

1. 緒 言

年々厳しくなっている公害、都市化現象の進展に伴う河川環境の改善、また産業規模の拡大と生活水準向上による上水、工業用水は年々急増し、これらの水資源を確保するために河川中流部の多目的ダムおよび下流部の河口堰などが建設される傾向にある。これらに設置されるゲートは大流量に対して十分な放流能力が発揮できるように長径間のものが多くなりつつあるが、設計にあたっては放流水の変動に起因するゲートの振動性状を考慮した動的な設計が重要となってきている。

2. 対象ゲートと実験方法

2.1 対象ゲート： 長径間ゲートの流体力に関する実験はシェル構造ローラ形式のもので、図1に示すよう

にスパン25.7<sup>m</sup>(ローラ間)の制水門扉と調節門(上段扉と下段扉)であって、それぞれのシェル内部には流体が充満する水室を有している。

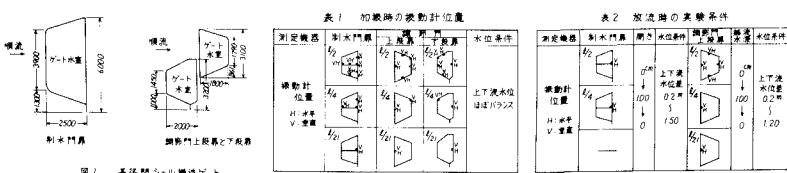


図1 長径間シェル構造ゲート

表1 加振時の振動計位置

| 測定位置           | 制水門扉 | 調節門 | 水位条件       |
|----------------|------|-----|------------|
| 振動計位置          |      |     | 上下流水位はほぼ均等 |
| H: 水深<br>V: 流速 |      |     |            |

表2 放流時の実験条件

| 測定位置           | 制水門扉 | 調節門 | 水位条件       |
|----------------|------|-----|------------|
| 振動計位置          |      |     | 上下流水位はほぼ均等 |
| H: 水深<br>V: 流速 |      |     |            |

2.2 実験方法： 実験は5ton型起振機による曲げ(前後水平)加振と上下(垂直)加振および放流時の振動測定である。加振実験は制水門扉、調節門扉とも静水中で実施し、水平加振は没水度1/3、2/3、3/3の3ケース、垂直加振は没水度3/3の1ケースについて行なった。加振実験および放流時のゲートの振動、モードなどは表1、2に示す位置に振動計(2G型加速度計)を設置して記録した。

3. 実験結果とその考察

3.1 付加質量について： 加振実験は5ton型起振機をゲートの頂部に設置したため、水平加振のときはゲートの曲げと振り振動との連成、垂直加振のときは上下剛体振動と回転(首振り)振動との連成が発生する場合があったので、その影響を考慮するとともに、曲げと振り振幅との比および上下と回転振幅との比が3倍以上で比較的連成現象の少ない純曲げ、純上下振動のみについて解析した。加振実験はすべて上下流水位差 $\Delta H \approx 0$ の静水中、両面接水の条件のもとで実施し、水平加振時は戸溝とローラ向にくさびを挿入して剛体振動が生じないようにした。

シェル構造ゲートの付加質量はシェル構造ゲートの水室内の水質量と接水部の水質量とが考えられ、付加質量としてゲート水室内の水質量を100%とすると次のような関係によって、水平加振時および垂直加振時の接水部の係数 $\beta$ が求められる。

水平加振時の接水部の係数 $\beta_H$ は

$$\beta_H = \frac{\alpha_H - 1}{\alpha} \quad \text{----- (1)}$$

となる。ここに、 $\alpha_H = \left\{ \left( \frac{\pi}{2\ell^2 f} \right)^2 \cdot \left( \frac{EI_{yy}}{\rho_s A_s} \right) - 1 \right\} / \left( \frac{\rho_w A_w}{\rho_s A_s} \right)$ ,  $\alpha = \frac{d^2}{A_w}$ ,

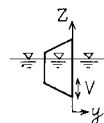
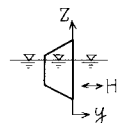
$\ell$ : ゲートのスパン、 $f$ : 共振振動数、 $EI_{yy}$ : ゲート構造の曲げ剛性、 $\rho_s A_s$ : 単位長さ当りのゲートの質量、 $\rho_w \cdot A_w$ : 単位長さ当りのゲート水室内の水質量、 $d$ : 平均没水深である。

垂直加振時の接水部の係数 $\beta_V$ も水平加振の場合と同様に

$$\beta_V = \frac{\alpha_V - 1}{\alpha} \quad \text{----- (2)}$$

となる。ここに、 $\alpha_V = \left\{ \left( \frac{1}{2\pi f} \right)^2 \cdot \left( \frac{nARERg}{W_s \ell_R} \right) - 1 \right\} / \left( \frac{\gamma_w A_w \ell_w}{W_s} \right)$ ,  $\gamma_w A_w \ell_w$ :

ゲート水室の水重量、 $W_s$ : ゲートの重量、 $n$ : ワイヤロープの本数、 $A_R$ : ワイヤロープの断面積、 $E_R$ : ワイヤロープのヤング率( $E_R \approx 1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ )、 $\ell_R$ : ワイヤロープの長さ、 $f$ : 共振振動数である。



制水門扉、調節門上・下段扉とも両面接水の条件で加振実験が実施され、(1)、(2)式によって接水部の係数 $\beta$ を算出した結果を示すと図2(a)、(b)となる。

図2(a)が水平加振、すなわちゲートの曲げ現象に対する接水部の付加質量係数、図2(b)が垂直加振、すなわちゲートの上下剛体振動に対する接水部の付加質量係数である。同図から、ゲートの付加質量は上下剛体現象に比べ、曲げ現象に対して大きな影響を及ぼしていることがわかる。曲げに対する付加係数 $\beta_H$ はゲート形状に因係なく、没水度の増加によってやや大きくなる傾向にあって、その値は $\beta_H \approx 0.6$ に漸近しているようである。また上下に対する付加係数 $\beta_V$ はほぼ $\beta_V \approx 0$ のようである。なお参考のために、ゲート下部が着底した条件で E. Allersma<sup>1)</sup>が求めた接水部の係数( $\beta_H \rho_w d^2$ )は、両面接水で $\beta_H = 1.0$ 、片面接水で $\beta_H = 0.45$ となっている。なおこの実験でゲート下部が着底している条件は制水門扉の没水度 $= 1.0$ と、調節門扉の没水度 $= 1.0$ に対応する。

3.2 減衰特性について： 各ゲートの水中での減衰特性は変位応答からの減衰率と共振曲線からの減衰率との平均から求めた。各ゲートの没水度に対する水平加振時の対数減衰率 $\delta_H$ を図3(a)、垂直加振時の対数減衰率 $\delta_V$ を図3(b)にそれぞれ示した。結果にばらつきがあるが、この種のゲート構造の減衰は橋梁、煙突その他陸上構造物に比べ、約5～10倍もの値を有していることがわかる。

水中に没するゲート構造物の自由表面での造波影響を求めるために、共振振動時に形成される波長 $\lambda$ ( $= 2\pi/K$ ,  $K = \frac{(2\pi f)^2}{g}$ )を制水門扉、調節門扉について算出すると、 $0.03 \sim 0.2m$ 、 $0.02 \sim 0.3m$ で非常に小さく、造波現象の影響は無視されるようである。しかしながら、ゲート水室内の水面は表面波の発生による水平方向の固有振動数とび管としての垂直方向の固有振動数とが存在しているので、これらの固有値と水中でのゲート構造物の固有値との共振が発生しないような配慮が必要である。

3.3 放流時の振動特性： 放流時の振動特性として、制水門扉については上下流水位差 $\Delta H = 0.2 \sim 1.5m$ 、ゲート開度 $0 \sim \frac{1}{6}$ の微小開き時、調節門上段扉については越流水深 $H \leq 1.0m$ ( $\Delta H = 0.2 \sim 1.2m$ )時を対象に実施した。放流時の振動応答と加振実験結果とを用いて起振力(水圧による設計荷重に対する比率(%))を推定し、上下流水位差 $\Delta H$ をパラメータとしてゲート開度、越流深度について示すと図4(a)、(b)および図5(a)、(b)となる。両図からわかるように、この実験で対象とした長径筒シェル構造ゲートの起振力は極めて小さなものであるが、下流放流する制水門扉においては上下流水位差が小さくなる条件の場合で、しかも微小開度のときに水平方向の起振力が卓越し、越流する調節門扉においては上下流水位差が大きくなる場合には垂直方向の起振力が卓越する傾向のようである。

#### 4. 結 言

長径筒シェル構造ゲートの流体力に関する実物実験から曲げおよび垂直剛体振動に対する付加質量、減衰力および放流時の起振力などの特性を明らかにし、動的設計に有益な資料が得られた。

#### 参 考 文 献

- 1) E. Allersma : "The Virtual Mass of a Submerged Sluice Gate"  
Paper No. 23: IAHR Proc, 8th Congress, 1959.

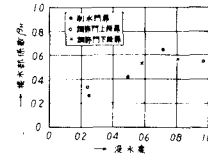


図2(a) 曲げ振動時の質量係数

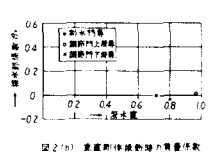


図2(b) 垂直剛体振動時の質量係数

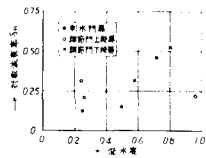


図3(a) 曲げ振動時の減衰率

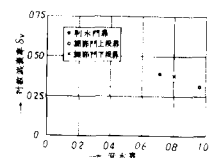


図3(b) 垂直剛体振動時の減衰率

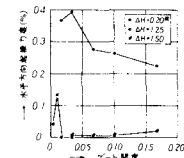


図4(a) 制水門扉の水平方向起振力

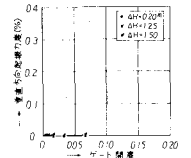


図4(b) 制水門扉の垂直方向起振力

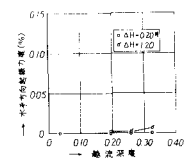


図5(a) 調節門上段扉の水平方向起振力

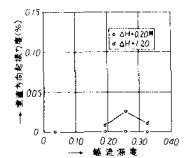


図5(b) 調節門上段扉の垂直方向起振力