

4.1.1 コンクリートダム

【ダム・貯水池／コンクリートダム】

技術名	A ⁴ CSEL「クラウドアクセル」
番号	No. 4.1-1
発注者	福岡県五ヶ山ダム建設事務所
施設名	五ヶ山ダム
所在地	福岡県筑紫郡那珂川町大字五ヶ山
工事名称	福岡県五ヶ山ダム堤体建設工事
施工期間	2012年6月～2018年3月
施工者	鹿島・飛島・松本組共同企業体
キーワード	自律型自動システム、転圧管理、撒き出し管理、タブレット端末

(1) 概要

建設機械の自動化技術を核とした次世代の建設生産システム「A⁴CSEL」※（クラウドアクセル）の技術を実工事に適用した事例である。福岡県五ヶ山ダム堤体建設工事において、RCD コンクリートの振動ローラによる転圧作業を一部自動で行うとともに、ブルドーザの自動撒き出し作業の実証実験も併せて行い、高い施工精度を確認した。

従来のリモコン等による建設機械の遠隔操作とは異なり、人間がタブレット端末で複数の建設機械に予め指示を出すことにより、無人で自動運転を行うもので、振動ローラとブルドーザへの適用に成功した事例である。

※Automated/Autonomous/Advanced/Accelerated Construction system for Safety, Efficiency and Liability



図-1 「A⁴CSEL」の施エイメージ



図-2 五ヶ山ダムでの実施状況
(自動ブルドーザと自動振動ローラ)

建設業では、技能者の高齢化や若手就業者の減少等による熟練技能者の減少が喫緊の課題となっている。また、建設業は単品受注生産のため人の手による作業に多くを頼らざるを得ず、建設機械と近接する条件下での労働安全性の向上も大きな課題である。これらの課題に対し、機械が得意な単純な繰返し作業を自動化し、一方で機械が不得意な作業計画は人間が行うことをコンセプトとした、次世代の建設生産システムの実現を目指して研究開発を進めてきた。

(2) 技術詳細

「A⁴CSEL」(クラウドアクセル)は、①汎用建設機械の自動化技術、②施工状況に応じた運転を行う制御プログラム、③自律運転を可能とするための計測・認識技術で構成される。

① 自動化技術

専用の建設機械ではなく、汎用の建設機械にGNSS、ジャイロ、レーザスキャナなどの計測機器及び制御用PCを搭載することによって、自動運転を可能にしている点が特長である。

② 制御プログラム

施工条件の異なる、数多くの作業での熟練オペレータの操作データを収集・分析し、制御アルゴリズムに取り入れている。これにより、熟練オペレータと同等の精度を実現できる。

③ 計測・認識技術

リアルタイムでの自己位置・姿勢、周辺状況の計測結果から、障害物や走路安全性などを認識し、自動停止、再開などの機能を備えるなど、安全性を確保した自律運転を行う。

以上により、タブレット端末から作業内容を指示するだけで各機械が自律運転を行うため、少ない人数で複数の建設機械を操作することが可能になった。また、建設機械を自動化することにより、出来形データや機械データを取得することがこれまで以上に容易になり、3次元モデルに反映させることによって、3次元CADやCIMの推進にも貢献できる。

(3) 結果

1) 自律型自動振動ローラによる転圧作業の自動化

汎用の振動ローラを自動運転可能に改造し、五ヶ山ダムの現場でRCDコンクリートの転圧作業に初めて実適用した。本工事では、1人のオペレータが2台の自動振動ローラの操作を行い、直線走行、切り返し走行とも、誤差が±10cm以下であり、熟練オペレータと同等の施工精度を確保することに成功した。



図-3 自動化装備した振動ローラ



図-4 五ヶ山ダムでの稼働状況

2) 自律型自動ブルドーザによる撒き出し作業の自動化

コマツの ICT ブルドーザ D61PXi に自動化機器・装置を搭載した「自動ブルドーザ」を開発した。ブルドーザは、その作業内容や扱う材料が多岐にわたるため、走行やブレードの操作に高い熟練性が必要とされる建設機械であるが、本システムではまず撒き出し作業の自動化を目指し、熟練オペレータの実施工における操作データを取得・分析するとともに、走行経路やブレードの高さの違いによって、材料の広がり形状を予測するシミュレータを開発・適用した。通常の土砂を使った撒き出し作業に、この自動ブルドーザを十分適用できることを確認した後、五ヶ山ダム現場にて RCD コンクリートの撒き出し作業に適用する実証実験を行った。RCD コンクリートの撒き出しは、通常の土砂と比較して、その材料性能や撒き出し形状に対して厳しい基準があるため、より複雑な制御アルゴリズムが必要となったが、今回の実証実験の結果、熟練オペレータと同等の精度で撒き出し作業が行えることが確認でき、その有効性を実証できた。



図-5 自動ブルドーザのシステム構成



図-6 自動ブルドーザによる RCD コンクリート撒き出し作業状況

3) 今後の展開

建設業が抱える課題である熟練技能者の減少や作業員不足への対応、土木工事全般の生産性並びに安全性の向上に大きく貢献できるシステムとして、今後、適用機種を更に増やしていく方針である。

今回、振動ローラの転圧作業とブルドーザの撒き出し作業の自動化に成功したことにより、今後は大型ダンプや油圧ショベルを対象にした自動運転システムも確立させ、更に適用機種を拡大しながら、造成工事やダム工事などにおける一連の建設機械の自動化システムを完成させ、建設業の生産性向上、安全性向上に寄与していく。

参考文献	プレス発表「建設機械の自動化による次世代の建設生産システムを開発」 ：鹿島建設(株)、2015年5月14日
備考	—

【ダム・貯水池／コンクリートダム】

技術名	IT・CIMを活用した施工管理
番号	No. 4. 1-2
発注者	国土交通省九州地方整備局
施設名	鶴田ダム
所在地	鹿児島県薩摩郡さつま町
工事名称	鶴田ダム増設減勢工工事
施工期間	2011年4月～2015年3月
施工者	鹿島・西松共同企業体
キーワード	CIM、タブレット端末

(1) 概要

鹿児島県の鶴田ダム（国土交通省九州地方整備局）では、洪水による被害を軽減するために、洪水調節容量を最大 75,000 千 m³ から最大 98,000 千 m³ に増やす再開発事業に平成 19 年度より着手している。具体的には、①洪水を調節するための管を新たに 3 本増設、②増設した管から放流するための減勢工の増設、③現存する減勢工の改造、④発電のための取水管を 2 本付替、⑤増設減勢工を造るための地山掘削・法面工事、等の工事を行う。

この事業は、いくつかの施工業者に分割して発注されており、本工事では、主に①増設減勢工の構築（掘削～コンクリート打設）、②管設置後に設置された管と既設堤体との隙間を充填するコンクリートの打設、③右岸側の法面保護工事等を担当した。本工事の工種は、基礎掘削等のダム土工、減勢工などのコンクリート工、新設取水設備工に伴う既設コンクリート撤去工、コンクリート製造、濁水処理設備運転工など、多岐に亘っている。各工種が同時並行で進むため、所定の工程・品質を確保するためには、生産性の向上・業務の効率化が課題であり、この課題を解決するために、各管理に IT を活用した事例である。

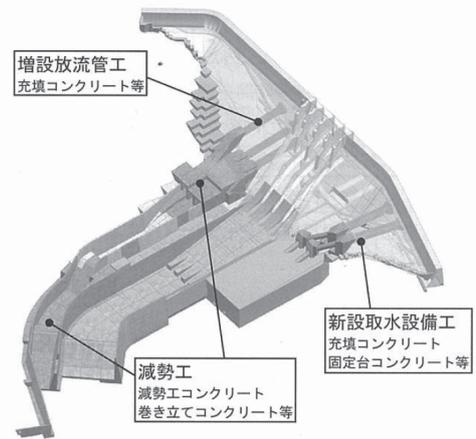


図-1 工事範囲の三次元モデル

(2) 技術詳細

1) IT・CIM を活用した施工計画

現場では PDCA サイクルを回すことで各管理を実施している。そのため、このサイクルの中で IT・CIM を活用することで、管理の生産性向上・効率化を図ることを検討した（図-2）。

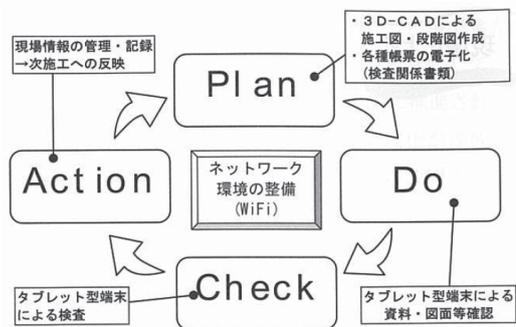


図-2 IT・CIM 活用における PDCA サイクル

現場近辺には事務用地が確保できず、本事務所～現場の距離は 12km 程度、連絡車で 20 分程度要したため、ダム天端の町有施設を間借りして詰所を設け、有線のネットワーク

環境を整備することで、現場に近い場所でも書類作成等の内業ができる環境を整備した。

ただし、現場が広いため、例えば、減勢工から詰所に戻るだけでも 10 分程度の時間を要することから、現場での管理業務と書類作成等の内業を効率的に進めることが困難な状況であった。また、現場で IT を活用するためには、セキュリティ面も考慮して、現場独自でネットワーク環境を整備する必要があった。

現場内で IT を活用するために、現場のほぼ全域でネットワークが使用できるように Wi-Fi 環境を整備することとし、4 箇所 Wi-Fi アンテナを設置することで、概ね現場全域をカバーすることができた。現場内では「iPad」、 「TOUGHPAD」の 2 種類の端末を使用した。各端末の特徴と主な用途を図-3 に示す。また、2 種類の端末の主な使い分けを図-4 に示す。

名称	iPad	TOUGHPAD
外観		
仕様	第四世代, Wi-Fiモデル, 32GB OS:iOS7.1 高さ:241.2mm, 幅:185.7mm, 厚さ:9.4mm 重量:652g	ワイヤレスWAN内蔵モデル, 4GB OS:Windows7 高さ:270 mm, 幅:188 mm, 厚さ:19 mm 重量:1.1kg
特徴	○タッチパネルでの使用性が良好 ○比較的軽量で持ち運びが容易 ○比較的画面が大きいため、図面・資料等の確認が容易 ○効率的に業務が遂行できるアプリが豊富 ■Microsoft Officeの各ソフトとの互換性が不十分 ■防水仕様ではないため、別途専用ケースが必要	○通常使用PCとの互換性良好(基本OSが同じ) ○iPadと比較すると耐衝撃・防塵・防滴性が良好 ○比較的画面が大きいため、図面・資料等の確認が容易 ■iPadと比較すると携帯性は不良 ■iOSと比較すると使用できるソフトが少ない ■タッチパネルでの使用性が低い

図-3 タブレット端末比較

2) IT・CIM を活用した施工管理実績

① 計画 (Plan) 段階における活用

工程・品質管理における計画段階での IT・CIM の活用としては、主に「3D-CAD による施工図・施工段階図の作成・活用」、「各種帳票の電子化による作業の効率化」を実施した。

前者については、各工種・業者との輻輳作業をあらかじめ把握して、それぞれの作業を円滑に進めること、担当者が未来の現場をイメージして現在の仕事を進めるために、各時期における施工段階図を三次元で分かりやすく作成した (図-5)。

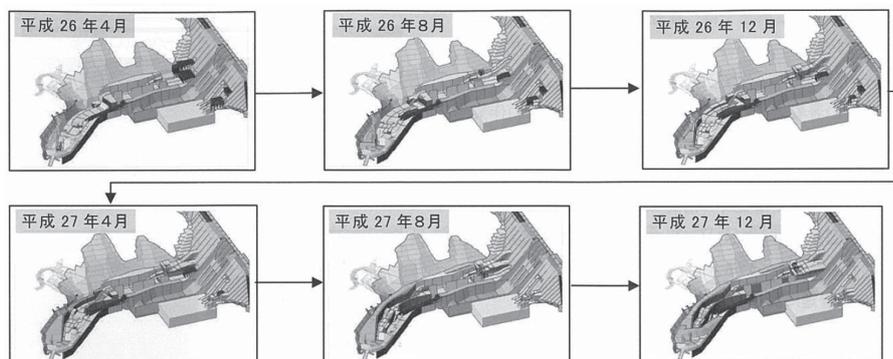


図-5 現場進捗状況の三次元化

後者については、当現場では発注者への提出書類はすべて電子化して提出する必要があったため、検査時の発注者確認署名等を含めて、電子的に処理ができるようにした。

分類	項目	TOUGHPAD	iPad
現場施工管理	検査対応	◎	○
	図面確認	◎	◎
	資料確認	◎	◎
現場パトロール	写真撮影	○	○
	写真編集(コメント)	△	◎
その他	資料作成	○	△
	メール閲覧	○	○

使用性・適用性→◎:良好, ○:可, △:やや不向き

図-4 タブレット端末使い分け

② 実行 (Do) 段階における活用

現場では、前述した図面・資料等をタブレット型端末からネットワークを経由して読み込み、現場内で確認している。数百枚に及ぶ図面・資料をタブレット端末でまとめて持ち運べるため、現場各所の確認・管理をより効率的に進めることができた。

③ 検査 (Check) 段階における活用

検査時には検査員もタブレット端末を見ながら確認した。現場を詳細に確認したい場合でも、CAD 図面を見て寸法等を現地ですぐに確認できるため、これまでの検査よりも検査時間を短縮できた (図-6)。

また、検査時の指摘事項、今後の改善事項等は、メールで現場からリアルタイムに関係者へ発信することができ、周知・対応の迅速化も図ることができた。



図-6 検査時のタブレット端末活用状況

④ 対策 (Action) 段階における活用

検査後には、各種書類を発注者に提出する必要がある。前述したように、当現場では発注者への提出書類は電子納品システムで処理するため、すべての書類を電子化する必要がある。これまでは、検査が終わった後に、現場で検査官に紙ベースの書類に署名をしていただいた調書をスキャンして電子化する必要があったが、今回のように現場での署名を含めて電子化することで、上記の作業を省略することができるようになった。検査帳票例を図-7に示す。

また、前述した検査時の指摘・改善事項等は電子化した写真・図面・資料等でも残せるため、次回検査以降の対応にも活用できる。

⑤ 安全管理における IT・CIM 活用

上述した以外の IT・CIM 活用事項として、安全管理における活用も実施した。これまでの現場パトロールは、現場で各所を確認して指摘・是正事項があった場合、現場で直接職長に指示をするか、後でまとめて作業間連絡調整会議や朝礼の場で周知することが多かった。現場で直接職長に指示ができる場合は問題がないが、現場に職長がいない場合は、指摘・是正内容が正確に伝わっていることを確認することが難しかった。

打設所	Z10-12ブロック EL76.00~EL77.00		打設方法	120tクローラークレーン/A.5mバケット	再確認
打設予定日	平成26年7月30日(水)	打設日			
検査項目	確認内容等	請負者	確認日	監督員等	指示・指摘・是正事項等
基礎	浮石・風化岩・砂層中の懸石 湧水及び浸入水の処理 新築・修繕部の処理	〇	〇	〇	〇
30分+	グリーンカートの設置 打設風の遮断状況・設置 クラックの発生・処理状況 パイプエッジ・養生の設置 不具合の発生	〇	〇	〇	〇

事前検測・検査時のチェック・署名をタブレット上で実施→そのまま電子登録も可能

試験機	JIS A 1108		試験機	試験機	試験機	試験機	試験機	試験機	試験機
打設日	平成26年5月21日	天候	晴	気温	24℃				
検査日	平成26年5月21日	試験機番号	569						
配合	骨材種類	最大骨材寸法	配合	スランプ(㎝)	スランプ(4m)	空気量(M)	W/CNS	s/m³	
	橋本川砂(水産)	20		65±5	4.5±1.5	45.7			
	打設場所	EL	スランプ(㎝)	スランプ(4m)	空気量(M)	変気量(%)	スランプ	スランプ	スランプ
	ブロック	2	98.0	66.0	4.5	22.2			
	増設基礎工	2	5次調整						
	増設2号								
	試験機	試験機	試験機	試験機	試験機	試験機	試験機	試験機	試験機
	No	試験日	試験体	単位容積	単位容積	最大容積	圧縮強度	圧縮強度	備考
			質量	質量	質量平均	質量平均	平均	平均	
	①	7	126.5.28	3.63	2.311	2.307	136	17.4	17.4
	②			3.64	2.317	2.317	303	37.1	37.1
	③			3.64	2.317	3.07	37.1	37.1	
	④			3.64	2.317	3.07	37.1	37.1	

実測値の記入もタブレット上で可能

図-7 検査帳票例 (タブレット端末書き込み後)

これに対して、パトロール時にタブレット端末を利用し、指摘・是正箇所の写真を撮影してコメントを記入し、メールで関係者全員に周知することを行っている。リアルタイムに関係者に指摘・是正内容を周知できるとともに、内容を写真で分かりやすく周知できるため、適切な対応を確実に実行させることができる。現場是正箇所のメールを受け取った担当者は現場を確認し、必要な是正処置を実施する。是正完了後には写真を撮影して、全員に周知する（図-8）。タブレット端末を用いることで、現地に行かなくても写真等で確認できるため、業務をより効率的に進めることができた。



図-8 安全施工サイクルにおける活用フロー

(3) 結果

IT・CIM を活用することによる業務効率化の評価指標として「時間の短縮」に着目し、本技術を使用・未使用の場合の各種時間を比較した結果を図-9 に示す。

項目	IT未使用時 (時間)	IT使用時 (時間)	短縮比率 (%)	回数	総短縮時間 (時間)
検査時間 (打設前検査)	1.0	0.75	25	111	27.75
検査書類作成 (電子登録)	0.5	0.25	50	111	27.75

図-9 IT・CIM 活用による業務時間削減効果

同じ仕事をした場合の比較ではないため単純な比較は難しいが、IT・CIM を活用することで、各作業時間は 25～50%程度削減できた。また、定性的な評価ではあるが、検査書類作成等のルーチンワーク作業時間を削減することで、他業務の時間・質の向上にも繋がっており、ハード面・ソフト面の改良を図ることで、さらなる効率化が図れるものと考えられる。これまでに当現場で活用している技術に目新しいものはないが、既存の技術を組み合わせるだけでも、業務の効率化には十分に効果が得られることも実証できた。

今後、建設現場における IT・CIM の活用は加速度を増して普及していくものと考えられる。現場の生産性をより向上させるためには、業界全体として IT・CIM の活用をより普及させやすくする環境作りも必要である。

参考文献	ダム工学 vol24 : No. 4(2014)
備考	—

【ダム・貯水池／コンクリートダム】

技 術 名	ダム用コンクリート運搬システム
番 号	No.4. 1-3
発 注 者	山形県
施 設 名	綱木川ダム
所 在 地	山形県米沢市築沢字石子
工 事 名 称	綱木川ダム本体工事
施 工 期 間	1996年6月～2004年9月
施 工 者	前田建設・日本国土開発共同企業体
キーワード	タワーベルコン、大量打設、ベルトコンベア運搬
<p>(1) 概 要</p> <p>1) 背景（設計条件、設計方針）</p> <p>本技術は、ICT化されたダム用コンクリート運搬設備で、作業効率、大量運搬、無人化、および安全確保を図ることで、コンクリートの大量輸送を目的に開発されたものである。従来のサイクル運搬から打設量を大幅に増やせる連続運搬を行うために、アームを多軸式にして、人間の手のような動きにした。タワーベルコンには、第一アームと先端アームで構成され、第一アームは、ポストを中心とした360度旋回可能な昇降支持フレームの端に取付けられており、第一アームの先端を軸とする360度回転する先端アームがある。それぞれのアーム上にはベルトコンベアが設置されており、これらの2軸回転によりコンクリートを広範囲にわたり打設することができる。運搬速度は、180 m³/hであるが、今回の実証実験では120 m³/hで行った。</p> <p>2) 開発理由</p> <p>洪水吐コンクリートの打設工法の選定に当たり流入部の打設設備は、タワークレーン（9.5 t × 75m）によるバケット工法であった。しかし、バケット工法では特に洪水吐の縦壁部分の打設効率が大幅に減少することから、打設作業の合理化、効率化を図る必要があるため、タワーベルコンを採用した。</p> <p>3) 施工内容</p> <p>綱木川ダムは、洪水調節、河川環境の保全、並びに米沢市を始めとする2市2町への水道用水の供給を目的とする50年確率で計画された多目的ダムである。</p> <p>ダムの諸元は、堤高74m、堤頂長367.5m、堤体積215.4万m³、総貯水量955万m³の中央コア型ロックフィルダムである。</p> <p>綱木川ダム洪水吐のコンクリート工事で、12万m³運搬・打設をおこなった。</p>	

(2) 技術詳細

1) 図面 (位置図、平面図、断面図、詳細図、写真等)

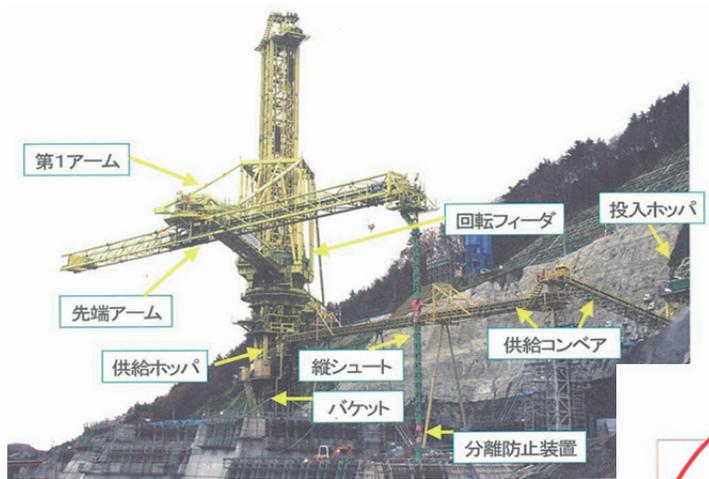


図-1 本体機器構成図

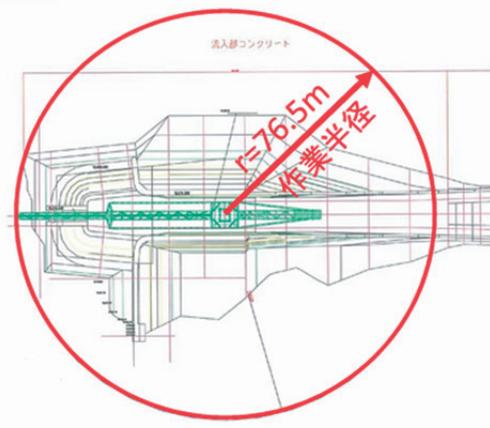


図-2 平面図配位置図

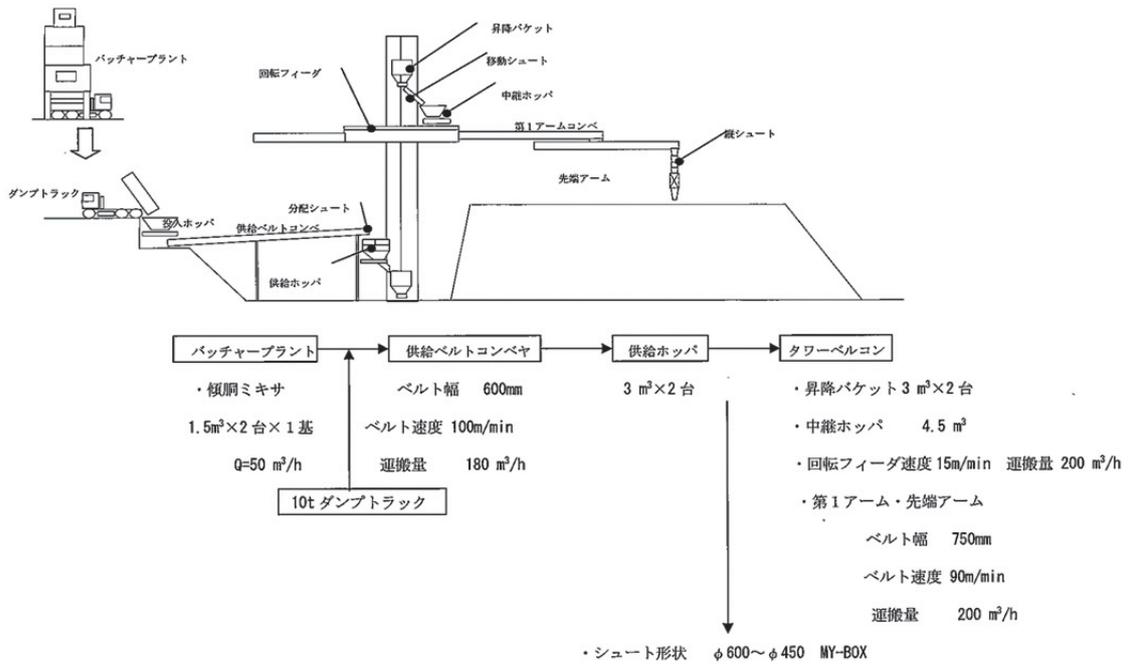


図-3 コンクリートフローと仕様能力

2) 能力・仕様

表-1 形式による能力

型式	バケット容量	定格運搬能力	ブーム半径
180m ³ 型	3m ³ ×2台	180m ³ /h	75m, 90m
270m ³ 型	4.5m ³ ×2台	270m ³ /h	75m, 90m
360m ³ 型	6m ³ ×2台	360m ³ /h	75m, 90m

表-2 比較表

	中国三峡ダム		山形県綱木川ダム
	ROTEC	POTAIN	タワーベルコン
作業半径	85m	105m	75m
運搬能力	390m ³ /h	420m ³ /h	180m ³ /h
コンベヤ幅	750mm	750mm	750mm
コンベヤ速度	189~240m/min	189~240m/min	90m/min
工法、最大粒径	RCC 80mm,150mm		有スランプ 80mm
運搬ルート	全ベルトコンベヤ直接打設		水平部:ベルトコンベヤ 垂直部:バケット、直接打設

表-3 コンクリート運搬仕様、性能表

コンクリート運搬仕様	
作業半径	最大 76.5m 最小 7.5m
有効高さ	40m
ベルトコンベヤ 巾・速度	750mm ・ 90m/min
搬送フィーダ能力	180m ³ /h
供給ホッパー容量	3.0m ³ ×2台
昇降バケット容量	3.0m ³ ×2台
バケット昇降速度	80m/min
第1アーム旋回速度・角度	0~0.0644rpm・370° (±185°)
先端アーム旋回速度・角度	0~0.0145rpm・370° (±185°)
先端打設移動速度	5m/min
操作方式	遠隔無線方式
電源	AC400/440V 50/60HZ 325kw
クレーン仕様	
クレーン作業半径	70.8m
クレーン定格荷重	4.8t
クレーン揚程	50m
巻上げ速度	10m/min

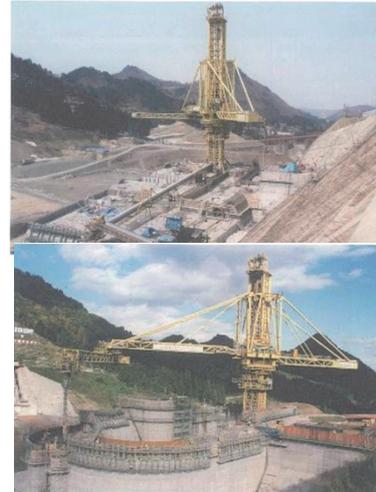


写真-1 施工状況

3) 技術説明

① 多軸回転

多軸回転体の位置は、第一アームが固定されている旋回フレーム部と先端アーム部において 370 度回転する。この 2 軸回転の動きは、サーボモータにより制御され円軌道を直線軌道に変えることで、自動運転、打設の作業性および運転の操作性が容易になった。

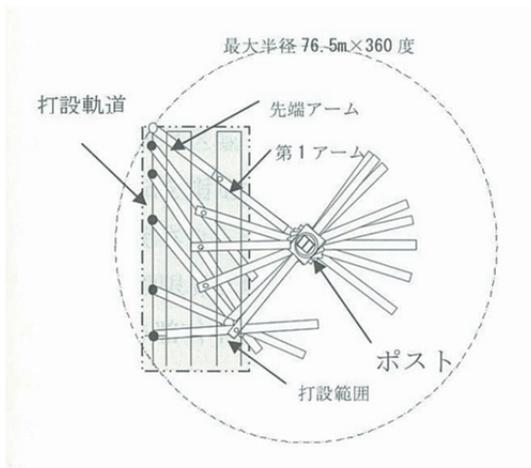


図-4 第1アームと先端アームによる打設



写真-2 自動運転施工状況

② アーム自動運転フローチャート

タワーベルコンの操作は、自動、半自動、手動の3モードを有する。

・自動モード

打設開始点と打設終了点とを指定することによって、予め設定された移動速度と移動ピッチで、ダム軸に対して平行、直角方向の軌跡をたどりながら直線的にコンクリートを配送するモード。

・半自動モード

ダム軸方向、上下流方向に直線的に停止をかけるまで移動するモード。

・手動モード

手動操作により限界範囲内を円軌道で自由に移動できるモード。



図-5 打設限界区域

また、打設限界区域は、自動運転を指定すると、予め設定した距離を控えた打設限界区域が自動的に設定され、設定解除しない限り、自動、半自動、手動のいかなるモードでも打設限界区域を越えることはない。

③ 運転管理

・稼働状況の管理

中央制御室において、現場の運転手、機械見回り者の指示によりモニター画面から操作を行い、また異常等の情報を伝える。

・モニタリング機能

中央制御室の制御システムは、外部よりリモートアクセスが可能となっておりソフト的なトラブル発生時はオンラインで制御盤内にアクセスし、運転状況監視、異常発生箇所の探査、プログラム修正、設定値修正が可能なシステムとなっている。

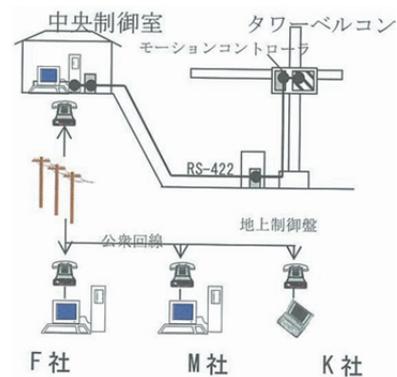


図-6 リモートアクセス系統図

(3) 結果

今回の実証実験では 120 m³/h で実施した。

綱木川ダム洪水吐のコンクリート工事で、12 万 m³の運搬・打設をおこなった。

参考文献	タワーベルコンパンフレット、ダム建設技術審査証明報告書 (審査証明第 0402 号)
備考	—