

水資源開発公団 正員 ○ 荒木 正夫
水資源開発公団 森 正秋

1. 序説 第23回年次学術講演会において、筆者等は弾性相似を含めさせた長径間水門扉の振動実験を行い次の諸項目について論及した。(1)長径間ゲートの場合には扉体の弾性が大きく影響するから従来のように剛性扉体模型による振動実験では無意味で、弾性扉体模型を用いて振動実験を行う必要がある。(2)模型と実物の弾性相似を含めさせるには次の特性を有する新しい模型材料を開発しなければならない。a)弾性係数は鋼の $1/2$ （ここに $1/2$ は実物と模型の縮尺比で $1/2$ ）すなわち、 $E_m = 210,000 \text{ kg/cm}^2$ 。b)比重はなるべく大きく 7.8 に近づくことが望ましい。c)弾性体としての比例限度が高いこと。これらの性質をできるだけ満足させるようポリエステルに大量の鉄粉を融解・配合した特殊合成樹脂材と glass-cloth と wire gauze を1層に積層した新材料を製作した（池野造型研究所と協力開発）。この材料の E は $22.1 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、比重は 3.16 であった。(3)利根川河は堰調節ゲート模型（第1模型と呼ぶ）の空中および水中における振動状況を実験的に調べた。

本報告は前報に引続き次の諸点を論ずる。(1)模型材料について弾性係数の広い範囲にわたる各種配合の合成樹脂材を比較試験する。(2)両端ばね支持の弾性梁のたわみ振動を論ずる。(3)前報に述べた利根川河口堰調節ゲートの模型とは若干形状を異にする第2模型（図-1）を製作し、その空中および静水中における振動を示す。(4)河口堰の完成実物について現地振動試験を行ったのでその結果の一部を述べる。なお、模型および実物の流水中における振動状況については別の機会に譲る。

2. 模型材料 模型材料としては前回と同様に積層用樹脂材に filler として鉄粉を用いた。

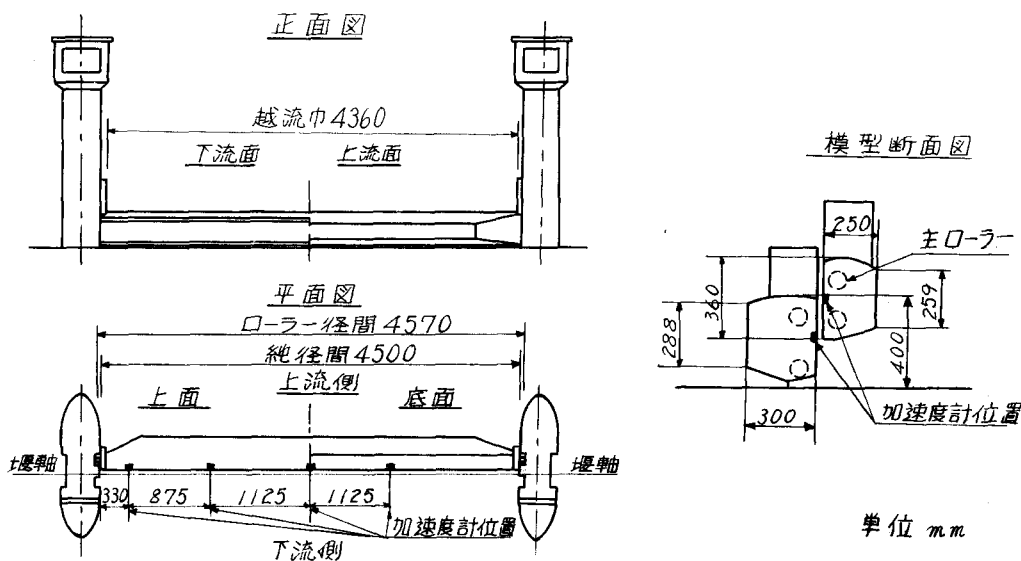


図-1 第2模型一般図

使用した樹脂はポリエステル積層用樹脂東洋高圧製Rタイプ(R289)である。この材料を使用し
た理由は常温硬化性であること、積層するのに適当なる粘度を保っていること、触媒の量の変化によ
って所望の一定硬化時間が得られることによるものである。とくに樹脂の粘度は混入した filler の
沈殿を防ぐに通している。filler については前報に鉄、鉛、アングステン³の3種を検討したが、ア
ングステンは最も優秀であるが価格が極端に高く、鉛は材料塑性が強くなって不適当でありすべて鉄
粉を用いることにした。鉄粉を混入した場合の可能最大比重は3.6である(前報の図-3参照)。表
-1に各種配合材料の試験値を示したが、fillerとポリエステルの重量比(Fl/P)は2.0, 2.6,
2.8, 3.0, 3.5の5種である。 $Fl/p > 3.5$ にすることは積層に必要な粒度の点で不可能である。

F.R.P.の使用——filler 混入のポリエステル材そのものは強度および弾性比例限度の点で難点が多
いのでFiberglass Reinforced Plasticなる強化プラスチック材に着目した。これは樹脂積層の間に
glass-clothを入れたもので樹脂材だけの場合より一般に強度が著しく増大するのである。今回の
材料製作に当っても日東紡製ECL230を使用した。

wire gauzeの使用——cloth-clothの他に市販の金網を挿入して樹脂材の比重と強度の増大を試み
た。使用した金網は次の3種で、表-1でSA-2とは#26の金網を2枚入れるとの意味である。

wire gauze	メッシュ	表-1の記号	wire gauze	メッシュ	表-1の記号	wire gauze	メッシュ	表-1の記号
#26	13/吋	SA	#24	10/吋	SB	#22	6/吋	SC

表-1 模型材料試験結果

供試体 記号	配 合			材料 厚さ	材料 比重	弾性係数 kg/cm^2	供試体 記号	配 合			材料 厚さ	材料 比重	弾性係数 kg/cm^2
	Fl/p	GC層	金網	mm				Fl/p	GC層	金網	mm		
A-1	2.0	4	SB-1	3.2	3.00	14.5×10^8	C-5	2.8	4	SB-1	3.3	3.51	21.2×10^8
B-1	2.6	3		3.8	3.11	10.4	C-6	2.8	4	SA-1	2.6	3.51	21.0
B-2	2.6	4		3.8	3.16	12.7	C-7	2.8	4	SB-1	2.3	3.20	19.2
B-3	2.6	4	SA-1	3.6	3.15	13.6	C-8	2.8	4	SC-1	2.3	3.16	19.0
B-4	2.6	4	SB-1	3.6	3.28	12.2	D-1	3.0	8		4.0	3.00	9.1
B-5	2.6	4	SC-1	3.6	3.27	12.1	D-2	3.0	8		3.4	3.13	13.4
B-6	2.6	4	SB-1	2.5	3.13	21.0	E-1	3.5	0		2.3	3.39	14.0
B-7	2.6	4	SB-2	3.6	3.44	15.0	E-2	3.5	4		2.3	3.24	15.3
C-1	2.8	0		2.5	3.18	8.0	E-3	3.5	4	SC-1	2.6	3.50	21.2
C-2	2.8	3		3.3	3.26	14.4	E-4	3.5	4	SB-1	2.6	3.55	20.1
C-3	2.8	4		3.5	3.31	17.2	E-5	3.5	4	SA-1	2.5	3.30	19.1
C-4	2.8	4	SC-1	4.0	3.26	18.6	E-6	3.5	4	SB-1	2.3	3.60	20.0

上表の試験結果を見ると、大体において Fl/P が大きいほどまた金網の入っているものが比重が大
きくまたEも大きいことが分る。表の比重とEの関係をプロットしたものが図-2である。同図より
比重が3.6以下、Eが $8 \times 10^8 \sim 21 \times 10^8 kg/cm^2$ の範囲の材料であれば所望の製作が可能であること
が言える。図-1の第2模型の製作にはE-4(比重3.55, $E = 20.1 \times 10^8 kg/cm^2$)を使用した。

3. 両端ばね支持の弾性梁のたわみ振動 減衰を無視した梁のたわみの自由振

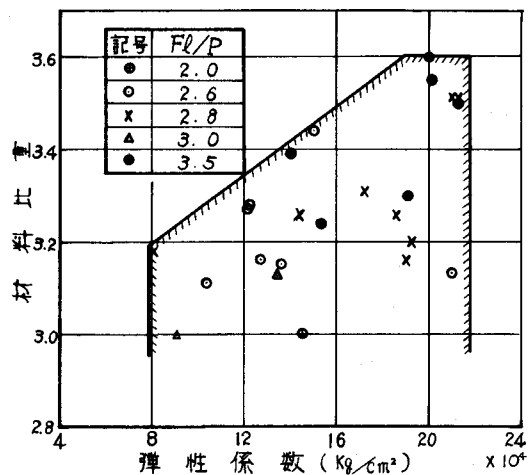


図-2 模型材料比重とEの関係

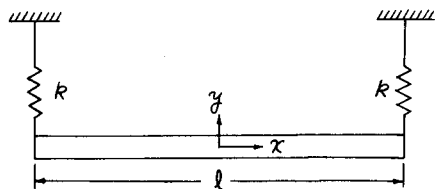


図-3 座標

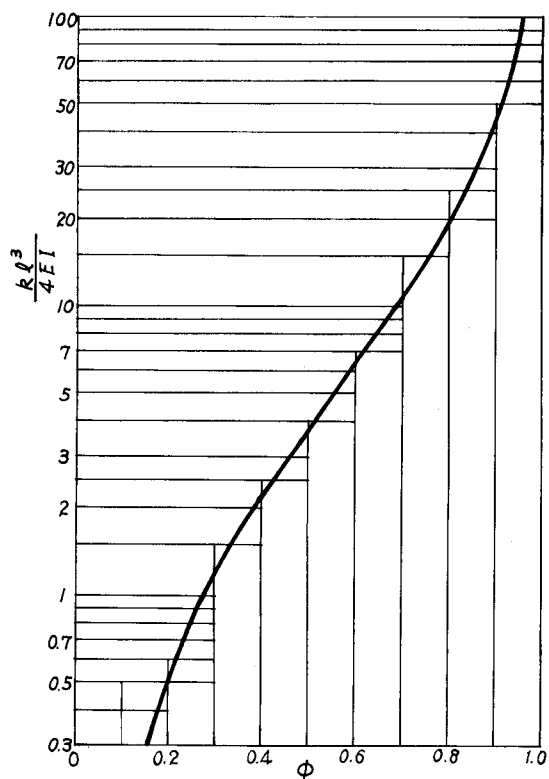


図-4 ϕ と $kl^3/4EI$ の関係

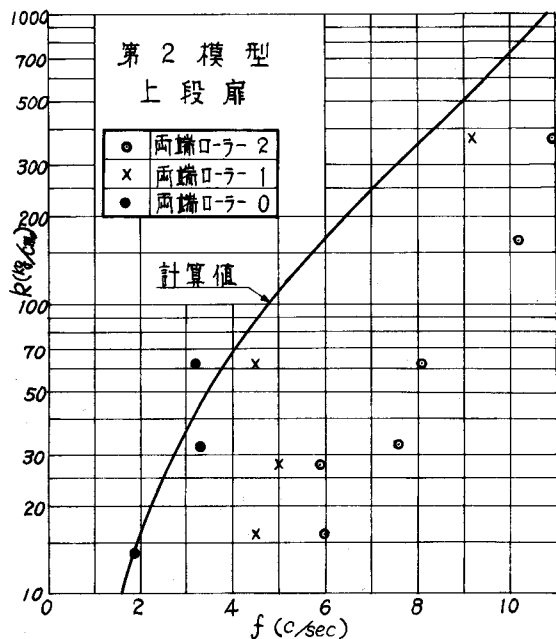


図-5 f と k の関係

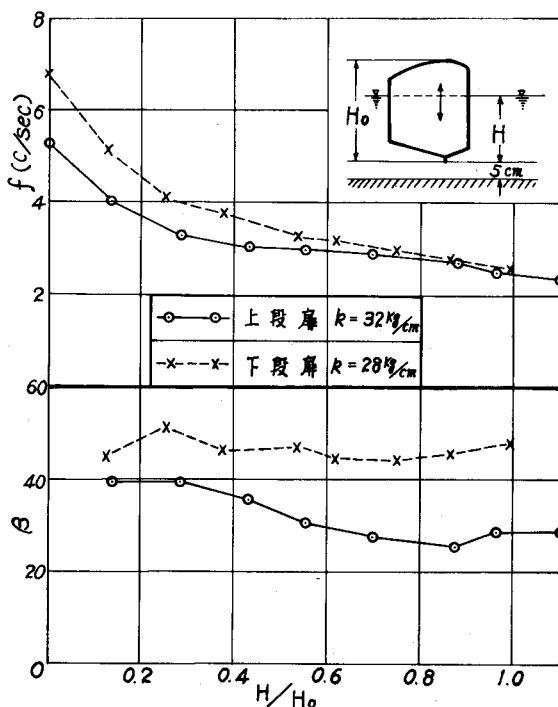


図-6 H/H_0 と f および β の関係

動方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\gamma A}{\rho} \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(EI \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \right) = 0 \quad \text{----- (1)}$$

ここに η は変位, γA は梁の単位長さ当りの重量, EI は曲げ剛さである。(1) 式を $EI = \text{一定}$ とし、図-3 の境界条件を満足させるように解くと、その基本振動数 f (c/sec) は次式で与えられる。

$$f = \frac{(\alpha l/2)^2}{(\pi l/2)} \sqrt{\frac{EI \gamma}{\gamma A}} \quad \text{----- (2)} \quad \left(\frac{\alpha l}{2} \right)^3 \left\{ \tan\left(\frac{\alpha l}{2}\right) + \tanh\left(\frac{\alpha l}{2}\right) \right\} = \frac{k l^3}{4EI} \quad \text{----- (3)}$$

(2) 式の $\alpha l/2$ は (3) 式を満足する最小正根である。ただし、 l はゲートの径間長, k は両端ばねのばね定数である。両端単純支持 ($k = \infty$) の基本振動数を f_s とし、 $f = \phi f_s$ とおくと

$$f_s = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{EI \gamma}{\gamma A}} \quad \text{----- (4)} \quad \phi = \frac{f}{f_s} = \frac{4}{\pi^2} \left(\frac{\alpha l}{2} \right)^2 \quad \text{----- (5)}$$

となって ϕ は (3), (5) 式より無次元量 $k l^3 / 4EI$ の関数である。 ϕ の値を $0.3 \leq k l^3 / 4EI \leq 100$ の範囲についてグラフに示したものが図-4 である。両端のばねが強くて $k l^3 / 4EI > 100$ ならば両端単純支持梁との基本振動数の誤差は 4% 以下で實際上ばねの存在を無視してよい。図-4 はまた f/f_s が実測される場合にはばね定数 k の逆算にも使用することができ、この k は両端のワイヤーのばね定数のほかに、ローラー、止水ゴムの影響をも含括する値を示すものである。

4. f と k の関係 (第 2 模型) 第 2 模型垂直方向振動の f と k の関係について実験値および前節の各式を用いての計算値を図-5 に示す。同図の ○ 印は両端のローラーが戸溝にはまっている状態, × 印は両端の各 2 個のローラーのうち各 1 個を戸溝から外した状態, ● 印はローラーをすべて戸溝から外したフリーな状態での実験値である。ローラーの戸溝にはまっている数が増えるほど実験値が計算値に近づいてくることより、前節の結果がほぼ成立することが分ると共に、模型実験におけるローラー抵抗の影響は実験の場合より相当大きくなる傾向があることが言えそうである。

5. 静水中における固有振動数の変化 水中に 1 部分または全部が浸されているゲートの固有振動数は、水の質量の影響等により空中における固有振動数に比べて著しく減少することは前講演に述べた通りであるが、その影響を考慮して次式のようにおく。

$$f_w = \frac{f}{\sqrt{1 + \beta (\gamma_0/\gamma) (H/H_0)}} \quad \text{----- (6)}, \quad \text{ここに } f_w: \text{水中での固有振動数, } f: \text{空中での固有振動数, } \gamma_0/\gamma: \text{水と鉄の密度比} = 1/7.86,$$

H : 水面よりゲート底までの深さ, H_0 : ゲートの全高, β : 係数。

第 2 模型の鉛直方向振動について上段扉、下段扉の H/H_0 と f および β の関係を図-6 に示した。

6. 実物調節ゲートの振動試験結果 完成した実物について、1969 年 3 月 7 日 ~ 11 日に固有振動数および各種ゲート操作時における振動状況を現地試験したが、そのうち鉛直方向の基本振動数の測定値ならびに計算値は次のとおりである。

ゲート	振動方向	実測値	計算値(A)	計算値(B)
上段扉	鉛直	3.40	3.36	3.74
下段扉	鉛直	3.70	3.41	4.22

上表において計算値 (A) は両端のワイヤーのばね定数を考慮した計算値であり、計算値 (B) は両端単純支持としての計算値である。実測値が (A) と (B) 値の間にありかつ (A) の方に近いことは 3, 4 節の考察を裏付けするものと考えられる。