

実負荷運転から得た高山ダムクレストゲートの健全度評価

内田 颯太¹

¹ (独)水資源機構 木津川ダム総合管理所 高山ダム管理所
(〒619-1421 京都府相楽郡南山城村田山字ツルギ 43)

高山ダムの非常用洪水吐き設備（以下「クレストゲート」という。）は、1969年の管理開始から49年が経過した。これまで、無負荷状態での健全性については、直営・請負での点検により確認してきたが、実負荷での運転状況・健全性については、1982年の放流以降確認する機会がなかった。

そのような状況の中、昨年度実施したフラッシュ放流において、冷水放流対策からクレストゲートを使って放流を行うこととなり、実負荷を伴った運転状況を確認する機会を得た。

本稿は、扉体の振動計測、電動機の電流・電圧値計測、放流水の流況確認の結果から得たクレストゲートの健全性について報告するものである。

キーワード：クレストゲート、微小開度、振動安定性、軸受の健全性、主ローラ回転確認

1. はじめに

高山ダムのクレストゲートは、異常洪水時の防災操作において使用される重要な設備であり、1969年の管理開始から49年が経過している。これまで、機械設備管理指針（独立行政法人水資源機構）を基に作成した高山ダムゲート設備等点検整備実施要領に従い点検を実施することで、健全性を把握し適切な維持管理に努めてきた。

しかし、上述の点検は無負荷状態で実施するものであり、実負荷での運転状況等については、1982年に行った放流以降35年間確認する機会がなかった。

一方、高山ダムでは、漁業協同組合（以下「漁業組合」）の要望により、2002年度から低水管理用主バルブを使ってフラッシュ放流を実施してきたが、中層からの冷水放流による魚類への影響が懸念され、2014年度以降フラッシュ放流を中止していた。

上述の懸念事項を解消するため、漁業組合に対し低水管理用主バルブより敷高の高いクレストゲートからの放流を提案したところ、2017年度よりフラッシュ放流を再開する了解を得た。

以上の経緯から、昨年度フラッシュ放流において実負荷運転時のデータ計測を行い、クレストゲートの健全性を確認したため、本稿において報告する。

2. 計測方法

(1) 計測項目

高山ダムのクレストゲートは、従前より微小開度における放流の可否や、特徴的な主ローラ構造からなる幅広な戸溝が主ローラ軸受に及ぼす影響について懸念されていた。そこで、扉体の振動及び電動機の電流・電圧値計測、放流状況の撮影を行い、放流中の扉体安定性、主ローラ軸受の健全性、主ローラの回転状況について確認することとした。

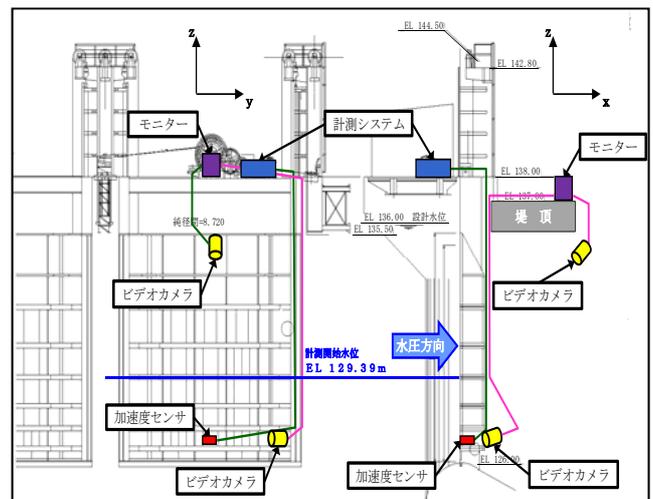


図1 計測機器設置状況

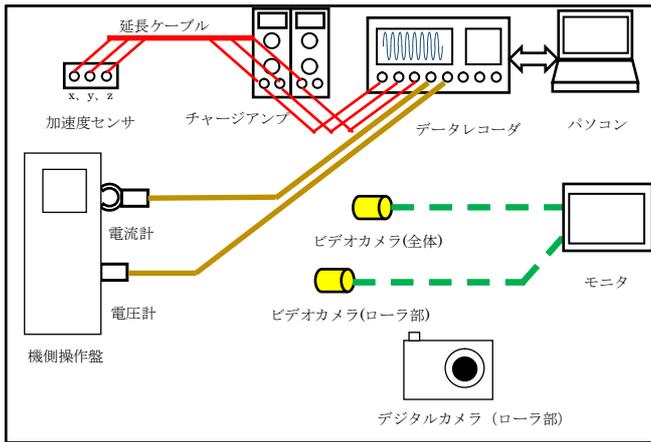


図2 計測システムの構成

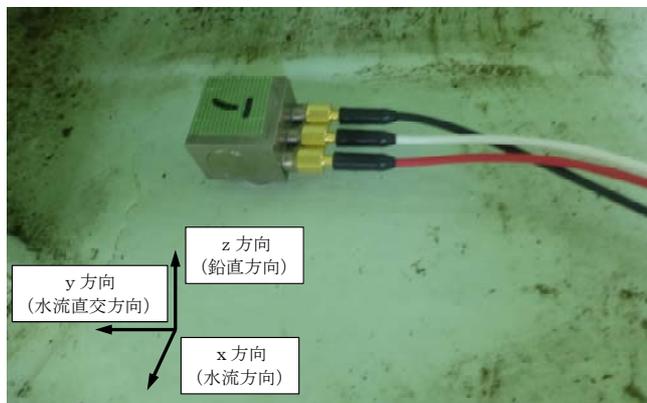


写真1 加速度センサ設置状況

(2) 計測条件

表1 計測条件(クレストゲート3号)

開度	放流量	貯水位 (E L)	ゲート数高からの水位
1 c m	0.47 m ³ /s	129.39 m	3.39 m
3 c m	1.41 m ³ /s	129.39 m	3.39 m
5 c m	2.34 m ³ /s	129.38 m	3.38 m
10 c m	4.65 m ³ /s	129.38 m	3.38 m
45 c m	20.46 m ³ /s	129.37 m	3.37 m
92 c m	40.64 m ³ /s	129.36 m	3.36 m

表2 計測条件(クレストゲート4号)

開度	放流量	貯水位 (E L)	ゲート数高からの水位
2 c m	0.93 m ³ /s	129.35 m	3.35 m
3 c m	1.40 m ³ /s	129.34 m	3.34 m
6 c m	2.78 m ³ /s	129.33 m	3.33 m
11 c m	5.07 m ³ /s	129.32 m	3.32 m
45 c m	20.30 m ³ /s	129.31 m	3.31 m
92 c m	40.34 m ³ /s	129.31 m	3.31 m

表1及び表2に計測条件を示す。フラッシュ放流は、最大40 m³/s程度の放流を2時間実施する計画であった

め、時間・放流量の制約から計測門数を2門とし、微小開度域(1 c mから10 c m)のデータ計測を主目的として計測を行うこととした。

計測時間は5分、放流の原則及び次データ計測のための準備時間を考慮し、開度保持時間は10分とした。

(3) 評価方法

a) 扉体の安定性評価¹⁾

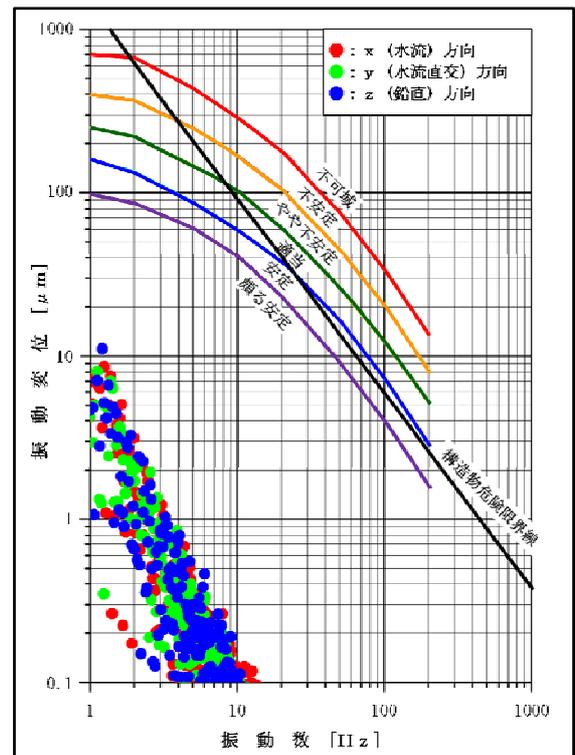


図3 ペトリカット線図による振動安定性評価(例)

扉体の安定性については、振動計測より得たデータを、図3に示すペトリカット線図にプロットし評価することとした。加速度計より得たデータは、計測時間(s)毎の加速度(c m/s²)であるため、フーリエ変換により周波数(Hz)毎の加速度データに変換し、次式を用いて振動変位(μm)を算出した。

$$\delta = \frac{a_n \times 10^4}{(2\pi f)^2} \dots \dots \dots (1)$$

δ : 周波数fでの振動変位 (μm)

f : 周波数成分 (Hz)

a_n : 周波数fでの加速度 (c m/s²)

b) 主ローラ軸受の健全性評価

主ローラ軸受の健全性は、ローラ効率等の計測が困難なことから、電動機の電流・電圧値より機械効率を算出し、当初設計の効率と比較することで軸受性能の劣化状況について判断することとした。

機械効率は、式(2)及び(3)により算出される。下記に示す電流・電圧以外の[]内の値は、当初設計図書及び計測条件等から算出したものである。

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \theta \times \eta \div 1000 \dots \dots (2)$$

P : 電動機出力 (kW)

V : 電圧 (V)

I : 電流 (A)

cos θ : 電動機力率 [0.645]

η : 電動機効率 [0.899]

$$\eta m = (W \times v) \div (60 \times P) \dots \dots (3)$$

ηm : 機械効率

W : 電圧 (V) [290]

v : 開閉速度 (m/min) [0.491]

3. 計測結果

(1) 振動安定性評価

図4にクレストゲート3号のペトリカット線図による振動安定性評価を示す。図の結果から、放流中に発生する振動は、全ての開度において「構造物危険限界線」を下回っており扉体が安定していることが解る。

しかし、開度92cmのy(水流直交)方向16Hz付近、開度45cm及び92cmのz(鉛直)方向6Hz付近に着目すると、特異的な振動変位が見受けられる。この振動変位の原因を明らかにするため、当該開度での流況の確認を行った。

写真2に開度92cmの流況を示す。流況確認より、特異的な振動変位が発生する開度において、放流水が戸溝から噴流していることが解かった。

この結果から6Hz付近で発生していたz(鉛直)方向の振動は、戸溝からの噴流によりゲートの動作方向に外力が作用したことで発生したものであると考えられる。

また、放流中のx(水流)方向には、放流水を外力とした振動が常に発生している。高山ダムのカレストゲートは主桁ウェブの剛性が低いため、x(水流)方向の振動に誘発される形でz(鉛直)方向の振動も発生する。このz(鉛直)方向の振動により主桁ウェブがたわみ、たわみ量を振動変位として検出することでy(水流直交)方向の特異振動が発生したと考えられる。

ただし、これらの振動変位は非常に小さく、「構造物危険限界線」を大きく下回っていることから、ゲートの運用に支障をきたすものではないと判断した。

クレストゲート4号も、3号と同様の結果であった。

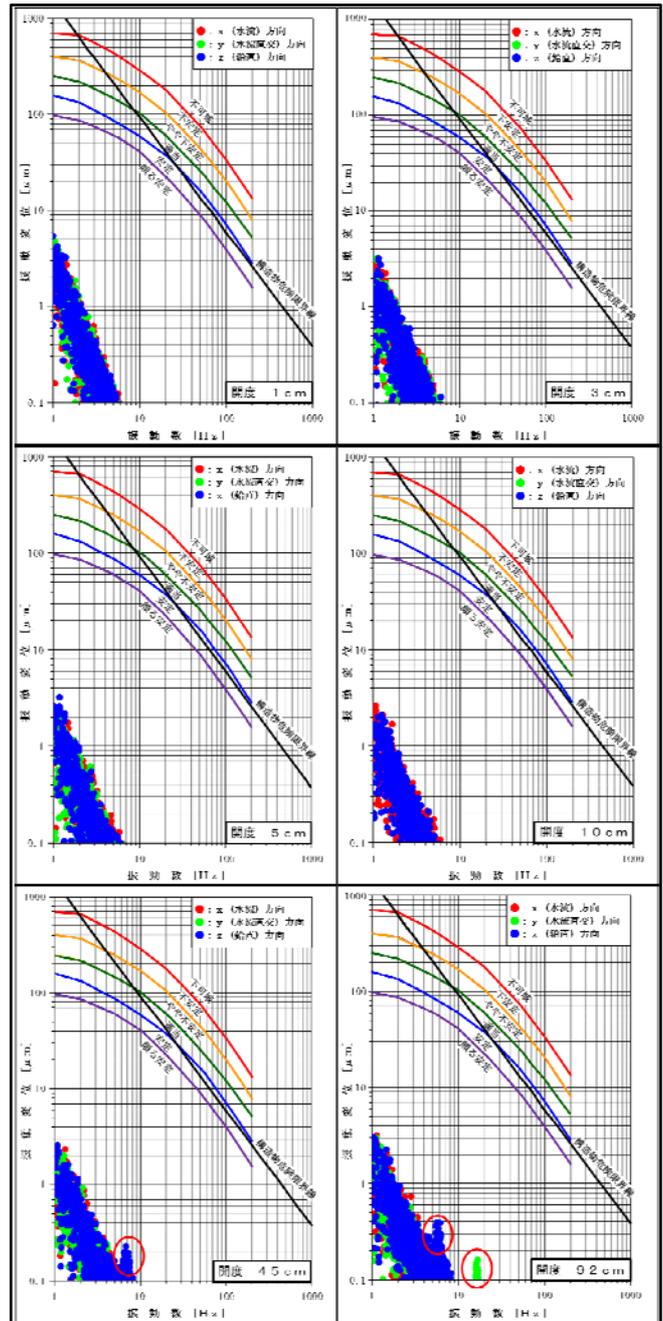


図4 ペトリカット線図による振動安定性評価 (クレストゲート3号)



写真2 開度92cm時の放流状況

(2) 主ローラ軸受の健全性評価

健全性を評価するにあたり、電流・電圧の定常値を検出する必要があるが、微小開度域(10cmから100cm)では電動機の起動時間が短く、定常値が検出できなかった。そこで、比較的起動時間の長い開度100cmから45cm運転時の時刻歴データから、電流・電圧の定常値を検出し評価することとした。

また、図5より電流の定常値は10.6Aであるが、この電流値の中にはブレーキ電流(0.8A)が含まれている。そのため、定常値からブレーキ電流値を除いた値(9.8A)を純粋な電動機電流の定常値とした。

計測より得た電流・電圧の定常値を2.(3)b)の式(2)及び(3)に代入すると、機械効率は0.551となる。当初設計時の機械効率0.556と比較すると効率は僅かに減少しているが、電動機が取替後15年を経過していることから減少値は経年劣化の範囲内であり、3号主ローラ軸受は健全であると判断した。

クレストゲート4号についても同開度域で健全度評価を行ったが、機械効率は0.593であり、3号同様健全な状態であった。

従前からの懸念事項である放流水が主ローラ軸受に及ぼす影響について、放流時の映像より確認したところ、戸溝からの噴流により最下段の主ローラが水没する事象が確認された。

しかし、クレストゲートからの放流実績がほとんどないことや今後放流の機会があったとしても長期間にわたって運用する可能性が極めて低いことから、主ローラの水没が軸受へ及ぼす影響はないと判断している。

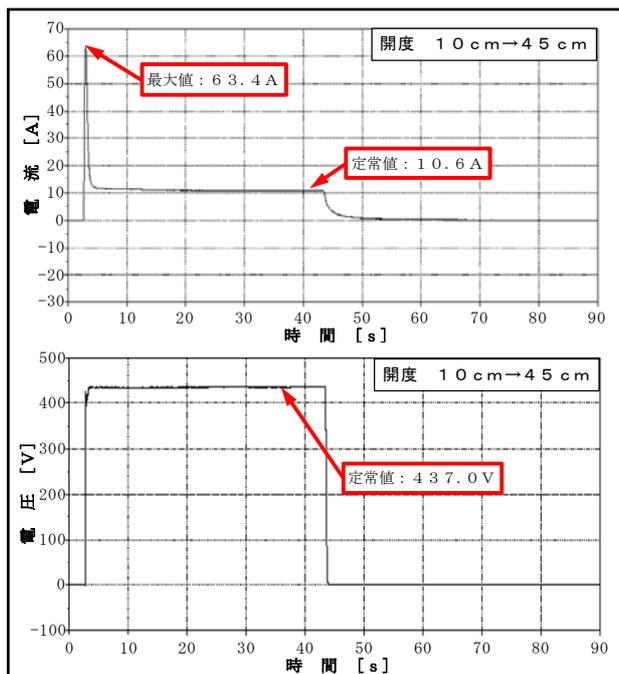


図5 時刻歴データ(クレストゲート3号)

(3) 主ローラ回転確認

主ローラの回転については、ローラ側面にマーキングを行い、放流前(開度0cm)、開度100cm及び放流終了後(開度0cm)に撮影した画像から、マーキング位置の移動量を確認し、回転の有無を判断した。

図6にマーキング位置移動量確認の一例を示す。移動量確認の結果、3・4号の左右岸とも最上段のローラ以外、正常に回転していることが判った。

今回計測を行った際の貯水位はEL129.40m程度であり、ゲート敷高からの水位が設計水位(EL136.00m)の1/3ほどであった(図1参照)。このため、下段側のローラは水圧による戸当りへの押付力が十分にあり回転したが、上段側は十分な押付力を得られなかったため回転しなかったと考えられる。

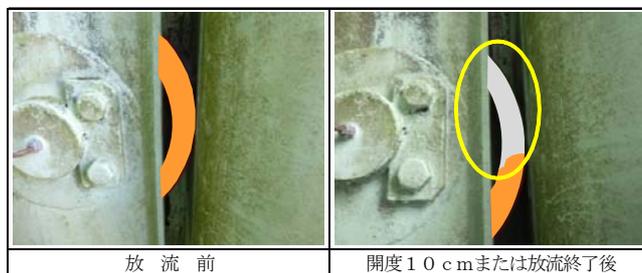


図6 マーキング位置の移動量確認

4. まとめ

本計測より、扉体の振動安定性、主ローラ軸受の健全性、主ローラの回転確認を行い、実負荷を伴った運転も支障なく行えることを確認した。

しかし、今回の計測では下記に示す課題も残った。

- 放流時間、放流量の制約から、限られた門数・開度でのデータ計測・健全度評価となった。
- より正確な振動安定性評価を得るためには、設計水深に近い貯水位で放流する必要がある。

クレストゲートを実負荷運転する機会は滅多になく、計測データ及び健全性評価は、ダム管理を行う上で重要な資料となることから、今後のフラッシュ放流においてもデータ計測を継続し健全性の把握に努めることや、評価方法等を見直し、評価の質を向上させることが必要だと考える。

参考文献

- 1) (社)ダム・堰施設技術協会. 2010. ダム・堰施設検査要領(案)(同解説)