

神一・神二・仏原ダムラジアルゲート取替工事の概要

和泉 満・白石 徳光・中谷 勇一

神一ダム・神二ダムのラジアルゲートは設置以来 54 年が経過し、仏原ダムのラジアルゲートは 40 年が経過している。これらのゲートについて健全性評価を行った結果、扉体・開閉装置の取替が必要であると判断し、平成 21 年 11 月から既設ゲートの撤去工事に着手し、平成 24 年 4 月の完了を目指し鋭意工事を進めている。

ここでは、ゲート取替に至る経緯、設計時の工夫点、大規模地震への対応、施工手順等について報告する。
 キーワード：ラジアルゲート、設計基準、コストダウン、大規模地震、健全性評価

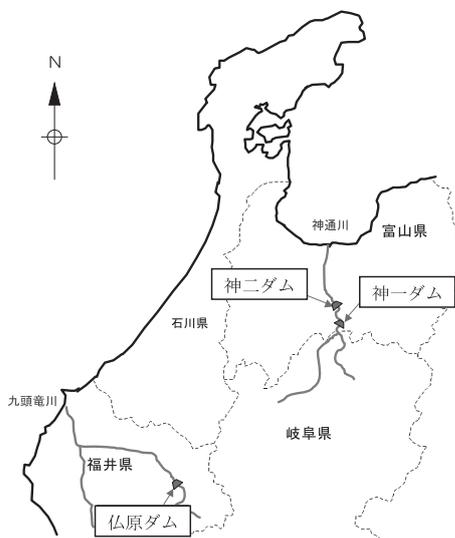
1. はじめに

設備の維持管理に際しては、安全性の確保を第一とし、効率的な運用や保守を充実させながらコスト低減に努めていくことが重要な課題となっている。

このような中、ラジアルゲートについては状態監視保全(CBM)に基づく「ゲート健全度評価指針」を定め、ゲートの腐食状況を把握しながら三次元 FEM 解析及び実応力測定を実施し、健全性の確認を行っている。

今回、これらの結果を踏まえ、神一ダム、神二ダム、仏原ダムの 3 ダム計 21 門について、扉体・開閉装置の取替(固定部及び戸当りは既設を流用)を計画した。

ダムの位置図を図一1に、ラジアルゲートの諸元の新旧比較を表一1に示す。



図一1 ダム位置図

表一1 ラジアルゲート諸元の新旧比較表

	神一ダム	神二ダム	仏原ダム
型式	コンクリート重力式	コンクリート重力式	コンクリート重力式
高さ	45.00 m	40.00 m	48.60 m
頂長	344.40 m	336.766 m	141.0 m
既設	型式	ラジアルゲートワイヤーロープ式	ラジアルゲートワイヤーロープ式
	門数	9門	9門
	寸法	幅9.20m × 高さ11.80m	幅9.20m × 高さ11.80m
	電動機容量	22 kW	22 kW
	設置年	昭和29年	昭和29年
取替後	型式	ラジアルゲートワイヤーロープ式	ラジアルゲートワイヤーロープ式
	門数	9門	9門
	寸法	幅9.20m × 高さ12.35m	幅9.20m × 高さ12.35m
	電動機容量	7.5 kW	7.5 kW
	設置年	平成21年～24年	平成21年～24年
通路橋	幅0.98m × 長さ106.2m	幅0.98m × 長さ106.2m	—

表一1に示すとおり、大きな変更箇所は、扉高が高くなったこと、電動機容量が小さくなったこと、通路橋を新たに追加したことである。

これらを含め、ゲート取替に至る経緯、設計時の工夫点、大規模地震への対応、施工手順等について、以下に述べる。

2. ゲート取替に至る経緯

ラジアルゲートの設計基準に関しては、昭和 42 年

に国内で発生したラジアルゲートの流失事故を契機とし、トラニオンピンの固定条件、トラニオン部の摩擦による曲げモーメントの考慮等が昭和48年に国内で初めて「水門鉄管技術基準」¹⁾に規定された。

このため、特に昭和48年以前に建設されたラジアルゲートについては、腐食状況を把握しながらトラニオン部を含めた健全性を確認することが重要であり、**図-2**に示すフローに従って評価を行っている。

なお、本フローは大型ゲート全てを対象としており、健全性評価の頻度は、経年25年目、45年目、55年目である。経年55年目以降は個別に頻度を設定している。また、維持管理基準は、平成20年5月に公表された「水門等鉄鋼構造物の維持管理基準」²⁾を参考にしている。

本フローに基づき評価した結果、FEM解析結果及び実応力測定結果とも維持管理基準に近づいてきたことから、今回取替を計画したものである。

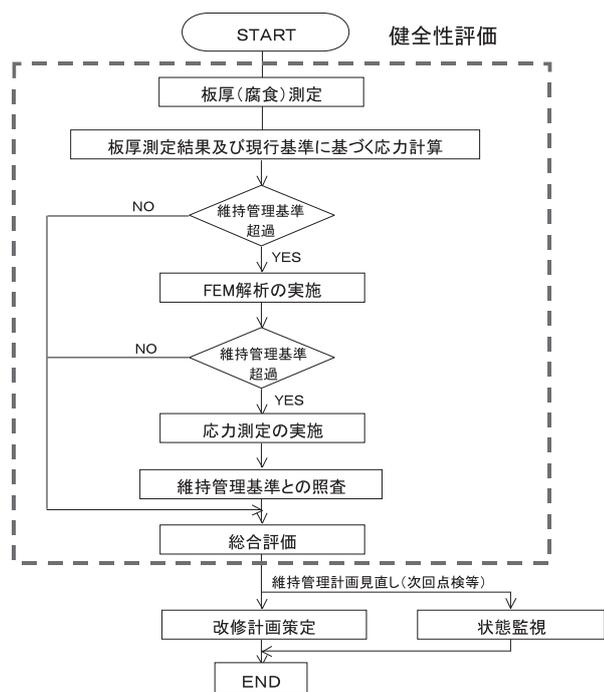


図-2 ゲートの健全性評価フロー図

3. 設計時の工夫点

(1) ゲート形式の変更

平面構造を門型からπ型に変更し、据付及び維持管理時等のスペースの配慮と重量減に努めた (**図-3**)。

断面構造では、脚柱を不静定構造である3本脚から静定構造である2本脚に変更し、構造の単純化と重量減に努めた。

また、骨組構造は、現行と同じ縦補助桁横主桁方式とした (**図-4**, **写真-1**)。

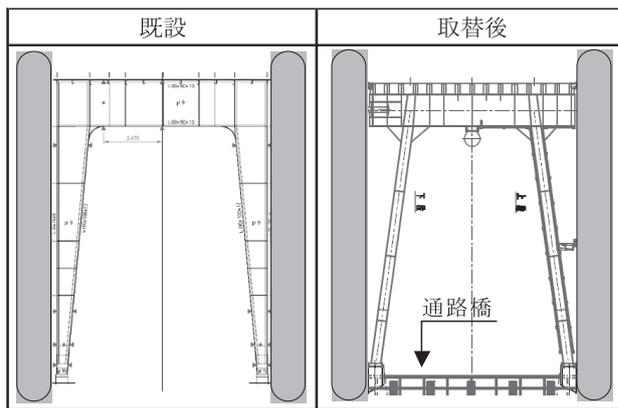


図-3 平面構造の比較図 (神一ダム・神二ダム)

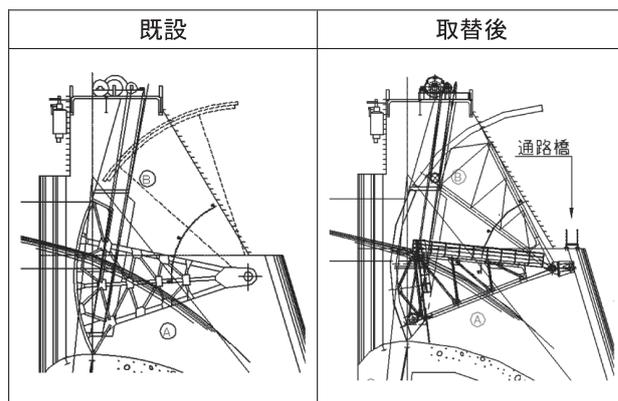


図-4 断面構造の比較図 (神一ダム・神二ダム)

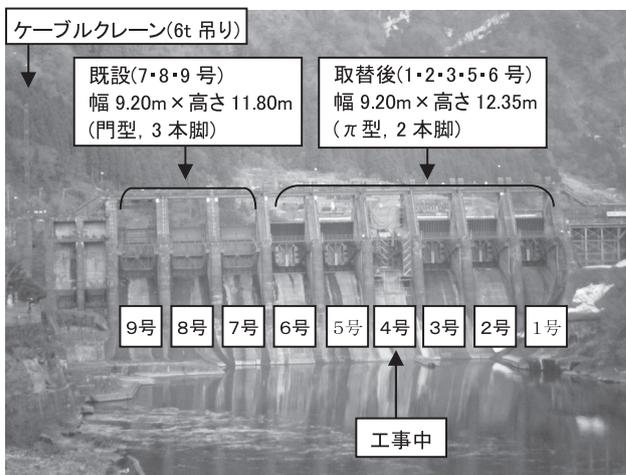


写真-1 神二ダムラジアルゲートの状況

(2) ゲート諸元の変更

(a) 扉高

扉高は、「河川管理施設等構造令」, 「水門鉄管技術基準 (水門扉編)」³⁾, 「ダム・堰施設技術基準 (案)」⁴⁾に基づき、風による波浪高、地震による波浪高を考慮し、神一ダム・神二ダムでは0.55 m、仏原ダムでは0.47 m、既設ゲートより高くした。

(b) 電動機容量

設置時の電動機容量は、機械効率の悪いウォーム減

速機を採用していたことと、冬期の潤滑油の粘度を考慮し余裕を持たせていたことから、大きな電動機出力となっていた。

今回、機械効率の良いヘリカル減速機を採用したことと、冬期はヒーターにより潤滑油の粘度を一定に保つこととし、電動機出力を大幅に小さくする（神一・神二ダム 22 kW → 7.5 kW, 仏原ダム 15 kW → 11 kW）ことができた。

(c) 通路橋

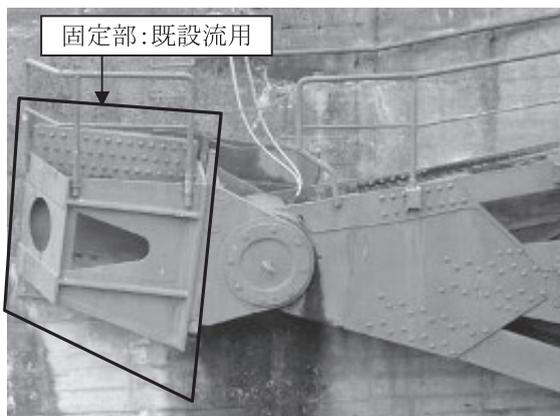
神一・神二ダムでは、扉体点検時には、これまで開閉装置のスラブ上からタラップを昇降する必要があったが、トラニオンガーダ部と同じ高さでピア間の通行が可能な点検歩廊（幅 0.98 m × 長さ 106.2 m）をゲート撤去前に設置し、撤去・据付作業及び今後の維持管理作業時の安全性向上を図った（図—4、写真—2）。



写真—2 通路橋設置状況（神二ダム）

(3) 固定部・戸当りの流用

固定部については、現行基準（「水門鉄管基準（水門扉編）」、「ダム・堰施設技術基準（案）」）に基づき強度上安全であることを確認した。また、ダムコンクリートについては、ピア部のボーリングを行い採取したコアを用いて、コンクリート物性値を確認した（写真—3）。



写真—3 固定部の状況（神一ダム）

コンクリート物性値については、圧縮強度試験、静弾性係数試験、超音波伝播速度試験等を行い、設計計算書で用いる許容値（建設時の許容値）で問題がないことを確認した。

戸当りについては、若干の腐食は生じているが、再塗装により使用可能であると判断し、既設を流用しコスト低減に努めた。

(4) 大規模地震への対応

ラジアルゲートの大規模地震に対する扉体の設計については、「大規模地震に対するダムの耐震性能照査指針（案）・同解説」⁵⁾を参考として、以下の条件で照査を行った。

(a) 設計荷重

大規模地震時の設計荷重は、静水圧荷重、地震時動水圧荷重、地震時慣性力を見込むものとした（表—2）。

表—2 ラジアルゲートの大規模地震時の設計荷重

	神一ダム	神二ダム	仏原ダム
静水圧荷重 (常時満水位)	HWL182.0-EL170.5 =11.5[m]	HWL116.8-EL105.3 =11.5[m]	HWL335.0-EL320.916 =14.084[m]
地震時動水圧 荷重	8.444×10^3 kN	8.444×10^3 kN	1.276×10^4 kN
地震時慣性力	扉体自重×0.92	扉体自重×0.92	扉体自重×0.92

静水圧荷重は、供用中のダムにおいて通常時の状態として想定される水位で、地震が発生した場合にダムの構造物に対する影響が最も大きくなる常時満水位を基本とする荷重とした。

地震時動水圧は、堤体-貯水池連成系での2次元線形時刻歴地震応答解析を行い、動水圧荷重が圧縮側でピークとなる時刻を抽出した。更に、この時刻の動水圧分布をゲート受圧面で積分し、上下流方向の動水圧荷重を求めた。入力地震動は、「大規模地震に対するダムの耐震性能照査指針（案）・同解説」で定義されている「照査用下限応答スペクトル」に適合する波形を用いた。

地震時慣性力は、上述した地震応答解析結果から得られたトラニオンピン位置の上下流方向応答加速度波形を用い、ラジアルゲートの三次元FEM解析モデル（既設ゲート）で動的解析を行い、トラニオンピン位置での上流方向反力の最大値を求めた。

本検討は、扉体の寸法が最も大きい仏原ダムラジアルゲートについてのみ行い、扉体自重に対する地震時動水圧荷重の比率を求め、神一ダム・神二ダムでも同様な比率で作用するものとした。

(b) 許容応力

大規模地震時の許容応力は、降伏点を基準として水門鉄管技術基準(水門扉編)第15条に基づき設定した。

(c) 照査方法

上述した設計荷重を用い、現行基準に基づく設計計算結果と許容応力とを照査した。

なお、照査に際してゲートの状態は全閉状態とした。

(5) 施工期間の設定

ラジアルゲートの安全性評価の結果、維持管理基準に近づいていることから、できるだけ早い段階での取替が必要と判断し、平成21年度から平成24年度までの4カ年の施工を計画した(表-3)。

表-3 工事工程

	H21	H22	H23	H24
神一ダム	仮設備 No.9 8月 No.7 11月 No.8 4月 5月	10月 No.6 No.4 11月 No.5 4月 5月	10月 No.3 No.1 11月 No.2 4月 6月	
神二ダム	仮設備 No.3 8月 No.1 11月 No.2 4月 5月	10月 No.6 No.4 11月 No.5 4月 5月	10月 No.9 No.7 11月 No.8 4月 6月	
仏原ダム	仮設備 No.1 10月 11月 2月 4月	10月 No.2 11月 2月 4月	10月 No.3 11月 2月 4月	

■ : 仮設備

施工期間は、各河川管理者からの指導により、神一ダム・神二ダムは11月～4月、仏原ダムは11月～3月とし、ダム水位を制限することなく、ゲート上流側に角落しを挿入して施工することとした。

神一ダム・神二ダムは過去30カ年の工事期間中の既往最大放流量を調査し、取替対象ゲート以外での放流能力から、最大2門を同時に施工し、6ヶ月で3門を取替する計画とした。このため、角落しは各ダムで1門分のみ保有していたため、新たに角落し1門分を製作することとした。

仏原ダムは、3門の洪水吐ゲートがあるが、1門取替中にゲート放流が生じた場合に、1門がトラブルで故障しても他の1門でバックアップが可能となるよう配慮し、4ヶ月で1門を取替する計画とした。なお、この4ヶ月間について、過去10カ年の工事期間中の既往最大放流量を調査し、1門で放流可能であることを確認した。

(6) 施工方法の検討

神一ダム・神二ダムの資材搬入・据付方法としては、ダム上の車両進行が不可能であるため、ケーブル

クレーン工法を採用した。仏原ダムはダム上の車両進行が可能であるため、ケーブルクレーン工法とクローラクレーン工法を比較し、経済性、安全性に優れたクローラクレーン工法を採用した。

4. 施工手順

代表例として神一ダム洪水吐ゲートの仮設備・撤去、据付手順を図-5、6に示す。

扉体はスキンプレート、主桁、脚柱に分割し、さらに、スキンプレートは縦割りで6分割、脚柱は2分割で搬入、組立、据付を行った。分割部の接続は全て現場溶接にて行った。

5. おわりに

ゲート取替後の安全性の確認と今後の維持管理のための資料を取得することを目的として、静的応力、動的応力測定、振動測定を実施した。測定から得られた

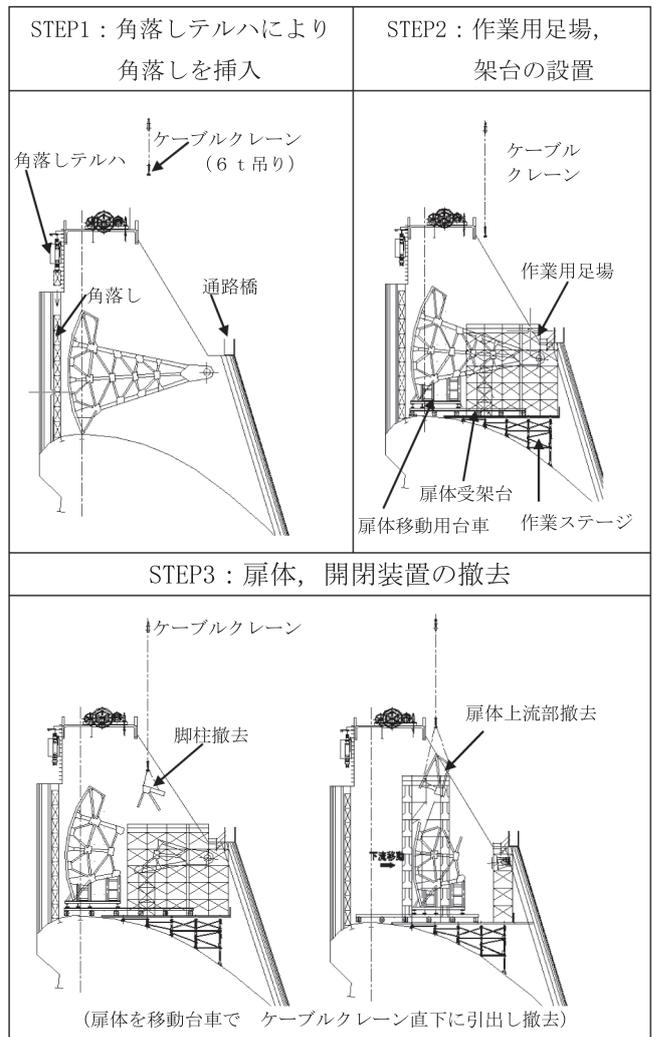


図-5 仮設備・撤去要領図

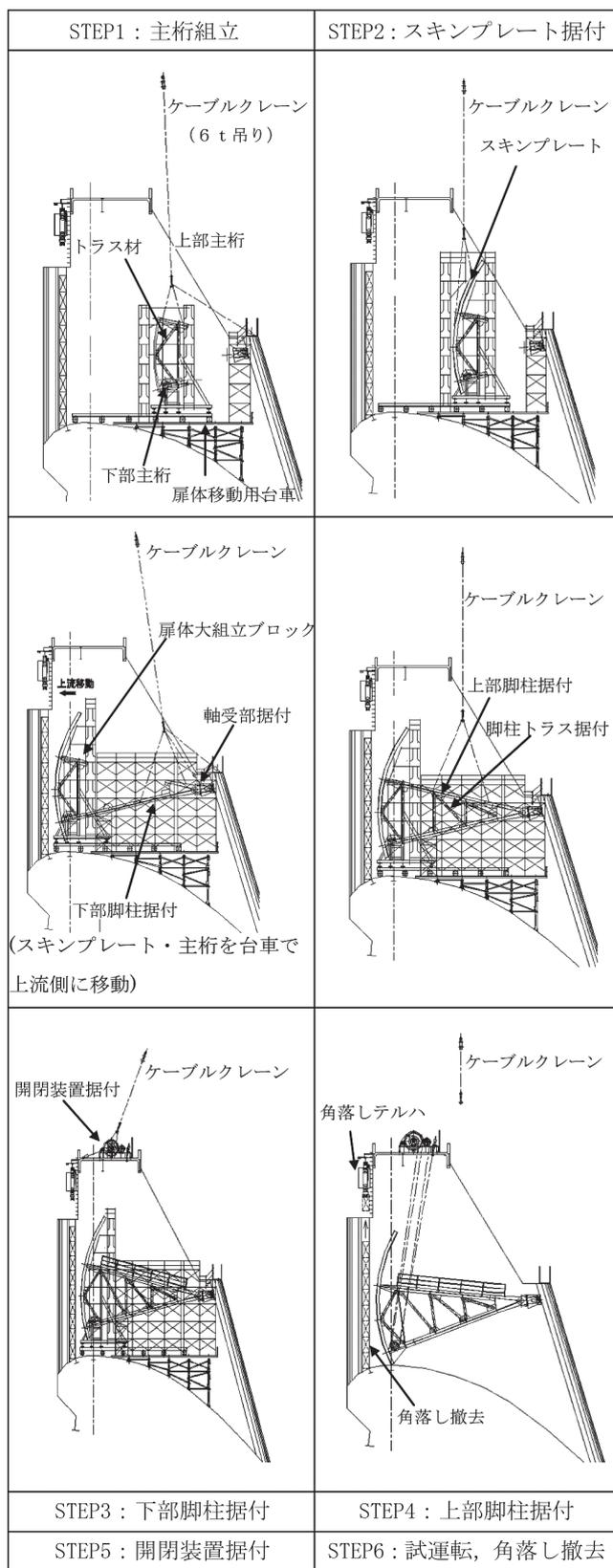


図-6 据付要領図

実測値を設計荷重に換算した応力値が設計許容応力以内にあることと、放流中の振動測定結果も全く問題がなく、安全であることを確認した。

現在、3ダムで21門のうち14門の取替が、無事故・無災害で工期内に完了している。残りの7門についても、請負会社等と協力し、無事故で迎えられるよう努めていきたい。

最後に、本ゲートの設計・施工に際してご協力戴いた日立造船株式会社並びに北電技術コンサルタント株式会社、また、大規模地震への対応でご指導、ご協力を戴いた財団法人電力中央研究所の関係各位に深く感謝申し上げます。

J|C|MA

《参考文献》

- 1) 水門鉄管技術基準. (社)水門鉄管協会. 1973.3.
- 2) 「水門扉等鉄鋼構造物の維持管理基準に関する検討会」の成果報告. 水門鉄管. No.234.2008.
- 3) 水門鉄管技術基準(水門扉編). (社)水門鉄管協会. 2007.9.
- 4) ダム・堰施設技術基準(案)(基準解説編・マニュアル編). (社)ダム・堰施設技術協会. 1999.3.
- 5) 大規模地震に対するダム耐震性能調査指針(案)・同解説. 国土交通省. 2006.3.

【筆者紹介】



和泉 満 (いずみ みつる)
北陸電力(株)
土木部 水力室 水力土木チーム
課長代理



白石 徳光 (しらいし とくみつ)
北陸電力(株)
富山支店 神通電力部 土木課
副課長



中谷 勇一 (なかに ゆういち)
北陸電力(株)
魚津支社 電力部 土木課