

これからのダム事業のスタンダードに ～立野ダム建設事業におけるインフラDXの推進～

遠山 哲生¹・岩元 隆太郎¹・弓削 琢郎¹

¹九州地方整備局立野ダム工事事務所 工事課（〒861-8019 熊本県熊本市東区下南部1-4-73）

立野ダム建設事業では、かねてよりCIMを活用した設計・景観検討を進めており、2016年に*i-Construction*推進モデル事業として指定されて以降、さらに積極的にBIM/CIM、ICT技術を活用した取り組みを推進しながら、現在、ダム本体工事を進捗中である。これらの取り組みの中には、建設現場の生産性向上のみならず、発注者の業務や事業調整プロセスをも変革するインフラ分野のデジタル・トランスフォーメーション（DX）につながる事例があることから、ダム事業の特性を踏まえ、その取り組みの内容と評価、今後の展望について報告する。

キーワード BIM/CIM, インフラ分野のDX, *i-Construction*, 遠隔立会

1. はじめに

立野ダムは、政令指定都市熊本市の中心部を貫流する一級河川白川沿川の洪水被害を防ぐことを目的とし、2022年度の完成を目指している日本最大級の流水型ダムである。立野ダムサイトがある立野峡谷は、多くの観光客が訪れる阿蘇の玄関口であり、阿蘇ユネスコジオパークにおけるジオサイトの1つでもある。周辺には、「阿蘇くじゅう国立公園」や国の天然記念物に指定されている「阿蘇北向谷原始林」が位置するなど豊かな自然環境が存在している。このような背景から、立野ダム工事事務所では、『阿蘇にふさわしい風景の創出』を目指し、ダム景観検討当初（2009年）から3次元CIMモデルを作成、景観委員会やインフラツアーなどに活用することで、ダム事業の理解促進につなげてきた。

国土交通省では、2016年からICT技術の活用等による建設現場の生産性向上を目指す*i-Construction*を推進しており、直轄事業の中で3次元データ等を活用した取り組みをリードする「*i-Construction*推進モデル事業」を定め

測量・調査から、設計、施工、維持管理に至る建設生産・管理システム全体で先導的に新技術の活用を推進しているところである。さらに、近年の新型コロナウイルス感染症をきっかけとした社会変容もあり、インフラ分野においてもデータとデジタル技術を活用して、業務そのものや、組織、プロセスを変革し、安全・安心で豊かな生活を実現するため、インフラ分野のDX（デジタル・トランスフォーメーション）を推進している。

立野ダム建設事業は、九州地方整備局管内唯一の*i-Construction*推進モデル事業に選定されており、ダムの調査・測量・設計、施工、維持管理において一元的にCIMモデルを共有・活用、発展させ、各業務・工事の効率化・高度化を図るためにCIM活用の試行・検証を行っている。

2. 立野ダムにおけるインフラ分野のDXにつながる取り組み

(1) CIMを活用した景観検討から *i-Construction*へ

立野ダム工事事務所では、『阿蘇にふさわしい風景の創出』を目指し、ダム景観検討当初（2009年）から周辺地形や構造物等の関連情報を含めた3次元CIMモデルを作成しており、景観委員会等では、ダム完成後のVRや定点キャプチャを資料に添付することでイメージの共有や具体的議論を進めてきた。他にも、一般の方への説明資料やインフラツアーなどにCIMキャプチャを活用することでダム事業の理解促進にもつなげてきた。また、立野ダムはアーチ作用にも期待した重力式ダムであることから3次元設計を行っているため、ダム本体詳細設計においても3次元CIMモデルでの設計を進めてきた。

さらに、2016年に「*i-Construction*推進モデル事業」に



図-1 立野ダム流域図

指定されて以降、『阿蘇にふさわしい風景の創出』、『生産性向上を目指し真に必要な施工管理』、『流水型ダムに特化した管理CIM構築』を目標にCIMモデルを設計、施工へ積極的に活用してきた。現在進めているダム本体工事においても、ICT建機によるMG・MC、UAV+点群データによる施工管理、コンクリート打設用クレーンの自動制御(図-3)など施工及び施工管理の効率化・高度化を行い、建設現場の生産性向上につなげている。

(2) i-Constructionからインフラ分野のDXへ

立野ダムで取り組んでいるCIMやデジタル技術を活用した試行を表-1に示す。表-1の主な波及効果からも分かるように、i-Constructionの試行は建設現場の生産性向上を主目的としたものであるが、その効果が発注者側の業務の合理化・高度化に波及するものも多くある。

また、ダム本体工事特有の環境として、24時間施工であることから短期間に工事が進捗し立会確認の頻度が多いこと、ダム堤体は放流設備・電気設備・エレベータ設備・管理庁舎も同時に施工することから異業種工事間の調整が多いこと、工程管理がシビアであることが挙げられる。このように受・発注者ともに業務の合理化を図る必要に迫られた状況でもあり、立野ダム工事事務所では、『情報共有クラウドによる関係者の情報共有、データの一元管理』、『遠隔立会とオートマチック検尺』、『異業種工事を統合したモデルによる設計照査の合理化・高度化』、『4Dモデル等を活用した工程管理』など事業円滑化を主目的とした取り組みも実施している。

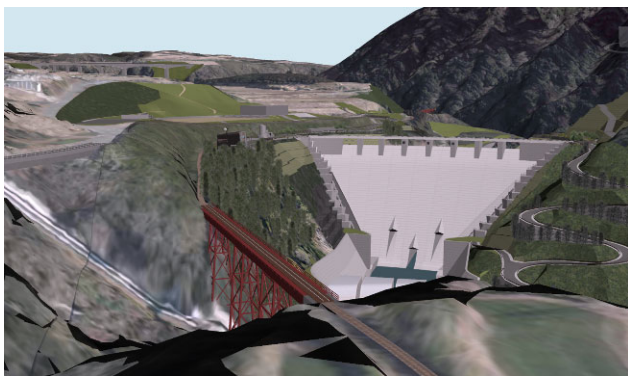


図-2 CIMモデルを用いた完成イメージ



図-3 CIMモデルを活用した打設用クレーンの自動制御イメージ

これらの取り組みは、データとデジタル技術を活用して、業務そのものや、組織、プロセスを変革するインフラ分野のDXそのものであり、本稿ではこれらの取り組みについて、ダム事業の特性を踏まえ、その効果と課題、今後の展望について報告する。

3. 情報共有クラウドを用いたデータの一元管理と円滑な情報共有

(1) CIMモデルを含む高度情報のデータ共有

i-Constructionは施工者主導の取り組みが多い一方、インフラDXを推進するためには、発注者主導での取り組みも重要となってくる。発注者がCIMモデルや点群データを活用するためには、まずその大容量データのやり取りあるいはデータ処理をできる環境が必要であるが、行政LANに接続できる業務用PCは、その性能、CIM専用ソフトをインストールする際のセキュリティや諸手続きなど課題が多い。また、i-Construction用高性能PCが各出張所・事務所に配備されたが、このPCは行政LAN接続・インターネット接続、どちらにも対応していなかったためデータやり取りに致命的な課題があった。

立野ダム工事事務所では、これらの課題解決のため3Dモデルや点群データの共有・プレビューができる情

表-1 立野ダムにおけるCIM等を活用した取り組み

No.	CIM等デジタル技術を活用した取組	主な波及効果
1	3次元設計のためCIMモデルの作成	設計業務の合理化・高度化
2	VRによる景観検討	検討イメージの共有による事業調整の円滑化
3	VRを活用した『伝わるダム』	一般の方の事業への理解度向上
4	MG・MCによるICT施工	現場の生産性向上
5	UAV+点群データによる施工管理	現場の生産性向上
6	GNSSを活用したコンクリート打設クレーンの自動制御	現場の生産性向上
7	ARを活用した現場説明	一般の方の事業への理解度向上
8	情報共有クラウドによる関係者間の情報共有、データの一元管理	高度技術の共有による事業調整の円滑化
9	遠隔立会とオートマチック検尺	監督業務の合理化
10	異業種工事を統合したモデルによる設計照査の合理化・高度化	現場の高度技術の共有による事業調整の円滑化
11	4Dモデル等を活用した工程管理	工程イメージの共有による事業調整の円滑化
12	基礎処理工の可視化による立体的な水理地質構造の把握	現場の生産性向上 事業調整の高度化
13	地場企業が実行可能なCIMの構築	現場の生産性向上
14	技術者協議用『手書きできるCIM』	事業調整の円滑化
15	普段使いできる管理CIMの構築推進	ダム管理の合理化・高度化

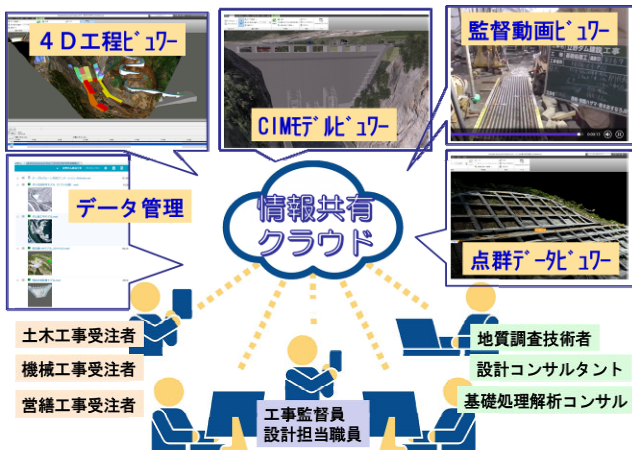


図-4 情報共有クラウドのイメージ

情報共有クラウドサービス(図-4)を試行的に導入している。この情報共有クラウドには、事務所の工事監督職員、施工業者はもちろん、設計担当職員、設計コンサルタント、地質技術者にもアカウントを付与しているため関係者間情報共有と大容量のCIMデータのやりとり、プレビューする環境を整えており、後述する様々な取り組みにつながっている。

(2) データの一元管理と円滑な情報共有

ダム本体工事中は、ダムの基礎地盤や堤体打設、基礎処理の日報など、毎日膨大な量の施工管理と設計・地質コンサルタントによる解析が相互に行われている。それらのデータの管理と共有は、円滑な工事進捗には重要な要素であり、従来のメール等による方法と比較し情報共有クラウドの導入により大きく効率化できている。また、クラウド上に蓄積、更新されていくデータはその履歴がスレッドにより目に見えてわかるため、最新データを検索したり、関係者間でVerの違うデータを見ていたといったことがなくなり業務合理化につながっている。

この取り組みの効果について定量的な評価はしにくいですが、CIMモデルを扱うことを前提としたPC環境整備はインフラDXを進めていく上で重要であり、コスト的にも月3万円程度で使用できており費用対効果は大きいと評価している。今後、他事業においても民間のクラウドを本格導入するとすれば、セキュリティやバックアップなど基準を定める必要がある。立野ダムが採用しているサービスは、国際的なセキュリティ規格である「ISO27001(ISMS)認証」を取得している。

4. 遠隔立会の原則導入とオートマチック検尺

(1) 遠隔立会の原則導入

工事監督職員は、土木工事共通仕様書や契約図書に監督職員の「確認」を受けるよう定められている事項について、臨場もしくは机上で確認を行いながら工事監督している。また、臨場(現場)により出来形・品質・規格



図-5 遠隔立会実施状況

表-2 立野ダムにおける遠隔立会の原則導入

工種	確認項目	
全ての工種の材料確認	規格・寸法など	○
全ての工種の段階確認		○
ダム土工	岩盤面処理	岩盤清掃の適否 ●
堤体工	コンクリート打設工	打設面処理の適否 ●
		型枠設置の適否 ●
基礎処理工	ボーリング	削孔長の検尺 ☆
	注入	孔埋めの適否(現地確認) ☆
左岸下流 進入路工	掘削	地質状況確認 ●
	路床盛土	フルフローリング試験 ●
	ソイルセメント	打設面処理の適否 ●
横坑閉塞工	横坑閉塞	坑内清掃状況 ●
		閉塞の適否 ●

凡例：○…遠隔立会、●…臨場立会、☆…非同期確認

などを確認することを「立会」といい監督職員の主要な業務である。

立野ダム本体工事は、24時間施工で行っていることもあり、後述する基礎処理工を除いても膨大な回数の「確認」を行う必要がある。例えば、ダム本体工事堤体打設が軌道に乗り始めた2021年4月1ヵ月間における確認依頼は129回であった。これだけの回数の確認を「立会」で行うことは現実的ではなく、自ずと材料の規格確認などは写真と書面で確認する机上確認が増えてしまう傾向にあった。そこで、ダム本体工事での立会は原則遠隔立会(図-5)により行うこととし監督業務の合理化を図ることとした。その結果、2021年4月に必要だった確認129回のうち、臨場立会による確認を26回、残りは全て遠隔立会とし、机上確認を0回とすることができた。

臨場立会とした「確認」については、表-2のように、岩盤面処理や打設面処理などである。岩盤面処理確認のときには岩盤のゆるみなどは手でさわったり、ハンマー

でたいてその音や感覚で判断する必要がある。また、打設面処理確認については、ダム堤体の品質確保の観点から不純物を残さないよう細部にわたっての確認が必要である。こういった品質の根幹に関わる内容については一部遠隔立会の対象から除外しているが、それ以外の項目は原則遠隔立会の対象としている。

遠隔立会の手法については、業務用PCにインストールされているTeamsと受注者が準備したTV会議用ソフトを併用して実施している。基本的には、カメラの解像度も高く臨場立会と遜色ない条件で行うことができる。

(2) オートマチック検尺

一般的に、ダム事業では、ダムの基礎地盤を遮水もしくは弱部補強することを目的に基礎処理グラウチング工を行う。この、基礎処理工は、地盤にボーリング機械で削孔して固化材等を注入する工事であるため目で見て監督するよりもデータ解析を通じて工事成果を確認している。但し、1孔施工完了後にボーリング孔から削孔用のロッドを引き抜き、そのロッド長から削孔深さの出来形を確認する「検尺」は「立会」にて行うよう共通仕様書に規定されている。

立野ダムでは、グラウチング工の施工数量が約3,400孔、施工延長が約89,000mと他ダムと比較しても膨大な量あり、また24時間施工であることから検尺のタイミングが夜中になることもあるため、非同期確認（オートマチック検尺）を行う試行を行っている。（図-6）

本来、検尺が必要なタイミングで監督職員へ確認依頼をし日程を調整して実施するところを、オートマチック検尺は、施工完了後、施工者のみで動画録画しながら実施、その動画を情報共有クラウドにアップしておき後日監督員が確認するという手法で行っている。オートマチック検尺により、施工者は、夜中でも「立会」を待たず、自動的に次孔の施工が可能で施工待ちがなくなり生産性向上にもつながっている。

(3) 遠隔立会の効果と課題

オートマチック検尺を含む遠隔立会による効果としては、まず、ダムサイトまでの移動時間の削減効果があげられる。すべてを臨場立会で実施した場合と比較し約80%程度削減しており、立野ダムからダムサイトまで車で往復1.5時間かかるため、試算した2021年4月の1カ月間では154.5時間の削減につながった(表-3)。ダム完成まで約29ヶ月あるため単純に計算すると合計4,480時間の移動時間削減となり、オートマチック検尺による効果を含めると、約1万時間の削減効果が期待される。その他にも、受注者にとっては、立会日程調整による受注者の施工待ちがほとんど発生しなくなるのも施工の合理化につながり、交通事故リスクの低減による安全性向上、燃料費のコスト削減、机上確認の回数が減ることで施工管理の適正化にもつながると推察している。

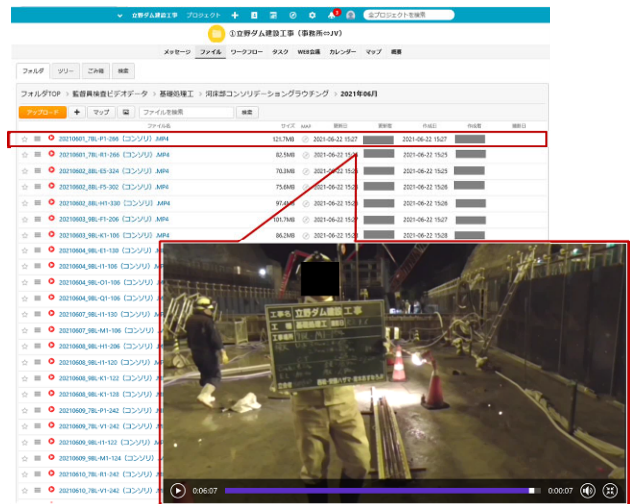


図-6 夜中に実施したオートマチック検尺動画

表-3 遠隔立会による移動時間削減効果

2021.4	確認回数 /月	臨場回数 /月	往復移動 時間/回	削減時間 /月
遠隔立会	129回	26回	1.5時間	154.5時間

工事全体	削減時間 /月	ダム堤体 打設期間	全体 削減時間
遠隔立会	154.5時間	29カ月	4,480時間

工事全体	削減回数	往復移動 時間/回	全体 削減時間
オートマチック 検尺	3,400回 (孔)	1.5時間	5,100時間

遠隔立会の試行は、すでに他事業でも始まっており、設備投資もほとんど必要なく実施でき、「非接触・リモート化」の働き方にもつながるインフラDXの代表的な取り組みとして、今後大きな効果が見込まれるところである。

取り組みにあたっては、確認のどこまでを遠隔立会で実施するかを決める必要がある。特にオートマチック検尺のような非同期遠隔立会については、後日確認であっても工品質に影響を与えない出来形確認に限るなど適用する確認内容には注意が必要である。また、山間部などの現場では通信手段が確立されていないことも想定されるため試行にあたっては各現場で事前に確認しておく方がよい。

5. 異業種工事を統合したモデルによる設計照査の合理化・高度化

(1) ダム堤体と機械設備工事

立野ダムの堤体には、放流設備や整流板、ライニング、スクリーンなどの鋼製設備があり、これらは鋼構造専門の会社が別工事で施工するため、ダム堤体全般を施工す

る土木側と常に調整しながら進めている。特に、放流管周りでは堤体コンクリートの構造鉄筋や鋼構造とコンクリートを接合するためのジベル、グラウト用配管など多くの埋設物が発生する。そのため、これらがお互い干渉せずに設計がなされているか照査するには今まで大きな労力がかかっていた。そこで、機械設備工事受注後、3次元モデルを作成し、それらをダム堤体モデルに組み込むことで統合モデルを作成し照査を行うこととした。

河床の7BL放流設備の干渉照査(図-8)を行った結果、287部材の干渉を確認、鉄筋配置の修正設計により対応し、現在工事を進捗中である。

(2) 異業種工事における設計照査のタイミング

近年では、特に橋梁設計等での詳細設計時点における鉄筋干渉照査はCIMを活用することで設計の高度化・合理化が報告されているが、今回の試行では、異なる施工者、しかも異業種工事のモデルを統合した点に大きな特徴がある。

機械設備工事では、設置する設備そのものと、それらを設置するための架台等の仮設物が必要なことが多く、それらの任意仮設については、工事受注後、受注者の責

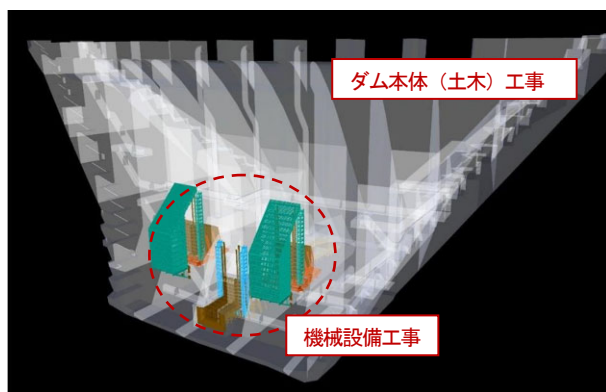


図-7 ダム堤体と機械設備のCIMモデルイメージ

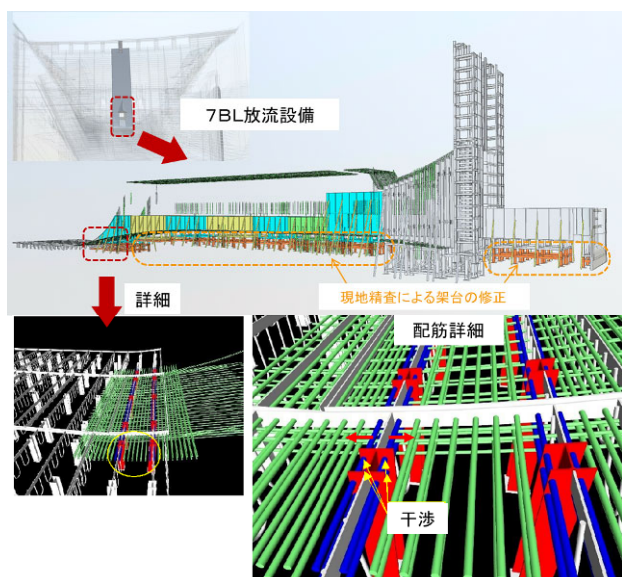


図-8 7BL放流設備の統合CIMモデルと干渉チェック

において決定される。今回も、堤体打設スケジュールの変更等により仮設架台の構造が大きく変更となっており、それらを反映したモデルを組み込んで照査するとどうしても工事受注後となってしまいます。今回は、287部材もの干渉が見られたが、詳細設計時点で1度照査をかけておくと、干渉箇所は減らせると思われる。

今後、実際の施工と今回の統合モデルとの整合を確認しながら工事を進捗していきたい。また、ダム堤体とその近傍には、水位低下放流設備、EV設備、管理所、電気制御設備など様々な異業種工事が予定されている。これらの工事においても統合モデルへの組み込みと設計照査等へのCIMモデルの活用を進め、設計調整プロセスの合理化を図りたい。

なお、統合モデルを用いた構造干渉照査を行うためには高い詳細度のCIMモデルを作成しないといけない。しかし、ダム堤体モデル全体を鉄筋等の埋設物まで含めた詳細なモデルとするとコストと時間が膨大にかかるため、今回は放流管周りのみの抽出詳細モデルを作成し統合する手法をとっている。今後、他事業に展開していくためには、各設計業務段階で作成するCIMモデルの詳細度、またデータ形式などの基準をあらかじめ定めておく必要がある。

6. 4Dモデル等を活用した工程管理

立野ダムでは、2020年10月に初打設式、2021年5月に定礎を迎え堤体打設を本格化させており、2023年2月まで約29カ月の堤体打設後、試験湛水を行い本運用となる。堤体打設中は日々の打設箇所、打設量が定められており遅れはゆるさされない。また、その間の他工種、他工事については打設スケジュールに遅延なく進捗させていく必要があり、ベースとなる打設スケジュールの明示と共有は重要である。

また、上流仮締切及び仮排水トンネルにより転流しているものの、2021年、2022年の出水期は洪水時のリスクにも直面するため、どの規模の洪水に対してどの様なリスクが潜在するか詳細に把握するため、出水期を迎えるときの堤体形状の確認もあわせて重要である。

それらに対応するため、立野ダムでは、堤体CIMモデ

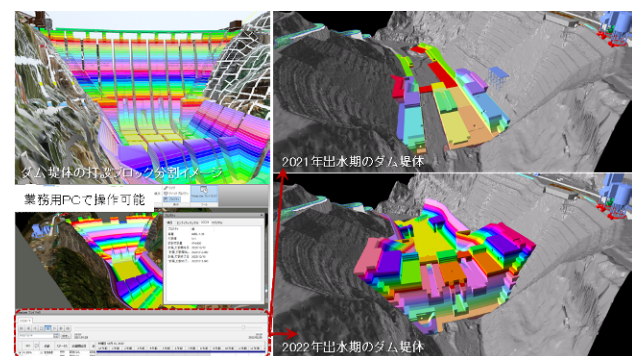


図-9 業務用PCで操作可能な4D工程モデル

ルを打設リフト毎に打設日条件を付与することで4D工程モデルを作成し、情報共有クラウドで共有している。

この4D工程モデルは、従来のバーチャート方式では説明しづらい施工イメージを工程と一緒に共有でき、職員の業務用PCでも操作可能であることから、各々で任意の日時のダム堤体の形状が確認できる。よって、施工各社、各工事の監督員、設計担当職員の工事工程の理解度が向上し、事業調整の円滑化につながっている。

7. これからのダム事業のスタンダードに

ダム事業では、出張所の組織がなく、工事発注・積算、工事監督を工事課で行うのが一般的であり、どうしても昼間は現場監督、夜に設計書などの内業をするのが常態化してしまう傾向にあった。立野ダムでは、本稿で報告した取り組みにより、昼間、遠隔立会を行いながら空いた時間に内業を行ったり、CIMモデルを見ながら自席でweb打合せをしたりと、今までの業務のやり方を変革し働き方改革につなげることができている。今後は、『基礎処理工の可視化による立体的な水理地質構造の把握』、『技術者が協議しやすい手書きCIM』、『普段使いできる管理CIMの構築』など、発注者の立場からCIMやデジタル技術へ求めたいものを自由な発想で試行して、インフラDXを推進していきたいと考えている。

また、ダム本体工事は、異業種が混在した複雑な構造、シビアな工事工程であり、かつ、地中など目に見えない工種も多いという特性から、CIMモデルにより構造や工程を「見える化」することは事業調整のうえでもメリットが大きいことがわかった。ダム事業におけるCIMやデジタル技術の必要性和有用性を改めて認識し、これらをうまく活用することで、事業に携わるもの全体の合理化を図りインフラDXにつなげることができると確信している。

本稿が、今後のダム事業もしくは他事業で同じような課題に直面したときの課題解決の一助になると幸いである。



図-10 立野ダム工事状況（堤体下流より上流を望む）