

1. 緒言 背丈の低い長径間ゲート⁽¹⁾⁻⁽¹¹⁾は、十分なたわみ剛性を得るために、断面が図1に示すようなシェル構造で作られる。ゲートの自重を重心近くで支えるために、ゲートの前面が河床に対して鉛直なせき板と傾斜したせき板で構成されているのが特徴である。このような特殊な形の長径間ゲートは、特にシェル形長径間ゲート⁽¹²⁾⁻⁽²⁰⁾と呼ばれる。

シェル形長径間ゲートは、断面の縦と横の長さがほぼ等しいために、水平と上下の2方向に同程度のたわみの自由度を持つ。それゆえ、ある適当な条件の下では、水平と上下のたわみ振動がゲート下端からの放水流と連成して激しい自励振動を引き起こす。このような自励振動問題に関するこれまでの研究⁽¹²⁾⁻⁽¹⁷⁾では、ゲートの前面下部に設けられた傾斜面の角度を比較的小さい場合に限定していた。そこで、本研究では、傾斜面の角度がさらに大きい場合についてモデル実験を行い、そのときの自励振動の特性を明らかにした。ここでは、最初に、傾斜面の角度が比較的小さい場合の実験結果を示す。続いて、傾斜面の角度が大きい場合の実験結果を示す。それらの結果から、自励振動の特性に及ぼす傾斜面角の影響について検討する。

2. モデルゲート 実験に用いたモデルゲートの概略図を図2に示す。ゲートの断面は縦に細長い形状であるが、「水平と上下に自由に動ける」と「鉛直面と傾斜面とでゲート前面が構成される」とことなどの基本的な点はシェル形長径間ゲートと同じである。ゲートの水平と上下の固有振動数を細かく調節できるように工夫している。ゲート質量Mは9.12kg、幅Lは295mm、厚さWは42mmである。ゲート開度B(5mm)は放水口深d₀(375mm)に対して十分に小さな値にしている。ゲートの空中での水平振動数Ω_{ax}は71.1rad/s(11.3Hz)に固定している。流れ場の力学的な相似性を支配する基本的なパラメータの基礎フルード数F_{ox} :

$$F_{ox} = \sqrt{d_0/g} \cdot \Omega_{ax} \quad (g: 重力加速度, \Omega_{ax}: 空中での水平振動数[rad/s]) \cdots \cdots (1)$$

は13.9になる。水とゲートの質量比α_m:

$$\alpha_m \equiv \rho d_0^2 / (M/L) \cdots \cdots (2)$$

は4.55である。

3. 傾斜面角が比較的小さい場合の自励振動特性 ゲート前面下部の傾斜面角θを、比較的小さな17.5°に設定した。空中での上下振動数だけができる限り広い範囲内で変化させ、まず、空中での自由振動波形を計測した。次に、そのときの流水中のゲートの振動波形を計測した。得られた振動波形を解析し、ゲートの空中での振動数(Ω_{ax}, Ω_{ay})と減衰比(ζ_{ax}, ζ_{ay})を求めた。同様に、水中での振動数(Ω_{wx}, Ω_{wy})と発振比(ξ_{wx}, ξ_{wy})を求めた。これらのデータをまとめたものを図3に示す。横軸はすべてγ_{xy}(≡Ω_{wx}/Ω_{ay})である。上段に各振動数比を示す。自励振動の特性を議論する上でもっとも重要なデータは、ゲートに対する水の付加質量△m_xと、流体作用による励振力の大きさを表す流体発振係数△c_xである。これらはいずれも文献(12)の式(3)で定義した無次元量であり、具体的には同じ文献(12)の式(4)から算出できる。これらを計算した結果を中段に示す。γ_{xy}が1.0より小さいときには△c_xは比較的大きな負の値をとる。しかし、γ_{xy}が0.97に近づくと△c_xは急激に上昇し、0.97を越えると△c_xは正の値になる。つまり、自励振動が発生する可能性があることを示す。γ_{xy}が1.12のときに△c_xは最大になり、さらにγ_{xy}が大きくなると△c_xは徐々に小さくなる。しかし、γ_{xy}が1.5までは△c_xは依然として正の値である。一方、付加質量は0.48~0.55である。下段は水平振動に対する上下振動の位相遅れ角φを表す。φはγ_{xy}が大きくなるに連れて-180°から0°に変化する。

4. 傾斜面角を大きくした場合の自励振動特性 傾斜面角θだけを30°、45°、60°、65°と変化させて同

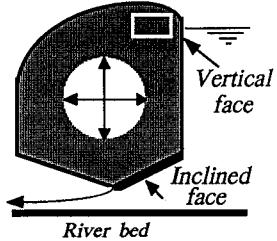


図1 シェル形長径間ゲートの断面図

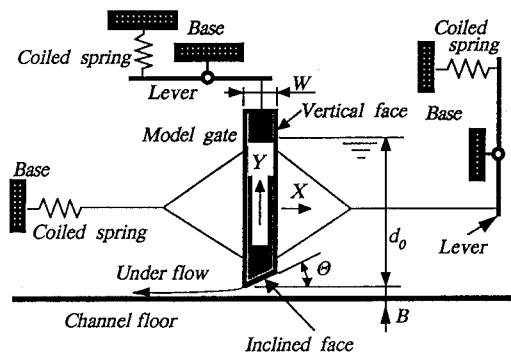


図2 シェル形長径間ゲートの実験モデル

様な実験を行った。一例として、 $\Theta = 60^\circ$ の場合の実験結果を図4に示す。
 $\Theta = 17.5^\circ$ の場合と比較すると、 Δc_x のレベルがはるかに大きくなっている。実験を行ったすべての傾斜面角に対し、 Δc_x の特性だけをまとめて図5に示している。 γ_{xy} が 0.94~0.98付近を境にして、 Δc_x が負から正に変化している。これは、 $\Theta = 17.5^\circ$ の場合と同じである。ただし、傾斜面角 Θ が $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ と大きくなるにつれて、 Δc_x の最高値が大きくなっている。 γ_{xy} が比較的大きな範囲内の実験データは十分ではないが、 Δc_x が正の値をとる(自励振動が発生する可能性のある)範囲が広くなっていると言える。 $\Theta = 65^\circ$ のときの Δc_x の最高値は、 $\Theta = 60^\circ$ のときのそれよりも小さい。これより、 $\Theta = 60^\circ$ 近辺でもっとも激しい自励振動が起こることが分かる。

5. 結論 傾斜面の角度を変化させて、それぞれの場合の自励振動特性を詳しく調べた。その結果、傾斜面角が約 60° のときにもっとも激しい自励振動が発生することを明らかにすることことができた。

参考文献

- (1) 石井・今市：長径間ゲートの流体関連振動、土木学会第36回年次学術講演会講演概要集(第2部)、pp.337-338、1981-10。
- (2) Ishii, N., Naudascher, E. and Thang, N.: A Flow-Induced Vibration of Long-Span Gates, Proc. of Int. Conf. on Flow-Induced Vib., Bowness-on-Windermere, pp.293-304, 1987-5.
- (3) 石井・ほか2名：長径間ゲートの流体関連振動(第1報、運動方程式の導出)、日本機械学会論文集B編、第53巻495号、pp.3267-3273、1987-11。
- (4) 石井・ほか3名：長径間ゲートの流体関連振動(第2報、付加質量と流体減衰係数)、日本機械学会論文集B編、第54巻、504号、pp.1977-1984、1988-8。
- (5) 石井・ほか4名：長径間ゲートの流体関連振動(第3報、付加質量と流体減衰係数の検証)、日本機械学会論文集B編、第54巻507号、pp.3151-3156、1988-11。
- (6) Ishii, N.: Flow-Induced Vibration of Long-Span Gates (Verification of Added Mass and Fluid Damping), JSME Int. J., Ser. II, vol. 33, No. 4, pp. 642-648, 1990; Proc. IAHR & AIRH Symp. (Belgrade, Yugoslavia), p. N-1-1-9, 1990-7.
- (7) 石井：長径間ゲートの流体関連振動(第4報、振動数比と流体減衰比)、日本機械学会論文集B編、第56巻531号、pp.2887-2892、1990-11。
- (8) 石井・中田：長径間ゲートの流体関連振動(第5報、運動方程式の解と安定基準)、日本機械学会主催・流体工学部門講演会論文集、pp.51-53、1991-8。
- (9) 石井・中田・川邊：長径間ゲートの流体関連振動(「第7報、自励振動特性の γ_{xy} 実験による検証」)、日本機械学会・機械力学・計測制御講演文集、No.920-55, Vol.2, 1992-7。
- (10) 石井：たわみゲートの流体関連振動・原子力分野における流体関連振動研究会(Ⅲ)報告書、東京大学工学部附属原子力研究施設、pp.53-88、1992-8。
- (11) Ishii, N.: Flow-Induced Vibration of Long-Span Gates (Part I : Model Development) Journal of Fluids and Structures, Vol. 6, No. 5, pp. 539-562, 1992.
- (12) 石井・ほか2名：シル型長径間ゲートの流体関連振動(第1報、「 γ_{xy} -フローティング」の基本的な自励振動特性)、日本機械学会論文集C編、第56巻531、pp.2880-2892、1990-11。
- (13) 石井：シル型長径間ゲートの流体関連振動(第2報、「 γ_{xy} -フローティング」の基本的な自励振動特性に関する検討)、日本機械学会論文集C編、第57巻533号、pp.35-41、1991-1。
- (14) 石井・中田・野島：シル型長径間ゲートの流体関連振動、構造工学論文集、第38A巻、pp.837-850、1992-4。
- (15) 石井・中田：シル型長径間ゲートの流体関連振動(第3報、「 γ_{xy} -フローティング」の運動方程式の導出と仮定の検証)、日本機械学会主催・第69期全国大会(平成3年10月16日、名古屋大学)にて講演。
- (16) 石井：シル型長径間ゲートの流体関連振動・騒音問題の改善と事例「v-BASE」ワールド特別企画資料集、No.920-65、1992-8。
- (17) Ishii, N. and Knisely, C. W.: Flow-Induced Vibration of Shell-Type Long-Span Gates, Journal of Fluids and Structures, Vol. 6, pp. 681-703, 1992.
- (18) Ishii, N., Knisely, C. W. and Nakata, A.: Coupled-Mode Vibration of Gates with Simultaneous Over- and Underflow, Proceedings of the ASME Winter Annual Symposium on Flow-Induced Vibration and Noise, Vol. 6, pp. 193-205, 1992-11.
- (19) Ishii, N., Knisely, C. W. and Nakata, A.: Field Studies of A Full-Scale Long-Span Shell-Type Gate Undergoing Flow-Induced Vibrations, to be presented at the 1993 ASME P.V.P Division Conf. at Denver, July 25-29, 1993.
- (20) 石井・ほか2名：実用されているシル型長径間ゲートの流体関連振動(実地調査結果とその理論的評価および振動発生のメカニズム)、土木学会論文集に投稿中

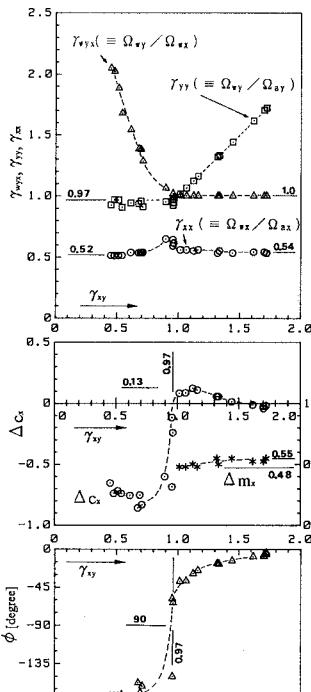


図3 傾斜面角が小さい場合($\Theta=17.5^\circ$)の実験結果

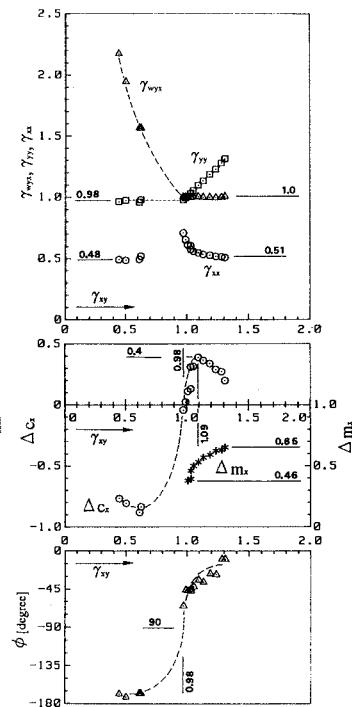


図4 傾斜面角が大きい場合の実験結果の一例($\Theta=60^\circ$)

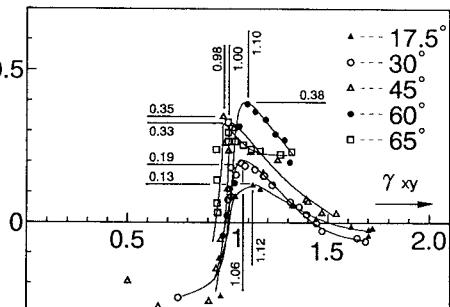


図5 流体発振係数 Δc_x の特性