

第23回 国土技術開発賞 入賞

ダム防災操作訓練シミュレータ

新型シミュレータの開発と運用による 防災操作技術向上

〔受賞者〕 独立行政法人水資源機構
たむら かずのり
 〔本稿執筆者〕 田村 和則

以下に、第23回 国土技術開発賞で入賞した「ダム防災操作訓練シミュレータ」を紹介します。

1. はじめに

近年、日本全国で、線状降水帯や巨大台風、局地豪雨などが頻発している。その結果、ダムによる防災操作の役割がますます重要になり、ダム下流の市街地の被害を可能な限り少なくするため、ダム管理規程どおりの操作とは異なる、天候などの状況に応じた高度な判断と操作がダム操作に求められている。

ダム管理所では、洪水対応によるダムの防災操作が年に数回実施されるが、職員の高度なダム操作技術の習得は、防災操作を数多く実施し、知識と経験を積み重ねることで可能となる。そのため、職員の高度なダム操作の習得には、多くの時間を必要とする。

独立行政法人水資源機構（以下、「水資源機構」という）では、職員が高度なダム操作を短期間で習熟できることを目的に、新たなダム防災操作訓練シミュレータを開発した。開発した訓練シミュレータは、下流河川の水位変動を考慮した洪水時の操作の訓練について、職員の業務用PCでいつでも手

軽に実施することができる。また、ダム上流域と下流域の雨による流況を反映し、ダムからの放流量に連動して下流河川の状況も変化させるなどの再現性を高め、実際の防災操作時に近い状況を訓練できるように、さまざまな工夫を取り入れている。

また、令和2年4月には事前放流ガイドライン（国土交通省 水管理・国土保全局）が策定されており、これらに則った訓練にも活用可能なものとなっている。これにより、ダム管理に携わる者の技術力向上に大いに貢献することが期待される。

2. ダム防災操作訓練シミュレータとは

(1) 従来型のダム操作訓練シミュレータ

ダム操作訓練シミュレータとは、職員がダムの放流操作を習熟するための訓練装置であり、水資源機構においても多くのダムで実装されている。従来型の訓練シミュレータは、ダム流域で降った雨による流入量を確認しながら、操作規則等の基本的なルールに基づき適切なダムからの放流を行うことを、実際のダム管理用制御処理設備等を用いて仮想的に訓練できるシステムとなっている。これらはダム管理用制御処理設備に直結され、実機を訓練モードに切り替え、または、連携によるシステムが構築されている場合が多い。

このようなシステムの背景から、多くの場合、

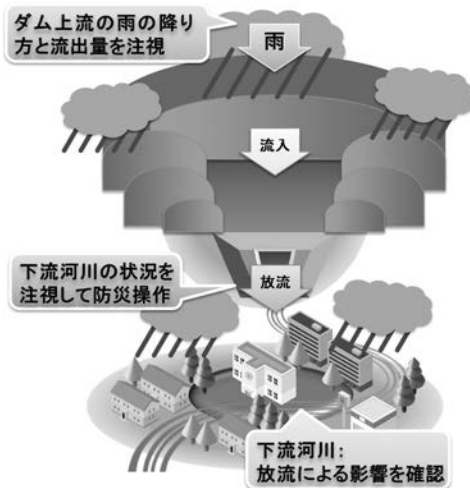
職員が訓練を実施するためには操作室で実施することとなる。そのため、実際のダム放流操作中においては使用ができない。このように訓練の実施場所及びシステムの制約から、従来のダム操作訓練シミュレータには職員が行う訓練実施のタイミングや回数は限定的となるなどの課題があった。

(2) 開発した訓練シミュレータの目的

水資源機構では、近年のダムの防災操作で、ダム下流における被害を極力減ずるための高度な放流操作を、河川管理者や下流自治体等と連携しながら実施してきた多くの実績がある。このため、天候やダム下流の市街地におけるさまざまな状況が変化の中で最適な防災操作が実施できるように、表－１に示す、職員のための訓練を定期的に行うとともに、確実な操作をするための各種システムを構築している。

表－１ 適切な操作のために実施していること

目的	訓練の種類	習得方法
操作技術の維持	訓練シミュレーション	○洪水対応演習 ○ダム操作訓練シミュレータ ・従来型の操作訓練シミュレータ ・下流河川水位を監視した操作訓練シミュレータ
予測精度の向上	流入量の予測	貯留関数モデル・分布型流出モデル・将来の AI モデル
操作要員の拡大	講座と訓練	操作規則、管理技術解説書等による習熟



図－１ 開発した訓練シミュレータの概念

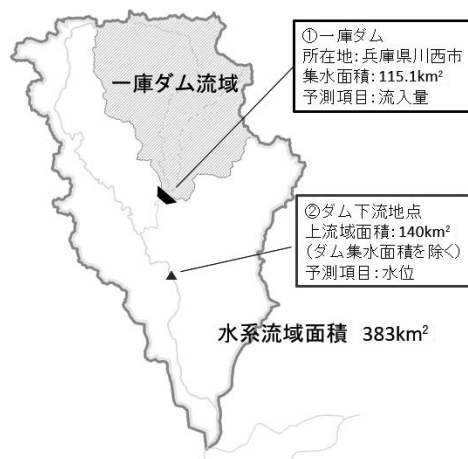
今回開発した訓練シミュレータは、職員の防災操作技術習得方法の一つとして、図－１に示す概念で、ダムからの放流による下流への影響を考慮しつつ、放流計画立案と放流操作が可能な操作能力を有する者の育成に寄与するものとして開発したものである。

なお、育成対象は技術系職員だけでなく事務系職員も含めた全職員を想定しており、これにより緊急時における防災操作の対応のレベルアップが期待できる。

3. 開発にあたっての留意点

(1) モデルダムの選定

開発を実施するモデルダムの選定にあたっては、当初、ダムの下流河川において狭窄部等があり、ダム下流地域の状況を確認しながら防災操作を行う頻度が高いダムを条件とした。また、ダム上下流に河川構造物が少ないなどの点を考慮し、開発がしやすい、水資源機構の管理ダムである一庫ダムを選定した（図－２）。



図－２ 一庫ダムの流域図

(2) 訓練シミュレータで開発実装した内容

訓練シミュレータ開発にあたっては、実際のダム操作をリアルに再現し、体感できることが重要である。そのため、表－２に示す機能を備えることとした。

表－２ 機能一覧

1	ダム管理用制御処理設備の再現
2	過去の出水を再現（追加編集も可能）
3	事前放流、特別防災操作、異常洪水時防災操作等の訓練が可能
4	チーム訓練機能（ネットワーク機能）
5	指揮官モード（防災タイムライン放流計画立案）
6	放流操作方法のガイド機能（未経験者の操作支援）
7	放流に伴う貯水位変動とダム放流による下流河川への影響を反映
8	アシスト機能（水位・操作規則違反のお知らせ）
9	データ出力機能（操作訓練記録レビュー）
10	リアルな出水対応の再現（予測降雨量の変化）
11	流出予測システムとダム防災操作支援システム（水資源機構別途開発）と連携
12	業務用パソコンで、いつでも訓練が可能

① ダム管理用制御処理設備の再現

リアルなダム操作訓練を実施するためには、訓練シミュレータにおいて実際のダム管理用制御処理設備を再現することが重要と位置付け、一庫ダムにおける放流操作ボタンや雨量・水位等の各種情報等を忠実に作成している。

② 過去の出水を再現

ダム流域に降った雨とダム下流域に降った雨による影響等は、過去の出水データを訓練シミュレータに全てインストールすることで、防災操作を追体験できるシステムとした。これにより、実際の操作をレビューしつつ条件を変えながら防災操作の訓練が可能となる。

③ 事前放流，特別防災操作，異常洪水時防災操作等の訓練が可能

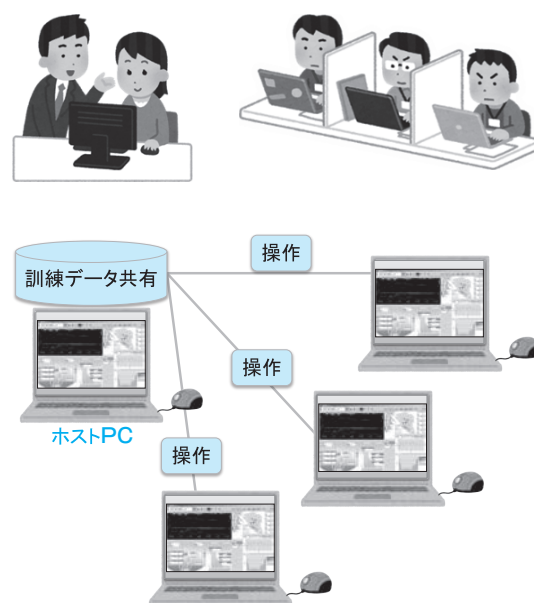
訓練シミュレータには過去の出水や計画高水流量データがインストールされているため、それを活用したさまざまな訓練が可能となっている。一庫ダムではこれまでに多くの出水記録があり、それらのデータを活用して事前放流や特別防災操作，異常洪水時防災操作を実施することで，下流への影響を把握しながら訓練が可能となっている。

④ チーム訓練機能（ネットワーク機能）

実際のダムの放流操作では、指揮官のほか流入量の確認や開度確認等を実施する者，ゲート操作をする者など複数の役割を分担して対応する。そのため訓練シミュレータには，図－３に示すイメージで，実際の操作と同様に複数の者が同時に各職員の業務用 PC で参加できる機能を備えることとした。独立した業務用 PC で水資源機構内のネットワークを介して訓練が可能となっているため，個々の担当者で防災操作に必要な情報を個別に入手することが可能となっている。

チーム訓練によって高い効果が得られる理由としては，次のように考えている。

チーム内の各個人のスキルはダム管理に係る経験値や考え方，その時の役職や立場により微妙に異なり，そのため防災操作の判断も各人により異なる。チーム訓練では，この個々に異なる防災操作の方針をすり合わせるための議論を実施し，その訓練を実施した結果について課題が何であったのかをレビューする。全く同じ条件で複数のチームで実施した場合においても，防災操作の結果は異なる。関係機関への説明のタイミングや内容についても議論する。通常とは異なる防災操作を実施するためには，関係機関への十分な説明が必要となる。チーム訓練の議論は，ダム防災操作を確



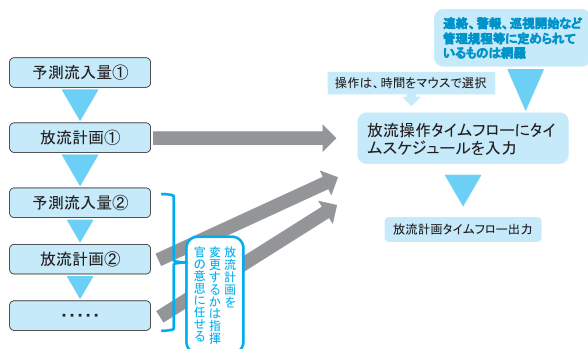
図－３ チーム訓練のイメージ

実に遂行するために必要な能力の向上につながる。

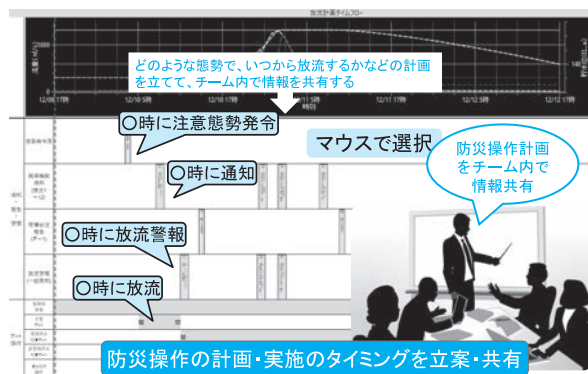
⑤ 指揮官モード（防災タイムライン放流計画立案）

実際の防災操作は、さまざまな役割分担の下で行われる。チーム訓練では、指揮官の役割を訓練できる機能を備えることとした。具体的には、図－4に示す流れで、予測流入量に基づき指揮官が今後の放流計画を立案するとともに、関係者への通知・報告、放流警報等、防災操作のタイムラインの計画と記録を入力することができる仕様とした。

放流計画は図－5に示すように、防災操作タイムラインの上段にハイドログラフ（ダム流入量・放流量・貯水位）を、中段に関係機関通知、報告、放流警報等の実施状況を、下段にはゲート操作状況を表示し、時系列で状況が示される。指揮官の指示内容等が全て記録され、操作終了後に指示内容やタイミングをレビューすることができるようにした。



図－4 指揮官モードのイメージ



図－5 防災操作タイムラインの計画と記録

⑥ 放流操作方法のガイド機能（未経験者の操作支援）

ダム操作の初心者用には、流入量に対し操作規則どおりの放流パターンを破線で例示するなど、従来の訓練シミュレータにはなかった放流操作方法をガイドする機能を実装することとした。これにより初心者は、目標とする操作を見習いながら操作を習熟することが可能となっている。

⑦ 放流に伴う貯水位変動とダム放流による下流河川への影響を反映

訓練シミュレータの主要な画面では、ダム流域からのダムへの流入量、ゲート操作等による放流、ダム下流域では下流域の雨量とダムからの放流による河川への影響について、1分ごとに数値が表示される仕様とした。下流河川への影響については、過去の出水記録より時間的な経過を勘案して、ダム放流量の到達時間の遅れを考慮した。

一庫ダムではダム下流河川に複数の狭窄箇所が存在しており、ダム管理者はそれらの状況を常に注視しながらダムを操作することが求められる。ダムからの放流がこれらの地点へ到達する時間は、実管理を行っている職員から聞き取った管理経験値により設定した。

⑧ アシスト機能（水位・操作規則違反のお知らせ）

適切な操作を実施する上で、操作規則等を熟読し、それらを遵守することは必須である。訓練シミュレータは訓練の過程で操作規則等との関係が理解しやすいように、実際のダム管理用制御処理設備と同様に、各種警告や貯水位状況、下流河川の水位状況等についてメッセージを発する仕様とした。

具体的には表－3に示すように、操作規則等のルールを逸脱した放流操作（操作エラー）を行った場合や所定の水位、流量に到達した場合に、画面上にメッセージを表示する。これらの警告やメッセージは、操作した洪水調節波形と併せての記録が保存可能となっており、訓練後に振り返ることで学習効果を高めることができるようにした。

表－3 主な画面表示

主なメッセージ	主なメッセージの対象
貯水位に対するメッセージ	ダム天端越流・設計洪水位・洪水時最高貯留水位・平常時最高水位・異常洪水時防災操作開始水位
流入量に対するメッセージ	洪水量・計画最大放流量・計画高水流量の70%
下流河川水位	水防団待機水位・氾濫注意水位・避難判断水位・氾濫危険水位
注意・警告	操作規則違反等

⑨ データ出力機能（操作訓練記録レビュー）

訓練を実施した操作記録等のデータを出力可能とし、さらに、それらを訓練後にレビューできるよう、シミュレータ上で再現できる仕様とした。

⑩ リアルな出水対応の再現（予測降雨量の変化）

現在の雨量の予測は、3時間後程度までは、ある程度の精度を有するが、それ以降は精度の低下が否めず、ダムの防災操作においては、熟練した職員の蓄積した経験やノウハウによる降雨や流入量の予測に頼るところが大きい。流入量予測精度の低下という課題に対し訓練シミュレータには、ダム上流域・ダム下流域の雨量と流入量データを変動させることのできる機能を備えることとした。

具体的には、選択された洪水波形に対して誤差率を与え、予測流入量が時間経過とともに変化するようになっている。この誤差率は、直近の予測は比較的精度が高く、先の予測は精度が低くなることを想定している。誤差率は、ダムにおける近年の降雨予測を参考に設定するものとしたが、今後の予測精度の向上に伴い誤差率が小さくなることが想定されるため、変更可能な仕様とした。

⑪ 流出予測システムとダム防災操作支援システムと連携

水資源機構が別途開発している分布型流出予測システムとの連携により、事前放流、異常洪水時防災操作、特別防災操作において、VR方式や必要最小放流方式等の各種放流方式による操作の予測結果を提示し、ダム管理者の最適なダム操作方針の決定を支援する「ダム防災操作支援システム」

についても別途開発済みである。このシステムは、ダム機能を最大限活用する洪水調節方法の導入可能性について、「ダムの機能を最大限活用する洪水調節方法の導入に向けたダム操作規則等点検要領及び同解説」に基づき構築したものである。訓練シミュレータと連携することで、防災操作の事前訓練が可能であり、防災操作の高度化や職員の操作技術向上が図れるものである。

⑫ 業務用パソコンで、いつでも訓練が可能

構築した訓練シミュレータは、職員の業務PCでいつでも訓練ができる。

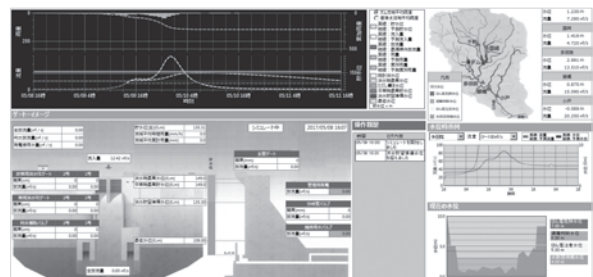
(3) 開発で工夫した点

リアルな訓練を実現するために、写真－1に示すように最大5画面までのマルチ画面に対応させた。これにより、操作室に近い環境で臨場感のある訓練が可能となっている。

訓練で活用している訓練シミュレータを図－6に示す。一つの画面で基本的な情報を入手可能な状態となっており、操作系の表示のほか、ゲート



写真－1 マルチ画面のイメージ



図－6 訓練シミュレータのトップ画面

開度計算、上流、下流の水位や降雨の情報についての表示が可能となっている。

4. 研修・訓練の実施

水資源機構では開発した訓練シミュレータを活用して、写真－2に示すように水資源機構内のダム管理所職員を対象に研修を実施している。これまで若手職員を対象とした基礎研修6回と中堅技術者を対象とした応用研修2回を実施している。また、ダム管理所の所長等を含む管理職を対象とした異常洪水時防災操作や事前放流等に関する訓練を15回実施した。

これらの取組により、ダム防災操作に係る職員の技術力向上、人材育成及び技術情報の共有を図っている。なお、令和3年度からは有償の研修を外部より募集し実施している。



①集合訓練



②Web訓練

写真－2 研修・訓練の様子

5. 導入実績

本訓練シミュレータの水資源機構における導入実績を表－4に示す。

表－4 導入実績

関東	下久保ダム	中部	岩屋ダム
	草木ダム		阿木川ダム
	滝沢ダム	四国	新宮ダム
関西	一庫ダム		富郷ダム
	日吉ダム		
九州	寺内ダム		

6. 現状と今後の展望

水資源機構において、導入した訓練シミュレータを各ダムで活用するとともに、草木ダムや阿木川ダムで実装済みのダム防災操作支援システムや、複数のダムの機能を最大限に活用して、さまざまな防災操作を組み合わせた放流計画を提示する防災操作支援ツールを用いて、ダムの下流河川の安全度を向上する「ダム群連携最適操作支援システム」の導入を検討している。なお、この支援システムは木津川ダム総合管理所で試行運用中であり、今後荒川上流ダム群についても試行運用を予定している。

7. 近年の防災操作実績

水資源機構では、平成30年度から令和2年度までに、洪水調節を目的に含む全24ダムのうち、延べ53ダムで延べ145回の洪水調節を実施し、ダム下流の洪水被害の防止・軽減を図っている。

主な洪水対応実績として、平成30年7月豪雨では、岩屋ダム、日吉ダム、一庫ダムで管理開始以来最大の流域平均雨量、ダム計画雨量を超える、これまでに経験のないものとなった。

岩屋ダムでは、ダムの洪水流量を超える流入量

のピークが3回発生する異例の三山洪水となり、ダム下流沿川の関係地方公共団体、消防・警察等の関係機関へ異常洪水時防災操作の開始の通知を行った。その後、住民避難のため異常洪水時防災操作の開始時刻を遅らせてほしい旨の要請を受け、異常洪水時防災操作開始水位を超えた後も、刻々と変化する降雨状況及びダム流入量の変化を捉え、洪水時最高水位までの残容量を計算しながら、管理開始以来初めてとなる異常洪水時防災操作について開始タイミングを見極めるという非常に難易度の高い洪水調節を実施した。

さらに、令和元年台風第19号において、非洪水期であった草木ダムでは、管理開始以降、最大規模となる洪水に直面し、予備放流による洪水調節容量を確保しつつ刻々と変化する降雨状況や流入予測等を捉え、ダム操作方法について検討した。

その結果、施設管理規程に基づく通常のダム操作を実施した場合は、異常洪水時防災操作を避けられないと予測され、ダム下流地点の浸水被害の発生が懸念された。そのため関係利水者、関東地方整備局と協議を重ね、予備放流に加え事前放流を実施した。

これらにより、管理開始以降、非洪水期において最大となる洪水に対して、約2,184万 m^3 の洪水を貯留し、下流河川の高津戸地点の水位を約2.6m低下させ、下流沿川の洪水被害を防止・軽減した。この過去に例のない規模の事前放流を伴う洪水調節が評価され、令和2年度土木学会賞(技術賞)、ダム工学会技術賞を受賞した。

利水ダムの事前放流は、宇連ダム1回、大島ダム3回、牧尾ダム4回の合計8回実施した。牧尾ダムでは、令和2年7月豪雨においてダムへの流入予測が設計洪水位を超える恐れがあったことから、関係機関や関係利水者と協議し、理解を得た上でダムの貯水位を予備放流水位より下げる操作を行った。

これらの一連の取組により、約1,500万 m^3 の洪水調節可能容量を確保し、最大約180 m^3/s の放流量低減を図り、既存施設の機能を最大限活用した洪水対応を行った。木曽川上流部では、味噌川ダムの洪水調節容量に加えて牧尾ダム等八つの利水ダムにおける事前放流等の取組により、ダム下流の桃山水位観測所地点における流量を約2割低減させる効果があったものと推定された。

このように、水資源機構は洪水調節を確実に実施し、高度なダム防災操作の実績を確実に積み重ねている。

8. 謝 辞

シミュレータの開発にあたっては、多くの管理データの提供をはじめとして、ダム管理所から多大な協力を得た。また、数多くの訓練を実施することで、より実務的な訓練が可能となるようフィードバックを適時実施している。システムを開発していただいたパシフィックコンサルタンツ株式会社をはじめ、関係者の皆さまには、改めて感謝の意を表したい。