

足羽川ダム実施設計における CIM 技術の適用

CIM METHOD APPLIED IN ASUWAGAWA DAM IMPLEMENTATION DESIGN

山田 憲治 *・植本 実 **・原 基樹 ***・佐藤 隆洋 *

Kenji YAMADA, Minoru UEMOTO, Motoki HARA and Takahiro SATO

In the Asuwagawa Dam implementation design study, we examined the dam design using Construction Information Modeling/Management (CIM) technique that leads to efficient and sophisticated works for practitioners.

To cope with requirements of (i) 2D drawing development from a complicated 3D shape and (ii) adjustment/recalculation of quantities in the drawings caused by the change of the shape, we prepared a prototype system using CIM that enables (i) various drawings developed from one 3D model and (ii) automated quantity calculation. Through this prototype system, we shortened working hours as well as prevention of discrepancies among prepared drawings. We also applied VR model and animation for efficient consensus creation among stakeholders.

Keywords : dam, CIM, BIM, VR, detailed design, automatic calculation

1. はじめに

ダム設計分野では、測量、設計図作成、数量計算、積算など一連の作業に膨大なマンパワーを必要とする。現在、これら作業の主力である熟練技術者の高齢化が進む一方で、若手技術者が不足しており、1人あたりの業務量の増加からも技術研鑽の時間が確保できず図面作成技術、あるいは施設設計技術力が低下するとともに、近い将来、技術者の不足により作業体制の確保が困難な状況を迎えると予想される。CIM (Construction Information Modeling/Management) の導入による生産性改革は、このような現状の打開策として期待されており、現在、国土交通省主導で強く推進されている¹⁾。

国土交通省では、CIM の段階的な拡大方針を示しており、現在は STEP2 「CIM の活用の充実に向けた検討を実施」する段階にある。CIM 運用に関する各種基準・ガイドラインが整備され、大規模構造物の詳細設計（実施設計）では CIM の実施が原則化された。今後さらに適用範囲が拡大することが予想される（図-1 参照）。



図-1 国土交通省の CIM に関する方針¹⁾

* コンサルタント国内事業本部 CIM推進センター

** コンサルタント国内事業本部 技術管理室

*** コンサルタント国内事業本部 流域水管理事業部 ダム発電部

足羽川ダム事業は現在実施設計の段階にあり、数年後本体工事に着工する予定である。この事業では、新たな取り組みとして、CIM 導入により設計作業の生産性を向上させること、設計・施工・管理の一連のプロセスで CIM モデルをエンジンとして一元管理すること、地域住民への広報と事業への理解促進のツールとして CIM を全面的に活用することなどを目標として取り組んでいる。本稿では、具体的な取り組み内容と、今後の目指す方向について述べたいと思う。

2. ダムにおける CIM の取り組み

従前のダム事業における設計業務では、図-2 左のとおり、基礎掘削、コンクリート、型枠・法面処理工など工種ごとに個別に図面作成、数量算出を実施しており一部の修正が多数の図面・数量に影響するが、CIM を適用することにより単一のモデルから一括して数量を算出でき、修正ミスの減少につながることが期待される。

現時点では、すべてのプロセスを CIM によって一元管理することは難しく、足羽川ダムでは、最初の段階として CIM 導入効果を最も顕著な形で提示できるよう、現状の課題を整理した上で、「熟練技術者の減少とともになうソフトによる技術支援」

「形状変更時の図面数量修正の効率化」を目標に掲げ、以下の項目を対象として検討を行った。

- 複雑な 3 次元形状からの 2 次元断面図自動作成
- 配合区分毎、スライスジョイント毎の数量自動計算
- 施工シミュレーション（4D モデル作成）
- 複雑な掘削形状およびその変更に対応可能なモデル作成

加えて、発注者からの要望で、CIM モデルを活用した AR・VR モデルによる広報活動についても検討を行った。

図-3 に示すダム分野における CIM の適用範囲のうち、足羽川ダムで実施した作業を図中緑枠に示す。

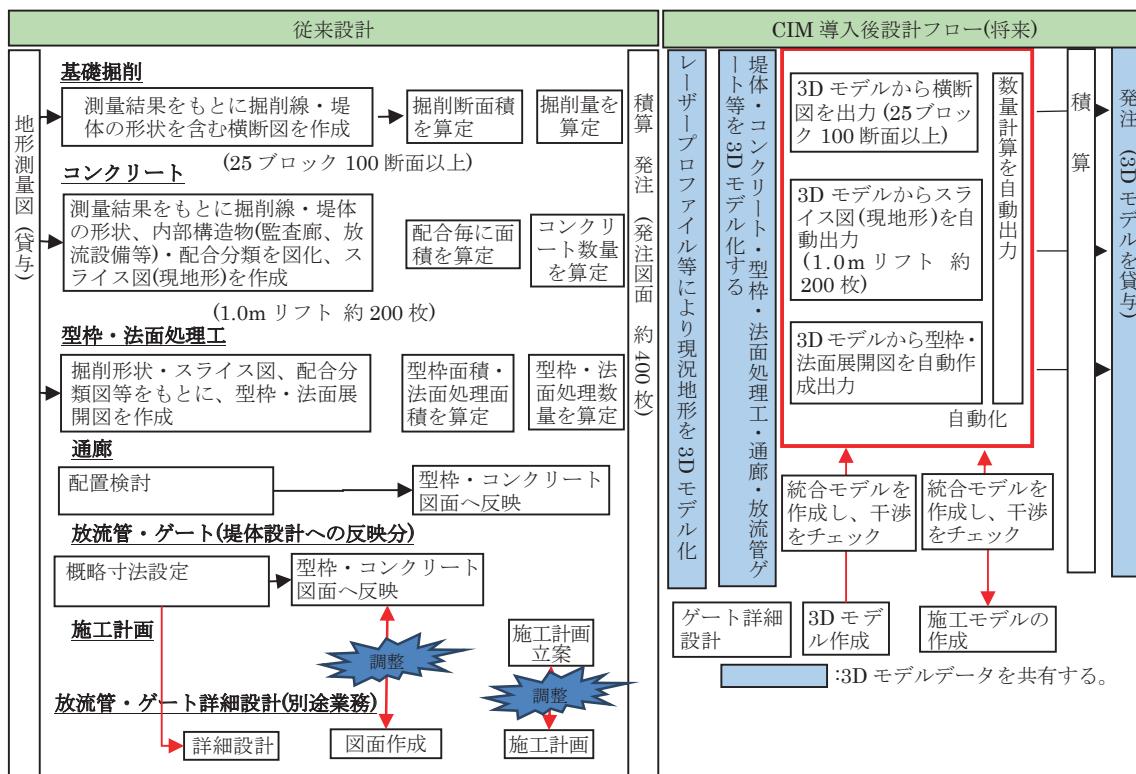


図-2 ダム設計フロー(一部)

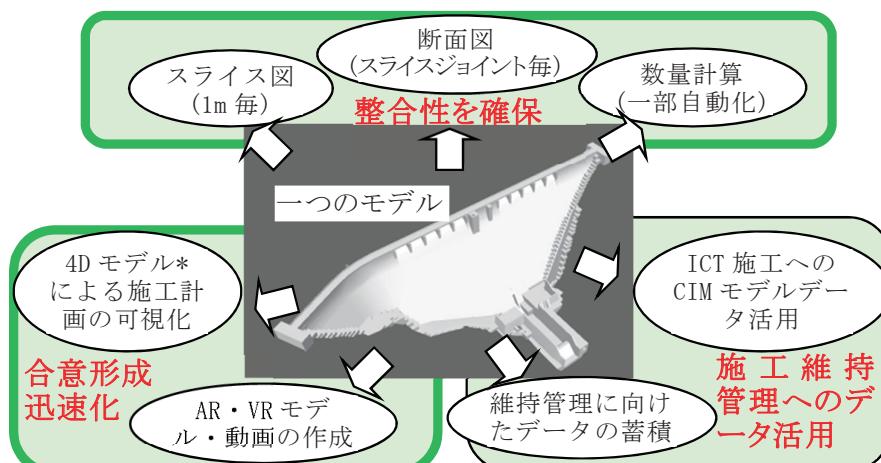


図-3 ダム分野における CIM 活用イメージ

3. モデルの作成と作業の効率化・手戻り防止への活用 方法検討

CIMを活用したダムの3Dモデルの作成手順を図-4に示す。なお、現時点では直接3Dの設計を行う手法が確立しておらず一旦、従来手法により2Dの設計図面を作成し、3Dモデルを作成している。

作成した3Dモデルから、ダム設計において、熟練技術者の経験が必要となる複雑な3D形状の2次元図面化および数量計算の自動化を行った。フローを図-5に示す。

(1) 断面図作成の効率化

ダム設計において、熟練技術者の経験が必要となる複雑な3D形状の2次元図面化を支援すること、また、形状変更時の関連する複数の図面（足羽川ダムの場合、スライス図約200枚、断面図約15枚）修正のため、スライス・断面図間の不整合を防止するため、一つの3Dモデルからスライス図、断面図を作成するプログラムを作成した。

AutoCAD Civil3Dでモデルを作成した上で、VBAマクロを使用してモデルをブロック毎、スライス毎に分割した。概要を図-6に示す。

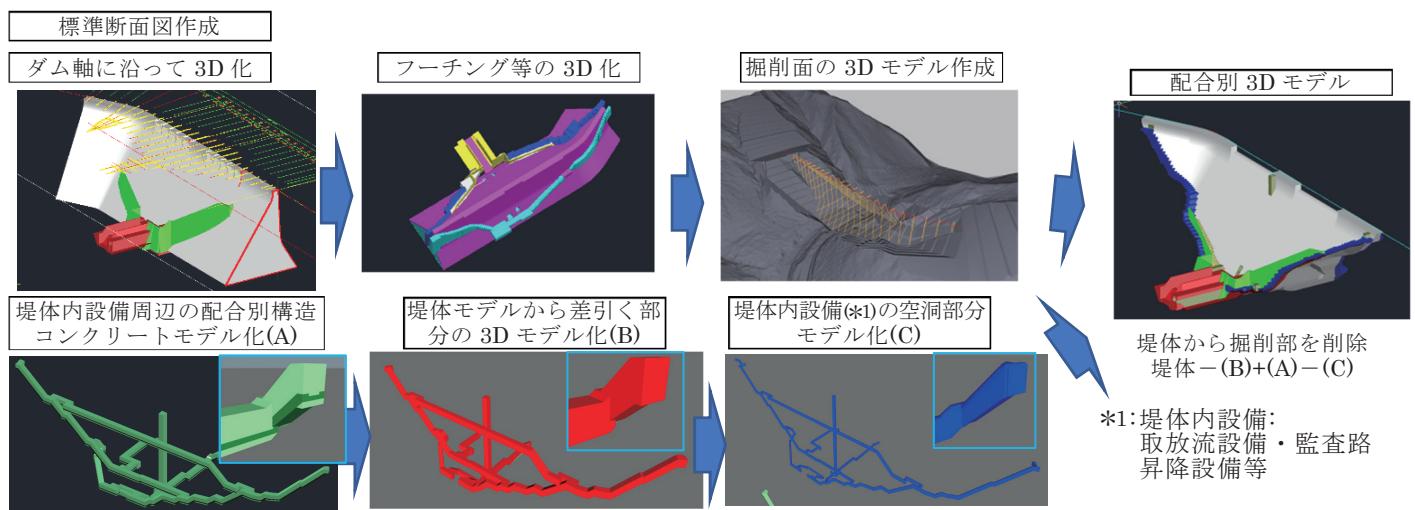


図-4 配合別3Dモデル作成手順

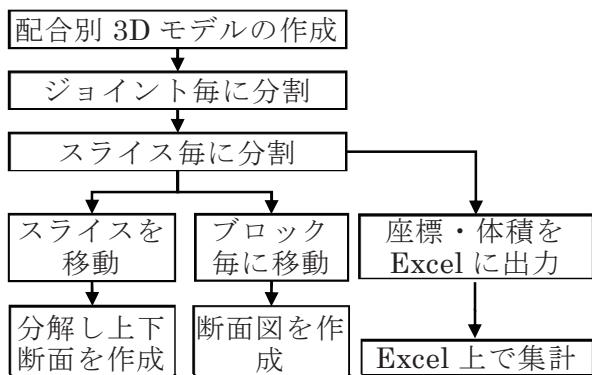


図-5 2D図面作成・数量計算自動化フロー

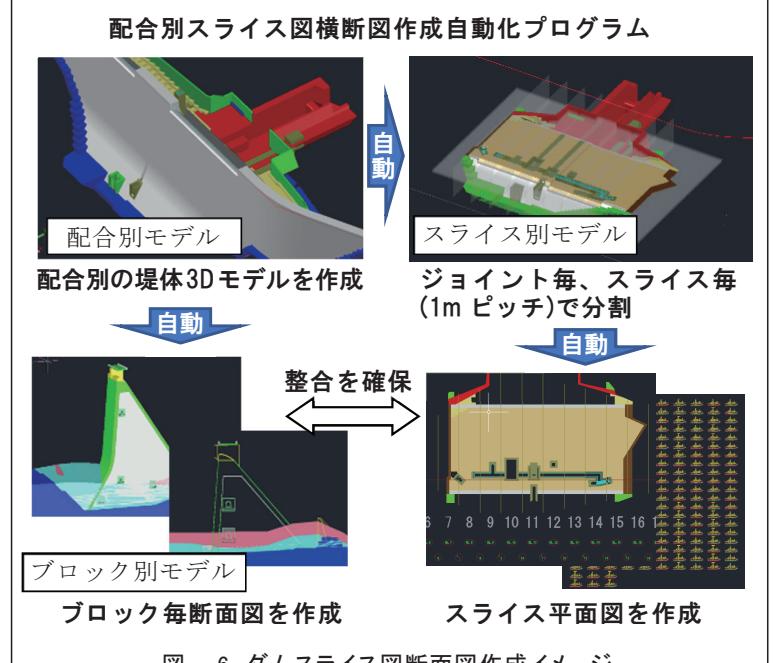


図-6 ダムスライス断面図作成イメージ

(2) 数量計算の効率化

前項で作成した配合別、ブロック別、スライス別の堤体モデルについて、すべての要素に対し座標・体積を Excel 上に抽出するマクロを CAD 上で作成した。

抽出された座標をもとに、Excel 上で作成した配合区分毎の数量集計マクロを利用し数量表を自動作成可能なものとしている（図-7 参照）。

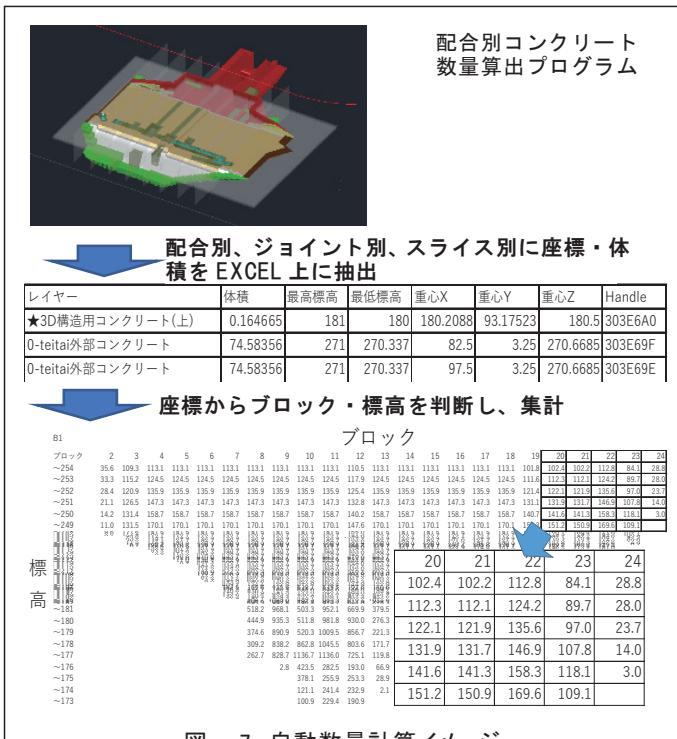


図-7 自動数量計算イメージ

(3) 作業効率化（生産性向上）の定量的評価

参考までに、本作業に要した作業時間を表-1 に示す。なお、試行錯誤に要した時間を除くため、実施方法の検討やプログラム作成に係る作業時間は除いており、一旦実施した作業に対し、再度実施した時の作業時間を示している。

単純には比較できないが、通常スライス作成作業は外部委託では百万円程度の費用が必要である一方、表-1 では当

表-1 CIM モデル作成にかかる作業時間

モデル作成		スライス図作成	
作業項目	実作業(Hr)	作業項目	実作業(Hr)
堤体モデル作成	8.5	モデル合成	7.5
フーチングモデル化	10.5	分割、数量計算	2
取水放流設備モデル化	8	断面図修正	7.5
常用洪水吐モデル化	8	ダム横断図作成	12.5
掘削面作成	12		
岩着コンクリートモデル	15		
監査路作成	18.5		
監査路修正	13		
モデル作成	93.5	スライス作成	29.5
合計			123.0

該作業が 29.5 時間（約 60 万円）となっており、作業の効率化が見られた。また、データの整合性を確保することによるミス・手戻りの防止が図れたことや、今回が初めての取り組みであり、作業の習熟とともに今後はより効率的に作業が進められることを考えると、ダムへの CIM 導入は高い効果が得られるものと考えている。

4. CIM を用いた 3 次元設計

発注者・受注者・関係機関・地域住民間の合意形成の迅速化に向け、作成した 3D モデルを活用する方法について検討した。

(1) 動画作成、VR モデル作成

ダム設計では、受発注者ともに複数の部門が関係する。ここでは、土木施設であるゲート室の寸法・形状について、必要な機能を有していること、十分な広さを確保していることを機械部門担当者に理解してもらうため、図面だけではなく、3D の動画を用いて説明した取り組みを示す。

ゲート室は、ゲートシャフト取り替えのため上部にカマボコ状の空間が設けられている。一方、堤体内の大きな空洞は構造的な弱部となるため、必要最小限の空間形状とする必要となる。

機械設計において、機械部門担当者の立場からは、より多くの空間がほしいとの要望があったが、必要最小空間として設計したゲート室の中で、シャフトの取り換えが可能であることを動画で説明し、合理的な配置・規模とした（図-8 参照）。

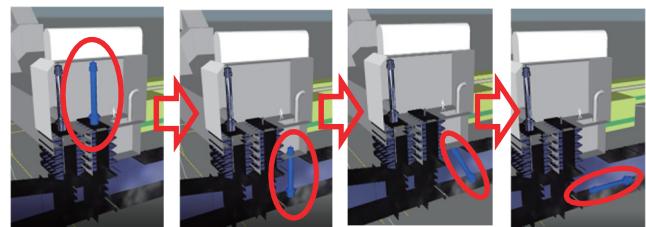


図-8 ゲートシャフト取替え動画

また、ゲート室自体の広さを実感するため、監査路から侵入した場合の動画、および監査路からゲート室に入る感覚を疑似体験できる VR モデルを作成した。VR 体験者からは非常にわかりやすいとの感想を頂き、このような活用法に確実な手応えを感じた（図-9 参照）。

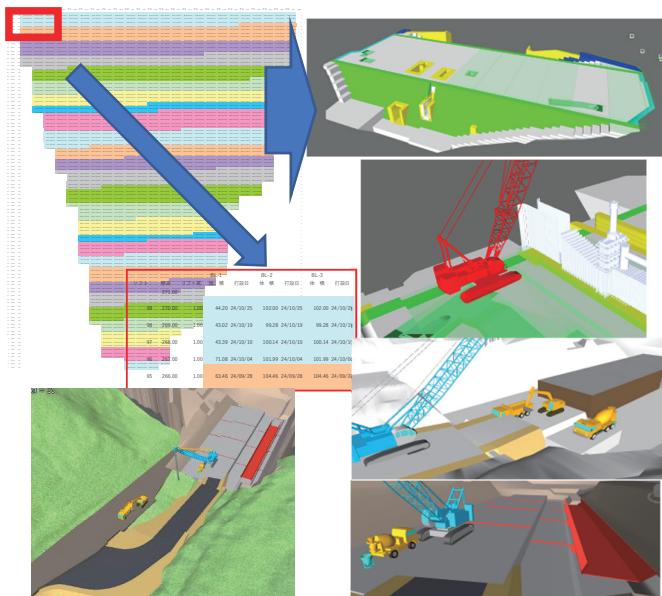


図-9 ゲート室 VR 画像・動画

(2) 施工シミュレーション（4DCIM プロトタイプ）の作成

足羽川ダムにおいては、治水専用ダムでありながらゲートを有する特殊なダムであり、ダムの低標高部に複数の放流設備が集中する特徴がある。

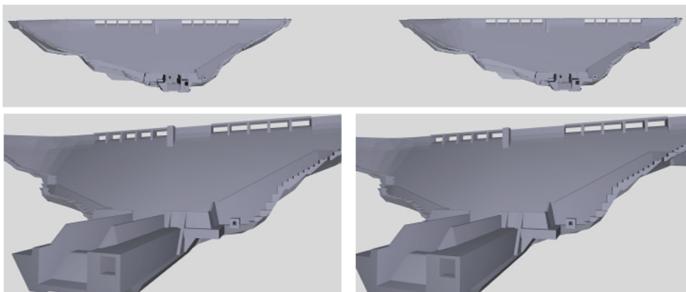
狭い作業スペースの中で複数の工種が錯綜することとなり、施工計画作成にあたっては、土木と機械の取り合い、作業スペースの確保が重要となる。ここでは、Autodesk NavisWorks の機能を用い、リフトスケジュールに沿った打設シミュレーション、および施工が錯綜する減勢工部分の施工シミュレーションを作成し、土木担当・機械担当と確認することにより、ミス防止や施工方法確認・修正作業の検討材料とした（図－10 参照）。



図－10 ダム 4D モデルイメージ

(3) 景観検討および合意形成への活用

3D モデルにより、形状変更時の景観比較等を容易に行うことが可能となる。ここでは非常用洪水吐の配置を変更した例を図－11 に示す。2 時間程度でモデルの変更が可能であり、様々な角度からの比較検討が容易となる。



図－11 ダム洪水吐設置位置比較

また、3D モデルから景観モデルを作成し、自由な視点からの画像を作成することができる（図－12 参照）。



図－12 ダム景観検討モデルイメージ

3D モデルから、1 日程度の作業時間で同程度の景観モデルが作成可能となる。任意の視点からの画像が作成できることから、従来のパース図に代わる利用として、積極的に進めるべきと考える。

ダム事業においては、地域住民への説明に加え、ダム事業に対する啓発活動も必要となる。ここでは、3D モデルから、合意形成・啓発活動に有効となる VR モデルの作成を行った（図－13 参照）。



図－13 ダム VR モデルイメージ

5. 足羽川ダム事業における今後の展開

(1) 数量算定自動化システムの構築

数量算定については、3. (2) に示すとおり、概略の自動システム化が完了しているが、一部手作業が残っている部分がある。今後、数量算定の完全自動化を行うとともに、既往の数量算定結果との精度検証を行う。

(2) 堤体施工時の適用を目指した実証試験の実施

足羽川ダムではダム本体工事に先行して、昨年より本体周辺の大規模掘削工事に着手している。当該工事において、CIM 適用実証実験を行う予定である。この実証実験では、これまで机上（コンピュータ内）でのみ議論していた CIM 導入を、実際の工事に適用してうまく進められるかどうか、想定外の課題が発生するかなど、実際の施工を通じて経験し、発注者・施工者・設計者の 3 者で課題への対応策を考えていき、この実証実験を通じて、ダム本体工事に向け CIM の更なる精度向上を図る。

(3) 起工測量の省略可否判断

施工者が行う起工測量は、抜開・除根を行った後に測量を行い、発注図面のチェックを行うものである。一方、足羽川ダム周辺では、CIM 導入に伴い、樹木が密集した状況下で UAV レーザー測量により 3D 地形データを取得している。レーザー光は樹木を抜けて現地形を捕捉する。

今年度足羽川ダムで実施する伐開後のレーザー測量結果と、伐採前の UAV レーザー測量結果と比較することにより、樹木が繁茂した状態でのレーザー測量結果の精度を把握し、今後の除根作業後の起工測量省略可否の判断材料とする。

(4) ゲート設備と配筋との干渉チェック

一般的に CIM における干渉チェックとは鉄筋の干渉を言うが、実際には現地で調整することが現実的であり、個々の鉄筋の干渉チェックは作業量に対して効果はわずかである。

一方、ダムにおいては、複雑かつ各種凹凸部品を持つゲート等鋼構造物の周辺に密に配筋を行う必要がある上、配筋を行う土木事業者と、鋼構造物を設置する機械設備業者が異なることが多く、現場での調整が困難なことが多いため設計時点で干渉をチェックすることが重要となる。

足羽川ダムにおいては、施設が複雑でかつ密に配筋を行う河床部放流設備・常用洪水吐等の施設周辺の配筋を 3D モデル化し、干渉チェックを行う（図－14 参照）。

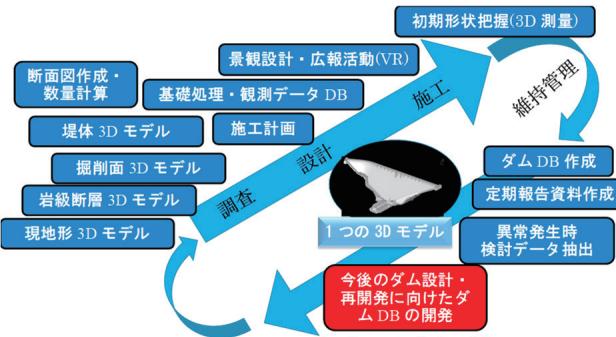


図－14 配筋モデル・配筋干渉モデルイメージ

(5) ダム管理にむけた設計・施工データの蓄積

計画設計から、施工、供用まで長い期間が必要となるダム事業においては、維持管理を迎える段階で調査・計画・設計・施工時の情報を整備しておく必要がある。また、運用期間は数十年に及び、大量の観測データを蓄積する必要がある。

CIM モデルを検索ツールとしたデータベースを作成し必要な情報を収集整理するとともに、将来的には今後のダム設計や再開発に活用するため、作成した複数のダムのデータベースを横断的に収集・活用する機能を構築する（図－15 参照）。



図－15 ダム CIM データベースイメージ

6. おわりに

今回の作業を通じ、CIM の導入は、従来のマンパワーに頼っていた部分を大幅に省力化するとともに熟練技術者の技能に頼っていた複雑な 3D 形状の 2D 図面化部分を効率化することができ、生産性向上の切り札となる可能性があると認識している。なお、今回説明した一連の作業手法は、既往の設計図面が完了した後で実施したもので、当初から 3D 設計し CIM を全面的に活用する本来の姿にはまだ至っていない。今後 2D 設計を経ずに 3D 設計を行うことが要求されると思われるが、そのためには、柔軟な頭脳・発想を持つ若手技術者の参加も必須である。今後 CIM が効率的に活用され、ひいては業界における生産性革命の原動的な役割を果たすことができるよう、人材育成も含め、更なる検討を進める。

参考文献

- 国土交通省：大規模構造物における 3 次元設計の適用拡大、第 5 回 CIM 導入推進委員会、pp.2、2018.3、<<http://www.mlit.go.jp/common/001224375.pdf>>（最終閲覧日：2018 年 8 月 28 日）