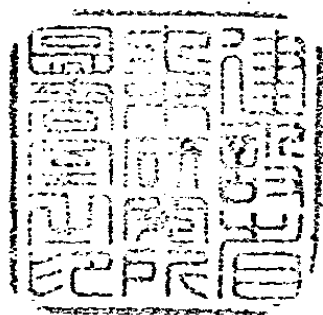




土木研究所資料

第 380 号

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	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

まえがき

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、毎年実際に起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った。

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	8 1.5 m		
堤 巾	3 3 0 m		
越 流 部	テンターゲート 6門 (高9 m, 巾10 m)		
放 水 管	全管路型	4本 (ϕ 25.9 m, 長45 m)	
	高圧スライドゲート	4門 (25.9 $\times$ 25.9 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が与えられるため、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、ゲート開度が增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、この部分で流れが阻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すことが出来た。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槽円形の横断面形をもつ。ゲートは図-3に示すような45°の刃先をもつた高压スライドゲートである。図-5に示すように、給気管は、全長45m、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37m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製
風速計	型式TKK-SA-22, 測定範囲20m/s~130m/s 東京航空計器KK製
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 $\pm 1 \text{ kg/cm}^2$) $\phi 10 \text{ mm}$ 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。

図-3 高压カート扉体構造図

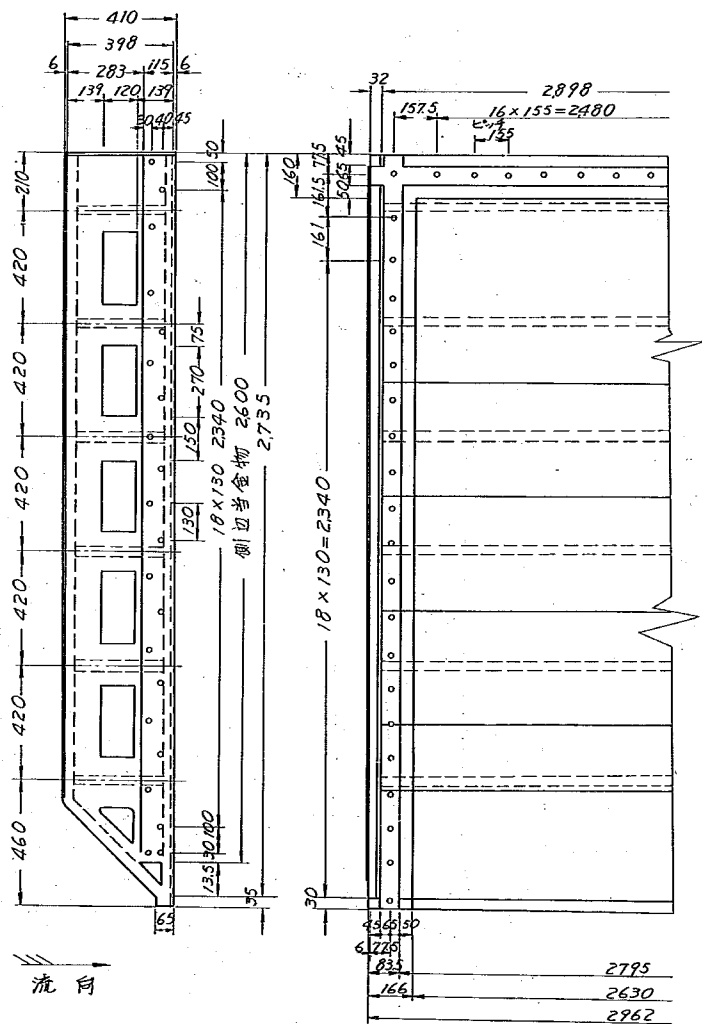


図-4 ストレーナー管形状図

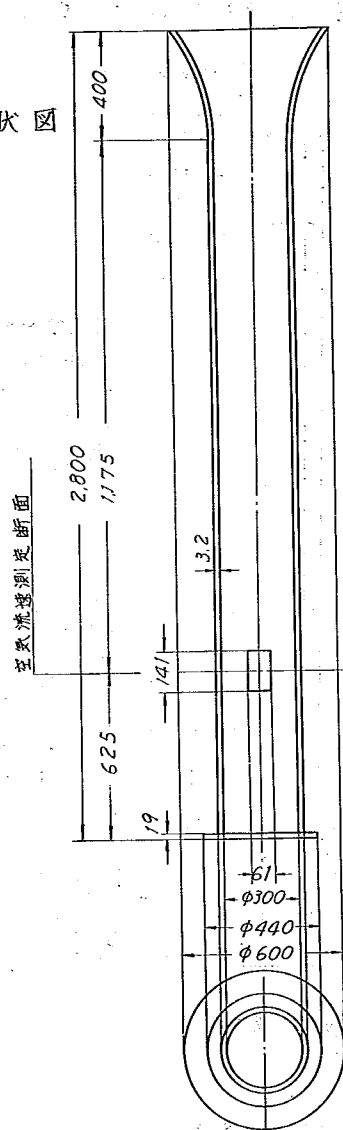


図-5 給気管形状図

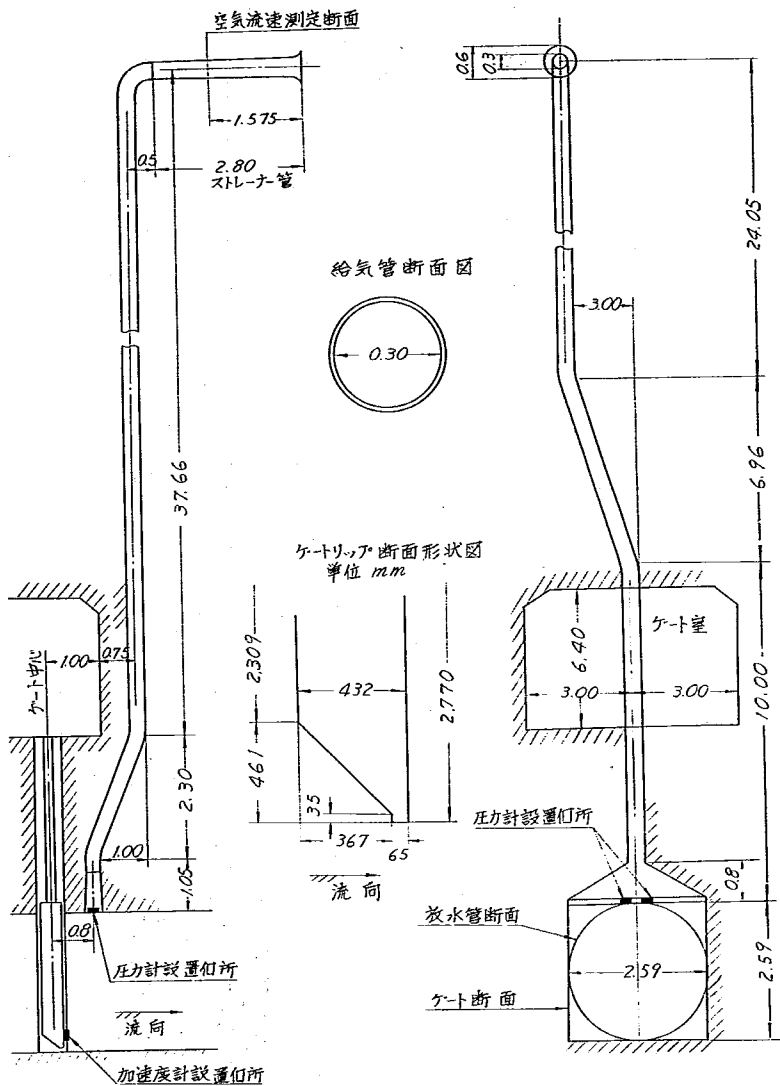
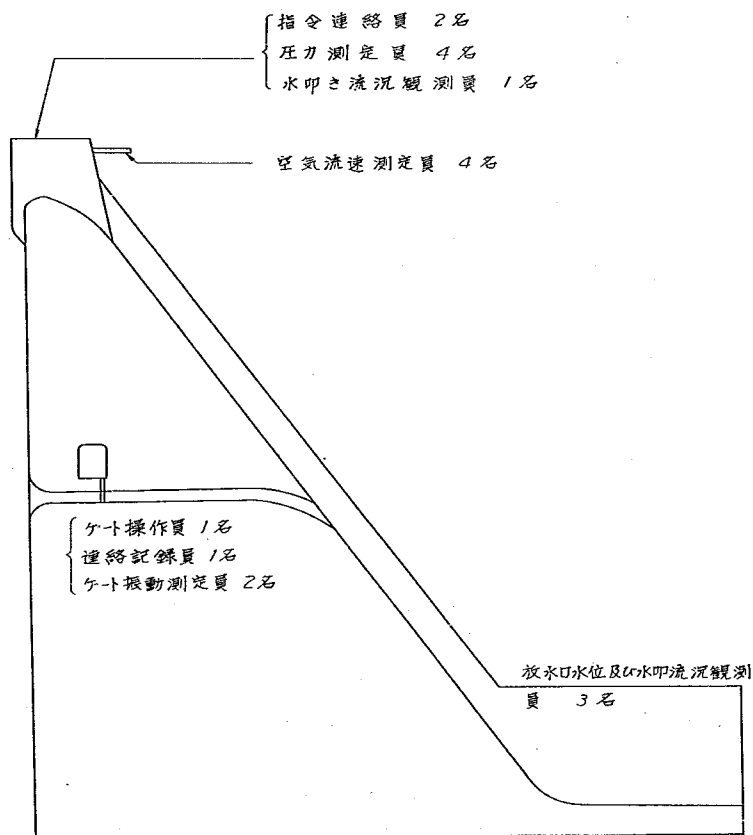
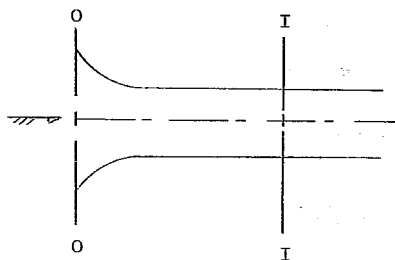


図-6 観測員配置概要



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0～0，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

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

定温変化の条件より

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

ここで

- P : 圧力（重力単位）
- ρ : 空気密度
- V : 断面平均空気流速
- fe : 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Vm とすると、Vm と P_1 ρ_1 という大気圧下とは異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（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。したがってピトー管差圧をPp とすると

$$Pp = \frac{\rho_0 Vm^2}{2g} = \frac{\rho_1 V_1^2}{2g} \dots \dots \dots (3)$$

式(1), (2), (3)から

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= P_0 - (1+f_0) \frac{\rho_0 V_m^2}{2g} \\ \rho_1 &= \frac{\rho_0}{P_0} P_1 \\ V_1 &= \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_1}} V_m \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

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

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

定温変化の条件より

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

連続の条件より

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

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。

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

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

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

$\bar{n}$: 彎局損失を表わす係数

A : 給気管断面積

式(5), (6), (7)より

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

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

$$v_{n+1} = \frac{P_n}{P_{n+1}} \frac{A_n}{A_{n+1}} v_n$$

..... (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	10.00	7.07	3.01	3.94
5	40	15.4	11.50	8.13	4.45	4.26
6	50	19.3	11.50	8.13	4.45	4.47
7	60	23.2	11.60	8.20	4.58	4.47
8	70	27.0	11.75	8.30	4.79	4.36
9	80	30.9	11.75	8.30	4.79	4.47
10	100	38.6	11.50	8.13	4.45	4.36
11	120	46.3	11.50	8.13	4.45	
12	150	57.9	11.50	8.13	4.45	4.36
13	200	77.2	5.20	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)を使って、放水管内圧力 P_g および
 圧力降下量 $\Delta p = P_0 - P_g$ を求めた。求めた値を表-1に示す。計算に当つ
 て $4\mu = 0.0141$ $P_0 = 10,336 \text{ kg/m}^2$ $n = 12$ $\rho_0 = 1,270 \text{ kg/m}^3$ と仮定
 した。

推定流量 $Q_w \text{ m}^3/\text{sec}$	推定初期 フルード数 F	$\beta = \frac{Q_a}{Q_w}$	貯水頭 $H \text{ m}$	観測 種別※	観測 時間
2.6	44.5	0.95	36.79	A	16
5.3	31.8	0.73	"	B	4
10.7	22.8	0.56	"	B	3
16.3	18.8	0.43	"	B	3
22.0	16.5	1.37	"	B	3
27.4	14.7	0.30	"	A	15
32.8	13.4	0.25	"	B	4
38.2	12.4	0.22	"	B	4
43.4	11.5	0.19	"	B	4
53.4	10.1	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3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ペーバーに記録された。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~-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, $-(3.0 - P)$ が放水管内の平均圧力の許容最低値となる。ここで P は模型実験などを行って求めるのがのぞましいが, このような方法がとれない場合は, P として1.0~1.5 m水柱程度を考慮するのがよからう。

田瀬ダムのスライドゲートは4 5°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

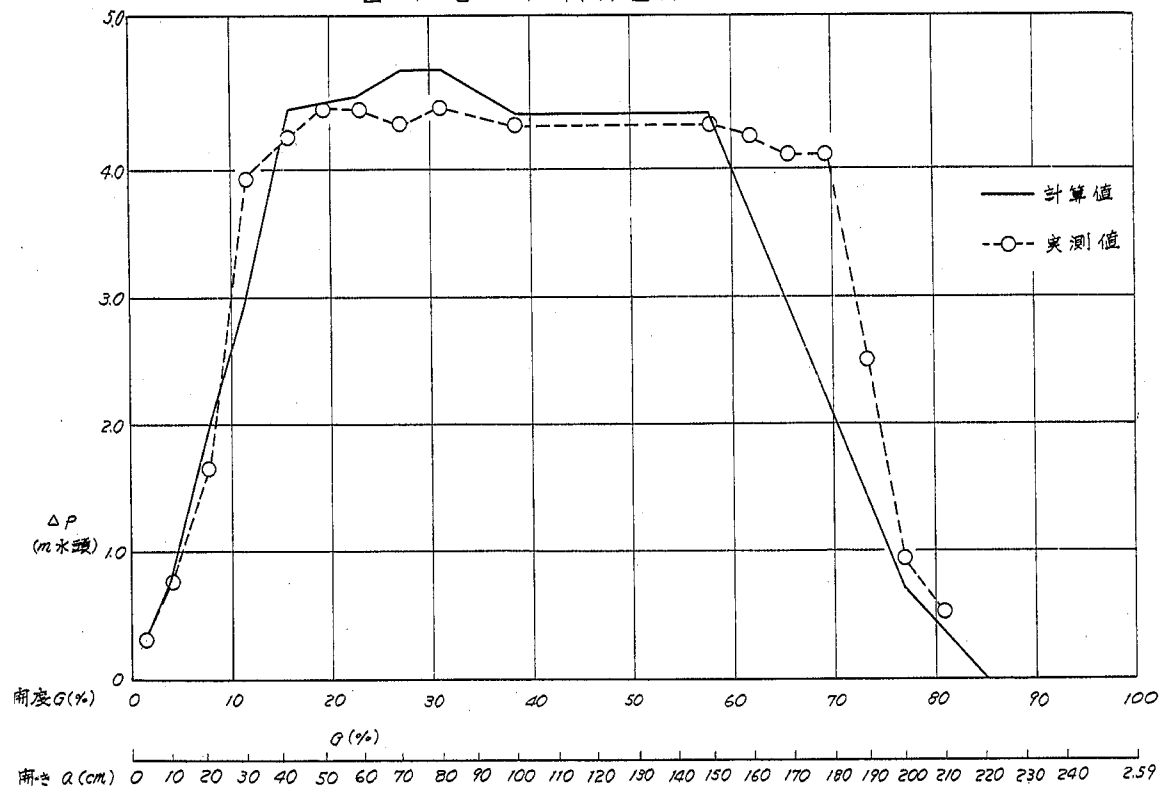


図-8 $Qa-G$ 関係図

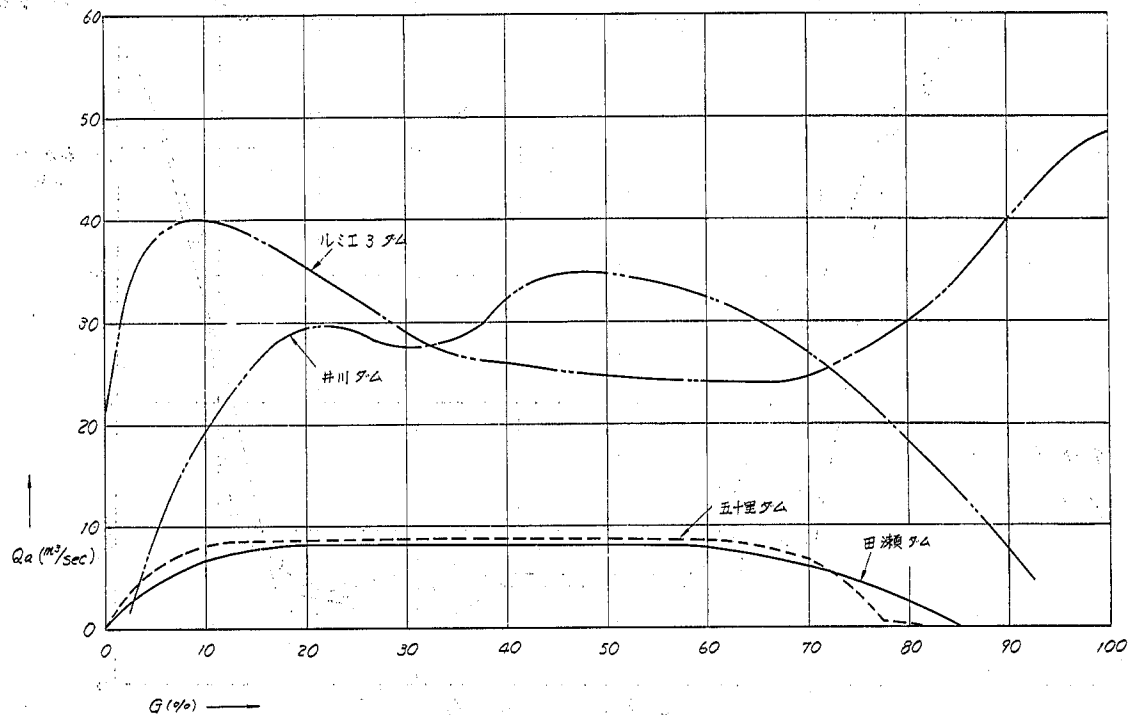


圖-9 $G \sim Q_w$ 關係曲線

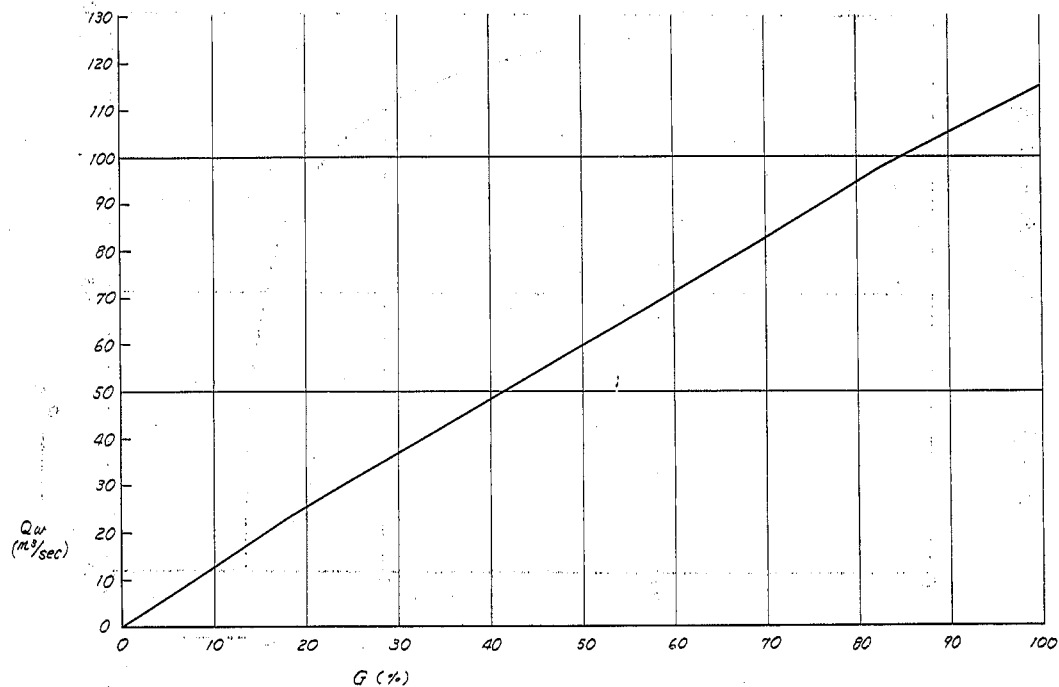
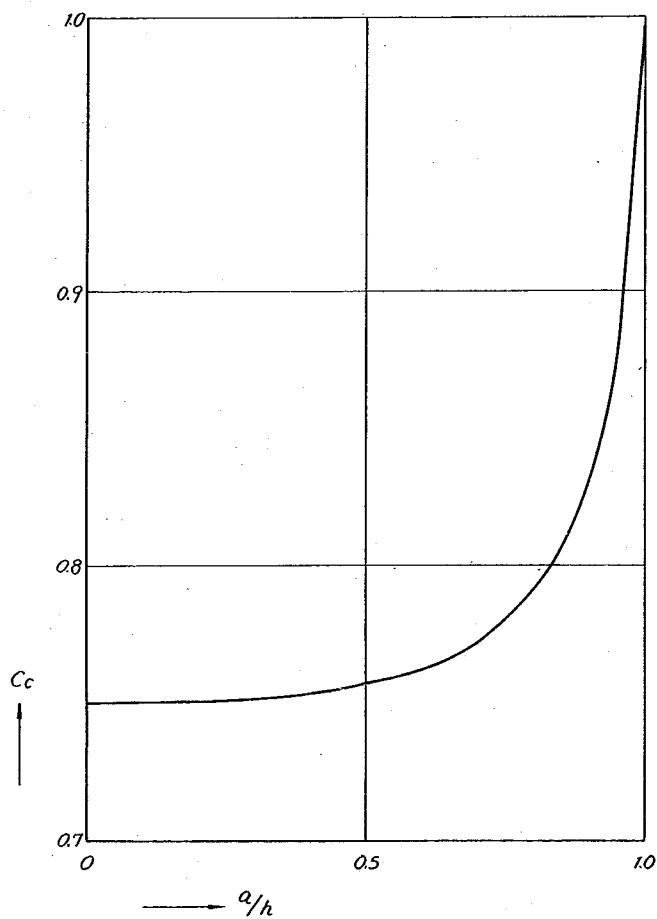


圖-10 $C_c \sim a/h$ 關係曲線



200 cm ($G = 77\%$) 以上ならば、放水管内の圧力降下は 2 m 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-水流量比 $\beta = Q_a / Q_w$ 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、給気が不充分になつてくるので、 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放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	パーティカルリフト	274×580	6.10φ○	256
ブ ラ ー		152×198	1.52×1.98□	
バン・フラット	ス ラ イ ド	152×274	1.52×2.74□	88
タイガートー		173×305	1.73×3.05□	
ノーフォーク	ス ラ イ ド	122×183	1.22×1.83□	
ル ミ エ 1	ス ラ イ ド	230×300	4.2×4.2 □	38
ル ミ エ 2	ス ラ イ ド	160×230	×3.7 □	44
ル ミ エ 3	ス ラ イ ド	160×230	×4.2 □	54
五 十 里	ス ラ イ ド	259×259	2.59φ○	35
井 川	リングミール	230φ	2.30φ○	
田 瀬	ス ラ イ ド	259×259	2.59φ○	32.3

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

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 m ³ /sec	最大風速 m/sec
3.2	22.3	1.62 φ	69	36.3	17.5
1.3	11.9	0.41 φ	62	1.4	11.0
28	22.5	0.76 φ	78	5.7	12.5
28	23.5	0.31 φ	83	4.9	66.8
48	29.9	0.51 φ	83	7.9	
33	21		100	38	
63	31		100	41	
94	38		100	48	
41	22	0.293 φ	27	8.9	13.5
86	4.1	0.7 φ	42	3.5	10.5
36.8	24.5	0.3 φ	27	8.3	117.5

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つ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際的である。

田瀬ダムの現地観測では、風速が 100 m/sec 程度をこすとか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ーナーおよびビート管によるものと推定される。したがつて、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 20 cm (全開度の8%) 以下に制限するか、あるいは、 200 cm (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. 概要

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型で規格及び完数を下に列記する。

容量	$\pm 5g$
ブリッジ抵抗	120Ω
固有振動数	200 cps
最大入力電圧	5V

開回路における最大出力電圧 2mV/g

(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-G11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} 歪で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-2.0，

直線性 最大出力範囲内で $\pm 2\%$ 以下

周波数特性 0~1000c/s ($\pm 5\%$ 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~ $\pm 15\%$)

いものと推論される。

Ⅳ 振動観測による検討

1. 概要

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型で規格及び完数を下に列記する。

容量	$\pm 5g$
ブリッジ抵抗	120Ω
固有振動数	200 cps
最大入力電圧	5V

開回路における最大出力電圧 2mV/g

(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-G11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} 歪で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-2.0，

直線性 最大出力範囲内で $\pm 2\%$ 以下

周波数特性 0~1000c/s ($\pm 5\%$ 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~ $\pm 15\%$)

ブリッジ電源 周波数 $5000\text{ c/s} \pm 3\%$
電圧 $0 \sim 4\text{ V}$, 0.5 V ステップ ($120\ \Omega$ に対する偏差 $\pm 10\%$)

使用ゲージ $60 \sim 1000\ \Omega$

利得調整 $0, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100$ ステップ
 $0 \sim 10$ 連続調整

指示計 $\pm 1.2\text{ V}$ 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)

容量(C)

内部切替えスイッチにより調整範囲可変

いずれも 5 回転可変抵抗器による

基線標動

入力換算 $2\ \mu\text{V/hour}$ 以下 ($30\ \Omega$ 負荷)

(電源投入 20 分後) $1.5\ \mu\text{V/hour}$ 以下 ($30\ \Omega$ 負荷, $5 \sim 45^\circ\text{C}$)

感度
最大

雑音 入力換算 p-p $5\ \mu\text{V}$ 以下

温度範囲 使用温度範囲 $0 \sim 45^\circ\text{C}$

温度による利得の変化 $3\%/10\text{deg.}$ 以下 ($5 \sim 45^\circ\text{C}$)

電源変動 $100\text{ V} \pm 10\%$ で利得変化 $\pm 1\%$ 以下

電源 100 V , 50 or 60 cps , D.C. 24 V

(iii) 電磁オシログラフ

横川電機製作所の「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 $450\ \text{mm}$ (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連動切換, 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) 10		(sec) 1			(sec) 0.1			(sec) 0.01			

(注) 最高速度 : 100 cm/sec

記録紙 178mm×60m (イーストマンコダック社)
178mm×35m (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±5cmだけ記録する

目盛線 2mm間隔でほぼ記録紙全幅に入る。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

(Ⅲ) 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 r 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

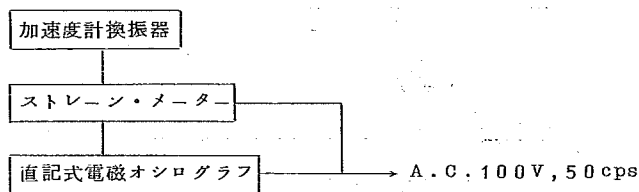
で、振動子単独で考えた電圧感度である

(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



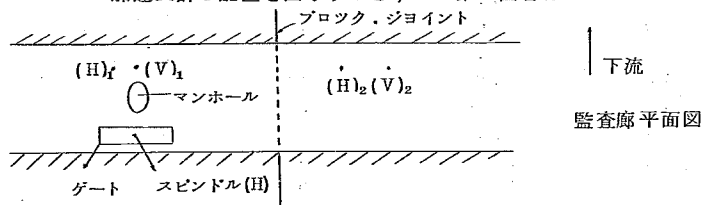
2-2 計器類の設置

観測は2回行なわれた。加速度計の配置場所は、次のとおりである。

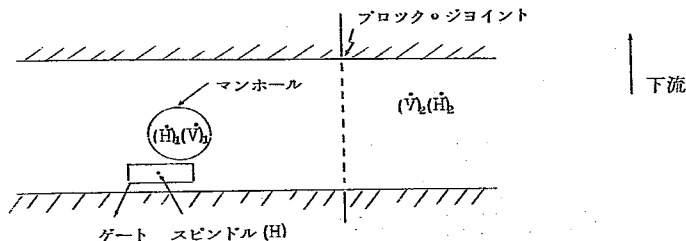
- 第1回目 スピンドル（上下流方向）
ゲートを含む堤体ブロック（上下流方向及び上下方向）
ゲートを含むブロックの隣りのブロック（上下流方向及び上下方向）
ゲート（上下流方向 2個）
- 第2回目 スピンドル（上下流方向）
マンホール内（上下流方向及び上下方向）
ゲートを含むブロックの隣りのブロック（上下流方向及び上下方向）

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個の加速度計を設置した
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個の加速度計を設置してある。

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、監査廊内のものは使用出来ず、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、監査廊内のもの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70 cmまで開けたときの振動を記録し、80 cm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80 cm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70 cm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

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	1.595
" せん断 "	8.72 (斜材を無視) または 20.9 (斜材を考慮)

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	1180	4.17
				14.40	1330	8.83
				11.50	1450	12.50
5.12	83.2	0.00	0.00	14.40	1555	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	1120	23.10	161.1	29.20
5.70	115.5	0.91	116.50			33.30
13.68	1190	2.72	114.50			37.50
6.84	1310	1.27	120.30			41.60
6.26	1360	1.82	115.50			50.00
18.80	1140	4.54	100.30			62.50
13.68	1410	1.82	13100			83.40
21.62	2550	0.91	25100			91.60

(注) 240cm
を100%と
した

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になっており、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体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、各構造体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 β - F 関係図

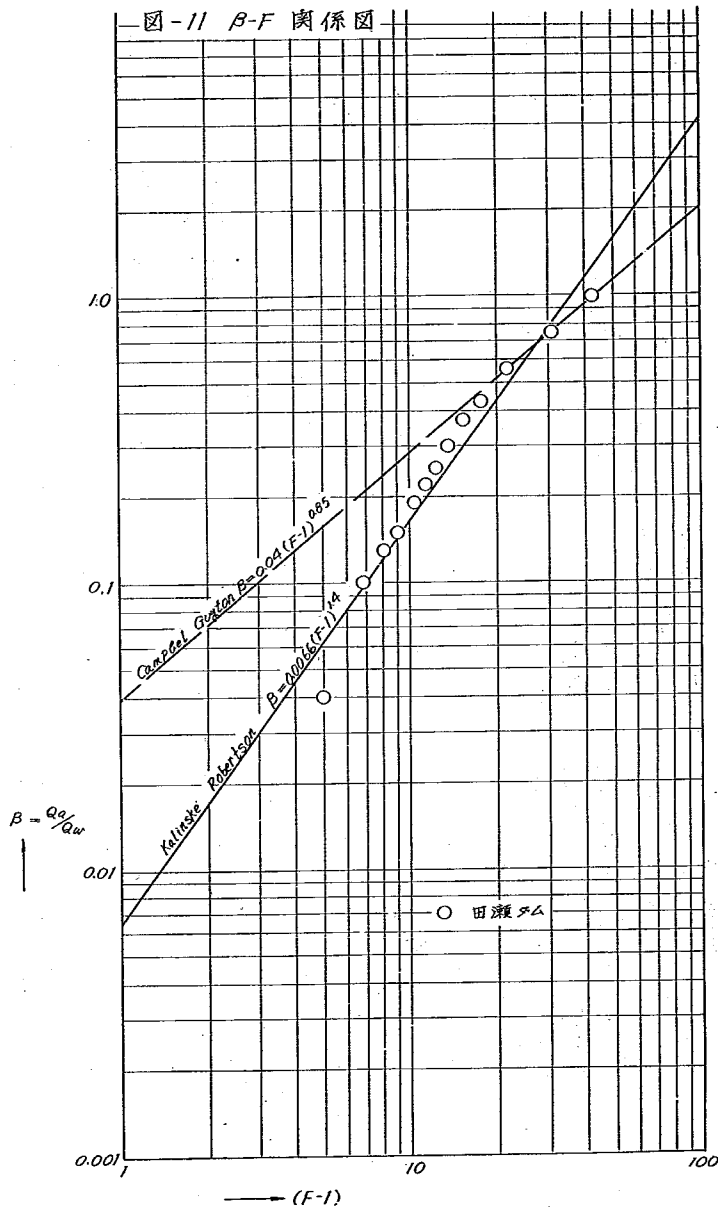


図 12-1 加速度

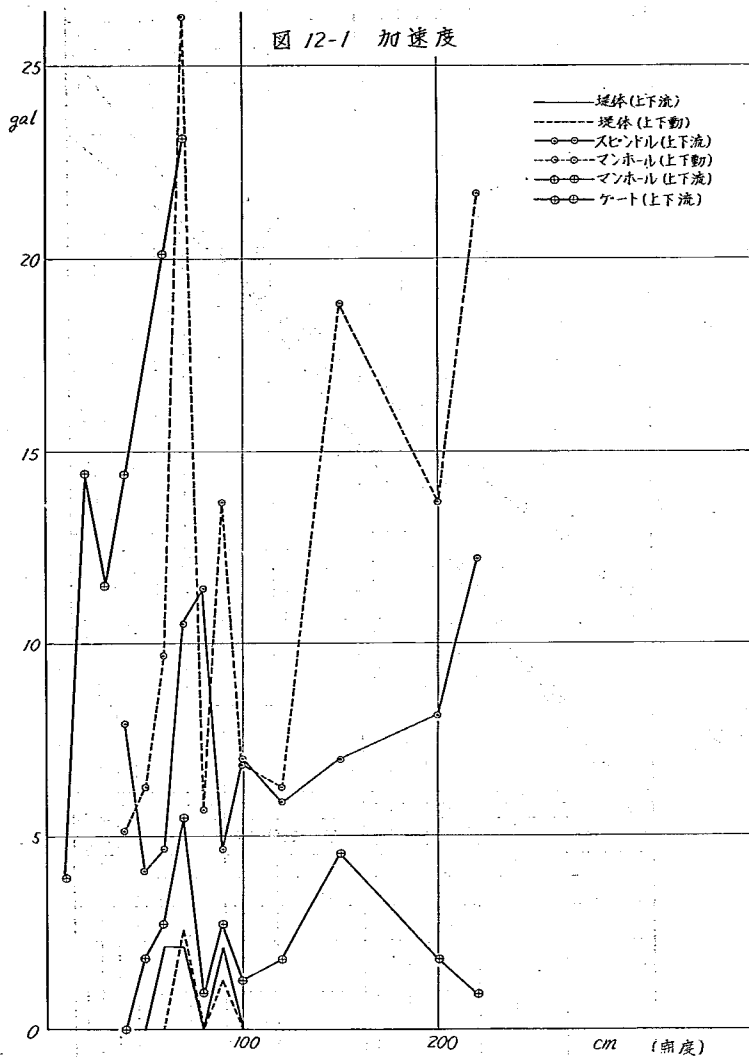


図 12-2 周波数

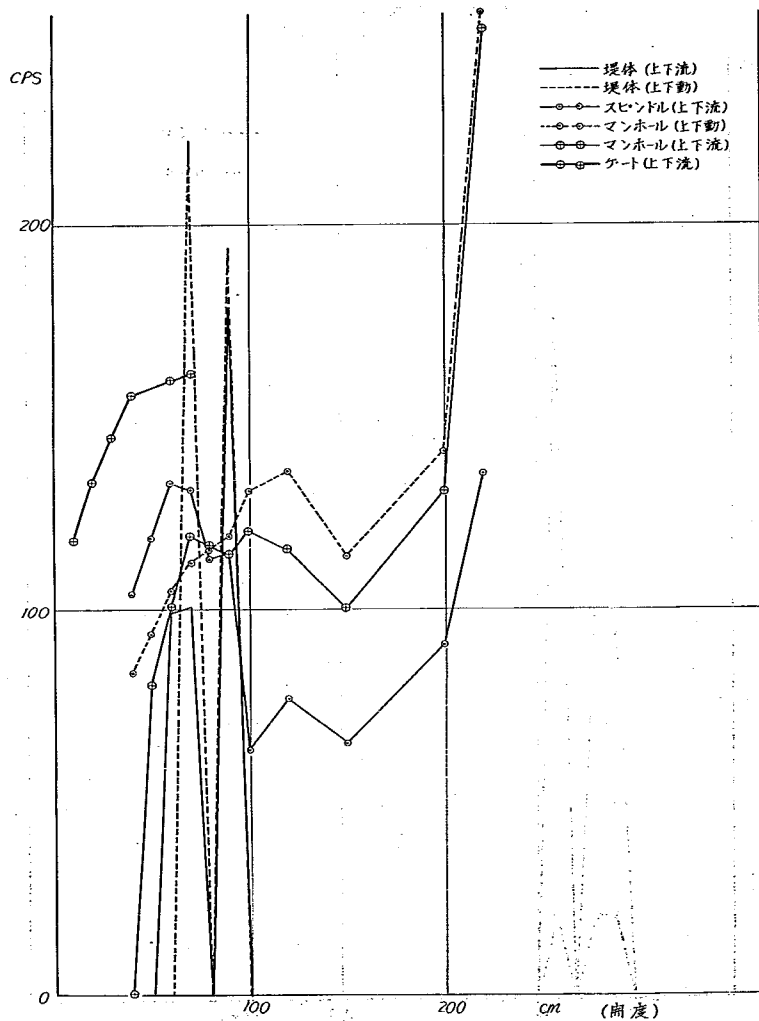


图13-1 堤体(上下流方向)

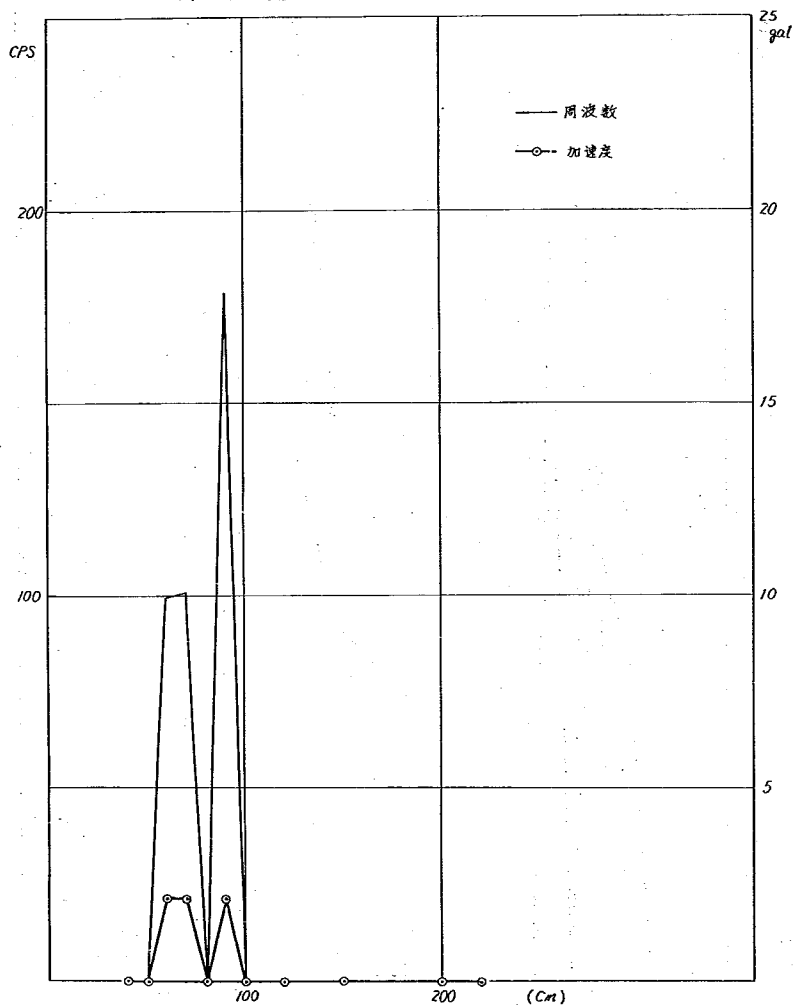


図13-2 堤体 (上下動)

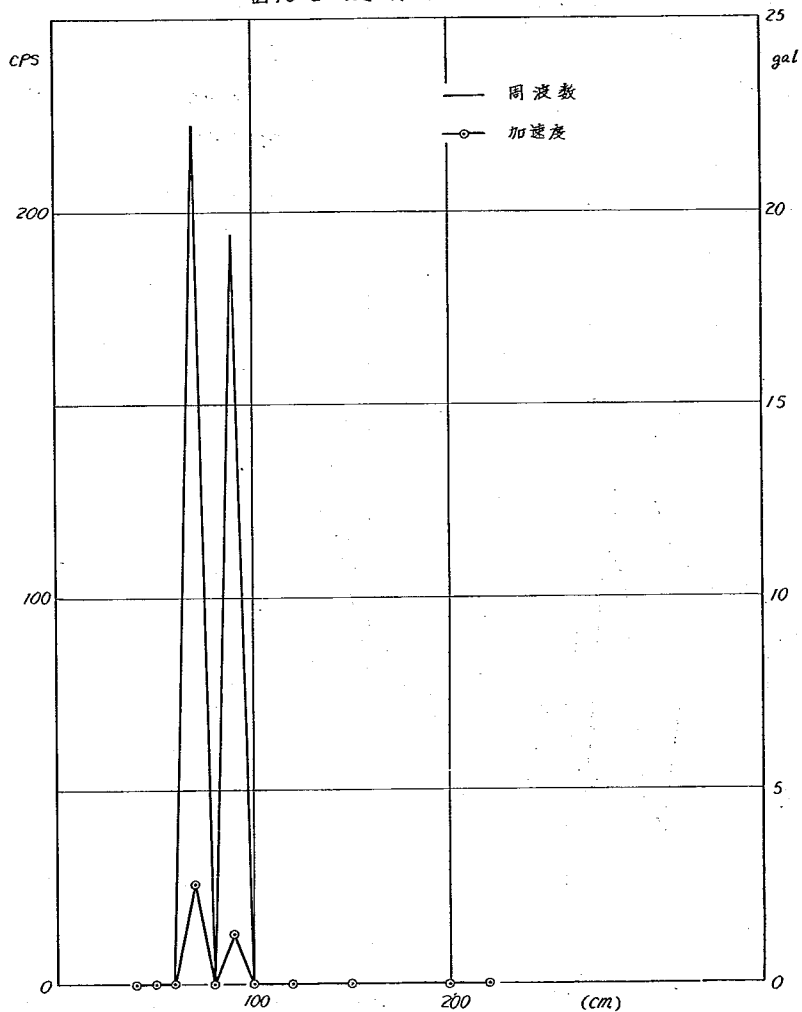


図13-3 スピンドル (上下流方向)

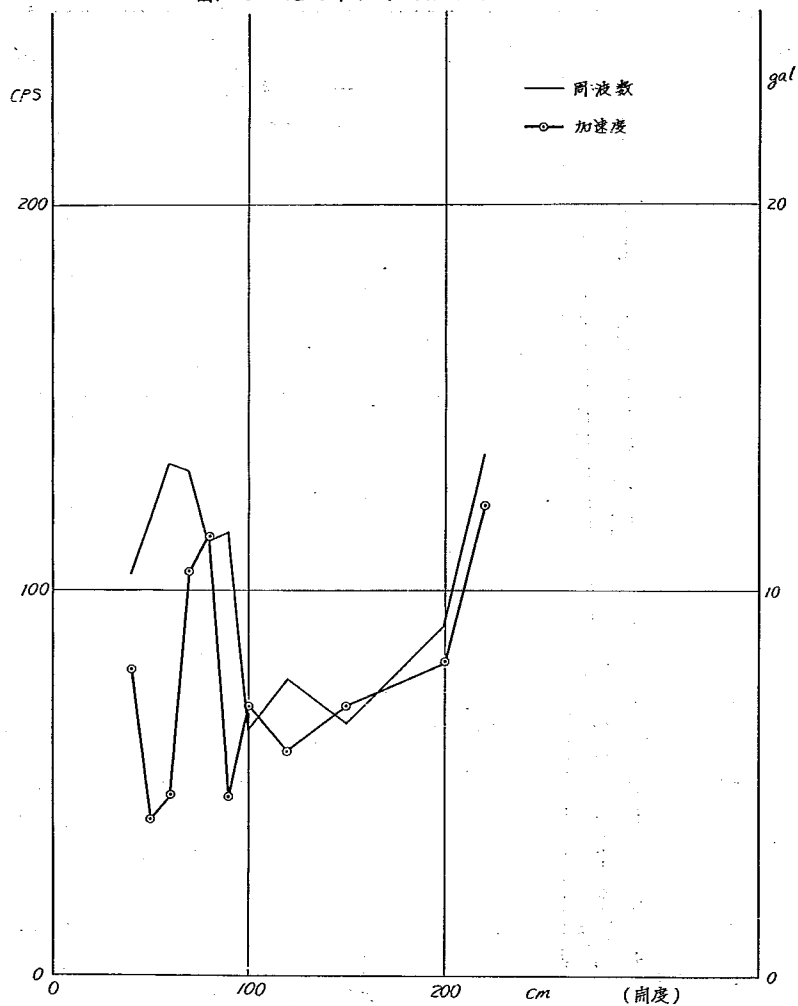


図 13-4 マンホール (上下動)

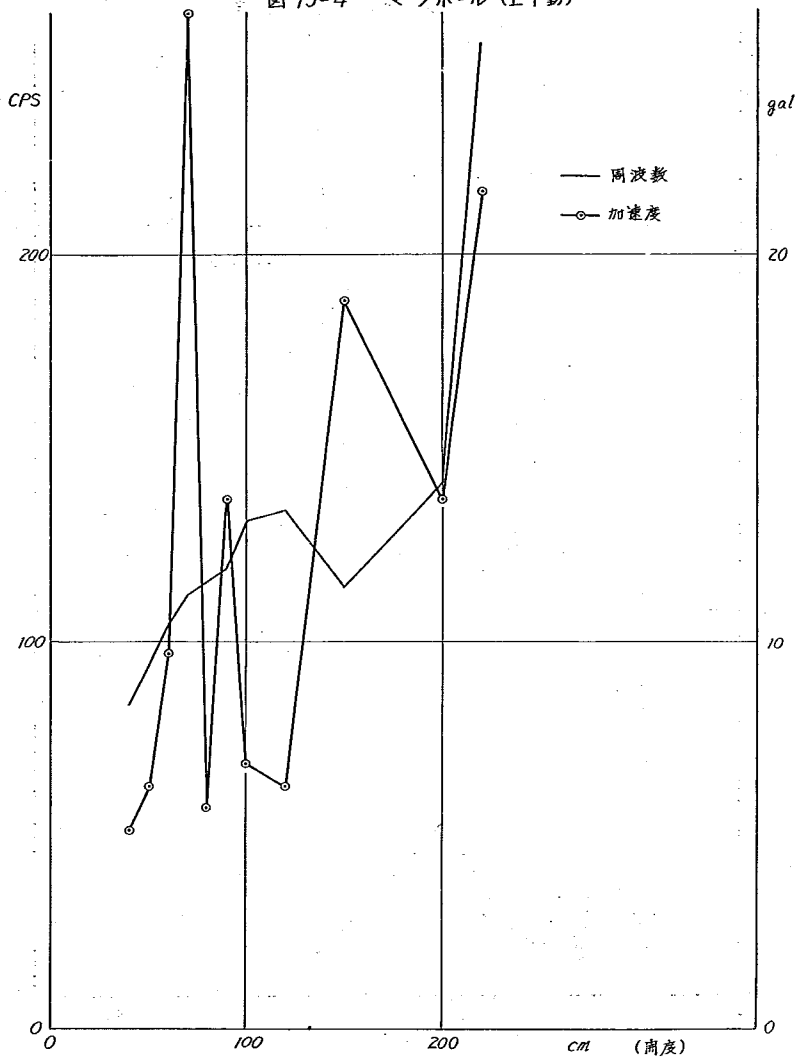


図 13-5 マンホール (上下流方向)

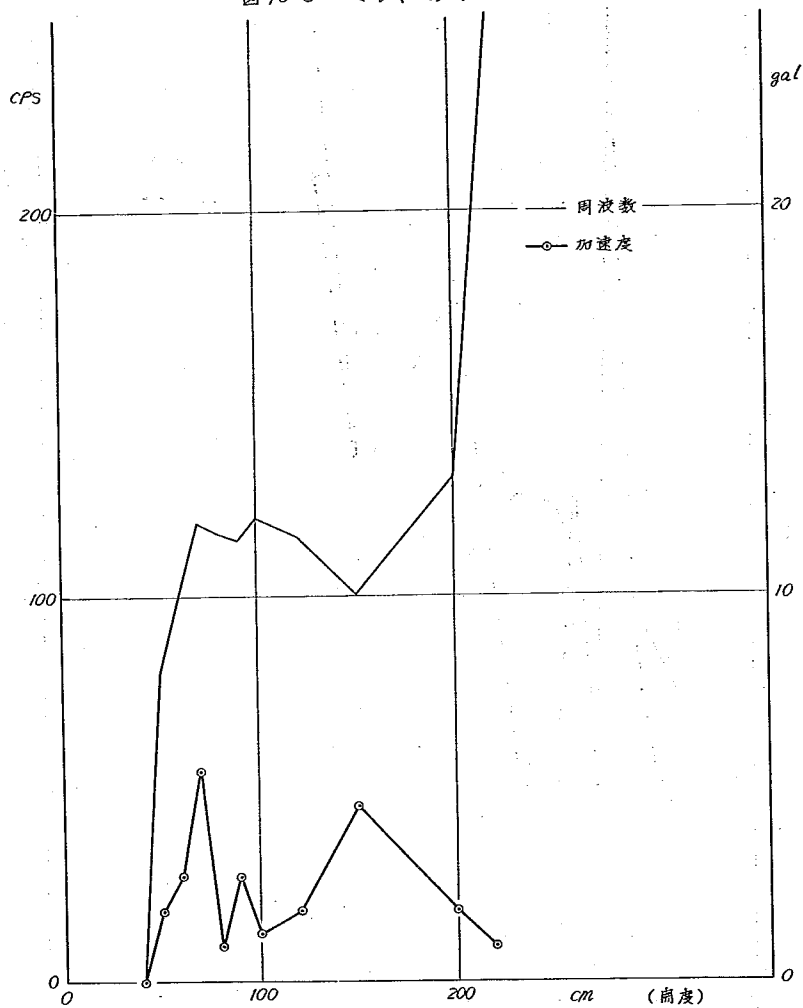


図 13-6 ゲート (上下流方向)

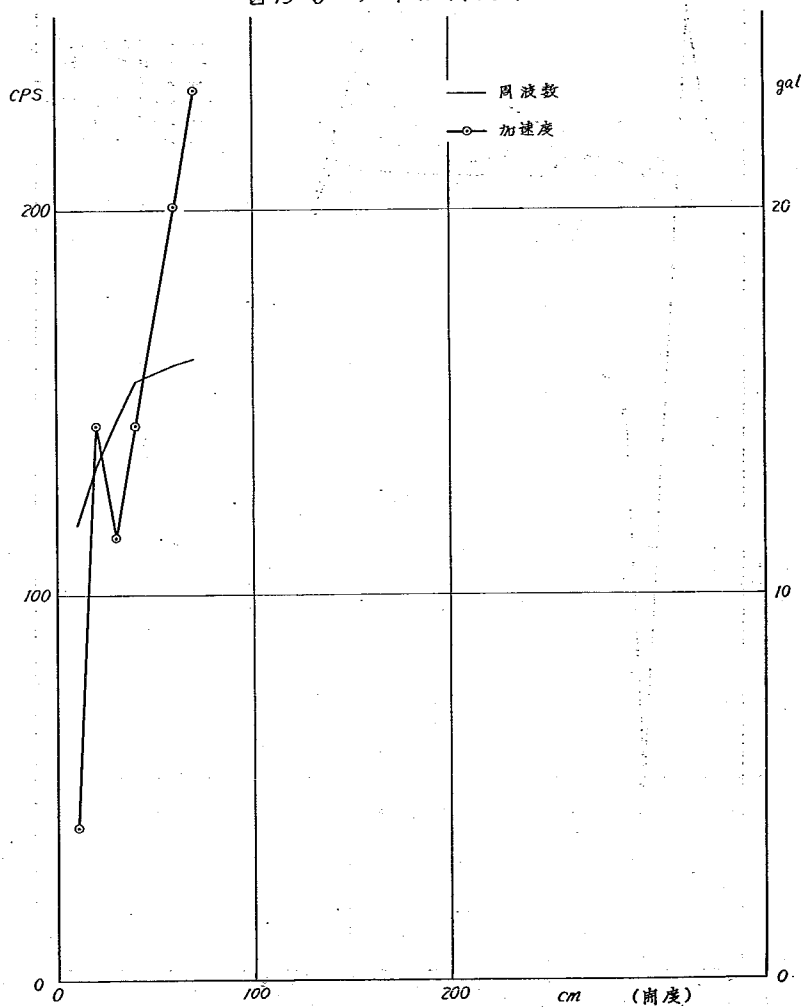


図-14. 共振倍率

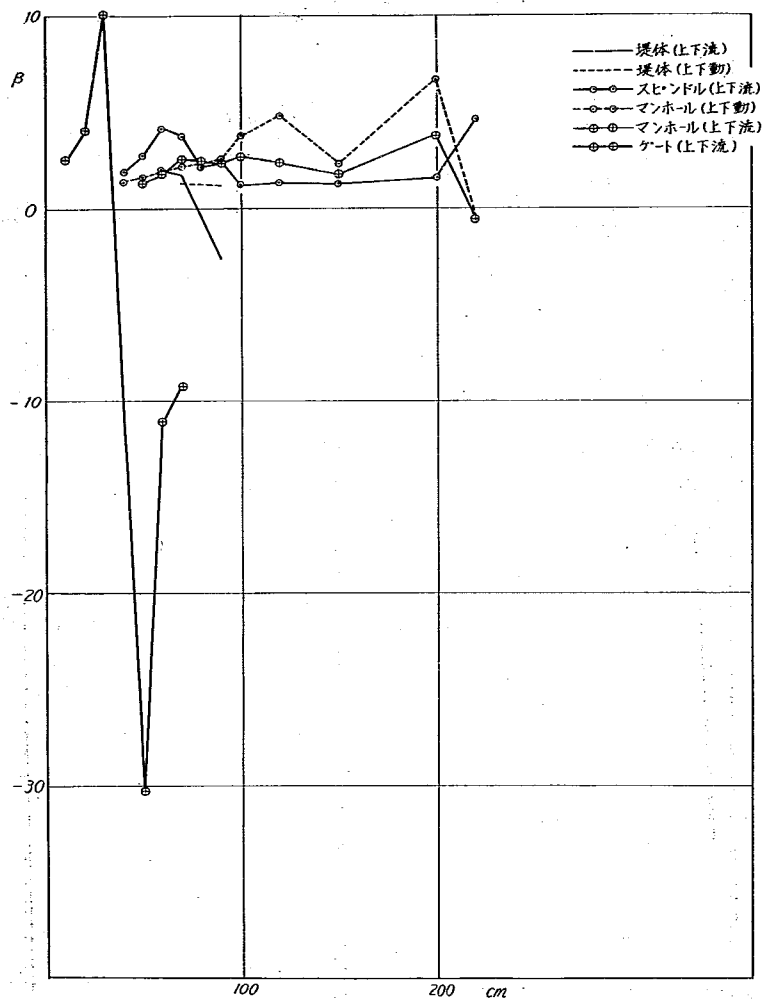
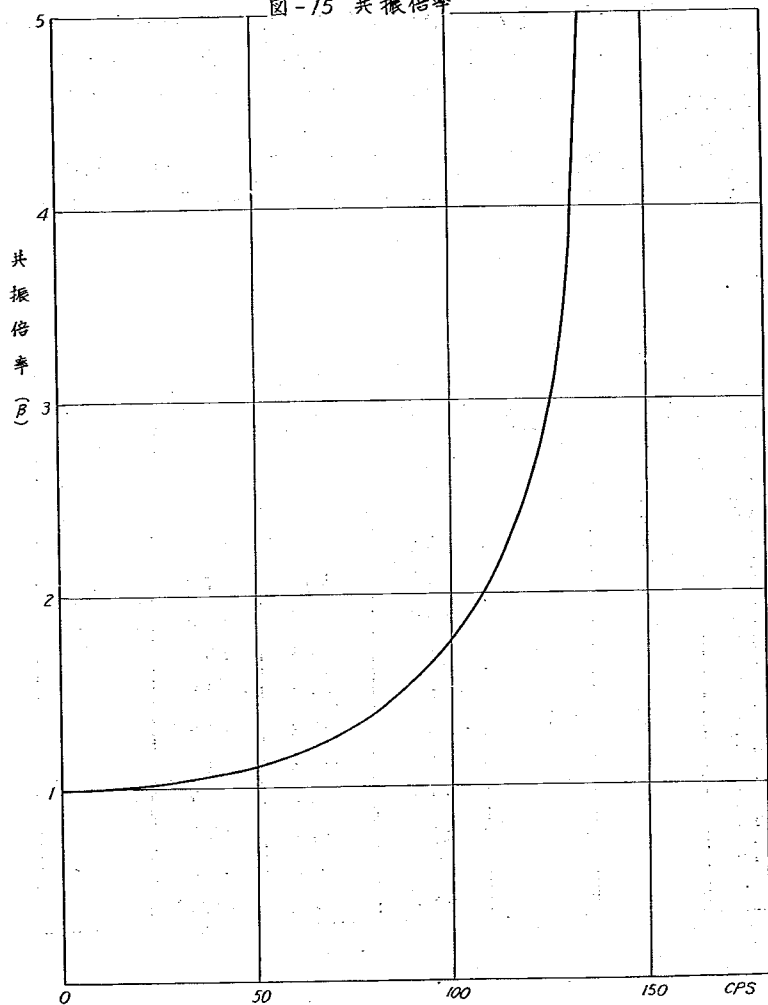


圖-15 共振倍率



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20 cm（全開度の8%）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ったが、この他、さらにゲート機構上の問題として、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、安全性に關する十分な配慮が必要であろう。

○ 終りにあたって、本觀測に御協力いただいた東北地建田瀬ダム管理所長、成田敏行氏はじめ関係者各位に謝意を表する。