

ダム工事における CIM の導入

清水建設(株) 正会員 ○立花 すばる, 山下 哲一
清水建設(株) 正会員 長谷川 悦央, 加瀬 俊久

1. はじめに

平成 29 年 3 月国土交通省 CIM 導入推進委員会より「CIM 導入ガイドライン（案）」が発表され、土木工事における CIM の導入が進展している。

CIM の導入により、情報の利活用（設計の可視化）、施工の高度化（情報化施工）および判断の迅速化、維持管理の効率化および高度化、構造物情報の一元化および統合化等が期待されている。それに伴い、事業全体にわたる関係者間の状況共有を容易にし、一連の建設生産システムの生産性向上を図ることを目的としている。また、最新の ICT 技術を活用し、効率的で質の高い建設生産システムを構築することが期待される。

本稿では、清水建設(株)がダム工事で取り組んでいる CIM（表-1）について報告する。CIM の導入にあたり、地形・地質・岩級・基礎掘削工・堤体工・基礎処理工を含むダム全体の 3 次元モデルを作成し（図-1）、施工情報を属性付与することで逐次情報の充実を図り、ダム施工の生産性向上を目指している。

表-1 CIM の取組み一覧

掘削工	仕上掘削出来形 (コンクリート打設前)	3 次元レーザースキャナによる岩着コンクリート数量の算出および属性付与
堤体工	打設前検査および 打設計画	岩盤・打継面・型枠・鉄筋・止水板・PCa 材等の打設前検査記録および コンクリート打設計画の属性付与
	打設（締固め記録）	振動ローラおよびパイバックによるコンクリート締固め記録の取得および 締固め記録の属性付与
	品質管理	コンクリート試験記録の属性付与
	埋設工	埋設計器（温度計、ひずみ計等）の設置および計測結果の属性付与
基礎処理工	カーテングラウチ ング	3 次元モデルの作成およびルジオン値、単位セメント注入量、グラウト 管理日報、超過確率図の属性付与 止水ラインでの地質、岩級データの反映
	コンソリデーション グラウチング	3 次元モデルの作成およびルジオン値、単位セメント注入量、グラウト 管理日報の属性付与 岩着部での地質、岩級、亀裂データの反映
施工シミュレーション		リフトスケジュールを属性付与した 3 次元モデルによる施工計画の作成 VR 機能を有した 3 次元モデルの作成と施工空間を再現しての状況確認

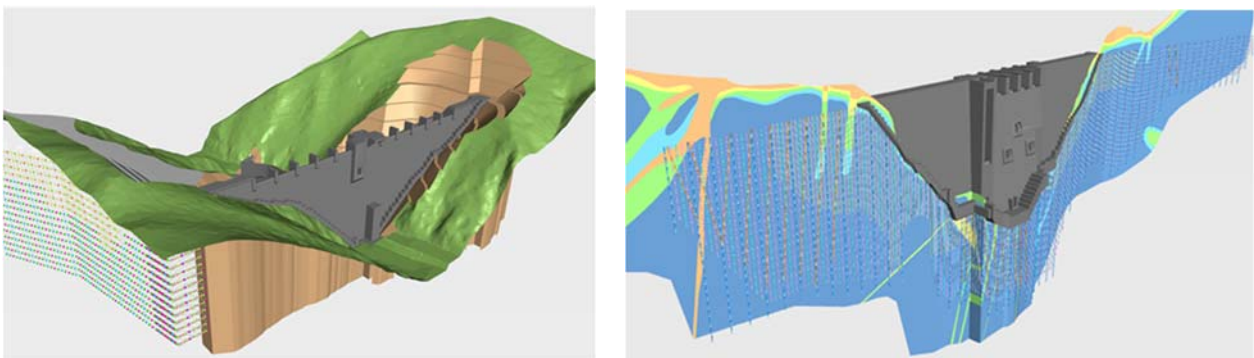


図-1 ダム全体 3 次元モデル

キーワード CIM, ICT, 3 次元モデル, i-Construction, VR

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設(株) ダム統括部 TEL 03-3561-3883

2. 3次元レーザースキャナによる岩着コンクリート数量管理

当社のダム工事では、基礎掘削（一次掘削）時の測量に UAV（Unmanned Aerial Vehicle）を活用して写真撮影し、写真解析により土量計算しているが、仕上げ掘削後には詳細な掘削形状を把握しコンクリート数量を算出する必要があるため、3次元レーザースキャナを活用して岩着面の点群データを取得した。得られた点群データは TIN（Triangulated Irregular Network）と呼ばれる三角形の集合体に変換し、CAD を用いて掘削形状の3次元モデルを作成した（図-2）。作成した掘削形状は堤体モデルの岩着部と合成させ、さらに、CAD から算出した体積を属性付与した（図-3）。これにより、岩着部の打設数量を当該箇所の3次元モデルをクリックするだけで確認できる。また、掘削の出来形を様々な角度から確認可能で、イメージの共有を図ることができる。

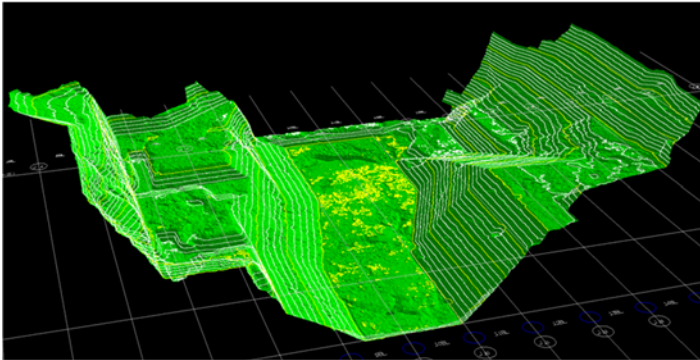


図-2 3次元スキャナ測量結果

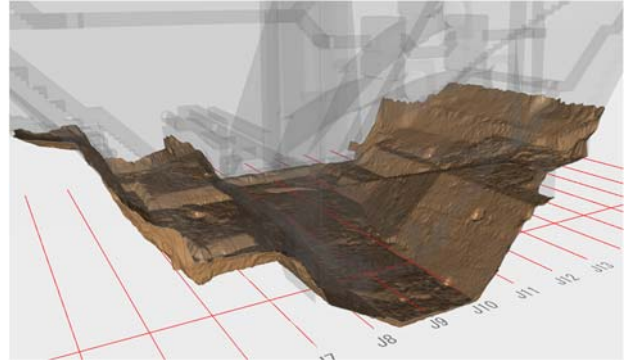


図-3 3次元モデル(基礎岩盤)

3. 3次元モデルを活用した堤体工の品質・施工管理

堤体の3次元モデルを用いて、コンクリート打設箇所毎に打設前検査および打設計画・打設（締固め記録）・品質管理・埋設工の内容を属性付与した。3次元モデル上の任意の打設箇所をクリックすることにより、当該箇所のリフト、ブロック、打設日、管理記録の電子データおよび状況写真を確認できる。

（1）打設前検査および打設計画

打設前に実施する岩盤・打継面・型枠・鉄筋・止水板・PCa 材等の検査記録、およびコンクリート打設計画を打設箇所毎に属性付与した。打設前検査記録として、各項目の写真等がまとめられている。また、打設計画は当該箇所の配合毎の運搬数量・台数や、レーン割等が記録されている。これにより、3次元モデルをクリックすることで迅速に施工記録の抽出と共有が可能となる。また、維持管理段階においても、任意の箇所での検査記録を迅速に抽出可能であり、施工後の利活用も期待できる。

(2) 打設（締固め記録）

ハツ場ダムでは、RCD 工法を基本とするが、冬期は拡張レヤ工法（以下 ELCM）による打設を行っている。RCD 工法では、振動ローラによる RCD コンクリートの締固めが主な作業となる。このため、振動ローラに GNSS を搭載して締固め位置や転圧回数を運転席モニタに表示するマシンガイダンスシステムを導入した。マシンガイダンスシステムにより得られる RCD コンクリートの締固め記録を 3 次元堤体モデル上で打設箇所毎に属性付与することで、転圧記録を容易に確認可能とした（図-4）。

また、ELCM ではダム用コンクリート締固め機械（以下バイバック）が使用される。コンクリート締固め完了は、バイバックオペレータが目視で判断し、それを元請職員が確認しているが、個人の熟練度等による差が生じる。このため、個人差の出ない定量的な締固め指標を確立し、ICT 技術を活用した締固め判定を行う情報化バイバックを開発した。締固め指標はコンクリート表面の平滑度（凹凸）をパラメータとし、バイバックに搭載した 3 次元スキャナによる画像解析で締固めの完了判定を行う。また、位置情報はバイバックに搭載した GNSS および変位センサにより、バイブレータの 3 次元座標をリアルタイムに計測する。情報化バイバックにより得られる有スランプコンクリートの締固め記録を堤体モデル上で打設箇所毎に属性付与することで、任意の打設箇所毎に締固め記録を容易に確認できる（図-5）。

打設箇所毎に転圧・締固め記録を管理することにより、施工段階での迅速な情報の共有、維持管理段階での容易な施工記録の抽出が期待される。

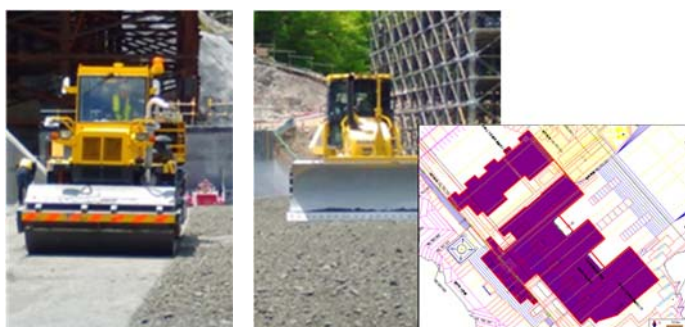


図-4 GNSS 搭載振動ローラー・ブルドーザー

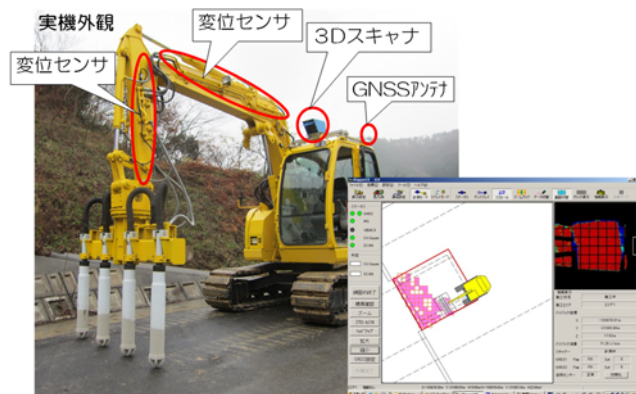


図-5 情報化バイバック

(3) 品質管理

堤体の 3 次元モデル内にコンクリートの品質管理記録として、2 時間毎のスランプ・空気量・単位容積質量・温度・VC 値（RCD コンクリート）、圧縮試験（x-Rm-Rs 管理図を含む）等の試験データを打設箇所毎に属性付与した（図-6）。これにより、任意の打設箇所毎の品質記録を容易に抽出することが可能となり維持管理段階での利活用が期待できる。

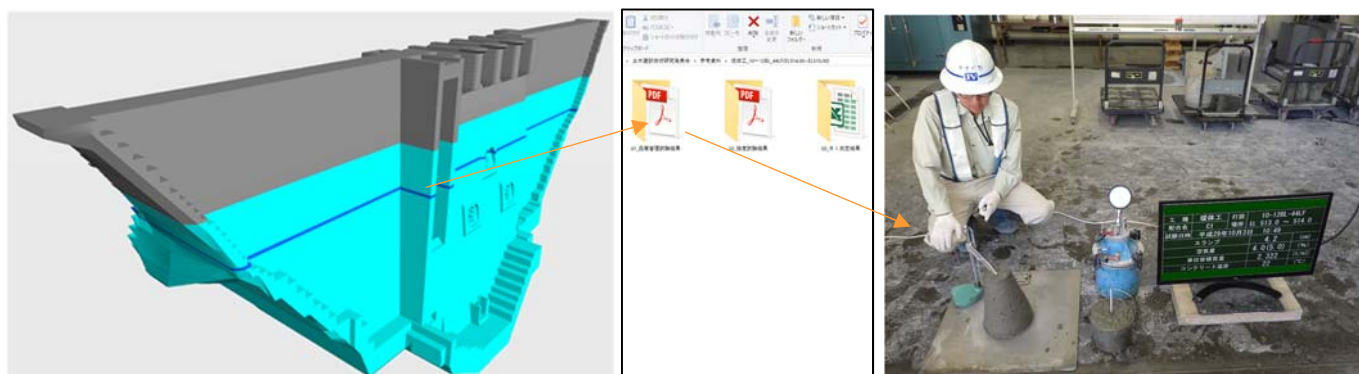


図-6 品質管理データの属性付与

(4) 埋設工

温度計・ひずみ計・無応力計・鉛直応力計等、埋設計器を堤体モデル内に配置し、各計器から得られる計測記録を属性付与した（図-7）。

温度計から得られた計測記録は3次元モデル上の温度計をクリックすると確認できる（図-8）。さらに、堤体の内外部に設置した温度計で得られる温度差からひび割れ指数を算出できる（図-9）。これにより、計測記録を容易にモニタリングして、抽出でき、遅滞なくリスクの確認や対策の実施が可能となる。

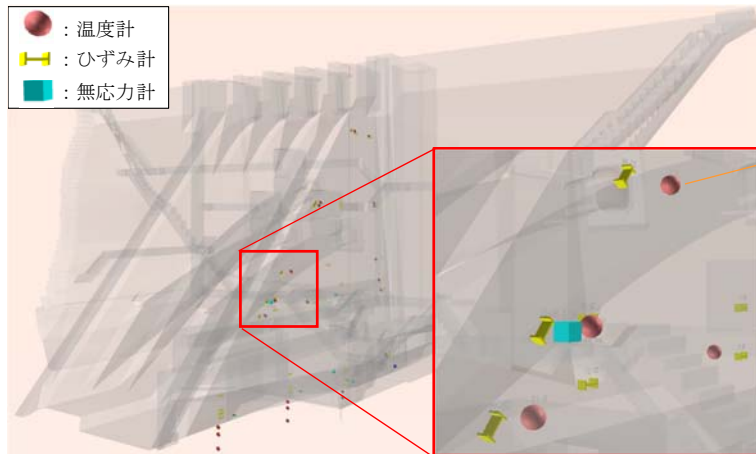


図-7 埋設工 3次元モデル

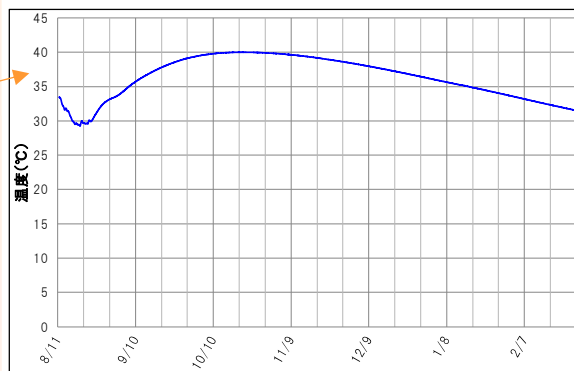


図-8 温度計計測記録

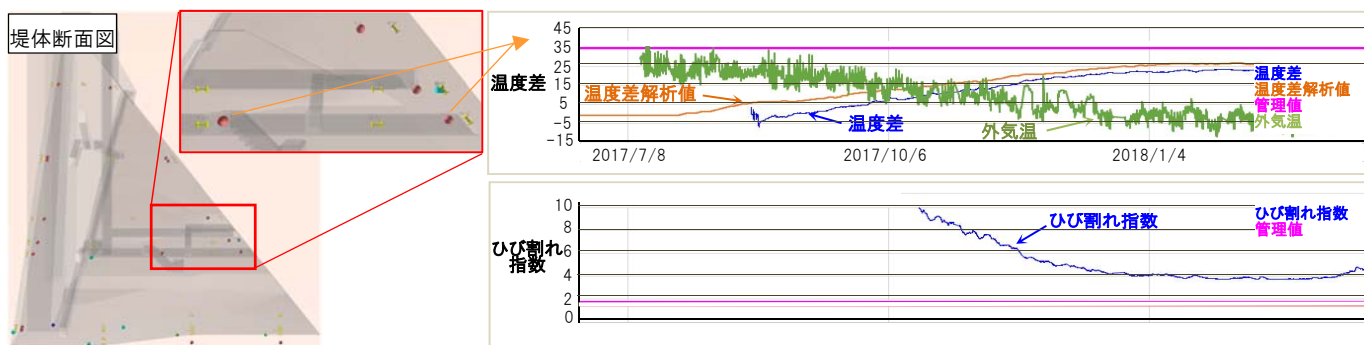
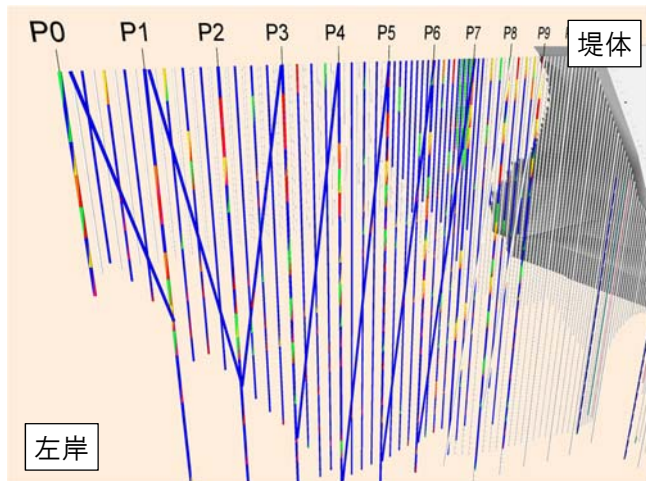


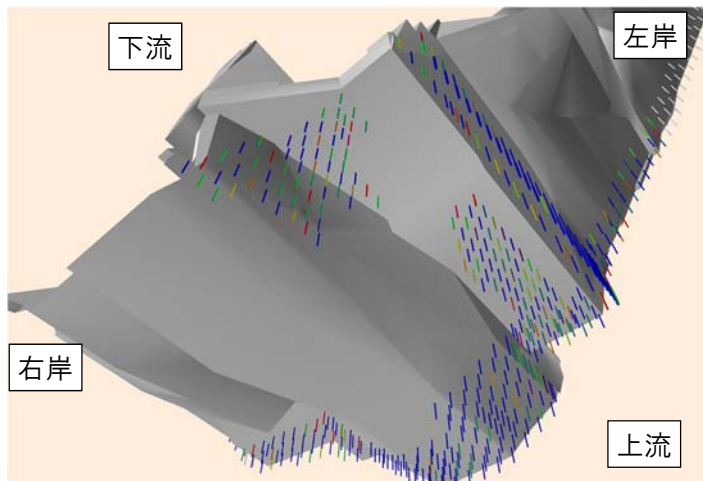
図-9 堤体内外部の温度差記録およびひび割れ指数管理

4. 3次元モデルを活用した基礎処理工の品質・施工管理

基礎処理工の施工管理データは膨大なものとなるため、その整理、保管、ならびに迅速な抽出に課題がある。そこで、カーテングラウチングおよびコンソリデーショングラウチングの3次元モデルを作成し施工記録を属性付与した（図-10）。



(a) カーテングラウチング（左岸リムカーテン）



(b) コンソリデーショングラウチング（堤体岩盤側より望む）

図-10 基礎処理工 3次元モデル

(1) カーテングラウチング

カーテングラウチングの3次元モデルは、5mを1ステージとした円柱とした。

パイロット孔、1次孔、2次孔、3次孔、チェック孔の3次元モデルのステージ毎にルジオン値・単位セメント注入量・グラウト管理日報、さらに、注入ブロック毎に超過確率図を属性付与した。膨大なデータとなるグラウト管理日報を属性付与することで、任意の箇所での施工管理記録を迅速に抽出可能となり、施工管理の段階だけでなく維持管理段階での利活用も期待できる。

属性付与されたルジオン値や単位セメント注入量は3次元モデルの中でその値の範囲毎に色分けし、分布状態を視覚化した。また、孔毎の表示を切り替えることで、次数が上がるにつれての改良状況の変化が確認できる(図-11)。パイロット孔から1次孔、1次孔から2次孔と次数の増加に従い、透水性の高い孔が減少していることを視覚化した。これにより、表示を切り替えるだけで改良の進行が容易に確認可能で、追加孔や延伸の検討を容易に行うことができる。

また、止水ラインでの地質と岩級の分布図を3次元モデルに反映した(図-12)。カーテングラウチングと地質・岩級の分布図を重ね合わせることで、ルジオン値や単位セメント注入量と基礎岩盤の関係性を確認できる。

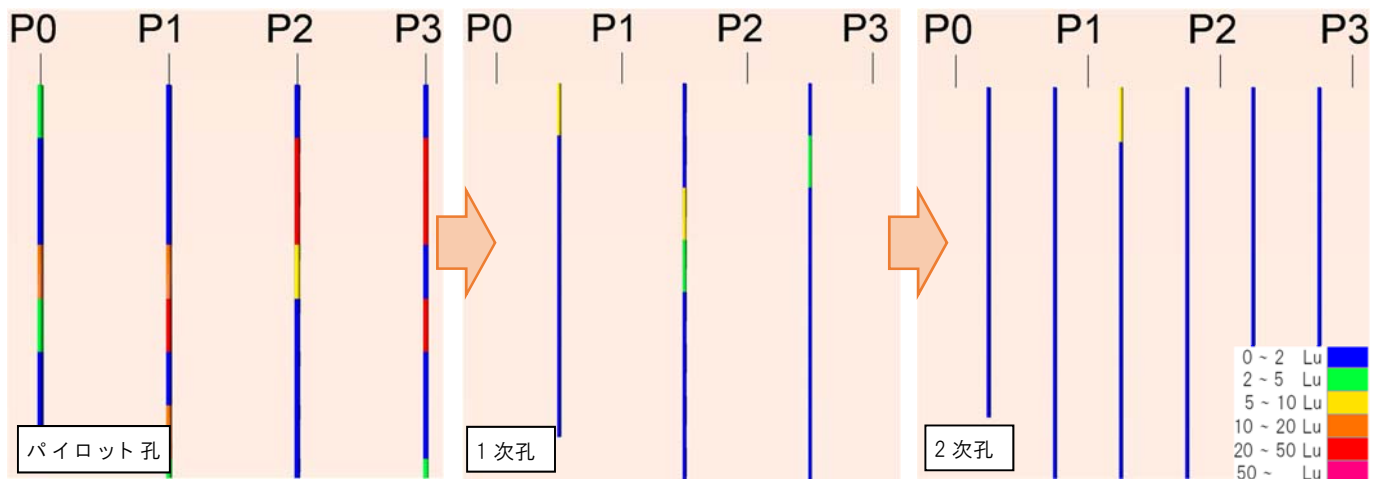
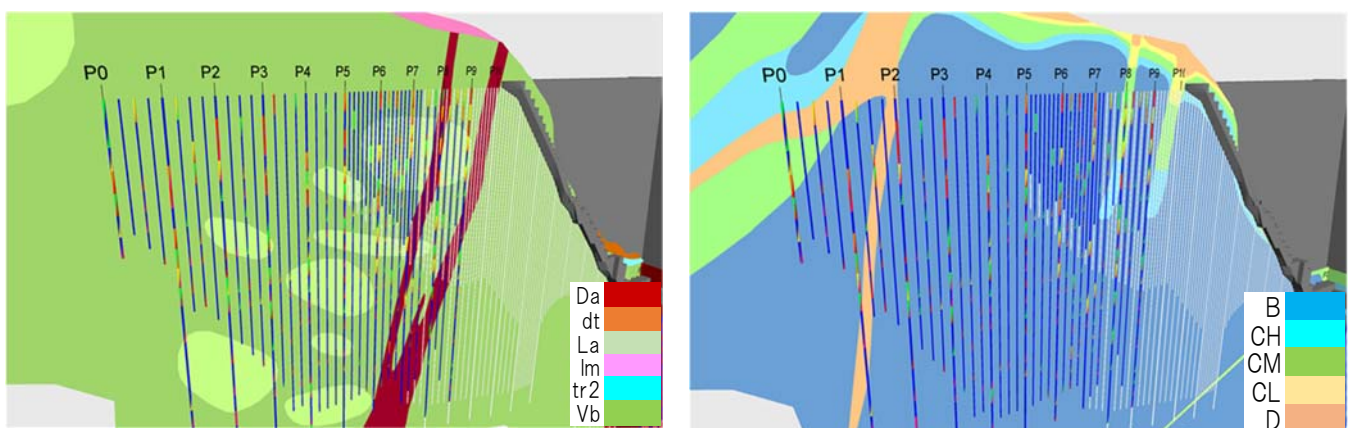


図-11 カーテングラウチング改良状況



(a) 地質データと改良状況の比較

(b) 岩級データと改良状況の比較

図-12 基礎岩盤とグラウチングの関係

(2) コンソリデーショングラウチング

コンソリデーショングラウチングの3次元モデルも5mを1ステージとした円柱とした。

3次元モデルのステージ毎にルジオン値・単位セメント注入量・グラウト管理日報を属性付与した。膨大なデータとなるグラウト管理日報を属性付与することで、任意の箇所での施工管理記録を迅速に抽出可能となり、施工管理の段階だけでなく維持管理段階での利活用も期待できる。

属性付与されたルジオン値や単位セメント注入量は3次元モデルの中でその値の範囲毎に色分けし、分布状態を視覚化した。コンソリデーショングラウチングにおいても、回数毎に表示を切り替えることが可能であり、回数が上がるにつれての改良状況の変化を確認できる(図-13)。特に弱部補強目的箇所のブロックでは、回数の増加に伴い、透水性の高い孔が減少していることがわかる。

また、掘削面に合わせた地質・岩級の3次元モデルを作成し、コンソリデーショングラウチングと合わせて確認できるようにした。亀裂も同時に表示することで、詳細な基礎岩盤の状態に対する改良の効果を3次元的に確認できる(図-14)。これにより、改良の進行を様々な角度から岩盤の状態と照らし合わせて確認可能で、追加孔の検討等への利活用が期待できる。

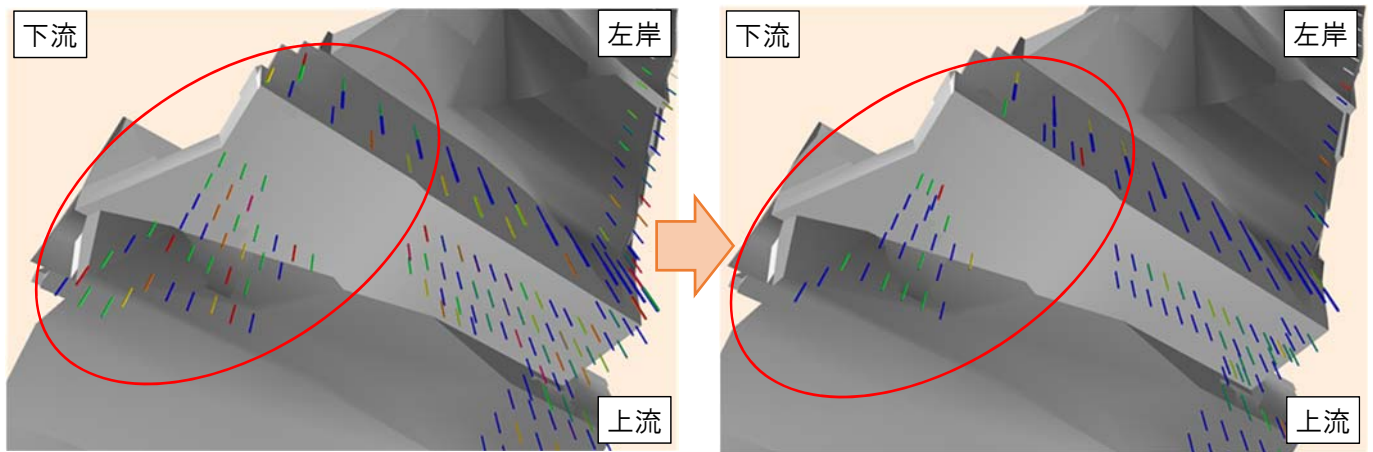


図-13 コンソリデーショングラウチング改良状況(堤体岩盤側より望む)

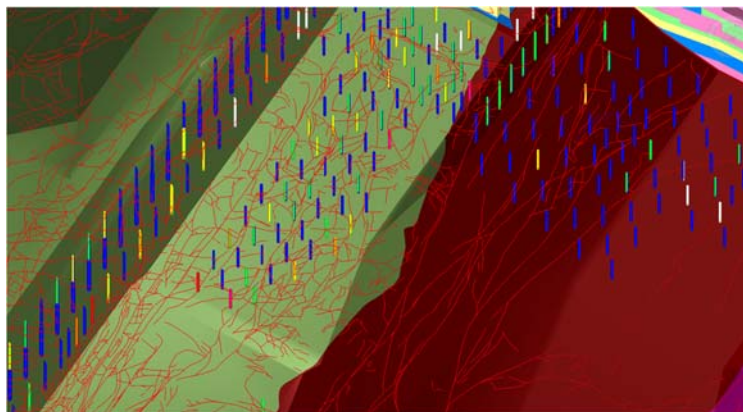


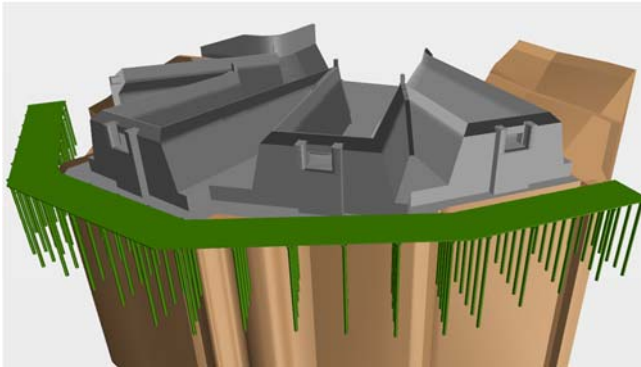
図-14 地質・割目状況と改良状況の比較

5. 3次元モデルを活用した施工計画

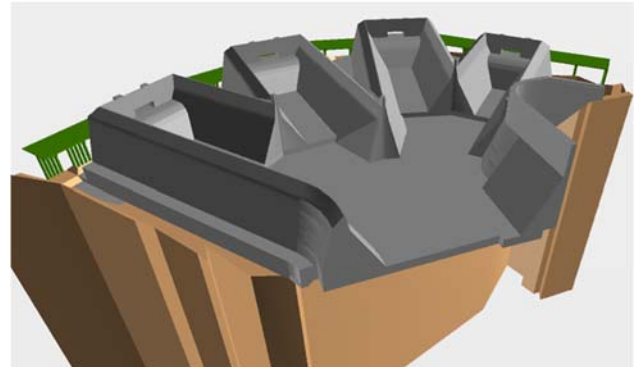
(1) 打設計画シミュレーション

千五沢ダムにおいては、ラビリンス型洪水吐となるため、工程が進むに従い、躯体形状が3次元的に複雑に変化する。そのため、重機の搬出入経路の確保、クレーン作業時での支障等を考慮した施工計画の検討が必要とされた。

そこで、3次元モデルを活用した打設計画のシミュレーションを行った。作成した3次元モデル(図-15)にリフトスケジュールを属性付与し、各ブロックの打設予定日に従って当該箇所が表示されるようにした(図-16)。3次元モデルはリフト毎に色分けすることで、ブロック毎のリフト差を視覚的にわかるものとした。また、グリーンカット等の養生期間を別色で表示できる。



(a) ダム上流



(b) ダム下流

図-15 3次元モデル(千五沢ダムラビリンス型洪水吐)

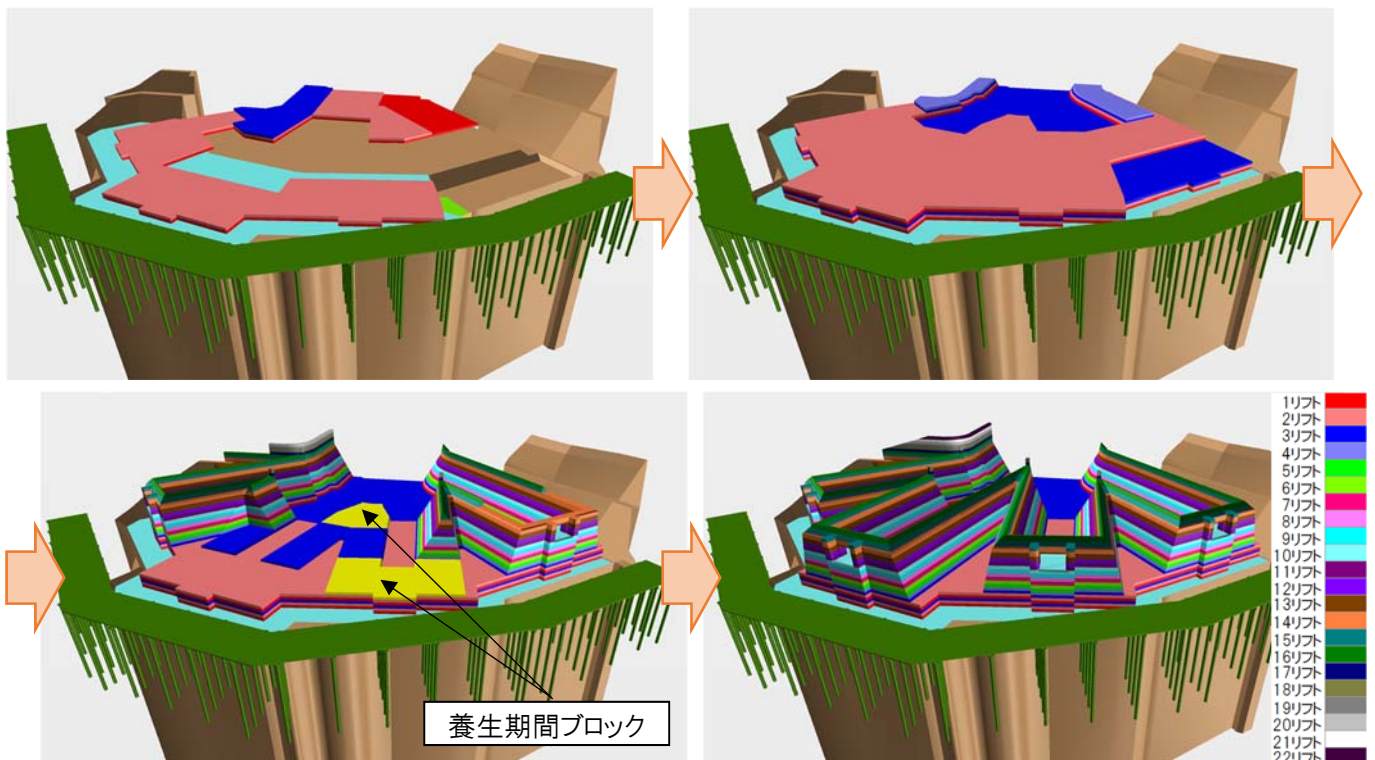
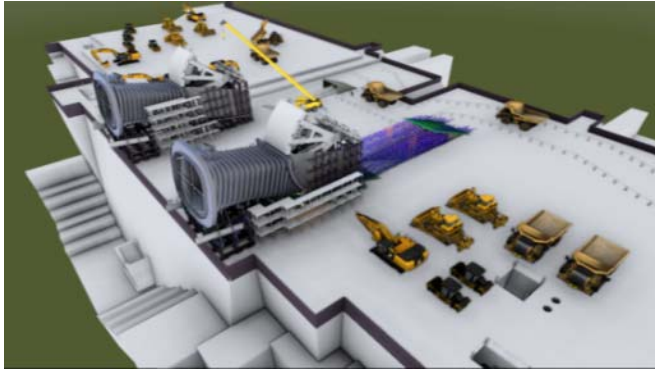


図-16 施工シミュレーション

(2) VR の活用

ハッ場ダムにおいては、常用洪水吐設備、水位維持用放流設備等の大型堤内構造物があり、鉄筋、型枠、コンクリート打設作業との輻輳が懸念された。

そこで、VR (Virtual Reality) 機能を有した 3 次元モデルを構築するとともに、施工重機や資機材等を配置して、実際の施工状況を反映した (図-17)。さらに、VR ゴーグルや PC モニタ上で、3 次元モデルの世界に入り、様々な目線や角度から配筋状態やその取り合い、施工機械との離隔、施工空間の大きさ等をリアリティを持って確認可能なものとした。



(a) 3 次元モデル全景



(b) 3 次元モデル放流管部

図-17 VR 機能を有した 3 次元モデル

6. おわりに

当社のダム工事では、3 次元モデルを活用した CIM として以下の項目に取り組んでいる。

○施工管理記録の充実

- ・ 仕上げ掘削後（コンクリート打設前）の 3 次元レーザースキャナ岩盤測量によるコンクリート数量算出
- ・ 打設前検査項目（鉄筋、型枠、止水板、PCa 材、打設面、岩盤面等）の検査記録、打設計画の属性付与
- ・ 打設記録（振動ローラによる転圧、情報化バイバックによる締固め）の取得および属性付与
- ・ コンクリート品質管理記録（スランプ、空気量、単位容積質量、温度、VC 値、圧縮試験等）の属性付与
- ・ 埋設計器（温度計、ひずみ計、無応力計、鉛直応力計等）の 3 次元モデル化および計測記録の属性付与
- ・ 温度のモニタリングとひび割れリスク管理
- ・ カーテングラウチングとコンソリデーショングラウチングでのルジオン値、単位セメント注入量、グラウト管理日報等の属性付与および地質、岩級データの反映

○施工シミュレーション

- ・ リフトスケジュールを属性付与した 3 次元モデルによる施工計画の作成
- ・ VR 機能を有した 3 次元モデルの作成と施工空間を再現しての状況確認

これにより、3 次元モデルに各種施工記録を属性付与することで、任意の箇所での施工記録を迅速かつ容易に抽出可能とした。また、複雑な躯体に対して施工計画の検討および施工のイメージの共有を行うことができた。今後も、これらの技術を継続的に改善し、付与情報の充実を図り、ダム施工の生産性向上を目指していく所存である。

参考文献

- 1) 長谷川悦央, 竹内啓五, 宇野昌利, 藤内隆, 長尾貴浩, 加瀬俊久: ダムコンクリートの締固め管理システムの開発, 土木学会年次学術講演会講演概要集, pp.06-0511, 2016.