

長径間ゲートの流体振動に関する研究

大林組 正員 畠山健
 京都大学工学部 正員 中川博次
 京都大学大学院 学生員 高津昌夫

1.はじめに 河川に設置されているシェル構造長径間ゲートは、その径間が高さや厚さに較べて長いために、流下方向と鉛直方向に撓みやすい構造となっている。その結果、自由流出、潜り流出の場合如何に関わらず、ゲートが微小開度のもとで放流流量を調整しなければならない条件下では動的挙動を示し、自励振動を起こして不安定となることが分かっている。そこで今回、図-1のように、原型ゲート堤体の中央部を仮想的に取り出した二次元模型を用いて、自励振動が発生する水理条件やゲート形状を調べた。さらにゲートに作用する外力特性を把握した上で、この振動方程式の定式化を行った。

2.自由流出時の振動の考察 自由流出の場合は、二次元自励振動の形態であり、流速分布については、ポテンシャル理論が適用できる。

はじめにゲートを振動させる起振外力を考える。それは流れがリップ部分を屈曲する際に発揮される求心力や、ゲート前面が漸縮することによる力などが挙げられる。また微小開度の場合のみリップ下においては、剥離によって下向きの力であるダウンプルが発生しており、その比例係数は図-2に示しているように、開度が小さいほど大きく、上流水深が大きくなるにつれて、力も大きくなる。ただし図の横軸は、開度の無次元化を行っている。

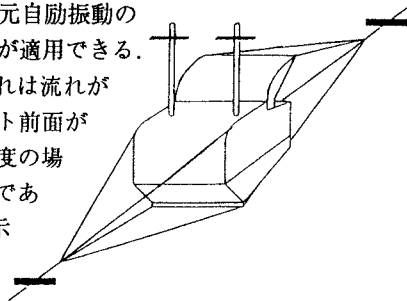


図-1 ゲート模型

以上の力によって、ゲートに変位がもたらされる結果、ゲート下を通過する流量が変化し、力が発生する。そしてこの非定常である流量変化が及ぼされる範囲は、ゲート前面の傾斜部分の長さに比例する。

外力を以上のように決定すると、自励振動の場合の連立振動方程式が得られる。ただしこの式は、複雑であるので、以下のように簡単にここでは表現する。

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = F(y, \dot{y}, \ddot{y}, \dot{x}, \ddot{x}, \dot{y}^2 y^n, \dot{x}^2 y^n, \dot{x} y^n, C)$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(x, \dot{x}, \ddot{x}, \dot{y}, \ddot{y}, C)$$

そこで鉛直、水平両方向とも調和振動であると仮定し

た上で、振動方程式の一周期の仕事平均をとると、以下の連立方程式が得られる。

$$mY\omega_y + c\omega_y Y\pi$$

$$= \frac{\rho l_a}{2} \left[-2\sqrt{2gh} X \omega_y \left\{ B_1 \pi \cos \varphi + B_3 \frac{\pi}{4} \left(\frac{Y}{l_a} \right)^2 \cos \varphi + B_5 \frac{\pi}{8} \left(\frac{Y}{l_a} \right)^4 \right\} - \frac{\pi X^2 \omega_y^2 \sin 2\varphi}{4} \left\{ B_2 \frac{Y}{l_a} + \frac{\pi B_4}{2} \left(\frac{Y}{l_a} \right)^3 \right\} \right]$$

$$+ D_y \omega_y s X \pi \cos \varphi + E_y s Y \omega_y \pi + R \sqrt{2gh} Y \omega_y \pi$$

$$mX\omega_y + cX\omega_y \pi = D_x \omega_y s X \pi + E_x s Y \omega_y \pi \cos \varphi + R \sqrt{2gh} Y \omega_y \pi \cos \varphi$$

そしてこの振動方程式を解いた結果を図-3に示す。この傾向として振動がいったん始まると、上流水深による振幅の大きさの違いは余り見られず、またゲート前面傾斜角が小さくなるにつ

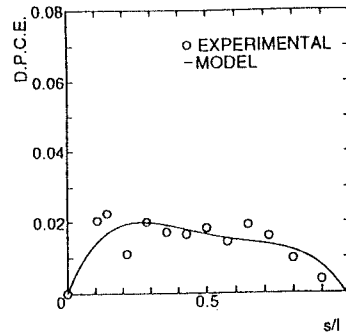


図-2 ダウンプル係数

れて、水平振幅は小さくなるが、鉛直振幅は前面傾斜角による変化は生じなかった。

振動周波数については、付加質量に大きく依存しており、天端部に流体が載るまではほぼ固有周波数で振動する。そして天端部に載るにつれて、減少していった。

3. 潜り流出時の振動の考察 次に、潜り流出の場合について考えてみる。ゲート下部下流の流れでは、速度不連続面が形成され、渦が発生していることがピエゾ解析より判明した。その結果、潜り流出時の振動形態は、自励振動と強制振動の混合型の一次元渦励振であり、ゲート下部側の流れが、上流側よりも影響をもつ。そこで実験より渦が発生するゲートリップからの剥離流れの拡がり角度は、下流水深が大きいほど、大きことが分かった。この結果剥離流れは、下流水深が大きいほど、付着距離は短くなり、振動しているときは、安定して付着した。

そしてその剥離流れによって形成される渦列の中で、付着する流れに飲み込まれてつぶれてしまう直前の渦、つまり最も下流側にある渦の半径は、下流水深が小さいほど大きく、下流側に位置する。

このように渦を算定した上で、リップ真後ろの部分、渦がつぶれるところ以降の部分、そして前二者に挟まれたゲート下部接面部分の三つにゲート下部の流れの領域を分割した。そこで前二者においては運動量保存則を、最後者にはエネルギー保存則を用いて、流れを解いた。

また非定常効果を表わすために、前節と同様、流量変化による力を考えた。この影響が及ぼされる範囲は、図-4に示すように、下流水深が大きいほど大きく、逆に上流水深が大きいほど、小さい傾向をもつ。

以上のように外力を導出した後に、潜り流出の場合の振動方程式について、以下が得られる。

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = F(y, \dot{y}, \dot{y}^2, y\dot{y}, y^2, C)$$

この式はそのまま解くことができ、振動振幅の計算結果を図-5に示す。これから振幅の大きさは、下流水深が大きくなるにつれて減少していく計算結果が得られた。これは下流水深が小さいときは、流速が速く渦の発生が活発になっているためと考えられる。

また振動周波数については、振動しているときには渦と構造物の周波数同調が見られたが、ジャンピング現象は、判明できなかった。そして下流水深が大きくなるにつれてゲート下部に付加質量が与えられるため、振動周波数は減少していく。

4. おわりに 以上のように振動振幅が得られたが、無次元パラメータの同定や、流量変化の影響範囲の評価などの理論的解明が必要と考えられる。また三次元への拡張もこれから行っていきたい。

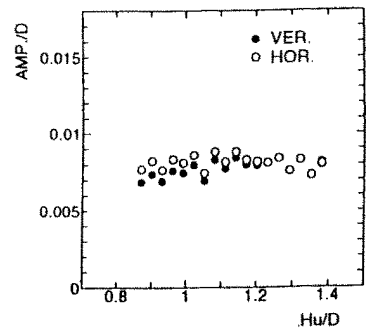


図-3 自由流出時の振動振幅

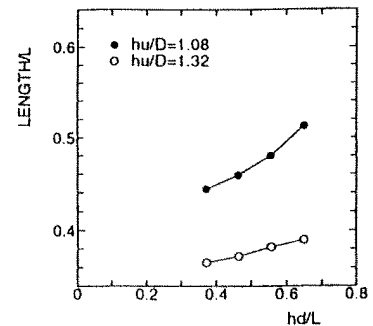


図-4 流量変化力の影響範囲

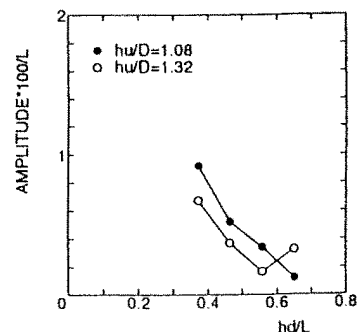


図-5 潜り流出時の振動振幅