

CIM 活用と PCa 化技術の応用によるダム建設の平準化と温度応力緩和手法



(株)大林組 正会員 ○小俣 光弘 (株)大林組 正会員 上高 克弘
 (株)大林組 正会員 野島 省吾 (株)大林組 正会員 木下 真吾
 (株)大林組 正会員 松本 憲典 T S(株) 川合 竜夫
 独立行政法人水資源機構 川上ダム建設所 渡辺 聡嗣

1. 概要

重力式コンクリートダムの施工方法は柱状工法、面状工法に大別され、近年では中規模以上のダムであれば面状工法の 1 つである RCD 工法が適用されるのが一般的である。RCD 工法では大型重機による連続施工で施工量を最大化する。また、これらの機械の自動化を目指す取り組みも行われている。一方で、働き方改革により 4 週 8 閉所を目指す建設業界の潮流はダム建設にも及んでおり、これまでと同等の品質のダムを建設するためには、打設日数を確保するための発想の転換が求められている。本稿は、川上ダム本体建設工事で取り組んだ **CIM の高度活用による働き方改革と標準化施工**が、マスコンクリートであるダムの温度応力に与える影響を論じたものである。

2. はじめに

ダムは 1 枚の壁のように見えるが意外と複雑な構造で、内部には機械式のゲートや電気設備が張り巡らされている。特に内部の複合構造部や高標高部では、狭い範囲で重機が稼働できない。このため、レヤ工法 ELCM を用いる必要があり、大型重機施工に標準化できず、施工方法に大きな変化が生まれる特徴がある。打設のレーンスケジュールは変化に富み、その運用には十分な経験が必要である。一方で、ダム建設現場の経験者や熟練技術者が減少しており、働き方改革が求められる社会情勢の中で、ダム工事の多様な細部技術を適切に現場に指導していくハードルは低くない。このような中、川上ダムにおいては **CIM の高度活用によるプレキャスト導入**を目標に掲げ、経験の少ない若手技術者が、安全・効率・品質を満たすダム建設の施工・管理方法を実証した。また、**標準化がもたらす【施工の平準化】**がマスコンクリートであるダムの温度応力に与える影響を検証した。

本現場の最大の特徴は、その工期設定と施工量平準化である。高さ 4.5m/月に及ぶレヤ工法及び ELCM の国内最速施工を、河床部から頂部までペースを緩めることなく継続する工程が当初から設定されていた。これは、コンクリート製造用の骨材が全量購入であり、骨材運搬量の制約 (180 台/日) が設けられていたためである。貯水池内に仮置き可能な骨材約 40 万 t を事前仮置きして計画的に消費していく必要があり、打設ピーク速度の抑制が要求された。ダム建設において、底部監査廊や放流管を抜け構造物が少なくなる標高や、降雨が少ない施工しやすい季節に打設量を稼ぐことが一般的常識である。このため、川上ダム本体建設工事は **ELCM 最速工程と平準化の両立**という矛盾への挑戦とすることができる。

表-1 工事概要

工事名称	川上ダム本体建設工事
発注者	独立行政法人 水資源機構
施工者	大林・佐藤・日本国土特定建設工事共同企業体
施工場所	三重県伊賀市阿保地内他
工期	2017年9月21日～2023年3月31日
主要工事数量	堤体基礎掘削工： 土石 118,400m ³ 岩石 49,410m ³ 合計 167,810m ³
	堤体コンクリート工：455,080m ³ 減勢工：17,690m ³ 左右岸端部処理工：1681m ³ 合計 474,451m ³ 基礎処理工：カーテングラウチング 9,266m ³ コンソリデーショングラウチング 3,090m ³
ダムおよび貯水池 諸元	型式：重力式コンクリートダム 堤高：84m (堤頂標高 EL282.0) 堤頂長：334m 湛水面積：1.04km ² 総貯水容量：31,000千m ³

3. ELCM 最速工程と施工量平準化の実現

川上ダムの工事概要 (表-1)、工事工程表 (表-2)、完成予想図 (図-1)、打設進捗図 (図-3) を示す。当工事は 2017 年 9 月に契約、2018 年 9 月に掘削開始、2019 年 9 月 20 日に打設を開始した。打設期間は 19 ヶ月で 2021 年 4 月 20 日に無事完了を迎え、試験湛水を 2021 年 12 月から開始した。つまり、掘削開始から試験湛水開始までを約 3 年で遂行した。川上ダムでは降雨等の工程への影響を最小化し、骨材消費を平準化するために ELCM 適用範囲を縮小し、1BL ずつ確実に仕上げるレヤ工法を主体としている。これにより累計打設日数が計画比で 1.6 倍に増加した。本稿では RCD 工法と区別するため、レヤ工法と拡張レヤ工法を ELCM として論じていく。

キーワード BIM/CIM, フルプレキャスト, デジタルツイン, 温度応力解析, 働き方改革, フロントローディング
 連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟
 (株)大林組土木本部生産技術本部ダム技術部 TEL03-5769-1321



図-2 ダム完成イメージ

表-2 工事工程表

	2017 H29年度			2018 H30年度			2019 R1年度			2020 R2年度			2021 R3年度			2022 R4年度		
	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2
準備工																		
転流工																		
基礎掘削工																		
基礎処理工																		
堤体工																		
減勢工																		
仮設備工																		
骨材仮置																		
堤頂設備工																		
関連工事																		
建屋																		
試験湛水																		

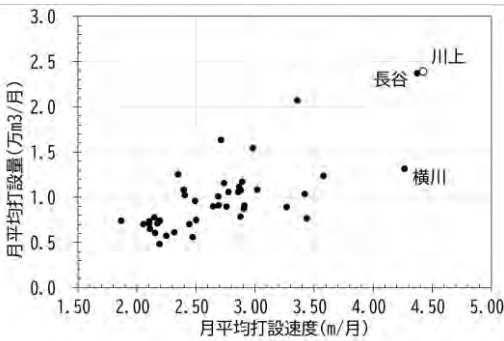


図-1 ELCMでの月平均打設速度と打設量

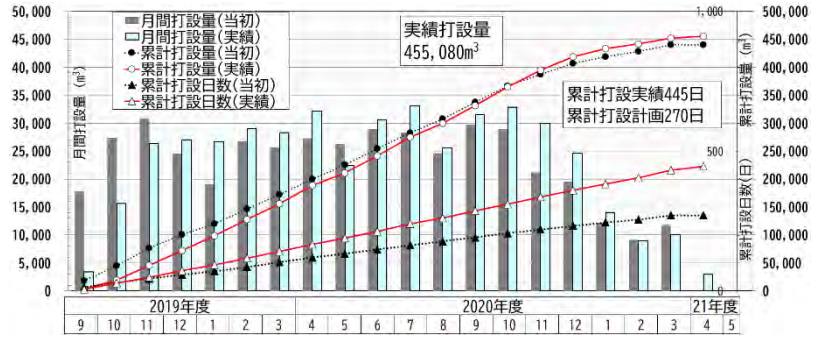


図-3 打設進捗図

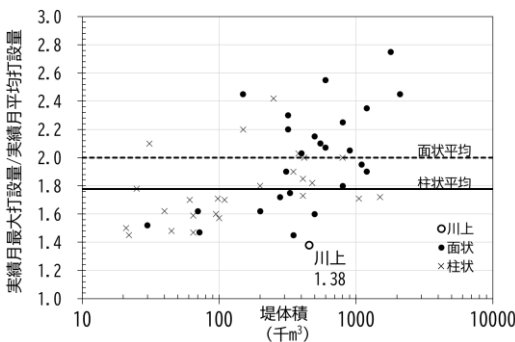


図-4 堤体積に対する打設量の平準化率²⁾

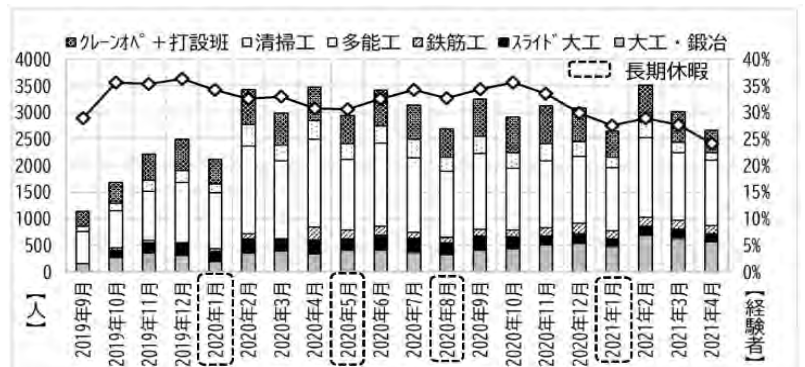


図-5 作業員の職種別就業人員

(1) ELCM 最速工程

ELCMで施工したダムの打設速度を1ヶ月あたりの打設高および1ヶ月あたりの打設量とで表すと図-2のようになる。月平均打設量と月平均打設高ともに川上ダムが最速であることが確認できる。

(2) 打設速度の平準化率¹⁾

月最大打設量を月平均打設量で、月最大打設高を月平均打設高で除したものを平準化率と定義して次式に示す。

$$V_i = V_{max} / \bar{V}$$

$$H_i = H_{max} / \bar{H}$$

V_i : 平準化率 (体積), V_{max} : 月最大打設量 (m³), \bar{V} : 月平均打設量 (m³)

H_i : 平準化率 (高さ), H_{max} : 月最大打設高 (m), \bar{H} : 月平均打設高 (m)

平準化の概念は機械の専門書²⁾でも設備最適化の概念として取り扱われている。図-4に堤体積に対する平準化率を示す。ここに川上ダムの実績を打点するとその値は柱状工法と面状工法いずれの施工実績と比較しても最も平準化された数値である。つまり、高速施工のダムだけでなく、稼働率を高めて仮設備の経済性を優先したダムと比べても平準化された数値であると言える。

(3) 労務の平準化

平準化は施工量だけでなく、労務管理でも把握できる。図-5は川上ダムにおける作業員の職種別就業人員である。月当たりの総労働者数は3000人程度となっており、川上ダム建設工事は高速施工でありながら、施工量・労務等の様々な面で平準化された現場であった。この結果を確保するための標準化施工方法に関して論じていく。

4. 施工方法の検証（施工の標準化）

(1) 工法検討

ELCM と RCD 工法を比較すると表-3 に示すようにリフト厚, 降雨制限, 気温制限に関しては ELCM に軍配が上がる. RCD 工法は走行規制と打継ぎ時間にメリットがあり, 打設速度に優れると考えられる. しかし, 川上ダム程度の中規模ダムであれば, 打設準備時間の打設時間に占める割合が大きくなるため, RCD 工法のメリットを感じにくい. 一方で, 工程の確実性を高めるには ELCM (特にレヤ工法) の長所を生かしやすい. 加えて, 骨材運搬の制約を考慮しなければならない川上ダムであれば, 降雨時の対策が行い易く, 打設不稼働日を最小化できるレヤ工法が勝る. なぜならば, 打設が行われないと骨材が消費されず, 消費されない骨材をまとめて運ぶことはできない. 骨材が足りなければ, 工程遅延を取り戻すために打設速度を早めることが不可能なのである. このような考えのもと採用した ELCM (H=1.5m) により, 天候による制限を最小化することで打設実績日数は当初予定を大幅に上回る結果となり (図-3), 骨材も計画通りに消費できた.

(2) CIM 活用

川上ダムでは施工詳細度を高めた CIM を【施工 CIM】として施工 JV 主導で運用した. いわゆる設計のフロントローディングである. 合理的な施工を進めるのに必要なのは正確な設計図である. ダムはコンクリートと機械設備の複合構造であり, 鋼構造である機械設備は一般に別途発注となり, 詳細設計が開始されるのが本体工事に比べて遅れる. この発注方式では, 相互の干渉チェックが施工直前となるが, 躯体と鋼構造の設計思想も異なるため, 図面照査と干渉回避, 現場合わせの労力が大きい. 川上ダムでは, 機械設備の受注者決定直後からコンカレントエンジニアリングに取り組み, 異なる CAD データを専用ソフトウェアの NavisWorks で合成した (図-6). この図面をベースに単に干渉を回避するだけでなく, デザインインでモジュールプレキャスト化による施工合理化を実現し, 現場施工を平準化した.

(3) 打設休止日数の最小化

川上ダムでは堤内構造の合理化により機械設備の施工による打設休止日数の大幅な短縮を実現している. 表-4 に示すように打設期間内における機械設備の休止日数の削減は 51 日に及ぶ. この短縮は 2 つの取り組みの結果である. 1 つ目がクレーン能力の向上による部材の大型化である. 鋼構造の分割数を少なくして堤体内作業を削減した. 2 つ目がプレキャスト化を行う際に, 機械構造と複合化したことによる堤内作業日数の削減である. 埋設アンカーをプレキャスト部材に事前埋設した結果, 型枠支保工の施工日数に加えて機械設備施工日数も削減している. 当初はダム中間の 11BL が放流管施工により長期間分断される工程であったが, 隣接 BL とのリフト差を 1 リフトとし, 平面施工を保つことができた (図-7).

(4) フルプレキャスト化の適用と搬入計画

監査廊ではフルプレキャスト化を試みた. 当初設計では階段部は在来工法であったが, 以下の 3 点の理由からプレキャスト化を行っている.

表-3 ELCM と RCD 工法の比較

工法	ELCM(レヤ工法)	RCD
リフト厚	1.5m (2.0mも可)	最大1.0m
コンクリート種別	有スラグのみ	RCD, 有スラグ 2種
降雨制限	4mm/h	2mm/h
	局所的で保護が容易	露出面積多く影響大
温度規制	一般に-5℃以上	0℃以上
打継ぎ時間	2時間	4時間
打込み温度規制	5~25℃	
走行規制	1~2日	6~24h カーブ区間は養生
打設間隔	ルーフ:中2日 リフト:中3~4日	中2日
機械台数	少ない	多い

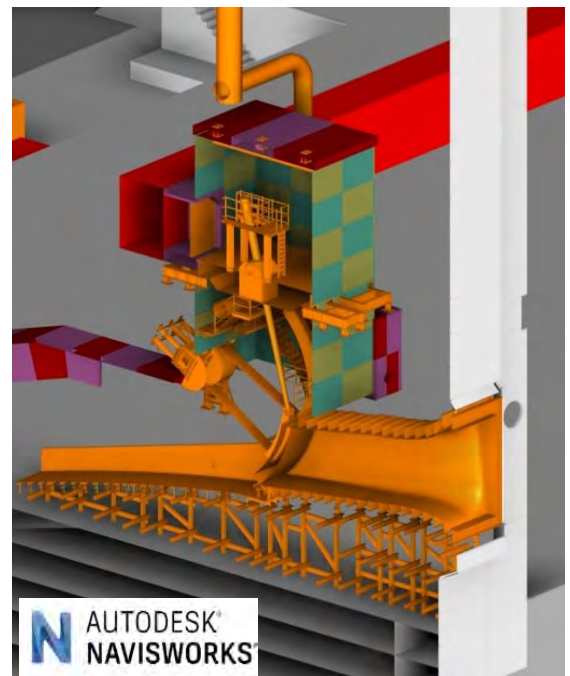


図-6 施工 CIM (LOD500)

表-4 機械設備の休止期間の削減

部位	当初日数	実績日数	削減日数
放流設備	92	53	39
取水設備	57	45	12
取水設備【打設後】	45	0	45
合計	194	98	96

- ① 堤内温度の確保
- ② 基処理の早期着工
- ③ 施工の標準化と自動化

在来工法では確実な養生が難しいため、堤体内が冷気で冷やされ、クラックを発生させるリスクが高くなる。このため、川上ダムでは排水ピット等の複雑な箇所も含めて全てプレキャスト化し、端部の断熱養生扉（図-8）と内部養生扉を設けることで監査廊内を密閉した。また、階段部における型枠支保工解体時の危険作業を100%回避した。内部空間が有効に使えるようになり、事前の機械設備搬入も行えることで基礎処理が早期着手できるだけでなく、廊内にwi-fi 通信網を配置することで遠隔臨場も積極的に行った。写真（図-9）に示す中段監査廊も片番（8h）で1BLの施工が完了するため、打設を全く止めることなく1週間で据付けを完了した。大量のプレキャスト材は、アスファルト舗装したストックヤードを設けて材料を搬入・事前組立・管理した。これらの施工サイクルの標準化は労務への負担を和らげ、第7章で示す建機自動化に繋がっていく。

(5) プレキャストの規格化の利点

CIM の高度運用に設計の初期段階から取り組み、プレキャストが規格化されれば、干渉チェックも容易となり手戻りが発生しにくい状態が標準となる。規格化が進めばコスト低減にもつながる。また、正確なCIMは施工データを格納し、維持管理や施工記録として活用できる。

(6) 埋設型枠の標準化

川上ダムのELCM（レヤ工法）では、横継ぎ目全てに型枠を設置する。この施工方法の合理化が作業サイクル全体の鍵となる。横継ぎ目型枠のユニット化と接合・固定方法の見直しにより溶接箇所を従来品より30%減らした。更に、安全設備としての機能も持たせた。打設完了後に打設面より90cm高くなるようにH=2.4mの高さまで先行設置した（図-10）。この対策により、ブロック間の手摺が先行設置される状態となるだけでなく、グリーンカット作業時の隣接ブロックへの濁水の飛散も防ぐことができた。また、埋設型枠は脱型しないため、湛水が速やかに、確実に行える。検査・打設と並行して、隣接ブロックの殆どの作業が効率化され、作業員の手待ち、作業調整、重複作業の無駄な時間を無くすことができた。

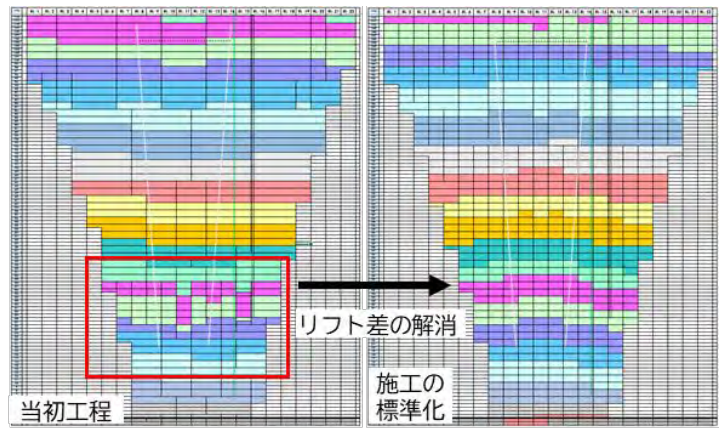


図-7 リフトスケジュールの平準化



図-8 在来工法とプレキャスト化の養生方法比較



図-9 中段監査廊のフルプレキャスト化状況（破線部）

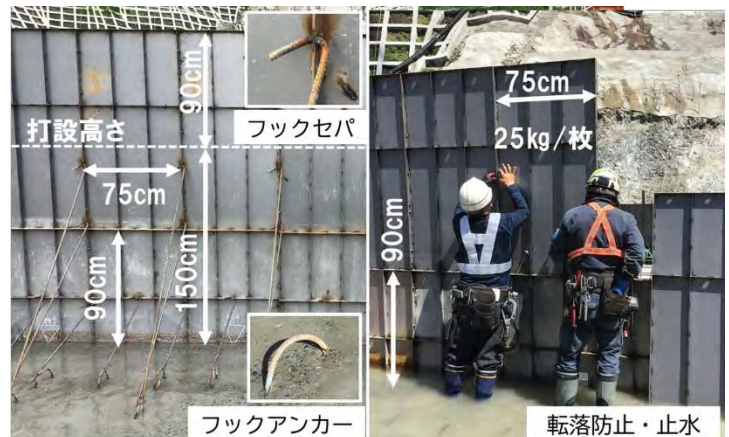


図-10 埋設型枠施工配置状況

表-5 コンクリート配合表

配合種別	種別	配合区分	粗骨材最大寸法 (mm)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	単位量 (kg/m³)														圧縮強度試験結果 室内(B40実機)			単位体積重量	
						水結合材比 W/B (%)	混和材率 F/B (%)	細骨材率 s/a (%)	水 W	結合材 B			粗骨材				混和剤			σ7	σ28	σ91		
										C	FA	S1	S2	150-40mm	80-40mm	40-20mm	20-05mm	AE減水剤	AE助剤					高性能AE減水剤
A-1	外部	岩着	150	3.0 ±1.0	3.0 ±1.0	48.6	30	22.0	102	147	63	316	135	420	415	414	414	2.10 B*1.0%	32A	-	7.19	19.5	34.5	2.435
A-2						56.7	30	24.0	102	126	54	349	150	415	413	413	409	1.80 B*1.0%	30A	-	4.41	12.1	27.0	2.431
B						72.9	30	24.0	102	98	42	355	152	422	420	420	416	1.40 B*1.0%	26A	-	2.70	8.00	16.0	2.427
B(40)						72.9	30	24.0	102	84	56	354	152	421	419	419	415	1.40 B*1.0%	28A	-	2.33	5.92	14.1	2.422
C	示方配合	構造用(80mm)	80	5.0 ±1.0	3.5 ±1.0	49.6	30	27.0	119	168	72	372	159	0	601	451	446	2.40 B*1.0%	22A	-	6.94	18.8	35.9	2.388
D		構造用(40mm)	40	8.0 ±2.5	4.5 ±1.0	49.7	30	38.0	149	210	90	482	206	0	0	587	581	3.00 B*1.0%	17A	-	6.86	18.0	35.3	2.305
P		構造用ポンプ	40	12.0 ±2.5		48.2	30	41.0	158	210	118	519	222	0	0	542	536	3.28 B*1.0%	20A	-	6.23	14.4	32.2	2.284
P'		仮設用ポンプ	40	12.0 ±2.5		46.6	30	38.0	163	245	105	460	197	0	0	561	555	3.50 B*1.0%	17A	-	10.9	25.7	43.4	2.284
E		高流動	20	60.0 ±5.0		36.4	43.3	53.3	153	238	182	624	268	0	0	0	809	-	6A	8.40 B*1.8%	13.4	29.9	49.9	2.274

(7) コンクリート配合の検討

川上ダムの配合(表-5)の特徴はs/aが低いことである。材料調達の問題から、砂、フライアッシュを変更したことでA-1, A-2, Bの各配合でs/aが受注時の示方配合より4%低減した(表-6, 7)。細骨材は他ダムで実績のある山砂と地元生コンプラントで使用されている川砂を容積比7:3で使用した。使用材料の変更に伴うコンクリート試験練りは契約直後から開始した。まずモルタルと粗骨材の最大粒形40mmの配合で材料の特性を掴み、最大粒形150mmの配合(フルサイズ)による試験へと移行した。モルタルフロー試験やスランプ試験を段階的に行い、マトリックス部分の性状とワーカビリティを確認する基礎試験は、フルサイズのコンクリートを製造する際の判断にも活かされ、良好なダムコンクリートの製造に至っている。フルサイズでの締固めは動画化し、製造時の品質変動を把握する基本資料とするだけでなく、若手職員への教材としても利用した。ハンドリングが良いコンクリートは高品質のダムを作る基本である。また、圧縮強度もL2地震動に対する照査で必要になる強度を満たすことが確認できた(図-11)。

(8) 打ち継ぎ面処理の工夫^{4) 5)}

グリーンカットの合理化に向けた事前の試験施工を行った。打ち継ぎ面の状態を調整した供試体を用いて一面せん断試験(図-12)を行い、その試験結果である純せん断強度(図-13)を判定根拠とした。打ち継ぎ面の処理状況は供試体と同等の4種類の試験ケースを設け(図-14)、これらの面情報は3Dスキャナにより数値化を試みている。判定の結果、打継面のオーバーカットは品質上好ましくないことが確認でき、これらの試験結果から川上ダムでは打継面処理をこれまでの一般的なダム建設に比べてアンダーカット側でコントロールした。

機械でのグリーンカットはオーバーカット気味になる事や、施工時期が遅れることで高速施工の障害となる事から巡航RCDのソフトトリートメントを参考にした低めの圧力で先行カットを実施した。



図-12 試験実施状況

表-6 s/aと単位水量の比較表

配合	単位量(kg/m³)	発注者	JV
A-1 外部	B セメント+フライアッシュ	200	
	W 単位水量	102	
	s/a 細骨材率	26%	22%
A-2 岩着部	B セメント+フライアッシュ	180	
	W 単位水量	104	102
	s/a 細骨材率	28%	24%
B 内部	B セメント+フライアッシュ	140	
	W 単位水量	105	102
	s/a 細骨材率	28%	24%

表-7 使用材料比較表

使用材料	発注者	JV
C 中庸熱セメント	太平洋	宇部三菱
F フライアッシュ	電源開発竹原	Jera碧南
S 細骨材	砕砂	山砂:川砂 容積比 7:3
G 粗骨材	碎石(同一)	
混和剤	BASF	70-リック

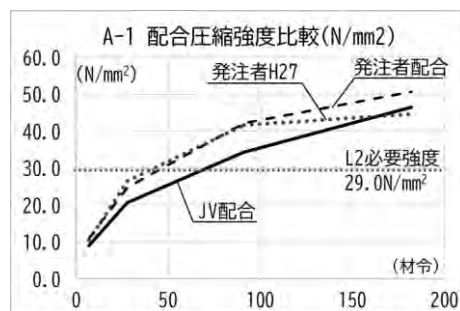


図-11 圧縮強度試験結果

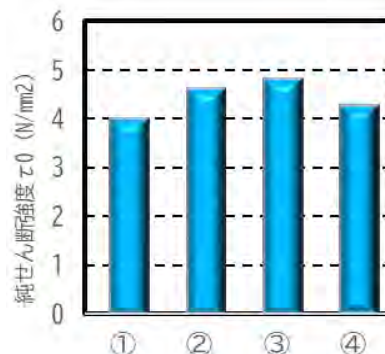


図-13 純せん断強度

施工は打設完了から6～12時間を基本とし、打設前検査時に清掃と合わせて不足部分の追加カットを実施した。川上ダムではダンプ走行が無い場合、グリーンカット後に打設面を荒らすことが無く、均一な打継面を確保することができた。

5. 設備配置計画と打設方法

コンクリートダムのリフトスケジュールを検討する要素は多岐に渡り、バランスを考慮した上で機械設備を設定するが、最近の施工事例ではピーク速度を考慮した設備導入が一般的となっている。川上ダムでは骨材を全量購入し、地元との約束により運搬制約180台/日が設定されていたため、ピーク速度に耐えうる貯蔵能力も要求された。川上ダムの設備配置を図-15に示す。川上ダムの堤頂長は334mと長めである。また、クレーンの作業半径が交差する重心部に常用洪水吐が配置されている。当初計画では2台のタワークレーン同時利用による拡張レヤ工法による打設であり、クレーンの届かない左右岸端部・減勢工とも堤外運搬が必要であった。

施工方法の標準化のため、クレーンを大型化(25t×70m, 18t×86mの能力可変型)して作業半径を広げることで両端部と減勢もグラントホッパーで連携によるクレーン打設とし、コンクリートの場外運搬を無くした。コンクリート打設は最大7.8m³のバケットを用いて全て直打設で施工した。ダム内部でのダンプ運搬は一切行っていない。打設は1台のクレーンで担い、単独BLを打設するレヤ工法(H=1.5m)を基本とした。1BL平均の最大打設速度の実績値は85.7 m³/hであった。

この方法では、打設ブロックが独立した空間となるため複雑な作業調整が必要ない。タワークレーンで締めめしやすい位置に放出されたコンクリートを2台のバイバックで締めめていくだけである。ダンプ走行による打継面のゆるみも一切発生しない。また、直打設としたことで、降雨や気温変動の影響を最小化することができた。一時的に激しい雨(ゲリラ豪雨)が降っても、運搬時間や積み替え回数を最小化したことでコンクリート品質変化も抑制できた。また、管理範囲が15m(1BL)幅と狭いため、降雨時はシートで養生しておき、打設再開時に7.8m³の大容量

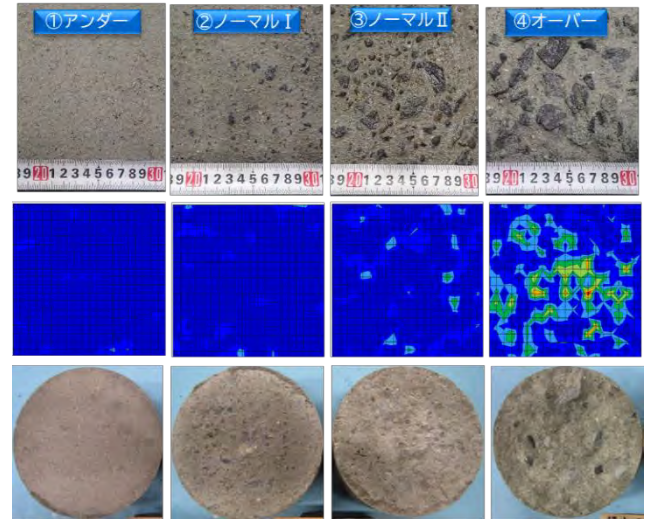


図-14 打継面の比較と試験サンプル



図-15 仮設備配置図

量で短時間にコンクリートを縫い合わせることができた。さらに、このような施工の標準化・簡略化は後述する自動化技術との連動性も優れている。

このような直接打設による施工方法の着想は、佐久間ダムや黒部ダムから得ている。2つのダムでは柱状工法を用い、両端走行式ケーブルクレーンによる大容量直接打設を行った。戦後復興期の電力需要に対応するため、今日では想像もできないような超高速施工が行われた。川上ダムでは、面状工法の安全性の恩恵を受けながら、佐久間ダムや黒部ダムの利点を取り入れることを目指した施工方法であると言える。大型重機使用によるピーク速度向上という考えから脱却し、最低限の機械と人員で打設可能時間を最大化した。これまで打設準備のために使っていた時間を次の打設ブロックを構築する時間に利用し、働き方改革を行った。以上がタワークレーンを用いた直接打設が平準化に優れていると考える理由である。

6. 施工の標準化と平準化がもたらす品質上の利点

川上ダムで行った様々な標準化・平準化策は工程上のメリットだけを求めたものではない。コンクリートダムはマスコンであり、その内部温度は40℃以上となる。コンクリートのひび割れは温度勾配に強く影響を受けるため、施工の変動を少なくすることと、施工後のコンクリート温度の安定化が重要である。川上ダムにおける施工方法の品質上の利点を温度応力解析と養生温度の測定結果から検証する。川上ダムで最もひび割れ発生のリスクが大きい部位は常用洪水吐の開口部である。この開口部に対して条件を変えて4パターンのFEM温度応力解析を実施した。解析ケースを表-8に、解析モデルを図-16に、ひび割れ防止対策を図-17に示す。当初は0.47程度であったダム中央部上部のひび割れ指数が対策の段階毎に改善し2.0まで良化していることが分かる(図-18)。これはひび割れ発生確率でいうと100%から5%以下になったことを示している(表9)。川上ダムで平準化に寄与しているCIMの高度活用とモジュールプレキャスト部材の導入は、機械設備の施工に伴う休止日数と型枠支保工の設置撤去工程を大

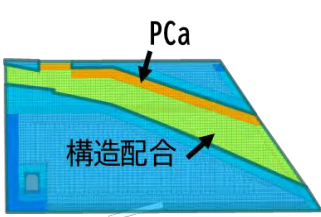


図-16 解析モデル

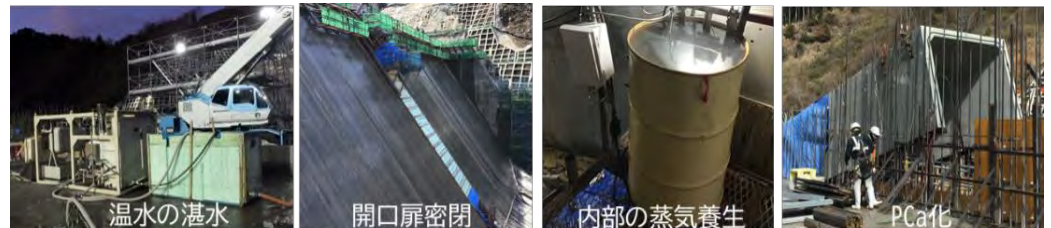


図-17 ひび割れ防止対策

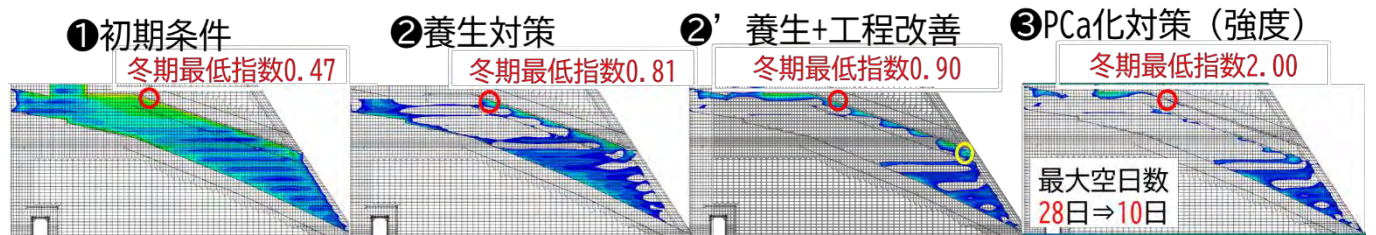


図-18 温度応力解析結果（ひび割れ指数の改善状況）

表-8 解析ケース一覧

解析ケース	リフトスケジュール	養生条件	PCa強度
① 初期条件	当初	湛水のみ	なし
② 養生対策	当初	養生あり	なし
②' 養生+工程改善	変更	養生あり	なし
③ PCa化対策	変更	養生あり	引張強度 3.1N/mm ²

表-9 ひび割れ指数と発生確率

ひび割れ発生確率	ひび割れ指数
5%	1.85以上
15%	1.40以上
50%	1.00以上

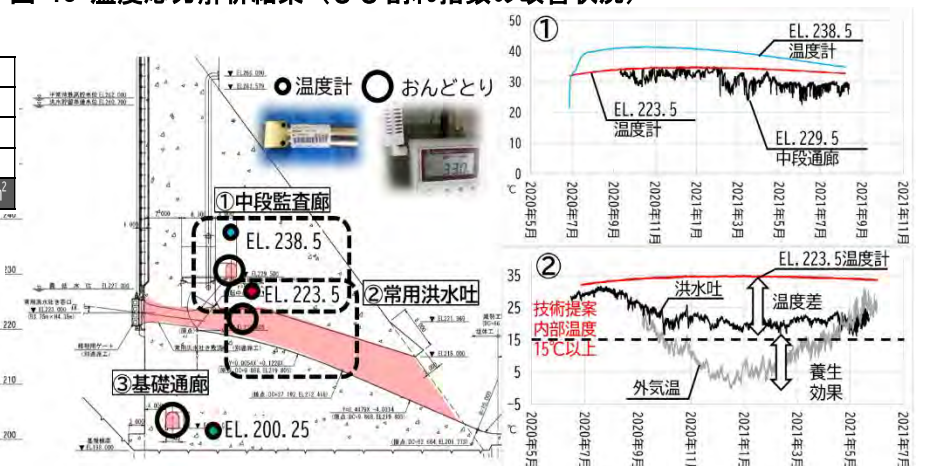


図-19 温度測定結果

幅に削減した。また、プレキャスト化により確実な養生が容易となる。上部がプレキャストで閉じられているため、洪水吐上下流の開口を発泡ウレタン製の蓋で覆い、内部では温水蒸気養生により冬季でも15℃の内部温度を保持した(図-19)。操作室内部の機械設備施工中も上部に監査廊と同様の蓋を設けることで熱放出を抑制した。長期放置の打継面は簡易ボイラーを堤体内に配置し、温水を張ることで冷却を防止した。

いくら複雑な解析を行っても、施工方法が難解で現場の管理がおざなりであればクラックは避けられない。川上ダムでの取り組みの重要な点は標準化と平準化による繰り返しの教育である。こういった品質上の重要事項に対しても、若手や未経験者の理解度を高める【見える化】により、施工計画の履行精度を高めた。上記に加え、特に冬季に設置したプレキャスト部材はひび割れ防止の付加効果も生んでいる。冷却され収縮した部材は、設置後のコンクリート打設による内部温度上昇で膨張し、圧縮力が導入された状態となる。その後の温度降下で収縮して引張り力が発生しても、圧縮力と相殺されるので、ひび割れ防止効果を高めていると言える。

7. デジタルツインの実現(技術開発のプラットフォーム)

設計図の精度が高まることは、技術開発でも有効性を発揮する。川上ダムではCIMと連動したタワークレーンの自動運転により任意の場所へのコンクリート打設と、プレキャスト製品の設置が可能となった。このタワークレーンの管理画面に、重機・人・資機材の情報を統合し、デジタルツインと言われる管理画面で現場の様子を含む施工状況を確認した(図-20)。運搬資機材のユニット化・プレキャスト化が進めば自動化の比率を高めることに繋がる。これらのトライアルが建設現場の【働き方改革】を進め、建設DXを成し遂げる未来は遠くないと感じる。

8. おわりに

川上ダムでは今までのダム建設技術を研究し、施工CIMを活用した施工の合理化・標準化に取り組んだ。また、連続施工に拘らず、打設機会を最大化する方法を選択することで、ELCM最速施工と最平準化という矛盾への一定の答えを導きだした。更にこの取り組みは、ダムのひび割れ制御という品質上も重要な意味を持ち、作業の標準化・平準化は無災害での工事完成にも寄与している。一方で、工事の全ての過程が順調に進んだわけではない。打設初期段階の2019年10月12日には台風19号によりダムサイト水没の被害も経験している(図-21)。

気象条件が厳しさを増す中、建設現場は4週8閉所や労働時間制約も求められている。事業工程と安全・品質を確保するための優先事項を改めて考える必要性を感じる。川上ダムにおける取り組みが、真の意味での【働き方改革】を考えるきっかけとなり、本稿が今後のダム建設やその他の工事の参考になれば幸いである。

9. 参考文献

- 1) 日本ダム協会、コンクリートダムの施工
- 2) ダム技術センター：ダム施工機械設備設計指針(案)2005
- 3) 中村靖治：ダムコンクリートの施工工法について-平面施工とブロック工法- (株)アイ・エヌ・イー
- 4) 石関嘉一：コンクリート打継面の形状が構造物の力学的特性に与える影響、コンクリート工学年次論文集, Vol141, No. 1
- 5) 石関嘉一：AI技術を利用したコンクリート表面形状の評価方法、コンクリート工学年次論文集, Vol142, No. 1
- 6) 熊本大学, JACIC : CIMを学ぶ
- 7) 小俣光弘：川上ダム本体建設工事の施工工法に関する理論的考察, ダム工学 32巻1号 p. 28-39 2022年

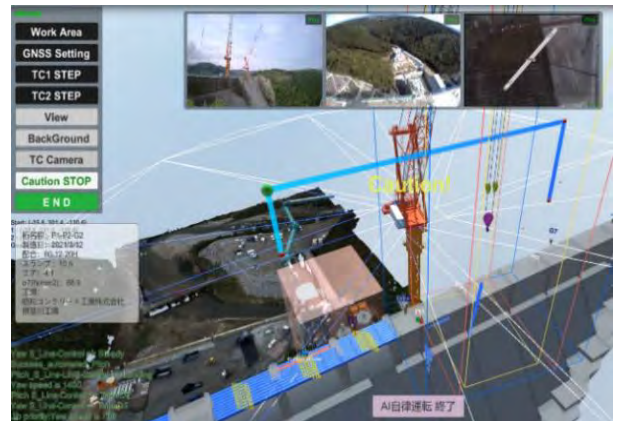


図-20 クレーン自動運転とデジタルツイン



図-21 台風での被災