

第Ⅱ部門

4Dモデルを活用した流水型ダム工事の 関係者間調整の効率化について

尼丁 勇輝¹

¹近畿地方整備局 足羽川ダム工事事務所 工務課 (〒918-8239福井県福井市成和1丁目2111)

流水型ダムとして建設中の足羽川ダムでは、堤体低標高部に3種類の放流設備を設置する。放流設備は2022年度冬から据付を行っているが、ダム堤体のコンクリート打設と放流設備工事が輻輳することが想定された。放流設備の据付は異なる施工者により行うため、事業の円滑な進捗を図るためには関係者間での工程の調整が重要となる。そこで、3DのCIMモデルに時間軸を加えた「4Dモデル」を作成し、日単位での施工状況を事前にシミュレートすることにより、関係者間との調整の効率化を図った。本稿では、4Dモデルの概要と活用状況を報告するとともに、今後の施工調整及び更なる関係者間調整の効率化を進めていくための方法について考察する。

キーワード 4Dモデル、流水型ダム、施工調整

1. はじめに

(1) 足羽川ダム建設事業の概要

足羽川ダムは、九頭竜川水系足羽川の支分部子川（福井県今立郡池田町小畑地先）（図-1）に建設する高さ96m、総貯水容量28,700千 m^3 、有効貯水容量（洪水調節容量）28,200千 m^3 の重力式コンクリートダムである。下流地域の洪水被害軽減を目的としており、平常時は水を貯留しない洪水調節専用の流水型ダムである。

足羽川ダム建設事業は、河川整備計画期間内に整備する足羽川ダム本体及び水海川導水施設（分水堰・導水トンネル）をⅠ期事業として現在工事中である。また、将来計画（Ⅱ期事業）として、足羽川、割谷川及び赤谷川から洪水を導水する計画である（図-2）。



図-2 足羽川ダム計画平面図



図-1 足羽川ダム位置図



写真-1 ダム本体工事進捗状況写真（2023年4月時点）

2023年4月時点の事業進捗状況としては、ダム本体は堤体打設を3m完了しており、河床部放流設備の据付を行っている（写真-1）。導水トンネルは約72.0%の掘削が完了している。

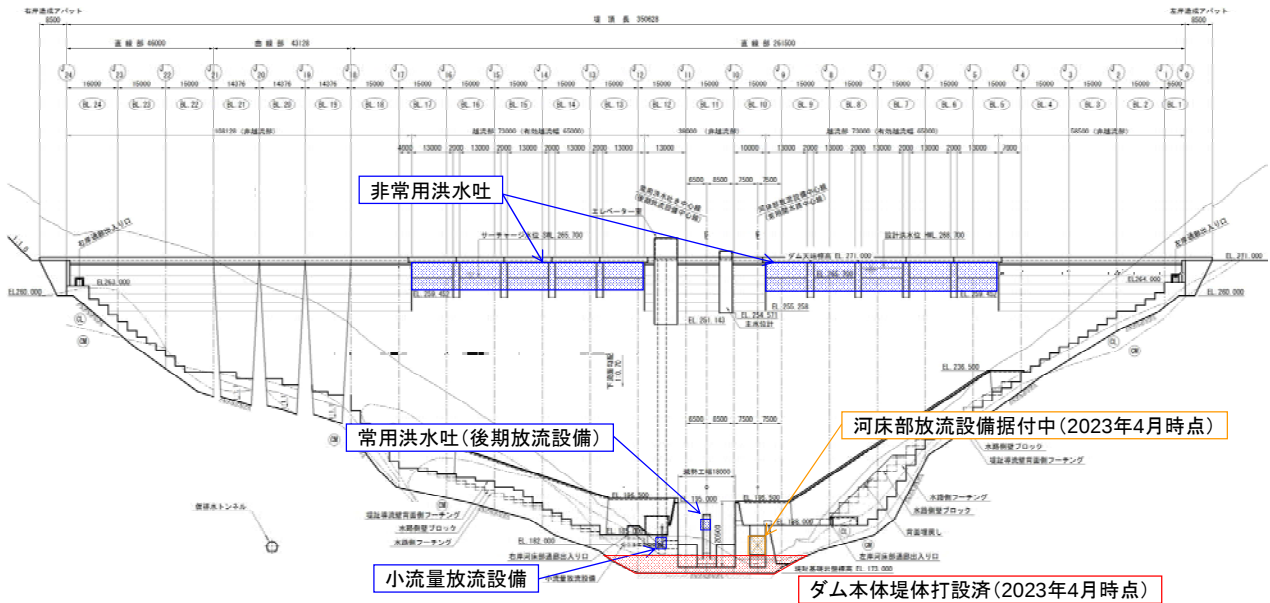


図-3 放流設備位置図(堤体下流面図)

(2) 足羽川ダム放流設備の概要

足羽川ダムの洪水吐は、洪水調節機能に加え、流水型ダムであるため、現況河道の機能を維持することが求められることから、「河床部放流設備」、「常用洪水吐(後期放流設備)」及び「非常用洪水吐」を設置する。また、洪水調節中の維持流量の確保及び後期放流開始直後の下流河道の急激な水位上昇を抑制する「小流量放流設備」を設置する。(図-3)

足羽川ダムは流水型ダムでは数少ないゲートを有する構造としている。下流の基準地点において必要な洪水調節効果を発揮するため、河床部放流設備に設置されたゲートを全閉にすることにより全量カット操作を行う。

これらの放流設備のうち、3種類の放流設備(河床部放流設備、常用洪水吐、小流量放流設備)は堤体低標高部に同時期に設置されるため、ダム堤体のコンクリート打設と放流設備工事が輻輳する。

4Dモデルは、ダム本体の3Dモデルをもとに3種類の放流設備の施工者が作成した工程表及び3Dモデルを統合し、作成した。4Dモデルの作成にはAutoDesk社の「NavisWorks」を使用し、Excelに打ち込んだ工程表を取り込み4Dモデルを構築できる環境を整備した。ダム本体及び3種類の放流設備の施工者が作成した3Dモデルのソフトウェアが異なるため、互換性を持たせるための4Dモデル作成の環境整備には約2カ月を要したが、この環境整備により4Dモデルの作成・修正が可能となった。4Dモデルの作成フローを図-5に、各段階で使用したソフトを表-1に示す。



図-4 足羽川ダム本体3Dモデル

2. 4Dモデルの概要及び活用状況

(1) 4Dモデルの作成

ダム堤体のコンクリートは、堤体をいくつかのブロックに分割しリフトスケジュールという工程計画を作成し打設していくが、放流設備の据付との調整や打設の進捗状況にあわせて適宜リフトスケジュールを変更する必要がある。

当初のリフトスケジュールによる施工の状況を3次元で段階的に示すことが可能なダム本体の3Dモデルは作成されていたが(図-4)、リフトスケジュールの変更がある場合には手作業で3Dモデルを変更する必要があるため、非常に手間のかかる状態であった。そのため、3Dモデル作成ツールの修正を行い、リフトスケジュールの変更に伴う3Dモデルの修正が容易となるようにした。

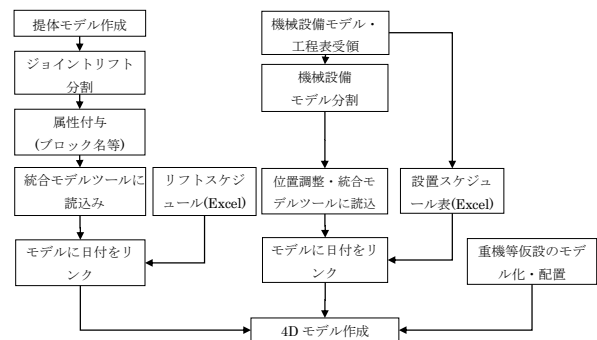


図-5 4Dモデル作成フロー

表-1 使用ソフトウェア一覧

作業内容	使用したソフトウェア
堤体モデル作成	Civil3D*1
ブロック別・リフト別分割	AutoCAD VBA*1
属性情報付与	Dynamo *1
機械モデル作成	SolidWorks *2
機械モデル分割・位置調整	Civil3D *1
リフトスケジュール作成	Excel *3
4Dモデル作成	NavisWorks *1
日付設定	NavisWorks *1

*1:AutoDesk社 *2 SolidWorks社 *3:Microsoft社

(2) 関係者間協議での4Dモデル活用

4Dモデルの作成により、ダム本体及び3種類の放流設備全体の工程と施工計画を、発注者・施工者（本体JV、放流設備3者）・設計コンサルタント（以降、各者と呼ぶ。）の全関係者が確認することが可能となった（図-6、図-7、図-8）。4Dモデルを活用することにより、各者が一堂に会する施工調整会議において、3次元化された重機等の配置を確認することができるため、輻輳する各工事の施工状況がイメージしやすくなり、各者で共通認識を持つことが容易となり、問題点の抽出やその対策についての議論を効率的に実施することが出来た。

一例として、4Dモデルの確認により、堤体のコンクリート打設と河床部放流設備据付のタイミングが施工計画に合わず、放流設備が宙に浮いた状態になることが一目にして分かる場合があった（図-9）。これは2D資料では確認が困難であり、その後本体JVと放流設備の施工者が調整を行い、放流設備の据付の時期をずらすことによる対策を効率的に調整することができた。

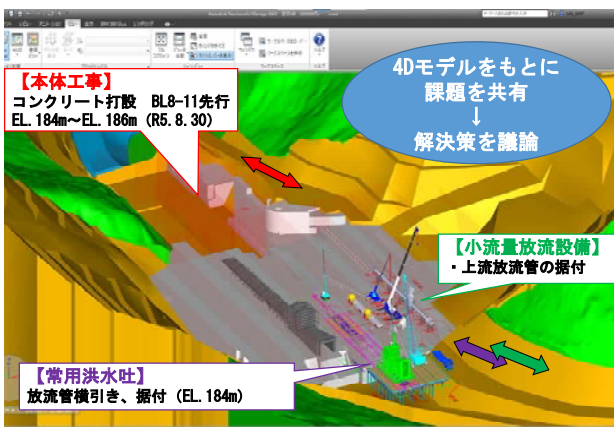


図-6 4Dモデルを用いた施工調整

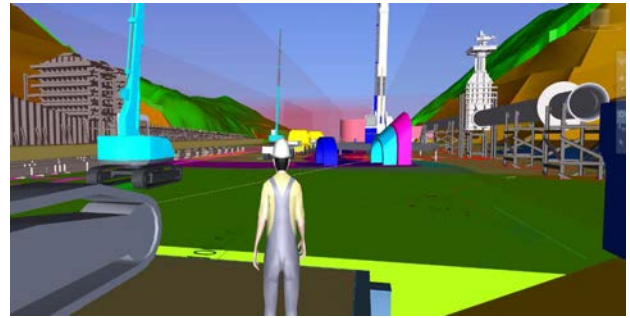


図-7 施工時の重機配置再現



図-8 施工調整会議の様子

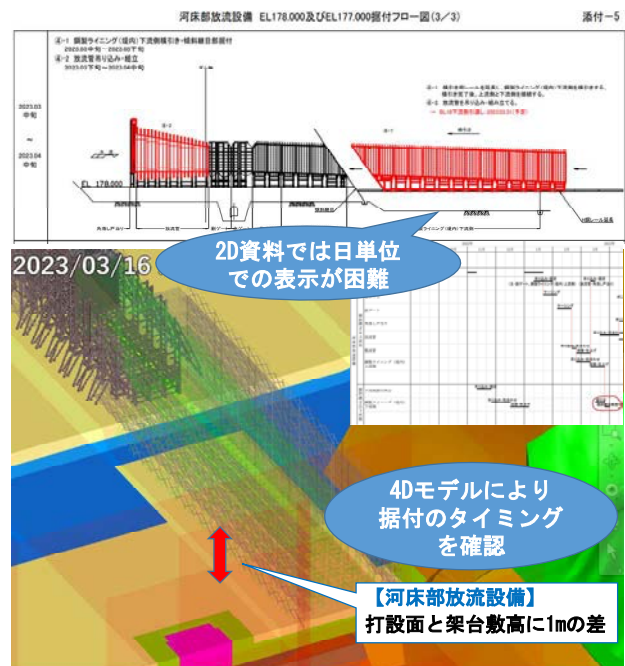


図-9 4Dモデルによる施工計画の問題点抽出の一例

(3) 情報共有システムを用いた4Dモデル共有

本稿で作成・活用した4DモデルのようなCIMモデルの作成には高性能のPC及び専用のソフトウェアが必要となるが、情報共有システム「KOLC+」を使用することにより、各者の情報共有を可能とした（図-10）。4Dモ

デルをKOLC+上で共有することにより、専用のソフトウェアを用いずにWEBブラウザを用いて4Dモデルを閲覧することが可能となった。

従来の2次元図面では、複数の図面を用いて説明する必要があり、熟練者でなければ意思疎通が図り難かった。一方、4Dモデルを共有することにより、施工の流れや構造についてダム経験が浅い職員でも簡単にイメージすることが可能となるとともに、現場内の空きスペースの発見など、施工を確実・効率的に行うことが可能となるような新たな気づきにも繋がった。

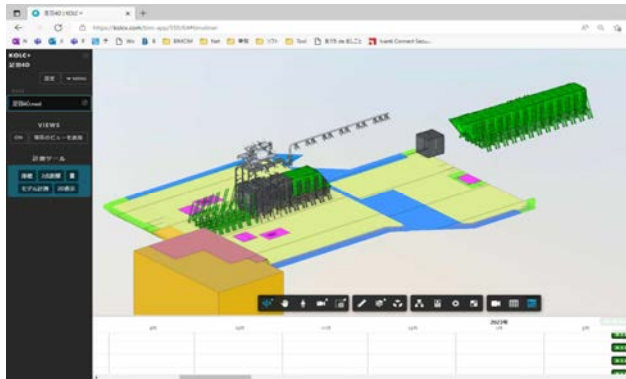


図-10 情報共有システムによる4Dモデル表示状況

(4) 4Dモデル活用における課題と対策の考察

4Dモデルを活用する以前は、関係者間協議から施工計画の確認・修正等の迅速な調整が困難であったが、4Dモデルを活用することによりそれが効率的になることが確認できた。

4Dモデルの作成については、各者異なるソフトウェアを使用し、それらを統合するための環境整備に2ヶ月を要したことが課題としてあげられる。そのため、CIMモデルの統合が容易となるようなマニュアル類の整備、ソフトウェアのさらなる汎用化など基盤整備が必要であると考えられる。

放流設備の施工計画については2D資料として作成されていたため、4D化し統合する必要があった。迅速な4Dモデルの作成・修正を行うためには、各者に4Dモデルの作成を義務付けたうえで、提出された4Dモデルを統合することにより、より簡易に施工計画の確認が可能となり、効率的な関係者間調整を行うことができるようになるものと考えられる。そのため、4Dモデル作成のマニュアルを整備し、各者で共用できる互換性の高い4Dモデルを作成することが可能となれば、全体モデルの統合がよりスムーズになるものと考えられる。

また、各重機については3Dモデルが存在しないため、類似した3Dモデルの購入若しくは作成を行い、その手間がかかった。そのため、重機を取扱うメーカーが3Dモデルを作成しておくことにより、それを施工者へ貸与することで、より円滑に4Dモデルを作成することが可

能となり、施工計画の作成や関係者間調整が効率化されるものとする。

3. 今後の4Dモデル活用について

今回紹介した4Dモデルを含むCIMデータから、動画やVRを作成し、新規入場した作業員への安全管理へ活用したり、監査廊やゲート室の堤内施設の空間スペースや作業性の確認を行うとともに、地域住民への説明や合意形成にも活用していきたい。

ダムの施工では掘削により地盤の形状が大きく変わるため、掘削の進捗にあわせて図面を適宜修正する必要がある。そこで、3次元測量により得られたデータを設計の4Dモデルに反映・更新することにより、コンクリートや型枠数量などの計算部分を自動化し、数量計算や積算にも反映することが可能になれば、業務の効率化に繋がるものと考えている。

今後、足羽川ダム関連事業の水海川分水施設でも4Dモデルを活用する予定である。水海川分水施設では、既設砂防堰堤撤去工事、分水堰工事、貯砂ダム工事、導水トンネル呑口工事、ゲート工事などが近接し、ダム本体工事以上に工事用進入路や作業スペースの確保等に調整が必要となる。そこで、水海川分水施設にも4Dモデルを活用した施工調整を行うことにより、ダム本体工事と同様に施工の確実性、安全性、生産性向上を図っていきたい。

4. まとめ

ダム本体工事と放流設備工事の関係者間調整の効率化を進めて行くために、足羽川ダム工事事務所では、各者の施工計画をもとに作成した4Dモデルを活用した関係者間調整を行い、施工計画等に関わる協議をスムーズに進めることが可能となった。

また、4Dモデルを活用することで、異動により担当者が変わっても施工ステップのイメージをいち早く持つことができるようになるなど、発注者側の業務の効率化にも繋がっている。

今後も4Dモデルを活用し、関係者間調整の効率化や円滑な施工に取り組むとともに、工事实績、試験データ等の反映を行い数量計算や積算の効率化を図りたいと考える。さらに、設計－施工－維持管理へと一貫して活用できるCIMモデルの展開へ向けて有効活用していきたい。

なお、本論文は従前の所属である足羽川ダム工事事務所工事課の所掌業務の内容である。

謝辞：本論文の執筆にあたり、参考資料の提供及び助言等いただきました関係者の皆様に感謝します。