

京都大学工学部 正 員 中川 博次 大成建設 正 員 畑 明仁
京都大学大学院 学生員 〇 畠山 健

1. はじめに 実際に河川に設置されているシェル構造長径間ゲートは高さや厚さにくらべて径間が長いいため、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、自由流出時にある条件下のもとで動的挙動を示し、自励振動を起こして不安定となることがわかっている。そこでゲートの中央部を模擬した2次元模型を用いた実験で、どのような水理条件のもとで自励振動が発生するかを把握する。さらに振動発生の原因及びその振動特性についての検討を行う。

2. 実験概要 実験装置は図-1に示すように、ゲートの中央部分を取り出した2次元模型を使った。懸垂機構による鉛直方向撓みと流体力による流下方向の撓みは、剛性1/1200, 1/800の2種類のパネによって与えられる。また図-2に示すように、この模型ではゲート前面部を傾斜角が異なる4つの形状に交換することができる。この条件のもとで、開度や上流水深を変化させて実験を行った。なお、測定はゲート上部に水平、鉛直両方向の加速度計を、ゲート前面部とリップ付近の下部に圧力計を取り付けてこれらの諸量を測った。

3. 実験結果及び考察 ①自励振動をしたときの、振動軌道を図-3に示す。自励振動を起こしている場合には、鉛直方向と水平方向に連成した振動軌道を描いており、ゲートは上流側に傾きながら楕円をなして、時計回りに回転している。反対に、減衰状態の軌道は、初期段階では鉛直水平両方向のそれぞれの周波数の高次モードのカップリングを起こし、複雑なりサージュ図形を描いているが、次第に鉛直方向の固有振動数である低周波数側へ移行していき、楕円軌道を示しながら、減衰していった。

②実際に、振動が起こったのは撓み度が1/1200のときはA型とB型で、1/800の場合は全ての形状で振動が起こったが、形状別では、A型、B型、C型、D型の順に揺れにくいことがわかった。撓み度が1/1200, A型の場合の振動発生領域を図-4に示す。振動発生領域は $Hu/D=1.1$ を中心にして上に凸の放物線を描いている。すなわち開度が微小である程揺れやすい。また、撓み度については、小さいほど振動は起こりやすい結果となった。

③振動振幅は剛性が小さく、開度が小さいほど大きくなった。そして鉛直方向と水平方向の大きさの違いはあまり見られなかった。

④振動周波数については図-5に示すように、鉛直方向の振動

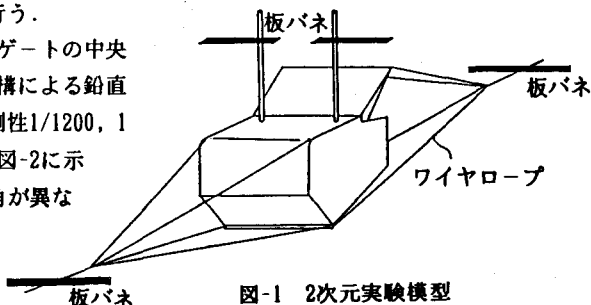


図-1 2次元実験模型

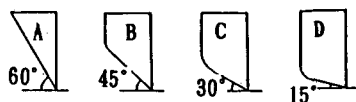


図-2 ゲート形状別横断面図

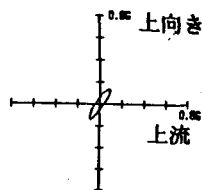


図-3 自励振動軌道 (撓み度1/1200, 開度1mm, 上流水深37cm, A型)

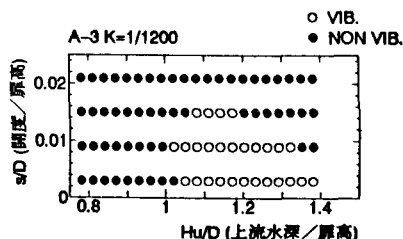


図-4 振動発生領域図 (撓み度1/1200, A型)

Hiroji Nakagawa, Akihito Hata, Takeshi Hatakeyama

周波数に水平方向の振動数が同調していくものと考えられる。実際にゲート上部に水がのるまでは、振動周波数はほぼ鉛直方向固有振動数に等しく、水がのり始めるところで明らかに減少し始める。これは鉛直方向の付加質量効果のためである。そして水平方向にはゲートが振動するときにゲート前面の水も同時に動かそうとすることで、見かけ上水平方向の質量が増える付加質量効果が考えられ、その結果、水平方向振動数が減少していく。また、上流水深が増えていくと、鉛直方向とのカップリングのため自励振動を起こす。このように鉛直方向には振動は自励振動であり、水平方向の振動は流体外力によって起こる。

4. 振動発生要因 今回の実験では外力と加速度の位相特性も調べた。まず、一般に外力が次のように表される強制振動方程式を考える。

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + kx = F(t) = A_1 \ddot{x} + A_2 \dot{x} + A_3 x$$

$$(m - A_1) \ddot{x} + (c - A_2) \dot{x} + (k - A_3) x = 0$$

すると外力が速度項と同成分を持っていれば、減衰項を減少させる働きを持っていることが分かる。その結果、減衰項が負となり、負減衰となる場合も起こって、自励振動が発生する。ここで、それぞれの諸量ごとについて考えてみる。水平方向とゲート下部の圧力との位相差を図-6に示す。この結果から、位相差は形状、上流水深に関わらず、外力は常にゲートに対しては水平方向には、励振効果を及ぼしていることがわかる。このことより流体は水平方向には励振させようとして働いている。次に、鉛直方向とゲート下部の圧力の位相差を図-7に示す。図から、上流水深や形状の影響による位相差の幅が非常に大きく、位相差が 0° を境にして正の値は減衰効果を示し、減衰振動となり、一方負の値の場合ば励振効果が作用し、自励振動となることがわかる。これは振動発生領域図の結果とも一致している。これらのことよりゲートが自励振動を起こす要因としては、まず水平方向には常にゲートは励振しようとして流体と一体の振動系を作る。さらに、その鉛直方向の流れの変動や振動条件が満たされ、鉛直方向に励振効果を持てば、連成の自励振動を起こす。すなわち、鉛直方向にも流体が励振作用を持ったときに自励振動を起こすのである。

5. おわりに 以上の実験により、振動の発生条件は明らかになったが、今後はこのような振動発生条件をもたらず流れ場の変化に注目して、より明確な振動機構の解明を行うつもりである。

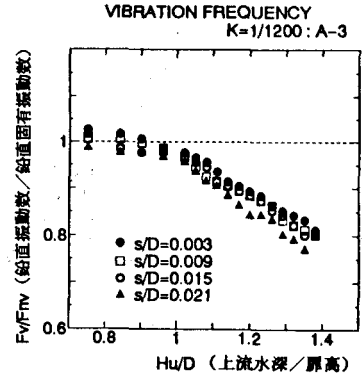


図-5 振動周波数
PHASE LAG(HOR.ACC.&LOW.PRES.)
K=1/1200: s/D=0.003

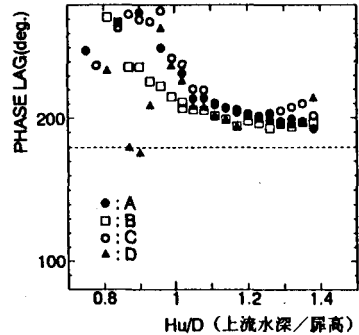


図-6 水平加速度とゲート下部圧力の位相差
PHASE LAG(VER.ACC.&LOW.PRES.)
K=1/1200: s/D=0.003

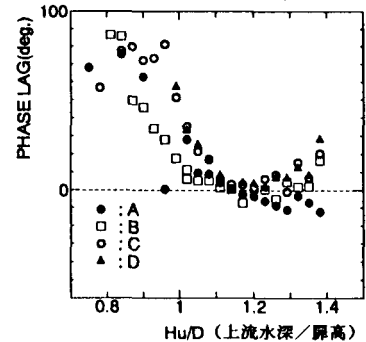


図-7 鉛直加速度とゲート下部圧力の位相差