

長径間ゲート振動現象における振動特性と抑制対策

江田 友也

独立行政法人水資源機構 旧吉野川河口堰管理所 施設管理グループ

今切川河口堰は上水・工水・農水の供給，塩水遡上防止，流水の疎通を目的として昭和51年に管理を開始している。

今切川河口堰に設けられた2段式シェルローラゲートにてオーバーフロー中，下段扉の振動が確認されたため振動調査を実施し，振動時の扉体挙動，ゲートの動的安定度，振動原因を特定した。

本論文では，2段式シェルゲートにおける振動原因と対策を報告するものである。

キーワード 長径間ゲート，フロントローラ，傾向管理手法の確立

1. はじめに

2段式シェルローラゲート(以下「調節ゲート」)の形式は表-1に示すとおりであり，堰上流水位を一定に維持するための流量調節機能を有している。

平水時は下段扉を着床させ上段扉からオーバーフローを行っており，オーバーフロー中に大気部に露出している下段扉導流板が上下流方向に振動している事象を発見した。

振動発生後，調節ゲートの運用を停止するとともに原因調査を実施した。

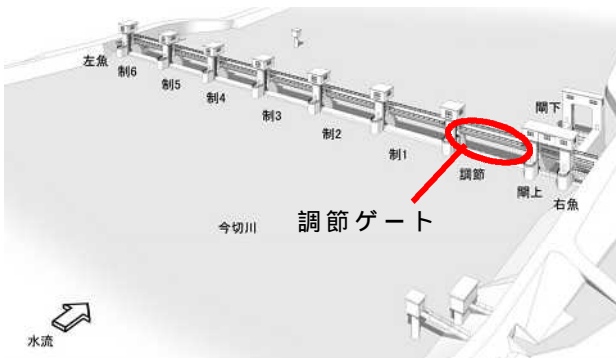


図-1 今切川河口堰全景

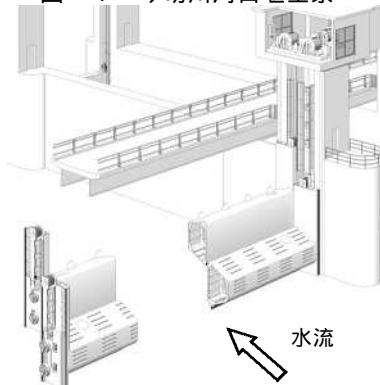


図-2 調節ゲート一般図

表-1 調節ゲート諸元

ゲート形式	シェル構造2段式ローラゲート
純径間×有効高	25.0m×6.0m
水密方式	3方ゴム水密および扉間ゴム水密
開閉方式	4M4Dワイヤロープウインチ式
門数	1門



写真-1 調節ゲートオーバーフローによる放流状況

2. 振動発生原因

振動発生時の上下流水位差およびゲート開度を表-2に示す。

振動の原因を特定するため，振動発生時の上下流水位差を含む3パターンの上下流水位差にて放流試験を実施し，振動発生条件の特定調査とともに，扉体の挙動を調査した。

表-2 振動発生時の水位差・ゲート開度

上流水位	下流水位	水位差	ゲート開度	越流水深
T.P+0.46m	T.P+0.25m	21cm	172cm	41cm

(1) 振動発生条件の特定調査

振動発生条件の特定調査は、上下流水位差 50 cm, 20 cm, 10 cm の 3 パターンにおいて、越流水深を 0 cm から 60 cm の間で、1 分毎に 5 cm ずつ変化させて実施した。

調査の結果、越流水深 40 cm の状態において、振動発生時と同様の上下流水位差 20 cm の場合のみ振動が発生することを確認した。

調査における振動発生時の上下流水位差を表 - 3 に示す。

表 - 3 振動発生時の上下流水位差

発生時の条件	初期水位	振動発生の有無
水位差20cm程度 (再現時)	上流水位 T.P.+0.22m	あり
	下流水位 T.P.-0.02m	
水位差10cm程度 (小水位差時)	上流水位 T.P.-0.08m	なし
	下流水位 T.P.-0.16m	
水位差50cm程度 (大水位差時)	上流水位 T.P.+0.37m	なし
	下流水位 T.P.-0.16m	

上下流水位差の変位と上段扉ゲート開度および振動発生時期を時間経過と共に整理すると、図 - 3 に示すように、越流水深が一定の状態では上下流の水位が徐々に近づいていくなか、上下流水位差 20 cm 時点のみ振動が発生していることがわかる。

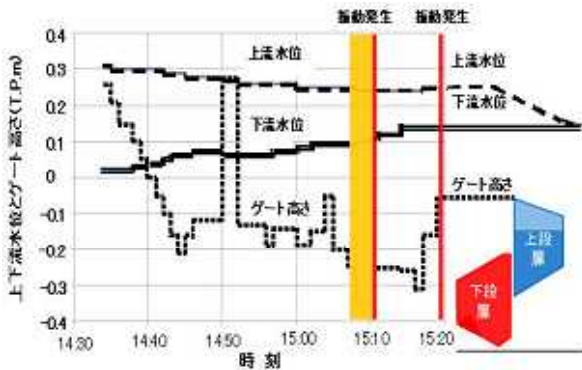


図 - 3 振動発生時の上下流水位差とゲート開度

(2) 扉体の挙動調査

扉体の挙動を調査するため、図 - 4 に示すとおり左右岸導流板天端 2 箇所、外殻中央部 1 箇所の計 3 箇所に加速度振動計を設置し、上下流 (X)、径間 (Y)、鉛直 (Z) 3 方向の振動を計測した。

調査の結果、図 - 5 に示すように上下流方向の振動が特に大きく、径間方向および鉛直方向の振動は小さい事が確認できたことから、ゲート下端を支点とした【倒立振り子】のような振動を起こしているといえる。

なお、左岸導流板天端の挙動は右岸とほぼ同一であったため、本論文では省略する。

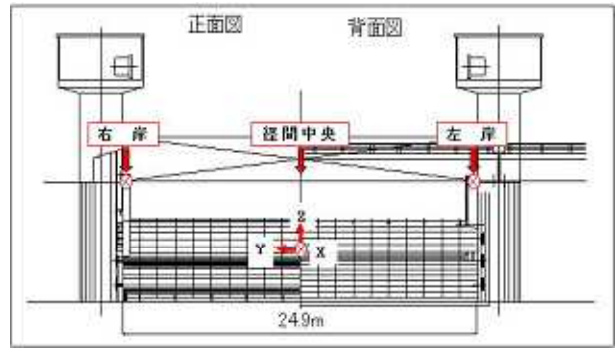


図 - 4 加速度振動計 設置位置図

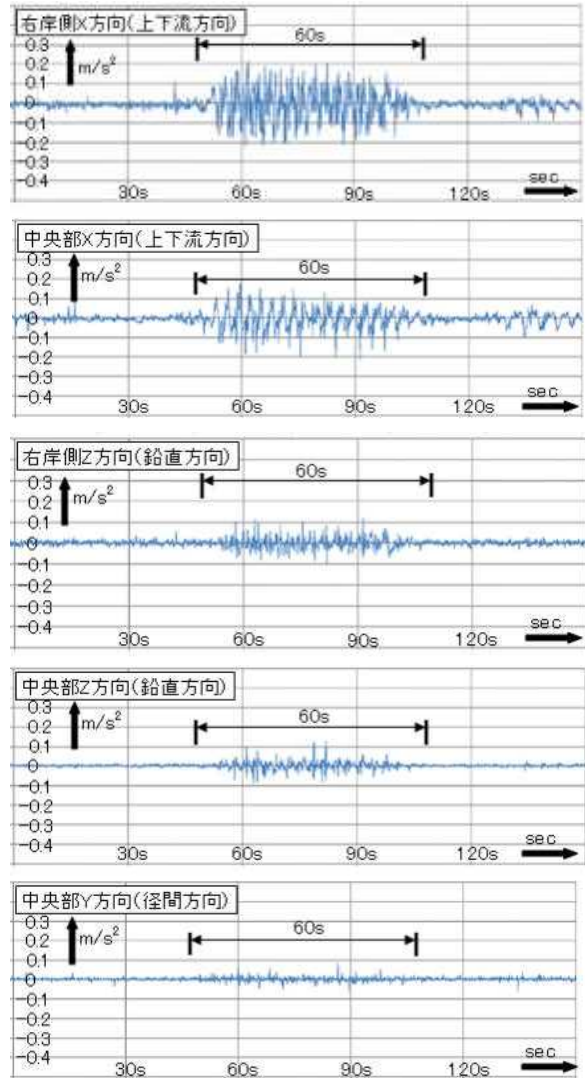


図 - 5 扉体挙動調査時の振動実時間波形 (加速度)

(3) 振動原因の推測

振動の発生原因について、表 - 4 のとおり想定される原因をリストアップし、フロントローラの機能不良が振動原因である可能性が高いと判断した。

表 - 4 振動発生原因の推測

番号	内容	判定	判定理由
①	設計たわみ量 1/800以上	該当なし	作用する水圧および鋼材の板厚が設計計算と同一であるため
②	スポイラの変形	該当なし	目視確認の結果
③	越流時の流速10m/sを超え、キャビテーション発生	該当なし	計算上の流速1.5m/sのため
④	上下段扉間の扉間水密ゴム漏水による弾性振動	該当なし	弾性振動が確認されなかったため
⑤	上下流方向への扉体傾斜を抑制するフロントローラの機能低下による振動	該当あり	上下流方向への振動であるため

3. 振動抑制対策

(1) フロントローラの役割

下段扉は、吊り位置と扉体重心位置が異なるため、常時扉体が上流側へ傾斜する構造となっている。

そのため、扉体の傾斜を抑制し上下段扉の扉間水密を確保するためのフロントローラが扉体側面に設けられている。

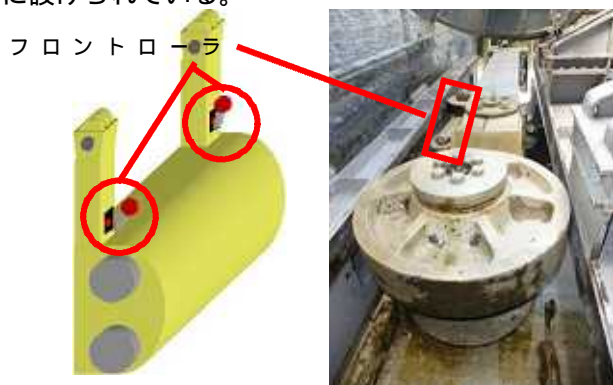


図 - 6 フロントローラ設置位置図

フロントローラ内部の構造は図 - 7 に示すとおりで、内部の皿バネの反発力により下段扉を支える。

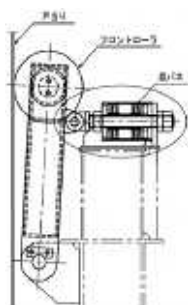


図 - 7 フロントローラ設置位置図

皿バネの腐食等が発生し反発力が低下した状態で上下流水位差が小さくなると、扉体が上流側へ傾斜する。

その状態でオーバーフローを行うと、流水が下段扉を下流側へ押す力と、下段扉が上流側へ傾く力が相互に作用し、ゲート下端を基点として上下流方向へ【倒立振り子】のような振動を引き起こ

す可能性が高い。

フロントローラの機能と扉体傾斜の関係を図 - 8 に示す。

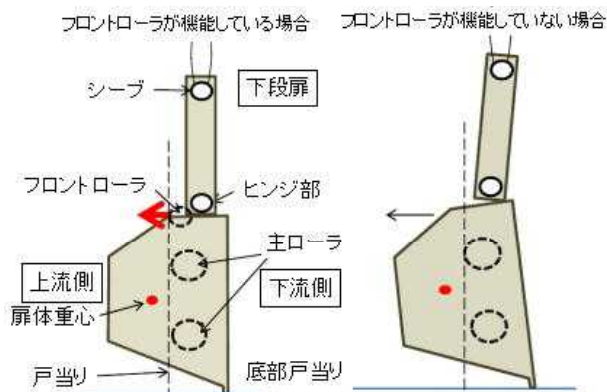


図 - 8 フロントローラの機能

(2) 振動抑制対策

振動を抑制するため、次の対策をフロントローラにて実施した。

1) 材質変更

皿バネの材質はステンレスバネ鋼 (SUP10) が採用されている。

振動発生後に実施した整備にてフロントローラを分解したところ、皿バネが腐食と割れを起こしていた。

そのため、バネ鋼からステンレス鋼 (SUS630) に変更して防食性を向上させることでフロントローラの延寿命を図ることとした。

2) 電気防食陽極設置

皿バネの材質をステンレス鋼にすることで、ブラケット (SM400) との異種金属による電位差腐食が懸念されるため、ブラケットに電気防食陽極を設置し耐防食性の向上を図った。

3) 塗装仕様変更

フロントローラは常時水没していることから、耐水性を考慮してエポキシ樹脂系塗料を選定していたが、防食性を向上させるためタールフリーエポキシ樹脂系塗料に仕様変更した。

4. 抑制対策結果

振動の原因となったフロントローラの機能回復を検証するため、振動抑制対策前に行った振動計測と同条件にて振動計測を行った。

振動計測結果を図 - 9 に示す。

波形からわかるように対策前のような明瞭な振動はなく、振動加速度の振幅は対策前と比較して、 $1/20$ 以下と大幅に小さくなった。

これらより、振動の主な原因はフロントローラの機能不良であるものと断定できた。

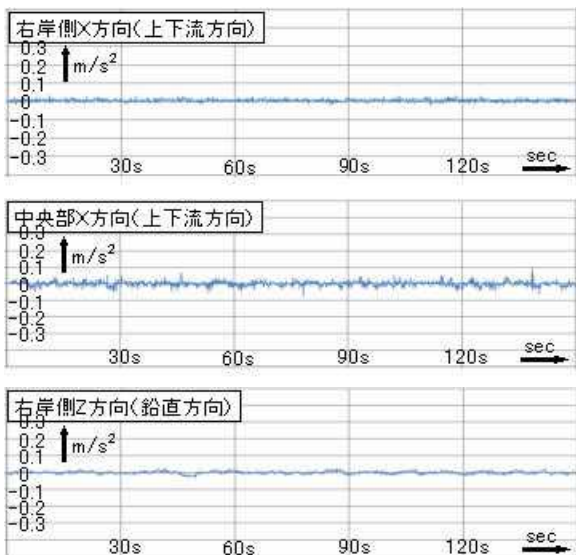


図 - 9 振動抑制対策後の振動実時間波形（加速度）

5. フロントローラの機能確認手法

従来のフロントローラの機能確認は、フロントローラを分解して内部の部品状態を観察する手法のみであったが、扉体の傾斜角度を定期的に計測し、設計値と比較することでフロントローラが扉体の傾斜を抑制しているかを容易に確認する手法を見いだした。

具体的な手法は、図 - 10 に示すフローのとおりである。

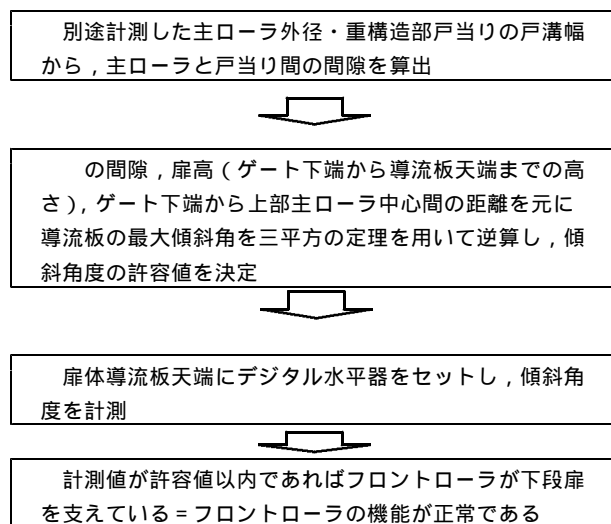


図 - 10 フロントローラ機能確認フロー

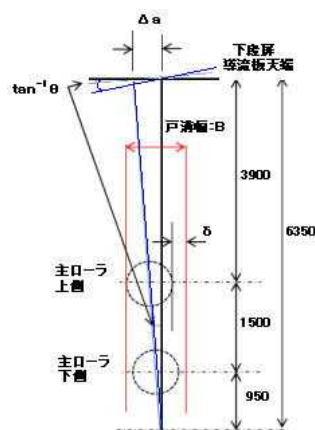
振動抑制対策完了後、表 - 5 に示すとおり下段扉の傾斜角度を計測した。なお、表中では上流側への傾斜をマイナスとする。

表 - 5 扉体傾斜計測表

上流水位 (T.P.)	下流水位 (T.P.)	水位差(m)	下段扉角度(°)	
			右岸側	左岸側
0.07m	0.56m	-0.49m	-0.30°	-0.35°
0.73m	-0.71m	1.44m	0°	0°
0.42m	-0.41m	0.83m	-0.05°	-0.05°
0.35m	-0.18m	0.53m	-0.10°	-0.10°
0.41m	0.16m	0.25m	-0.25°	-0.30°
0.47m	0.54m	-0.07m	-0.30°	-0.35°

また、計測した主ローラ外径と戸溝幅を元に傾斜角度の許容値を計算すると、表 - 6 に示すとおり 0.37° である。

扉体傾斜角度の計算模式図を図 - 11 に示す。



移動量: $\Delta a = 6350 \times \delta / 2450$
 傾き角度: $\tan^{-1} \theta = \Delta a / 6350$

図 - 11 扉体傾斜角度算定模式図

測定箇所		既定値
主ローラ径	ϕ	796mm
戸溝幅	B	812mm
間隙量	δ	16mm
移動量	Δa	41mm
傾斜角度(許容値)	$\tan^{-1} \theta$	0.37°

表 - 6 扉体傾斜許容値

以上から、扉体の傾斜が 0.37° になるとフロントローラの機能不良を疑うことができる。

6. まとめ

今回発生した振動は、これまで事例のない上下流方向の回転振動(「倒立振り子」)であることが判明し、その原因はフロントローラの機能不良であることを検証できた。

本件で立案したフロントローラの機能確認手法は、フロントローラを使用している長径間ゲートにも適用できると考える。長径間ゲートにおけるフロントローラの整備計画立案の一助になれば幸いである。

終わりに、振動特性の検証について多大なるご指導、ご助言をいただいた大阪電気通信大学中田准教授に紙面を借りて厚くお礼を申し上げます。