

新たなダム操作訓練シミュレータの開発と今後の展望

○田村和則¹・千田泰成²・加納茂紀³・林直良⁴

概要：

近年、線状降水帯や巨大台風、局地豪雨などが頻発するようになり、ダムによる防災操作の役割がますます重要となっている。そのため、ダム下流の被害を最大限少なくするため、下流河川の状況を把握しつつ、より高度で的確なダム操作が求められている。ダム操作を習熟するため、従来、ダム操作訓練シミュレータが構築され、設置されているダムも多い。しかしそれらは操作規則等に則って操作訓練する機能に留まり、上述の要請に十分対応できるものではない。そこで今回、下流河川の水位変動を考慮した洪水時操作を手軽に訓練することができることを目的に新たに操作訓練シミュレータを開発した。この訓練シミュレータは、ダム上流域と下流域の雨による流況の変化を反映させ、ダムからの放流量に連動して下流河川の状況を変化させるなど再現性を高め、実際の防災操作時に近い状況で訓練できるように様々な工夫を取り入れた。

キーワード：防災操作、ダム操作訓練、下流河川、異常洪水、研修

1. はじめに

近年、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るとともに、ダム下流の被害を最大限少なくするため、これまで以上に高度なダム操作が求められている。出水対応によるダムの防災操作は年に数回実施されるが、実践的で高度なダム操作技術の習得は、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。しかし、それには多くの時間を要する場合がある。そのため、より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操作訓練シミュレータを開発したものである。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様々な工夫を取り入れている。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ものである。

2. ダム操作訓練シミュレータとは

2.1 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、ダムの放流操作を習熟するための訓練装置であり、水機構においても多くのダムで実装し活用されている。従来型の訓練シミュレータは、ダムの上流からの流入量を注視しながら操作規則等のルールに基づき適切な放流を行うことを、実際の装置等を用いて模倣的に訓練す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、訓練モードの切替や連携等によるシステムが構築されている場合が多い。このシステム構成のため、訓練は操作室で実施する環境がほとんどで、実際のダム放流操作中においては使用できない訓練システムもある。このような訓練の実施場所及びシステムの制約から訓練の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。

2.2 今回開発したダム操作訓練シミュレータの目的

水機構においても近年のダム操作においては、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関係機関と連携しながら実施してきた実績がある。そのた

1. 総合技術センター 情報グループ
2. 総合技術センター 上席エンジニア
3. 総合技術センター 情報グループ長

4. 一庫ダム管理所 所長代理

め、様々な状況下で最適な操作を実施するために、表-1に示すような訓練や取り組みを実施している。

今回開発した訓練シミュレータは操作技術習得方法の一つとして、図-1に示す概念で地域におけるダム放流の影響を考慮しつつダム放流計画及び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である。なお、育成対象は技術職だけでなく事務職も含めた全職員を想定している。これにより緊急時の放流操作の対応もレベルアップを期待しているものである。

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 ・ <u>下流河川水位を監視した操作訓練シミュレータ</u>
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

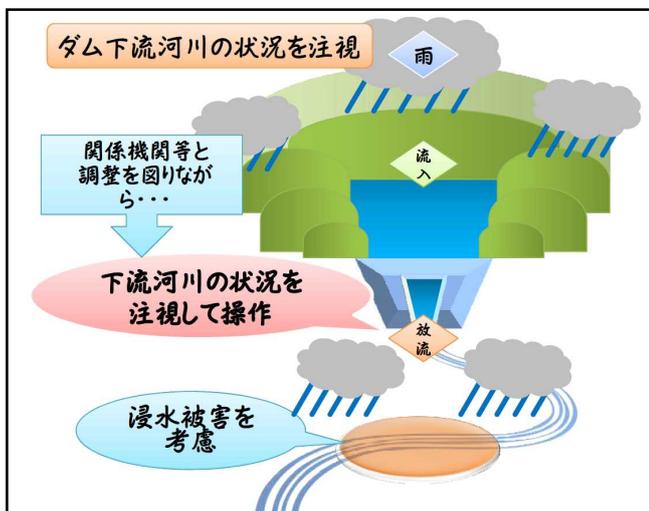


図-1 開発した訓練シミュレータの概念

3. システム開発にあたっての留意点

3.1 モデルダムの選定

モデルダムの選定にあたっては、ダム下流河川における狭窄部等の課題を有し、ダム下流をにらんだ操作訓練のニーズが高いダムを選定することとした。加えて、ダム上下流の構成がシンプルな流域、つまりシステムの開発のしやすさなどを考慮し、一庫ダムを選定した。

3.2 訓練シミュレータで開発した内容

本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-3に示す機能を備えることとした。

表-3 機能一覧

No.	機能
1	ダム管理用制御処理設備の再現
2	計算処理機能（流入・流出、河川等）
3	警告アシスト機能（水位・操作規則違反等）
4	データインポート機能（予測モデルとの連携）
5	データ出力機能（操作訓練記録レビュー）
6	指揮官モード（放流計画等立案と情報共有）
7	多人数同時訓練機能
8	リアルな出水対応の再現（予測雨量の変化）
9	放流操作方法のガイド機能
10	防災操作

3.2.1 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、実際に作動しているダム管理用制御処理設備を再現することが最も重要と位置付け、一庫ダムにおける放流操作のボタンや雨量・水位等の各種情報等を忠実に作成している。

3.2.2 計算処理機能

主要な画面では、上流域からのダムへの流入量、ゲート操作等による放流、ダム下流域の雨量と放流による下流河川への影響等について、1分毎に数値が表示される仕様とした。ダム流入量については、過去の出水記録を予めシステムに全て取り込み、任意に呼び出して操作訓練に用いることができる。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小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については、表-4に示すとおり、実管理を行っている職員からの聞き取りによる管理経験により設定した。

表-4 ダム下流河川の到達時間設定

項目	T地点	G地点	O地点
累加距離(m)	6,900	9,600	12,200
区間距離(m)	6,900	2,700	2,600
到達時間(分)	20	28	35

3.2.3 警告アシスト機能

適切な操作を実施するうえで、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。本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-5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-5 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・設計洪水水位・洪水時最高貯留水位・平常時最高水位・ただし書き水位等
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

3.2.4 データインポート機能

本訓練シミュレータは任意の流入量データについて作成編集を可能とした。これにより開発後の出水実績データを反映することが可能となり、また、経験したことがない流入量で訓練ができる仕様とした。さらに、将来に向けて機構内の分布型流出モデル等からの流出予測データについてもインポート可能な仕様としている。

3.2.5 データ出力機能

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、システム上で再現できる仕様とした。

3.2.6 指揮官モード

防災操作は様々な役割分担の元で行われる。そのうちの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-2に示す流れで、予測流入量にもとづき、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、放流警報等の実施予定時刻を入力することができる仕様とした。

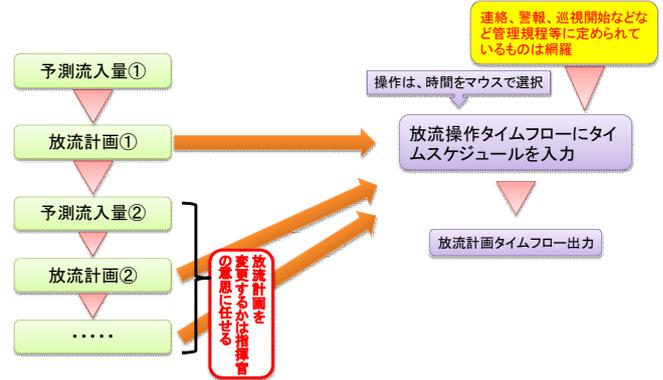


図-2 指揮官モードのイメージ

放流計画は、放流操作タイムフローの上段に hidro グラフ（ダム流入量・放流量・貯水位）を表示、中段には関係機関通知、報告、放流警報等の実施状況、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。このモードにおいても、指揮官の指示内容等がすべて記録され、操作終了後に指示内容をレビューすることができるようにした。

3.2.7 多人数同時訓練機能

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、ゲート操作する者という複数が役割を分担して対応する。そのため本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。

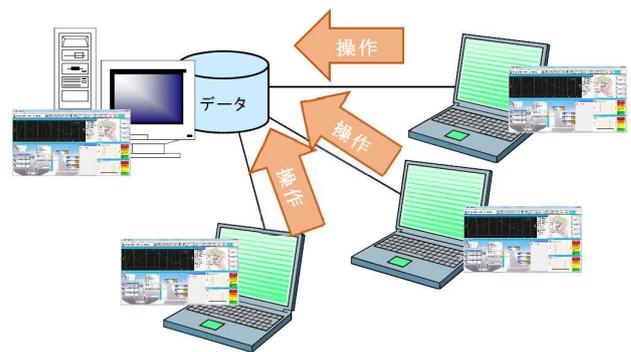


図-3 多人数同時訓練イメージ

3.2.8 リアルな出水対応の再現

現在の雨量の予測精度は、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、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本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している。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。誤差率の標準（初期設定値）は、表-6に示すとおりであるが、一庫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ている。

表-6 標準の降雨の予測誤差率（変更可能）

時間経過	1時間後	3時間後	6時間後	12時間後	24時間後	48時間後以降
誤差率 (%)	20 (19)	30 (30)	150 (173)	200 (216)	300 (285)	400 (予測なし)

※標記されていない時間は後の時刻と同じとする（ex：2時間後は30%）

なお、この誤差率を固定すると予測流入量は毎回同じ値となるため、乱数により誤差率を変化させ、予測流入量を作成する仕様としている。

3.2.9 放流操作方法のガイド機能

ダム操作の初心者用には、流入量に併せた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。

3.2.10 防災操作

近年は、気候変動に伴う記録的な大雨や、局地的な集中豪雨による異常洪水に対しても、ダムの機能を最大限に活用することが求められている。一庫ダムにおいてはさらに、下流河川の整備水準が低い状況を考慮した特殊な防災操作に備える必要があり、それらを訓練可能なシステムとして開発した。具体的には、異常洪水操作シミュレーションモードに切り替えた場合、操作方法の放流ハイドログラフが一つの例として破線で示される機能を備え、暫定的に、事前放流操作・放流曲線逐次見直し方式（異常洪水時防災操作）・特別防災操作について訓練ができる仕様とした。

3.3 システム開発で工夫した点

リアルな訓練を実現するために、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る。

4. 完成したダム操作訓練シミュレータ

以下に完成した訓練シミュレータを示す。写真-1に示すものは、基本的な情報を入手するための画面であり、このほかに、写真-2に示すように、操作系の表示のほか、

ゲート開度計算、上流、下流の水位や雨の情報についての画面がある。表-7には訓練シミュレータが動作可能なPCの環境を明示している。

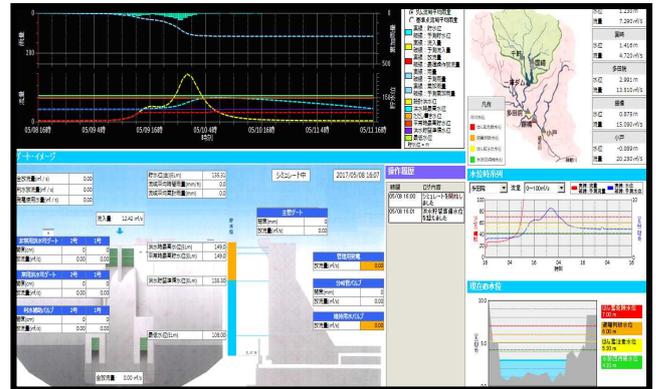


写真-1 完成したシステム



写真-2 マルチ画面のイメージ

表-7 システム構成と使用環境

表示系	Visual Basic .NET
データ	CSV形式
計算	Visual Fortran
OS	Windows7 及び 10 (32bit, 64bit)
実行環境	Microsoft .NET Framework 4.5.1 以降
メモリ	2GB 以上
CPU	Intel Core i3 以降

5. 現状と今後の展望

開発した訓練シミュレータは、試行運用を実施している。今後は、その結果をフィードバックし、必要なダムへ順次導入する予定である。また、ダム管理の技術を伝承するために研修も実施していくものである。

将来的には、ダム操作について、よりの確な放流方針等を確立するため、AI技術等を活用し、ダムの操作を支援することなども念頭に取組んでいきたいと考えている。

6. 謝辞

本訓練シミュレータの開発にあたって、データの提供を始めとして、一庫ダム管理所から多大な協力を得た。改めて感謝の意を表したい。