

長径間シェル構造ローラゲート振動の実機計測

Examination of Vibration on the Actual Shell Type Roller Gate

高須修二*・新屋敷隆**・箱石憲昭***・本田敏也****

By Shuji TAKASU, Takashi SHINYASHIKI, Noriaki HAKOISHI and Toshiya HONDA

In some cases of shell type roller gates with a long span, oscillations of gates are seen during small gate opening because of their flexibility. In order to make clear this phenomenon, for an actual shell type roller gate on a river weir, frequency and accelerations of vertical and horizontal direction were measured at some points, i.e. center, 1/4 and edge of span with small opening. Range of gate opening which causes oscillations, frequency and mode of oscillation, time series of frequency acceleration and etc. were analyzed.

Keywords: *shell type roller gates, self excited oscillations, experiment on an actual weir*

1. はじめに

一般に、ゲートの設計は、与えられた荷重条件に対して、応力条件・たわみ条件を同時に満足するような静的条件のもとに行われており、その手法としては既に確立しているといえる。しかしながら、実際にゲートとして使用される場合には、流量調節を行う必要があるので流水にさらされ動的条件も加わるため、応力条件・たわみ条件のみを満足させる静的安定性に対する設計のみならず、動的安定性に対しても考慮する必要がある。

河川構造物であるダム・堰や水門には各種のゲートが設置されているが、特に堰に設置される長径間シェル構造のローラゲートは、一般に可撓性が大きく減衰性が小さいため、流水に伴う振動が、設計上重要な問題となっている。これらのゲートの下端放流時に発生する振動は、微小開度のある狭い範囲で生ずる自励振動と、広範囲の開度にわたりゲート底板に作用する波動によって生ずる強制振動に大別される¹⁾。これらの振動については、基本的には防止することが難しく、実際上は操作方法により回避しているところである。また、この振動現象に対するメカニズムの解明は、十分にはなされていないのが現状であり、ゲートの設計上与えられる許容たわみ度との関係についても不明な部分が多い。

* 正会員 建設省土木研究所水工水資源研究室 室長 (〒305 茨城県つくば市旭1番地)

** 正会員 同室 主任研究員

*** 正会員 建設省関東地方建設局宮ヶ瀬ダム工事事務所 調査設計課長
(〒243 神奈川県厚木市恩名66)

**** 正会員 建設省土木研究所水工水資源研究室

この問題に対して、水理模型実験あるいは理論解析により振動現象の発生メカニズムを解明しようとする研究が行われているが、実物の長径間シェル構造ローラゲートの振動現象に対する計測の事例報告はほとんどなされていない。

そこで、長径間シェル構造ローラゲートの動的安定性に対する設計手法と振動防止対策に資するため、微小開度での放流時における自動振動現象について、建設省近畿地方建設局姫路工事事務所管内の加古川大堰の実機ゲートにより、振動発生領域、周波数等について調査を行ったので、ここに報告するものである。なお、通常のゲート操作時においては、微小開度での放流は行わないように最小開度を制限しており、自動振動の現象は発生していない。

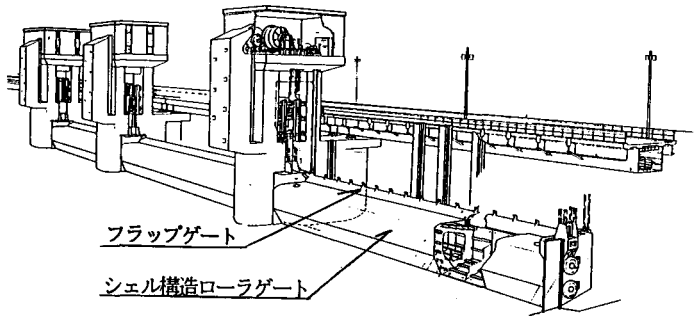


図-1 主ゲート・調節ゲート一般図

2. 実機計測の方法

2.1 ゲートの概要

測定に使用したゲートは、加古川大堰の主ゲートと調節ゲートである。これらのゲートは、フラップ付きのシェル構造ローラゲートとなっており、その諸元を表-1に、一般図を図-1、ゲート断面図を図-2に示す。また、各ゲートの固有振動数について、水平方向は両端単純支持梁として、鉛直方向は両端弾性支持梁として計算により求めた結果を表-2に示す²⁾。また、今回試験に使用したゲートと全国の長径間シェル構造ローラゲートとの関係を表したものが図-3～6である。径間・扉高・扉体厚の関係では、若干扉高の割合が低めの部類に入るが、曲げモーメントと扉体重量の関係で見ると、ほぼ平均的な傾向を示していると思われる。ただし、水平・鉛直たわみ度については、若干大きめの値を示している。鉛直たわみは、若干大きめで主ゲートで2.5cm、調節ゲートで4.5cmとなっており、ゲートの両端部と中央部では通水断面（開口高）が異なることになる。

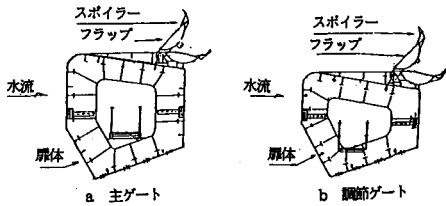


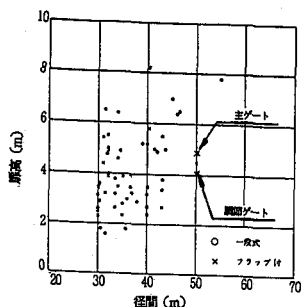
図-2 ゲート断面図

表-1 ゲート設備諸元

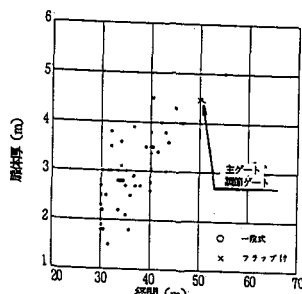
項 目	種 別	主ゲート	調節ゲート
形 式		フラップ付シェル構造鋼製ローラゲート	同 左
純 径 間 (m)		50.2	同 左
扉 高 (m)		6 { 上段扉: 1.1 (7.777) 下段扉: 4.9 }	5.3 { 上段扉: 1.2 (7.777) 下段扉: 4.1 }
扉 体 厚 (m)		4.5	同 左
扉 体 重 量 (tf)		375	410
設 置 数 (門)		3	2
開 閉 方 式		下段扉2モータードラム両端巻取式 (上段扉も同じ)	同 左
上段扉開閉速度		起立速度 (全開閉とも) 約 6 min	起立速度 (全開閉とも) 約6min, 12min 2段切替
下段扉開閉速度		0.3m/min	同 左
敷 高 (m)		T.P.+7.20	同 左
扉体天端高 (m)		T.P.+13.20	T.P.+12.50
水 密 方 式		前面3方水密および下段扉と上段扉間の水密	同 左
設計水位 (m)		上流: T.P.+13.50 下流: T.P.+7.20	同 左
操作水位 (m)		上流: T.P.+13.50 下流: T.P.+7.20~9.50	同 左

表-2 ゲートの振動特性

	空中水平方向固有振動数 (Hz)	空調鉛直方向固有振動数 (Hz)		
		944-R-A・B系	扉体たわみ系	合成系
主ゲート	3.74	4.03	3.39	3.18
調節ゲート	3.57	4.50	3.05	2.90



(a) 径間～扉高の関係



(b) 扉高～扉体厚の関係

図-3 径間・扉高・扉体厚の関係

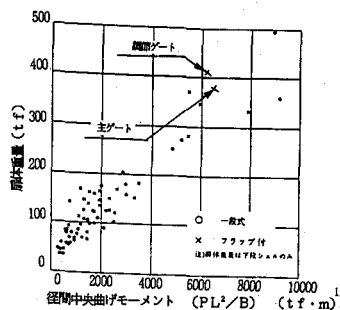


図-4 曲げモーメントと扉体重量の関係
P: 単位幅あたり水圧荷重 L: 径間長

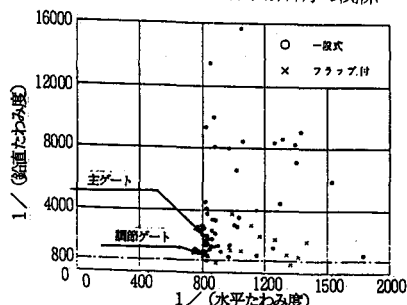


図-5 水平および鉛直たわみ度の関係

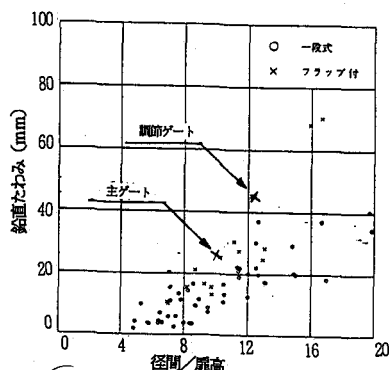


図-6 (径間/扉高)と鉛直たわみの関係

2.2 測定項目及び測定方法

(a) 測定項目

測定は、振動加速度・水位・ゲート開度・流況について行った。振動加速度については、ゲートの径間中央、1/4径間および端部において2方向（鉛直、水平方向）の測定を行った。測定位置を図-7に示す。水位は、ゲート直上流、ゲート直下流の水位をコンクリートピアに取り付けた量水標により測定した。ゲート開度は、開度計の値では離散値となるため、ゲート両端部において実開度を測定した。流況は、I TVカメラによりゲート上下流の状況を観察しビデオ記録するとともに、径間中央リップ付近にてゲート下流側の状況のビデオ記録も行った。

(b) 測定方法

原則として主ゲートも調節ゲートともに開度を1cm→3cm→5cm→7cm→9cm→10cm→8cm→6cm→4cm→2cmの順に設定し、測定を行うものとした。ただし、自励振動が確認された場合は、安全のためゲートを一旦全閉状態にまで戻し、その後、次の段階の開度まで開けるものとした。主ゲート、調節ゲートとも予備試験、本試験（1、2回）と確認の意味も含めて3セットのゲート開閉を行った。

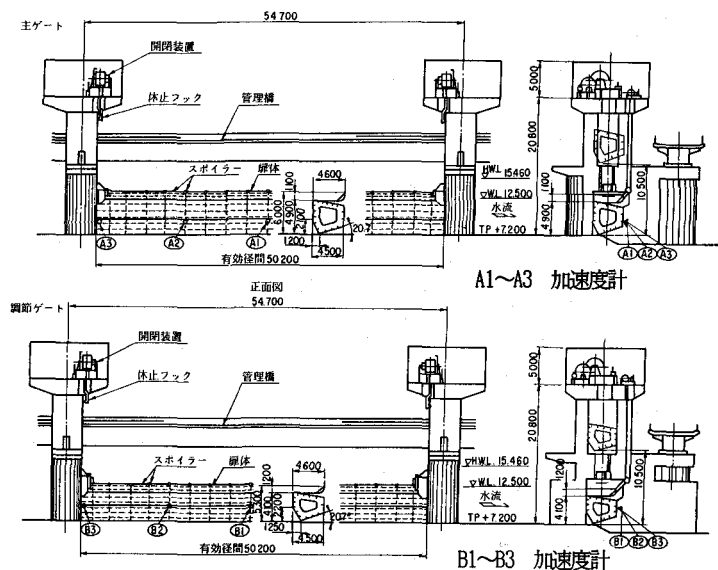


図-7 加速度計取付位置

3. 実機計測の結果

3.1 振動発生条件

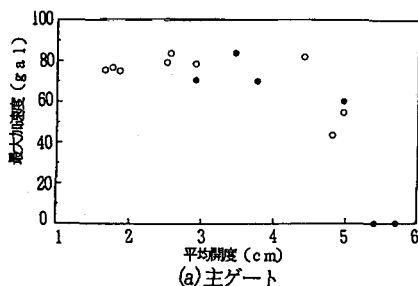
(a) ゲート操作開度

図-8に主ゲートにおけるゲート操作開度と自励振動発生の有無の例を示す。自励振動によるゲ

ートの全閉操作は、振動加速度が片振幅で80gal程度を基準として行った。自励振動の発生は、まずワイヤロープの振動から感知され、その後振動の増幅とともに堰上流水面の波立ちが生じ、更に増幅するとコンクリートピアにおいても振動が感知された。

(b) 発生条件

平均開度（実測によるゲート右端部と左端部開度の平均）と最大加速度との関係を図-9に示す。主ゲートでは、平均開度が1.65cm～4.95cmの範囲において全ての実験ケースで自励振動が発生した。これに対し、調節ゲートでは、平均開度が2.85cm～5.9cmの範囲において自励振動が発生したが、この範囲内にあっても閉操作時には自励振動が発生しないケースがあった。



(a) 主ゲート

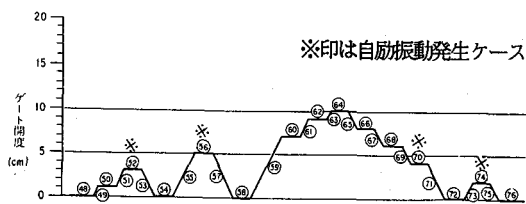
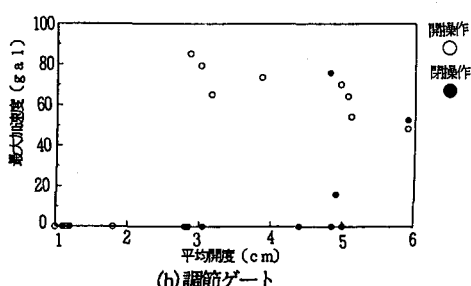


図-8 ゲート運転履歴例（主ゲート）



(b) 調節ゲート

図-9 平均開度と最大加速度

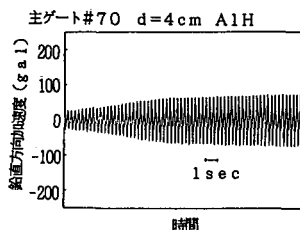
3.2 振動発生状況

(a) 振動周波数と加速度

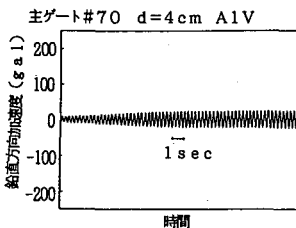
自励振動発生時の主ゲート径間中央における鉛直・水平方向加速度波形およびそれぞれのFFT周波数分析結果の一例を図-10, 11に示す。振動発生時の加速度は規則的な波形を示しており、周波数成分は鉛直・水平方向ともに3.25Hzが極端に卓越していた。調節ゲートにおいても卓越周波数は異なるが同じ傾向を示していた。

平均開度と振動周波数の関係を図-12に示す。主ゲートの振動周波数は3.125Hz～3.25Hz、調節ゲートの振動周波数は2.5Hz～2.75Hzとなっており平均開度によらずほぼ一定であった。また、ゲート径間中

央部に発生した最大加速度（片振幅）は、主ゲートで40～90gal、調節ゲートで20～90galであった。本試験では、自励振動が発生した場合、ゲートの安全を考慮し振動を確認の後ゲートを全閉状態としており、この振動の上限値については更に増大する可能性がある。

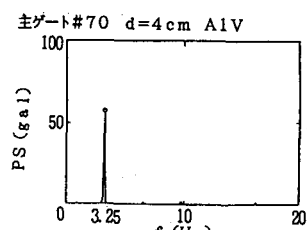


(a) 鉛直方向

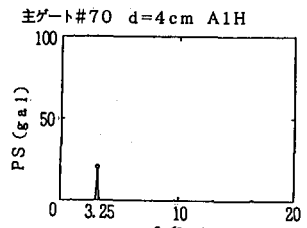


(b) 水平方向

図-10 加速度波形
(主ゲート径間中央)



(a) 鉛直方向



(b) 水平方向

図-11 FFT周波数分析結果
(主ゲート径間中央)

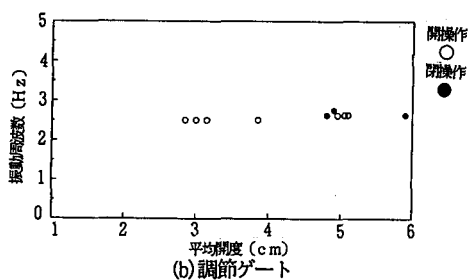
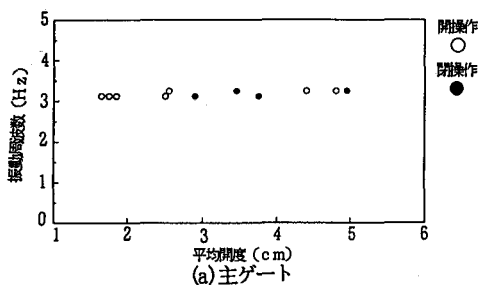


図-12 平均開度と振動周波数

(b) 振動方向

自励振動時の加速度波形の一例を図-13に示す。主ゲートにおいては、鉛直方向と水平方向の加速度の大きさは、約2:1の関係になっている。また、調節ゲートにおいては、径間中央部において鉛直方向と水平方向の加速度がほぼ同程度となっている。調節ゲートの鉛直方向と水平方向の振動を合成し、振動の軌跡を描いたりサーージュ図の一例を図-14に示す。ここでは、ゲートは左岸側からみて半時計回りの軌跡を描いて振動し、端部においてはローラの支持拘束により、径間中央部と異なる軌跡を示している。さらに、加速度の波形には径間方向に位相のズレが見られないため、振動モードは一次振動モードであると考えられる。

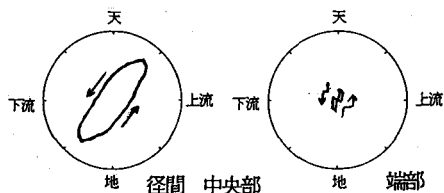
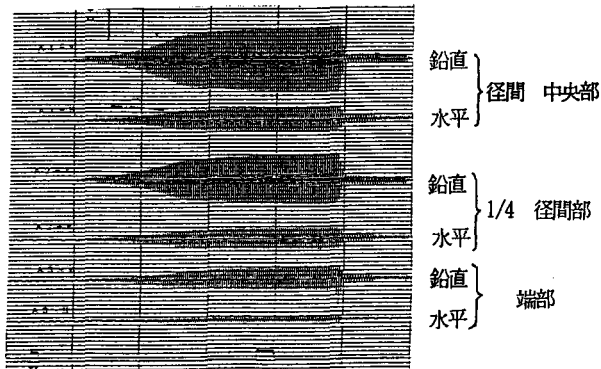
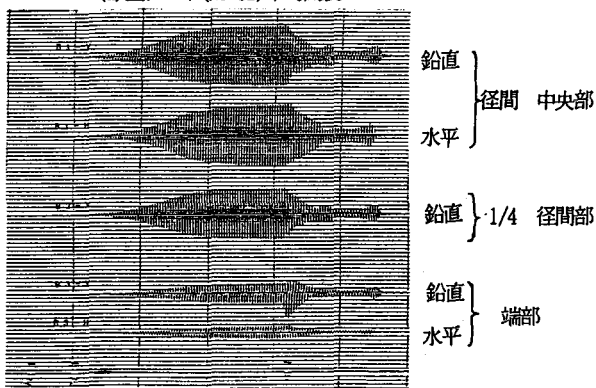


図-14 調節ゲート振動軌跡



(a) 主ゲート (No. 52) 平均開度 2.55 cm

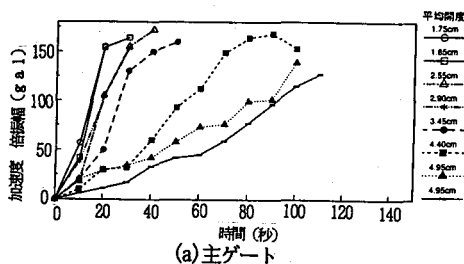


(b) 調節ゲート (No. 32) 平均開度 3.00 cm

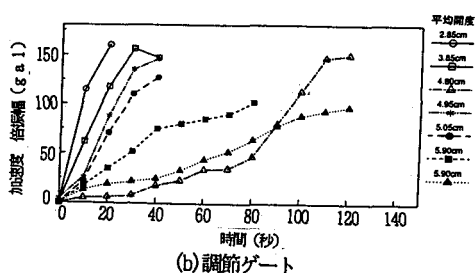
図-13 加速度波形

(c) 時間的变化

平均開度ごとの径間中央部における鉛直方向加速度の時間的变化を図-15に示す。平均開度が小さいほど加速度の立ち上がりが速く、平均開度が大きいと加速度の立ち上がりは鈍くなっている。



(a) 主ゲート



(b) 調節ゲート

図-15 径間中央部の鉛直方向加速度の時間的变化

(d) 発生領域

自動振動が発生したゲート開度 a を直上流水深 h_u で無次元化した値 a/h_u と下流水位 h_d の無次元値 $(h_d-a)/h_u$ との関係を図-16に示す。両ゲートともゲート開度が直上流水深の1%程度以下の条件で自動振動が発生している。

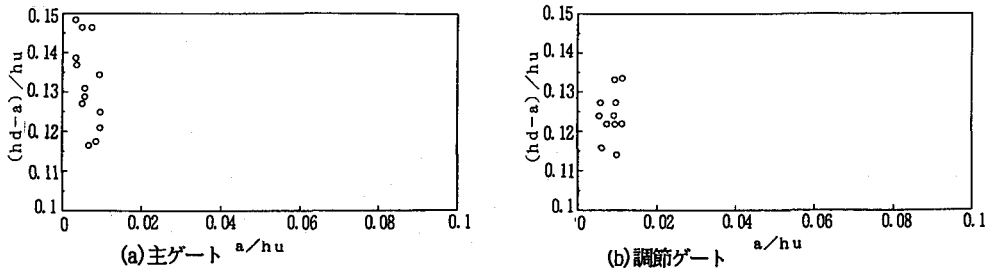


図-16 自動振動の発生領域

(e) 流況

試験中のゲート直下流の水位は底部戸当り標高より約60~70cm高くなっており、自動振動が発生したときのゲート下端からの流れは、潜り流出状態であった。

4. まとめ

今回の実機における振動試験では、微小開度において卓越周波数が主ゲートで約3.2Hz、調節ゲートで約2.6Hzでの振動が発生した。この値は、計算から求められた固有周期主ゲート3.18Hz、調節ゲート2.9Hzとほぼ等しくなっている。調節ゲートにおいては、振動発生領域が若干主ゲートと比べて大きい方にシフトしており、同等の開度においても振動の発生しない場合がみられたが、これらは主ゲートに比べて鉛直たわみが大きく、通水断面を表す実際の開度の変化の影響が表れているものと思われる。実機においては、このようにゲートのたわみが生じており、実際の開度について一概に述べることはできないが、微小開度では振動の発生することは明かであり、実際の運用にあって、これらを考慮した運用を行い、また、微小開度での振動を回避する操作が可能な設備の設計を行う必要があると考えられる。

5. おわりに

今回は、試験例のほとんどなかった長径間シェル構造ローラゲートの振動実機試験について報告を行った。なお、本研究課題については、水門鉄管協会の水門技術調査研究委員会の研究課題ともなっており、水理模型実験による研究、解析的研究についても別途委員会の中で行われている。最後に、本試験を実施するに当たり、ご協力頂いた姫路工事事務所の方々をはじめ協力ご助言を頂いた方々に対し謝意を表します。

参考文献

- 1) 上田幸彦・荻原国宏：長径間ゲートの振動特性に関する研究、土木学会論文報告集、第279号、1978。
- 2) 上田幸彦・荻原国宏・角哲也：長径間ゲートの振動に関する基礎的解析、水門鉄管、No. 160、1989。
- 3) 荻原国宏：シェル構造ローラゲート3次元模型振動実験報告、水門鉄管、No. 164、1990。
- 4) 角哲也・中川博次・荻原国宏：長径間ゲートのたわみと振動に関する研究、土木学会第45回年次学術講演会概要集、1990。
- 5) 竹林征三・角哲也・箱石憲昭：堰などからの放流に伴う低周波空気振動の発生機構、ダム技術、No. 71、1992。
- 6) 荻原国宏・中川博次・上田幸彦：長径間シェルローラゲートの自動振動の理論解析、土木学会第48回年次学術講演会概要集、1993。
- 7) 高須修二・箱石憲昭：長径間シェル構造ローラゲート振動実態調査報告書、土木研究所資料、第3177号、