

CS 137

実用されているシェル形長径間ゲートの流体関連振動に関する実地調査結果

阪電通大 工学部 正員 石井徳章、 阪電通大 大学院 学生員○中田亮生
 阪電通大 大学院 学生員 丸山富美夫

1. 緒言 幅の広い川の流れをせき止める農業用灌漑設備として、背丈の低い長径間ゲート^{(1)~(11)}が数多く利用されている。この種のゲートが流水中で引き起こす振動について実地調査を行った^{(16)~(19)~(20)}。調査の対象としたゲートは、スパンの長さが24.64m、ゲート全体の質量は26,492kgである。ゲート断面を図1に示す。ゲートのクレスト(上部)は水を越流させるために滑らかな曲線で作られ、ゲートの前面は水平な川底に対して垂直なせき板と傾斜したせき板から構成されている。このような特殊なタイプの長径間ゲートを特にシェル形長径間ゲート^{(12)~(20)}と呼ぶ。今回調査したゲートは、水を越流させながら微小なゲート開度で少量の下端放水を行なうと、水平と上下の振動が連成して激しい自励振動を引き起こした。ここでは、最初にその振動を計測した結果を示す。さらに、ゲートを空中に引き上げて、水平と上下の曲げ振動についてモーダル解析を行った結果も示す。

2. 流水中での自励振動に関する実地調査結果 水を越流させた状態でゲートの開度Bを5~7cmの範囲に設定したときに、自励振動が発生した。越流水はゲートクレストに設置されたスポイラーによって完全に分流されていた。測定点2での振動波形(X_2, Y_2)は、振幅、位相ともに、測定点1での振動波形(X_1, Y_1)と全く同じであった。したがって、ゲートはねじり振動を引き起こしていなかったと言える。ゲートの開度を5cmに設定した場合にもっとも激しい自励振動が発生した。このときの測定点1での振動波形を図2に示す。ゲートは静止した状態から自然に振動しはじめ、指数関数的に成長して約24秒後には最大振幅に達し、その後、同じ振幅で安定に振動を続けた。水平と上下の振動数 Ω_{wx} と Ω_{wy} は共に3.32Hz、発振比 ξ_{wx} と ξ_{wy} はそれぞれ0.015と0.019、最大振幅 X_{max} と Y_{max} はそれぞれ13.8mmと5.1mmであった。越流高さ H_0 (図1を参照)は25.0cmであった。ゲート両端の上下振動 Y_3 の記録は全く零であった。ゲート両端の水平振動は鉛直なガイドスロットによって完全に拘束されていたので、ゲートは水平と上下の2方向に、1/2波長モードの曲げ振動をしていたと想定できる。

図2に示した振動波形を合成し、ゲートの運動軌跡を求めたものを図3に示す。運動軌跡は、ゲートが下流側に押されたときに放水口を閉める、いわゆる「プレス・シャット型⁽¹²⁾」になっている。運動軌跡の長手軸に対する法線は、水平な軸から約 61° 傾いている。

3. 空中での実験的なモーダル解析 ゲートの上流側の中央を下流方向にハンマーで衝撃的に加振し、水平方向の曲げによる構造振動モードを調べた。同様に、ゲート上面の中央を下に向かって加振し、上下方向の構造振動モードを調べた。ゲート上に設定した測定点で得られた伝達関数ピークの分布から、主要な振動モードをピックアップしたものを図4に示す。基本となる振動モードは、ModelV(4.69Hz)、およびModelIH(6.45Hz)である。ModelVにはスパン軸周りのねじり振動が少し重なっている。しかし、これら2つの基本モードは、本質的には、水平と上下の方向にそれぞれ1/2波長で曲げ振動を行なっている。今回実地調査したゲートの場合、水平方向の曲げ剛性の方が上下方向よりもわずかに大きくなるように設計されている。このために

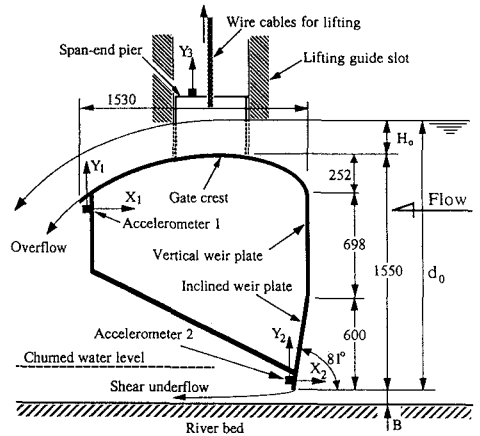


Fig. 1. Cross-sectional view of the full-scale gate. (All linear dimensions in mm.)

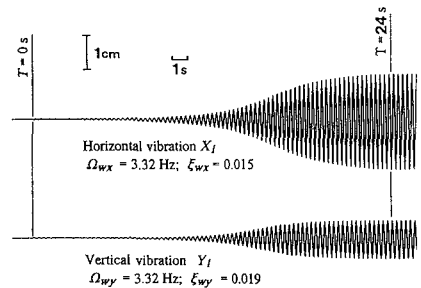


Fig. 2. Wave forms of transient vibrations in both the horizontal and vertical directions, measured at a point just under the gate crest tail in the spanwise middle of the gate ($B=5$ cm).

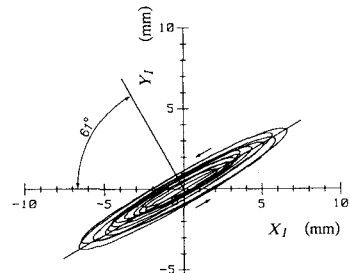


Fig. 3. Gate motion trajectories calculated from the waveforms growing exponentially, for $B=5$ cm.

水平方向の基本固有振動数(6.46Hz)が上下方向の基本固有振動数(4.69Hz)に比べてわずかに大きくなっている。

第2の振動モードは、Mode2V(16.2Hz)とMode2H(20.7Hz)である。両者とも、1波長で曲げ振動している。

4. 付加質量と流体発振係数に関する検討 ゲートの振動に伴って水が動くために、ゲートの加速度に比例した流体力(慣性力)が生じる。さらに、放水流量が変化する場合には、速度に比例した流体力(加振力)も生じる。それぞれの比例係数が付加質量 ΔM と流体発振係数 ΔC である^{(4)・(5)}。今回の調査結果を用いてこれらを計算すると、 ΔM と ΔC は、それぞれ26,389kgと70,867Ns/mになる。

5. 自励振動発生メカニズム ゲート・クレストと垂直なせき板に働く流体力を介して水平と上下方向の曲げ振動が連成し、その結果、ゲートは典型的なプレスシャット型で自励振動を引き起こした。そのため、次のようなメカニズムで自励振動が引き起こされたと考えられる：ゲートが下流側に動くときゲートは同時に下向きに動くため、アンダーフローの流量が減少し、上流側の流れが減速される；そのために流体圧力が上昇し、それがゲートを下流側に押すので、ゲートの下流側への運動が増幅される；ゲートが上流側に動く場合には全く逆のことが起こり、同じようにゲートの運動が増幅され、自励振動が生じる。

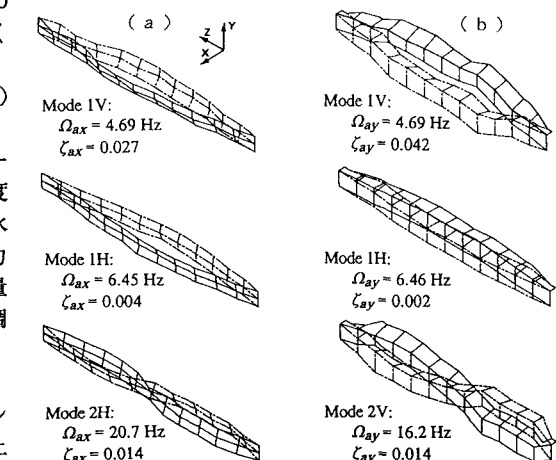


Fig.4. Mode shapes, vibration frequencies and damping ratios of the full-scale gate: (a) horizontal structural vibration; (b) vertical structural vibration.

謝辞

実地調査を行うにあたって(株)丸島アクアシステム、成実哲郎氏から多大なご協力を得た。ここに、謹んで謝意を表す。

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 & AIHR 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、自励振動特性のモデル実験による検証)」、日本機械学会・機械力学・計測制御講演論文集、No.920-55, Vol. b, 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：シェル型長径間ゲートの流体関連振動(第1報、7/24°-7/24°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号、pp.2880-2892、1990-11。
- (13)石井・中田・野島：シェル型長径間ゲートの流体関連振動(第2報、7/24°-7/24°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：シェ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：シェル型長径間ゲートの流体関連振動(第3報、7/24°-7/24°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：シェル型長径間ゲートの流体関連振動、日本機械学会 振動・騒音問題の改善と事例「v-BASE」データベース特別企画資料集、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：実用されているシェル型長径間ゲートの流体関連振動(実地調査結果とそれの理論的評価および振動発生メカニズム)、土木学会論文集に投稿中。