1.82		585.245	41.540	0.00	0.000	0.00	15

【註】 ()内の数値は、外挿推定値

表-4 五十里放水管断面形状

断面番号	全断面面积 At (m ²)	全断面径深 Rt (m)	区間距離 (m)	
0-1	6.708	0.648		} 正方形
0-2	6.708	0.648	0.600	
1-1	6.550	0.680	0.600	
1-2	6.000	0.680	0.610	} 遷移部
2-1~3	5.270	0.647	0.610	
4	5.150	0.640	1.247	} 楕円形
5	5.050	0.632	1.247	
6	4.940	0.625	1.248	
7	4.800	0.618	1.247	
8	4.750	0.613	1.248	
9	4.660	0.605	1.248	
10	4.570	0.596	1.247	
11	4.500	0.590	1.248	
12	4.410	0.582	1.248	
13	4.330	0.570	1.247	
14	4.190	0.563	1.248	
15	4.140	0.555	1.248	
16	4.100	0.550	0.613	

Ⅲ 振動観測結果の検討

省 略

Ⅳ 結 語

以上述べてきたように、ゲート開度 2.5 %以下で観光放流を行うとすれば、放水管高圧スライドゲートを半開操作しても直接的な危険はないであろう。

水理的にみて、空洞現象の発生や管断面の閉塞はまずないと思つてよい。また、振動観測の結果からみても、この程度のゲートの半開操作が、全開放流の場合より不利な条件を与えると判断する資料は何もなく、かなり安全側な計算を行つても、最小安全率は約 5 である。

しかし、振動試験の測定結果は信頼し得るにしても、その資料を用いて導かれた安全率は、あくまでもゲートリーフ近傍（スピンドル部と人孔部）における振動状態が、ゲートリーフにおける振動状態と全く同一なりとの前提にもとづいて算出されたものである。

したがって、ゲートリーフの振動状態は非常に複雑なものであらうと推定されるから、該安全率の最小値が 4.9 であると断定するのは早計にすぎよう。

同様に、水理計算も多くの仮定を含んでいる。とくに、給気管内における空気流の等温変化の仮定や、給気管の摩擦損失係数の仮定値には、多くの問題が残されている。また、流量の算出値も縮脈係数の正確な推定が困難なため、かなり不確実なものである。

さらに、操作時間が非常に長く、かつ連続的であることも考え合わせれば、長い期間の使用の後にもゲートは何等損傷を受けないであらうという保証はなし難い。したがって、給気孔流入口形状の改造とか、ゲートの開度固定のためのロックメカニズムの装着とか、必要な処置を講じた上で高圧スライドゲート半開操作による観光放流を実施したとしても、なお、適当な間隔で、定期的にゲートの検査を行う必要があるであらう。

以上で本報告を終るが、最後に、本検討の主要な資料である現地観測資料の測定に当つては、とくに、建設省関東地方建設局、五十里ダム管理事務所、および栃木県庁土木部河川課の多大の協力ならびに援助を受けたことを附記する。

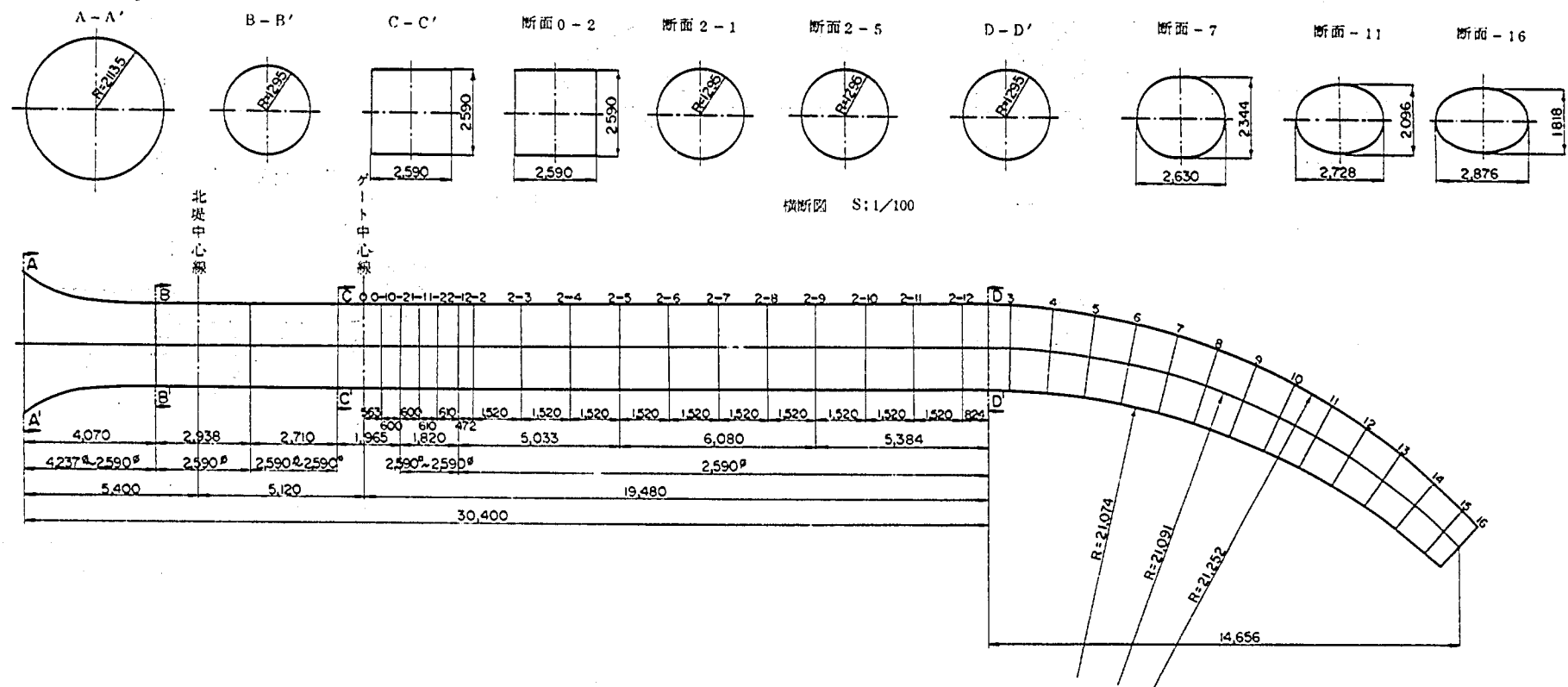


図1 五十里ダム放水管形状

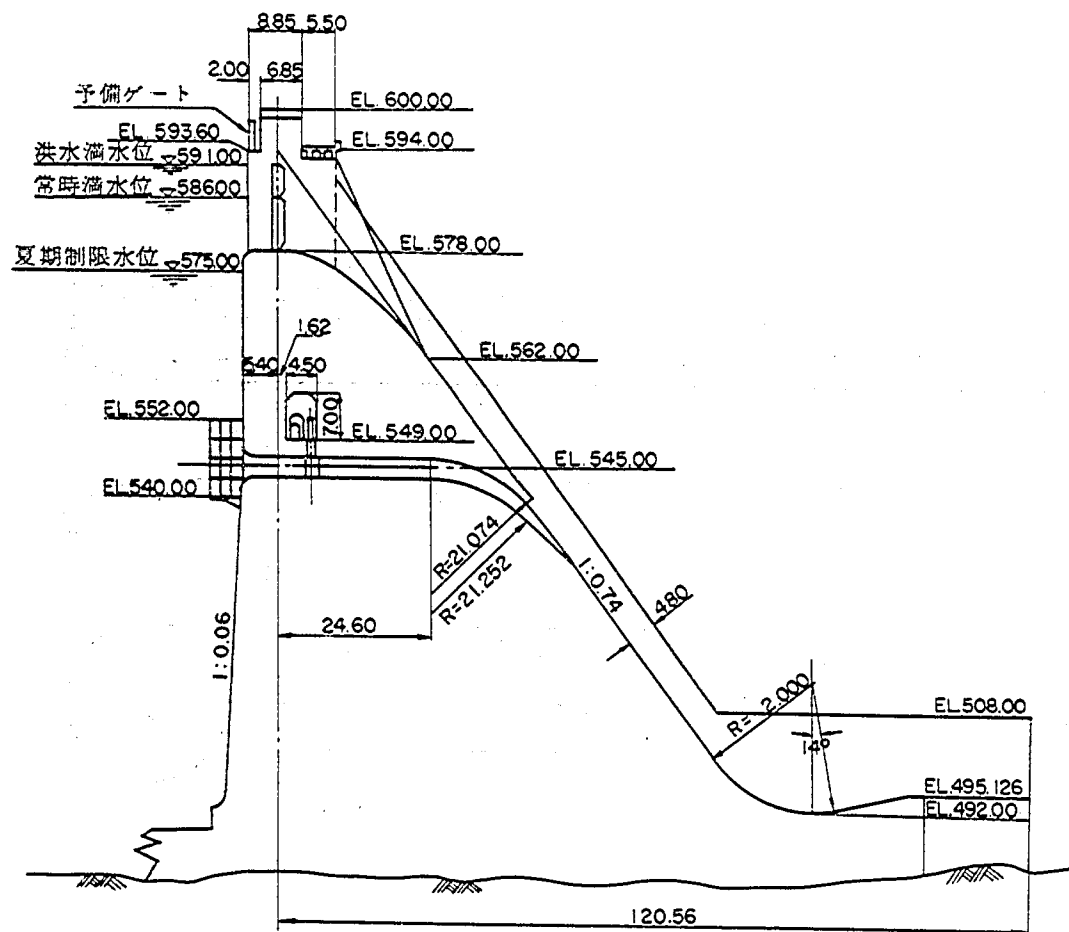


図3 五十里ダム標準断面図

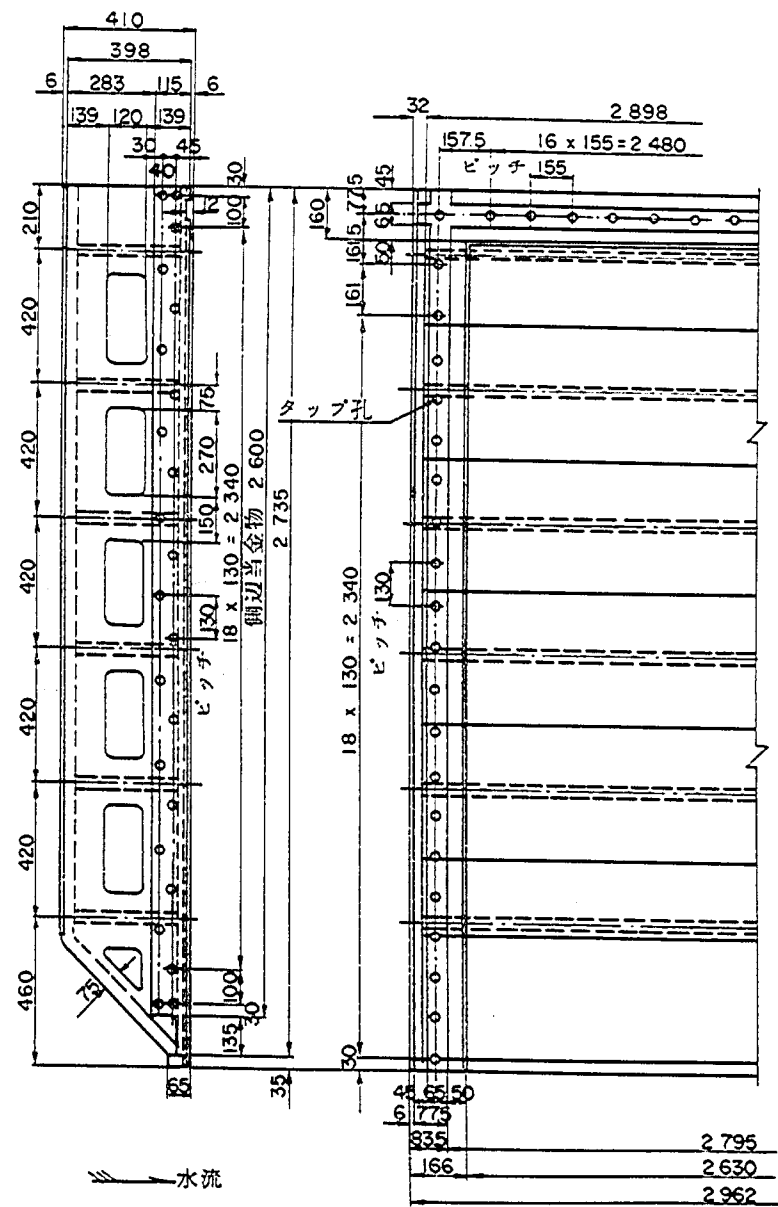


図2 五十里高压ゲート扉体

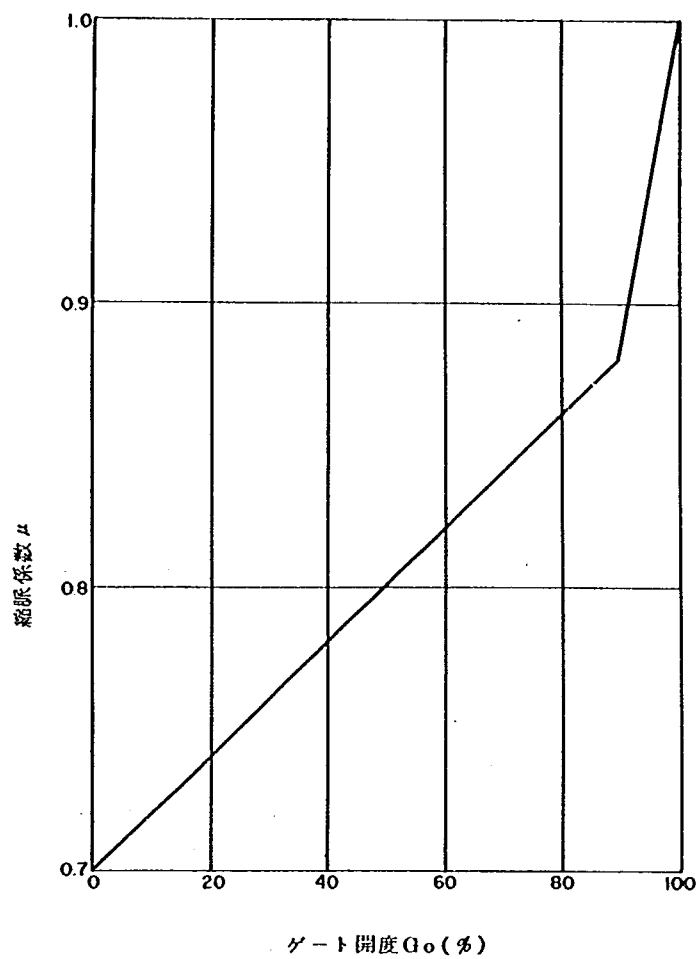


図4 ゲート開度 — 縮脈係数関係図

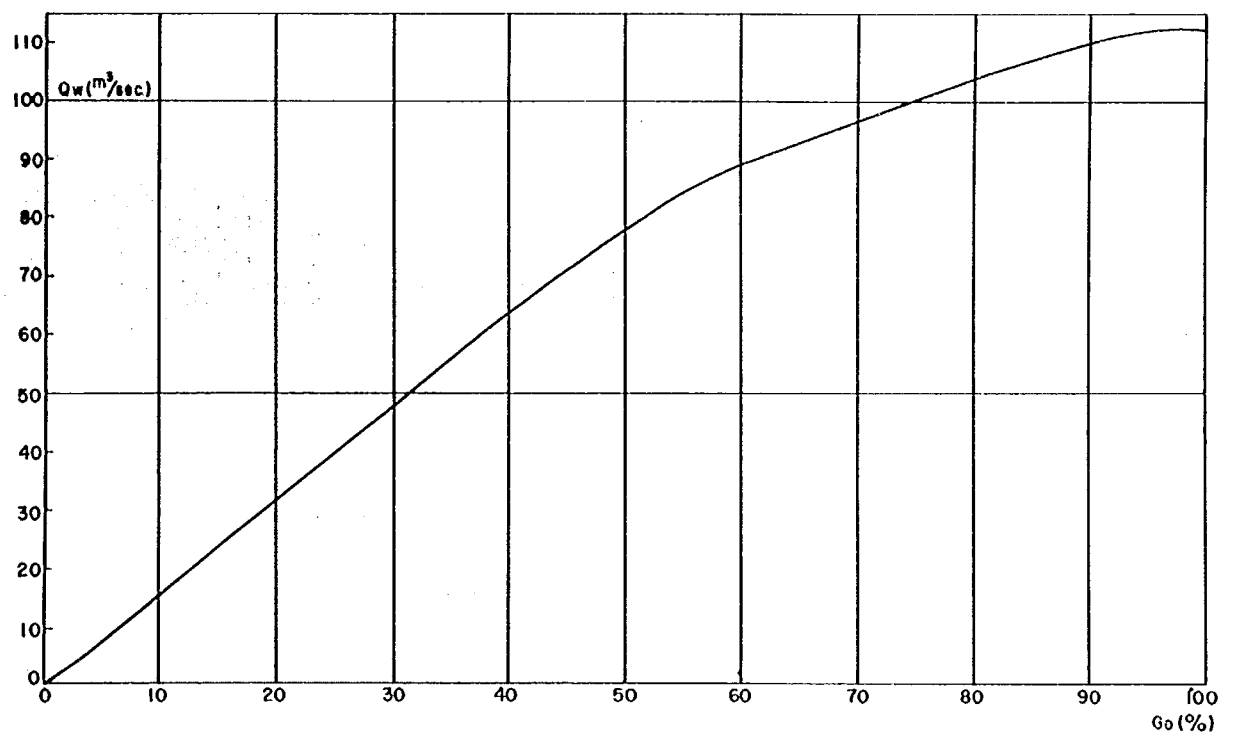


図5 ゲート開度 — 放流量曲線

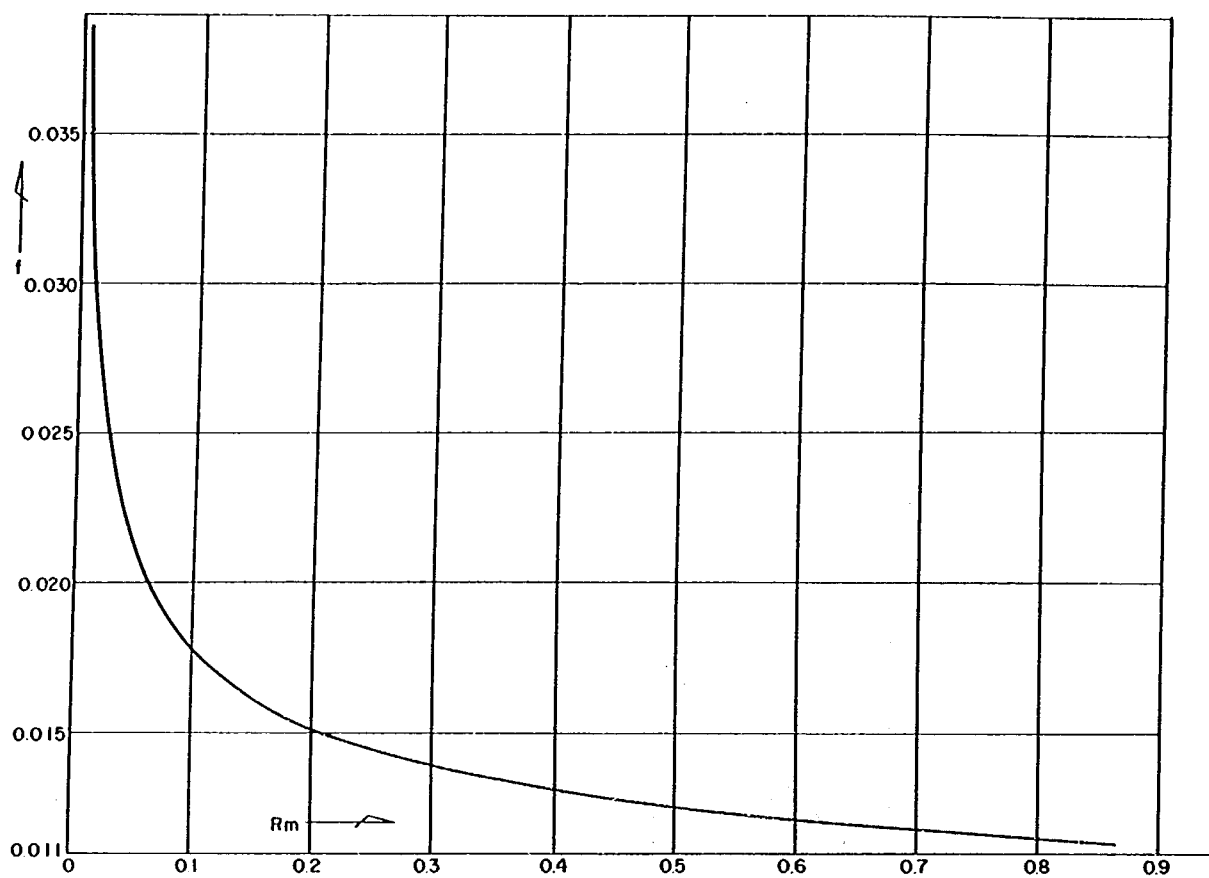


図6 径深(R) - f 関係図

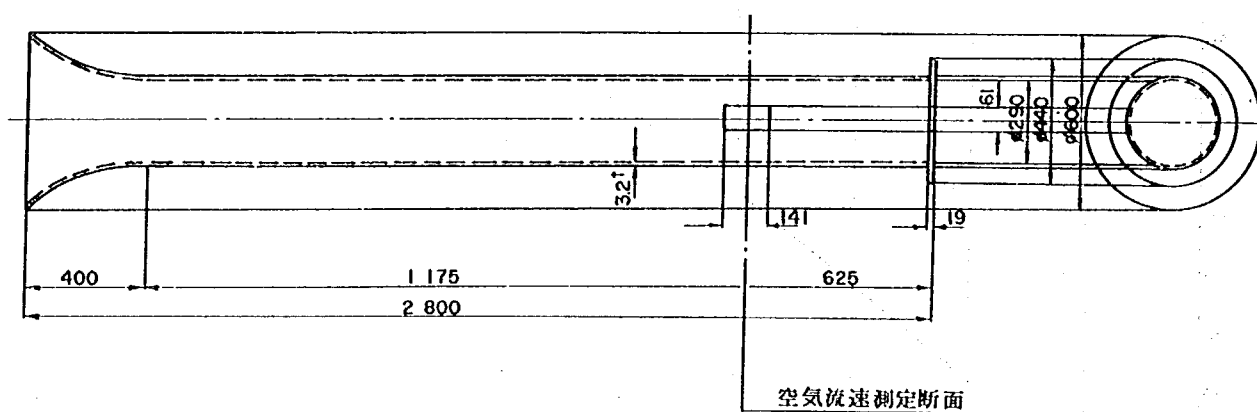


図7 ストレーナ管全体図

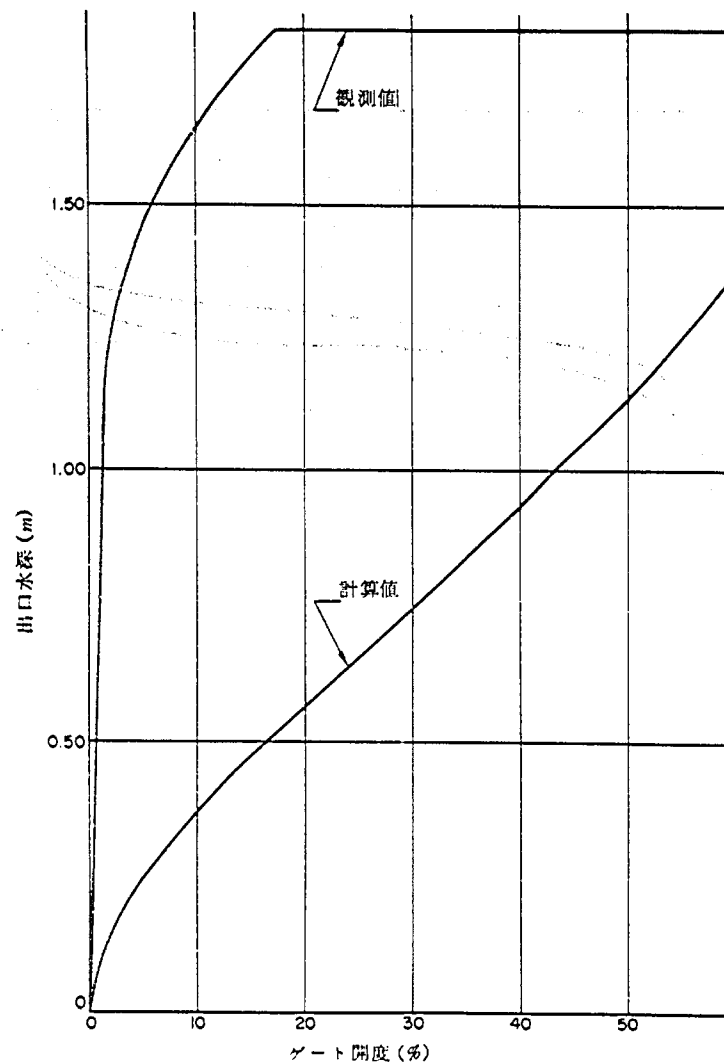


図 9 ゲート開度－出口水深関係図

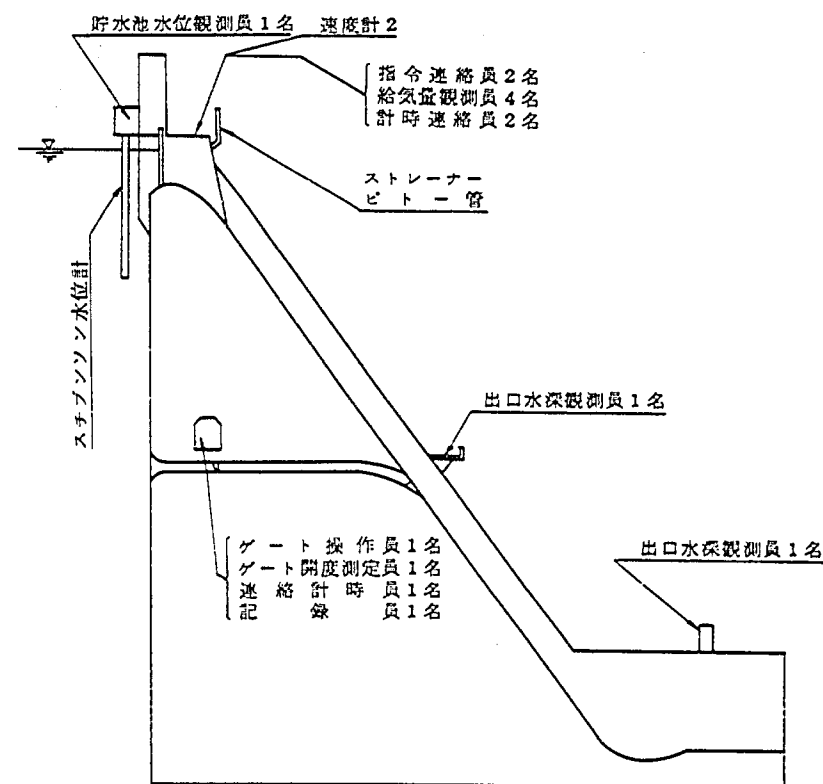


図 8 観測員配置概要図

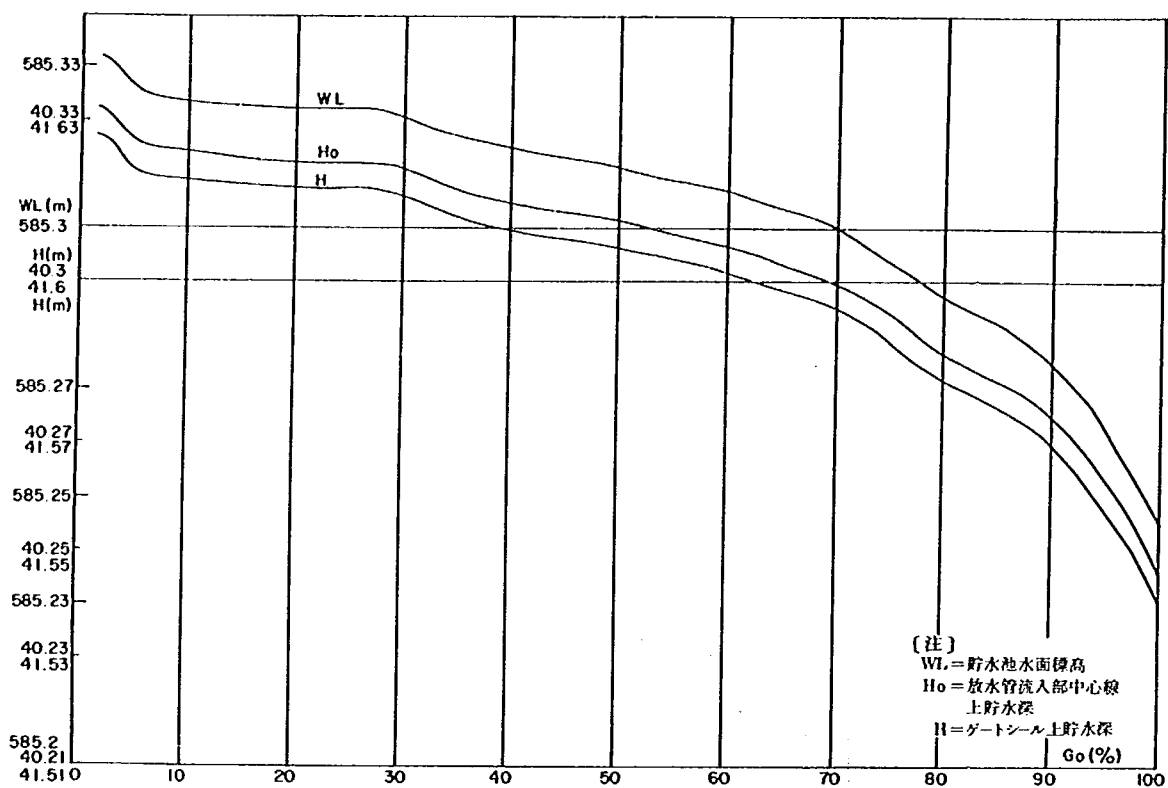


図10 ゲート開度 — 貯水池水位曲線

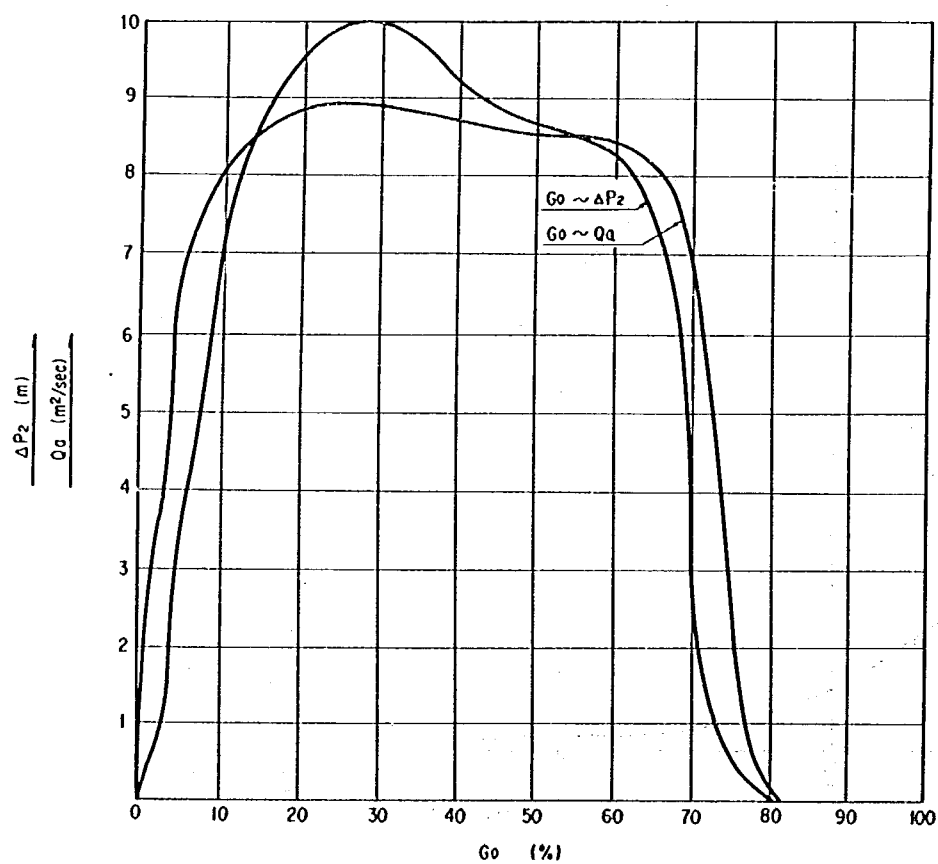


図11 開度 — 給気量・圧力降下曲線

参考資料 2

田瀬ダム放水管ゲート半開放流 の可能性に関する検討

昭和43年3月

建設省土木研究所

目 次

まえがき

まえがき	1 頁
I 検討の目的	2
II 田瀬ダムと高圧放水管ゲートの概要	2
III 水理観測による検討	3
1. 水理的問題点の検討方法	3
2. 観測の種類と方法	3
3. 観測結果	5
4. 観測結果の検討	16
4-1. 管内圧力	16
4-2. 管内圧力の変動	21
4-3. 需要空気量	21
4-4. 給気管内風速	22
5. 結 論	23
IV 振動観測による検討	24
1. 概 要	24
2. 観測方法	24
2-1. 観測計器	24
2-2. 計器類の設置	27
2-3. 観測時のゲート開度	28
3. 観測結果	29
4. 観測結果の検討	30
5. 結 論	44
あとがき	45

本報告は、東北地建の依頼により、土木研究所（篠崎試験所および構造研究室）が実施した田瀬ダム放水管ゲートの現地観測、およびその結果の検討に関する報告である。

昭和43年3月

土木研究所	構造研究室長	大久保 忠 良
		寺 島 敦
	篠崎試験所長	川 村 幸 司
		大 野 為三郎

I 検討の目的

北上川田瀬ダムの高圧放水管はわが国最初のものであり、スライドゲートを管路の途中にもつ全管路型なので、高水圧下で半開放流を行うとゲート背後の圧力降下により、空洞現象による破壊や不安定な圧力変動によるゲートの有害な振動をひきおこす危険性があり、したがってこのような半開放流は行わないという主旨で設計されたものである。

ところが計画洪水の調節のために4門の放水管を設けたのであるから、毎年実施におきるような中小洪水を調節するためには、放水管1門の全開あるいはそれ以下の流量を放流する必要があるが、半開放流不可能なため、やむをえず常に4門のうち、任意の1門だけの全開放流を行っている。さらにこのような1門放流によつて、水叩き内に不均等に流下した水脈は、平面的な渦流を発生させ水叩き内に下流河床の砂利を巻き込んで、放流の都度水叩きに損傷を与えている。

したがって、もしゲートの半開放流が可能ならば、洪水量に応じた調節放流を任意に操作することが可能となり、さらに水叩き中心線に対称な2門あるいは4門の放水管を使用することによつて、水叩きに対し均等な放流を行い、渦流の発生をなくして水叩きの損傷を防ぐことができる。そこでこのような高圧スライドゲートの半開放流が、安全に行われるものかどうか、その可能性について検討することとなつた。

この種の検討は、水理的問題、ゲート構造上の問題、維持管理上の問題その他あらゆる総合的な面から実施さるべきものである。本報告は、このうち、土木研究所が行つた水理的な面の検討と、振動問題に関する検討を取扱つたものである。水理面の検討は、篠崎試験所で行い、振動問題に関する検討は構造研究室で行つた。

II 田瀬ダムと高圧放水管ゲートの概要

田瀬ダムは、北上川上流支川猿ヶ石川に位置し、洪水調節、灌漑ならびに発電の機能を兼ねた多目的ダムである。計画洪水量 $2,700 \text{ m}^3/\text{sec}$ を $2,200 \text{ m}^3/\text{sec}$ 調節して、4門の放水管で最大 $500 \text{ m}^3/\text{sec}$ を放流する計画である。ダム及び放水管ゲートの諸元を下記に示す。

ダム型式	コンクリート直線重力式ダム
堤 高	81.5 m
堤 巾	33.0 m
越 流 部	テンターゲート 6門 (高9m, 巾10m)
放 水 管	全管路型 4本 ($\phi 25.9 \text{ m}$, 長45m)
	高圧スライドゲート 4門 ($2.59 \times 2.59 \text{ m}$)

また、田瀬ダム標準断面形状を図版1に示す。

III 水理的観測による検討

1. 水理的問題点の検討方法

① 高圧放水管内に設けられたゲートを半開放流すると、それにより下流の管路には、非常に高速な開水路流を生ずる。このような高速流は、ゲート下縁で水面の攪乱を与えられるため、いわゆる空気連行流となり多量の空気を連行し、さらに水面上の空気をけん引して管の出口から運び出す。したがって、ゲート背後に充分な給気が行われないと極度に低圧となり、空洞現象による構造物表面の破壊をおこすおそれがある。

② 半開ゲート背後の開水路流は、連行空気によつて流積を増す結果、ゲート開度が増大するにつれて下流の放水管内に充満して、管の下流で管路流状態になると、この部分で流れが障害され圧力流の状態は上流へ及ぶ。このような開水路流から圧力流への変化点は不安定に変動し、このためゲート背後の圧力が変動し、ひいてはゲートに好ましくない振動を誘発するおそれがある。

この種の放水管高圧スライドゲートを半開放流する場合の水理的問題点は、主としてゲート背後の圧力低下であり上記の二点にしばられる。①は圧力の絶対値が検討の対象になり、②ではその圧力の変動量が問題になる。

ここで、ゲート背後の圧力低下を求めるためには、現在のところ現地観測以外に方法がない。空気連行流の理論的解析法、利用できる実測資料、あるいは適当な実験方法等いづれもない現状である。そこでわれわれは、現地観測を行つて給気量と圧力を測定し、連行空気量を推定し、ゲート半開放流の可能性を検討した。

2. 観測の種類と方法

高圧放水管内部の圧力を知る方法としては、放水管内面に圧力計を設置して

直接測定する方法と、放水管への給気量を測定し、この結果から計算によつて推定する方法とがある。前者に対しては工事中にあらかじめ実測計画を立て、前もつて放水管内部に圧力測定用の設備を考慮しておくべきであるが、今のところわが国でこのような考慮がなされた例がなく、したがつて放水管内部圧力を直接測定した例もみられず、一般には後者の方法がとられている。

田瀬ダムの観測にさいし、われわれは何とかして放水管内部圧力を直接測定し、後者の方法による推定値との比較を試みようとした。すなわち、図-5に示すように放水管のゲート背後に通じる給気管に着目し、放水管内面の給気管開口部に圧力計を取付け、コードを給気管内に通じ、給気管入口から取出して堤頂において測定することによつて、観測のために大がかりな設備工事を行わないで済ませることが出来た。後者の給気量測定も同じ給気管を用い同時に測定した。

田瀬ダムの放水管は、図-2に示されるような縦断形をもち、ゲート部分は一辺2.59mの正方形、直管部はそれに内接する円形(直径2.59m)下流曲管部は出口に近づくにつれ次第に高さが減少する橢円形の横断面形をもつ。ゲートは図-3に示すような45°の刃先をもつた高圧スライドゲートである。図-5に示すように、給気管は、全長4.5m、内径30cmの内形鉄管でゲートの下流約0.8mの位置に開口している。

観測中の貯水深はゲートシール上約3.7mであつた。観測のために採用されたゲート開度Gは、全開(100%)を含めて15段階で給気量が充分安定した状態となるようにゲートは最小3分間以上同一開度に固定した。この詳細は次表に示す。給気量の測定は、図-5に示すように給気管入口に観測用として装着された長さ2.8mのストレーナー内で、空気流速測定用ビト管によつて測定した。

測定項目と使用計器は次の通りである。

① 給気管内空気流速測定

標準ビト管 直径10mm動静圧両孔、可動式(ストローク長500mm)
東京航空計器KK型
風速計 型式TKK-SA-22, 測定範囲20m/s~130m/s
東京航空計器KK型
ストレーナー (図-4参照)

観測時ゲート操作要領

観測 番号	ゲート開き	ゲート開度	観測時間	観測種別
	cm	%	分	
1	5	1.9	16	A
2	10	3.9	4	B
3	20	7.7	3	B
4	30	11.6	3	B
5	40	15.4	3	B
6	50	19.3	15	A
7	60	23.2	4	B
8	70	27.0	4	B
9	80	30.9	4	B
10	100	38.6	15	A
11	120	46.3	3	B
12	150	57.9	3	B
13	200	77.2	4	B
14	220	84.9	15	B
15	全開	100		A

- i) A級測定
給気管中心まで
半径方向に3cm
毎の流速分布を
測定する。
測点数 6点
観測時間 15分
- ii) B級測定
給気管中心流速
のみを測定する
測点数 1点
観測時間 3分

② ゲート背後の圧力測定

圧力計 (MPC-10SA型, 容量±1kg/cm²) φ10mm共和電業製
抵抗線歪計 (DPM-6CT型, 6チャンネル) 共和電業製
電磁オシログラフ (MA-33A型, 6チャンネル) 共和電業製

この他に、ゲート開度が増大するにつれて、管の下流部で流れが圧力流況を呈し始める限界を知るために、放水管出口の水深を直視あるいは写真観測する試みをたてたが、水流のはげしいしぶきに阻害されて観測不能であつた。

現地観測は、昭和41年11月8日に行つた。測定器具と観測員の配置は図-6の通りである。

图-1 标准断面图

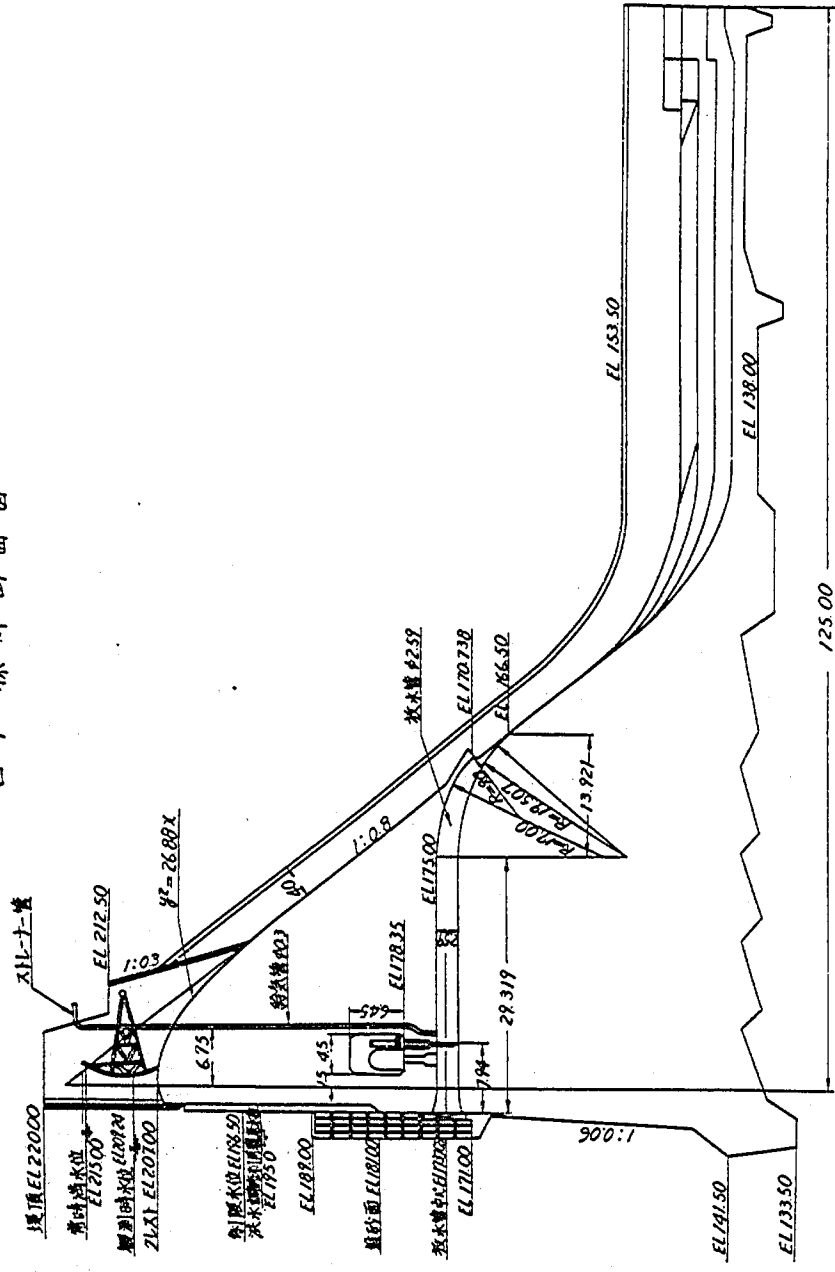


图-2 放水管纵断面图

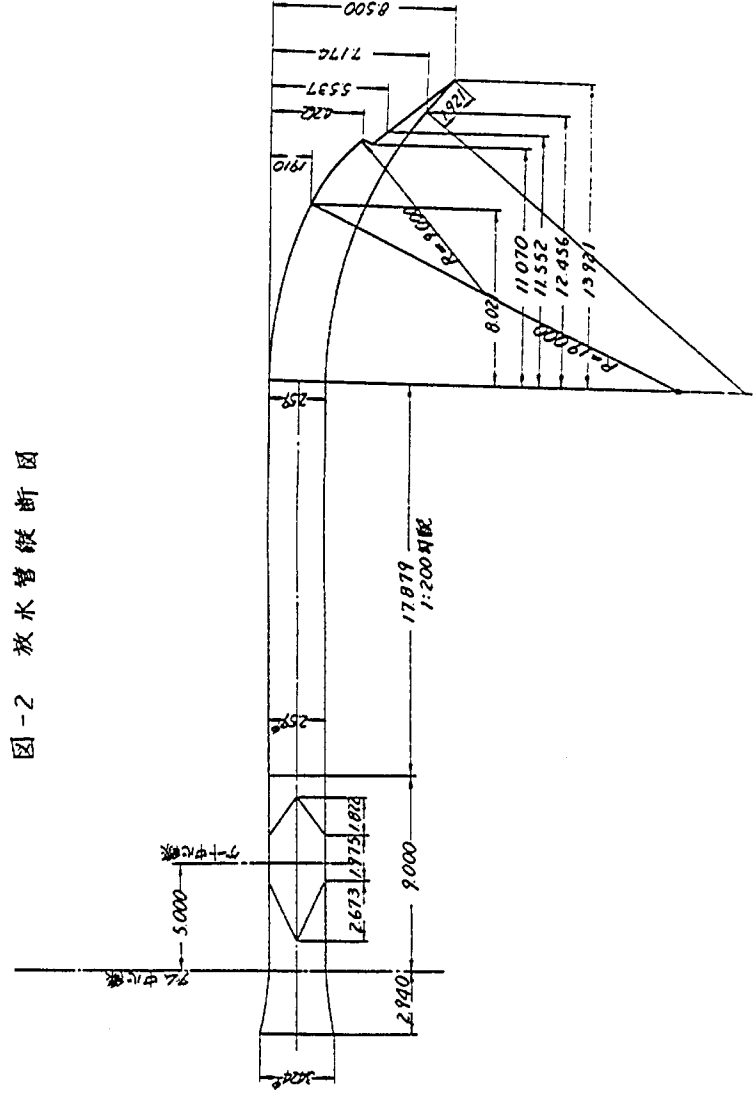


図-5 給気管形状図

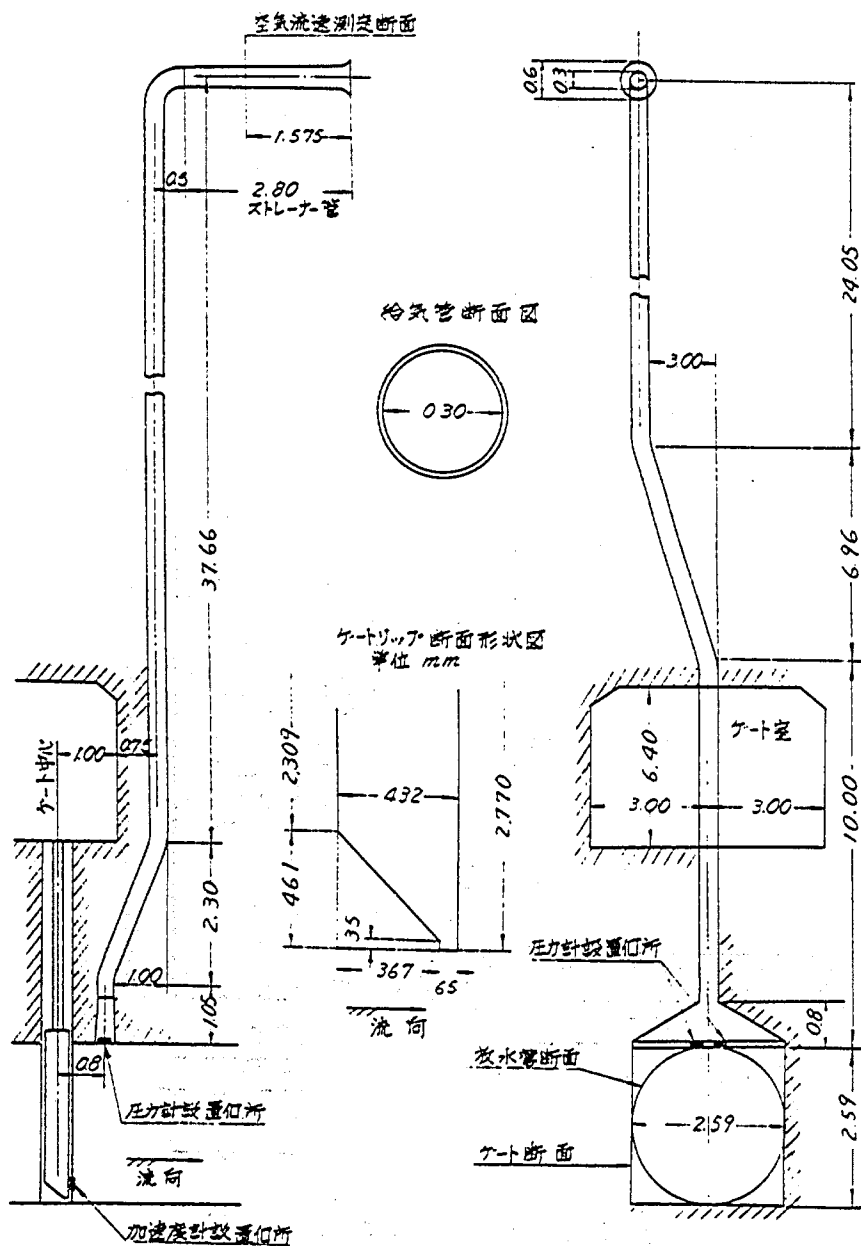
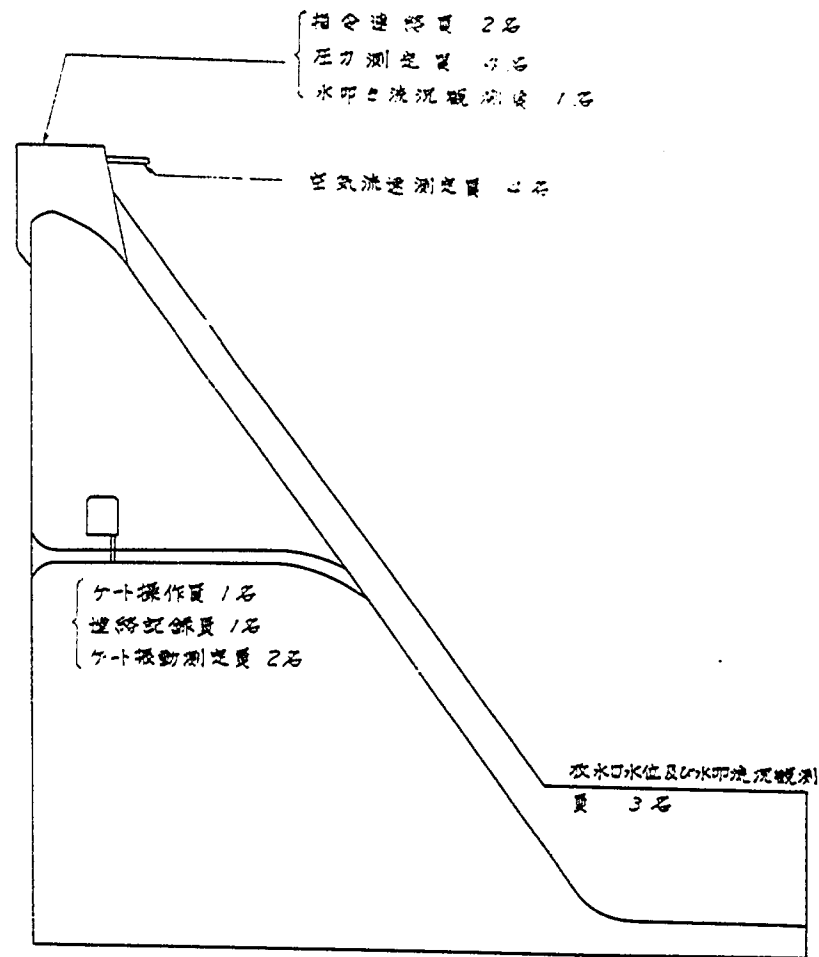


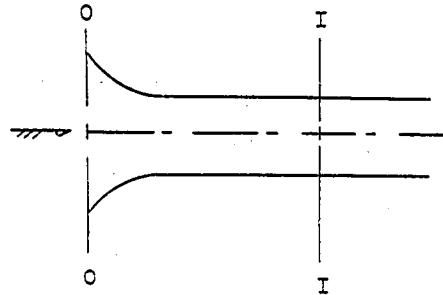
図-6 観測員配置概要



3. 観測結果

給気量は、測定された給気管流入空気速度をもとにして求めた。ゲート開度（G%）と、給気管流入空気量（Qa）との関係は図-8に示す。

これらの観測値にもとずき、次のような計算でゲート背後の管内圧力を求めた。まず、給気管内の空気流の変化を定温変化と仮定する。



左図の断面O～O，断面I～Iの間にたてられるベルヌーイの式は

流速測定断面

$$P_0 = P_1 + \frac{\rho_1 V_1^2}{2g} + f_e \frac{\rho_1 V_1^2}{2g} \quad \dots \dots \dots (1)$$

定温変化の条件より

$$\frac{P_1}{P_0} = \frac{\rho_1}{\rho_0} \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで

- P：圧力（重力単位）
- ρ ：空気密度
- V：断面平均空気流速
- f_e ：空気の給気管への流入損失

ところで、我々が測定した空気流速の値を V_m とすると、 V_m と P_1 ρ_1 という大気圧下とは異つた条件のもとで測定されたピトー管差圧から、大気圧下の状態という仮定（風速計の表示は大気圧下のものである）で算出されたものである。したがつてピトー管差圧を P_p とすると

$$P_p = \frac{\rho_1 V_m^2}{2g} = \frac{\rho_1 V_1^2}{2g} \quad \dots \dots \dots (3)$$

式(1)，(2)，(3)から

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= P_0 - (1+f_e) \frac{\rho_0 V_m^2}{2g} \\ \rho_1 &= \frac{\rho_0}{P_0} P_1 \\ V_1 &= \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_1}} V_m \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4)$$

で、断面Iに関する諸量を求めることが出来る。

次に、ある断面nの状態が既知であり、その値から次の断面n+1における状態を求めようとする場合には、断面nと断面n+1の間に適用されるベルヌーイの式は

$$P_n + \frac{\rho_n V_n^2}{2g} = P_{n+1} + (1+f') \frac{\rho_{n+1} V_{n+1}^2}{2g} \quad \dots \dots \dots (5)$$

定温変化の条件より

$$\frac{\rho_n}{\rho_{n+1}} = \frac{P_n}{P_{n+1}} \quad \dots \dots \dots (6)$$

連続の条件より

$$\rho_n A_n V_n = \rho_{n+1} A_{n+1} V_{n+1} \quad \dots \dots \dots (7)$$

ここで、 f' は両断面間における諸種のエネルギー損失係数で、われわれの場合には、摩擦損失と彎曲損失が問題となる。

$$\text{摩擦損失の場合} \quad f' = 4\mu \frac{L(n, n+1)}{D(n, n+1)}$$

$$\text{彎曲損失の場合} \quad f' = 4\mu \bar{n}$$

μ ：管の摩擦損失係数

L：断面nから断面n+1までの給気管の長さ

D：断面nとn+1の間の平均給気管直径

$\bar{n}$ ：彎曲損失を表わす係数

A：給気管断面積

式(5), (6), (7)より

$$P_{n+1} = \frac{1}{2} \left\{ \left(P_n + \frac{\rho_n V_n^2}{2g} \right) + \sqrt{\left(P_n + \frac{\rho_n V_n^2}{2g} \right)^2 - 4(1+f') \frac{\rho_n R_h V_n (A_n/A_{n+1})^2}{2g}} \right\}$$

$$\rho_{n+1} = \rho_n \frac{P_{n+1}}{P_n}$$

$$V_{n+1} = \frac{P_n}{P_{n+1}} \frac{A_n}{A_{n+1}} V_n$$

..... (8)

で表わされる。

表 - 1 田瀬ダムの測定結果一覧表

観測 番号	ゲート開き A cm	ゲート開度 G %	観測風速 V _a m/sec	観測 給気量 Q _a m ³ /sec	ゲート室圧力降 下 (給気量から の推定値) ΔP m 水柱	ゲート室圧力降 下 (圧力計の実 測値) ΔP m 水柱
1	5	1.9	3.50	2.47	0.32	
2	10	3.9	5.50	3.89	0.80	0.78
3	20	7.7	8.50	6.01	2.05	1.66
4	30	11.6	100.0	7.07	3.01	3.94
5	40	15.4	115.0	8.13	4.45	4.26
6	50	19.3	115.0	8.13	4.45	4.47
7	60	23.2	116.0	8.20	4.58	4.47
8	70	27.0	117.5	8.30	4.79	4.36
9	80	30.9	117.5	8.30	4.79	4.47
10	100	38.6	115.0	8.13	4.45	4.36
11	120	46.3	115.0	8.13	4.45	
12	150	57.9	115.0	8.13	4.45	4.36
13	200	77.2	52.0	3.71	0.73	0.94
14	220	84.9	0	0	0	
15	259	100.0	0	0	0	

われわれは給気管を90に分割し式(4)と(8)を使つて、放水管内圧力P₀および圧力降下値 ΔP=P₀-P_g を求めた。求めた値を表-1に示す。計算に当つて 4μ=0.0141 P₀=10.336kg/m² n=12 ρ₀=1.270kg/m³ と仮定した。

推定流量 Q _w m ³ /sec	推定初期 フルード数F	$\beta = \frac{Q_a}{Q_w}$	貯水頭 H m	観測 種別※	観測 時間
2.6	4.45	0.95	36.79	A	16
5.3	3.18	0.73	"	B	4
10.7	2.28	0.56	"	B	3
16.3	1.88	0.43	"	B	3
22.0	1.65	1.37	"	B	3
27.4	1.47	0.30	"	A	15
32.8	1.34	0.25	"	B	4
38.2	1.24	0.22	"	B	4
43.4	1.15	0.19	"	B	4
53.4	1.01	0.15	"	A	15
63.6	9.1	0.13	"	B	3
77.9	7.9	0.10	"	B	3
96.9	6.0	0.04	"	B	4
100.7	5.2	0	"	B	15
115.0	3.4	0	"	A	

※ 観測種類

A : 給気管中心まで半径方向に3cm毎の風速分布を測定
測点数5点 測定時間16分

B : 給気管中心風速のみ測定 測点数1点 測定時間5分

算出された圧力降下 ΔP とゲート開度との関係は表-1, 図-7に示す。

一方, 放水管内に直接設置した圧力計の測定値は, 堤頂においてオシロースコープに記録された。この実測値も給気量からの推定値とあわせて表-1, 図-7に示す。

4. 観測結果の検討

4-1 管内圧力

一般に空洞現象に対する許容圧力は -3 m水柱程度にとられているが, 放水管内の平均圧力の許容値としては, $-1.5 \sim -2.0$ m水柱にしている。これは空洞現象に対する通常の許容圧力に, ゲート戸溝や管の断面変化あるいは境界面の不整などによる流線の剝離に基づく局部的圧力降下を, 余分に見込んだ値である。このような局部的圧力降下値を P_m とすれば, $-(3.0 - P_m)$ が放水管内の平均圧力の許容最低値となる。ここで P_m は模型実験などを行って求めるのがぞましいが, このような方法がとれない場合は, P として $1.0 \sim 1.5$ m水柱程度を考慮するのがよからう。

田頭ダムのスライドゲートは 45° リップ形状で, この種のリップでは半開放流時にゲート底面に負圧の発生がなく, 圧力変動も殆んど起らないことがW. B. S. の実物試験等で確かめられている。また, この放水管は全長にわたり厚さ 10 mmの鋼板で覆われているから, 表面の不整による局部的圧力降下も少ないものとみなされる。よつて P を 1.0 mにとつて, 管内平均圧力の許容値を -2.0 m水柱とする。

測定した管内圧力とゲート開度の関係(図-7)をみると, 給気量からの推定値と圧力計の実測値はかなり良好な一致を示している。このことから, 給気管内における空気流の計算過程で, これまで一般に使用されてきたいくつかの仮定は, 適切であつたということがいえるだろう。すなわち, 空気流の定温変化の仮定, 給気管内の損失係数の仮定などである。よつて, 今後この種の放水管内圧力を, 給気量から推定しても, かなり確実な値がえられるものと思われる。又, 給気管の設計においても, これらの仮定を使用できるだろう。

以上の結果から, ゲート開き 20 cm (開度 $G = 8\%$) 以下, ゲート開き

図 7 $G \sim \Delta P$ 関係回線

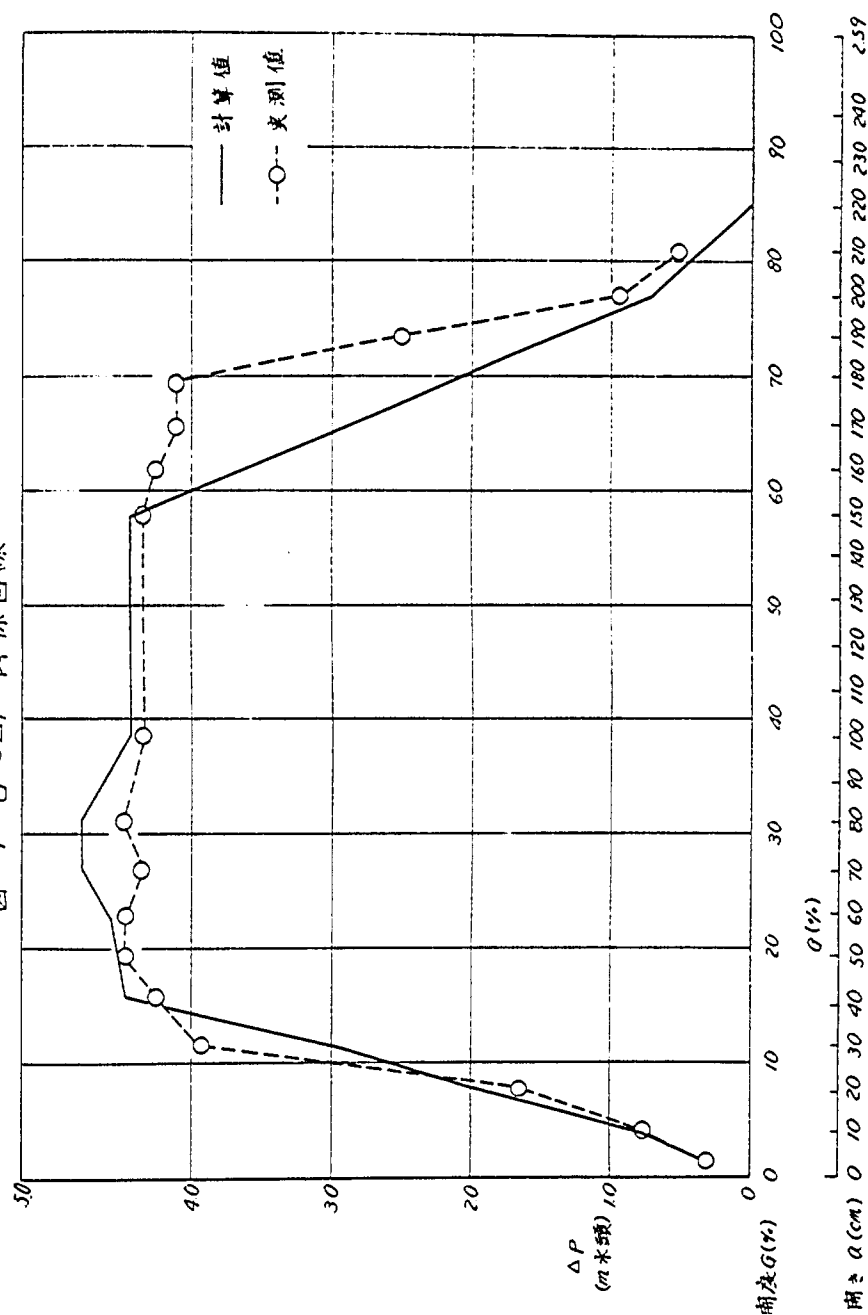


図-8 $Q_a - G$ 関係図

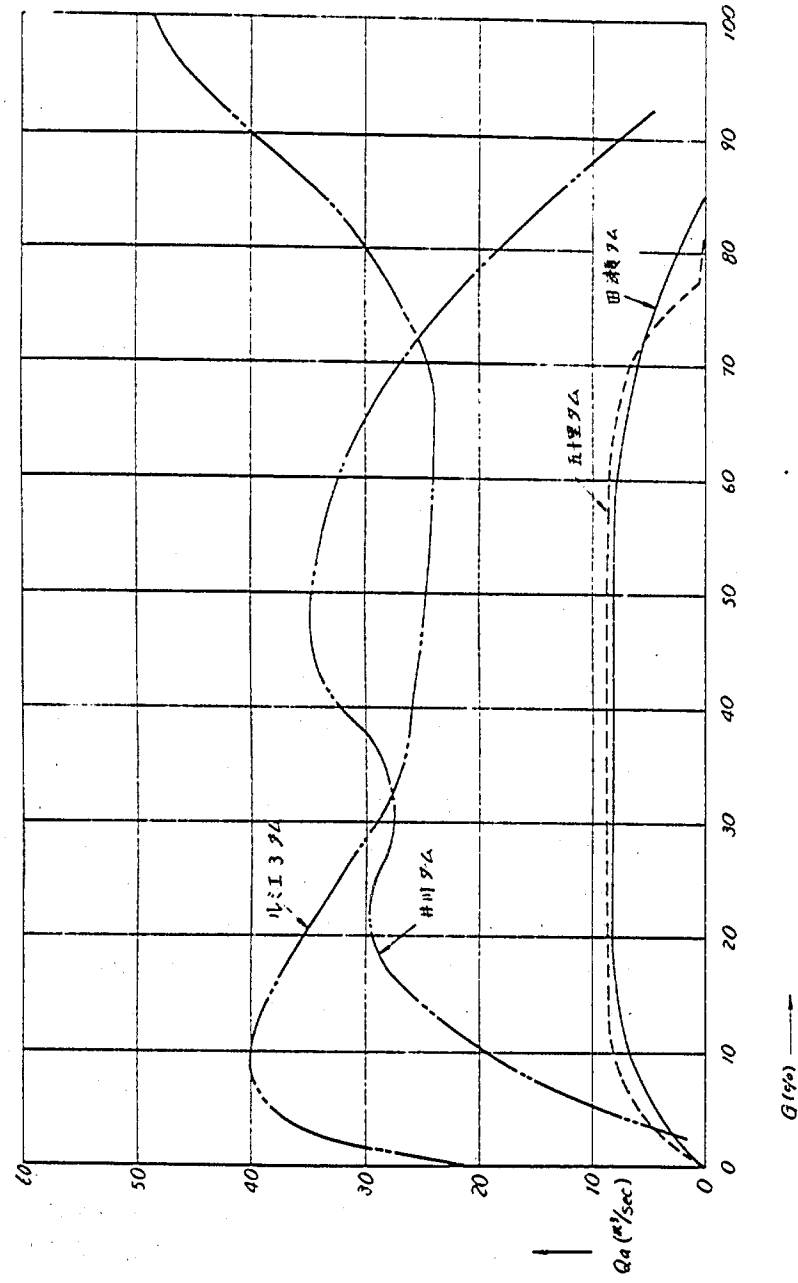


図-9 $G \sim Q_w$ 関係曲線

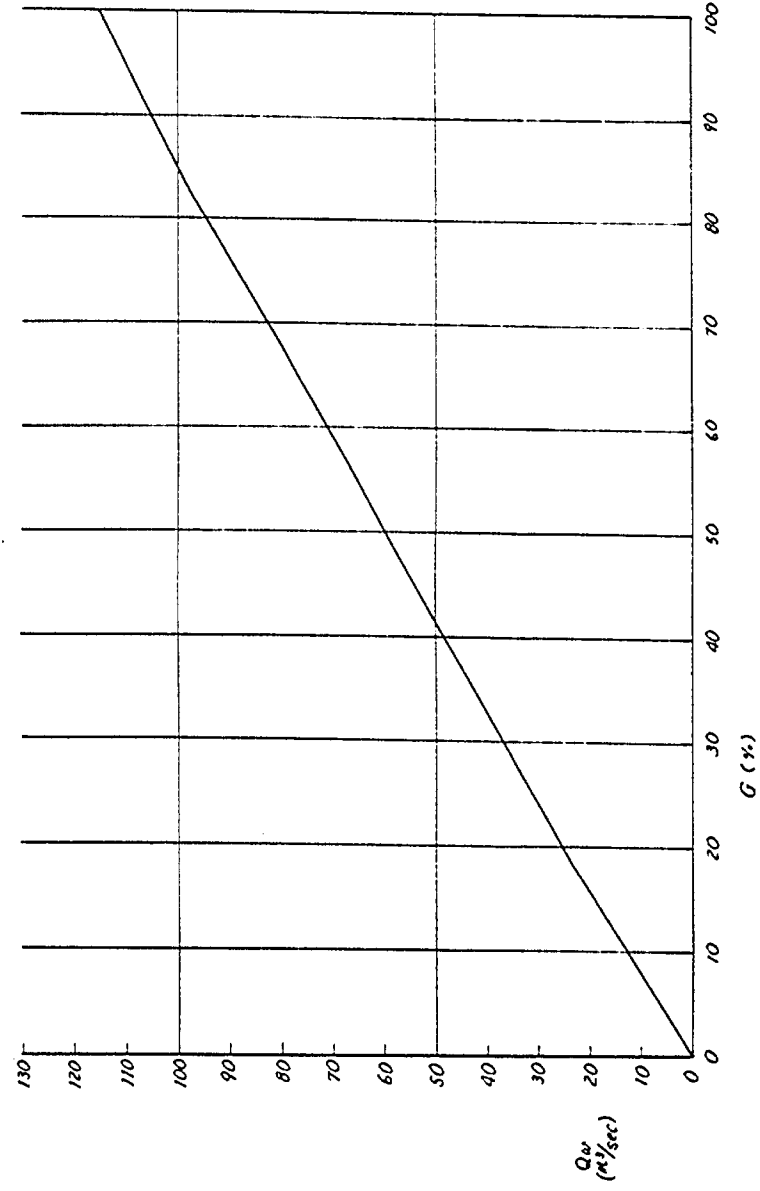
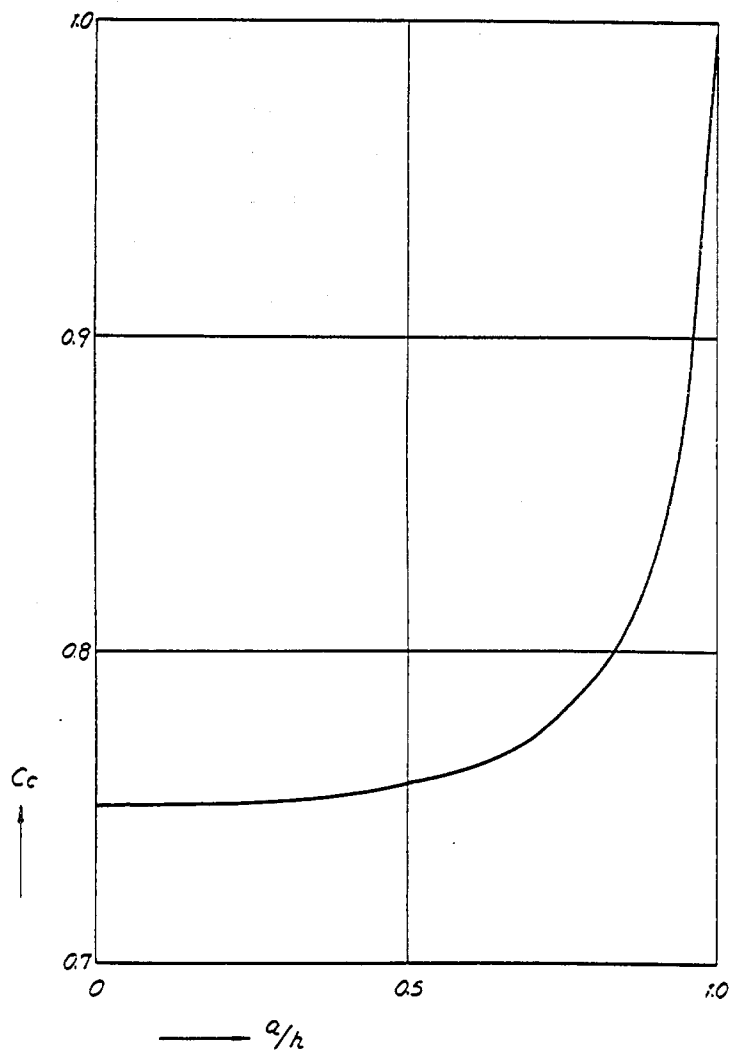


図-10 $C_c \sim a/h$ 関係曲線



200cm ($G=77\%$) 以上ならば、放水管内の圧力降下は2m水柱以内で、空洞現象が発生する危険性はないであろうと推論される。

4-2 管内圧力の変動

圧力変動はゲートの振動を誘発するおそれがあるので、できるだけ避けなければならない。圧力計により直接測定した結果によると、ゲート下流側の放水管内圧力状態は、予想したほどの変動がなく、殆んど定常的である。

しかしゲートの振動は、管内全体の圧力変動によつて起るが、この他ゲート周辺の局所的な水流の乱れや、水圧の変動によつてひき起こされるものであるから、最終的には振動測定の結果によらなければならない。

4-3 需要空気量

ゲート背後の管内圧力降下は、噴出高速流により管内の空気が運び去られることによるものであつて、給気管はこの不足した空気を補給する目的で設けられている。ところが、高速流の空気連行による需要空気量に対して給気量が不足すると、圧力が降下して前述したようないろいろな障害が生ずるのであるから、適切な需要空気量の把握は、この種の放水管の設計において、安全性に関する重要な事項である。

空気連行現象の機構が解明されていない現在、需要空気量を正確に推定することは困難であり、既設放水管についての実測資料は最も重要な資料である。そこでわれわれが得た田瀬ダム実測資料を表-1に、これまでの資料と合わせて表-2、図-8、図-11に示す。

需要給気量 Q_a をゲートの開度 G と対応させたものが図-8で、空気-水流速比 $\beta = Q_a/Q_w$ と、ゲート流出後のベナコントラクタ断面で推定されるフルード数 F との関係を示したのが図-11である。結果は F の値が大きいところで、Campbell と Guyton が米国の諸実測結果をもとにして提示した関係ときわめてよく一致するが、 F が小さいところでは全く別な傾向を示している。 F の値が大きいということは、小開度でゲート流出後の水深が小さい場合であつて、給気が充分に行われているものと考えられる。ゲート開度が増すにつれて、水深、流量ともに増大し、給気が不十分になってくるので、 F の値が小さいところでは β が急激に小さくなるのであろう。元来田瀬ダムの放水管は、ゲートの半開放流を行わないという主旨で設計されたものであるから、その給気管はゲート開閉途中で、必然的に生じる一時的半開状態に対処するだけの配慮しかなく、継続的な半開放流に対して充分な設計と

表-2 日本、外国における放水管給気量の実測例

ダム名	ゲート型式	ゲート寸法 m 巾×高	放水管断面寸法 m	ゲート下流 放水管長 m
デニソン フーラー	パーティカルリフト	2.74×5.80	6.10φ○	256
バイン・フラット タイガートー	スライド	1.52×2.74	1.52×1.98□ 1.52×2.74□ 1.73×3.05□	88
ノーフォーク	スライド	1.22×1.83	1.22×1.83□	
ルミエ1	スライド	2.30×3.00	4.2×4.2□	38
ルミエ2	スライド	1.60×2.30	×3.7□	44
ルミエ3	スライド	1.60×2.30	×4.2□	54
五十里	スライド	2.59×2.59	2.59φ○	35
井川	リングミール	2.30φ	2.30φ○	
田瀬	スライド	2.59×2.59	2.59φ○	32.3

操作水頭 m	水流速 m/sec	給気管寸法 m	最高給気時		
			ゲート開度 %	給気量 l/sec	最大風速 m/sec
3.2	22.3	1.62φ	69	56.3	17.5
1.3	11.9	0.41φ	62	1.4	11.0
28	22.5	0.76φ	78	5.7	12.5
28	23.5	0.31φ	83	4.9	66.8
48	29.9	0.51φ	83	7.9	
33	21		100	38	
63	31		100	41	
94	38		100	48	
41	22	0.293φ	27	8.9	13.5
86	41	0.7φ	42	3.5	10.5
36.8	24.5	0.3φ	27	8.3	117.5

は云えないはずである。したがって管内圧力の測定結果にも表れたように、ある開度以上では危険な負圧が発生するのである。

この結果から、Campbell-Guytonが提示した関係は、ゲート流出噴流に対して十分な給気が行われている場合の需要空気量を表わすものと推定される。

ゲート開度に応じた流量 Q_w は次式により推定し、表-1、図-9に示す。

$$Q_w = B \cdot C_c \cdot a \sqrt{\frac{2g(H + \Delta p - C_c \cdot a)}{1 + 0.016(B \cdot C_c \cdot a)^2}}$$

ここに B:ゲート巾
 C_c :収縮係数(図-6参照)
a:ゲート開き
H:貯水深
g:重力加速度
 Δp :ゲート背後の圧力降下

4-4 給気管内風速

給気管内の空気流速は、45m/sec程度におさえるのがよいといわれて

いるが、これは既設放水管の給気管で実測した経験から、 $V < 45 \text{ m/sec}$ ならば放水管内圧力がたまたま許容負圧以下に低下しないという事実にもとづいているのであつて、あくまでも放水管内を許容圧力以内に保つための手段であり、むしろ空気流速が大きくなって給気管内で衝撃を生じたり、あるいはそれほど高速にならない場合でも、管の笛鳴や振動を誘発して、不快感や不安感を与えないように風速を制限する方が実務的である。

田瀬ダムの現地観測では、風速が100m/sec程度をこすとかなりの笛鳴りが起きたが、常時の実際操作時には殆んど感じられないということから、観測時に使用したストレナーおよびビーター管によるものと推定される。したがって、田瀬ダムにおいては、風速の値から操作を制限する必要はないものと考えられる。

5. 結 論

前節までに述べたように、田瀬ダム放水管ゲートの半開放流時に、ゲート下流側における放水管内圧力の低下を直接測定することによつて、ゲート開度を20cm(全開度の8%)以下に制限するか、あるいは、200cm(全開度の77%)以上に開放するならば、空洞現象や圧力変動に起因する破壊の危険性はな

いものと推論される。

IV 振動観測による検討

1. 既 要

田瀬ダムにおいて半開放流時に、ゲート・リーフ及びダム本体が、どのような振動をするかを測定し、その結果を解析したものである。

2. 観測方法

2-1 観測計器

本測定に使用した計器の概要は次の通りである。

(i) 加速度計

共和電業製、120A-5C型で規格及び公差を下に列記する。

公差	±5%
ブリッジ抵抗	120Ω
固有振動数	200 cps
最大入力電圧	5 V
開回路における最大出力電圧	2 mV/φ

(ii) ストレインアンプ

横河電機製作所製で、交流ブリッジを使用した偏位法によつて測定した。型式はEM-C11である。

当アンプの仕様を略記すると、

測定方法 交流ブリッジを使用した偏位法による

感度 1×10^{-6} まで1mmの振れ (G2000B-F使用の場合)

但し、ブリッジ電圧2.5V, 120Ωゲージ

ゲージファクター2.0,

直線性 最大出力範囲内で±2%以下

周波数特性 0~10000 c/s (±5%以内)

入力インピーダンス 350Ω

出力インピーダンス 5Ω以下

ゲージファクタ (校正補正ダイヤル) 1.7~2.3 (0~±15%)

ブリッジ電源	周波数 5000 c/s ±3%
	電圧0~4 V, 0.5 V ステップ (120Ωに対する偏差±10%)
使用ゲージ	60~1000Ω
利得調整	0, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 ステップ
	0~10連続調整
指示計	±1.2 V R.C平衡検出、及び出力電圧指示
ブリッジ平衡調整	

抵抗(R)	内部切替えスイッチにより調整範囲可変
容量(C)	

いずれも5回転可変抵抗器による

基線標動	入力換算 2μV/hour 以下 (30Ω負荷)	感度 最大
	(電源投入20分後) 1.5μV/hour以下 (30Ω負荷, 5~45℃)	

雑音	入力換算 p-p 5μV以下
温度範囲	使用温度範囲 0~45℃
	温度による利得の変化 3%/10deg. 以下 (5~45℃)
電源変動	100V±10%で利得変化±1%以下
電 源	100V, 50 or 60 cps, D.C. 24V

(iii) 電磁オシログラフ

横河電機製作所の「直記式電磁オシログラフEMO-121型」を使用した。次にこの計器の仕様を列記する

素子の数	12
光学レバー	約450mm (垂直最短距離における値)
記録紙送りとタイミング・ピッチ	

記録紙送り速度 : 12段押釦切換

タイミング・ピッチ : 4段記録紙送り速度と運動切換、記録紙全幅にタイミングラインが入る。

記録紙 送り速度	cm/m						cm/sec					
	2.5	5	10	25	50	100	2.5	5	10	25	50	100
タイミング ピッチ	(sec)		(sec)		(sec)		(sec)		(sec)		(sec)	
	10		1		0.1		0.1		0.01			

(注) 最高速度 : 1000 cm/sec

記録紙 178mm×60mm (イーストマンコダック社)
178mm×35mm (オリエンタル写真工業)

紙送り方式

Long ; 押鈕を押せば始動し、もう一度押すと停止する

Shot ; 設定紙送り速度に対応した速度で50±5mmだけ記録する

目盛線 2mm間隔では記録紙全幅に入る。不用のときは消すことが出来る

光点選択機構 使用しない光点およびタイミングラインを任意に
しや光できる

入力電圧倍率器 12個おのおの10段切換 (最大約500KΩ,
振動子と直列に入る)

記録紙残量指示 10分割目盛

遠隔操作 自動開閉器を接続すれば記録時間を遠隔操作できる。

入力回路 (振動子を含む) 間の耐圧, AC250V

入力回路 (振動子を含む) とケース間の耐圧 AC250V

電源 100±10V, 約450W

(注) 使用振動子の特性 (横河製作所製)

形名 G-1000A-F (油制動形)

感度一様な (±5%以内) 周波数上限 400 cps

(註) 制動度 γ は約0.7に、電磁制動の外部制動抵抗値は±10%
以内に保つてある。

コイル抵抗 27Ω (誤差±10%以内に押えてある)

外部制動抵抗 制動油

感度 (光学レバー ; 450mm)

電流感度 (mA/mm) 0.12 (±10%)

(mm/mA) 8.3

電圧感度 (mV/mm) 3.2

(註) この油制動形の電圧感度は

電流感度 ($\mu A/mm$) × コイル抵抗

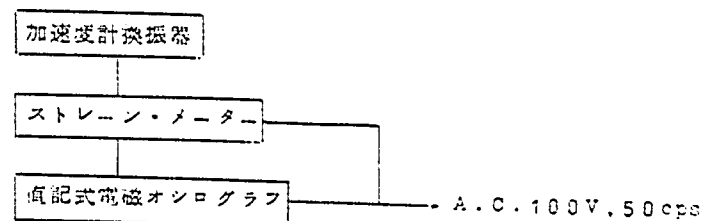
で、振動子単独で考えた電圧感度である

(mm/mV) 0.31

最大安全電流 50 mA

直線性 (許容差内の片側最大振れ) 100mm (誤差±2%)

以上列記した計器を下図の如く結線した



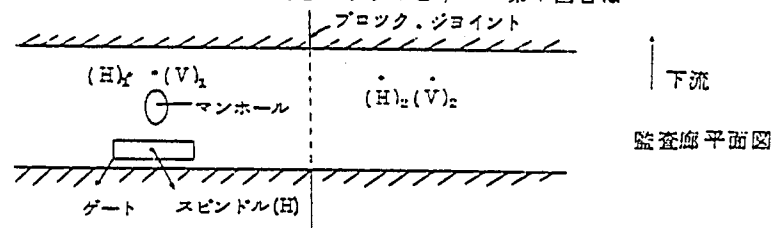
2-2 計器類の設置

観測は2回行なわれた。加速度計の設置場所は、次のとおりである。

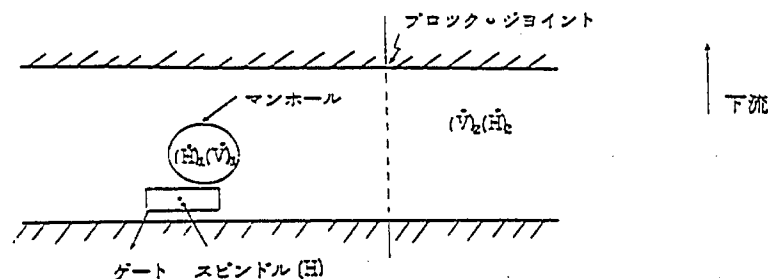
- 第1回目 スピンドル (上下流方向)
ゲートを含む堤体ブロック (上下流方向及び上下方向)
ゲートを含むブロックの隣りのブロック (上下流方向及び上下方向)
- ゲート (上下流方向 2個)
- 第2回目 スピンドル (上下流方向)
マンホール内 (上下流方向及び上下方向)
ゲートを含むブロックの隣りのブロック (上下流方向及び上下方向)

ストレイン増巾器及び電磁オシロは、監査廊内のゲート操作所附近に1組、堤頂に1組配置し、堤頂では、ゲートにつけた加速度計2個を、ダクトをとほしたキャブタイヤにより結線した。監査廊内のストレイン増巾器及び電磁オシロには、スピンドル、各ブロック、マンホールからの信号を入れるようにした。

加速度計の配置を図示すると、第1回目は



この外、ゲート下流側に2個の加速度計を設けた
第2回目の実験のときは



この外、第1回目と同様に、ゲート下流側に2個の加速度計を設けてある。

又、記録部の増巾器及び電磁オシロは、スピンドル、監査廊内及びマンホール内の加速度計を接続するために監査廊内に置き、ゲート下流側に設置した加速度計を接続する増巾器及び電磁オシロは、マンホールが上流側にあるため、監査廊内のもは使用出来ず、加速度計からダクトを通して、堤頂までその出力を引出し、堤頂に、監査廊内のもと同種の増巾器と電磁オシロを接続して観測した。

2-3 観測時のゲート開度

第1回の測定は下表の如き、'ゲート開度'と'時間'のうち、それぞれについて15~20秒間の観測を行なった。

	ゲート開き (cm)	時間 (分)
1	5	16
2	10	4
3	20	3
4	30	3
5	40	3
6	50	15
7	60	4
8	70	4
9	80	4
10	100	15
11	120	3
12	150	3
13	200	4
14	220	15

第2回の測定は、次のゲート開度に対し、各20秒間の観測を行なった。

	ゲート開き (cm)
1	40
2	50
3	60
4	70
5	80
6	90
7	100
8	150
9	200
10	220

3. 観測結果

第1回の測定においては、監査廊内での記録は増巾器の故障及び誘導電圧のため、非常に感度が低く、測定値を読みとることは困難であつた。一方、ゲートの振動は観測可能であつたが、2個の加速度計共、ゲートを70cmまで開けたときの振動を記録し、80cmまで開けたあとは、何の振動も記録出来なかつた。実験終了後、調査したところ両ストレイン・ゲージのキャブ・タイヤが、水流のため引きちぎられてしまつていたが80cm開度以後記録がとれなかつたのはこのためと思われる。よつて、こゝで述べる資料は、ゲートについては、第1回目70cmまで、監査廊内の資料は第2回目の資料による。これらの資料から、ゲートの各開度に対する各観測部での加速度及び周波数を算出し、その結果を第3表に示す。図12-1, 12-2は、表3を図にしたものである。又、図13は、各測点毎に加速度と周波数を同一図上に示したものである。

表-3 各測定点における加速度及び周波数

ゲート開度 (cm)	堤体 (上下流方向)		堤体 (上下動)		スピンドル (上下流方向)	
	加速度 (gal)	周波数 (cps)	加速度 (gal)	周波数 (cps)	加速度 (gal)	周波数 (cps)
10						
20						
30						
40	0.00	0.00	0.00	0.00	7.92	100.4
50	0.00	0.00	0.00	0.00	4.08	118.5
60	2.13	99.20	0.00	0.00	4.66	133.0
70	2.13	100.60	2.58	222.40	10.50	131.0
80	0.00	0.00	0.00	0.00	11.40	113.0
90	2.13	179.00	1.29	194.00	4.66	115.0
100	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00	63.9
120	0.00	0.00	0.00	0.00	5.82	77.0
150	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00	65.5
200	0.00	0.00	0.00	0.00	8.14	91.0
220	0.00	0.00	0.00	0.00	12.2	135.5

マンホール (上下動)		マンホール (上下流方向)		ゲート (上下流方向)		開度 (%)
加速度 (gal)	周波数 (cps)	加速度 (gal)	周波数 (cps)	加速度 (gal)	周波数 (cps)	
				3.95	112	4.17
				14.40	133.0	5.83
				11.50	145.0	12.50
5.12	83.2	0.00	0.00	14.40	155.5	16.70
6.26	93.8	1.82	80.32			20.80
9.68	104.8	2.72	100.60	20.10	159.7	25.00
26.20	112.0	5.46	112.0	23.10	161.1	29.20
5.70	115.5	0.91	116.50			33.30
13.68	112.0	2.72	114.50			37.50
6.84	131.0	1.27	120.30			41.60
6.26	136.0	1.82	115.50			50.00
18.80	114.0	4.54	100.30			62.50
13.68	141.0	1.82	131.00			83.40
21.62	255.0	0.91	251.00			91.60

(注) 240cm
を100%と
した

4. 観測結果の検討

田瀬ダム放水管のゲートリーフは、五十里ダムのものと全く同一寸法である。したがってその固有振動数等は五十里ダムのものと同じ値を示すものと思われる。いま「五十里ダム放水管高圧スライドゲート半開操作の可否に関する検討」(昭和34年3月、建設省土木研究所)から構造特性に関する部分を抜き書きすると

ゲートリーフの最大曲げ応力	2.57 kg/cm^2
最大せん断応力	3.29 kg/cm^2 (斜材を無視) または 1.37 kg/cm^2 (斜材を考慮)
ゲートリーフの曲げに対する安全率	1.59.5
せん断	8.72 (斜材を無視) または 20.9 (斜材を考慮)

ゲートリーフの水平撓み固有振動数 約150 c/s である。

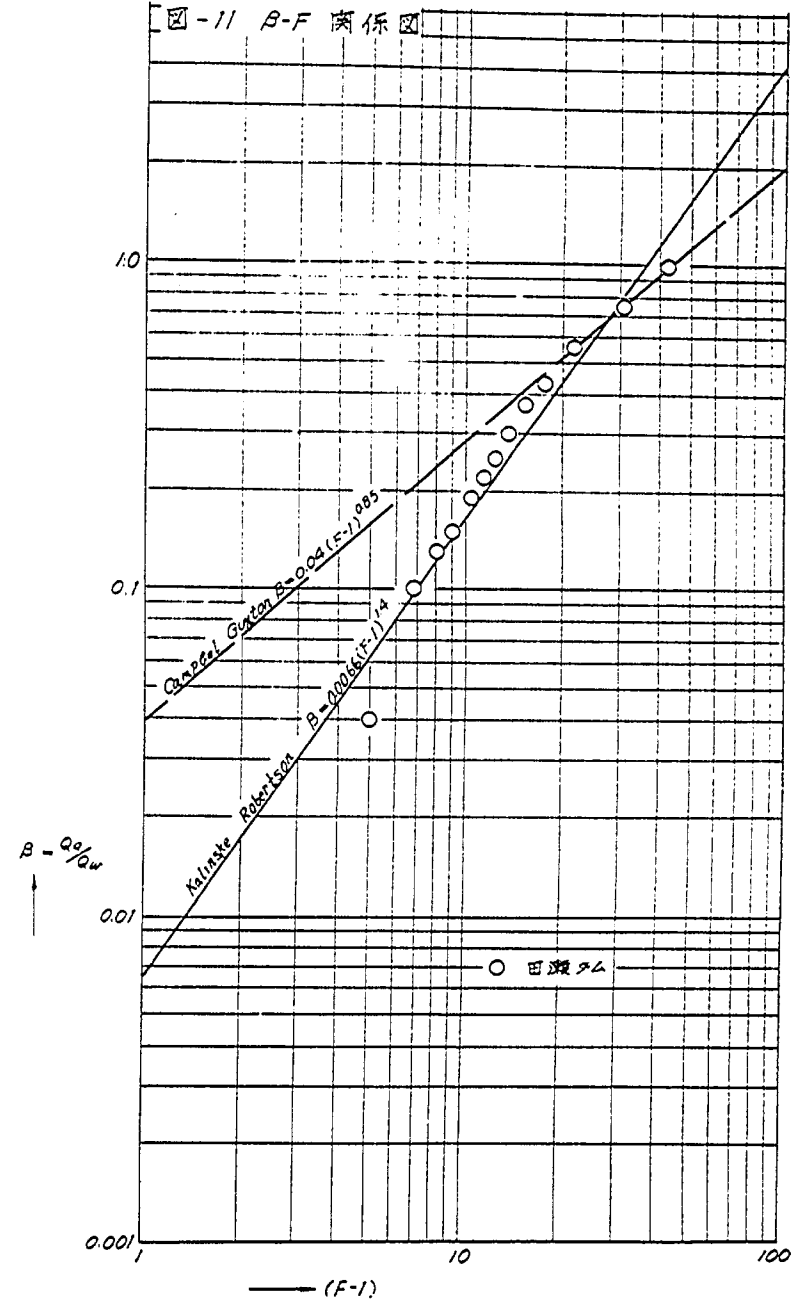
前節に示した田瀬ダム放水管のゲート半開時の記録を整理すれば

- ① ゲートリーフの上下流方向の振動をのぞき、記録された加速度はゲート開度の全領域にわたり25 gal以下である。
- ② ゲートリーフの上下動方向の振動は70cmの開度までは25 gal以下である。これ以上の開度については記録が得られていないが五十里ダムの場合スピンドル部の上下流方向の振動が開度の全領域において25 galをこえていないこと、今回の測定で70cm以下の開度ではゲートリーフの振動加速度はスピンドル部のその約2倍であることなどから考えて、開度の全領域において50 galをこえないであろうと推定される。
- ③ ゲートリーフに生ずる振動の振動数はゲート開度とともに上昇し、10cm開度で約120 c/sから、70cm開度で約160 c/sになつており、固有振

動数の近似計算値約 150 c/s に近い値を示している。

- ④ スピンドルの振動数は開度 60 cm で約 130 c/s を示し、80 cm をこえると低下するが、開度 200 cm で再び上昇し全開時には約 135 c/s に復する。
 - ⑤ 堤体の振動数は上下流方向、鉛直方向ともに 100 c/s 以上で基本固有周期にくらべて異常に大きく、放水による高周波の振動が伝播しているものと思われる。
 - ⑥ 共振倍率はゲート開度 20 cm 以下では各部とも 4 以下、その他の領域ではゲートリーフを除いて 4 以下程度と考えてよい。
- 以上の結果から、田瀬ダム放水管ゲートの半開操作が構造物に及ぼす影響として
- ① 振動加速度は各部とも 50 gal 以下であると推定され、各構造物の安全性を懸念する程のものではない。
 - ② 共振による安全率の低下は、ゲート開度 20 cm 以下であれば問題とするに足りないであろう。
 - ③ この種の振動の常として、振動数が異常に高いが、そのために有害な影響を与えることはない。

図-11 $B-F$ 関係図



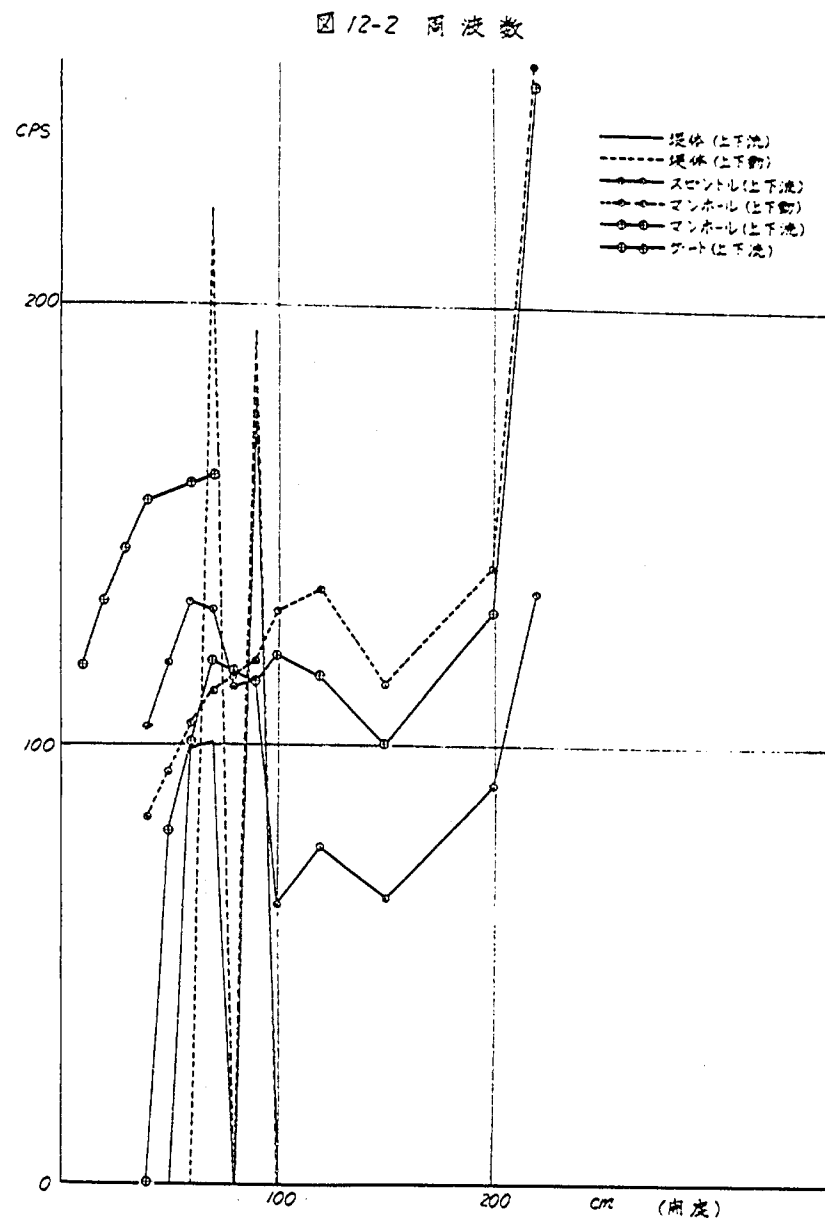
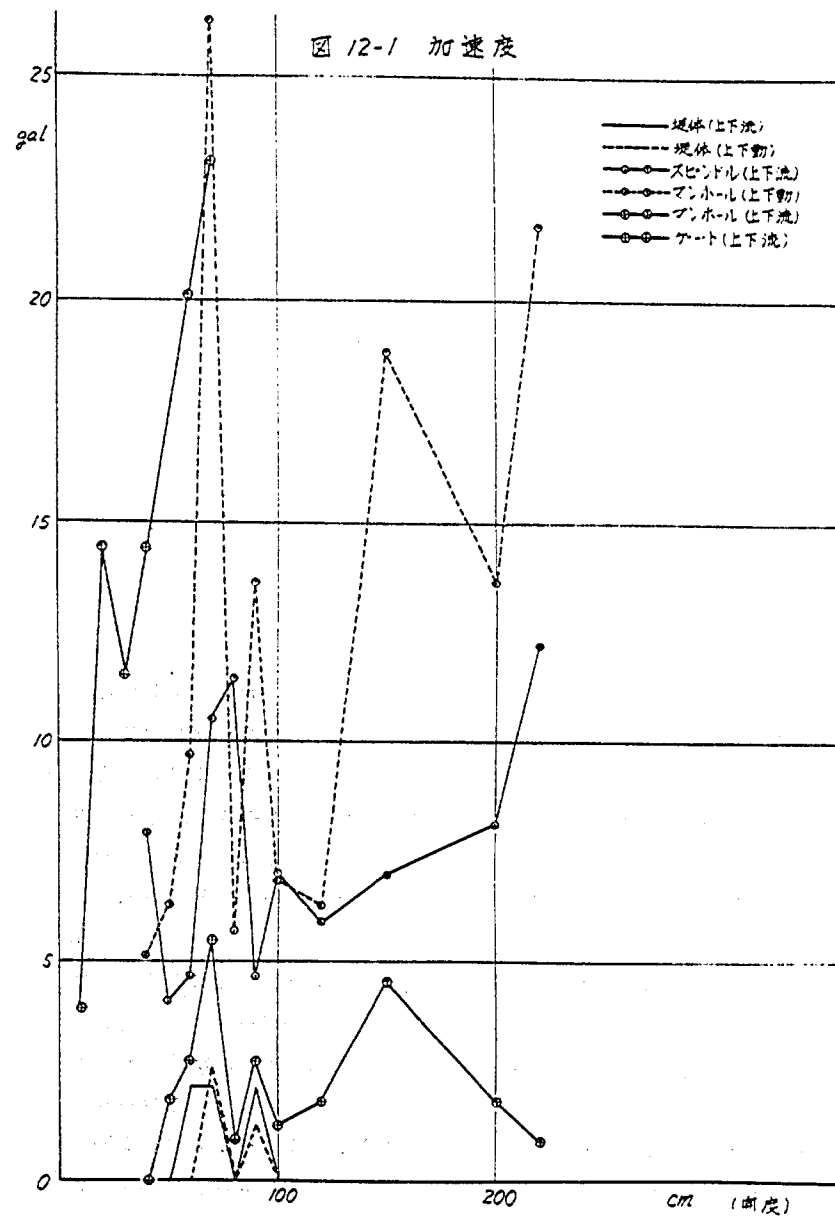


图13-1 堤体 (上下流方向)

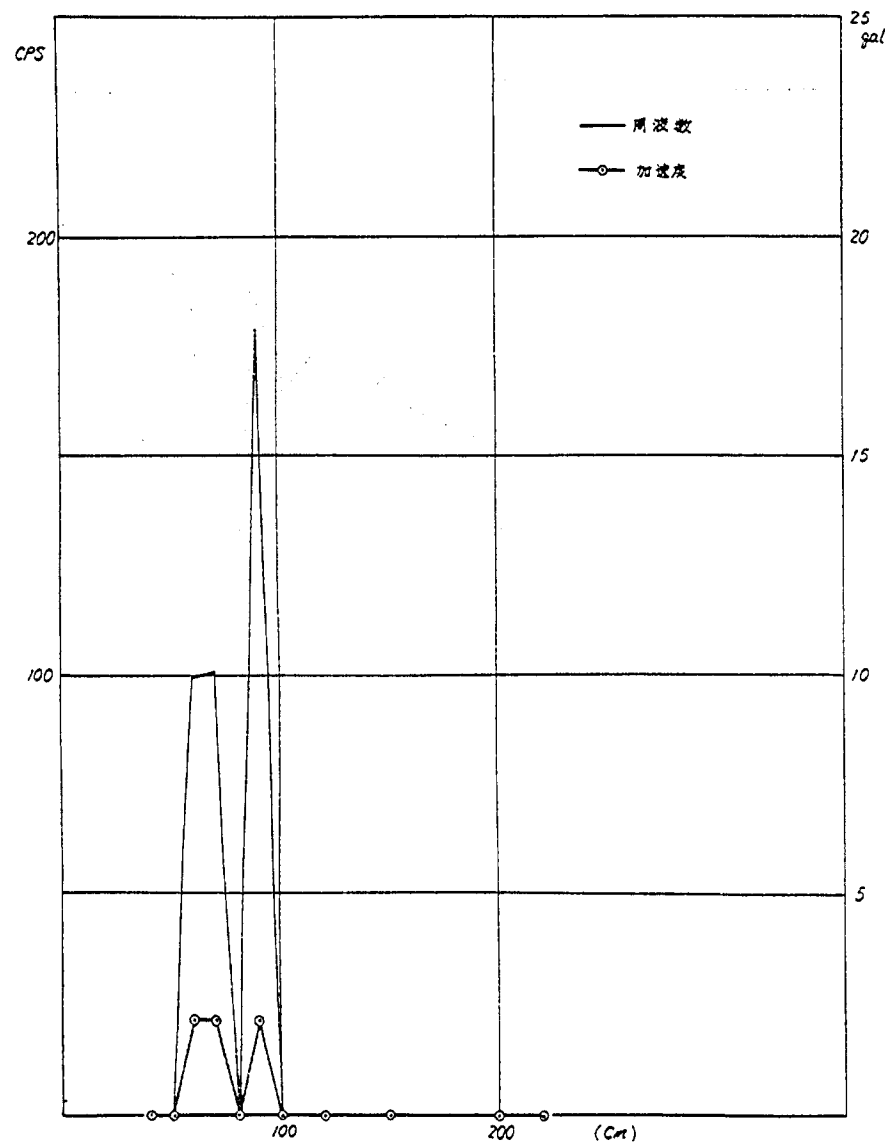


图13-2 堤体 (上下動)

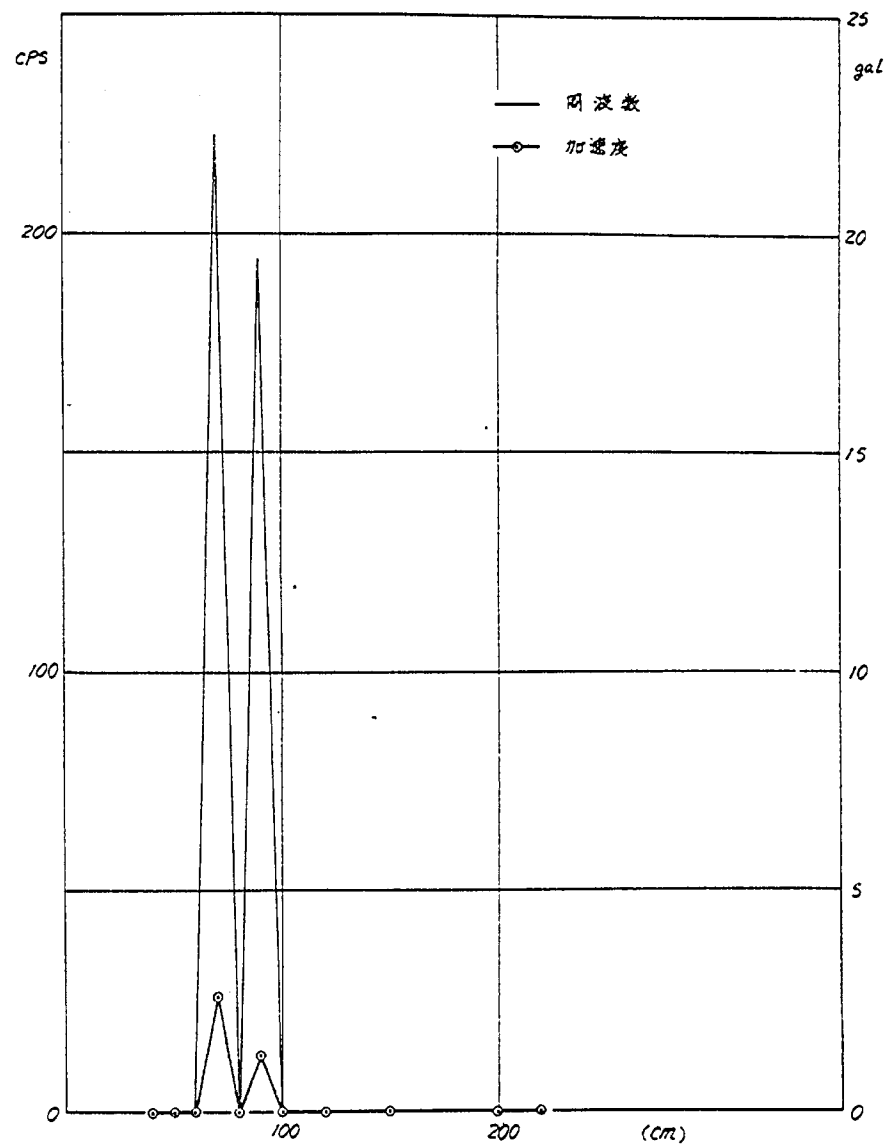


図13-3 スピンドル (上下流方向)

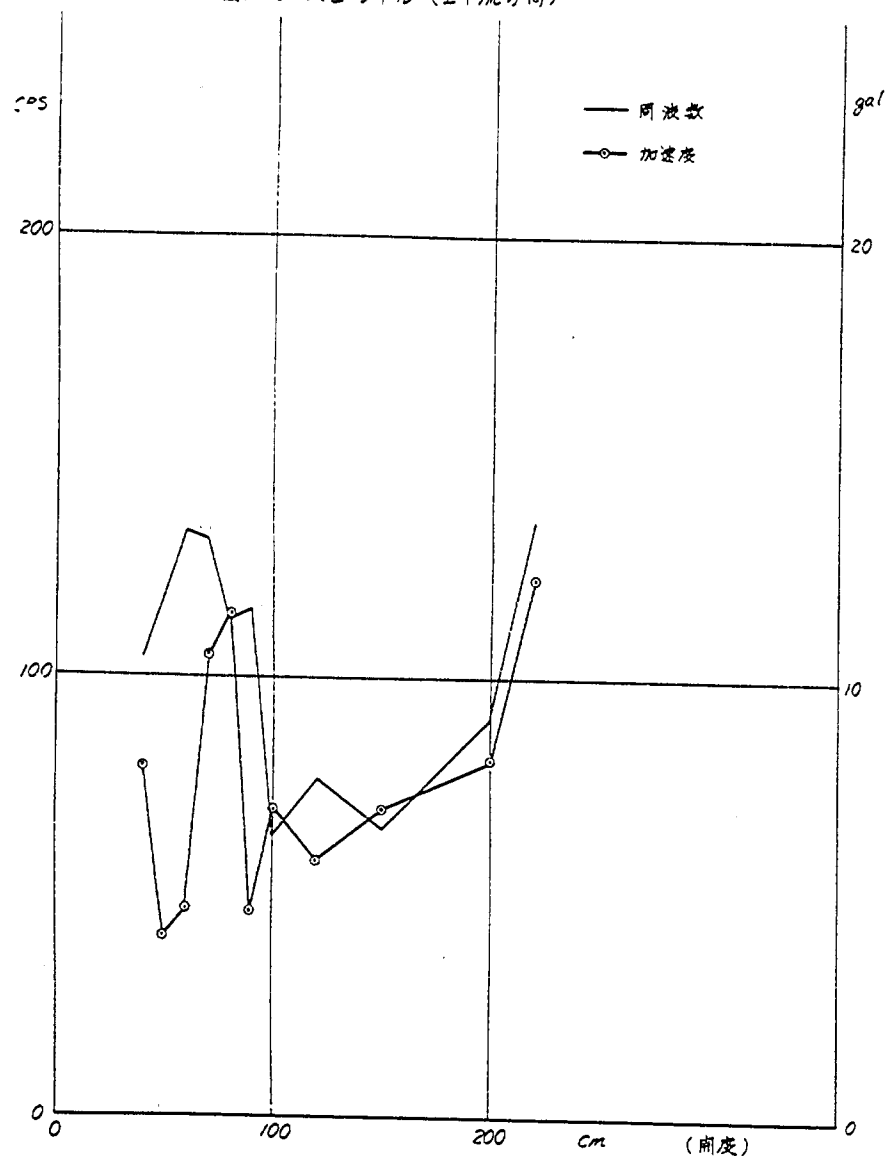


図13-4 マンホール (上下動)

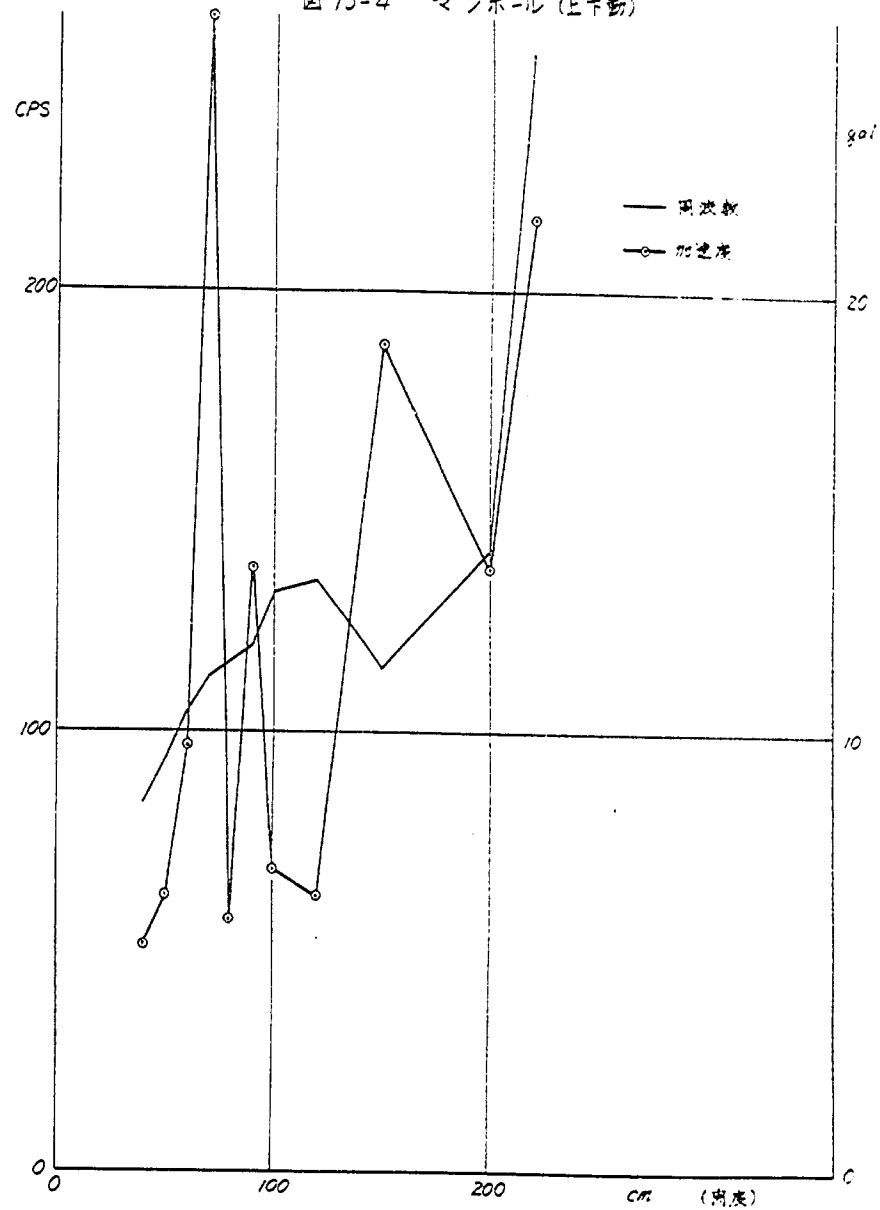


図 13-5 マンホール (上下流方向)

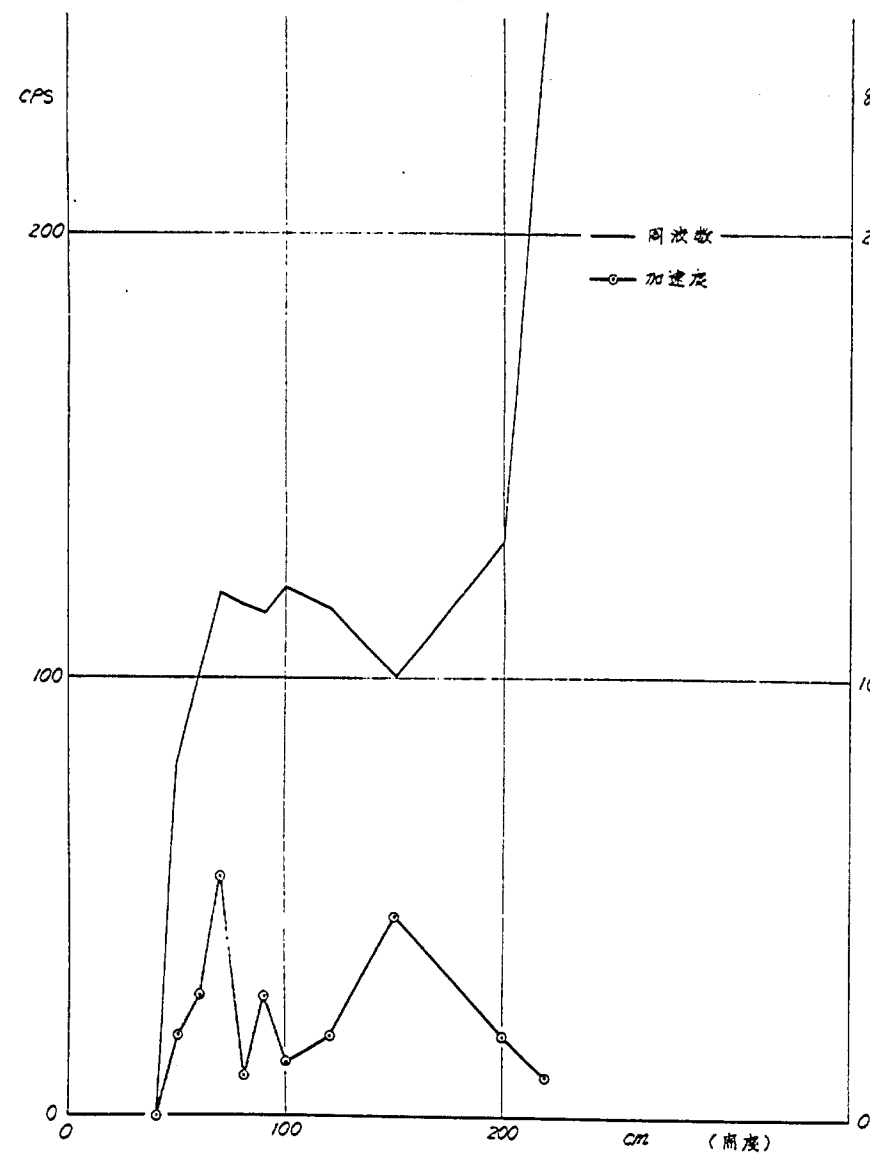


図 13-6 ゲート (上下流方向)

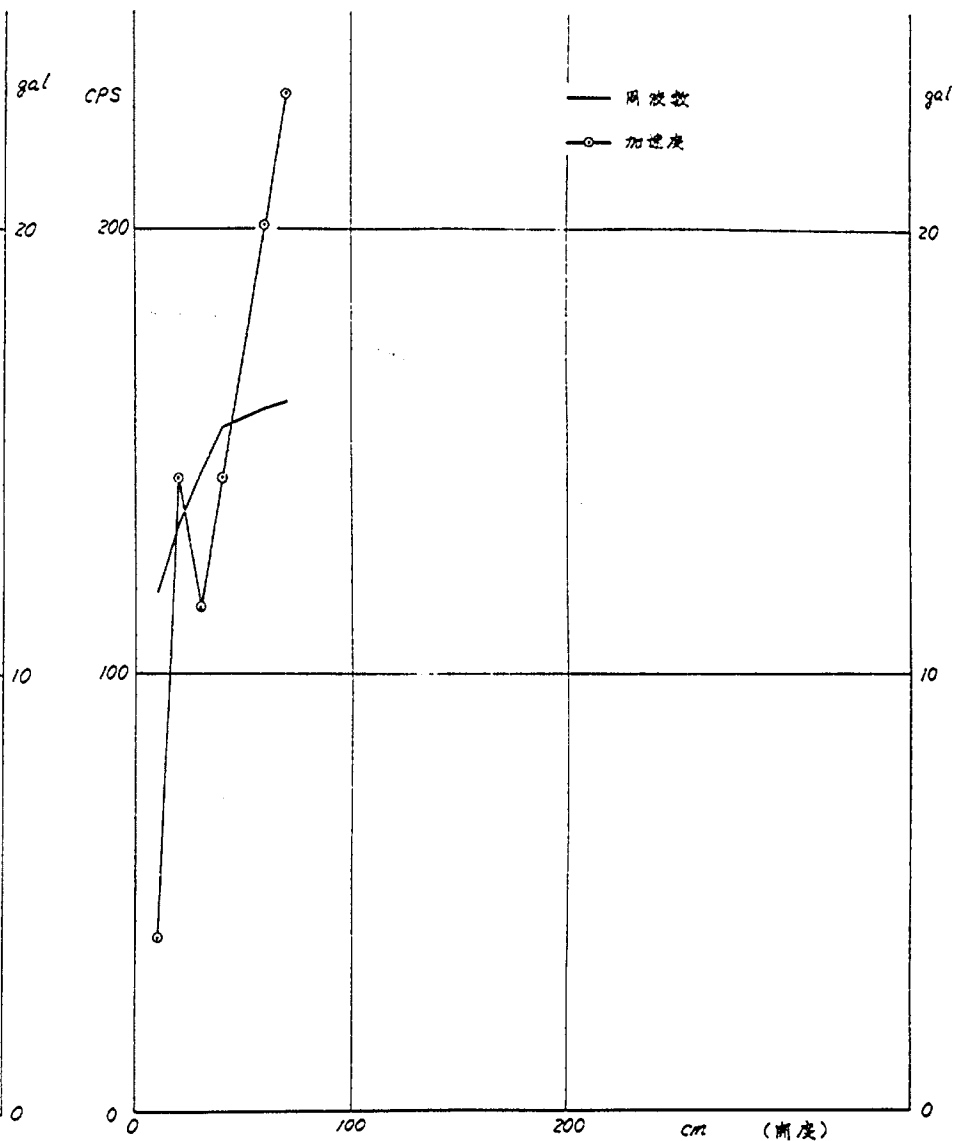


図-14 共振倍率

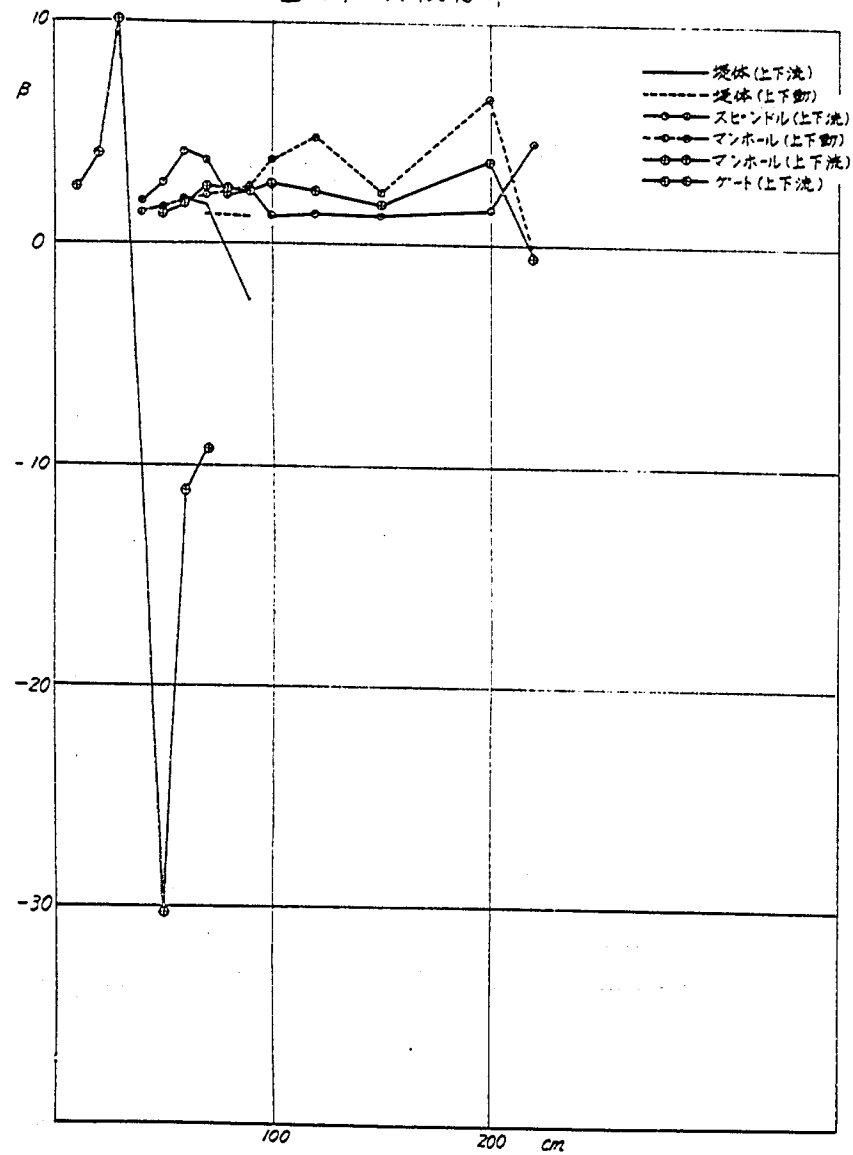
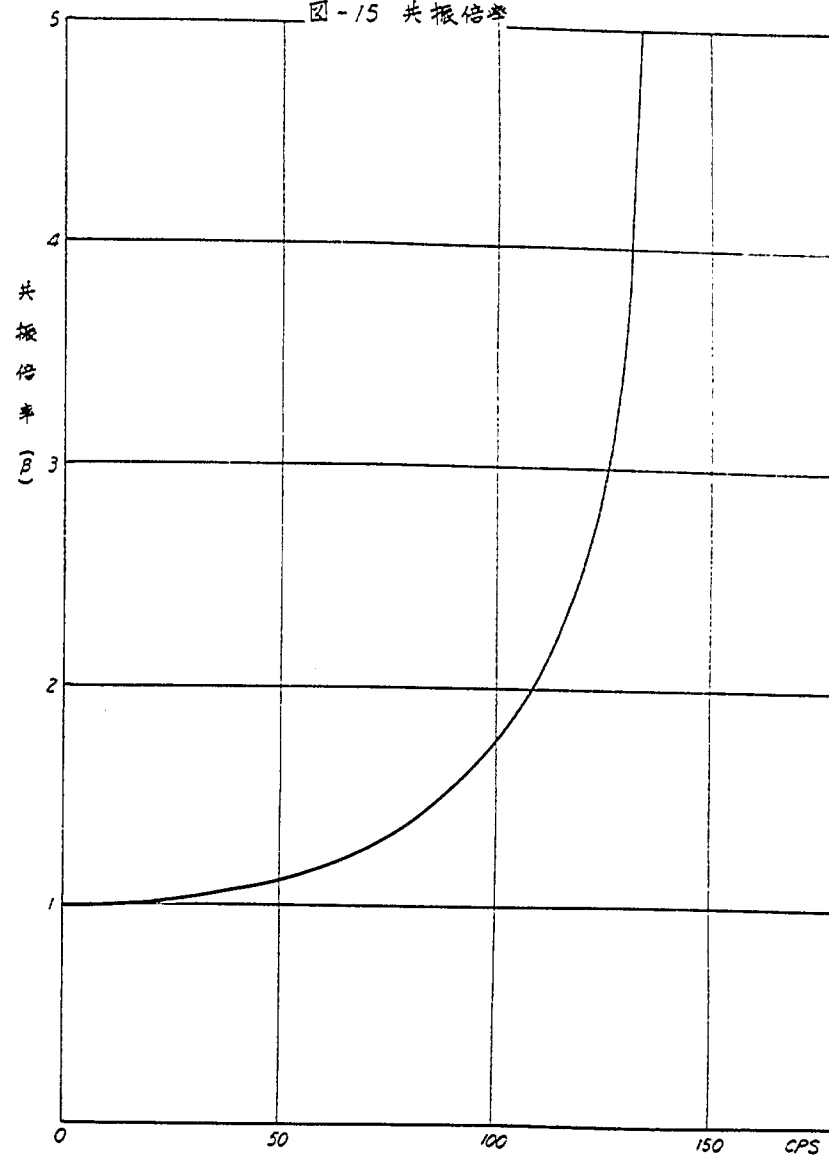


図-15 共振倍率



5. 結 論

前節までに説明したごとく、田瀬ダム放水管ゲートの半開放流時における各種構造体の振動測定は、水流によるケーブル断線等の事故もあり、満足すべきものとは云えないが、放流による有害な影響の有無については一応検討すべき資料を得たものと思う。

これらの振動測定の結果から、十分な安全をみこむならば、半開放流時といえども、ゲート開度は20cm（全開度の8割）以下に制限することが好ましい。

表-4 共 振 倍 率

ゲート開度 (cm)	堤 体 (上下流)	堤 体 (上下動)	スピンドル (上下流)	マンホール (上下動)	マンホール (上下流)	ゲート (上下流)
10						2.48
20						4.02
30						10.00
40			1.88	1.42		
50			2.68	1.61	1.38	-30.30
60	1.93		4.08	1.88	1.76	-11.10
70	1.76	1.27	3.74	2.16	2.53	-9.27
80			2.20	2.33	2.38	
90	-2.72	1.19	2.30	2.53	2.28	
100			1.21	3.73	2.61	
120			1.34	4.76	2.33	
150			1.23	2.25	1.75	
200			1.55	6.62	3.74	
220			4.55	-0.56	-0.592	

あ と が き

田瀬ダムの放水管高圧スライドゲートを、安全に半開放流できるかどうかという問題について、水理的な面および振動性状の面から検討を行つたが、この他、さらにゲート後壁上の問題として、ゲート開度を固定するためのロックメカニズムの装着、管理上の問題として、ゲートの検査および維持補修の強化など、安全性に関する十分な配慮が必要であろう。

終りにあたつて、本観測に御協力いただいた東北地連田瀬ダム管理所長、成田敏行氏はじめ関係者各位に謝意を表する。

参考資料 3

田瀬ダム放水管のゲート半開放流に関する調査

(抜粋)

昭和 51 年 12 月

建設省土木研究所

目 次

§ 1. は じ め に	参 3-1
§ 2. 調 査 目 的	参 3-1
§ 3. 調 査 の 範 囲	参 3-1
§ 4. 実 験 装 置 と 模 型	参 3-1
§ 5. 測 定 方 法	参 3-3
§ 6. 調 査 結 果	参 3-3
1) ゲート全開時における管路内の圧力	参 3-3
2) ゲート半開時における管路内の圧力	参 3-4
3) 摩擦損失係数	参 3-13
4) 原型の摩擦損失係数による放流量の補正 (ゲート全開時)	参 3-14
5) 流 量 係 数	参 3-16
6) 水頭～ゲート開度～放流量 (ゲート半開時)	参 3-16
資 料 1 管 路 内 壁 面 の 圧 力 分 布	参 3-18
2 圧 力 降 下 係 数	参 3-20
3 壁 面 に 発 生 す る 負 圧	参 3-22
4 放 流 能 力 曲 線	参 3-28

§ 1 は じ め に

本報告は、東北地方建設局の依頼により、土木研究所篠崎試験所が実施した田瀬ダム放水管のゲート半開放流に関する調査とその結果をとりまとめたものである。

§ 2 調 査 目 的

田瀬ダムに設けられている放水管は、高圧スライドゲートを全開、全閉で操作することを前提として設計されている。これは管路内の圧力を通常正圧に保つためである。このように全開・全閉操作を原則として設計されている放水管において、ゲート半開操作を行なえばゲート下流管路内の流れの状態は激変するので、これに対処するために入念な検討が必要になる。そこで今回の調査はこの検討に必要な資料を入手するために行なったものである。

§ 3 調 査 の 範 囲

調査を行なった項目は次の通りである。

- (1) 管路内の圧力分布
- (2) 摩擦損失係数
- (3) 摩擦損失係数以外の損失係数
- (4) 流量係数
- (5) 水頭～ゲート開度～流量

§ 4 実験装置と模型

実験装置としては、篠崎試験所内の実験用水槽（幅 1.5 m，長さ 6 m，深さ 3 m）を用いた。水槽の下流には、流量検定堰が設けてあり、流量はこの堰から算定した。

実験用の模型はフルードの相似法則を満足させるよう、水槽の規模と給水能力とを考え合わせて、縮尺を 1/20 と決定した。模型は透明アクリル板で製作し、放水管内にスライドゲートを設けてあり任意の開度を設定することができる。また壁面には圧力測定用にピエゾ管を配置した。（図 1 参照）

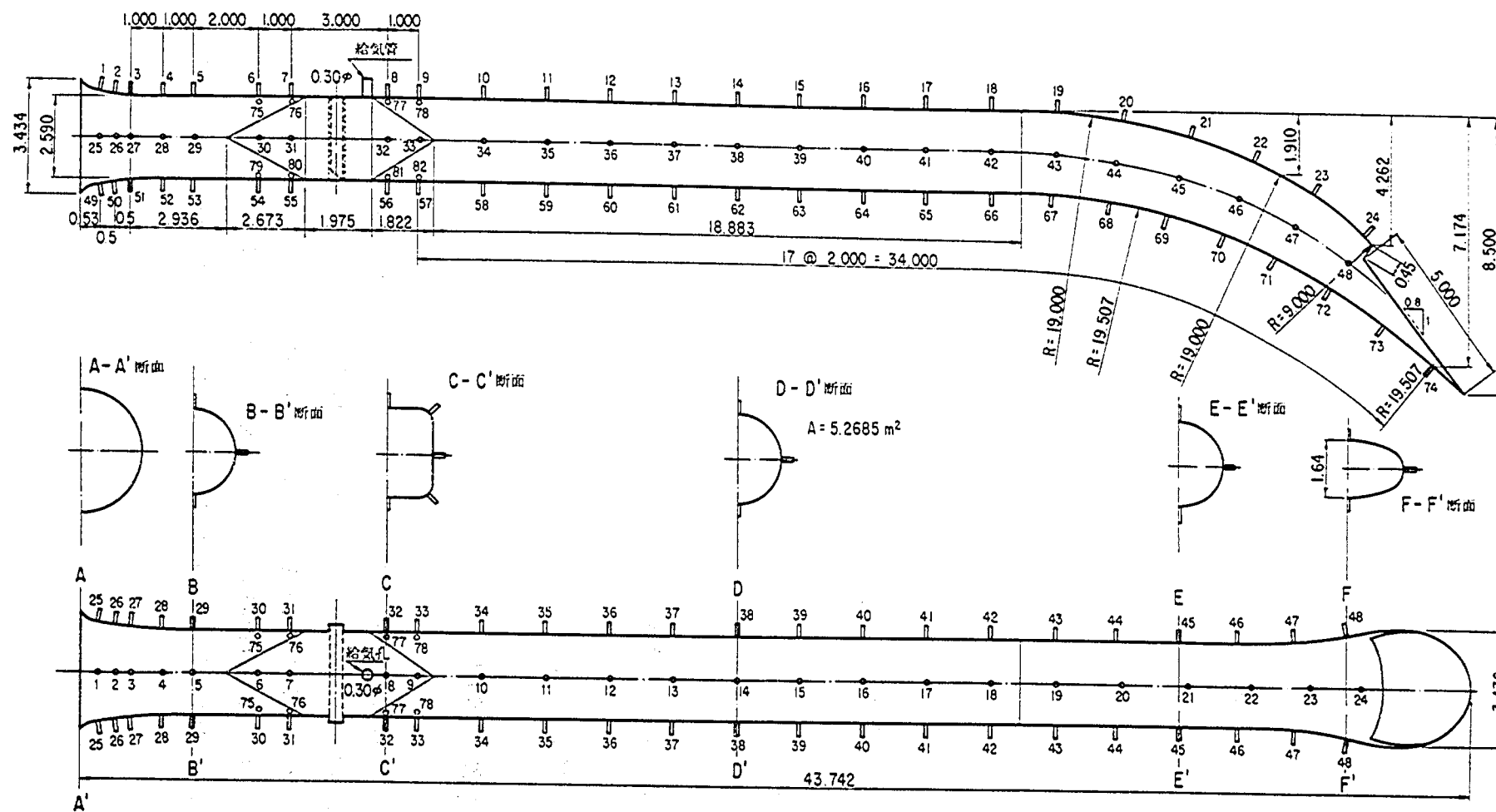


図-1 田瀬ダム放水管形状及びピエゾメータ配置図

§ 5 測 定 方 法

圧力の測定にはビエゾ管をビニール管でマンメータに接続し、水頭高を測る方法をとった。流量の測定は、実験流量（7～60 l/sec）の範囲よりJISに採用されている四角堰（水理公式集）を使用して行なった。

模型実験の測定量を原型に換算するには、フルードの相似法則に基く表1による。

表1 換 算 表

諸 量	比 率	模型の縮尺関係
長さ・水深・圧力	$1/n$	$1/20$
流 速	$1/\sqrt{n}$	$1/4.47$
流 量	$1/n^{5/2}$	$1/1789$

§ 6 調 査 結 果

1) ゲート全開時における管路内の圧力

ゲート全開時における管路内の圧力分布を、最低水位（L.W.L）から満水位（H.W.L）まで6ケースについて調査を行なった。（資料1）この水頭範囲である限り管路内はすべて正圧となる。

管路内の圧力分布は一般に次の圧力降下係数 C_d で表示すると都合がよい。

$$C_d = \frac{H-P}{v_0^2/2g} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 H は直管部中心を基準とする水頭高（m）、 P は直管部中心を基準とするビエゾ水頭高（m）、 v_0 は直管部の断面平均流速（m/sec）

前記6ケースについて圧力降下係数 C_d を求めたものが資料2である。この表から理解されるように圧力降下係数は水頭にはほとんど無関係である。したがってこの場合、6ケースの圧力降下係数の平均値を各壁面位置における圧力降下係数の代表値とすることが出来る。

上述のように圧力降下係数の代表値を設定すれば任意の水頭における壁面圧力 P は次式で推定することができる。

$$\frac{P}{w} = H_p - C_d \frac{v_0^2}{2g} \dots\dots\dots (2)$$

ここで H_p は、任意の貯水位から壁面までの標高差（m）で表わす。

2) ゲート半開時における下流管路内の圧力

ゲート半開時における下流管路内の圧力は、ゲート開度や有効水頭によって異なってくる。また、下流管路への給気量の違いによってもかなり影響を受ける。しかし、気液二相流に関しては未だ確立された相似性がなく、模型実験において原型と対応する給気量を設定することは出来ない。

そこで今回は、給気管の断面積を模型と同じ縮尺として下流管路内の圧力分布を調査し、給気量の違いによる圧力の変化を把握するために給気管の断面積を変えて、下流管路内の圧力降下を調べた。

2-1) 給気管の断面積を原型と同じ模型縮尺にした場合

ここでは代表的な例としてH.W.L (水頭4.13m), L.W.L (水頭16.3m)におけるゲート下流管路内の壁面圧力について調査した。

この結果から同じゲート開度ならば、水頭が大きいほど圧力の降下が大きいことがわかる。ただし、あるゲート開度に達すると下流管路内は満水状態となり、この状態からゲート開度を増しても管路内はすべて正圧となる。その限界はL.W.Lで $G=88.5\%$ (2.3m) H.W.Lでは $G=80.8\%$ (2.1m) である。

各ケースについて負圧の発生する場所と値を(資料3-1~資料3-12)に示した。下流管路直管部の壁面圧力は同一開度ならば、ほぼ一樣な分布となっている。また、曲管部の壁面圧力は、位置によって相当異なってくる。

これらの調査結果から下流管路内の圧力は50~60%のゲート開度にて最も低下する。

2-2) 給気管の断面積を変えた場合

以下に示すように給気管の断面積を変えて下流管路内に発生する最低圧力を調べた。

A) 給気管の断面積を原型の2倍にした場合

B) 給気管の断面積を原型の4倍にした場合

C) 給気管の断面積を原型の $\frac{1}{2}$ 倍にした場合

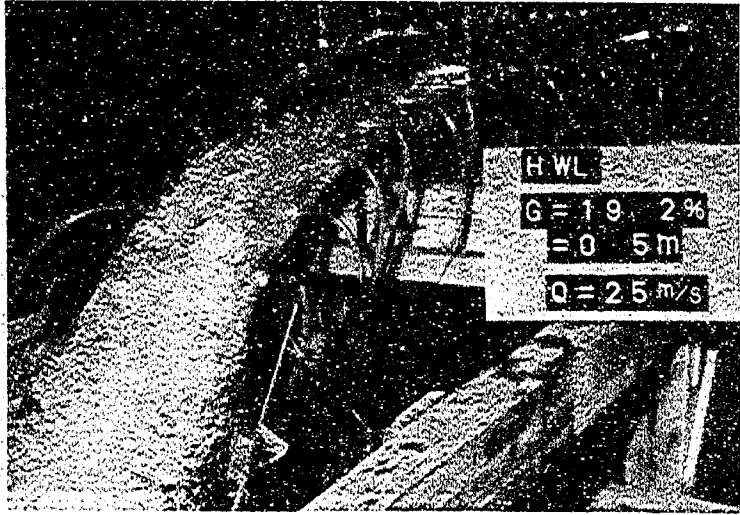
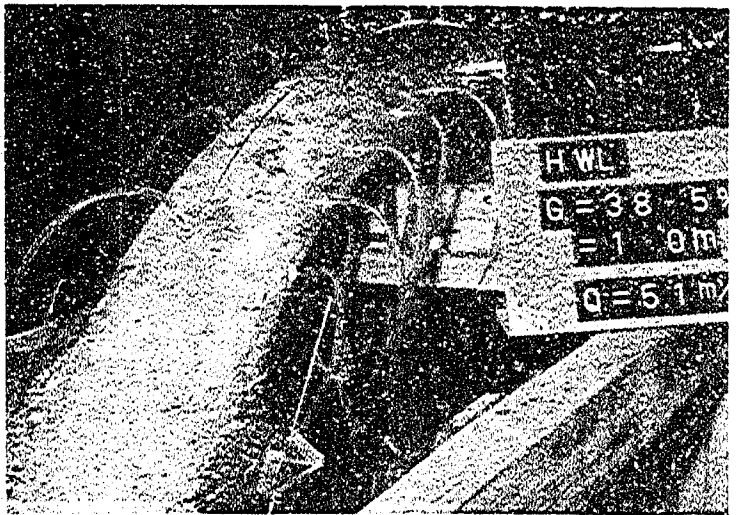
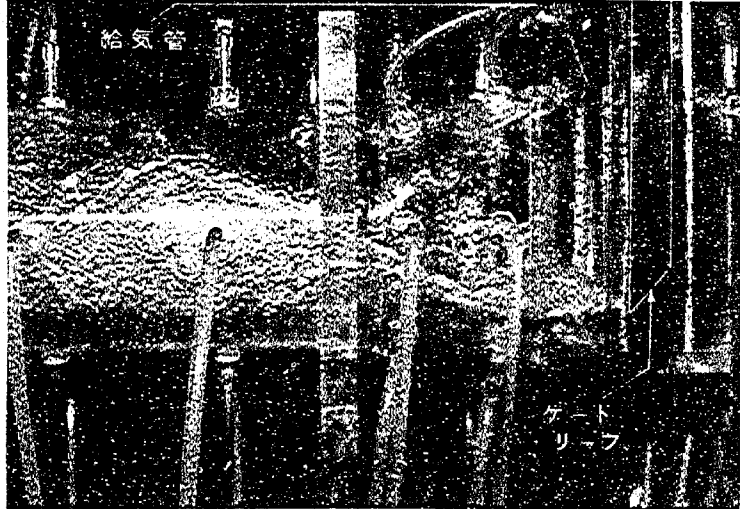
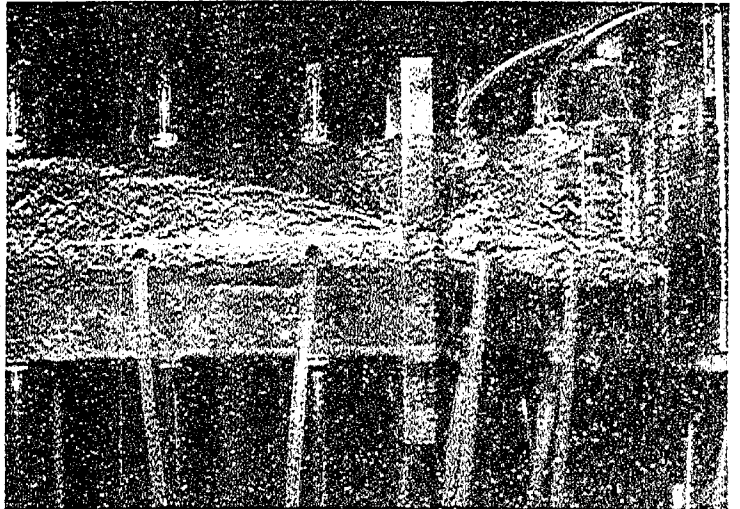
D) 給気管の断面積を原型の $\frac{1}{3}$ 倍にした場合

以上の4ケースについて結果をまとめると表2の通りである。

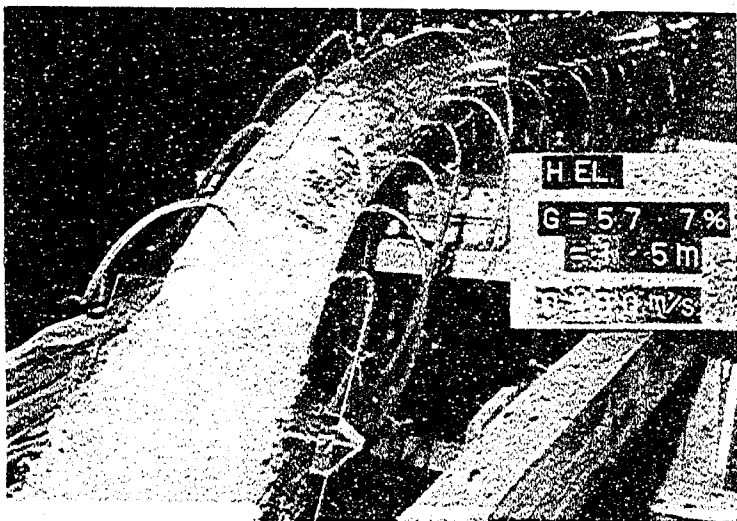
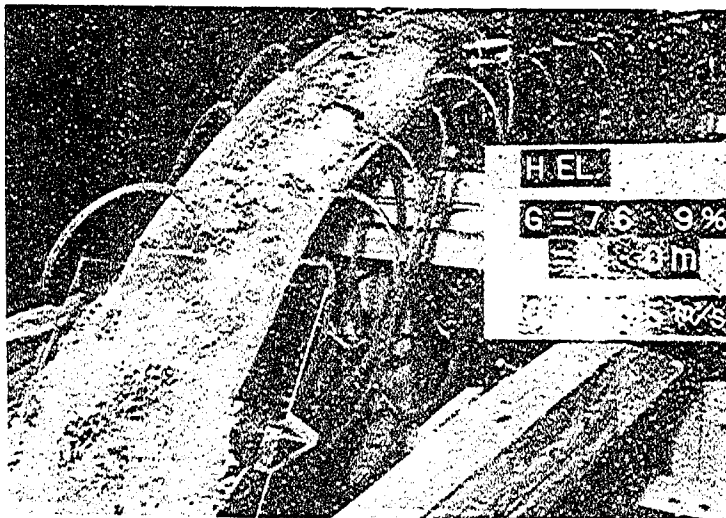
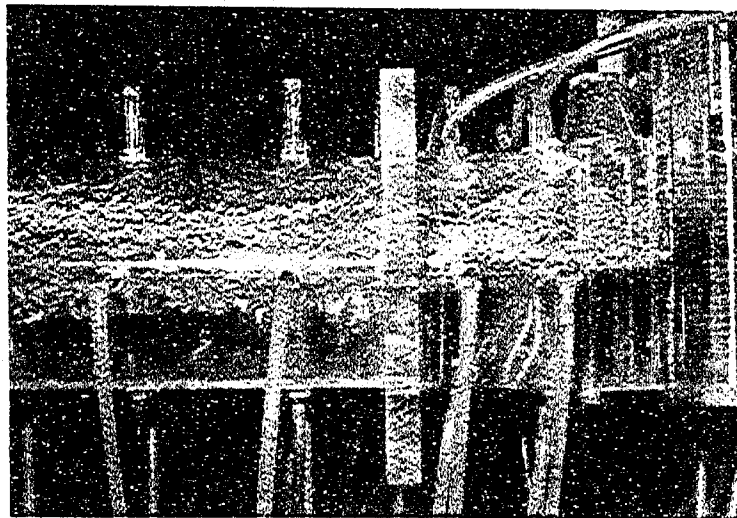
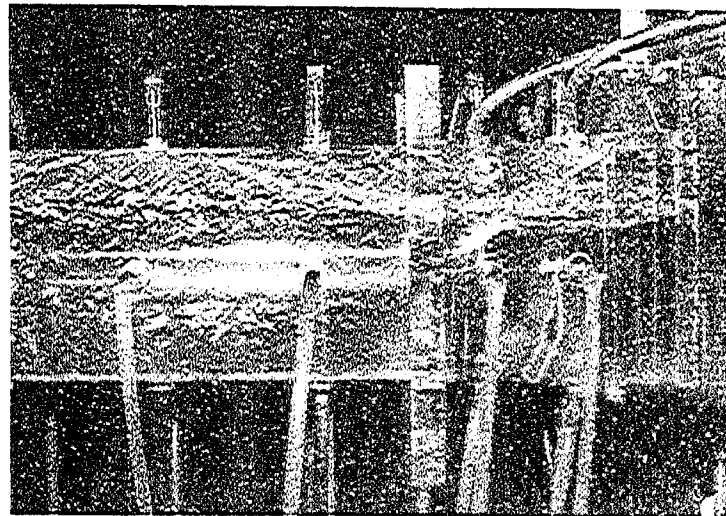
表2 最低圧力発生状態

(H.W.L)

ケース	最低圧力が発生するゲート開度	最低圧力が発生する位置
(A)	50~60%	直管部の中央 付近側壁面 (No 37)
(B)	50~60%	直管部の中央 近代側壁面 (No 37)
(C)	30~40%	直管部の中央 (No 37)
(D)	30~40%	ゲート直下流 (No 33)

ゲート開度 19.2%	ゲート開度 38.5%
放水管吐口部 	放水管吐口部 
ゲート下流部 	ゲート下流部 

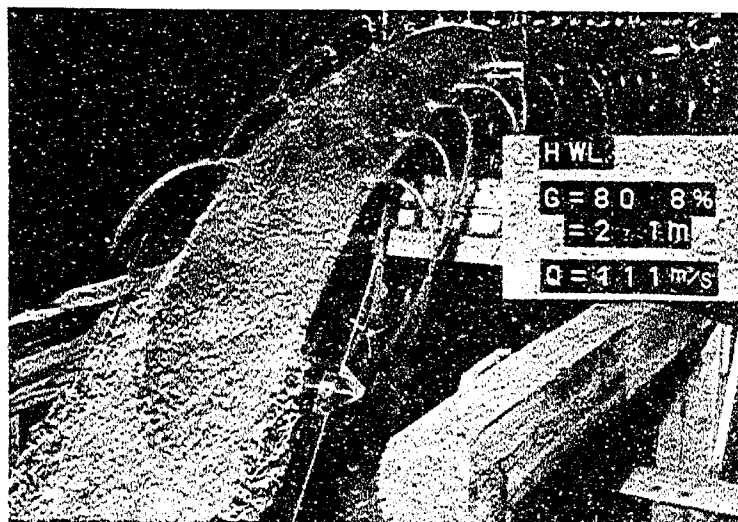
田瀬ダム放水管下流部の流況 その1

ゲート開度 57.7%		ゲート開度 76.9%	
放水管吐口部		放水管吐口部	
			

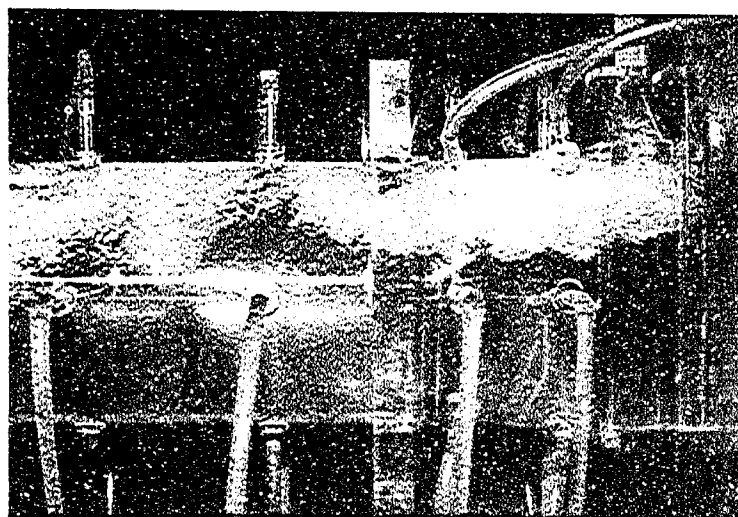
田瀬ダム放水管下流部の流況 その2

ゲート開度 80.8%

放水管吐口部

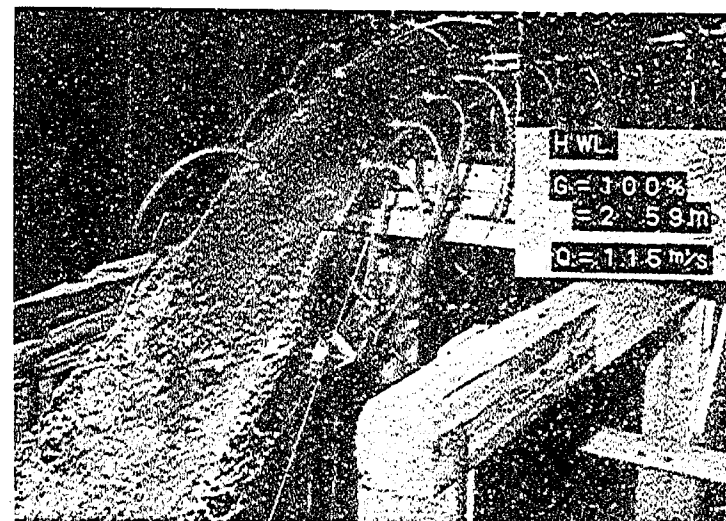


ゲート下流部

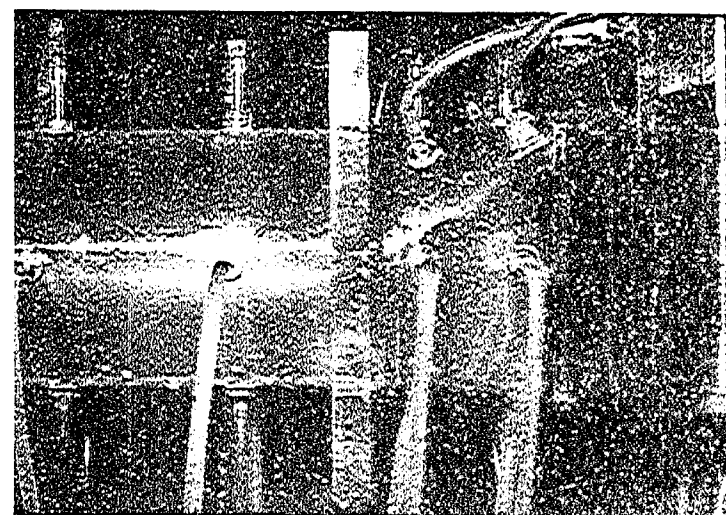


ゲート開度 100%

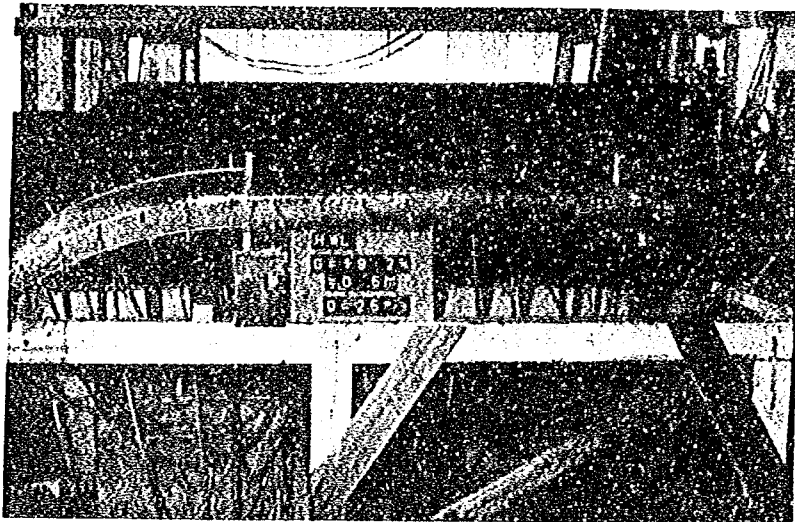
放水管吐口部



ゲート下流部



田瀬ダム放水管下流部の流況 その3



写真

給気管断面は原型と幾何学的相似



写真

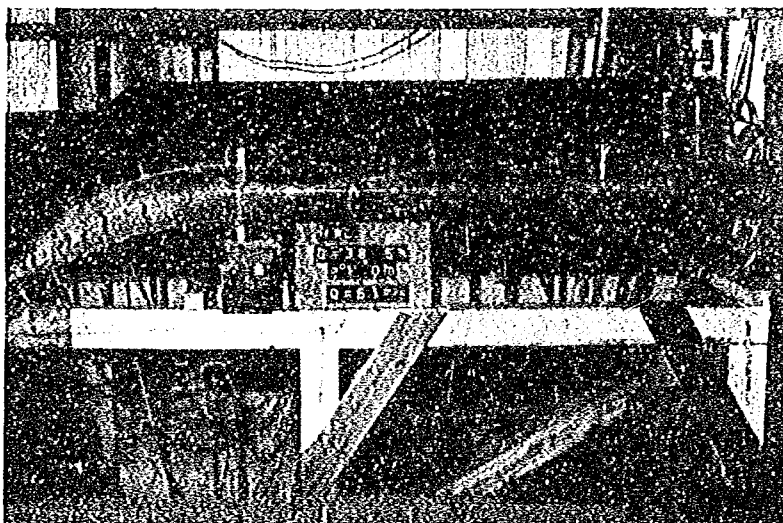
給気管断面積は 6 - 1 の $\frac{1}{2}$



写真

給気管断面積は 6 - 1 の $\frac{1}{2}$

管内流況比較 その1 (ゲート開度 19.2%, 水頭 41.3 m)



写真

給気管断面は原型と幾何学的相似



写真

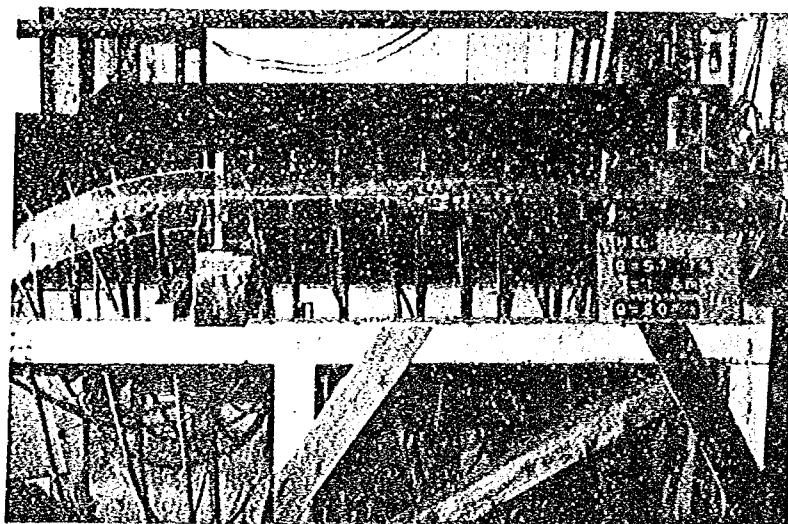
給気管断面積は7-1の $\frac{1}{2}$



写真

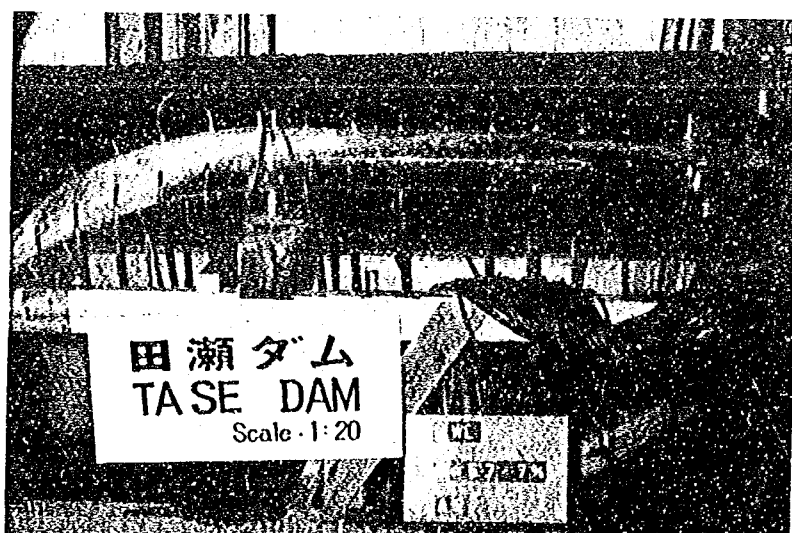
給気管断面積は7-1の $\frac{1}{2}$

管内流況比較 その2 (ゲート開度38.5%, 水頭41.3m)



写真

給気管断面は原型と幾何学的相似



写真

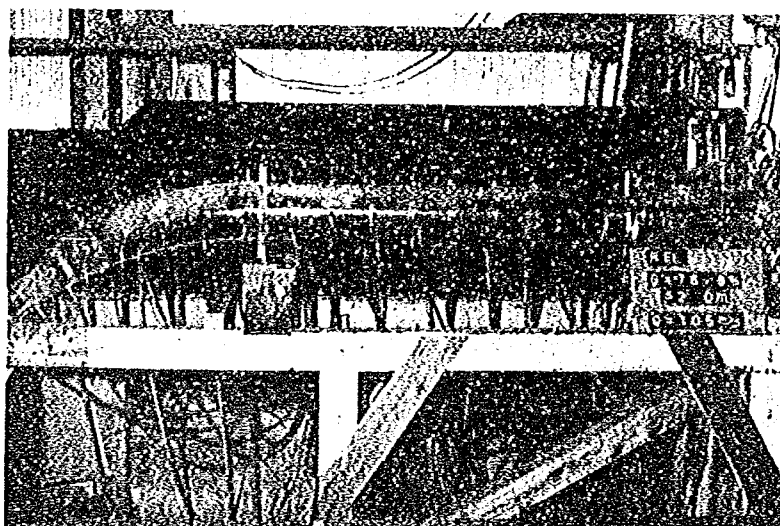
給気管断面積は 8-1 の 1/2



写真

給気管断面積は 8-1 の 1/2

管内流況比較 その3 (ゲート開度 5.7.7%, 水頭 4.1.3 m)



写真

給気管断面は原型と幾何学的相似



写真

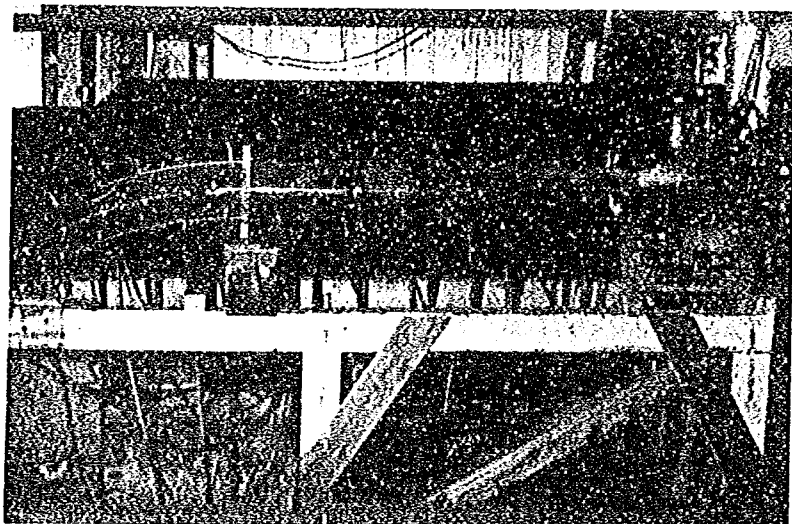
給気管断面積は $9 - 1$ の $\frac{1}{2}$



写真

給気管断面積は $9 - 1$ の $\frac{1}{2}$

管内流況比較 その4 (ゲート開度 76.9%, 水頭 41.3 m)



写真

給気管断面は原型と幾何学的相似



写真

給気管断面積は $10 - 1$ の $\frac{1}{2}$



写真

給気管断面積は $10 - 1$ の $\frac{1}{2}$

管内流況比較 その5 (ゲート開度 80.7%, 水頭 41.3 m)

3) 摩擦損失係数

3-1) 模型における摩擦損失係数

入口整流距離，断面変化および出口の影響部分を除く，つまり一定の圧力勾配の区間を選び損失係数を求めた。計算に使用したピエゾメーターの位置は，No 11～No 17（上壁面）No 35～No 41（側壁面）No 59～No 65（下壁面）である。

一定の圧力勾配区間での水頭損失を H_f とすると

$$H_f = f \cdot \frac{\ell}{d} \cdot \frac{v_0^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで

f ：摩擦損失係数 ℓ ：区間距離 d ：管の直径 v_0 ：平均流速（直管部）

各ケースについて計算した結果を表3に示す。

表3 摩擦損失係数

m・sec単位

Q	Re	$v_0^2/2g$	$\frac{\ell}{d} \cdot \frac{v_0^2}{2g}$	H_f	f
0.04538	493,000	0.596	2.752	0.04543	0.0165
0.05009	545,000	0.726	3.354	0.05443	0.0162
0.05650	614,000	0.924	4.267	0.06836	0.0160
0.06077	661,000	1.069	4.936	0.07436	0.0151
0.06172	671,000	1.103	5.091	0.07907	0.0155
0.06445	701,000	1.202	5.551	0.08829	0.0159
					0.0159

よって，模型における摩擦損失係数 f としては，だいたい $f = 0.016$ である。

3-2) 原型における摩擦損失係数の推定

既設発電所の水圧鉄管の実測結果がある。（中部電力・薄川発電所）

この実測結果は次のようなものである。

レイノルズ数 $Re = 5 \times 10^5 \sim 1.5 \times 10^6$

摩擦損失係数 $f = 0.013 \sim 0.016$

* 絶対粗度 $k = 0.0175 \text{ cm}$

*（注）Rouseは鉄管に対し， $k = 0.012 \sim 0.061 \text{ cm}$ を与えている。またUSCBの水理設計基準では，
タール塗装の鉄管に対して $k = 0.009 \sim 0.061 \text{ cm}$ としている。

ここでは，実測結果の k をそのまま田瀬ダムの放水管に適用して，相対粗度 k/d を求めると

$$\frac{k}{d} = \frac{0.0175}{260} = 0.000067$$

粗い管の乱流領域では

$$\frac{Re \sqrt{f}}{d/k} > 200 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left(\frac{d}{2k} \right) + 1.74 \quad \dots\dots\dots (6)$$

(5), (6)式から

$$Re > 200 \left(\frac{d}{k} \right) \left\{ 2 \log \left(\frac{d}{2k} \right) + 1.74 \right\}$$

よって

$$Re > 2.8 \times 10^7$$

つまり, $Re = 3 \times 10^7$ 程度で流れは完全粗面乱流となり, f は一定値となる。(Moody の図表)

放水管の原型における Re はおよそ次のようである。

$$Re = 4 \times 10^7 \sim 6 \times 10^7$$

これは, 粗い管の乱流領域となり, Re に無関係で k/d のみで f の値が定まる。

(6)式から

$$\therefore f = 0.0111$$

また, 円管に用いる一般的な実用式 (d と v がかなり大きい場合) は

$$f = \frac{124.5}{d^{1/3}} n^2 \quad (m\text{-sec単位}) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$= 90.657 n^2$$

ここで, $n = 0.011$ (マンニングの粗度係数) と仮定し, (7)式から f を求めると

$$\therefore f = 0.0109$$

しかるに, 田瀬ダム放水管の摩擦損失係数としては, だいたい $f = 0.011$ としてよい。

4) 原型の摩擦損失係数による放流量の補正 (ゲート全開時)

$$\left(f_e + f \frac{l}{d} + f_0 \right) \frac{v^2}{2g} + Z = H \text{ より}$$

$$v = \sqrt{2g(H-Z) / \left(f_e + f \frac{l}{d} + f_0 \right)}$$

$$Q = Av = A \sqrt{2g(H-Z) / \left(f_e + f \frac{l}{d} + f_0 \right)} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 Q ; 放流量 f_e ; 入口損失係数 f ; 摩擦損失係数
 f_0 ; C^{-2} (C ; 出口形状による流量係数) ℓ ; 直管長 d ; 直管の径
 $A = \pi d^2 / 4$ ($= 5.2685 \text{ m}^2$) H ; 貯水位の標高
 Z ; 出口の中心標高 (El. 170.28)

まず、 f_e の値を求める。

$$p = H - \left(1 + f_e + f \frac{\ell}{d} \right) \frac{v^2}{2g} \quad \text{より}$$

$$f_e = \left\{ (H - p) / \frac{v^2}{2g} \right\} - \left(1 + f \frac{\ell}{d} \right) \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$f = 0.016$$

ここで H ; 直管部の中心軸を基準とした水頭高

v ; 直管部の断面平均流速

p ; 直管部下流端の断面平均圧力

計算結果をまとめると表 4 の通りである。

表 4 入口損失係数

$H(\text{m})$	$v^2 / 2g (\text{m})$	$P(\text{m})$	f_e
1.209	0.726	0.286	0.197
1.557	0.924	0.408	0.170
1.795	1.069	0.486	0.153
1.875	1.103	0.513	0.161
2.069	1.202	0.575	0.170

$$f_e = 0.170$$

次に出口形状による流量係数 C を次式から求める。

$$C = Q / A \sqrt{2g (v^2 / 2g + p)} \quad \dots\dots\dots (10)$$

表 5 流量係数

$Q (\text{m}^3/\text{s})$	$A (\text{m}^2)$	$v (\text{m}/\text{s})$	$v^2 / 2g (\text{m})$	C
0.05009	0.01317	3.803	0.726	0.848
0.05650		4.289	0.924	0.834
0.06077		4.614	1.069	0.831
0.06172		4.686	1.103	0.828
0.06445		4.893	1.202	0.824

$$\bar{C} = 0.833$$

8 式の f の原型における推定値 ($f = 0.011$) として補正した原型の放流量 Q (1 条当り) は, 次のようにすればよい。

$$f_e = 0.170, \quad f \frac{\ell}{d} = 0.1201,$$

$$f_0 = C^{-2} = 1.441$$

これらを(8)式に代入すると

$$\begin{aligned} \therefore Q &= A \sqrt{2g(H-Z) / 1.731} \\ &= 17.72 \sqrt{(H-Z)} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (11)$$

となる。

5) 流 量 係 数

流量係数は次式によって求めた。(資料 4)

$$C = \frac{Q}{A \sqrt{2gH}} \quad \dots\dots\dots (12)$$

ここで Q ; 流量 (m^3/sec)

A ; 直管部の断面積 (m^2)

H ; 直管部の中心を基準とする。

全水頭 (m)

このように, 定義された流量係数 C とゲート開度 G の関係を表わしたのが資料 4 である。

この表に示された流量係数 C は各開度毎に H を L.W.L から H.W.L の範囲に変化させた時に得られた流量係数を示すものであるが, C は H にはほとんど左右されない。

つまり實際上, C はゲート開度毎に定まるものとしてよいから, この C と G の関係を実用上次の関係式で表わした。

$$C = 0.84727G + 0.32176G^3 - 0.39722G^5 \quad \dots\dots\dots (13)$$

ここで, G はゲート開度(%)

6) 水頭～ゲート開度～放流量 (ゲート半開時)

(13)式で $CA = \alpha$ とすれば

$$Q = \alpha \sqrt{2gH} \quad \dots\dots\dots (14)$$

ここで

$$\alpha = 4.46390 G + 1.69520 G^3 - 2.09276 G^5$$

また、 G をゲート開き (m) とした場合は、全開時で $G = 2.59\text{m}$ であるから、

$$\alpha = 1.72351 G + 0.09757 G^3 - 0.0179565 G^5$$

(14)式によって算定した結果を資料4に示す。

(注) 5), 6) については、給気管断面積を原型と同じ縮尺関係としたものであり、実放水管に適用する際にはゲート直下流の圧力値に応じて補正する必要がある。

資料1 ピエゾ水頭(ゲート全開時)(1)

No	上 壁 面						壁面標高
	H=18.96m	H=24.18m	H=31.14m	H=35.94m	H=37.50m	H=41.38m	
1	6.24m	8.52m	11.72m	13.86m	14.50m	16.10m	175.08m
2	4.38	6.00	8.58	10.02	10.84	12.10	175.02
3	5.46	7.50	10.48	12.24	12.92	14.36	175.00
4	5.96	8.06	11.18	13.12	13.84	15.32	175.00
5	5.88	7.88	11.06	12.94	13.66	15.08	175.00
6	8.46	11.14	15.14	17.58	18.36	20.34	175.00
7	9.92	12.98	17.72	20.10	21.00	23.24	175.00
8	9.36	12.36	16.48	19.08	19.98	22.34	175.00
9	7.60	10.14	13.66	15.94	16.68	18.72	175.00
10	5.12	7.10	9.80	11.66	12.22	13.76	175.00
11	4.88	6.84	9.58	11.24	11.86	13.34	175.00
12	4.72	6.70	9.42	11.06	11.72	13.18	175.00
13	4.58	6.46	9.16	10.82	11.36	12.80	175.00
14	4.38	6.28	8.90	10.48	11.12	12.44	175.00
15	4.32	6.08	8.74	10.28	10.84	12.16	175.00
16	4.18	5.92	8.50	10.02	10.64	11.90	175.00
17	3.98	5.70	8.18	9.66	10.26	11.52	175.00
18	4.00	5.78	8.22	9.84	10.38	11.70	175.00
19	4.60	6.50	9.14	10.82	11.40	12.84	175.00
20	4.36	6.26	9.74	10.38	10.86	12.30	174.80
21	3.98	5.76	8.12	9.60	10.26	11.30	174.34
22	3.78	5.48	7.84	9.24	9.96	11.00	173.70
23	5.22	7.28	10.10	11.70	10.64	13.78	172.78
24	3.58	5.10	7.26	8.46	9.16	9.90	171.46
	側 壁 面						
25	6.34	8.70	11.94	13.94	14.94	16.38	173.70
26	5.24	7.26	10.08	11.86	12.60	13.90	173.70
27	5.76	7.72	10.64	12.50	13.10	14.64	173.70
28	5.96	8.14	11.16	13.08	13.78	15.32	173.70
29	5.72	7.86	10.88	12.74	13.32	14.90	173.70
30	8.62	11.34	15.32	17.78	18.72	20.70	173.70
31	9.74	12.80	17.22	19.84	20.94	22.98	173.70
32	9.46	12.52	16.66	19.32	20.30	22.46	173.70
33	7.70	10.30	13.98	16.24	16.98	18.96	173.70
34	5.14	7.04	9.96	11.72	12.34	13.72	173.70
35	4.96	6.76	9.44	11.14	11.80	13.12	173.70
36	4.74	6.62	9.30	10.88	11.56	12.92	173.70
37	4.48	6.28	8.84	10.46	11.00	12.44	173.70
38	4.40	6.22	8.80	10.42	10.98	12.30	173.70
39	4.30	6.12	8.70	10.28	10.88	12.12	173.70
40	4.12	5.88	8.40	9.94	10.44	11.72	173.70
41	4.02	5.98	8.22	9.78	10.30	11.52	173.70
42	3.50	5.18	7.48	8.84	9.44	10.58	173.70
43	3.36	4.98	7.20	8.50	9.06	10.18	173.64
44	2.90	4.44	6.50	7.70	8.24	9.30	173.46
45	1.80	3.02	4.72	5.78	6.24	7.02	173.12
46	1.24	2.32	3.86	4.84	5.06	5.84	172.48
47	1.62	2.76	4.38	5.53	5.76	6.50	171.76
48	0.58	1.40	2.64	3.50	3.82	4.24	170.60

資料1 ピエゾ水頭(ゲート全開時)(2)

No	下 壁 面						壁面標高
	H=1896m	H=2418m	H=3114m	H=3594m	H=3750	H=4138m	
49	6.52m	8.90m	12.22m	14.30m	14.84m	16.88m	172.32m
50	5.14	7.18	9.82	11.64	12.10	13.58	172.38
51	5.96	8.08	11.06	12.98	13.52	15.06	172.41
52	5.78	7.80	10.78	12.68	13.38	14.86	172.41
53	5.44	7.50	10.28	12.08	12.76	14.20	172.41
54	8.84	11.68	15.60	18.10	19.24	21.20	172.41
55	9.86	12.96	17.24	20.04	21.04	23.22	172.41
56	9.44	12.48	16.62	19.30	20.22	22.46	172.41
57	7.54	10.08	13.66	15.98	16.62	18.50	172.41
58	5.26	7.32	10.14	11.96	12.46	13.92	172.41
59	4.92	6.86	9.58	11.26	11.90	13.32	172.41
60	4.78	6.68	9.36	10.98	11.58	13.02	172.41
61	4.72	6.52	9.14	10.80	11.38	12.72	172.41
62	4.38	6.20	8.70	10.34	10.86	12.24	172.41
63	4.37	6.08	8.54	10.28	10.78	12.06	172.41
64	4.10	5.90	8.30	9.92	10.44	11.78	172.41
65	3.98	5.72	8.12	9.74	10.26	11.52	172.41
66	3.72	5.42	7.68	9.30	9.74	11.00	172.41
67	2.14	3.50	5.34	6.46	6.74	7.74	172.41
68	1.16	2.26	3.78	4.78	5.04	5.74	172.32
69	0.26	1.10	2.30	3.06	3.44	3.68	172.02
70	0.14	0.92	2.14	2.80	3.06	3.44	171.46
71	0.42	1.28	2.54	3.34	3.50	4.04	170.76
72	-0.92	-0.54	0.40	0.88	1.10	1.34	169.86
73	-4.62	-4.88	-4.94	-5.16	-5.24	-5.38	168.76
74	-6.44	-6.68	-6.94	-7.18	-7.18	-7.36	167.26
上 壁 面 隅 角							
75	8.98	11.88	15.84	18.46	19.40	21.54	174.78
76	10.36	13.72	18.12	21.04	21.94	24.26	174.92
77	11.08	14.56	19.18	22.40	23.52	26.10	174.90
78	8.00	10.84	14.26	16.90	17.56	19.64	174.70
下 壁 面 隅 角							
79	8.92	12.02	16.10	18.74	19.52	21.80	172.62
80	10.26	13.54	19.10	21.04	21.90	24.26	172.48
81	10.88	14.42	18.98	22.00	23.18	25.86	172.50
82	7.96	10.62	14.20	16.56	17.42	19.12	172.70

資料2 压力降下係数(1)

No	上 壁 面						Cd
	H=0.948	H=1.209	H=1.557	H=1.797	H=1.875	H=2.069	
1	1.066	1.077	1.050	1.032	1.042	1.051	1.053
2	1.222	1.251	1.220	1.211	1.208	1.217	1.221
3	1.132	1.147	1.117	1.108	1.114	1.123	1.123
4	1.090	1.109	1.079	1.067	1.072	1.083	1.083
5	1.097	1.121	1.086	1.075	1.081	1.093	1.092
6	0.880	0.897	0.865	0.858	0.867	0.874	0.873
7	0.758	0.770	0.726	0.740	0.748	0.754	0.749
8	0.805	0.813	0.793	0.788	0.794	0.791	0.797
9	0.952	0.966	0.945	0.935	0.944	0.942	0.947
10	1.160	1.175	1.154	1.135	1.146	1.148	1.153
11	1.180	1.193	1.166	1.155	1.162	1.165	1.170
12	1.194	1.202	1.175	1.163	1.168	1.172	1.179
13	1.205	1.219	1.189	1.174	1.184	1.187	1.193
14	1.222	1.231	1.203	1.190	1.195	1.202	1.207
15	1.227	1.245	1.211	1.200	1.208	1.214	1.217
16	1.239	1.256	1.224	1.212	1.217	1.225	1.229
17	1.259	1.271	1.242	1.229	1.234	1.241	1.246
18	1.254	1.266	1.240	1.220	1.229	1.233	1.240
19	1.204	1.216	1.190	1.174	1.182	1.186	1.192
20	1.224	1.232	1.157	1.195	1.207	1.208	1.204
21	1.256	1.267	1.245	1.231	1.234	1.250	1.247
22	1.273	1.286	1.260	1.248	1.248	1.262	1.263
23	1.152	1.162	1.138	1.133	1.217	1.147	1.158
24	1.289	1.312	1.291	1.285	1.284	1.286	1.291
	側 壁 面						
25	1.058	1.065	1.038	1.028	1.023	1.039	1.042
26	1.150	1.164	1.139	1.126	1.129	1.142	1.142
27	1.115	1.132	1.109	1.096	1.106	1.111	1.111
28	1.090	1.103	1.081	1.069	1.075	1.083	1.083
29	1.110	1.123	1.096	1.085	1.096	1.100	1.102
30	0.867	0.883	0.856	0.849	0.851	0.859	0.861
31	0.773	0.776	0.753	0.753	0.751	0.765	0.762
32	0.796	0.802	0.783	0.777	0.779	0.786	0.787
33	0.944	0.955	0.928	0.921	0.930	0.931	0.935
34	1.159	1.179	1.145	1.132	1.140	1.150	1.151
35	1.173	1.199	1.174	1.159	1.165	1.174	1.174
36	1.192	1.208	1.181	1.171	1.176	1.183	1.185
37	1.214	1.231	1.206	1.191	1.201	1.203	1.208
38	1.221	1.235	1.208	1.193	1.202	1.208	1.211
39	1.229	1.242	1.214	1.200	1.206	1.216	1.218
40	1.244	1.259	1.230	1.215	1.226	1.233	1.234
41	1.252	1.266	1.24	1.223	1.232	1.241	1.242
42	1.296	1.307	1.280	1.267	1.271	1.280	1.283
43	1.308	1.321	1.295	1.283	1.289	1.296	1.299
44	1.346	1.358	1.333	1.320	1.326	1.363	1.341
45	1.439	1.456	1.429	1.410	1.416	1.428	1.430
46	1.486	1.504	1.475	1.453	1.470	1.477	1.477
47	1.454	1.473	1.447	1.422	1.439	1.449	1.447
48	1.541	1.567	1.541	1.516	1.526	1.543	1.539
$v_0^2/2g$	0.596375	0.726740	0.924524	1.069577	1.103170	1.202919	

資料2 压力降下係数(2)

No	下 壁 面						
	H=0.948	H=1.209	H=1.557	H=1.797	H=1.875	H=2.069	Cd
49	1.043	1.051	1.038	1.012	1.027	1.018	1.031
50	1.159	1.176	1.153	1.136	1.151	1.155	1.155
51	1.090	1.107	1.086	1.073	1.087	1.094	1.089
52	1.105	1.120	1.101	1.087	1.093	1.102	1.101
53	1.133	1.147	1.128	1.115	1.121	1.129	1.129
54	0.848	0.860	0.840	0.834	0.828	0.838	0.841
55	0.763	0.772	0.752	0.743	0.746	0.754	0.755
56	0.798	0.805	0.752	0.778	0.783	0.786	0.784
57	0.957	0.970	0.945	0.933	0.946	0.951	0.950
58	1.149	1.159	1.136	1.121	1.135	1.141	1.140
59	1.177	1.191	1.166	1.154	1.160	1.169	1.169
60	1.189	1.204	1.178	1.167	1.175	1.179	1.182
61	1.194	1.215	1.190	1.175	1.183	1.191	1.191
62	1.222	1.237	1.213	1.197	1.207	1.211	1.214
63	1.224	1.245	1.222	1.200	1.211	1.218	1.220
64	1.246	1.257	1.235	1.216	1.226	1.230	1.235
65	1.256	1.270	1.245	1.225	1.234	1.241	1.245
66	1.278	1.290	1.269	1.245	1.258	1.262	1.267
67	1.410	1.422	1.395	1.378	1.394	1.398	1.399
68	1.492	1.508	1.480	1.456	1.471	1.481	1.481
69	1.568	1.587	1.560	1.537	1.543	1.567	1.560
70	1.578	1.600	1.568	1.549	1.561	1.577	1.572
71	1.554	1.575	1.547	1.524	1.540	1.552	1.549
72	1.667	1.700	1.662	1.639	1.649	1.664	1.663
73	1.977	1.999	1.951	1.921	1.937	1.943	1.955
74	2.129	2.123	2.059	2.016	2.025	2.025	2.063
上 壁 面 隅 角							
75	0.837	0.846	0.827	0.817	0.820	0.849	0.828
76	0.721	0.720	0.704	0.696	0.705	0.712	0.710
77	0.661	0.661	0.647	0.633	0.633	0.635	0.645
78	0.919	0.918	0.913	0.890	0.904	0.904	0.908
下 壁 面 隅 角							
79	0.842	0.837	0.813	0.804	0.815	0.814	0.821
80	0.729	0.732	0.716	0.696	0.707	0.712	0.715
81	0.677	0.671	0.658	0.652	0.649	0.645	0.659
82	0.922	0.933	0.916	0.906	0.910	0.925	0.919
$v_0/2g$	0.596	0.726	0.924	1.069	1.103	1.202	

資料 3-1 ゲート半開時の壁面圧力値

ゲート開度 19.23% (0.5m) 水位 E.L. 193.33m (L.W.L.) 流量 15.85m ³ /s					
No	上 壁 面	No	側 壁 面	No	下 壁 面
1	15.78 t/m ²	25	17.16 t/m ²	49	18.54 t/m ²
2	15.78	26	17.10	50	18.42
3	15.82	27	17.10	51	18.38
4	15.86	28	17.12	52	18.38
5	15.82	29	17.12	53	18.40
6	15.98	30	17.22	54	18.38
7	16.10	31	17.20	55	18.14
8	-0.24	32	-0.10	56	0.30
9	-0.22	33	-0.14	57	0.68
10	-0.20	34	-0.06	58	0.48
11	-0.22	35	-0.12	59	0.34
12	-0.20	36	-0.20	60	0.46
13	-0.18	37	-0.44	61	0.54
14	0	38	-0.16	62	0.56
15	-0.06	39	-0.16	63	0.58
16	-0.06	40	-0.06	64	0.50
17	-0.10	41	-0.08	65	0.50
18	-0.06	42	-0.18	66	0.58
19	-0.20	43	-0.04	67	0.22
20	-0.22	44	-0.08	68	0.36
21	-0.30	45	-0.16	69	0.44
22	-0.26	46	-0.22	70	0.34
23	-0.28	47	-0.28	71	0.44
24	-0.22	48	-0.02	72	0.14
No	上 面 隅 角	No	下 面 隅 角	73	0.02
75	14.32 t/m ²	79	16.34 t/m ²	74	0.30
76	14.24	80	16.34		
77	0.16	81	0.46		
78	0.10	82	0.66		

資料 3-2 ゲート半開時の壁面圧力値

ゲート開度 19.23% (0.5m) 水位 E.L. 214.93m (H.W.L.) 流量 24.81m ³ /s					
No	上 壁 面	No	側 壁 面	No	下 壁 面
1	38.66 t/m ²	25	40.04 t/m ²	49	41.46 t/m ²
2	38.60	26	39.98	50	41.24
3	38.64	27	39.94	51	41.30
4	38.64	28	40.00	52	41.28
5	38.74	29	39.98	53	41.24
6	39.14	30	40.24	54	41.28
7	39.34	31	40.24	55	40.74
8	-0.58	32	-0.46	56	0.20
9	-0.56	33	-0.58	57	0.94
10	-0.56	34	-0.08	58	0.64
11	-0.60	35	-0.36	59	0.02
12	-0.46	36	-0.88	60	0.12
13	-0.48	37	-1.50	61	0.26
14	-0.62	38	-0.48	62	-0.04
15	-0.42	39	-0.46	63	0.20
16	-0.48	40	-0.50	64	0.26
17	-0.56	41	-0.54	65	0.32
18	-0.58	42	-0.44	66	0.48
19	-0.68	43	-0.46	67	-1.26
20	-0.56	44	-0.44	68	-0.82
21	-0.52	45	-0.66	69	-0.56
22	-0.50	46	-0.52	70	-0.50
23	6.26	47	-0.52	71	-0.46
24	6.06	48	-0.08	72	-0.24
No	上 面 隅 角	No	下 面 隅 角	73	0.34
75	39.36 t/m ²	79	41.08 t/m ²	74	1.12
76	39.32	80	40.82		
77	-0.56	81	6.34		
78	-0.66	82	0.04		

資料 3-3 ゲート半開時の壁面圧力値

ゲート開度 38.46% (1.0m) 水位 E.L. 190.49m (L.W.L.) 流量 33.18m³/s

No	上 壁 面	No	側 壁 面	No	下 壁 面
1	13.32 t/m ²	25	14.80 t/m ²	49	16.26 t/m ²
2	13.28	26	14.70	50	15.96
3	13.36	27	14.72	51	16.06
4	13.46	28	14.78	52	16.02
5	13.50	29	14.78	53	16.02
6	14.18	30	15.22	54	16.24
7	14.66	31	15.26	55	15.80
8	-0.96	32	-1.40	56	1.40
9	-1.30	33	-1.44	57	0.20
10	-1.30	34	-1.10	58	0.08
11	-0.94	35	-1.30	59	0.06
12	-0.70	36	-1.04	60	0.04
13	-0.90	37	-1.00	61	0.04
14	-0.90	38	-1.32	62	0.10
15	-0.66	39	-1.56	63	0.14
16	-1.30	40	-1.16	64	0.14
17	-1.02	41	-1.60	65	0.14
18	-1.18	42	-2.06	66	0.10
19	-1.26	43	-1.68	67	-0.94
20	-1.40	44	-1.22	68	-1.34
21	-1.04	45	-1.42	69	-1.30
22	-1.14	46	-1.50	70	-1.08
23	-1.16	47	-1.40	71	-0.98
24	1.76	48	-0.94	72	-0.30
				73	0.08
				74	0.36
No	上 面 隅 角		下 面 隅 角		
75	14.60 t/m ²	79	16.42 t/m ²		
76	14.86	80	16.08		
77	-1.66	81	4.90		
78	-1.30	82	-0.34		

資料 3-4 ゲート半開時の壁面圧力値

ゲート開度 38.46% (1.0m) 水位 E.L. 215.37m (H.W.L.) 流量 51.43m³/s

No	上 壁 面	No	側 壁 面	No	下 壁 面
1	35.28 t/m ²	25	36.66 t/m ²	49	36.62 t/m ²
2	34.76	26	36.32	50	36.12
3	35.08	27	36.40	51	36.42
4	35.30	28	36.46	52	36.40
5	35.34	29	36.56	53	36.16
6	37.06	30	37.64	54	36.76
7	38.08	31	37.46	55	35.64
8	-1.74	32	-2.36	56	3.60
9	-2.24	33	-0.56	57	0.24
10	-1.76	34	-1.04	58	-0.54
11	-1.76	35	-2.20	59	-0.84
12	-2.30	36	-2.62	60	-0.84
13	-1.94	37	-4.62	61	-0.76
14	-1.80	38	-1.68	62	-0.94
15	-1.82	39	-1.48	63	-0.84
16	-2.20	40	-1.86	64	-0.80
17	-2.34	41	-1.84	65	-0.66
18	-2.46	42	-2.12	66	-0.74
19	-2.20	43	-1.78	67	-3.70
20	-1.74	44	-2.14	68	-3.30
21	-2.20	45	-1.82	69	-2.32
22	0.40	46	-1.22	70	-1.50
23	8.66	47	-1.62	71	-1.64
24	6.20	48	-0.62	72	-0.62
				73	0.64
				74	3.04
No	上 面 隅 角		下 面 隅 角		
75	37.30 t/m ²	79	38.02 t/m ²		
76	37.48	80	37.38		
77	-2.28	81	10.84		
78	-2.18	82	-1.04		

資料 3-5 ゲート半開時の壁面圧力値

ゲート開度 50% (1.3m) 水位 EL. 191.27m (L.W.L.) 流量 43.58m³/s

No	上 壁 面	No	側 壁 面	No	下 壁 面
1	12.72 t/m ²	25	14.16 t/m ²	49	15.58 t/m ²
2	12.36	26	13.92	50	15.14
3	12.58	27	13.88	51	15.36
4	12.74	28	14.04	52	15.34
5	12.74	29	14.02	53	15.22
6	13.94	30	14.78	54	15.82
7	14.68	31	14.82	55	15.40
8	-0.36	32	-0.82	56	3.42
9	-0.30	33	-0.08	57	1.38
10	-2.66	34	-3.08	58	-0.74
11	-1.08	35	-2.48	59	0.18
12	-1.36	36	-2.40	60	0.06
13	-1.34	37	-2.34	61	0.22
14	-2.44	38	-1.9	62	0.2
15	-1.86	39		63	0
16	-2.68	40	-0.8	64	0.02
17	-0.46	41	-1.52	65	0.06
18	-0.38	42	-1.56	66	-0.2
19	-0.62	43	-0.32	67	-0.68
20	-0.62	44	-0.26	68	-1.44
21	-0.36	45	-0.70	69	-1.26
22	-0.48	46	-0.76	70	-0.80
23	-0.34	47	-0.52	71	-0.44
24	4.48	48	-0.08	72	-0.20
				73	0.10
				74	0.50
No	上 面 隅 角	No	下 面 隅 角		
75	14.30 t/m ²	79	15.66 t/m ²		
76	14.64	80	15.54		
77	-0.48	81	6.72		
78	-0.46	82	0.80		

資料 3-6 ゲート半開時の壁面圧力値

ゲート開度 50% (1.3m) 水位 EL. 215.29m (H.W.L.) 流量 70.18m³/s

No	上 壁 面	No	側 壁 面	No	下 壁 面
1	30.80 t/m ²	25	32.18 t/m ²	49	33.68 t/m ²
2	29.52	26	31.78	50	32.56
3	30.18	27	31.68	51	32.98
4	30.68	28	32.34	52	32.98
5	30.60	29	31.88	53	32.74
6	33.80	30	33.88	54	34.20
7	35.42	31	33.56	55	33.18
8	-7.42	32	-5.68	56	2.48
9	-6.88	33	-6.68	57	-3.32
10	-6.42	34	-8.00	58	-5.60
11	-6.72	35	-8.12	59	-5.88
12	-5.22	36	-4.42	60	-4.90
13	-6.12	37	-4.74	61	-4.90
14	-5.48	38	-6.78	62	-5.48
15	-6.98	39	-5.72	63	-5.42
16	-6.12	40	-4.40	64	-5.40
17	-6.52	41	-7.74	65	-5.52
18	-6.98	42	-6.02	66	-5.62
19	-6.02	43	-5.28	67	-8.48
20	-7.72	44	-7.32	68	-8.30
21	-7.68	45	-6.60	69	-6.76
22	-0.28	46	-5.22	70	-3.24
23	7.16	47	-0.60	71	-2.22
24	5.88	48	1.56	72	-0.06
				73	0.16
				74	0.72
No	上 面 隅 角	No	下 面 隅 角		
75	34.22 t/m ²	79	34.30 t/m ²		
76	35.18	80	33.48		
77	-7.04	81	10.12		
78	-4.68	82	4.96		

資料3-7 ゲート半開時の壁面圧力値

ゲート開度 57.69% (1.5m) 水位 EL. 190.53m (L.W.L) 流量 50.02m³/s

No	上 壁 面	No	側 壁 面	No	下 壁 面
1	10.86 t/m ²	25	12.00 t/m ²	49	13.58 t/m ²
2	10.20	26	11.58	50	13.04
3	10.60	27	11.76	51	13.40
4	10.80	28	11.98	52	13.40
5	10.76	29	12.04	53	13.20
6	12.18	30	13.10	54	14.12
7	13.36	31	13.12	55	13.78
8	-2.10	32	-1.10	56	3.28
9	-1.48	33	-0.90	57	0.40
10	-0.66	34	-1.00	58	-0.90
11	-0.88	35	-1.10	59	-0.66
12	-2.08	36	-1.18	60	-0.48
13	-1.60	37	-1.44	61	-0.10
14	-1.78	38	-1.30	62	0
15	-1.54	39	-1.12	63	-0.06
16	-1.10	40	-1.20	64	-0.08
17	-1.78	41	-1.26	65	-0.06
18	-1.00	42	-1.68	66	-0.20
19	-0.98	43	-2.28	67	-1.16
20	-1.26	44	-1.56	68	-2.20
21	-2.32	45	-0.84	69	-2.12
22	-2.52	46	-0.74	70	-1.62
23	-1.26	47	-0.74	71	-1.10
24	3.58	48	-0.48	72	-0.26
				73	0.32
				74	0.46
No	上 面 隅 角	No	下 面 隅 角		
75	12.76 t/m ²	79	13.92 t/m ²		
76	13.20	80	14.02		
77	-2.26	81	6.30		
78	-1.68	82	0.20		

資料3-8 ゲート半開時の壁面圧力値

ゲート開度 57.69% (1.5m) 水位 EL. 215.19m (H.W.L) 流量 80.36m³/s

No	上 壁 面	No	側 壁 面	No	下 壁 面
1	27.34 t/m ²	25	28.76	49	30.90 t/m ²
2	25.36	26	27.78	50	29.30
3	26.68	27	28.34	51	29.88
4	27.06	28	28.46	52	29.74
5	27.22	29	28.50	53	29.20
6	30.76	30	31.36	54	31.76
7	33.32	31	31.66	55	32.26
8	-5.60	32	-5.58	56	4.02
9	-6.52	33	-5.44	57	-1.88
10	-5.98	34	-5.40	58	-4.58
11	-7.22	35	-5.62	59	-4.82
12	-6.96	36	-5.36	60	-4.68
13	-7.18	37	-5.90	61	-4.40
14	-6.02	38	-4.92	62	-3.98
15	-6.40	39	-4.86	63	-4.30
16	-6.40	40	-5.08	64	-4.56
17	-6.86	41	-5.36	65	-4.30
18	-5.60	42	-6.78	66	-4.70
19	-4.68	43	-7.02	67	-7.86
20	-5.30	44	-6.08	68	-9.70
21	-6.00	45	-5.96	69	-7.77
22	-0.54	46	-3.68	70	-3.26
23	8.90	47	-2.16	71	-0.38
24	6.78	48	3.44	72	1.04
				73	1.54
				74	0.06
No	上 面 隅 角	No	下 面 隅 角		
75	31.98 t/m ²	79	31.40 t/m ²		
76	32.72	80	31.34		
77	-6.00	81	13.10		
78	-4.70	82	2.86		

資料 3-9 ゲート半開時の壁面圧力値

ゲート開度 76.92% (2.0m) 水位 EL. 190.17m (L.W.L.) 流量 66.92m³/s

No	上 壁 面	No	側 壁 面	No	下 壁 面
1	6.46 t/m ²	25	7.88	49	9.36 t/m ²
2	5.14	26	7.16	50	8.36
3	5.90	27	7.30	51	8.92
4	6.26	28	7.58	52	8.78
5	6.26	29	7.46	53	8.54
6	8.36	30	9.36	54	10.58
7	9.98	31	9.96	55	10.80
8	-1.02	32	1.12	56	4.54
9	-1.10	33	0.62	57	1.98
10	-1.08	34	-0.50	58	0.68
11	-0.90	35	-0.52	59	0.92
12	-0.98	36	-0.30	60	1.16
13	-1.14	37	-0.42	61	1.10
14	-0.98	38	-0.32	62	1.06
15	-0.96	39	-0.30	63	1.02
16	-1.04	40	-0.38	64	0.98
17	-1.10	41	-0.34	65	0.96
18	-1.06	42	-0.84	66	0.66
19	-0.98	43	-0.74	67	-1.14
20	-0.96	44	-1.32	68	-1.90
21	-0.98	45	-1.70	69	-2.30
22	-1.08	46	-1.94	70	-1.94
23	0.46	47	-0.44	71	-0.34
24	4.24	48	0.56	72	1.16
				73	0.72
				74	0.52
No	上 面 隅 角	No	下 面 隅 角		
75	9.06 t/m ²	79	10.46 t/m ²		
76	10.12	80	11.10		
77	-1.10	81	6.96		
78	-1.00	82	2.10		

資料 3-10 ゲート半開時の壁面圧力値

ゲート開度 76.92% (2.0m) 水位 EL. 214.89m (H.W.L.) 流量 105.08m³/s

No	上 壁 面	No	側 壁 面	No	下 壁 面
1	18.96 t/m ²	25	20.72 t/m ²	49	22.44 t/m ²
2	15.38	26	18.54	50	19.86
3	17.62	27	19.36	51	21.00
4	18.56	28	19.76	52	20.64
5	18.40	29	19.36	53	20.00
6	23.52	30	24.06	54	25.00
7	27.42	31	25.46	55	25.50
8	-0.56	32	4.16	56	10.58
9	-0.46	33	2.62	57	4.26
10	-0.44	34	-0.20	58	0.68
11	-0.52	35	-0.26	59	1.22
12	-0.38	36	0.06	60	1.44
13	-0.38	37	-0.20	61	1.58
14	-0.40	38	0.22	62	1.38
15	-0.42	39	0.58	63	1.56
16	-0.18	40	0.44	64	1.58
17	-0.16	41	1.56	65	1.80
18	-0.18	42	1.18	66	2.88
19	0.32	43	2.40	67	2.92
20	6.96	44	6.86	68	3.64
21	9.82	45	5.80	69	3.92
22	9.72	46	5.76	70	5.12
23	12.96	47	7.16	71	6.34
24	11.22	48	6.38	72	4.94
				73	0.06
				74	0.66
No	上 面 隅 角	No	下 面 隅 角		
75	25.00 t/m ²	79	25.38 t/m ²		
76	27.26	80	26.78		
77	-2.12	81	15.98		
78	-0.86	82	4.68		

資料 3 - 11

*ゲート開度 88.46% (2.3m) 水位 E.L. 191.87m (L.W.L.) 流量 77.99m³/s

No	上 壁 面	No	側 壁 面	No	下 壁 面
1	5.04 t/m ²	25	6.48 t/m ²	49	8.10 t/m ²
2	3.22	26	5.50	50	6.80
3	4.26	27	5.74	51	7.46
4	4.72	28	6.10	52	7.32
5	4.62	29	5.90	53	7.02
6	7.18	30	8.46	54	9.94
7	8.86	31	9.44	55	10.54
8	1.80	32	5.72	56	8.06
9	5.68	33	5.64	57	6.62
10	3.40	34	4.18	58	5.42
11	2.86	35	3.96	59	5.40
12	2.66	36	3.92	60	5.30
13	2.50	37	3.64	61	5.24
14	2.32	38	3.60	62	5.02
15	2.20	39	3.58	63	4.92
16	2.16	40	3.32	64	4.80
17	2.00	41	3.38	65	4.68
18	2.00	42	2.98	66	4.40
19	2.50	43	2.92	67	3.08
20	2.58	44	2.58	68	2.22
21	2.64	45	1.16	69	1.68
22	3.08	46	2.00	70	2.02
23	5.32	47	3.08	71	2.90
24	4.92	48	3.16	72	2.62
				73	0.34
				74	0.
No	上 面 隅 角	No	下 面 隅 角		
75	8.10 t/m ²	79	10.08 t/m ²		
76	9.44	80	11.18		
77	2.86	81	9.40		
78	6.92	82	6.62		

資料 3 - 12

*ゲート開度 80.77% (2.1m) 水位 E.L. 215.23m (H.W.L.) 流量 110.80m³/s

No	上 壁 面	No	側 壁 面	No	下 壁 面
1	16.86 t/m ²	25	18.68 t/m ²	49	20.38 t/m ²
2	13.00	26	16.40	50	17.50
3	15.42	27	16.86	51	18.84
4	16.24	28	17.70	52	18.52
5	16.08	29	17.30	53	17.78
6	21.70	30	22.58	54	23.68
7	25.78	31	24.30	55	24.56
8	-0.48	32	7.82	56	14.20
9	5.02	33	9.36	57	10.74
10	12.34	34	10.78	58	11.14
11	11.08	35	11.38	59	12.58
12	10.64	36	11.52	60	12.82
13	10.32	37	11.04	61	12.78
14	10.08	38	11.10	62	12.38
15	9.90	39	11.02	63	12.28
16	9.66	40	10.66	64	11.98
17	9.20	41	10.52	65	11.76
18	9.38	42	9.54	66	11.20
19	10.44	43	9.38	67	8.40
20	10.28	44	8.62	68	6.64
21	9.92	45	6.86	69	5.16
22	10.08	46	6.48	70	5.56
23	13.72	47	7.78	71	6.70
24	11.16	48	6.70	72	4.96
				73	0.36
				74	0.74
No	上 面 隅 角	No	下 面 隅 角		
75	23.14	79	24.10 t/m ²		
76	25.86	80	25.98		
77	0.20	81	18.38		
78	6.28	82	10.90		

資料4 田瀬ダム放水管の放流能力

ケース間度 (m)	(m^2/sec)	A_0 (m^2)	H (m)	C	C	近似式
100 (全開)	006455	00132732	2063	07647	0775	0771
259m	006077		1797	07714		
	005650		1557	07705		
	005446		1414	07793		
	005009		1209	07752		
	004537		0948	07929		
9266 24m	006393		2071	07559	0761	0769
	006004		1838	07536		
	005630		1624	07518		
	005195		1363	07572		
	004825		1145	07673		
	004217		0835	07853		
7722 20m	005903		2064	06992	0699	0693
	005616		1857	07013		
	005209		1640	06921		
	004798		1373	06968		
	004386		1113	07074		
	003765		0834	07015		
6177 16m	004798		2073	05670	0563	0563
	004697		2006	05643		
	004438		1829	05581		
	004126		1591	05566		
	003828		1370	05565		
	003501		1125	05617		
4633 12m	003159		0867	05774	0412	0416
	003537		2052	04201		
	003319		1857	04147		
	003095		1634	04120		
	002801		1362	04084		
	002578		1147	04096		
3088 08m	002228		0843	04129	0270	0270
	002280		2083	02688		
	002154		1855	02691		
	001995		1592	02690		
	001855		1363	02704		
	001699		1136	02712		
1544 04m	001477		0841	02740	0133	0131
	001112		2062	01317		
	001075		1882	01333		
	001021		1696	01331		
	000952		1475	01333		
	000851		1183	01331		
	000756		0884	01368		

参考資料 4

田瀬ダム放水管ゲート戸溝形状に関する調査

昭和 53 年 3 月

建設省土木研究所

目 次

は じ め に	参 4-1
第 1 節 調 査 目 的	参 4-1
第 2 節 実験装置と模型	参 4-1
第 3 節 測 定 方 法	参 4-1
3-1 圧 力	参 4-1
3-2 流量測定	参 4-2
3-3 流況観察	参 4-2
第 4 節 調 査 結 果	参 4-2
資料 1 実験用模型 (図)	参 4-3
2 圧力測定結果 (図および表)	参 4-4
3 圧力係数計算結果 (図および表)	参 4-7
4 流況写真 (写真)	参 4-10

はじめに

本報告は、東北地方建設局の依頼により土木研究所篠崎試験所が実施した「田瀬ダム放水管ゲート半開放流調査」のうち「ゲート戸溝形状に関する検討・昭和52年度」の結果をまとめたものである。

第1節 調査目的

田瀬ダムに設置されている放水管は高圧スライドゲートを全開、全閉で操作することを前提として設計されている。この種の放水管でゲート半開操作を行なうと設計上期待されている背圧はなくなり、放流水の空気連行現象と相まってゲート下流で圧力は非常に低下することとなる。このような状況の下では下流管路の不整は構造物に対して危険性を増加させることとなり、その処理には十分な注意を払う必要がある。ゲート戸溝も流れに対して非常に大きな不整として効果を及ぼすため、その形状についての検討に際しては特別な考慮を払う必要がある。本調査の目的は田瀬ダム放水管に採用されているゲート戸溝形状と米国で流量調節用主ゲートとして使用実績の多いスライドゲートの戸溝形状との水理機能を比較検討して田瀬ダム高圧スライドゲートの半開操作に係る問題点を明示することである。

第2節 実験装置と模型

実験模型は透明アクリル製の長方形の閉管路で高速流実験装置（効率水頭4.5m，最大吐出量0.8m³/sec出力46.5kW）の吐出口に設置した。

この模型は田瀬ダムで使用されている高圧スライドゲートの戸溝形状（既設形状）およびUSBRで提案され実績も多く我国でも水門鉄管技術基準（第2章，水門扉，第6.2条解説）に記載されている。戸溝形状（比較形状）の2種を原寸の1/2で縮尺抽出したもので透明アクリル樹脂板の加工製品である。（資料1）なお，比較形状と既設形状の戸溝の深さは同寸としてある。

第3節 測定方法

3-1 圧力

圧力の計測は各測点のピエゾ管（内径1mmφ外径6mmφ）と圧力変換器をビニールパイプで連結した上で変換器に作用する圧力を動歪測定器（共和電業製）を経てアナログ電圧量とした上でA-D変換器，インターフェイスを通してパーソナルコンピュータ（SEIKO 7000）に接続，演算処理している。

3-2 流量測定

流量は高速流実験装置の吐出管中央部に設置されている電磁流量計により測定している。本実験では 250 l/sec ~ 450 l/sec の流量範囲で測定を実施している。

3-3 流況観察

本実験は高速流の現象を調査しているので目視による流況観察はほとんど不可能である。そこでエアコンプレッサによって空気を注入して流れを可視化した上で、流速を考慮してシャッタースピード 1/500 あるいは 1/1000 で写真撮影を行いその結果から流況を比較検討した。

第4節 調査結果

現象がフルードの相似則に従うものとする、実験値と原型諸量の換算比率は長さ、圧力に関しては、2 (原型値/模型値) 流速に関しては $\sqrt{2}$ となる。実験流量と原型換算流速との関係を表-1 に示す。

表-1

実験流量	模型断面平均流速	原型換算流速
250 l/sec	8.68 m/sec	12.3 m/sec
300	10.42	14.7
350	12.15	17.2
400	13.89	19.6
450	15.63	22.1

圧力の測定結果を資料2に示す。既設形状、比較形状の両方とも、戸溝下流のオフセット部の圧力が非常に高くなっており戸溝上流の断面急拡により拡散された流れが戸溝下流面のコーナの円弧部に衝突していることが理解される。

コーナ部の圧力の絶対値は比較形状の方が既設形状よりも高くなっている。これは戸溝内に発生する渦流と主流との干渉の程度の差によるものであろう。

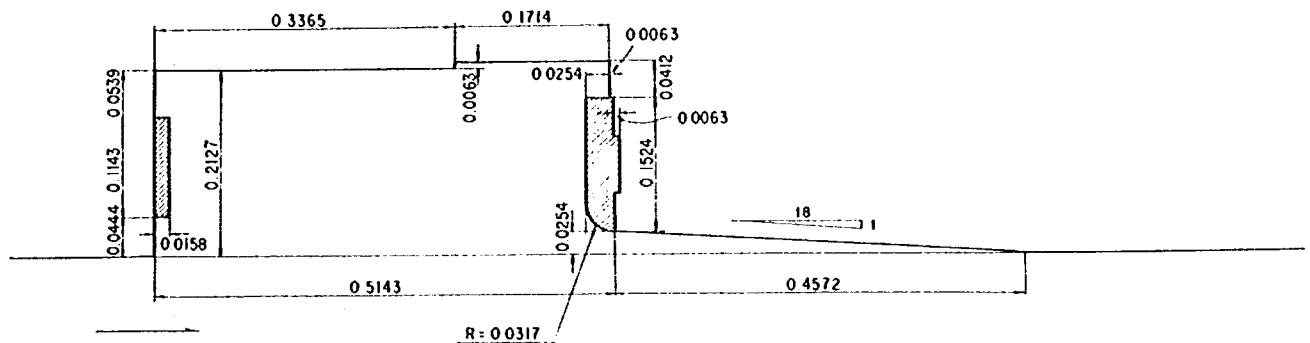
圧力値を無次元化し圧力係数に換算した結果を資料3に示す。今回の検討では適当な圧力基準点を設定することができなかったので基準圧力を零として計算している。圧力係数は次式で定義される。

$$C_p = \frac{P - P_0}{\rho v_0^2 / 2}$$

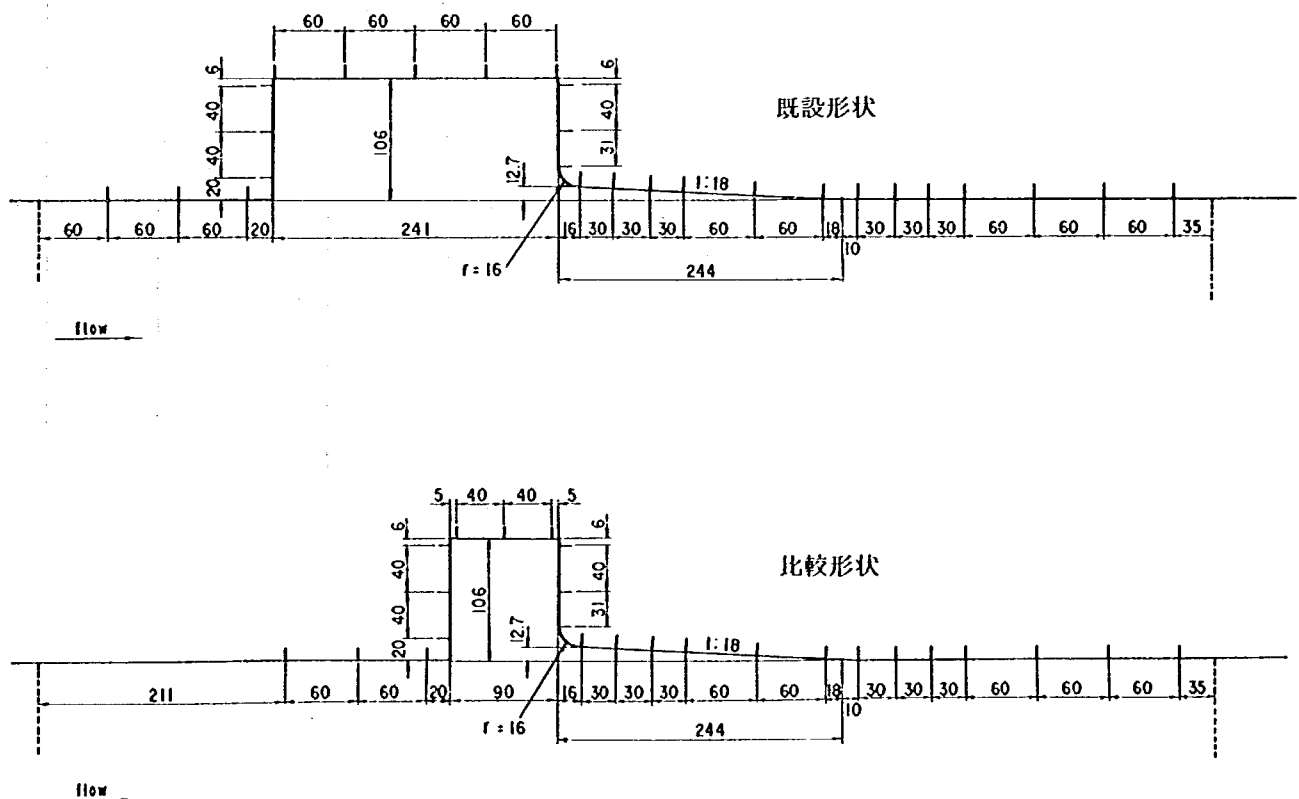
P : 測定値 (m水柱)

V_0 : 基準流速 (m/sec) : 戸溝部上流部の断面平均流速とする。

既設形状と比較形状の差は戸溝内に生じる渦が根本的に係わっていると思われるがこれらを如何に評価するかが現在の重要な観点である。



ゲートスロット詳細図



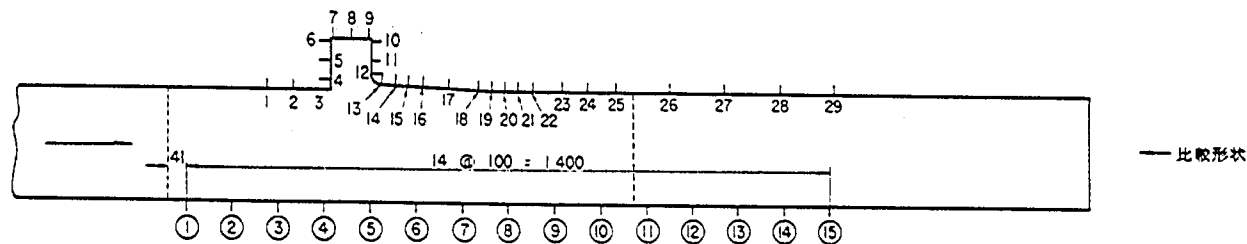
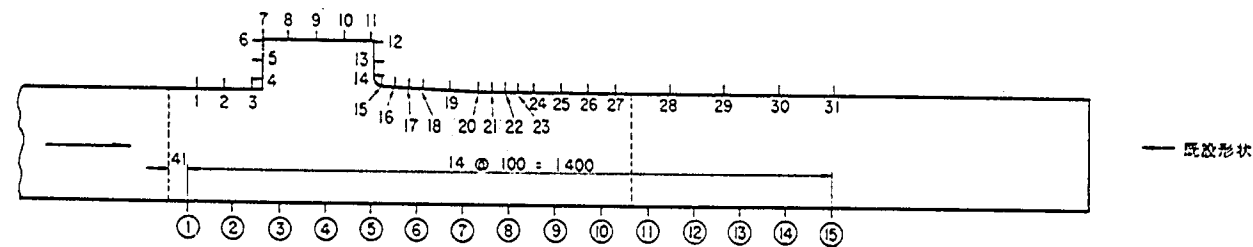
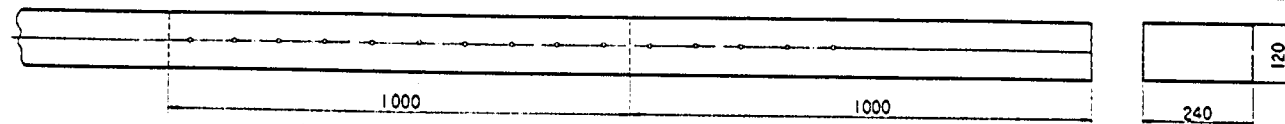
スロット部詳細形状

既設形状压力值 (kg/cm²)

No	250t/s	300t/s	350t/s	400t/s	450t/s
①	0.092	0.120	0.169	0.219	0.271
②	0.086	0.123	0.161	0.209	0.258
③	0.081	0.120	0.147	0.200	0.258
④	0.078	0.114	0.150	0.190	0.243
⑤	0.079	0.115	0.149	0.196	0.244
⑥	0.075	0.108	0.143	0.182	0.229
⑦	0.067	0.095	0.124	0.162	0.200
⑧	0.057	0.080	0.106	0.135	0.163
⑨	0.052	0.073	0.094	0.121	0.148
⑩	0.048	0.067	0.089	0.112	0.138
⑪	0.039	0.056	0.072	0.091	0.112
⑫	0.034	0.045	0.060	0.076	0.093
⑬	0.033	0.046	0.062	0.081	0.099
⑭	0.030	0.041	0.056	0.072	0.087
⑮	0.020	0.040	0.032	0.047	0.057

比较形状压力值 (kg/cm²)

No	250t/s	300t/s	350t/s	400t/s	450t/s
①	0.086	0.116	0.151	0.191	0.229
②	0.082	0.108	0.145	0.181	0.220
③	0.081	0.111	0.146	0.188	0.232
④	0.080	0.110	0.143	0.182	0.221
⑤	0.076	0.106	0.137	0.176	0.213
⑥	0.079	0.111	0.146	0.188	0.232
⑦	0.069	0.095	0.124	0.156	0.196
⑧	0.050	0.065	0.083	0.104	0.127
⑨	0.048	0.059	0.079	0.099	0.122
⑩	0.055	0.073	0.099	0.125	0.155
⑪	0.044	0.057	0.076	0.097	0.119
⑫	0.036	0.046	0.060	0.078	0.096
⑬	0.036	0.047	0.061	0.079	0.101
⑭	0.031	0.041	0.054	0.070	0.087
⑮	0.024	0.030	0.039	0.051	0.063



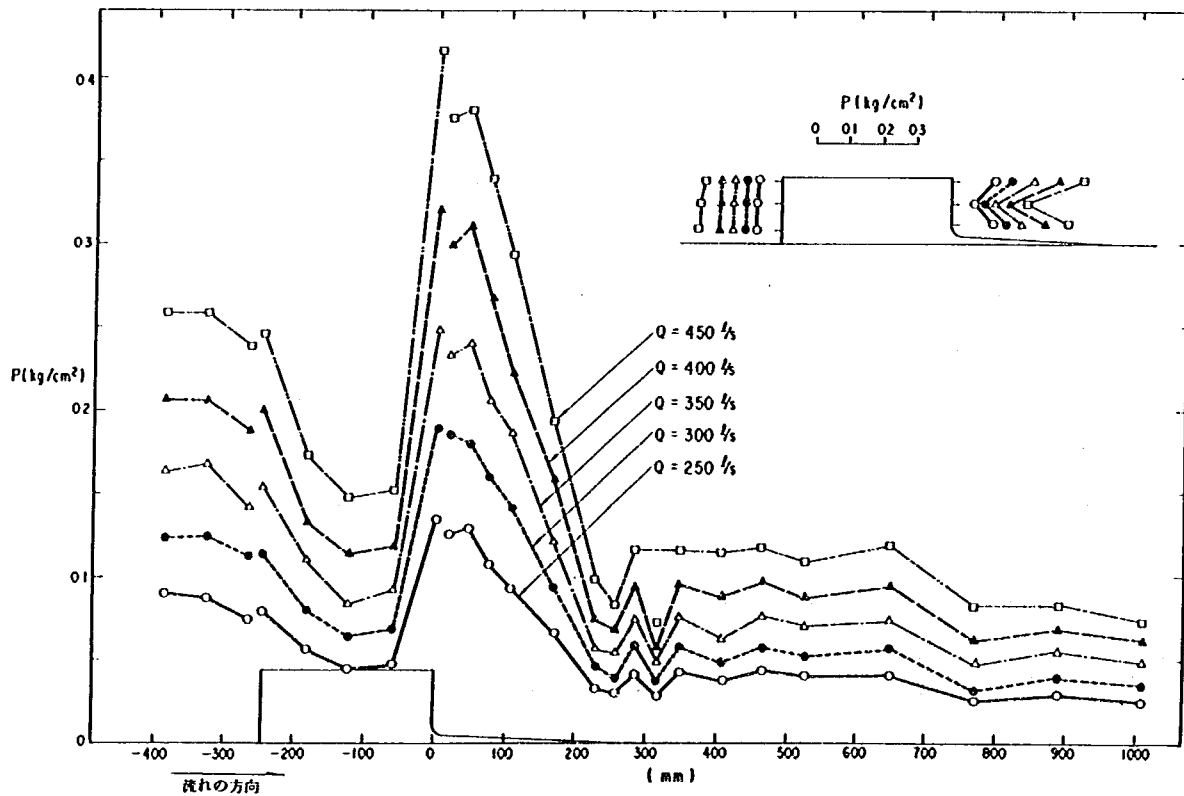
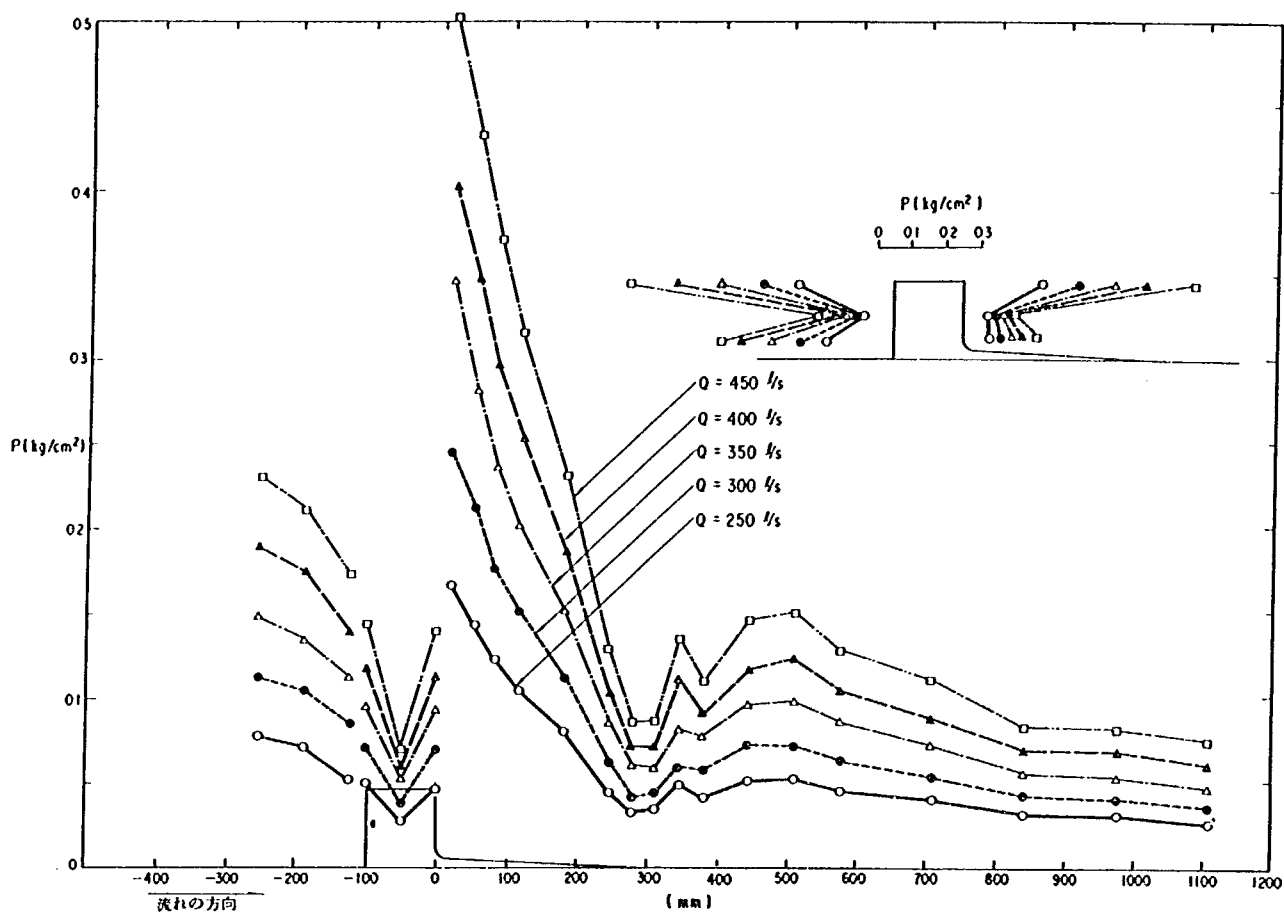
模型全体図

既設形状圧力値 (kg/cm²)

No	250ℓ/s	300ℓ/s	350ℓ/s	400ℓ/s	450ℓ/s
1	0.090	0.123	0.162	0.206	0.258
2	0.087	0.124	0.168	0.205	0.258
3	0.074	0.112	0.142	0.187	0.238
4	0.077	0.108	0.145	0.188	0.243
5	0.075	0.109	0.146	0.180	0.240
6	0.071	0.105	0.139	0.178	0.228
7	0.079	0.113	0.154	0.199	0.245
8	0.056	0.080	0.110	0.132	0.172
9	0.044	0.064	0.083	0.113	0.147
10	0.047	0.068	0.092	0.118	0.152
11	0.134	0.188	0.247	0.320	0.415
12	0.128	0.175	0.240	0.318	0.391
13	0.069	0.094	0.127	0.171	0.220
14	0.118	0.158	0.203	0.272	0.344
15	0.125	0.185	0.232	0.299	0.375
16	0.128	0.179	0.240	0.310	0.379
17	0.107	0.159	0.206	0.267	0.338
18	0.093	0.141	0.185	0.222	0.293
19	0.066	0.093	0.120	0.157	0.192
20	0.033	0.046	0.056	0.074	0.098
21	0.030	0.039	0.054	0.068	0.083
22	0.041	0.058	0.074	0.094	0.116
23	0.028	0.037	0.048	0.057	0.071
24	0.042	0.057	0.075	0.095	0.116
25	0.037	0.048	0.062	0.088	0.114
26	0.043	0.057	0.076	0.097	0.117
27	0.040	0.052	0.070	0.087	0.108
28	0.041	0.057	0.073	0.094	0.118
29	0.026	0.032	0.047	0.061	0.082
30	0.029	0.040	0.055	0.068	0.083
31	0.025	0.035	0.048	0.062	0.073
v	8.7m/s	10.4m/s	12.2m/s	13.9m/s	15.6m/s
$v^2/2g$	3.844m	5.536m	7.535m	9.841m	12.456m

比較形状圧力値 (kg/cm²)

No	250ℓ/s	300ℓ/s	350ℓ/s	400ℓ/s	450ℓ/s
1	0.077	0.112	0.148	0.189	0.230
2	0.071	0.104	0.136	0.174	0.212
3	0.051	0.085	0.113	0.139	0.173
4	0.039	0.054	0.071	0.089	0.110
5	0.018	0.021	0.029	0.028	0.034
6	0.055	0.076	0.101	0.126	0.153
7	0.050	0.071	0.096	0.118	0.143
8	0.027	0.038	0.051	0.058	0.070
9	0.046	0.069	0.093	0.112	0.140
10	0.045	0.067	0.088	0.106	0.134
11	0.015	0.019	0.026	0.024	0.030
12	0.015	0.022	0.029	0.034	0.042
13	0.166	0.245	0.347	0.403	0.504
14	0.143	0.212	0.281	0.348	0.434
15	0.123	0.176	0.238	0.296	0.371
16	0.104	0.151	0.202	0.253	0.315
17	0.080	0.112	0.151	0.187	0.231
18	0.044	0.062	0.086	0.104	0.129
19	0.033	0.042	0.060	0.071	0.085
20	0.034	0.044	0.059	0.070	0.086
21	0.049	0.060	0.082	0.111	0.135
22	0.041	0.058	0.077	0.091	0.110
23	0.051	0.072	0.097	0.117	0.147
24	0.052	0.072	0.098	0.123	0.151
25	0.045	0.063	0.085	0.105	0.128
26	0.040	0.054	0.072	0.089	0.111
27	0.031	0.042	0.055	0.069	0.083
28	0.031	0.041	0.053	0.069	0.083
29	0.027	0.036	0.047	0.061	0.075
v	8.7m/s	10.4m/s	12.2m/s	13.9m/s	15.6m/s
$v^2/2g$	3.844m	5.536m	7.535m	9.841m	12.456m



既設形状圧力係数 $C = P / \frac{v^2}{2g}$

No.	250ℓ/s	300ℓ/s	350ℓ/s	400ℓ/s	450ℓ/s	平均
①	0.240	0.235	0.224	0.222	0.218	0.228
②	0.224	0.222	0.213	0.212	0.207	0.215
③	0.212	0.217	0.195	0.203	0.207	0.206
④	0.204	0.205	0.199	0.193	0.195	0.199
⑤	0.207	0.207	0.197	0.199	0.195	0.201
⑥	0.196	0.195	0.190	0.184	0.183	0.189
⑦	0.175	0.171	0.164	0.164	0.161	0.167
⑧	0.149	0.144	0.140	0.137	0.131	0.140
⑨	0.135	0.132	0.125	0.123	0.118	0.126
⑩	0.126	0.121	0.119	0.113	0.110	0.117
⑪	0.102	0.101	0.095	0.093	0.090	0.096
⑫	0.089	0.081	0.080	0.078	0.074	0.080
⑬	0.087	0.084	0.082	0.082	0.080	0.083
⑭	0.079	0.075	0.074	0.073	0.070	0.074
⑮	0.052	0.073	0.042	0.048	0.046	0.052

比較形状圧力係数 $C = P / \frac{v^2}{2g}$

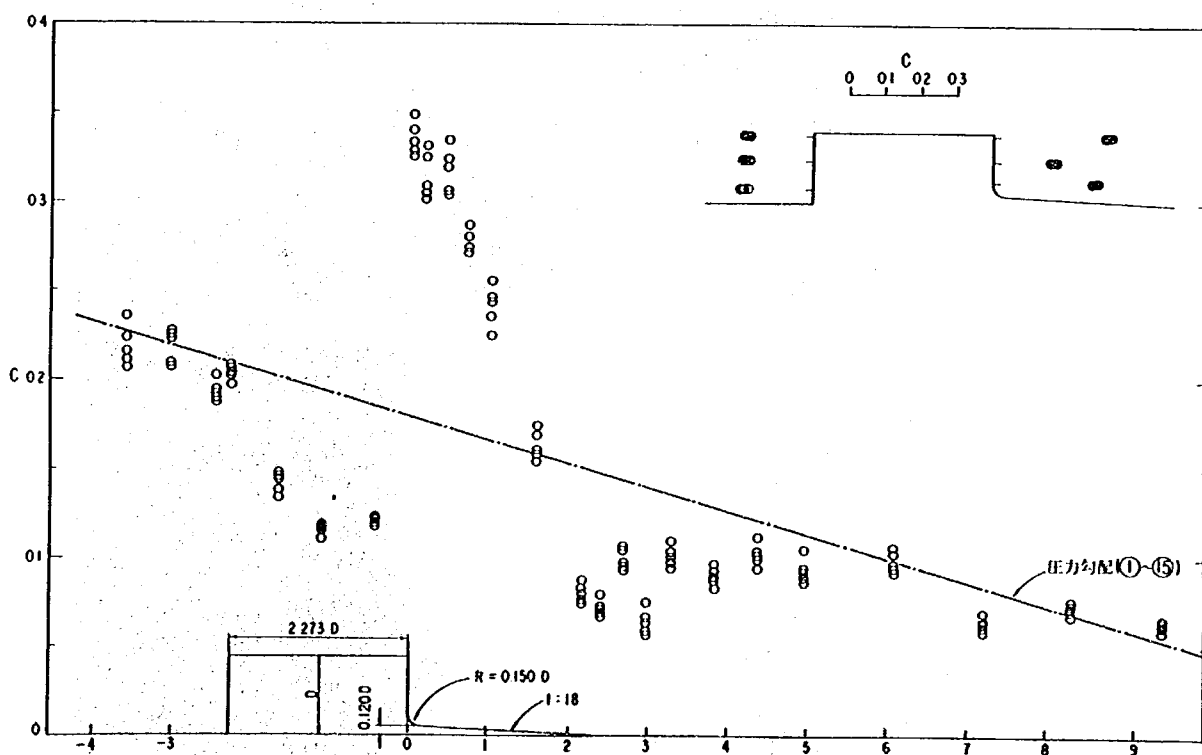
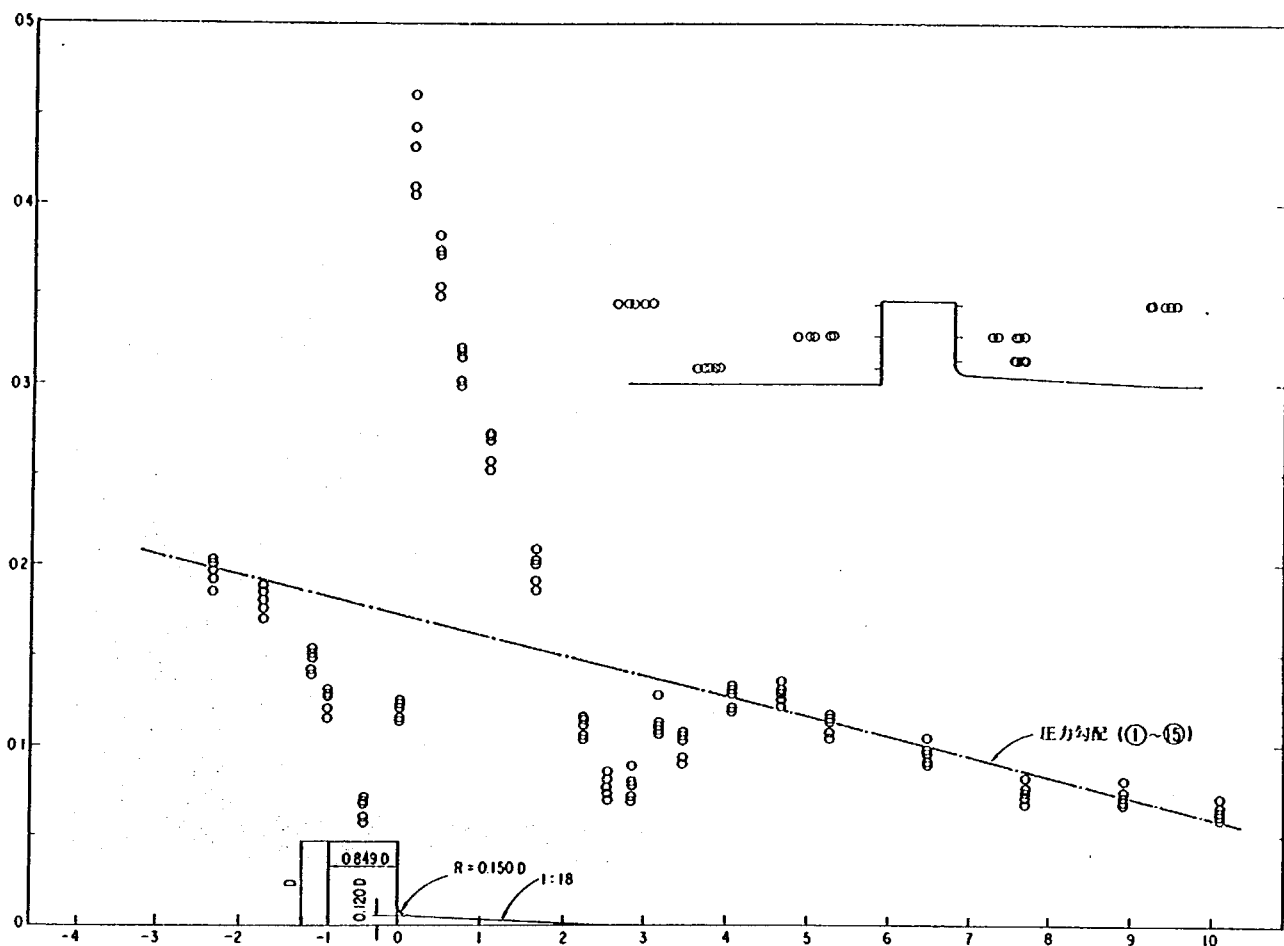
No.	250ℓ/s	300ℓ/s	350ℓ/s	400ℓ/s	450ℓ/s	平均
①	0.223	0.209	0.200	0.194	0.183	0.201
②	0.213	0.195	0.192	0.182	0.176	0.191
③	0.210	0.201	0.193	0.191	0.186	0.196
④	0.208	0.198	0.189	0.184	0.177	0.191
⑤	0.197	0.191	0.181	0.178	0.171	0.183
⑥	0.205	0.201	0.193	0.191	0.186	0.195
⑦	0.179	0.171	0.164	0.158	0.157	0.165
⑧	0.130	0.117	0.110	0.105	0.101	0.112
⑨	0.124	0.106	0.104	0.101	0.097	0.106
⑩	0.143	0.131	0.131	0.127	0.124	0.131
⑪	0.114	0.103	0.100	0.098	0.095	0.102
⑫	0.093	0.083	0.079	0.079	0.077	0.082
⑬	0.093	0.084	0.081	0.080	0.081	0.083
⑭	0.080	0.074	0.071	0.071	0.069	0.073
⑮	0.062	0.054	0.051	0.051	0.051	0.053

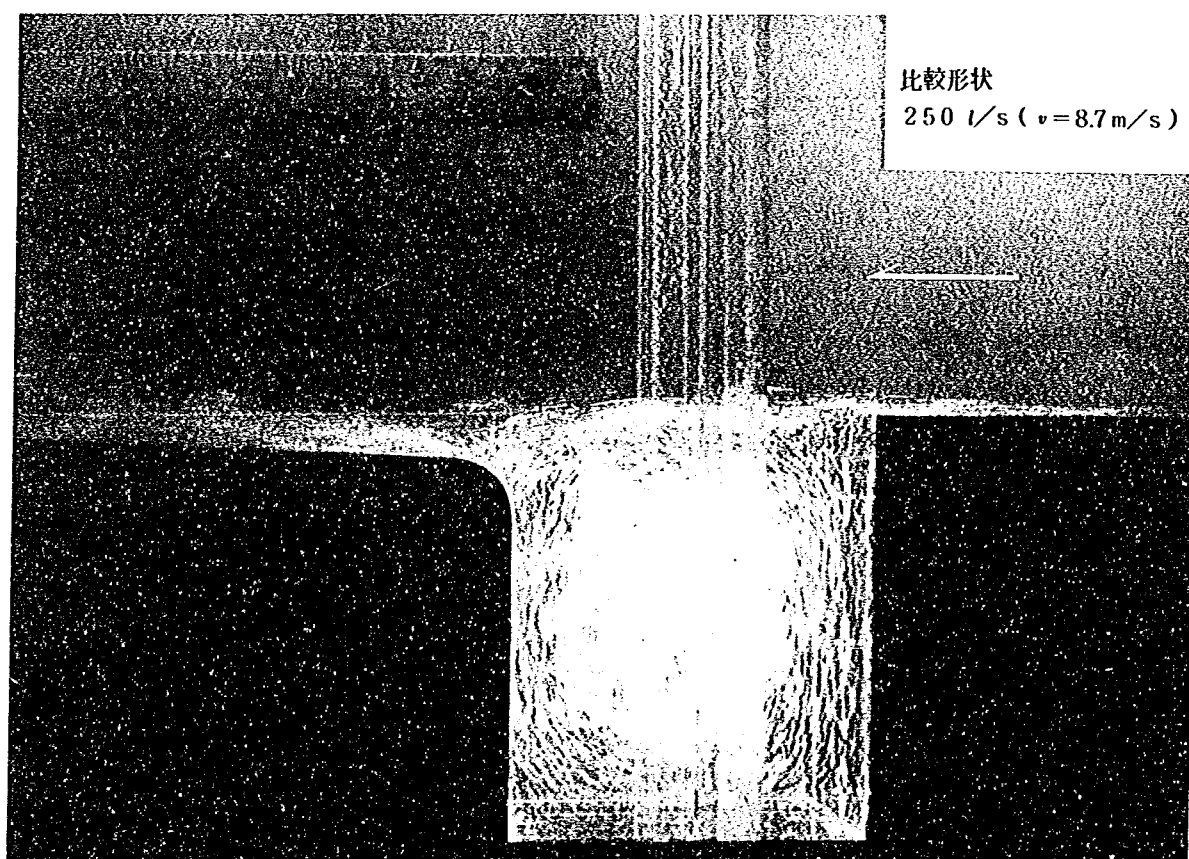
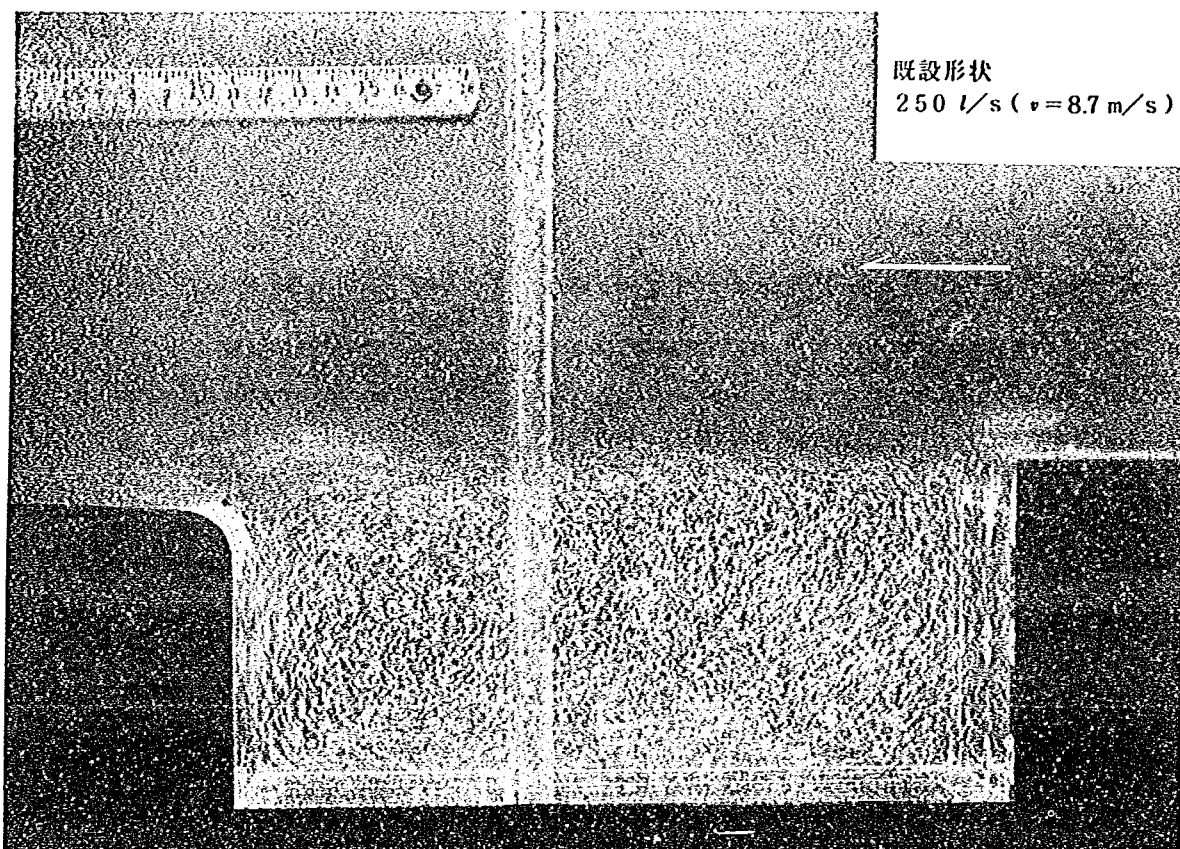
既設形状圧力係数 $C = P / \frac{v^2}{2g}$

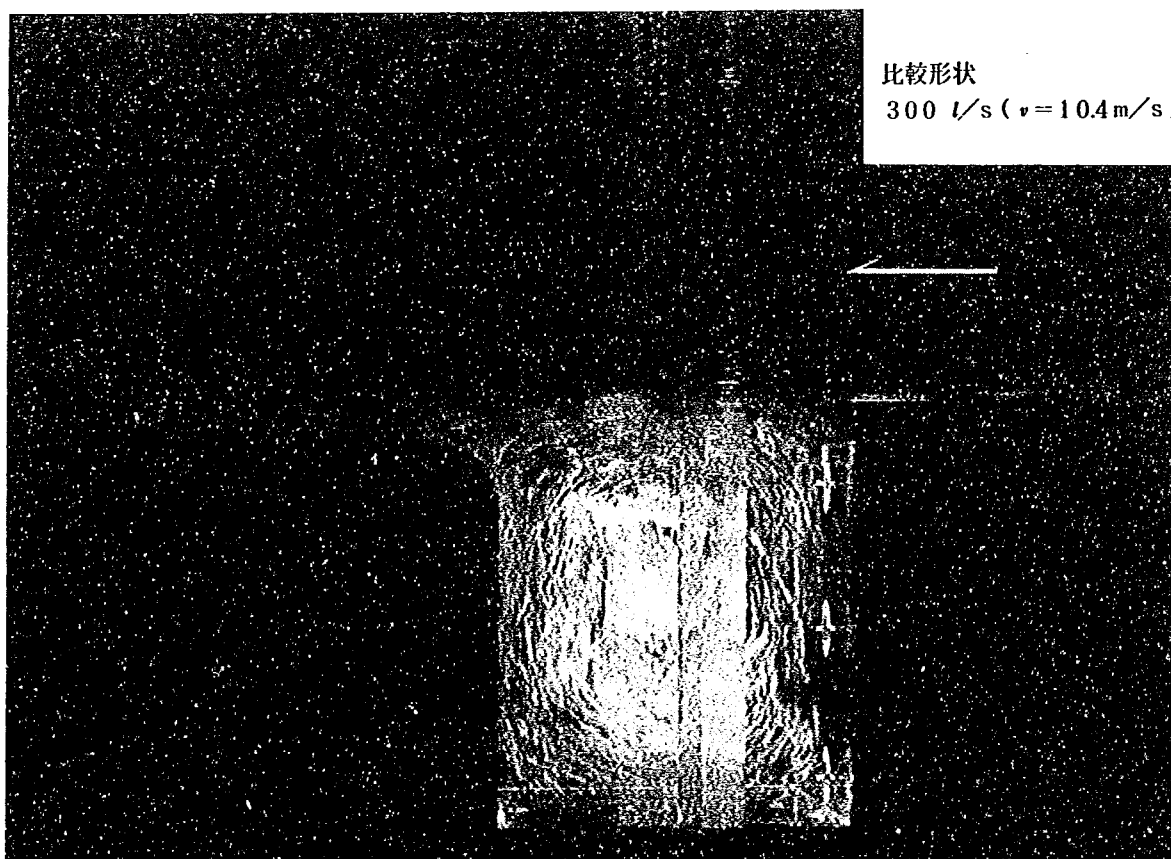
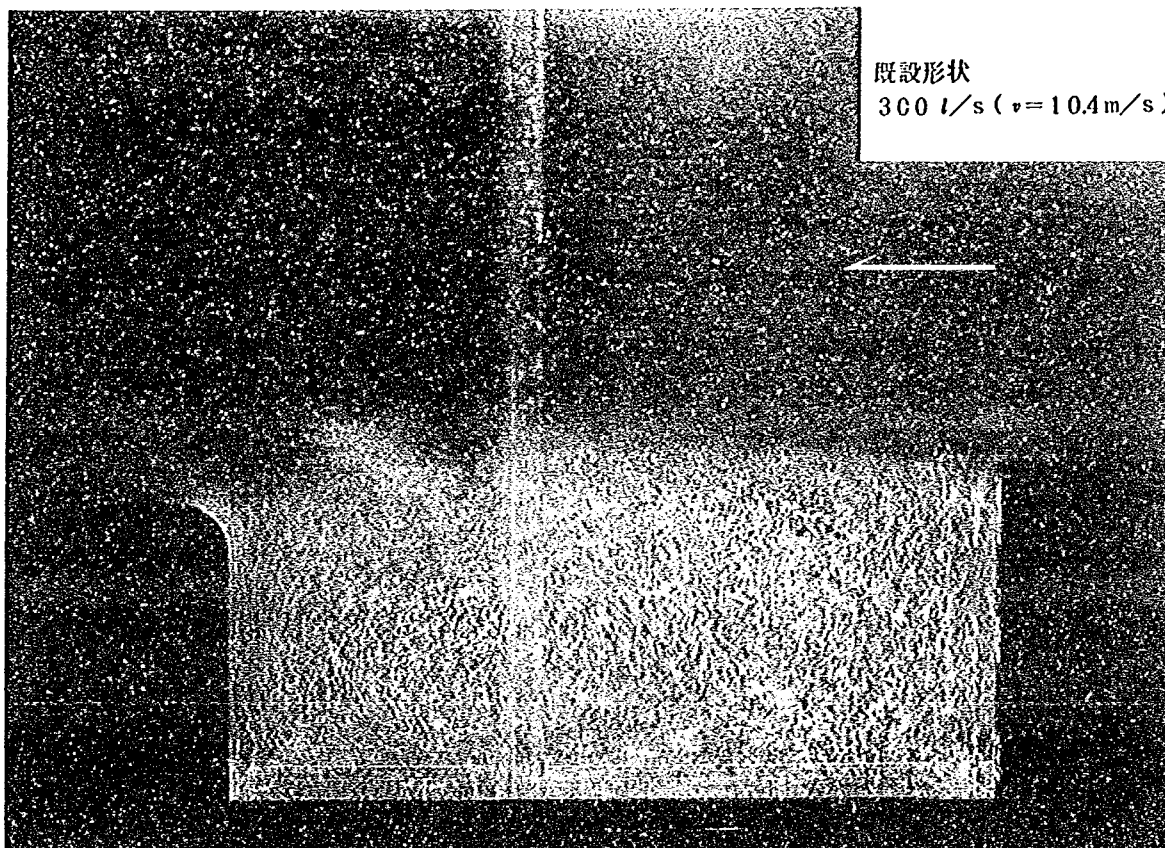
No	250f/s	300f/s	350f/s	400f/s	450f/s	平均
1	0.235	0.223	0.215	0.210	0.207	0.218
2	0.227	0.225	0.223	0.208	0.207	0.218
3	0.194	0.202	0.188	0.190	0.191	0.193
4	0.201	0.195	0.192	0.191	0.195	0.195
5	0.196	0.182	0.194	0.183	0.193	0.190
6	0.185	0.190	0.185	0.181	0.183	0.185
7	0.207	0.204	0.204	0.202	0.197	0.203
8	0.146	0.144	0.146	0.134	0.138	0.142
9	0.115	0.116	0.110	0.115	0.118	0.115
10	0.123	0.123	0.122	0.120	0.122	0.122
11	0.349	0.340	0.328	0.325	0.333	0.335
12	0.335	0.316	0.319	0.323	0.314	0.321
13	0.180	0.171	0.169	0.174	0.176	0.174
14	0.307	0.287	0.270	0.276	0.276	0.283
15	0.325	0.331	0.308	0.304	0.301	0.312
16	0.334	0.324	0.319	0.306	0.304	0.317
17	0.280	0.287	0.274	0.271	0.271	0.277
18	0.244	0.255	0.246	0.225	0.235	0.241
19	0.174	0.169	0.160	0.159	0.154	0.163
20	0.087	0.083	0.075	0.076	0.079	0.080
21	0.078	0.072	0.072	0.069	0.066	0.071
22	0.107	0.105	0.098	0.096	0.093	0.083
23	0.075	0.067	0.063	0.058	0.057	0.064
24	0.110	0.104	0.100	0.097	0.093	0.100
25	0.097	0.088	0.083	0.089	0.092	0.090
26	0.112	0.104	0.101	0.098	0.094	0.102
27	0.105	0.095	0.093	0.088	0.087	0.093
28	0.106	0.103	0.097	0.096	0.094	0.098
29	0.068	0.059	0.062	0.062	0.066	0.063
30	0.076	0.072	0.073	0.069	0.067	0.071
31	0.066	0.063	0.064	0.063	0.058	0.063

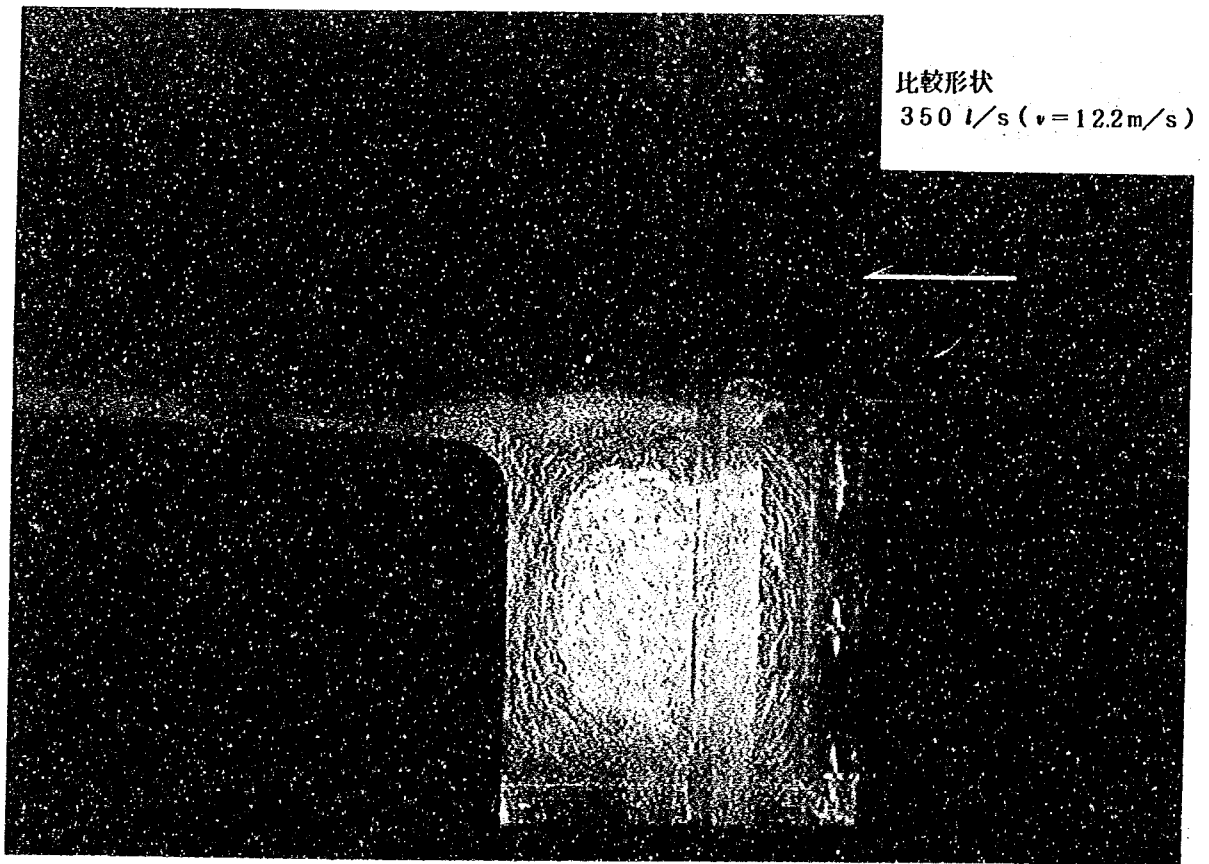
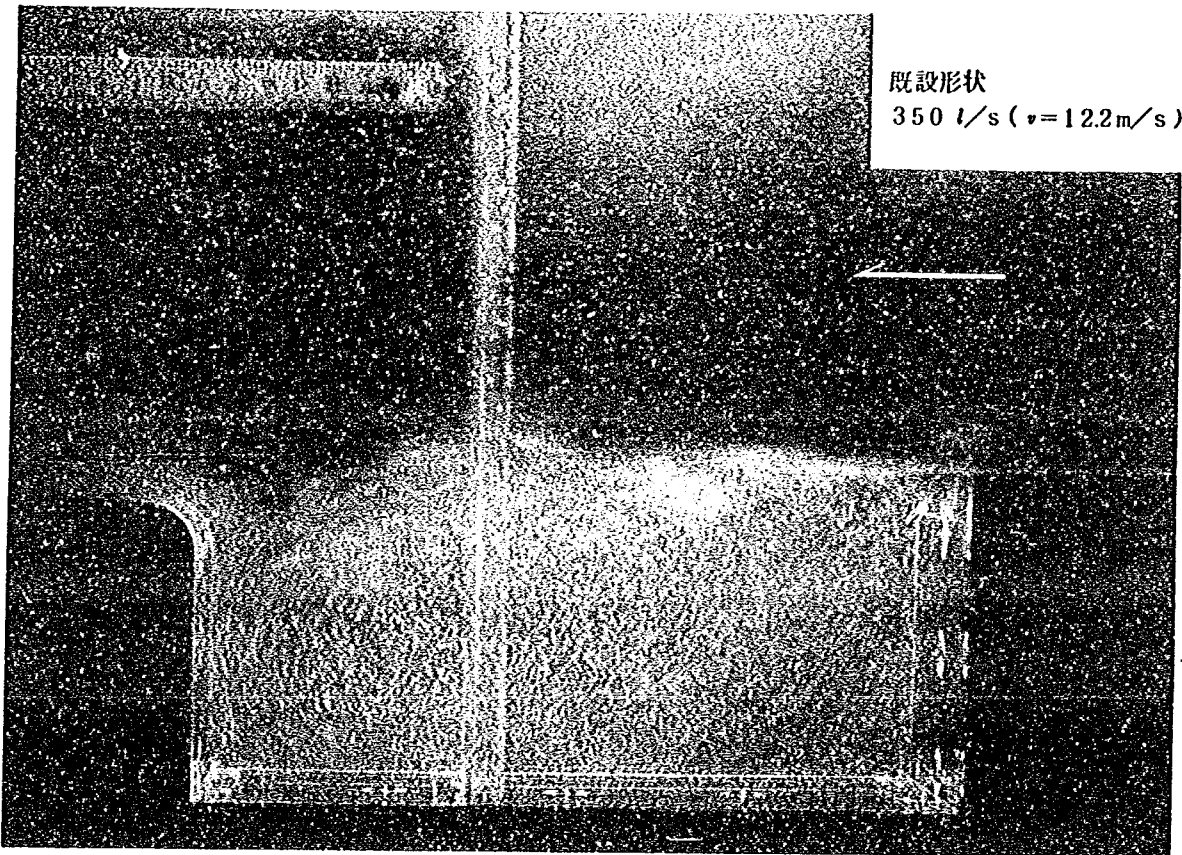
比較形状圧力係数 $C = P / \frac{v^2}{2g}$

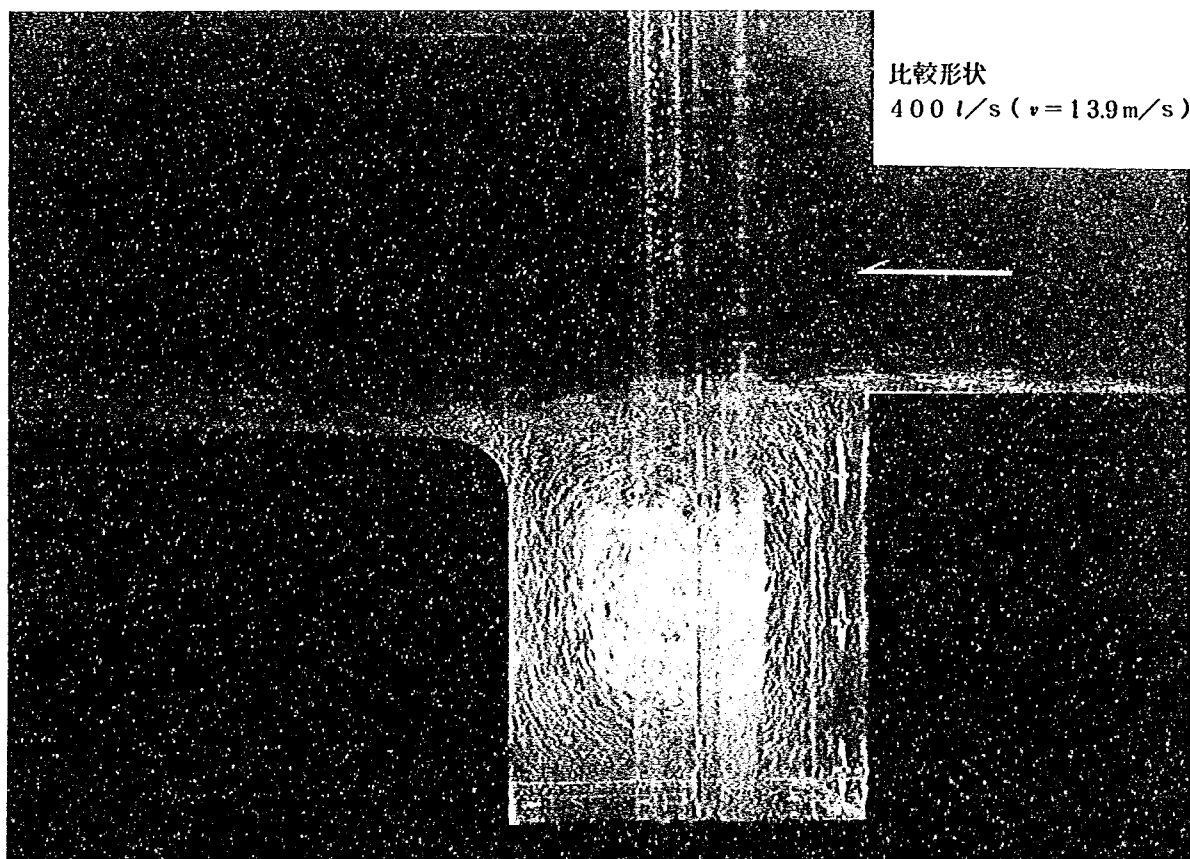
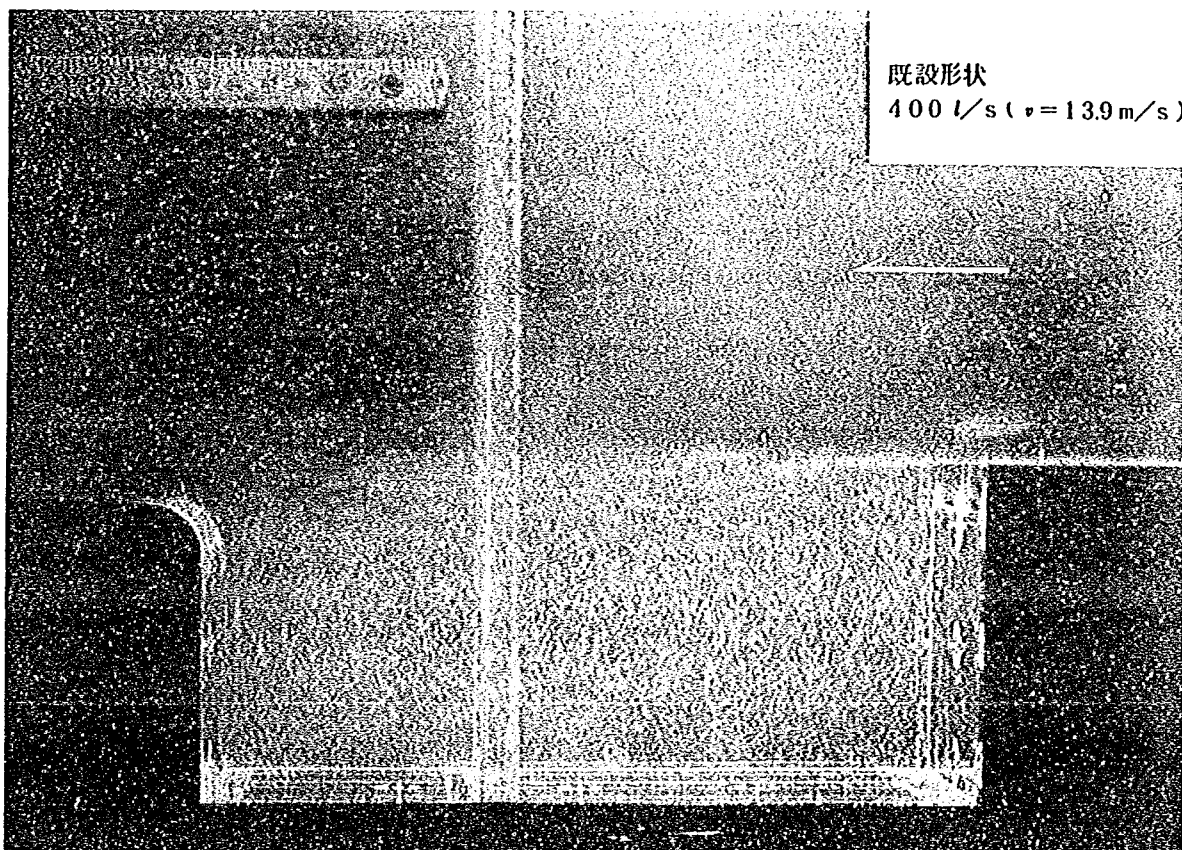
No	250f/s	300f/s	350f/s	400f/s	450f/s	平均
1	0.200	0.203	0.196	0.192	0.184	0.195
2	0.184	0.187	0.180	0.176	0.170	0.179
3	0.148	0.153	0.149	0.141	0.138	0.146
4	0.101	0.097	0.094	0.090	0.088	0.094
5	0.046	0.038	0.038	0.028	0.027	0.035
6	0.143	0.137	0.134	0.128	0.122	0.133
7	0.130	0.128	0.127	0.119	0.114	0.124
8	0.070	0.068	0.067	0.058	0.056	0.064
9	0.119	0.124	0.123	0.113	0.113	0.118
10	0.117	0.120	0.116	0.107	0.107	0.113
11	0.039	0.034	0.034	0.024	0.024	0.031
12	0.039	0.039	0.038	0.034	0.033	0.037
13	0.431	0.442	0.460	0.409	0.404	0.429
14	0.371	0.382	0.372	0.353	0.348	0.365
15	0.319	0.317	0.315	0.301	0.297	0.310
16	0.270	0.272	0.268	0.257	0.252	0.264
17	0.208	0.202	0.200	0.190	0.185	0.197
18	0.114	0.111	0.114	0.105	0.103	0.109
19	0.085	0.075	0.079	0.072	0.068	0.076
20	0.088	0.079	0.078	0.071	0.069	0.077
21	0.127	0.108	0.108	0.112	0.108	0.113
22	0.106	0.104	0.102	0.092	0.088	0.098
23	0.132	0.130	0.128	0.118	0.118	0.125
24	0.135	0.130	0.130	0.124	0.121	0.128
25	0.117	0.113	0.112	0.106	0.102	0.110
26	0.104	0.097	0.095	0.090	0.089	0.095
27	0.080	0.075	0.072	0.070	0.066	0.073
28	0.060	0.074	0.070	0.070	0.066	0.072
29	0.070	0.065	0.062	0.061	0.060	0.063

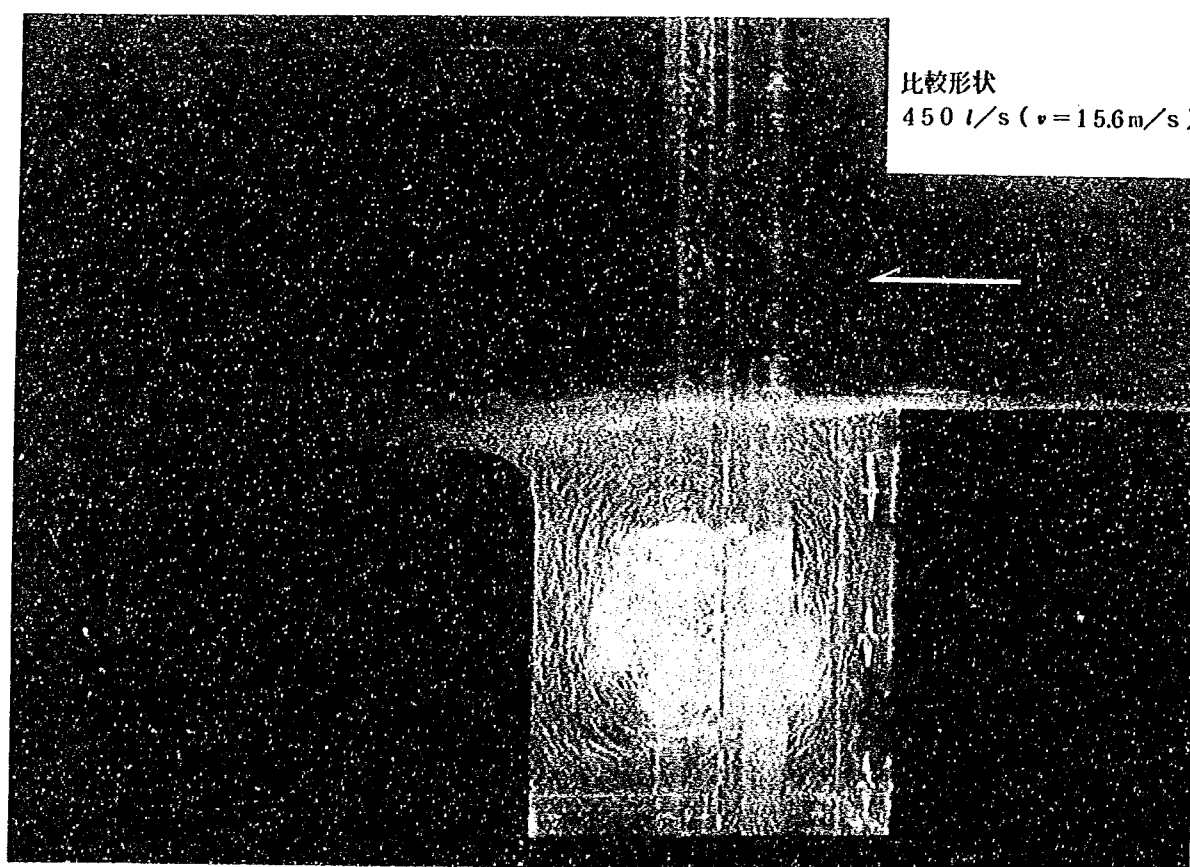
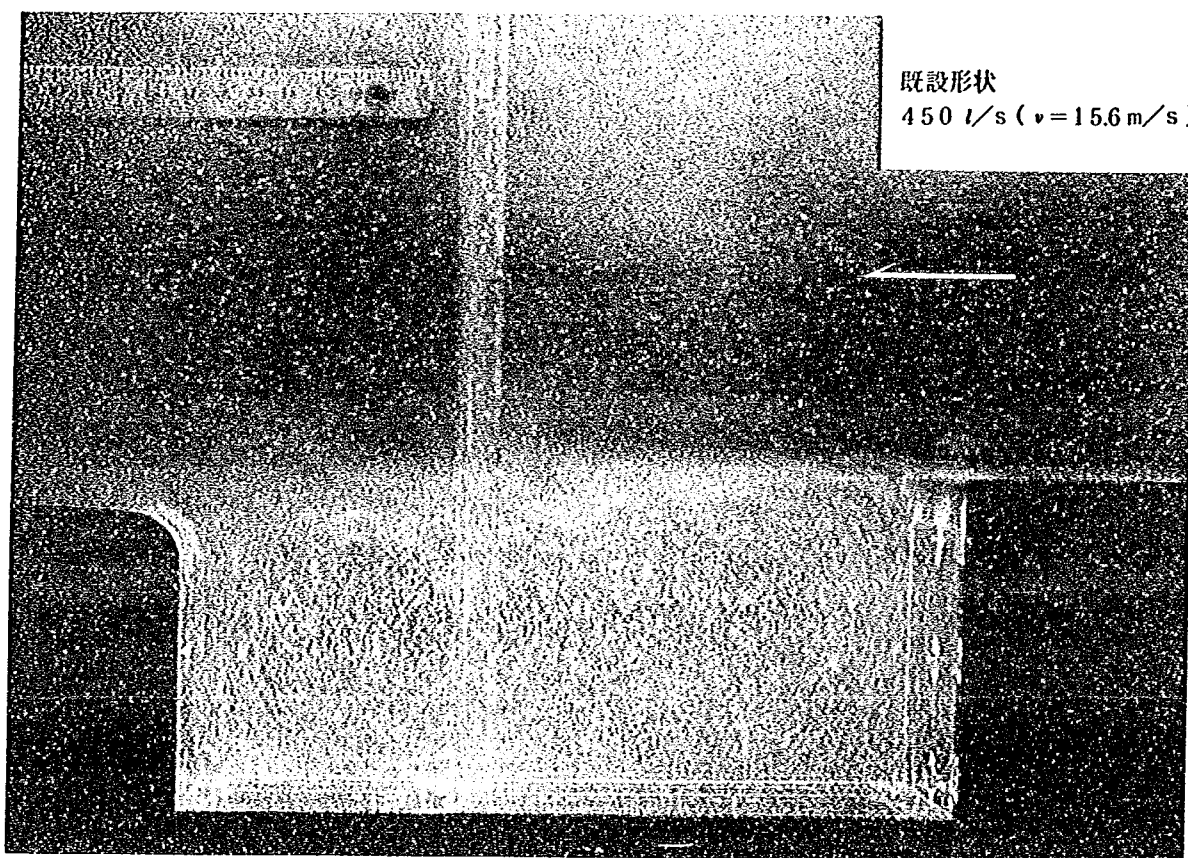












既設高圧スライドゲートの部分
開放流に関する調査報告書

ISSN 0386-5878
土研資料第1890号
昭和57年4月(1980年)

建設省土木研究所ダム水工研究室

キーワード

要 旨

全開全閉操作を原則として設計された既設高圧スライドゲート
の部開放流操作の可能性の検討



No. _____

配布先氏名

配布先住所



