

ダムコン遠隔操作に向けた整備の検討について

小池 勇¹

¹近畿地方整備局 九頭竜川ダム統合管理事務所 防災情報課 (〒912-0021 福井県大野市中野29-28)

近年、台風、ゲリラ豪雨、線状降水帯による激甚な水害が各地で発生しており、異常洪水時のダム操作において、異常洪水時防災操作の可能性が高まっている。また土砂災害等による参集経路途絶により、ダム管理支所へ職員が参集することができない事象の発生が想定されている。

このような異常事態においても、九頭竜ダムの洪水吐きゲートの操作が可能となるよう、ダムから離れた場所においてゲート操作（遠隔操作）を行うために必要な設備や操作方法等について、現状を基に検討を行ったので導入への参考として報告する。

キーワード 九頭竜ダム、洪水吐きゲート操作、遠隔操作

1. はじめに

九頭竜川ダム統合管理事務所（以下「事務所」という。）ではより効果的・効率的に、洪水や渇水の被害から地域を守るため九頭竜ダムと真名川ダムを統合管理して運用を行っている。

九頭竜ダムは福井県を南東から北西に流れる九頭竜川の最上流、大野市長野地先に位置するロックフィルダムである。洪水調節と発電を目的とした多目的ダムで、堤高128m、堤頂長355m、集水面積184.5 km²、総貯水容量353000千m³、非常用洪水吐きゲート3門により、270m³/秒の放流能力がある。図1に九頭竜ダム写真と流域図を示す。



図-1 九頭竜ダムと流域図

(1) ダム遠隔制御を検討するきっかけ

ダムゲート遠隔制御は、電力のダム等で利水バルブで用いられていた。昨今ゲリラ豪雨や線状降水帯などの影

響により、局地的な大雨、それに起因する土砂災害などが発生し、職員の現地到着に時間がかかる可能性が考えられる。そのためダム管理用制御処理設備の更新に際して、遠隔制御を検討するダムが増えてきている。また、それに呼応してダムコン標準仕様の改訂による遠隔制御の追加として、以下の仕様書等も作成されている。

・ダム管理用制御処理設備標準仕様書
(平成28年8月版)

・ダムの洪水吐きゲートに係る遠隔操作の
導入指針(案) (平成28年8月)

九頭竜ダムでは、次の状況から九頭竜ダム管理支所（以下「管理支所」という。）の参集経路途絶のリスクが高いことから、遠隔制御実施の優先度が高いものと判断し導入を検討した。

① 土砂災害による職員の参集への影響

ダムの多くはその機能上山間部にあるのが一般的である。管理用道路やダムサイトまでのアクセス用道路については山を削って設置されることから土砂災害の影響を受けやすい。京都府にある天ヶ瀬ダムは平成23年度に、岐阜県にある横山ダムにおいても平成12年に土砂災害が報告されている。

② 管理支所の周辺状況

事務所～管理支所までの参集経路は、事前通行規制区間（連続雨量140mmで通行止め）に指定されている国道158号である。また、事前通行規制区間内には急傾斜地の崩壊警戒・特別警戒区域がいくつか指定されている。このため土砂災害の危険性が高く災害時には通行できない可能性がある。現況は規制時においても、許可の上通

行しているが土砂災害により通行できなくなる可能性はある。

また、迂回路もあるが同様に規制区間となっており、通常時で国道158号の約3倍の時間を要する。

図-2に管理支所周辺のハザードマップと参集ルートを示す。

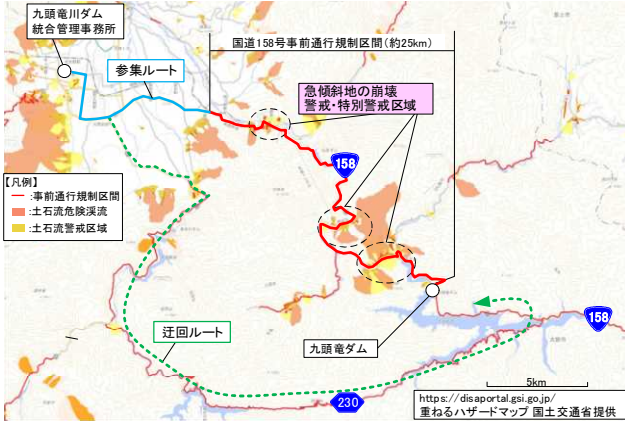


図-2 管理支所周辺のハザードマップと参集ルート

③ 九頭竜ダムの管理運用状況

九頭竜ダムの操作人員は、平日の通常業務時間内は2名体制であるが、夜間及び休日はダム管理技士1名のみとなる。緊急に操作が必要になった場合は職員が管理支所まで行く必要があり、不測の事態においては、事務所からの遠隔操作が必要となる。

(2) 今回の検討の特徴

九頭竜ダムの遠隔制御とは、災害時等の緊急時で管理支所での遠方操作が不能となり、管理支所の処理設備が動作する場合に事務所において、遠隔操作することを指す。

具体的には、道路の被災等により管理支所に操作員が行くことができない場合や、職員の参集が困難な状況で操作員を管理支所へ派遣できない場合を想定したものである。この際に事務所から遠隔制御装置にて、クレストゲートを操作することを目的とする。

導入検討に当たり、「ダムの洪水吐きゲートに係る遠隔操作の導入指針(案)平成28年8月（以下「導入指針」という）」に基づき必要性及び必要設備を整理検討したものである。今回追加する主な機能は図-3のとおりである。

表1 九頭竜ダムで追加する遠隔操作機能

処理項目 処理対象の放流設備	遠隔操作				遠隔電源投入 非常停止
	手動	開度設定	半自動操作	自動操作	
クレストゲート3門	○	○	×	×	○
対象装置	遠隔手動操作装置	遠隔操作装置			遠隔手動操作装置

○: 適用
×: 適用不可

遠隔操作で追加する機能

2. 設備設計にあたっての課題

(1) 遠隔制御設備を設置する場所

ダムゲートの遠隔制御設備は、管理支所の操作室と同様に災害対応を行う上での情報取得の利便性、物理的な侵入を防ぐセキュリティ等を兼ね備えた上で、当該設備の設置スペースやダムゲートの操作が行える環境がある場所に設置する必要がある。

これらの条件を考慮し、事務所の水防指令室を対象とし設置を検討した。

(2) 監視機能の強化

a) ネットワーク

管理支所～事務所のネットワークは、現状は多重無線回線と衛星回線で事務所と接続されており、光ファイバの回線は整備されていない。当該回線を利用して、事務所からの遠隔制御を実施することとなるため使用可能な伝送容量に制限がある。

b) CCTVカメラによる遠隔監視

九頭竜ダムのCCTVカメラは、堤体の上流及び下流に設置されているが、事務所からの遠隔制御はできない。また、事務所ではこれらのカメラをネットワーク回線の制限から準動画かつ単画面での監視に限定されている状況である。

c) CCTVによる巡視代替機能

ダムゲートの遠隔放流にあたっては、事前に下流の巡視が必要となる。災害状況により巡視が行えない場合はこれを代替するため、CCTVカメラによる遠隔監視が必要となるが、巡視区間にCCTVは整備されていない。

d) 放流警報設備の制御

ダムゲートの遠隔放流時には、事前に下流への放流警報設備での情報提供が必要となる。したがって、遠隔制御場所での放流警報設備の遠隔制御も必要となる。

(3) セキュリティの確保

a) 設置部屋

遠隔操作設備の設置場所は、洪水吐き遠隔操作を実施するために整備した設備が第三者に無断使用されないようにするため、遠隔操作場所のセキュリティ対策を十分に講じておくものとし、厳重な施錠のほか、機械警備の活用などを検討する必要がある。

事務所においては、災害時の情報共有の迅速性及び設置スペースの観点から水防指令室及び電算室が適切と判断した。但し、現状の水防指令室は、自動ドア及びカードキーによる施錠がされておりセキュリティ対策が実施されているが、次に示す観点でセキュリティに課題もあり改修を検討することとした。

- ① 自動ドア部のセンサーの感知範囲を厳格にする。
- ② 自動ドアがガラス製であるため、ガラスを割っての侵入が可能である。

3. 運用にあたっての課題

(1) 現場設備の状況確認及び電源投入

遠隔制御により九頭竜ダムのクレストゲート機側操作盤の電源投入及び非常停止・復帰等を行うために以下の改造を実施する。

- ①非常停止操作によりトリップした電動機電源用の配線用遮断器を遠隔制御設備から再投入を可能とする。
- ②切状態の電動機電源用の配線用遮断器を遠隔制御設備から投入可能とする。
- ③洪水吐ゲートで発生した故障を遠隔制御設備から復帰可能とする。
- ④機能追加の為の機側操作盤等の具体的な改造
 - a. 電動機電源用の配線用遮断器を電気式配線用遮断器に取り換える
 - b. 機側伝送装置からの「電源投入」信号を機側操作盤に取り込み、その信号でトリップ状態または切状態の電気式配線用遮断器を投入させる回路を追加する。
 - c. 入力信号仕様はDC100V有電圧メーク接点（1秒以上のパルス信号）とする。
 - d. 機側伝送装置からの「非常停止復帰信号」を機側操作盤に取り込み、その信号で機側操作盤の故障を復帰させる回路を追加する。
 - e. 入力信号仕様はDC100V有電圧メーク接点（1秒以上のパルス信号）とする。
 - f. 電気式配線用遮断器を入切するための操作スイッチを機側操作盤内に取り付ける。

このため事務所側の遠方/遠隔の切替キーについては、厳格な管理のもとに保管するものとする。また、これらの操作方法、保管場所及び管理担当者をあらかじめ定めておき、明文化したマニュアル等を遠隔操作卓に具備する必要がある。

表-2 操作権の切替方法

	案1 九頭竜ダムで切替	案2 事務所ダムで切替	案3 後優先で切替
運用	九頭竜ダム管理支所で遠方と遠隔の切替を行う。	事務所側で遠方と遠隔の切替を行う。	九頭竜ダムと事務所側の双方で遠方と遠隔の切替が行うことができ、常に後側が優先される。
メリット	従来の遠方制御と機側制御の考え方と同様に現場に近い側が優先される。	遠隔操作が必要な際に九頭竜ダム川での切替が必要となるため、ダムに行く必要が発生する。	双方から切替が行えるため、どのような運用にも柔軟に対応できる。
デメリット	遠隔操作が必要な際に九頭竜ダム川での切替が必要となるため、ダムに行く必要が発生する。	遠隔時にダム側では操作できず、ゲート機側盤で手動操作する必要がある。	ゲート操作中に他方で切替操作をした場合安全のためゲートが停止する。このため双方の切替(鍵)は厳格に管理が必要となる。
評価	△ ダムでの切替操作が必須であり、不測の事態に人員がいない場合は切り替える事ができない。	△ 事務所での戻し忘れや不用意な切替によりダム運用に支障が出る場合が考えられる。	○ 柔軟に運用が可能なため、災害時のゲート操作実績が少ない九頭竜ダムに推奨される。通常時はダムでの切替とダムで不能な際は事務所で行う運用とする。

(3) 放流操作時の安全対策

洪水吐き遠隔操作を実施するために整備した操作設備には、下記の安全機能を有するものとして、放流操作時の安全停止対策を図るものとする。当該内容は、放流操作装置及び遠隔手動操作装置（PLC）の仕様に盛り込むものとする。

- ①動作制限タイマーによる安全停止機能
- ②遠隔操作装置、遠隔手動操作装置における故障時の安全停止機能
- ③洪水吐きゲート制御異常作動時における安全停止機能

4. 導入システム

(1) 今回導入するシステムの特徴

管理支所の既設ダム諸量処理装置では、手動操作のみとなっているが更新後は、開度設定操作が可能となる。遠隔操作においては、遠方操作の機能を利用して操作するため、「手動操作」及び開度設定操作を遠隔操作の対象とする。

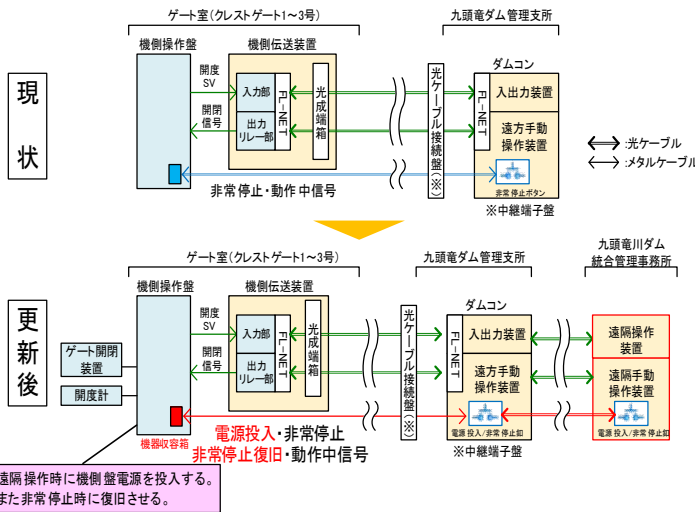


図-3 非常停止信号の伝送

(2) ダムコンの制御権切替

遠隔制御の運用において、操作の制御権の切替はダムゲートに近い現場優先が基本的な考え方である。したがって通常は 機側>遠方（管理支所）>遠隔（事務所）の順で優先される。

上記の考え方に則り、通常の運用では管理支所において操作制御権を遠方から遠隔に切替を行い、事務所側で操作を実施することとする。これができない場合に限り、事務所より遠方から遠隔に切替を行う運用とする。

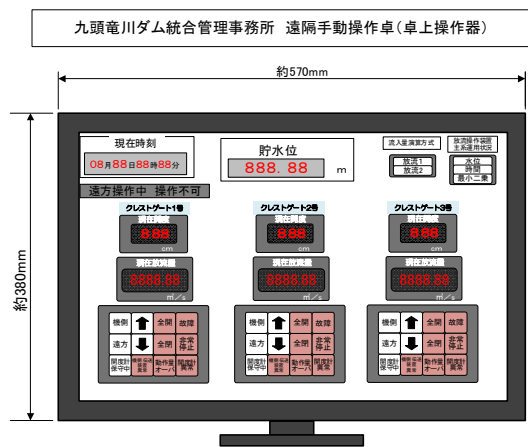


図-4 遠隔手動操作装置の画面表示案

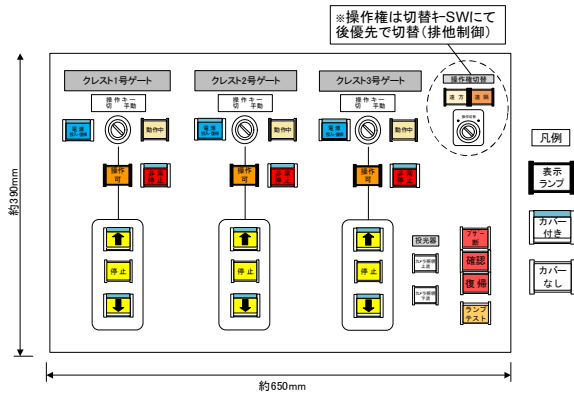


図-5 遠隔手動操作装置の操作器レイアウト案

(2) 操作方式と伝送容量

開度設定操作においては、遠隔操作装置より遠方操作装置を介して、入出力装置及び機側伝送装置のPLCが制御を行う。この際の事務所-管理支所間の伝送容量は、最大64kbps程度であり無線回線での運用には支障はない。

遠隔手動操作においては、遠隔手動操作装置より遠方手動操作装置のPLCを介して、機側伝送装置のPLCが制御を行う。この際の事務所-支所間の伝送容量は、128kbps程度であり連続的に使用される。また、手動操作では、開度数値やカメラ映像を確認する必要がある。現状のカメラ映像は、準動画相当であり視認性が良くないため、光ファイバの接続までは、開度設定操作による制御に限定した運用とする。

(3) 伝送方式の整理

遠隔制御に使用する回線は、開度設定制御系と手動系を分けることを標準設計仕様書では推奨しているが、九頭竜ダムでは、通信回線が無線と衛星回線のみである。下記に構成図を示すが行政系については、本線系L3-SWより6M-IP変換装置より多重無線機に接続し、多重無線回線で事務所に接続している。また、防災系については、マイクロルータより搬送多重端局装置から無線機に接続した上で、無線回線により事務所まで接続している。またバックアップ系として衛星モデムがある。

将来的には、行政系と同様に防災系も統合L3-SWに接続して無線系と光系の統合ネットワークにする予定である。このため、本設計では本線系L3-SWを利用することを基本とする。衛星モデムについては当面、上記のバックアップ回線と考えることとする。

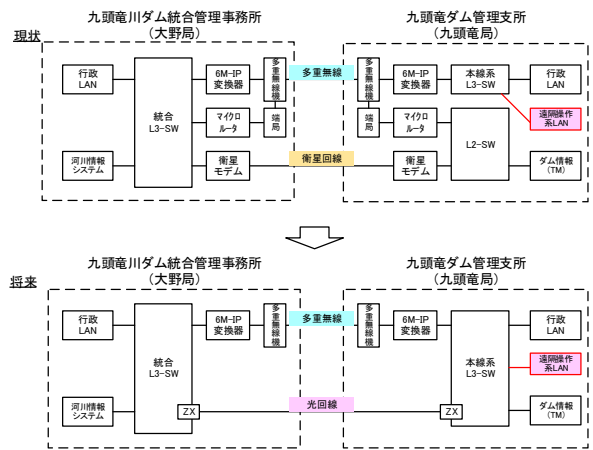


図-6 ネットワーク伝送方法

(4) 統合ネットワークとの分離

ダム制御のネットワークは、障害による誤操作や不正侵入等を考慮し、統合ネットワークとはセキュリティ上の分離が必要である。このため、統合ネットワークとの接続部分はVPN (バーチャルプライベートネットワーク) を利用して分離するものとする。VPNは、VPNルータを対向で利用して構築し、情報入力・提供装置よりファイアウォールを経由して統合ネットワークに接続する構成にした。

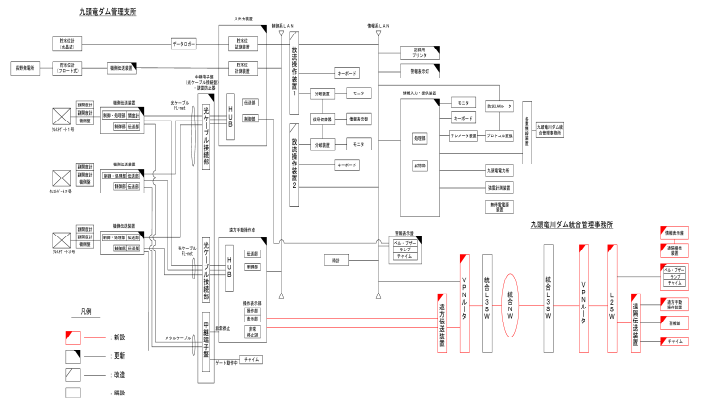


図-7 遠隔制御装置のネットワーク

(5) 遠隔操作装置の認証方式

遠隔操作装置には、操作のためのセキュリティを設ける必要がある。従来はパスワードロックを施す場合が多かったが、安価かつ高セキュリティの非接触型カードセキュリティを採用することとした。表3に認証方式の比較を示す。

表-3 認証方式の比較

項目	パスワード方式	非接触型カード方式	生体認証		
			指紋認証	静脈認証(掌・指)	顔認証
概要	パスワードのキープレースを人が手入力により認証する方式である。	非接触型カードを用いて認証する方式である。当該警報所の入退室管理に利用されている。	指紋認証は指紋面に利用され、手袋で指紋を隠す等の認証方式である。なお、指が汚れている場合など認証できない場合がある。	近赤外光を手のひら、手の甲、指に透過させて得られる静脈パターンを用いる認証方式である。	カメラで顔を撮影し、検出したうえで認証する方式である。暗闇や顔の表情、加齢による変化などによって認証率が低下する。
メリット	・安価である。 ・認証は容易である。	・カードにより確実に認証可能である。 ・カード費用がかかる。	・なりすましは困難である。	・なりすましは困難である。	・認証が容易
デメリット	・利用頻度が少ない為メモ等によりセキュリティが低下する。 ・緊急事態でパスワード入力される可能性がある。	・カードがあれば認証されるため盗難、紛失などによるなりすましの可能性がある。	・指の状態により認証が不可となる可能性がある。 ・認証機が高価である。	・静脈スキャナが利用できない場合は別の認証方式が必要である。 ・認証機が高価である。	・ソフトウェアの精度によりセキュリティレベルにバラツキがある。
セキュリティ	低	高	高	高	中
管理面	定期的な更新等が必要となる等管理が煩雑となるためセキュリティが低くなる。	カードの物理的な保管であるため管理が容易。紛失時の再発行も容易	担当者の異動等で再登録が必要など管理は煩雑	担当者の異動等で再登録が必要など管理は煩雑	担当者の異動等で再登録が必要など管理は煩雑
コスト	安価(0)	中程度(1.0)	高価(2.0)	高価(2.2)	高価(1.8)
プライバシー	問題なし	問題なし	個人情報問題有り	個人情報問題有り	個人情報問題有り
評価	△	◎	○	○	○

※コストは非接触型カード方式を1とした場合のコスト費である。

(6) 遠隔手動操作の伝送

遠隔手動操作の伝送は、遠方手動操作装置より遠方伝送装置にて統合ネットワークに接続し、遠隔伝送装置まで送られる。遠方手動操作装置はPLCで構成されるため、通常は伝送にFL-NETが用いられる。FL-NETを使用した場合伝送装置はPLCとなり、PLCは装置に対してソフトウェアをプログラミングするため高コストとなる傾向がある。そのため、遠隔手動操作装置より接点で出力し汎用品の接点伝送装置で事務所まで伝送する方式とした。

(7) CCTVカメラによる巡視の代替

放流前の事前巡視をCCTVカメラで代替するには、巡視ルート周辺へに新規の設置が必要である。巡視ルートは主に放流警報設備の設置箇所と重なるため警報局付近への設置がよい。

管理支所でのヒヤリングにおいて、河川と道路の高低差が大きい場所については、放流警報設備まで行くことが困難でありカメラ監視の有効性が高い。また、所内の意見聴取により下記の箇所は、管理範囲外及び人がいないと考えられることなどからカメラ設置が不要であると回答を得た。また、逆にこれ以外の箇所は、カメラ監視が必要となるため、今後光ケーブルの敷設や無線伝送等伝送路を含めた設置検討を行う必要がある。

- ① 鷺ダム貯水池内
- ② 下山警報局～谷戸口警報局
- ③ 九頭竜川溪流釣り未実施エリア



図-8 巡視ルートと放流警報局及びカメラ監視箇所

5. まとめ

(1) 操作規則改定に向けた関係機関との協議

遠隔操作を運用するに当たり、上下流のダム管理者、特に、放流警報装置を共用している北陸電力株式会社、電源開発株式会社とは十分な協議を行い現状の操作規則に影響を及ぼす事項は改定をしておく必要がある。

(2) 実運用シミュレーション、訓練計画

実運用を実施するにあたり、新たに整備した設備が十分な安全性、信頼性、確実性があるかどうかを試験運用にて確認する必要がある。

管理支所では令和2年度から令和3年度にかけ、遠隔操作に向けた設備改修を行ってゆく。

試験運用時においては実際の遠隔操作を念頭において、現設備の不都合箇所等を抽出し改修していく必要がある。

(3) 遠隔制御の実施要領の作成

関係機関との協議内容や、実運用シミュレーション、関係機関との放流連絡を含めた運用訓練を実施し得られた知見を元に遠隔制御の実施要領を作成し、実運用時のマニュアルとする。

(4) システムセキュリティの確保

遠隔操作装置には操作するための認証方式の導入や、操作を行う部屋への入退室管理を行い、悪意ある者の侵入に参してセキュリティを確保することが非常に重要な要素となるため今後その対策をすすめていく。

(5) 監視体制の充実

先の「2. 設備設計の課題」でも述べたが、遠隔制御を行うに当たってはダム堤体の監視用 CCTV カメラの充実、流域巡視の代替となる CCTV カメラの整備が必要となる。実際の巡視で確認する地点との整合がとれるよう、整備地点を検討の上、設置を進めていく。