

川上ダム本体建設工事における高速施工の実施

○松尾 昂祐¹・富 行穂²・徳永 倫一³

概要：

建設業界では将来の担い手確保や熟練技能労働者の減少が深刻な課題となっており、ICT の活用や DX の導入による施工の効率化・省力化が急務となっている。特に型枠作業においては、複雑な構造部の施工のスピードが熟練工に依存してしまうため、工程遅延を引き起こすリスクがある。ダム本体建設工事では、前述した型枠作業における工程遅延のリスク解消と各種施工の平準化が大きな課題としてあげられるが、川上ダムでは施工 CIM の構築によるプレキャスト部材の積極的な採用や DX の本格導入によりこれらの課題を解決し、品質を確保しながら、約 19 ヶ月という非常に短い期間で堤高 84m、堤体積約 47.3 万 m³（減勢工を含む。）の本体コンクリート打設を完了させることができた。

本稿は、川上ダム本体建設工事において実施された高速施工の実現に向けた工夫や DX の本格導入に関する取り組みについて報告するものである。

キーワード：コンクリートダム、プレキャスト、CIM、高速施工、DX

1. はじめに

昨今の気象災害の激甚化に伴い、ダム事業をはじめとした治水対策の早期実現が求められている一方、建設業界では将来の担い手確保や熟練技能労働者の減少が課題となっており、施工の効率化・省力化の推進が喫緊の課題となっている。

川上ダム本体建設工事では、土木工事の CIM に機械・電気設備工事の CIM を統合した高詳細度の CIM（以下、施工 CIM という。）を構築することで、プレキャスト（以下、PCa という。）部材の積極的な採用をはじめとした様々な工夫を行うとともに、DX の本格採用による施工管理の省力化を実現し、品質を確保しながら、約 19 ヶ月という非常に短い期間で堤高 84m、堤体積約 47.3 万 m³（減勢工を含む。）の本体コンクリート打設を完了し、ELCM で施工されたダムにおいては日本最速の施工速度を記録している。

本稿では、高速施工実現に向けた工夫や川上ダムで本格導入された DX の取り組みを報告する。

2. 施工上の課題

本工事の施工においては、以下の2点の課題が挙げられる。

2.1 型枠作業の効率化・省力化

複雑な構造部分における型枠作業では、施工のスピードが労働者の熟練度に依存するため、熟練技能労働者の減少が課題とされている昨今では、工程の遅延につながる恐れがある。工程遅延のリスクを低減するためには、型枠作業の効率化・省力化に取り組む必要がある。

2.2 工事の平準化

本工事のコンクリートには購入骨材が用いられており、運搬車両台数には1日最大180台の制約がある。コンクリートの打設量が購入骨材の運搬量に依存することを防ぐため、工事を平準化する必要がある。

-
1. 総合技術センター 施工監理グループ（前川上ダム建設所 工事課）
 2. 川上ダム建設所 工事課 課長
 3. 木津川ダム総合管理所 管理課 主査（前川上ダム建設所 工事課）

3. 高速施工への取り組み

3.1 施工 CIM の活用

3.1.1 施工 CIM の概要

ダム工事では、本体工事と並行して複数の機械設備工事が施工される。円滑な事業進捗のためには、各種工事の調整を行いながら施工する必要がある。とりわけ、異業種の工事が干渉する部分については、各工事の図面を早期に共有し、綿密な調整を行う必要がある。本工事においては、詳細度 500 (表-1) の施工 CIM を構築・活用することで、各工事の完成形を可視化・共有し、土木・機械・電気の業種の垣根を越えた施工管理を行った。

施工 CIM は複数の設計業務の成果品を統合して運用している。設計で使用しているソフトウェアは各業種により異なるため、詳細度を 500 に保ったままそれぞれのモデルを一つのソフトウェアに統合することは難しい。本工事では、複数のモデルを統合するソフトウェアを使用することで施工 CIM を構築した。このソフトウェアを使用した場合、施工 CIM は閲覧に特化したものとなるものの、詳細度を保ちながら各モデルを統合することができた。施工 CIM の構築イメージを図-1 に示す。

本工事では、施工 CIM を PCa 部材の適用検討や DX の取組みに活用し、前節に挙げた課題の解決や施工管理の省力化に取り組んだ。

3.1.2 施工 CIM を活用した PCa 部材の適用検討

型枠作業の遅れによる工程遅延や、特定標高における施工速度の低下が懸念される部分を対象として、施工 CIM による PCa 部材の適用検討を行うことで、前節で挙げた課題の解決を図った。

① 下位標高部

下位標高部では基礎通廊や上流面、バケットカーブの型枠作業がそれぞれ同時期に発生する。これらの部分では、バラ型枠の製作作業等が求められるため、型枠作業の負担が増大し、施工速度の低下が懸念される。とりわけ、基礎通廊部では、排水ピットやエレベーターシャフト、プラムラインといった拡張形状の異型部分での複雑な型枠作業が連続する (写真-1)。

② 特殊構造部

通常、ダム上下流面ではスライド型枠を活用している。一方で本体下流面の勾配変化部、上位標高部の張出部分などのスライド型枠が使用できない箇所 (以下、特殊構造部という。) においては、現場に応じてバラ型枠を製作・組立して施工する必要があるため型枠作業の負担が増大する。

表-1 土木分野における各工種統一的な詳細度の定義(案)

詳細度	共通定義
100	対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。
200	対象の構造形式がわかる程度のモデル。標準横断で切土・盛土を表現、または各構造物一般図に示される標準横断面を対象範囲でスイープさせて作成する程度の表現。
300	付帯工等の細部構造、接続部構造を除き、対象の外形形状を正確に表現したモデル。
400	詳細度 300 に加えて、付帯工、接続構造などの細部構造及び配筋も含めて、正確に表現したモデル。
500	対象の現実の形状を正確に表現したモデル。

出典：土木分野におけるモデル詳細度標準(案)¹⁾

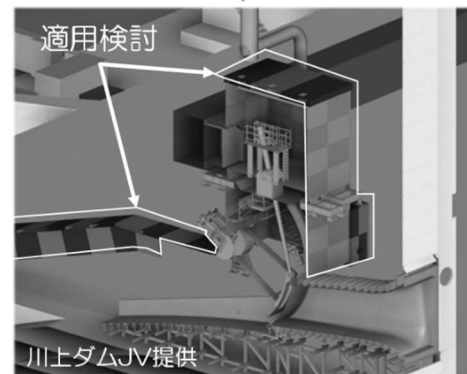
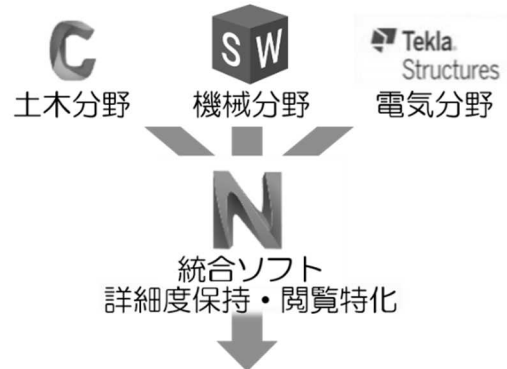


図-1 施工 CIM の構築イメージ



写真-1 下位標高部

特殊構造部の例として、堤頂の張出部分（取水設備）を写真-2に示す。

これらは同一標高の複数箇所に配置されていることから、特定標高での施工速度の低下が懸念される。また、特殊構造部での施工は、作業スペースが狭隘となることに加え、堤体外からの型枠の脱型作業が必要となるため、作業スペースの確保や転落防止も施工の課題となる。

③機械設備周辺

機械設備周辺では、堤体の構造鉄筋や機械設備の設置架台が錯綜する。例として、取水設備における施工 CIM 画面を図-2に示す。複数の作業が連続するうえ、機械工事と調整しながら施工する必要があることから、一つの作業の遅れが全体工程に影響する恐れがある。ここでは型枠のPCa化を検討し、工程遅延のリスク低減を図った。PCa部材の適用検討を行う際には、設置するPCa部材と機械設備との干渉を考慮する必要がある。



写真-2 堤頂張出部（取水設備）

3.2 プレキャスト部材の全面展開

施工 CIM による PCa 部材の適用検討によって得られた結果を基に、施工の各所に PCa 部材を全面展開した。ここでは、本工事において行われた PCa 部材の管理・運用や活用事例について紹介する。

3.2.1 プレキャスト部材の管理・運用

全面展開したことにより PCa 部材が膨大な数となった。円滑に施工を進めるためには、PCa 部材を計画的に納入・ストックし、効率的に管理・運用することが肝要となる。

①PCa 部材の管理

施工 CIM 上で PCa 部材に番号を割り付けて PCa 部材の設置作業の管理を行った。図-3に施工 CIM を用いた PCa 部材管理の一例を示す。また、PCa 部材の製造時や施工時の品質データを施工 CIM に紐付けることで、各部材のトレーサビリティを詳細に管理することが可能となった。

②PCa 部材の運用

本工事では運搬設備として 25t タワークレーンを活用している。PCa 部材を運用する際には、大断面部材を地組してから運搬し、一括設置することが可能である。クレーンの能力を最大限活用し、納入した PCa 部材のストックや地組から運搬・設置までの一連の作業の効率化を目的として、クレーンのサービスエリア内にストックヤードを整備した。ストックヤードにはアスファルトを舗装することで、PCa 部材の組立精度の確保と泥などの付着による汚損防止を図った。これにより、PCa 部材の組立精度を確保したまま、運搬回数や据付時間を大幅に削減することができた。

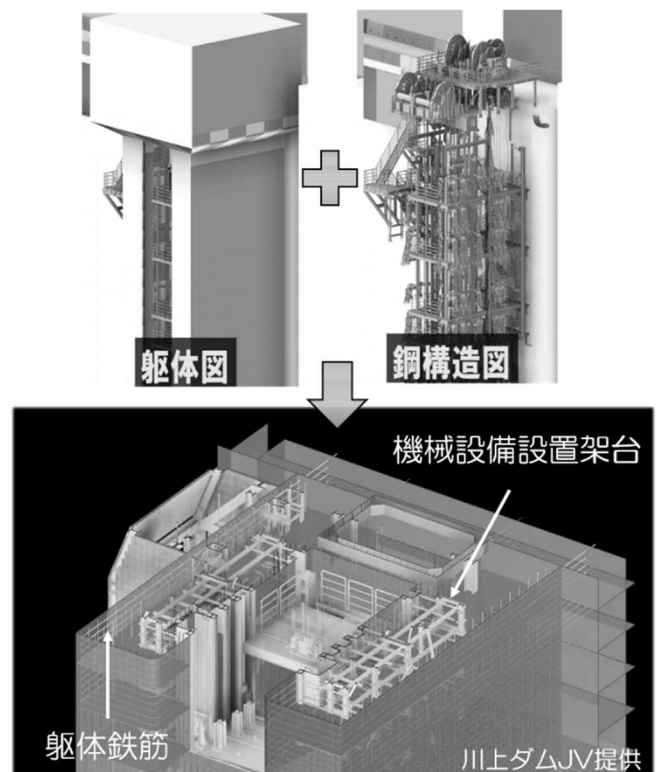


図-2 機械設備における施工 CIM（取水設備）

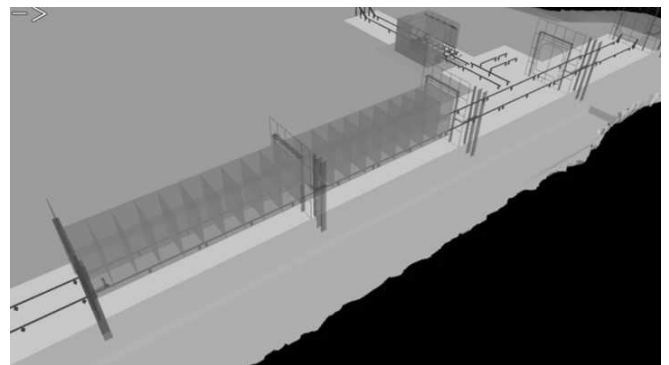


図-3 施工 CIM による PCa 部材管理
(基礎通廊)

ストックヤードを**写真-3**に示す。なお、本工事で使用しているタワークレーンには自立構台を用いている。一般に、タワークレーンは自立高さに応じて支持金具を取り付ける作業が必要となるが、自立構台を用いることで支持金具による設備の補強作業を省略し、タワークレーンの休止時間を削減している。タワークレーンの運用状況を**写真-4**に示す。

3.2.2 監査廊のフルプレキャスト化

監査廊をフルPCa化することで、型枠作業の労務軽減を図った。とりわけ、基礎通廊部においては、拡幅形状部での複雑な型枠作業を全て省略することで、懸念されていた下位標高部における施工速度低下の防止に寄与した。

PCa部材の据付作業においては、溝形鋼をPCa部材の設置方向に対してレール状に配置することで、位置や高さを適宜調整しながら据付架台を設置した。PCa部材の据付状況を**写真-5**に示す。このような据付架台を使用した場合、PCa下部へのコンクリートの充填が課題となる。ブリーディングが最小となるような現場示方配合の高流動コンクリートを打設して、狭隘な据付架台周辺も確実に充填した。

これらの取組みにより、監査廊の施工においても品質を損なうことなく、施工の効率化・省力化を実現した。



写真-3 PCa部材ストックヤード

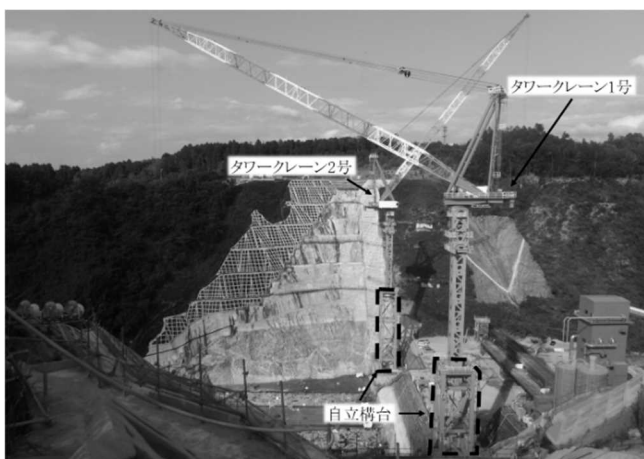


写真-4 タワークレーン運用状況

3.2.3 プレキャスト型枠の活用

スライド型枠が使用できない特殊構造部においては、PCa部材を型枠代わりに活用することで、バラ型枠の製作をはじめとした型枠作業を省略し、労務量を大幅に軽減した。副次的には、堤体より外側における脱型作業等が削減されるため、作業の安全性も向上した。PCa型枠の設置状況を**写真-6**に示す。

3.2.4 複合構造部材の活用

PCa部材にアンカー部材を先行埋設した部材（以下、複合構造部材という。）を活用することで、機械設備周辺の複雑な構造を簡略化しつつ、機械設備でのアンカー部材の設置作業を削減し、工程遅延のリスクを低減した。複合構造部材の検討例を**図-4**に示す。



写真-5 PCa部材の据付状況

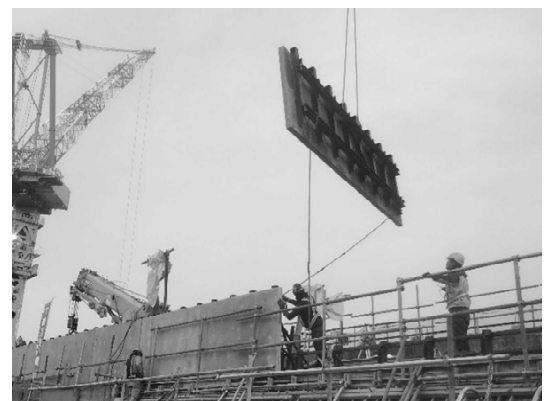


写真-6 PCa型枠設置状況(下流面勾配変化点)

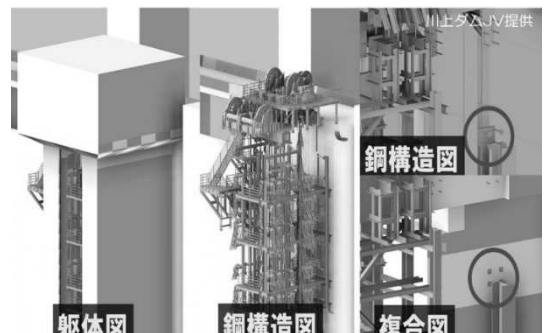


図-4 複合構造部材の検討例

4. DX への取り組み

本工事では、DX に関して以下の取り組みを行い、施工管理の省力化に寄与した。

○ダムコンクリート打設管理システム

ダムコンクリートの製造データや運搬・荷卸し、締固めなどの情報をクラウドで一元管理した。集約した情報を施工 CIM に取り込むことで、トレーサビリティを時間や場所を限定されずに確認することが可能となった。

○タワークレーン自動運転施工モデル

熟練技能労働者による定点間の運搬を記憶させ、各設備に設置したセンサーにより、バケット位置や荷振れの検知・確認し、バケットの位置が目標に収まるように自動で運転制御するタワークレーン自動運転の施工モデルを作成した。

○バイバック締固め判定装置

これまで熟練技能労働者の経験に依存していたコンクリートの締固め判定を、加速度センサーにより定量的に判断する締固め判定装置を活用した。

○グリーンカットマシン自動運転システム

グリーンカットマシンに姿勢制御用センサーやブラシの押付け力などを測定可能な応力センサーを搭載し、グリーンカットマシン自動運転システム（写真-7）を構築した。



写真-7 グリーンカットマシンの活用状況

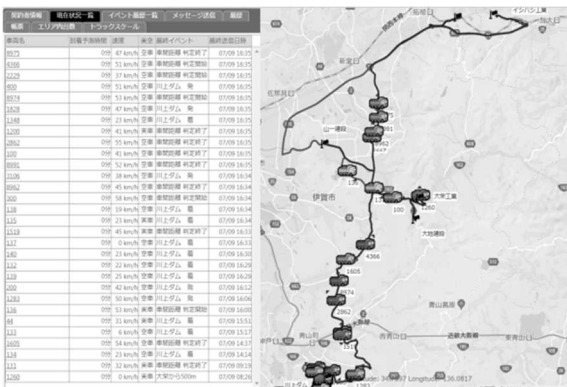


図-5 車両管理システム

○自動スライド型枠

上流面型枠の一部に自動スライド型枠を活用した。自動スライド型枠は固定ユニットと型枠足場ユニットからなり、それぞれを油圧ジャッキで交互にクライミングアップする。

○車両管理システム

GPS 機能付きタブレット端末を全車両に搭載することで、走行場所や速度などの情報を一元的に管理する、車両の走行情報をリアルタイムで確認することができる車両管理システム（図-5）を活用した。

○グラウト管理システム

基礎処理工において、グラウト管理システムを活用した。このシステムには、基礎処理のリアルタイムでの施工状況や過去の施工データの閲覧機能、Web カメラを用いた遠隔臨場（写真-8）機能が一元的に集約されている。

○丁張りレス土工

基礎掘削では ICT 建機による丁張りレス施工を実施した。

○監査廊点検の自動化

自律飛行 UAV による監査廊点検の自動化に取り組んでいる。

○試験ヤードの提供

5G 回線を使用した重機の遠隔操縦やダンプトラックの自動運転に関する取組みについて試験ヤードを提供した。



写真-8 遠隔臨場の実施状況



5. 本工事における取り組みの成果

5.1 工事の平準化

本工事における月間打設量を図-6に示す。打設開始以降、わずか3ヶ月で打設のトップスピードに至り、その後は打設期間の約2/3の期間にわたって施工速度を維持した。

実績月最大打設量を実績月平均打設量で除した値（以下、平準化度という。）により工事の平準化を評価する。ダム施工機械設備設計指針（案）²⁾に記載された44ダムについて、平準化度の比較を行った。比較の結果を図-7に示す。川上ダムの平準化度は、柱状工法やRCD工法を含めて比較しても最小であった。

平準化に成功した要因として、以下の2点が挙げられる。
 ○監査廊のフルPCa化により、下位標高部での型枠作業の遅れを解消し、速やかに施工のトップスピードに至った。
 ○PCa部材や複合構造部材の使用により、複雑な型枠作業の工場化に成功した。これにより現場での型枠の製作・組立作業の削減につながり、ハイペースを維持したまま施工することができた。

5.2 施工の効率化・省力化

1ヶ月当たりのコンクリート打設量（以下、月平均打設量という。）と1ヶ月当たりの打設高さ（以下、打設速度という。）により施工の効率化・省力化を評価する。コンクリートダムの施工³⁾に記載された43ダムについて、月平均打設量及び打設速度と施工規模との相関を比較した。各ダムの月平均打設量と堤体積の相関を図-8に、打設速度と堤高の相関を図-9にそれぞれ示す。川上ダムは、ELCMで施工したダムにおいて、最も優れた月平均打設量及び打設速度を記録した。

6. おわりに

川上ダム本体建設工事では、施工CIMの構築によるPCa部材の積極的な採用やDXの施工現場への本格導入により、ELCMで施工された国内のダムにおいて、月平均打設量及び打設速度で日本最速を記録した。

本工事における取り組みが、労働力の確保が課題となっている建設業において、課題解決の端緒となるとともに働き方改革促進の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 社会基盤情報標準化委員会特別委員会. 2017. 土木分野におけるモデル詳細度標準（案）. p5.
- 2) 財団法人ダム技術センター. 2005. ダム施工機械設備設計指針（案）. p63
- 3) 一般財団法人日本ダム協会. 2015. コンクリートダムの施工. p50.

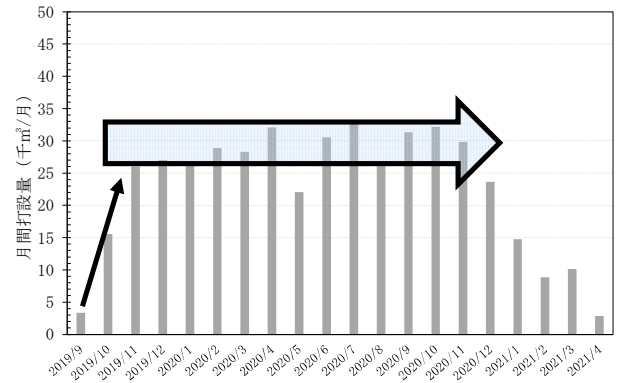


図-6 川上ダムにおける月間打設量

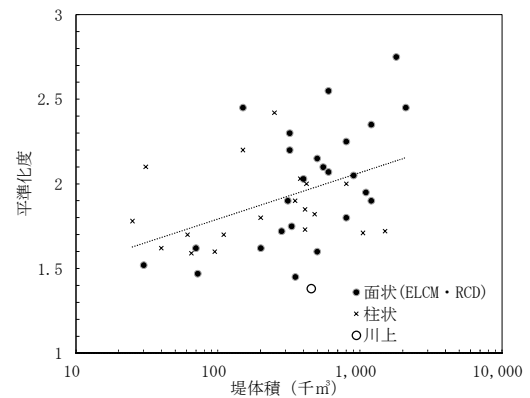


図-7 平準化度の比較

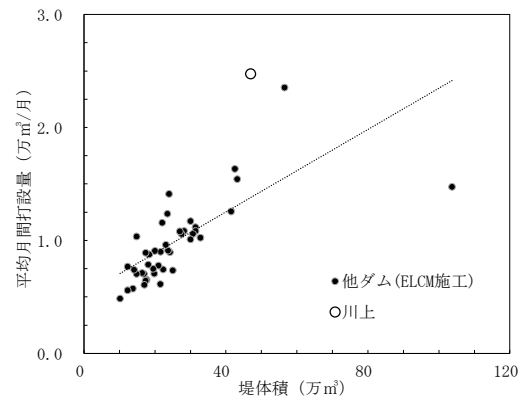


図-8 月平均打設量-堤体積

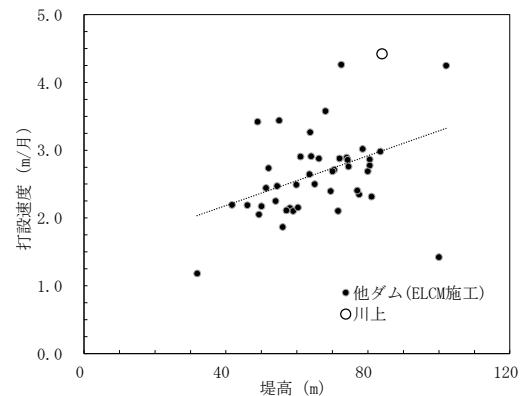


図-9 打設速度-堤高