

長径間シェルローラーゲートの 3次元模型実験

Three dimensional experiment on self-excited vibration of
long span shell roller gate

荻原 国宏 *
中川 博次 **
上田 幸彦 ***

By Kunihiro OGIHARA
Hiroji NAKAGAWA
Yukihiko UEDA

Self-excited vibrations are observed in long span shell type gate under the very small gate opening and almost free flow of under flow condition. In field gate, its opening is less than 10 cm. The hydraulic gate and penstock association of Japan make the research committee for analyzing this phenomenon and dappling the task results for the design standard.

This committee had two works; one is collecting the fields data and its analysis and the second is to make two model tests which are two and three dimensional elastic similitude model tests.

This report is the summary of three dimensional test which gives the limit condition of self-excited oscillation occurs.

はじめに

長径間シェルローラーゲートにおいて小開度で自励振動が発生する事は良く知られている。今回水門鉄管協会の技術研究テーマとしてこの問題が取り上げられ、文末に示す様な技術調査委員会が設置され活動を開始した。この委員会ではまず最初にシェルローラーゲートの既設のゲートの撓み度、固有振動数、操作時における振動の有無等の実態調査を実施するとともに¹⁾、シェル構造の撓み度と自励振動の発生状況の関係を明確にするために2次元と3次元の実験が実施される事になった。この報告は3次元実験での自励振動の発生形態についてまとめたものである。

振動原因の把握、防振対策、理論解析モデルの作製は引き続き実施しているので次の機会にはまとめたものを発表出来ると考えている。

* 委員長 工博 東洋大学教授 工学部土木工学科 (〒350 埼玉県川越市鯨井中野台2100)

** 顧問 工博 京都大学教授 工学部土木工学科 (〒606 京都市左京区吉田本町)

*** 幹事長 工博 水門鉄構設計部長 石川播磨重工業(株) (〒135 東京都江東区毛利1-19-10)

(1) 模型実験での模型とその支持方法

模型の撓み度はアルミの梁による弾性梁によって合わせ、模型の外形はアクリル樹脂による幾何学的な相似模型で合わせる方法を取っている。模型の大きさは実験室の規模を考慮して縮尺比 $n=1/12.5$ を考えた。原型のゲートの規模は

径間 上段扉 39.0m 下段扉 40.0m
扉高 上段扉 1.0 m 下段扉 2.5 m 全高 3.5m
設計水深 上流側 3.8m 下流側 0m
操作水深 上流側 3.8m 下流側 0m
水密方式 前方3方水密
揚程 10.0m
開閉速度 0.3m/min
開閉機形式 電動ワイヤーロープ両端巻き上げ

である。

従って模型の大きさは

径間	320cm
下段扉	20cm
上段扉	8cm
全高	28cm

となる。

原型のゲートの断面形状は図-1のようになっており、模型の基本断面形状は図-2に示すようになっている。模型は透明アクリル樹脂を使用し長さ16cmのブロックを20個作製し、端部のブロックの長さを変えて所定のスパンに合うように設定した。

原型との形状の相似は図-1から図-2のようにとることが出来るが、アクリル樹脂での、原型と模型での弾性相似を持たせる事は非常に困難である。そこで弾性相似はアルミの梁によって行う事にした。先に述べた模型のブロック分けは弾性相似を梁により行うために可能となったものである。

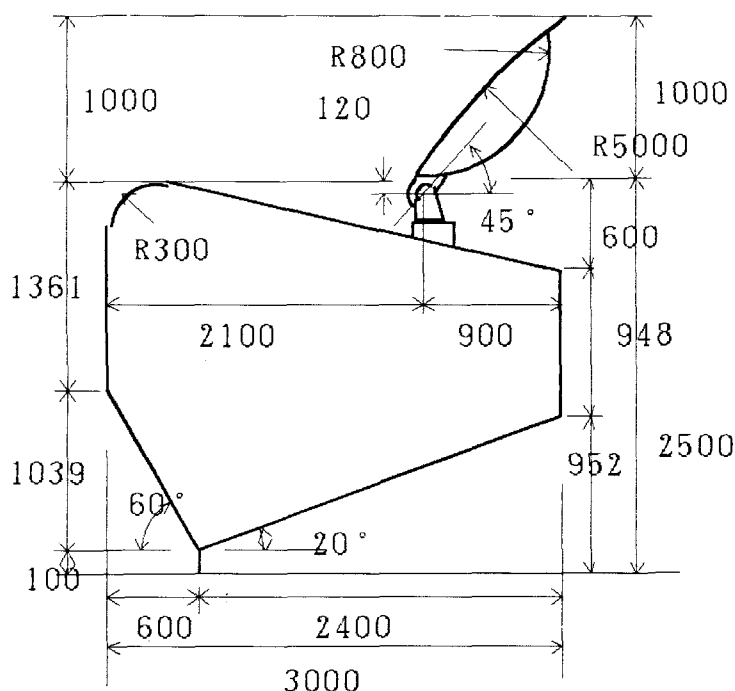


図-1 原型ゲート断面図 (単位 mm)

弾性相似の持たせ方及び梁の設計の説明は次の章にまとめてある。

模型の亚克力部分のブロックの1個当たりの重量は1000gfであった。このタイプのゲートは前面水密方式であるので、水路の所定の部分に弾性梁に模型ブロックを取り付けたものを設置した後、ビニールシートを両面接着テープで張りつけてブロック間の水止めを行っている。

原型のゲートでの操作ワイヤーに相当する部分は模型では板バネで置き換える事にした。この部分

の概略は図-3に示してある。

(2) 水槽及びゲート支持装置

水槽はこの実験のために 350×330cm で深さ 60cm のコンクリートブロック製の物を作製した。また水槽内には鋼鉄製の床板、上流側の整流板及び下流水位の調節用のフラップも設置してある。

アクリル製のゲートブロックは上部ブロックと下部ブロックで弾性梁をはさむ様に取り付けられている。梁は両端に取り付けられた支持板と支持装置の板バネの間をボルトによってつなぎ支持している。

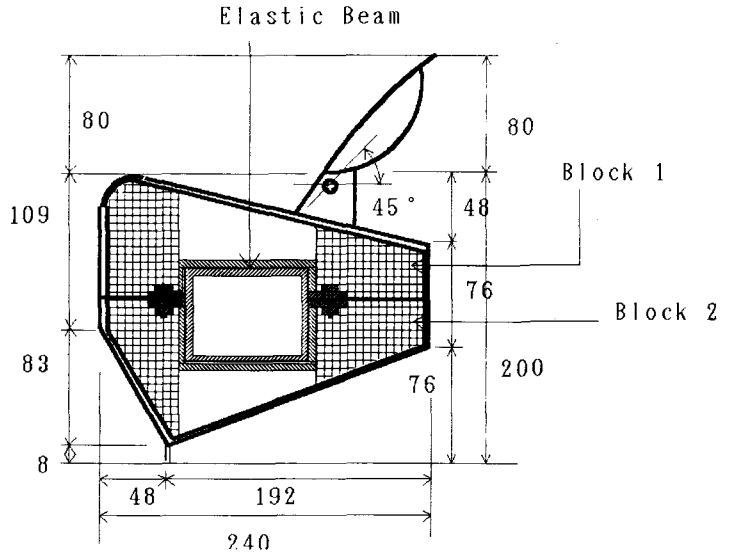


図-2 模型ゲート断面図 (単位 mm)

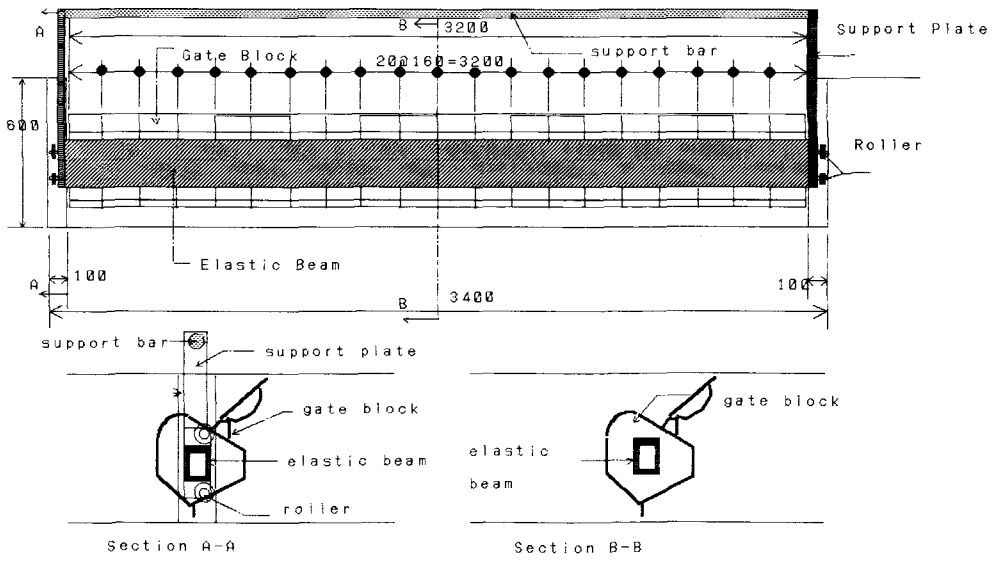


図-3 模型ブロック及び弾性梁

支持装置の板バネとゲートを取り付けた弾性梁の間の支持板の間ははボルトによって連結されており、ゲートの開度はこのボルトとナットによって行っている。この支持板には上下流方向にサポートするローラーと流れと直角方向にサポートするローラーが取り付けられている。

したがってゲートは鉛直方向に自由に運動出来る様になっており、撓み運動と板バネの撓みによる運動が連成される形となっている。なお板バネを固定しているバネ支持装置はチャンネルとアングルで組ま

れた支持棒の上に乗せられている。

(3) 模型弾性梁の設計

流れの相似則がフルードの相似則に従って決まるので、時間の縮尺にこの相似則で決まる値を採用した。従って振動系の時間縮尺もこれによって決まるので、撓み振動の固有振動の周期にこの相似則を適用して模型の梁の剛性を決定した。この種のゲートの振動の1次のモードでは鉛直、水平の撓み振動が卓越しており、捻れ振動は比較的小さいのでこの研究では2自由度の振動として扱っている。以下にその方法をまとめておこう。

1) 原型梁の剛性EIの推定

原型ゲートの分布荷重を鉛直方向

$$w=(\text{上段扉重量}85+\text{下段扉重量}15+\text{下向き水圧}97.5-\text{上向き水圧}69.1)/40=140.4/40=3.21 \text{ tf/m}$$

水平方向(静水圧)

$$p=3.5^2/2=6.125 \text{ tf/m}$$

とし単純梁のたわみの関係式よりEIの値を求める。 $(\delta/L)=(5wL^3)/(384EI)$ より $EI=2.675 \times 10^{10}/(\delta/L)$ kgfcm² となる。

この式より $(\delta/L)=1/500, 1/800, 1/1200$ の場合のEIを求めると次の表のようになる。

表-1 原型梁のEIの値

(δ/L)	1/500	1/800	1/1200
EI_x	1.338	2.140	3.210×10^{13}
EI_y	2.552	4.083	6.125×10^{13}

2) 固有周波数の推定

単純梁の等分布荷重での固有角周波数は空気中では梁の単位重量より、水中では付加質量を加えて求める。空気中のwは $w=(\text{ゲート空気中重量}100 \text{ tf})/40 \text{ m}=2.5 \text{ tf/m}=0.025 \text{ tf/cm}=25 \text{ kgf/cm}$

鉛直方向の付加質量は $w_0=97.5/40+0.6 \times 0.3 \times 40/40=2.6 \text{ tf/m}=26 \text{ kgf/cm}$ である。固有周波数

$$\begin{aligned}\omega_n &= \frac{\pi^2}{L^2} \left(\frac{EI}{w_0} \right)^{1/2} = 3.862 \times 10^{-6} (EI)^{1/2} \text{ (rad/s) (in air)} \\ &= 2.704 \times 10^{-6} (EI)^{1/2} \text{ (rad/s) (in water)}\end{aligned}$$

で与えられる。

また水平方向の付加質量については $w_0=3.5 \times 1.75 \times 40/40=6.1 \text{ tf/m}=61 \text{ kg/cm}$ より

$$\omega_n = 2.082 \times 10^{-6} (EI)^{1/2} \text{ (rad/s) (in water) で求めた。}$$

従って角周波数、周波数、周期は次のごとくなる。

表-2 原型梁の鉛直方向の固有角周波数、固有振動数、固有周期

(δ/L)	空気中			水中		
	$\omega_n(\text{rad/s})$	$f(\text{Hz})$	$T(\text{s})$	$\omega_n(\text{rad/s})$	$f(\text{Hz})$	$T(\text{s})$
1/500	14.13	2.25	0.445	9.89	1.57	0.635
1/800	17.87	2.84	0.357	12.51	1.99	0.502
1/1200	21.88	3.48	0.287	15.32	2.44	0.410

表-3 原型梁の水平方向の固有角周波数、固有振動数、固有周期

空気中				水中		
(δ/L)	$\omega_n(\text{rad/s})$	$f(\text{Hz})$	$T(\text{s})$	$\omega_n(\text{rad/s})$	$f(\text{Hz})$	$T(\text{s})$
1/500	19.51	3.11	0.322	10.52	1.67	0.592
1/800	24.68	3.93	0.255	13.31	2.12	0.472
1/1200	30.22	4.81	0.208	16.30	2.59	0.386

但し水中では鉛直の場合と付加質量が異なり $w_0=3.5 \times 1.75 \times 40/4000=0.061 \text{ kgf/cm}$ より
 $\omega_n=2.082 \times 10^{-6}(EI)^{1/2} \text{ (rad/s) (in water)}$ で求めた。

3) 模型の空気中での固有周波数

模型の周期がFroudeの相似に従って決まるとして、模型の縮尺が $n=1/12.5$ の場合について時間の縮尺 n_T を求めている。 $n_T=(n)^{1/2}$ より $n_T=(1/12.5)^{1/2}=1/3.53$ となり模型での固有周期と固有周波数は次の表のようになる。

表-4 模型の固有振動数と固有周期

(δ/L)	鉛直方向		水平方向	
	$T(\text{s})$	$f(\text{Hz})$	$T(\text{s})$	$f(\text{Hz})$
1/500	0.1258	7.949	0.0911	10.977
1/800	0.0995	10.053	0.0720	13.887
1/1200	0.0812	12.319	0.0588	17.006

4) 模型の剛性の推定

模型での固有周波数が決まったので振動方程式より剛性を求める。

$$\frac{EI}{w} = \frac{\omega_n^2 L^4}{\pi^4 g}$$

この式より (EI/w) を求めると次の表のようになる。

表-5 模型梁の剛性の値

(δ/L)	鉛直方向		水平方向	
	$f(\text{Hz})$	$EI_x/w \text{ } 10^8 \text{cm}^3$	$f(\text{Hz})$	$EI_y/w \text{ } 10^8 \text{cm}^3$
1/500	7.949	2.740	10.98	5.225
1/800	10.053	4.383	13.89	8.363
1/1200	12.319	6.581	17.01	12.541

5) 模型の断面2次モーメントの決定

高力アルミ合金製弾性梁の弾性係数を $E=7.28 \times 10^5 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ とし単位体積重量を $W_a=2.77 \text{ tf/m}^3$ とし梁の模型換算重量と断面2次モーメント I の関係を求めることにする。模型の梁の固有振動数を与える関係式と上記のアルミの弾性係数より断面2次モーメントは梁の単位幅重量の関係とセットになって次の表のごとくなる。

表-6 模型梁の剛性

(δ/L)	$I_x/w(\text{cm}^5/\text{kgf})$	$I_y/w(\text{cm}^5/\text{kgf})$
1/500	0.376×10^3	0.718×10^3
1/800	0.602	1.149
1/1200	0.904	1.723

また梁の撓み度の関係より水圧によって決められる水平方向の断面2次モーメント I_y が求まり、それと上記の固有振動数からの関係式から、梁の単位重量が求まる。

表-7 模型梁の撓み度から決まる剛性

(δ/L)	$EI_y/w_p \cdot 10^8 \text{cm}^3$
1/500	2.122
1/800	3.396
1/1200	5.094

表-8 模型梁の水平方向の断面2次係数

(δ/L)	$I_y(\text{cm}^4)$
1/500	0.1143×10^3
1/800	0.1829
1/1200	0.2743

w_p は水圧分布より静水圧 p として $P=(350/12.5)^2/2=392 \text{ gf/cm}=0.392 \text{ kgf/cm}$ となり $L=320 \text{ cm}$, $E=7.28 \times 10^5 (\text{kgf/cm}^2)$ の関係より I_y を求める。表-8の値と先の固有振動数からの表の (I_y/w) から梁の単位長さ当りの重量 w を求めると次の表のようになる。

表-9 模型梁の所用重量

(δ/L)	$w(\text{kgf/cm})$
1/500	0.1592
1/800	0.1592
1/1200	0.1592

表-10 模型梁の鉛直の断面2次係数

(δ/L)	$I_x(\text{cm}^4)$
1/500	0.0599×10^3
1/800	0.0958
1/1200	0.1439

表-9で梁の単位長さ当りの重量が決まったので、鉛直方向の固有振動の関係式より I_x が求まる。

6) 弾性梁の断面と大きさ

断面形を中空の四角形断面として水平辺長を B 、鉛直辺長を H とし肉厚を t_1, t_2 とすると I は

$$I_y = B^3 H / 12 \times [1 - (1 - 2t_2/H)(1 - 2t_1/B)^3]$$

$$I_x = B H^3 / 12 \times [1 - (1 - 2t_2/H)^3(1 - 2t_1/B)]$$

で求められる。

模型の製作上は B と H の値は一定にしておいた方が良いので板厚 t_1, t_2 の値を変えて所定の断面2次モーメントを決める事になる。いま梁の外寸を $B=90 \text{ mm}$ 、 $H=60 \text{ mm}$ とし各場合の板厚および内側の寸法を求めると次のようになる。

表-11 模型梁の肉厚と断面寸法

(δ/L)	t_1	t_2	H	h	B	b
1/500	3.55 mm	3.6 mm	60 mm	52.9 mm	90 mm	82.8 mm
1/800	6.65	6.3	60	46.7	90	77.4
1/1200	14.45	10	60	31.1	90	70.0

7) ワイヤロープに対応する板バネのバネ定数

ワイヤロープのバネ定数 93.3 tf/cm を模型縮尺比をかけて模型での値は $k_m = k_p(1/n)^2 = 93.3 \times (1/12.5)^2 = 0.597 \text{ tf/cm}$ となる。

この外に実験ではこの前後の強さのバネとして $k_m = 0.3, 0.9 \text{ tf/cm}$ を用意する。板バネを片持ち梁で使用する事にして、板の幅を $B = 10 \text{ cm}$ として板の厚さを $t = 0.8 \text{ cm}$ を使用する。断面2次モーメント I は $I = Bt^3/12 = 10 \times 0.8^3/12 = 0.427 \text{ cm}^4$ となる。上記のバネ定数を持つ板の長さ L は片持ちの梁のたわみの式より $L^3 = 3EI/(P/\delta) = 3EI/k_m$, $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ となり、これに上記のそれぞれの値を代入すると次の値が求められる。

$$k_m = 0.6 \text{ tf/cm}, L = 16.48 \text{ cm}, \quad k_m = 0.9 \text{ tf/cm}, L = 14.40 \text{ cm}, \quad k_m = 0.3 \text{ tf/cm}, L = 20.78 \text{ cm}$$

8) 模型の梁への付加質量

模型の梁の単位長さ当たりの必要重量は表-9より $w = 0.1592 \text{ kgf/cm} = 159.2 \text{ gf/cm}$ である。模型のアクリルブロックの重量は 1000 gf でブロックの長さは 16 cm であるので単位長さ当たり $1000/16 = 62.5 \text{ gf/cm}$ となる。さらにアルミ梁の断面積が撓み度に応じて異なるので単位長さ当たりの重量も異なって来る。そこで所用の重量まで付加質量をつける事にした。梁のアルミ部分の断面積と単位長さ当たりの重量は次の表のようになる。

表-12 模型に付ける付加質量

(δ/L)	A (cm^2)	wal (gf/cm)	wadd (gf/cm)
1/500	10.22	28.3	68.4
1/800	17.64	48.9	47.8
1/1200	29.56	81.9	14.8

表-13 付加する重さの量

(δ/L)	W (gf)	V (cm^3)	枚数
1/500	1091	138.8	4
1/800	766	97.4	3
1/1200	237	30.1	1

所用の重量からアクリルブロックとアルミ梁分を差し引いた重量 w_{add} の値からブロック長 16 cm 当たりに必要とする付加重量を求めると次のようになる。

V は鉄を使った時に必要とする体積である。枚数は鉄片を $30 \times 130 \times 9 \text{ mm}$ としたときの枚数である。若干の相違があるが取り付けのためのボルト、ナットの重量があるので、概略値として設定した。詳細は固有振動を測定して、設定された模型での値を求める事が出来るので、今後のデータ整理に於いては模型実験で得られた固有振動での実測値を使う事にする。

従って実験では概略の値が設定値に近いところで合わせて $1/500$ では4枚、 $1/800$ では2枚、 $1/1200$ では0枚として行っている。なお鉄の比重は 7.86 , アルミの比重は 2.77 として計算している。

(4) 予備実験

予備実験としていくつかの実験を行ったのでここにまとめておく。 $1/1200$ の梁のみ納入が遅れたためにこの予備実験は行っていない。以下順次結果をまとめておく。

1) 模型弾性梁の剛性

模型弾性梁の剛性を求めるために単純支持の状態で中央点に重りを下げ中央点の撓みを測定した。

単純梁の中央集中荷重の場合のたわみの式より上記の測定値の平均値を使って弾性係数 E の値を求める。まず (P/δ) の値と断面2次モーメント I をまとめておく。

表-14 模型梁の撓み

	A: $\delta/L=1/500$			B: $\delta/L=1/800$			Span Length 307.1 cm
Weight	5Kg	11Kg		5Kg	11Kg		
Vertical Mean	76	174	1/100 mm	48	101.25	1/100 mm	
Horizontal Mean	39	88		25.75	55		

表-15 (P/δ)とEの値

δ/L	P(Kgf)	5	11	(δ/P) $\times 0.001$ cm/Kgf	I $\text{cm}^4 \times 1000$	5	11	E $\times 10^5$ Kgf/cm ²
1/500	x	15.2	15.8		0.0599 0.1143	6.62 6.76	6.37 6.59	
	y	7.8	8.0					
1/800	x	9.6	9.2		0.0958 0.1829	6.56 6.40	6.84 6.59	
	y	5.15	5.0					

平均値は $E=6.59 \times 10^5$ Kgf/cm² となる。これは先に示したアルミの弾性係数 $E=7.28 \times 10^5$ Kgf/cm² の値に近い値を示している。

2) 模型弾性梁の撓み

A梁(1/500)の中央点と両端の点の撓みを測定したところ両端で 4.1mm の時に中央点で 10.2mm であった。従って差は 6.1mm であり、撓み度は $\delta/L=0.61/307.1=1/503$ となっている。予定通りの模型になっている事が判った。

3) 固有振動

単純支持の梁のみの状態で鉛直及び水平方向の固有振動を測定した。結果は次の様になった。

表-16 梁の撓み固有振動

方向	周期 T	周波数 f	減衰常数 γ	減衰比 h	A梁(1/500)
鉛直	0.108	9.23	0.501	0.00864	
水平	0.090	11.11	0.42	0.00602	

設定した固有振動数は鉛直が 7.949Hz 水平が 10.98 Hzであるので、双方 1Hz 程度模型の方が高めである。この状態で両端の板バネ $k=300\text{kgf/cm}$ に相当する $l=20.78\text{cm}$ で取付けて鉛直方向の固有振動を測定したところ $f_v=8.8\text{Hz}$ となっていた。従って固有振動数の減少率は $8.8/9.23=0.953$ となっており、初期の目標値 0.917 より若干大きめの値を示している。²⁾

(5) 一般実験

ゲートをセットして各種の流れのもとで模型実験を行った。当初は自励振動の発生範囲を確定するため

にAタイプの梁でかなり多くの実験をせざるを得なかった。そこでここではこの一連の実験の結果をまとめて置こう。

1) 固有振動

各実験の始めに固有振動を測定している。その結果は次の表の様になっている。タイプの表示はA, B, Cは撓み度の1/500, 1/800, 1/1200の梁に相当し、1, 2, 3の表示は板バネの強さ300, 600, 900 kgf/cmに相当している。なおADのようにDを付けたケースは振動の発生状況がリップの長さに影響を受けるか否かを確認するためにゲートリップ下流の底板に添え板を付けたケースである。結果は添え板を付けても変化が無い事が確認出来た。

表-17 固有振動周波数と減衰比

タイプ	鉛直方向	水平方向	備考	測定日
	h F(Hz)	h F(Hz)		
A1	0.0198 9.598		B+S	89,12,28
A1	0.0218 9.004		B+S	89,12,28
A1	0.0377 11.035		B	89,12,28
A1		0.0175 12.854	B	90,1,12
AD2	0.0237 9.98		B	90,1,22
B1	0.0055 10.800	0.0273 14.018	B	90,1,24
B1	0.0198 9.599		B+S	90,1,20
C3	0.0089 12.821		B	90,2,7
C2	0.0122 12.500	0.0074 17.730	B	90,2,7
C1	0.0117 12.282		B	90,2,8

B:は梁のみ、B+S:は梁と両端のバネを付けた場合を表す。

2) 振動範囲の観測：下流水深の影響

これに付いてはA梁によってのみ行っている。図-4は振動が観測されなかったケースで、黒い点は振動の周波数を、白抜きの点は減衰比を表している。図中のaは開度をmm単位で表している。開度が大きいときの振動数が落ちているがゲート内の水室に水が入ってしまい、その水が抜けず、溜まったままであった為である。以降の実験では、この水が抜けるように水抜き孔を設定している。

この図から判るように減衰比は0.02から0.05までの値を取っている。固有振動数は高いところで10Hz低いところで4Hz程度の値を取っている。このときの上流水深は31cmであった。

次に水室内の水が排水される形で上流水深を22cmとして同様に下流水深を変化させて実験した結果が図-5である。梁は1/500の撓み度の梁で、両端の板バネは $l=20.78\text{cm}$ に相当するケースである。上の部分にある図が周波数を下の部分の図が減衰比と振動の複振幅を示すグラフであり、中黒で示した点は自励振動が発生した場合を示している。

白抜きの点は減衰振動をしている場合である。

この図から判るように開度の小さい場合で 8.75, 7.5, 9.25mm の開度で下流水深が 3~5cm の場合に自励振動が発生している。

その振幅の大きさは複振幅で 0.08cm 以下であり非常に小さい振幅である。しかし自励振動の発生したときの上流水面の波立ちは激しく、平行な波あるいは 3 角波が発生している。(写真-1, 2)

流れの状況は一部が潜り流出であり、他の大部分は自由流出になっている場合である。梁が撓むので梁の中央部で潜り流出になる場合が多い。(写真-3)

A1001 1989:12:28

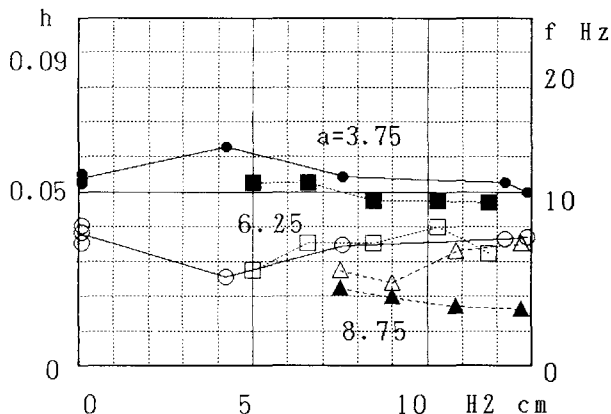


図-4 下流水深の影響

3) 振動範囲の開度

との関係

一連の実験の結果から開度が大きくなると振動の発生はなくなる。

撓み度の大きな場合ほど振動の範囲は広がっている。撓み度の一番小さい 1/1200 の場合でも開度 3mm 以下で振動が発生してくる。従って梁の撓み度の相違は、実際に最も開度の小さい梁の中央部分での開きによって振動の発生範囲が規定されていると考えて良い。

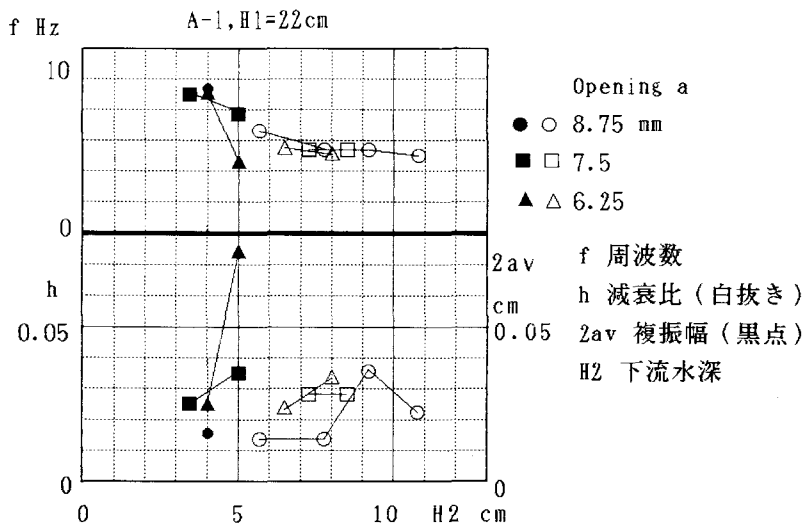


図-5 下流水深の影響 A1, H1=20.0cm

4) 上流水深による変化

自励振動の発生条件が前記の各種の実験でつかむ事が出来た。すなわち小開度で、浅い下流水深の状態の上流水深を変化させて振動がどのように発生し、振幅はどの程度であるかを確かむ実験を行った。

当初は全部のケースについて行わない予定であったが、結局全体像をつかむために梁の 3 種のケース、両端の板バネ 3 種についてすべて実施した。ケースの表示は B 1、C 3 の様に示し、最初の A、B、C は梁の (C D は C の梁でゲート底板に厚さ 1mm の板を付けたタイプである) 撓み度の 1/500, 1/800, 1/1200 に相当し、続く 1, 2, 3 は板バネの 300, 597, 900 kgf/cm の強さに相当する。

代表的な結果のグラフを図-6 に示す。このグラフには 2 種類のグラフが書かれており上のグラフ

写真-1 振動に伴って
上流面に発生した波



写真-2 振動に伴って
上流面に発生した波



写真-3 振動時の
下流側の流れ



は振動の周波数を示し、下のグラフは自励振動の複振幅を示している。

黒い点は鉛直方向の振動を、白抜きの点は水平方向の振動を表している。一連の実験から得られた結果をまとめると次のようになる。

a) 自励振動の振動周波数は上流水深が増すに従って低下する。これはゲートが水没するために水の付加質量が増えるためである。

b) 発生している自励振動の振動数は固有振動数と同じと考えられ、A、B、Cの各梁毎にその梁での固有振動数である。

c) 上流水位を上げて行くときと下げて行くときで、若干振動範囲がずれるが、振動の発生の中心は余り変わらない。梁が撓むために1つの設定流量に付いて水位が低い場合と高い場合に釣り合う水位があるために定常実験は難しい。

CD1, H2=3.0cm, a=1.875mm Ver. Hor.

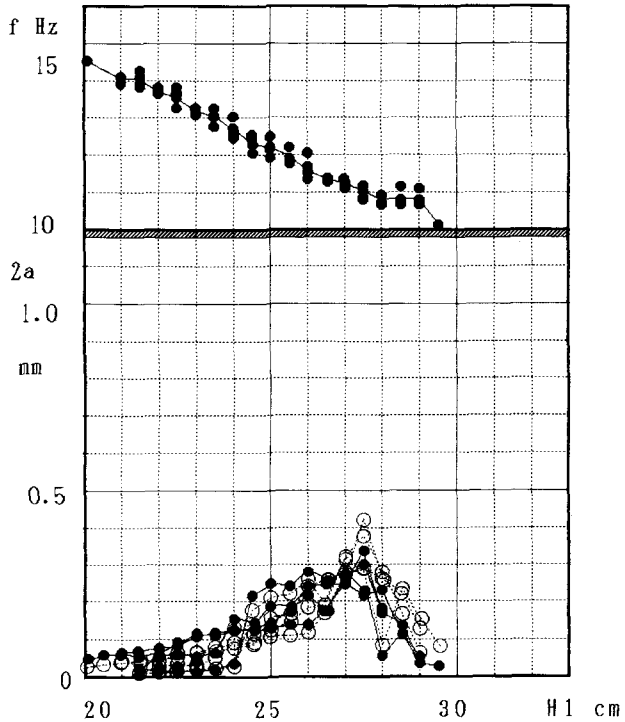


図-6 上流水深の変化に伴う振動状況

- d) 下流水深は3cm付近に設定して行っているが、跳水の発生条件が満たされれば各開度毎に跳水が丁度ゲート真下で発生する上流水位が決定される。この条件が満たされる上流水位付近で自励振動が発生する。従ってある開度での跳水条件を満たす下流水位と上流水位の組み合わせで、いかなる上流水位でも自励振動が発生する事になる。
- e) 振動の振幅は鉛直、水平の各方向とも特に自励振動で大きくなり三角波が発生する状況では同じ程度である。柔らかいA梁が最も大きくC梁になるに従って小さくなっている。
- f) 梁の強さを変えても、板バネの強さを変えても自励振動の発生の条件に付いては同じである。梁の強さが強くなるほど発生してくる振動数は高くなり、振幅の大きさは小さくなる。板バネの影響は今回は明確になっていない、これは梁の撓み度の方が板バネの撓みより大きく、現象がこれによって支配されていると考えられる為である。

5) 振動の発生範囲

振動の発生範囲を開度と上流水位の関係でまとめてみた。代表的なケースとして撓み度1/500の場合を図-7に示しておく。下のグラフは水平軸が上流水位であり鉛直軸は開度を表している。上のグラフは自励振動の周波数を表している。下の図で複振幅が0.5mm以上の場合は黒丸以下の場合は白丸で表してある。

一連の実験結果から次の事が判明した。

a) 柔らかい梁A ($1/500$) 程振動領域が広く、開度の大きいところまで振動している。また振動の振幅がやはり大きい。撓み度の小さいCの梁 ($1/1200$) では開度の狭い範囲で発生し振動の大きさも小さくなっている。

b) 振動数は各梁毎に同じ傾向を示しており、両端の板バネによる相違は余り大きくないようである。

c) 梁の撓み度が大きいほど開度の広い範囲まで小開度の部分が生じているために、振動の領域が広がっている。Bの梁ではAの梁より若干領域が狭くなり、振幅も若干小さくなる傾向を示している。

おわりに

本年度の実験を終了して得られた結果をまとめておこう。また今後残された問題点をも挙げて来年度の実験の参考にしておく。

1) 自励振動の発生領域は、微小開度で下流側の水位が跳水の発生する限界付近の水位の時である。一部が自由流出になっている状態での発生が多く、全体が潜り流出なると振動は小さくなる傾向を示す。

2) 梁の撓み度の影響は、撓み度が小さくなるほど振動領域は狭くなり、振幅も小さくなる傾向である。いずれの梁においても自励振動は発生した。

3) 上下方向と水平方向の振動の大きさはほぼ同じ程度か水平方向が若干小さめである。振動の周波数は同じであり鉛直方向の撓み振動の固有振動数で振動している傾向である。

4) 振動のモードがつかみきれていないので今後、ゲートがどのような運動をしているか、ゲートリップ部分の運動と振動との関連をつかむ必要がある。

5) ゲートリップ付近の圧力変動とゲートの運動との関連もつかむ必要がある。現象が上流面に関係しているのか、リップ部分のみかをつかむ必要がある。

6) 上記の4)、5)を行ない振動原因を確定出来れば、振動の理論モデルの作製解析ができ、さらに防振の方法も開発可能である。これらは次年度の研究である。

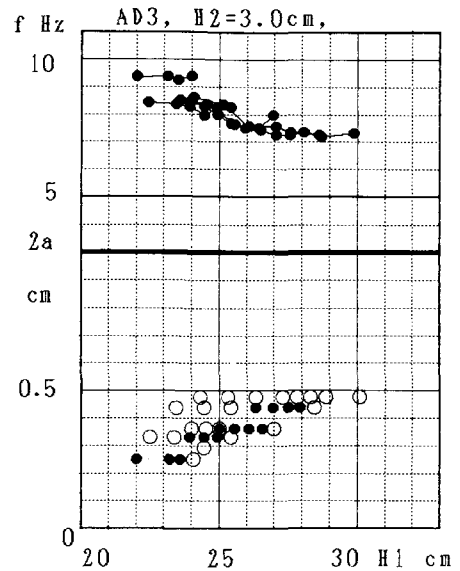


図-7 振動範囲 AD3

委員会組織

中川博次(京都大学)、荻原国宏(東洋大学)、C.W. Knisely(京都大学)

資源エネルギー庁(1名)、建設省(1名)、建設省土木研究所(2名)、農林水産省(1名)、農林省農業工学研究所(1名)、水資源開発公団試験所(1名)、電力中央研究所(1名)、水門メーカー5社(各1名)、水門鉄管協会(1名)

参考文献

- 1) ゲートの動的安定設計に関する水理調査「長径間ゲートの3次元振動模型実験」研究報告書、平成2年3月24日、水門鉄管協会、東洋大学工学部土木工学科水理研究室
- 2) 上田幸彦、荻原国宏、角哲也「長径間ゲートの振動に関する基礎的解析」、水門鉄管、No.160,1989(1990,10,12受付)(1990,12,18査読結果送付)(1991,1,21最終原稿提出)