

## 高圧ローラゲートの振動に関する実験的研究

## AN EXPERIMENTAL STUDY ON VIBRATION PHENOMENA OF THE NEW FIXED WHEEL GATE UNDER THE HIGH HEAD DAM

荻原国宏\*・菅原一昌\*\*・白毛良男\*\*\*・千葉幸憲\*\*\*\*

By Kunihiko OGIHARA, Kazumasa SUGAWARA, Yoshio SHIRAGE and Yukinori CHIBA

A new type of fixed wheel gate has been developed for regulating gate of high head dam. Through a series of experimental and theoretical analysis, it has been clarified that the new type of gate was applicable in real gates and was proved stable in dynamic behavior against vibrations due to the fluctuating water pressure without any divergences. The stability has been evaluated both by model tests and numerical analysis. The structure has been analysed by a model subjected to the distributed loads which were measured on a model of new type gate through laboratory tests. The static loads are also measured and analysed same as dynamic loads. The results about the responses of gate vibration system by dynamic loads which are measured in model tests, show good coincidence with the measured data in field gate. Therefore the method as shown here gives good solutions for estimating the forced vibration phenomena of gate system.

Keyword: gate vibration, fixed wheel gate, forced vibration

## 1. まえがき

ローラゲートは扉体の受ける水圧力を、ローラを介して戸当り金物により支持する構造であるため、水路側壁に戸溝を必要とし、場合によってはこれが障害の原因となることがある。

高水圧下で流量調節放流を行う場合、従来型ローラゲートでは扉体底部からの放流水脈が戸溝内またはそのごく近傍で大気中に放流されるので、圧力の解放に伴う水脈の水平方向への拡散角が大きく(60~80度)なり、そのため高速エネルギーをもった水脈が戸溝内に突入し上昇流となってローラに衝突して好ましくない振動を与えたり、キャピテーションを発生させるなど不具合な点がある。したがって、高圧調節放流用としてのローラゲートは、下流に導水路を必要としないアーチダム用に使われるにとどまっている。

新型ローラゲートは、高圧調節放流用として下流側に

\* 正会員 工博 東洋大学教授 工学部土木工学科  
(〒350 川崎市鯉井中野台2100)

\*\* 正会員 日本鋼管(株)鋼構造営業部  
(〒100 千代田区丸の内1-1-2)

\*\*\* 日本鋼管(株)鋼構造建設部水門計画室長  
(〒230 横浜市鶴見区末広町2-1)

\*\*\*\* 工修 日本鋼管(株)鋼構造建設部水門計画室主任部員  
(同上)

導水路を必要とする設備に対してもローラゲートの設置を可能とするために開発されたものであり、上記ローラゲートの欠陥を除去したものである。本ローラゲートについては、参考文献<sup>1),2)</sup>に実験・研究について報告している。

構造原理は Fig. 1 に示すように戸溝開口部上流端から所定の距離(整流側壁長  $l$ )だけ上流にゲートリップおよび水密機構を位置させた構造である。この場合、放流水の水平拡散を大幅におさえることができ、水理特性もよく、あたかも戸溝がないように整流されて放流できる構造である。

高圧ゲートの振動は放水時の水流の脈動による圧力変

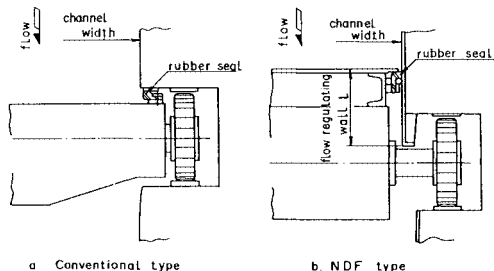


Fig. 1 Cross sectional comparison of conventional and NDF (fixed wheel) gate.

動によって惹起する。アーチダムに用いられている高圧バーチカルゲートは、ゲート開度が小さいときはゲート扉体のたわみ振動が主であり、ゲートが全開近くなるとメインローラ軌条の振動が卓越して固有振動数が小さくなる。アーチダム以外のダム高圧ゲートに用いられているラジアルゲートの振動数はゲートの開度に関係なくほぼ一定であり、脚柱の振動が大きく扉体の振動は微小である。脚柱の振動制御には構造または剛性をまして対処している。実験により本ローラゲートは開度に関係なく扉体のたわみ振動が主であるのでむしろラジアルゲートの扉体の振動に近いといえる。

本ローラゲートの振動に関し実験的に検討したので以下にその概要を報告する。

なお、新型ローラゲートは Non-Dispersed Flow Roller Gate (非拡散流ローラゲート) と命名し、NDF ローラゲートとよんでいる。

## 2. 実験装置および実験方法

模型のゲートは上下可動できるようにし、放流管模型とは独立した支持台に吊り下げた。実験装置の関係より 1/14 の幾何学的相似とした。

実験方法としては Fig. 2 に示すようにローラゲートの模型扉体に所定の 4 か所 (No. 1~No. 4) に圧力センサ (定格容量 0.2 kgf/cm<sup>2</sup>, 非直線性 1% FS) を取り付け圧力変動を測定した。この圧力変動を実物に換算して、実物大に想定されたゲートに作用させ応答解析を用いて、ゲートの振動を解析し検討した。

圧力変動値は、増幅器を経てデータレコーダにその波形を記録した。

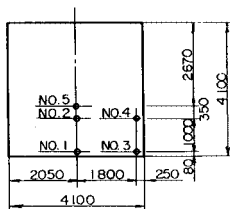


Fig. 2 Location of pressure sensors.

## 3. 相似律

模型実験は、模型で起こった現象から実物での現象を推論しようとするものであるから、両者の現象が幾何学的に相似であるばかりでなく、力学的にも相似でなくてはならない。この種の実験では流れにおける諸量のうち、重力の影響が支配的であるとされるため、模型と実物との重力と慣性力の比を同一と考え、実物と模型との間でフルード数を一致することにより両者の力学的相似

Table 1 Scale ratio.

item	dimension	scale ratio
length	L	n
velocity	L T <sup>-1</sup>	n <sup>1/2</sup>   : √14 = 0.2673
discharge	L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup>	n <sup>5/2</sup>   : √14 <sup>5</sup> = 1.3636 × 10 <sup>-3</sup>
pressure	ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup>	n
time	T	n <sup>1/2</sup>   : √14 = 0.2673

が成り立つ。このフルードの法則に従い主な諸量の縮率の関係は Table 1 のようである。

本実験の場合、流れの乱れを主として受ける振動が主体と考えられるので、水理模型実験により扉体に作用する変動圧の測定を目的とし、扉体の弾性相似を満足させる必要はないと考えられる。しかし、この相似律を用いることにより、水理模型実験では得られなかった放流時の原形の扉体の振幅を計算することができる<sup>3)</sup>。

条件として、

$$\left( \frac{\rho \cdot g \cdot A \cdot L^3}{EI} \right)_m = \left( \frac{\rho \cdot g \cdot A \cdot L^3}{EI} \right)_p$$

ここに、

$\rho \cdot g \cdot A$  : 単位径間当たりの重量

$L$  : ゲート径間

$EI$  : 曲げ剛性

である。実物 ( $p$ ) と模型 ( $m$ ) を同一形状、同一比重の材料で作ると、弾性相似を満足する模型と実物とのヤング率  $E$  の比は、

$$\frac{E_m}{E_p} = \frac{L_m}{L_p} = n$$

となる。本実験では同一材料を用いており、模型の剛性は、実物の 1/n、すなわち 14 倍の剛性を有していることになる。これは模型の剛性が非常に大きく、扉体を固定とみなしてもよいと考えられる。したがって模型実験で計測した圧力変動値は固定壁に作用する流体固有の圧力変動と等しくなっているといえる。

なお、本報告書で取り扱う数値はすべて実物に換算した値である。

## 4. 圧力変動の測定結果

実験によって、貯水池水位 WL 114 m および WL 125 m、ゲート開度  $\alpha = 10\% \sim 90\%$  について、ゲートリップ面の圧力変動を測定した。

圧力変動に関しては、高水頭・大開度になるに従って変動値が大きくなる傾向を示し、同一条件ではゲートリップ面 (No. 1 および 3) が大きく、ゲート中央部 (No. 2 および 4) で小さい値となっている。変動圧の大きい WL 125 m 時点での波形の一部を Fig. 3 に示す。図中の数値は実物に換算した値であり、模型の実測値は ( ) 内に示している。

圧力変動の最大値は、WL 125 m、ゲート開度 90% の

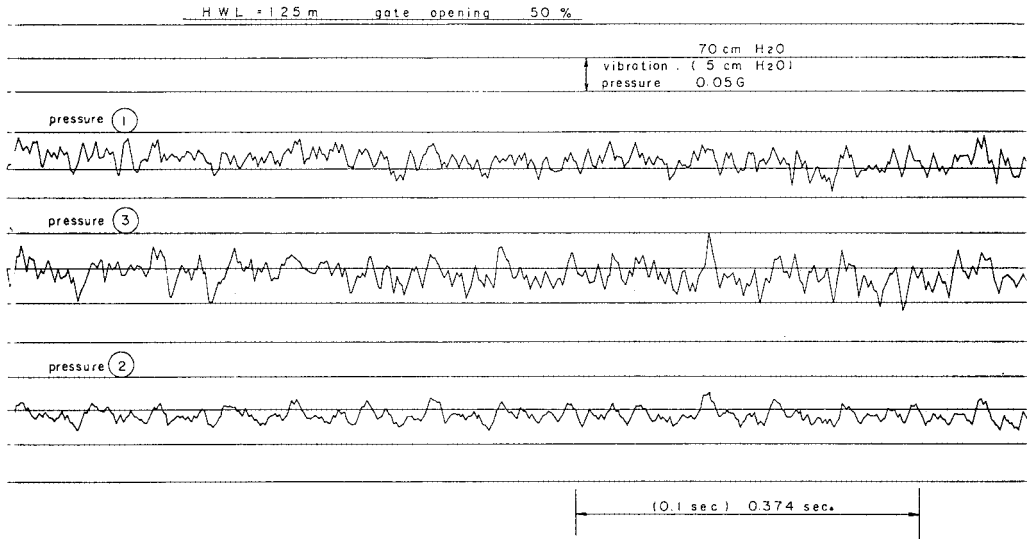


Fig. 3 Fluctuating pressure at the gate.

場合に発生しており、その値は  $0.109 \text{ kgf/cm}^2$  ( $10.69 \text{ kN/m}^2$ ) であった。なお、No. 4 センサーは計測の際バランスがとれなかったため、変動波形より割愛している。

### 5. ゲートの固有振動解析

圧力変動によるゲートの応答振動を求める前に、実物のゲートの固有振動を数値計算により調査した。空気中での固有振動、片面接水での固有振動を有限要素法を用いた 3 次元汎用構造解析プログラム<sup>4)</sup>を用いて計算した。

振動の一般式は

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = R(t)$$

固有値は

$$M\ddot{u} + Ku = 0$$

であり、サブスペースイテレーション法により求めた。ただし、 $M$ ：質量、 $u$ ：変位、 $C$ ：減衰定数、 $K$ ：ばね定数、 $R(t)$ ：外力である。

振動解析は Table 2 の 3 種類のゲート開度に対して行った。

ケース 1 および 2 は水圧により全ローラが戸当り金物に接しているモデルであり、ケース 3 は水圧が扉体の底面のみ作用し、扉体が反転しており、最下部のローラと上部のフロントローラが戸当り金物に接しているモデルである。

各ケースとも、空中振動と接水振動は同一の境界条件

であり、接水振動では扉体の上流側の水を付加質量として考慮している。

#### (1) 解析モデル

新型ローラゲートは多数の平板および骨組部材で構成されているので、シェル要素・骨組要素・境界要素としてモデル化を行った。

骨組要素としての桁は、その中立軸を通る一本の直線とみなすので、同一平面上にない骨組構造をモデル化する場合、要素間に比較的剛性の大きいダミーの連結材(三次元骨組要素)を設け実物に近づけた。

Fig. 4 にゲートの略図を示す。

境界条件としてケース 1・2 すなわち 10%、50% 開度の場合には、 $X$  方向(扉体の左右方向)は片側 2 個のサイドローラでばね支持、 $Y$  方向(扉体の上下方向)は片側 5 個のローラシャフトで支持、ケース 3 すなわち 90% 開度の場合には、 $X$  方向・ $Y$  方向は上記と同様であるが、 $Z$  方向のみ異なり最下部のローラシャフトで支持し、上部はフロントローラでばね支持となる。

計算に用いられた断面性能は Table 3 のとおりである。

#### (2) 付加質量

固有振動数を求めるために、(1) でモデル化した部材以外の部材を付加質量として節点に作用させた。水中振動の場合は付加水質量を求め節点に作用させた。

接水している構造物は、流体の影響により固有振動数が低下する。これは物体の表面に加わる流体力が付加水質量として作用したためである。振動解析を行う場合、この付加水質量の正確な算定が必要となる。本来この種

Table 2 Vibration analysis conditions.

case	condition	in air	in water	gate opening
1		1-A	1-W	10 %
2		2-A	2-W	50 %
3		3-A	3-W	90 %

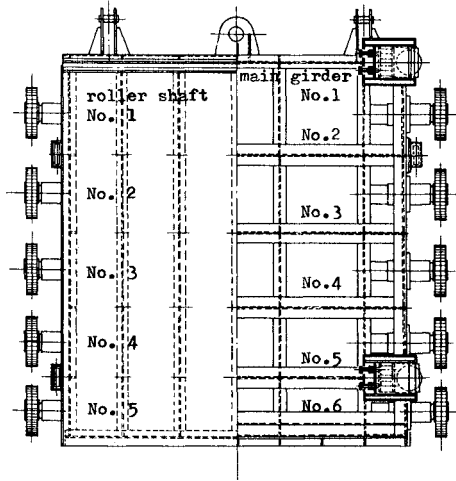


Fig. 4 Front view of gate.

の問題は流体と弾性体との連成振動となり、厳密解を得るのが相当困難である。たとえば船体の振動に関しても簡易式を用いるのが実情であり、本解析でもその手法にならった。

付加水質量の算出方法は参考文献<sup>5)</sup>による。扉体に作用する単位面積当たりの付加水質量は次のようになる。

$$m_w = \rho_w \cdot l \cdot \xi$$

$$= 1.02 \times 10^{-6} \times 435 \times 0.454$$

$$= 2.0152 \times 10^{-4} \text{ kgf/cm}^2 \quad (1.9762 \times 10^{-2} \text{ kN/m}^2)$$

ただし、 $\rho_w$ ：水の単位体積当たり質量

$l$ ：節線間距離…「側壁の影響が最も大きくなる0節モードの場合常に  $l=b$  (ゲート扉

Table 3 Section dimensions.

item	element	AX cm <sup>2</sup>	IX cm <sup>4</sup>	IY cm <sup>4</sup>	IZ cm <sup>4</sup>
skin plate	rectangular shell				
main girder ①	3dimensional bar	156.6	288.0	163 863	1692
" ②	"	238.8	492.6	262 973	7823
" ③	"	265.2	1584.6	274 960	5613
" ④	"	181.2	313.8	174 817	11487
side girder ⑤	"	156.6	288.0	163 863	2892
diaphragm ⑥	"	125.6	87.1	120 120	1 073
" ⑦	"	178.8	312.6	173 992	1 698
roller shaft ⑧	"	452.4	325.72	16 286	16 286
sub-beam ⑨	"	37.66	7.745	4050	294
" ⑩	"	44.07	18.625	4 180	306
connector ⑪	"	4.0 x 10 <sup>4</sup>	2.0 x 10 <sup>6</sup>	2.0 x 10 <sup>6</sup>	2.0 x 10 <sup>6</sup>
" ⑫	"	6.0 x 10 <sup>4</sup>	3.0 x 10 <sup>6</sup>	3.0 x 10 <sup>6</sup>	3.0 x 10 <sup>6</sup>
cylinder ⑬	boundary	case 1	kx=56 128 kgf/cm(55043 KN/m)		
		2	20 980 " (20574 " )		
		3	24 582 " (24107 " )		
front roller ⑭	"	case			
		3	kx=8212.5kgf/cm(8053.7N/cm)		
side roller ⑮	"	case 1			
		2	kx=2825 kgf/cm		
		3	(2770 N/cm)		

AX : sectional area  
 IX : polarmoment of inertia  
 IY : geometrical moment of inertia  
 IZ : " "

体高) とする]

$\xi$ ：接水条件  $C_w$ ・防撓材  $C_s$ ・開口  $C_h$ の有無を考慮した付加水質量係数

$$\xi = \xi_1 \times C_w \times C_s \times C_h$$

$$= 0.454 \times 1 \times 1 \times 1 = 0.454$$

(3) 固有振動数

各ケースごとの空中および片面接水での固有振動数を求め結果を Table 4 にまとめている。またそれぞれのモードをプロットしたが Fig. 5 にケース 2 の場合について示す。図中の点線で示しているのがメッシュ図であり、

Table 4 Natural frequencies in air and water.

case 1 (gate opening 10%) Hz		
mode	in air	in water
1st	2.825	2.825
2nd	3.472	3.472
3rd	7.375	7.374
4th	55.09	45.28
5th	84.41	46.48

case 2 (gate opening 50%) Hz		
mode	in air	in water
1st	2.825	2.825
2nd	3.472	3.472
3rd	4.535	4.535
4th	55.06	47.13
5th	84.38	55.78

case 3 (gate opening 90%) Hz		
mode	in air	in water
1st	2.819	2.819
2nd	3.469	3.469
3rd	4.785	4.783
4th	5.052	5.050
5th	15.73	15.72
6th	63.40	52.28

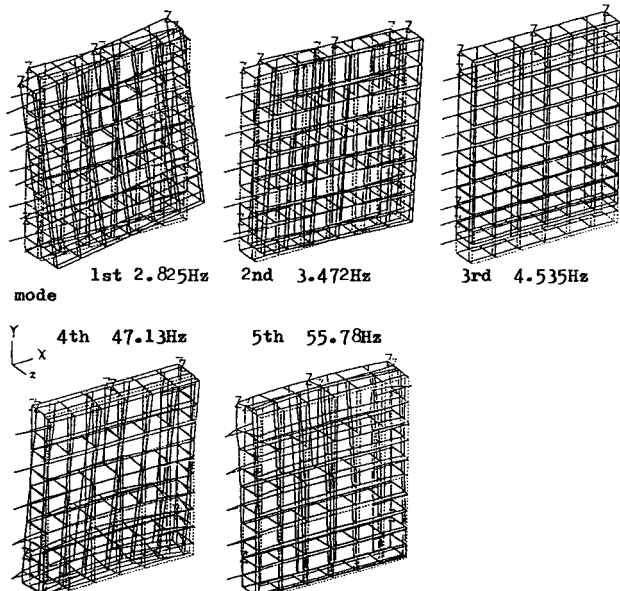


Fig. 5 Vibration mode in water.

実線がモード図である。

ケース1および2の場合、1~3次モードがXY平面で剛体振動をしており、片面接水の条件でも付加水質量が作用せず空中での固有振動数と同じ値となっている。また、4次モード以上が弾性体振動であり、片面接水の場合、付加水質量の影響により空中での固有振動数より低下している。その低下率はモードにより異なっている。ケース3の場合、1~4次モードが剛体振動をしており、5次モード以上が弾性体振動である。ケース3は開度90%であり、流体に接している部分が少なく付加水質量の影響も小さい。

6. ゲートの応答解析

有限要素法による3次元汎用構造解析プログラム<sup>4)</sup>を用いて応答解析を行い、ゲートの振動特性を調べた。応答解析は直接積分法を用い、開度10, 50, 90% (ケース1, 2, 3)の3ケースに対して行った。

直接積分法はウィルソンシータ法を用いており、時増分 $\Delta T$ は0.004秒とした。

溶接構造のゲートの減衰係数は普通0.03~0.05の値がとられるが、他の高圧バーチカルローラゲートの実測値より扉体の前後方向の減衰係数として0.03<sup>6)</sup>を採用した。

(1) 入力波形

応答解析に用いる外力は4. で得られた実測値を大型計算機用に作成し、実物の圧力に変換後、ゲート開度を考慮してスキンプレート前面の各節点に作用させた。

圧力変動はダム水位とゲート開度が同じ場合でもスキンプレートのおおの位置でやや異なった値を示しているが、振動波形もやや同じような形を示しており、結果的に大きな違いが生じないと考え、また、計算を簡単にするために次の値を採用した。

- 1) 水位は変動幅の大きいHWL = 125 mの値
- 2) 同一開度の場合、変動幅の大きいNo.1センサの値を代表値とした。

入力波形をケース2について Fig.6 に

示す。

(2) 節点変位

各節点の変位を縦軸に時間を横軸にしてプロットしたものの一部、ケース2の場合について Fig.7 に示す。節点としてスキンプレート面の中央部の8点を取り、

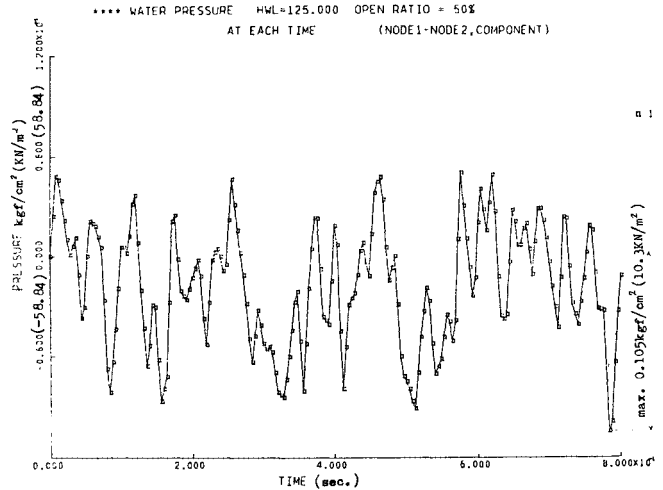


Fig.6 Input wave (case 2).

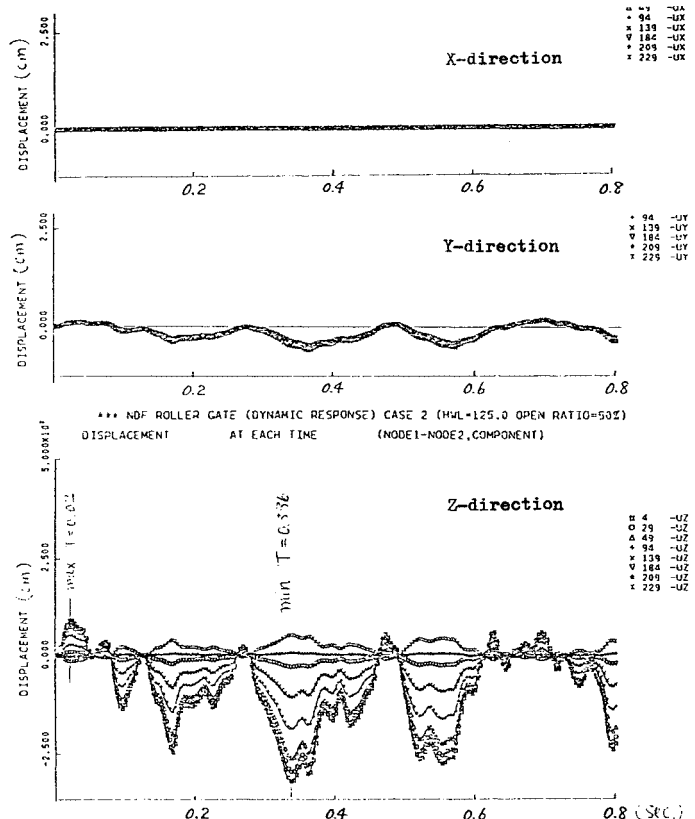


Fig.7 Dynamic response displacement (gate opening 50%).

X・Y・Z 方向の変位を示している。

X 方向には変位せず、Y 方向・Z 方向にはほぼ同じ波形で変動しており振幅は Z 方向が Y 方向のほぼ 10 倍である。いずれの場合でも振幅は発散せず、圧力変動を受けて不規則振動をしている。Z 方向の変位について着目すると、ケース 1（開度 10%）の場合は扉体が同一方向に変位しているが、ケース 2（開度 50%）の場合は No.1 主桁が他の桁と逆方向に変位し、ケース 3（開度 90%）になると No.1~4 主桁が No.5, 6 主桁と逆方向に変位しており、ゲート開度による節点変位の相違がわかる。Fig.7 中、+変位は上流側、-変位は下流側の方向を示す。

最大振幅はケース 2 で発生しており、Fig.8 に示す。最大値は  $\delta_{\max}=0.032\text{ mm}$  であり、これを模型の振幅に換算すると、幾何縮尺  $n$ 、弾性相似による剛性比  $n'$  とすれば

$$\delta_m = \delta_{\max} \times n \times n' = 0.032 \times (1/14)^2 = 0.000163\text{ mm}$$

となり工学上振幅 0 と考えられる。この解析結果から前述の 3 項において模型の扉体を固定壁とみなしたことが妥当であったと考えられる。

扉体全体の振動モードを把握するために、ある時刻における節点の変位をプロットしたが、ここでは Fig.8 にスキンプレート面のリップ位置が Z 方向に対して最大となる時刻の振動モードを示した。最大および最小になる時刻は Fig.7 の節点時刻歴に示している。

Fig.8 の中で点線で示しているのがメッシュ図であり、実線がモード図である。圧力変動による振動の振幅は非常に小さいので、振幅のスケールを 10000 倍し、図中に示した。

応答解析より得られた振動モードは数値計算よりの固有振動モードとほぼ相似している。変位・振動数もオーダー的に合っている。

### （3）節点加速度

節点変位と同様に各節点の加速度の時間履歴をプロットしたものの一部、ケース 2 について Fig.9 に示す。

力と加速度との間には  $F=m \cdot a$  の関係があり、加速度の波形は外力波形とよく一致している。

加速度の最大値はケース 1 の 10% 開度で発生しており、その値は  $28\text{ cm/s}^2$  であるが、部材力の最大値はケース 2 の 50% 開度で発生している。これは、ゲ-

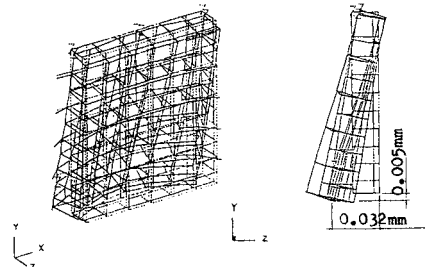


Fig.8 Dynamic response mode at 0.336 sec. elapsed time (case 2-HWL 125 m gate opening 50%).

ト開度が大きくなると変動圧が増加するが受圧面積が減少し、結局、作用する外力が小さくなったためと考えられる。

### （4）部材応力

応答解析の結果得られた部材力の時間履歴をプロットしてみたが、部材力の波形は節点変位の波形とよく一致した。

この部材力より主桁の各応力を求めた結果を最大応力

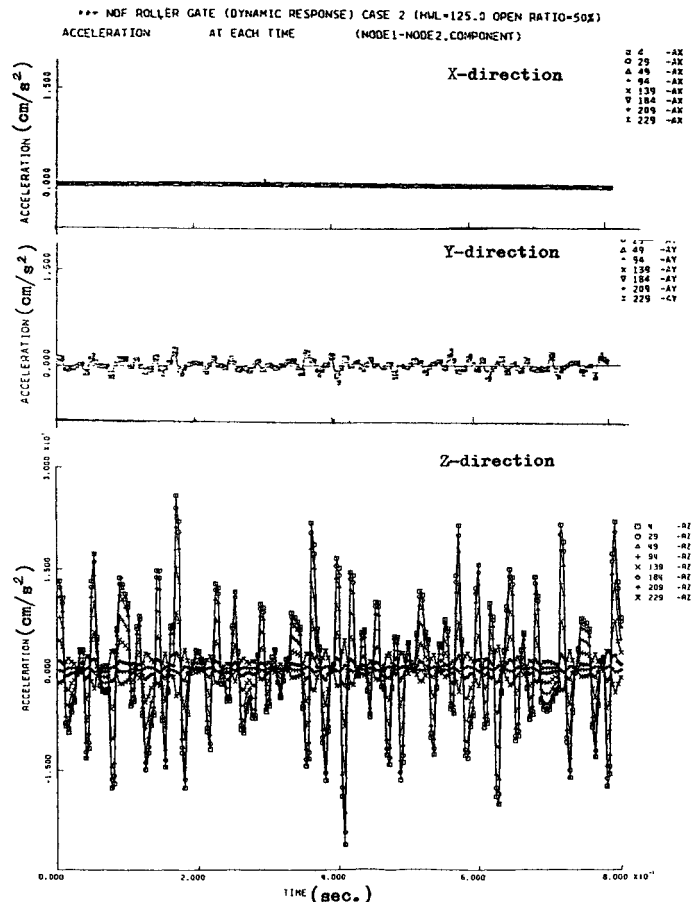


Fig.9 Dynamic response acceleration (case 2).

Table 5 Forces and stresses in main girders (case 2).

main girder	F1 tf normal force (KN)	F2 tf shearing force (KN)	F3 tf shearing force (KN)	M1 tf-m torque (KN-m)	M2 tf-m bending moment (KN-m)	M3 tf-m bending moment (KN-m)	stress kgf/cm <sup>2</sup> (KN/m <sup>2</sup> )	
	$\sigma_N = \frac{F1}{A}$	$\sigma_b = \frac{M2}{Z}$						
1	0.053 (0.520)	0.001 (0.010)	0.034 (0.333)	0.0	0.04404 (0.43188)	0.00051 (0.00500)	0.3 (2.9)	1.1 (10.8)
2	0.140 (1.373)	0.003 (0.029)	0.082 (0.804)	0.0	0.08835 (0.86642)	0.00437 (0.04286)	0.6 (5.9)	1.3 (12.7)
3	0.449 (4.403)	0.018 (0.177)	0.013 (0.127)	0.0	0.17874 (1.75284)	0.00170 (0.01667)	1.7 (16.7)	2.5 (24.5)
4	0.771 (7.561)	0.020 (0.196)	0.134 (1.314)	0.0	0.33899 (3.32436)	0.00066 (0.00647)	2.9 (28.4)	4.9 (48.1)
5	0.982 (9.630)	0.005 (0.049)	0.133 (1.304)	0.0	0.44380 (4.35219)	0.00502 (0.04923)	3.7 (36.3)	6.5 (63.7)
6	0.779 (7.639)	0.010 (0.098)	0.096 (0.941)	0.0	0.34232 (3.35701)	0.00792 (0.07767)	4.3 (42.2)	7.8 (76.5)

Table 6 Forces and stresses in roller shafts.

shaft	case 2 (50%)		
	force		stress kgf/cm <sup>2</sup> (KN/m <sup>2</sup> )
	F3 tf shearing force (KN)	M2 tf-m bending moment (KN-m)	$\sigma_b = \frac{M2}{Z}$
1	0.065 (0.637)	0.02633 (0.25821)	2.0 (19.6)
2	0.206 (2.020)	0.08343 (0.81817)	6.1 (59.8)
3	0.465 (4.560)	0.18833 (1.84689)	13.9 (136.3)
4	0.736 (7.218)	0.29808 (2.92317)	22.0 (215.7)
5	1.087 (10.660)	0.44024 (4.31728)	32.4 (317.7)

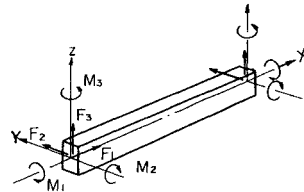


Fig. 10 Coordinate system of 3-dimensional bar element.

の発生するケース2について Table 5 に示した。同様にローラシャフトの部材力よりの応力が Table 6 である。いずれの場合でも圧力変動によって生ずる応力は小さい値となっている。なお、部材力の関係を Fig. 10 に示す。

7. 静的解析

変動圧によって生ずる応力がゲートに対して有害か否かを検討するため、前述と同じプログラムを用い静的解析を行った。モデルは固有値解析に用いたものと同一である。

荷重は扉体が全閉状態で設計水圧を受けるものとしてスキンプレートに作用させた。

主桁の部材力の解析結果を、最大応力の発生する No.3 主桁と最下主桁 No.6 について、Table 7 に示した。手計算による簡略計算によって得られた応力と比較すると、せん断応力ではほぼ同じ値であり、曲げモーメント等による直応力では簡易計算より 16~38% 小さい値である。これは簡略計算時に無視したスキンプレート・補助桁・ダイヤフラムの影響を有限要素法では考慮していることに起因していると考えられる。

同様にローラシャフトの部材力を Table 8 に示した。

簡略計算値と比較すると±6%以内にあり、ほぼ同じ値となっている。有限要素法で上部および下部のローラ反力が大きくなっているが、これは側部桁のオーバーハングによるたわみの影響によるものである。

この静的解析結果をもとに振動による応力を検討する。検討位置としては最下部の主桁中央部と最下部のローラシャフト部であるが、主桁は静的・動的の応力が小さいので、両応力が比較的大きい No.5 ローラシャフトで検討する。

ローラシャフトの断面性能は、軸径  $d=240$  mm, 断面係数  $Z=1357$  cm<sup>3</sup>, 材質 S45C, 降伏点  $\sigma_y=35$  kgf/mm<sup>2</sup> (343 MN/m<sup>2</sup>), 引張強さ  $\sigma_b=58$  kgf/mm<sup>2</sup> (569 MN/m<sup>2</sup>) である。

許容応力としては次による。

Table 8 Shearing forces (static).

shaft	tf (KN)	
	FEM	conventional calculation
1	41.962 (411.51)	39.538 (387.74)
2	38.651 (379.04)	39.164 (88.408)
3	36.986 (362.71)	38.975 (382.21)
4	37.334 (366.12)	39.053 (382.98)
5	41.270 (404.72)	39.473 (387.10)
sum	196.203 (1924.09)	196.203 (1924.09)

Table 7 Forces and stresses in main girders (static).

main girder	F1 tf(KN) normal force	F2 tf(KN) shearing force	F3 tf(KN) shearing force	M1 tf-m torque (KN-m)	M2 tf-m bending moment (KN-m)	M3 tf-m bending moment (KN-m)	stress kgf/cm <sup>2</sup> (KN/m <sup>2</sup> )	
	$\sigma_N = \frac{F1}{A}$	$\sigma_b = \frac{M2}{Z}$						
3	52,999 (519.74)	0.49167 (4.8216)	40.277 (394.98)	0.00631 (0.06188)	21.976 (215.51)	0.17555 (1.72156)	199.8 (1959.4)	319.7 (3135.2)
6	30.758 (301.63)	2.970 (29.13)	20.828 (204.25)	0.00687 (0.06737)	13.324 (130.66)	1.0553 (10.349)	169.7 (1664.2)	304.9 (2990.0)

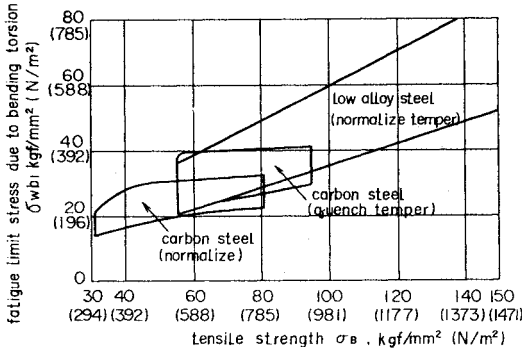


Fig. 11 Relation between fatigue limit stress and tensile strength.

1) 水門鉄管技術基準による場合

$$\sigma_{a1} = \sigma_y \times \frac{1}{2} \times 0.875 = 15.31 \text{ kgf/mm}^2 \text{ (150 MN/m}^2\text{)}$$

2) 回転曲げ疲労限度を許容応力とした場合

$\sigma_{a2} = 20 \text{ kgf/mm}^2$  (196 MN/m<sup>2</sup>)...Fig. 11<sup>7)</sup>による  
ローラシャフトの曲げ応力

静的曲げ応力  $\sigma_{bs} = M_s / Z = F_3 \times L / Z$   
 $= 1231.4 \text{ kgf/cm}^2$   
 (120.76 MN/m<sup>2</sup>)

動的曲げ応力  $\sigma_{bv} = 32.4 \text{ kgf/cm}^2$  (Table 6)  
 (3177 kN/m<sup>2</sup>)

合計曲げ応力  $\sigma_b = 1264 \text{ kg/cm}^2$  (123.96 MN/m<sup>2</sup>)  
 であるので疲労限界を考えた応力でも安全である。

8. 類似ゲート実測値との比較

本ローラゲートの振動特性と他のバーチカルゲートの振動実測値とを比較する。

同程度の規模のゲートでも質量  $M$  やばね定数  $K$  との違いにより振幅・振動数などが異なるので、単純な数値の比較では意味がないと考えたが、全体の傾向を把握するために実測値との比較を Table 9 に示した。

Table 9 Comparison of the experimental data with measured data of existing fixed wheel gate.

	NDF fixed wheel gate	Amagase dam orifice gate
type	NDF roller gate	roller gate
size	4 100 <sup>W</sup> x 4 100 <sup>H</sup>	3 590 <sup>W</sup> x 4 740 <sup>H</sup>
design depth	24.177 <sup>m</sup>	33.500 <sup>m</sup>
design force	392.406tf(KN)(3948.19)	570 tf(KN) (5590)
main girder	6	6
gate opening	5% acceleration	28 gal *1
	amplitude	0.018 mm
	60% acceleration	26 gal
	amplitude	0.032 mm
30%	acceleration	11 gal
	amplitude	0.013 mm
10%	acceleration	26 gal *2
	amplitude	0.001 mm

\*1 Acceleration and amplitude of NDF fixed wheel gate are calculated at the center of No.6 main girder.  
 \*2 Values for the orifice gate are measured at the center of the knife edge of the gate lower end when the thrusting mechanism is not working.

扉体の加速度は本ゲートとオリフィス主ゲートでほぼ同程度であり、振幅は本ゲートの方が大きい傾向にある。これは圧力変動の最大値をとってゲート全面に作用させたことによるものと考えられる。圧力変動はゲートリーフの場所によって波形・圧力がいくらか異なるので、実際の圧力変動が作用すれば振幅が小さくなるものと考えられる。

9. 考 察

ダム常用洪水吐設備に用いる流量調節用主ゲートのリーフ面に作用する動水圧を測定し、かつ有限要素法を用いて静的解析および動的解析を行い、次のような結論を得た。

(1) ゲートリーフ面に作用する圧力変動は不規則振動であり、高水頭・大開度になるに従って変動値が大きくなる。同一条件ではゲートリップ部が最も大きくなり、扉体の上部になるに従って減少する。ダム水位が HWL = 125 m の場合、最大変動圧力はケース 1 で 0.077 kgf/cm<sup>2</sup> (7.551 kN/m<sup>2</sup>)、ケース 2 で 0.105 kgf/cm<sup>2</sup> (10.30 kN/m<sup>2</sup>)、ケース 3 では 0.109 kgf/cm<sup>2</sup> (10.69 kN/m<sup>2</sup>) であった。これは扉体に作用する最大静水圧 2.4177 kgf/cm<sup>2</sup> (237.1 kN/m<sup>2</sup>) の 4.5 % に相当する。

(2) 扉体の固有振動数を空中および片面接水の条件で求めた。ケース 1 および 2 の場合、1~3 次モードの振動が剛体振動であり、いずれの場合でも最低振動数は 2.825 Hz である。4 次モード以上が弾性体振動であり、片面接水の条件でケース 1 の場合 45.28 Hz、ケース 2 で 47.13 Hz である。ケース 3 の場合、上部フロントローラがばね支持となるため 1~4 次モードの振動が剛体振動で、5 次モード以上が弾性振動であり、片面接水の条件で 52.28 Hz であった。これは本実験より得られた振動数とオーダー的に合っている。

(3) 有限要素法による静的解析の結果、主桁の静的応力は設計水圧が作用した場合で手計算による応力よりも低く、たとえば曲げモーメント等による直応力では 16~38 % 程度応力が減少している。

一方ローラシャフトの静的応力は、手計算による応力と ±6 % 程度のばらつきがあるもののほぼ同じ値となっており、許容応力に十分おさまっている。

(4) 模型実験より得られた圧力変動を実物ベースに変換し、応答履歴解析を行い、各節点の変位と加速度の振幅が発散しないことを検証した。圧力変動による振動モードはその開度における片面接水の固有振動モードとほぼ相似であり、ケース 1 で 5 次モード、ケース 2 で 4 次モード、ケース 3 では 4 次モードと 6 次モードの合成モードとなっている。

(5) 主桁の振動による最大たわみはケース 2 の



No. 6 最下部主桁に発生しており 0.032 mm であり、これは同桁の静的たわみ 1.172 mm の 2.7 % に相当する。同様に応力ベースで比較すると 2.6 % である。

ローラシャフトの最大動的応力はケース 2 の No. 5 最下部シャフトに発生しており、32.4 kgf/cm<sup>2</sup> (3177 kN/m<sup>2</sup>) である。これは静的応力の 2.6 % に相当する。

動的応力による疲労強度は応力変動の大きい最下部の主桁中央部および最下段のローラシャフトについても十分安全なものである。

(6) 水理模型実験と有限要素法を組み合わせる本ローラゲートの振動特性を調査した。この結果と既設のパーチカルゲートの振動測定結果との比較を行ったが、ほぼ同じ傾向である。

## 10. あとがき

この実験に対応する実際の主放流ゲートは大きさにいっくらか寸法の変更はあったが、実物において計測し、実験との対応を検討したいと考えている。

最後に、本研究にあたり多大のご指導ならびに実験の

遂行に終始協力していただいた方々に深く感謝する次第である。

## 参 考 文 献

- 1) 荻原国宏・菅原一昌・松山孝弘・一柳直樹：高圧ローラゲートの戸溝と放流水脈に関する研究，土木学会論文報告集，第 333 号，1983 年 5 月。
- 2) 荻原国宏・菅原一昌・松山孝弘・一柳直樹：ローラゲートの新手法とその水理実験，水門鉄管，No. 127，1981. 5.
- 3) 荒木正夫・森 正秋：弾性相似を合わせた長径間ゲート模型の振動実験について，第 23 回土木学会年次学術講演会，1967.
- 4) 内山昭一・木下文雄：構造解析システム THANKS，日本鋼管技報，No. 8，1979. 1.
- 5) 近藤 深：防撓板の接水振動における付加水質量推定法，関西造船協会誌，第 177 号，1980. 6.
- 6) 藤原敏朗・中島 功・林 栄港・大野善雄：天ヶ瀬ダムオリフィス主ゲート放流試験，発電水力，No. 78.
- 7) 日本材料学会編：金属材料疲労設計便覧，養賢堂，1978. (1986. 1. 8・受付)