JCMA 報告

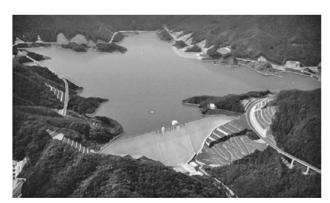
平成27年度 建設施工と建設機械シンポジウム開催報告(その3)

ダムコンクリート搬送用インクライン式ベルトコンベヤの開発 五ヶ山ダム(巡航 RCD 工法)におけるコンクリート運搬打設設備

青野 降・林 健二・大林 信彦

1. はじめに

重力式コンクリートダムの高速施工に対応するため、当社は嘉瀬川ダム(発注者:国交省)や湯西川ダム(発注者:国交省)等の堤体コンクリート運搬打設設備に、パイプを用いてコンクリートを高所から低所へ運搬する SP-TOM (Special pipe Transportation Method)を実用化し様々な知見を得た。五ヶ山ダム(図一1参照)では、最新技術である「巡航 RCD 工法¹⁾」により堤体を建設中である。本稿では主コンクリート運搬打設設備の SP-TOM に新規開発、導入した「インクライン式ベルトコンベヤ」を組合せて平成26年2月から平成27年7月までに堤体コンクリート約52万 m³を運搬(17ヶ月の累計打設量は約85万 m³)し、良好な結果を得たので開発内容について報告する。



図─1 五ヶ山ダム完成イメージ

2. 導入工事概要

インクライン式ベルトコンベヤを開発, 導入した五ヶ山 ダムの工事概要とダム諸元を以下に示す。

工 事 名: 五ヶ山ダム堤体建設工事

企 業 者:福岡県五ヶ山ダム建設事務所

工 期:自:平成24年6月27日

至:平成30年3月15日(69ヶ月)

請 負 者: 鹿島・飛島・松本特定建設工事共同企業体

堤体形式:重力式コンクリートダム

堤 体 積:935,000 m³ (減勢工含む) 場 高:102.5 m. 場頂長:556.0 m

2.1 五ヶ山ダム堤体工の概要

堤体積93.5万 m³の大規模な重力式コンクリートダムで、 堤体コンクリートは2015年7月9日に終了したRCD 工法(河床~EL398.5 m)と拡張レヤー工法(EL398.5 m~ EL417.5 m)で打設中である。五ヶ山ダムは従来のRCD 工法でなく、ダムコンクリートの品質確保対策を目的とした、リフトの打上がり速度のコントロールが容易な巡航 RCD 工法(巡航RCD 工法はRCD コンクリートの先行打設、外部コンクリートの独立・後行打設、型枠を用いない RCD 用コンクリートの打止めという特徴を有する1リフトを分割なしで連続打設可能な施工法¹⁾)を採用した。

3. SP-TOM のコンクリート供給設備の問題点

SP-TOMをコンクリート運搬打設設備として採用した 嘉瀬川ダムや湯西川ダムでは、SP-TOMによるRCD用コンクリート搬送能力を最大限生かすことができなかった。 主な原因として、SP-TOM下方のコンクリート受取・供 給方法に課題があり各現場において様々な工夫を試みた が、結果としてRCD用コンクリートを連続搬送できない という問題点が抽出された。問題点と開発内容(解決策) の詳細について以下に示す。

3.1 問題点その1(進入制限)

(1) SP-TOM 搬送中止の原因

RCD 用コンクリートを連続搬送できない最大の原因は、写真—1に示す嘉瀬川ダムでは SP-TOM 先端に自走式ベルトコンベヤ(以下、自走式ベルコン、表—1参照)を配置し、重ダンプトラック(以下、重ダンプ)へコンクリートを供給するが SP-TOM 先端直下の岩着コンクリート打設直後は、当該コンクリートが硬化するまで、自走式ベルコンを配置できず、SP-TOM によるコンクリート搬送を停止しなければならなかった。

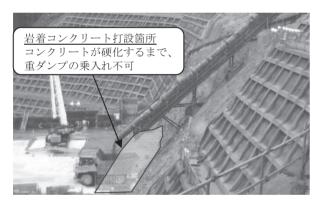
一方,写真—2に示す湯西川ダムではSP-TOM 先端まで重ダンプが進入し、コンクリートを直接受取る方式を採



写真-1 SP-TOM 先端に自走式ベルコンを配置 (嘉瀬川ダム)

表一1 自走式ベルコンの仕様と特徴

コンクリート供給設備	特徴
自走式ベルトコンベヤ	機長:20 m, ベルト幅:900 mm
Not Miller	質量:12 t
	能力:200 m³/h
	・自走式なので設置、撤去が容易
	・機長が長いため堤体上下流幅が狭
	いと設置箇所が限定される
	・ベルコン仰角は油圧シリンダ駆動
	で 0 ~ 20 度まで対応可



写真―2 SP-TOM 先端直下に重ダンプ配置(湯西川ダム)

用したが、岩着コンクリート打設直後は当該コンクリートが硬化するまで重ダンプは進入できず、SP-TOMによるコンクリート搬送を停止しなければならなかった。したがって、最大で24時間(岩着コンクリート硬化時間)の進入制限によって、SP-TOMによるコンクリート搬送が中止され、搬送能力低下を引き起こした。

(2) SP-TOM 搬送中止による搬送能力低下

上述の原因による搬送能力低下を算出する。

- ·SP-TOM 搬送能力: 180 m³/h
- ・岩着コンクリート硬化までの進入制限時間:24 h
- ・効率:0.8と設定
- ・搬送低下量 = 180 m³/h × 24h × 0.8 ≒ 3,400 m³/ 目
- ・SP-TOM 搬送中止日:6日(回)/月(打設速度を6 リフト/月と設定し、SP-TOM 先端直下の岩着コン クリート打設直後の搬送中止は6回発生)
- ・1 ヶ月当り打設低下量: $3,400 \,\mathrm{m}^3/\,\mathrm{H}\times6\,\mathrm{H}=20,400 \,\mathrm{m}^3$

3.2 問題点その2 (重ダンプ入替え)

(1) 重ダンプ入替え中の SP-TOM 搬送停止

自走式ベルコンあるいは SP-TOM から重ダンプへ直接 供給する方式を採用しても、重ダンプの入替え中は SP-TOM の運転を停止する必要がある。この入替え時間(約 90秒)の SP-TOM 搬送停止が搬送能力低下を引き起こし、 更にコンクリート製造設備も停止しなければならないケースがあった。このような場合、SP-TOM が搬送再開して もコンクリート製造・出荷が遅れるため、SP-TOM への コンクリート供給が滞り更なる搬送能力低下を引き起こす ことがあった。重ダンプ入替え時間中に発生する搬送能力 低下イメージを図—2に示す。

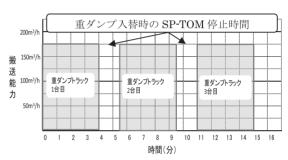


図-2 重ダンプ入替え時の SP-TOM 搬送能力低下イメージ

(2) 重ダンプ入替え時間中の搬送能力低下

重ダンプ入替え時間中に発生する SP-TOM 搬送停止が 原因による搬送能力低下量を以下に示す。

- ·SP-TOM 搬送能力: $180 \text{ m}^3/\text{h} = 0.05 \text{ m}^3/$ 秒
- ・重ダンプへの供給時間:240秒と設定
- ・重ダンプ入替え時間中のロス:90秒と設定
- ・1 時間当りの搬送回数: 3,600 ÷ 330 ≒ 11 回
- ·1時間当りの停止時間:11回×90秒=990秒
- ・1 時間当りの能力低下量: 0.05 m³/ 秒× 990 秒 ≒ 50 m³/h
- ・効率:0.8と設定
- ・搬送低下量 = $50 \text{ m}^3/\text{h} \times 24\text{h} \times 0.8 = 960 \text{ m}^3/\text{ }$ 日
- ・SP-TOM 稼働日数:18日間(打設速度を6リフト/月 と設定時の月当り SP-TOM 稼働日)
- ・1 ヶ月当り打設低下量: $960 \,\mathrm{m}^3/\,\mathrm{H} \times 18\,\mathrm{H} = 17,280 \,\mathrm{m}^3$

3.3 問題点その3(障害物)

(1) 障害物回避のための追加設備

特定の標高において堤体上の監査廊が SP-TOM 正面に位置し、重ダンプが SP-TOM 先端直下に進入できないケースや自走式ベルコンの配置も困難な場面がある。障害物があっても SP-TOM によるコンクリート搬送を継続するためには、障害物を回避可能な写真—3に示す固定式ベルトコンベヤ(以下、固定式ベルコン)を新たに設置する必要があり、追加の製作コストおよび設置、撤去作業が発生する。



写真-3 監査廊回避 固定式ベルコン設置(湯西川ダム)

また、SP-TOM 近傍にクレーンを配置する場合は、写真—4に示すようにクレーンが障害物となり、重ダンプが SP-TOM 先端直下へ進入できないケースが発生する。このような場合、固定式ベルコンをずらした位置に盛替えが必要で、撤去・再設置の追加作業が発生し打設工程に影響を与えることがあった。



写真―4 固定式ベルコンをずらして配置 (湯西川ダム)

(2) 追加発生の設備と作業量

SP-TOM 正面の障害物に対応するために自走式ベルコンの他に、別途追加が必要となった設備と盛替え作業量を表-2に示す。

表一2 追加の固定式ベルコンと盛替え作業量

コンクリート供給設備 特 徴 機長:14 m, ベルト幅:900 mm, 質量:7.6 t 能力:200 m³/h ・ベルトコンベヤ脚部堤体内埋込方式の採用 ・打設標高に応じて都度,盛替え発生・ベルトコンベヤ平面位置は固定のため,移動毎に撤去,設置が必要・盛替え作業量(打設高3m毎に発生) ・50 t ラフター使用,作業員1班(5名)

・撤去4h+設置6hが必要

3.4 問題点その4(自走式ベルコンが障害物)

SP-TOM 先端直下周辺部のコンクリートを打設する場合、打設面上に設置している自走式ベルコン自体が障害となり打設できないエリアが発生する。また、写真一3に示す固定式ベルコンの場合、堤体コンクリートに埋め込んだ固定式ベルコンの脚高が打設進捗に応じて低くなり、打設高3mの進捗毎に撤去と再設置が必要である。したがって撤去、再設置作業中は18t級ケーブルクレーン(以下、18tCC)の使用による拘束とSP-TOM搬送停止により、打設工程に影響を与えることがあった。

4. インクライン式ベルトコンベヤの開発

SP-TOM は左右岸どちらか一方のダム堤敷斜面に設置 しなければならず、岩着コンクリート打設部の進入制限は 必ず発生するため、SP-TOM 搬送中止は致命的な欠点で あった。また、重ダンプ入替え中も SP-TOM を連続運転 するためには、入替え中も搬送されるコンクリートを貯蔵 する必要があるが、90秒間の入替え中に搬送されるコン クリート量は $4.5 \,\mathrm{m}^3 (180 \,\mathrm{m}^3/\mathrm{h} \div 3.600 \, 秒 \times 90 \, 秒 = 4.5 \,\mathrm{m}^3)$ となり、大型のホッパをダム堤敷斜面に設置することが困 難であった。従来の問題点を克服できる新たなコンクリー ト受取り・供給装置を開発できれば、SP-TOM による連 続搬送が可能となり、コンクリート運搬打設速度が飛躍的 に向上することが期待できた。そこで、高い打設能力を必 要とする巡航 RCD 工法を採用した五ヶ山ダムでは、SP-TOM 1条で18tCC 2基分相当の能力を確保するため、イ ンクライン式ベルトコンベヤ(以下, インクラインBC) を開発し「SP-TOM +インクラインBC」を主コンクリー ト運搬設備とした。

4.1 具体的な開発内容

(1) 開発内容その1 (問題点1の解決)

SP-TOM 先端直下に位置する硬化前の岩着コンクリート部を飛び越えて、重ダンプにコンクリートを供給可能なベルトコンベヤを配置すれば SP-TOM を連続運転できるため、脚が不要なトラス構造の片持ち梁式のベルトコンベヤを開発することとした。片持ち梁式のベルトコンベヤを開発することとした。片持ち梁式のベルトコンベヤを開発することとした。片持ち梁式のベルトコンベヤ機長は、岩着部のコンクリート硬化前でも RCD (内部) コンクリート部に停止した重ダンプへ供給可能な長さ (L=14.6 m)とすることで、SP-TOM 先端直下の岩着コンクリート硬化前でも SP-TOM+インクライン BC を用いて RCD用コンクリートを連続して搬送することが可能となった。しかも、片持ち梁式のベルトコンベヤは、下述の (2) で示すベルトフィーダから供給される大量のコンクリートを搬送可能な搬送能力 300 m³/h を有する仕様とした。

(2) 開発内容その2(問題点2の解決)

重ダンプの入替え時間中も SP-TOM から供給され続ける $4.5 \,\mathrm{m}^3$ のコンクリートを貯蔵可能な有効貯蔵容量 $6 \,\mathrm{m}^3$

のホッパを常に SP-TOM 最先端に設置する方式を考案した。さらに入替え後の重 DT には、一時的に貯蔵したコンクリートと SP-TOM から追加供給されるコンクリートを合算したコンクリートを大量供給する必要があり、供給能力 $300~{\rm m}^3/{\rm h}$ のベルトフィーダも採用することとした。なお、ホッパとベルトフィーダは片持ち梁式のベルトコンベヤのカウンターウエイトとなる重芯位置を考慮した配置設計を行った。

(3) 開発内容その3(問題点3の解決)

障害物を回避して重ダンプへコンクリートを供給するために、片持ち梁式のベルトコンベヤに旋回機能を付加した設計を行った。様々な旋回装置の検討を実施した結果、高額であるがジブクレーン等で採用されている旋回環と減速機付旋回油圧モータを採用した。

(4) 開発内容その4(問題点4の解決)

図一3に示すホッパ、ベルトフィーダおよび旋回機能付き片持ち梁構造のベルトコンベヤからなる設備は打設標高に応じて移動が必要である。移動に18tCCを使用すると打設工程に影響を与えるため、18tCCを使用しないで移動できる方法として、インクライン方式を採用した。ただし、頻繁に移動しない、移動は上方のみ、移動速度も重要でないことから大型の巻上ウインチでなく、ワイヤと油圧チルホールを組合わせた簡便な牽引方法を考案した。

4.2 インクライン BC の概要

(1) トラス構造・片持ち梁式のベルトコンベヤ

岩着コンクリート打設範囲を考慮し、RCD(内部)コンクリート上に停止した重ダンプへ供給可能なトラス構造・片持ち梁式ベルトコンベヤ機長は最少限必要な14.6 mとして詳細設計を行った(**写真**—5参照)。

(2) 一時貯蔵ホッパ

コンクリートを貯蔵可能なホッパは,

- ・重ダンプ入替時間:90秒=1.5分
- · SP-TOM 搬送能力: $180 \text{ m}^3/\text{h} = 3 \text{ m}^3/\text{分}$
- · 貯蔵必要容量: $3 \text{ m}^3 / \text{ 分} \times 1.5 \text{ 分} = 4.5 \text{ m}^3$

から「有効貯蔵 6.0 m³ ホッパ |を採用した(**写真**-5 参照)。

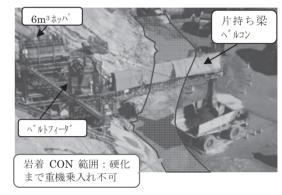
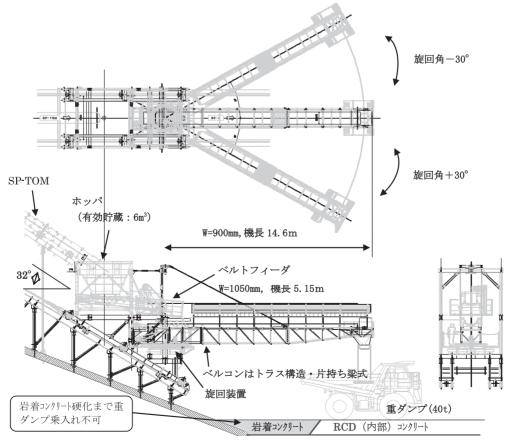


写真-5 インクライン BC 全景



図一3 インクライン式ベルトコンベヤ側面・平面・正面図

(3) ベルトフィーダ

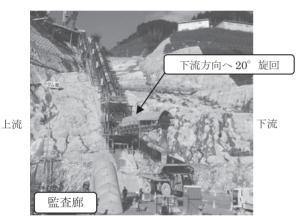
大量のコンクリート定量供給装置としてベルトフィーダ を採用し供給能力は.

- ・貯蔵量: $3 \,\mathrm{m}^3 / \,\mathrm{分} \times 1.5 \,\mathrm{分} \,(90 \,\mathrm{秒}) = 4.5 \,\mathrm{m}^3$
- ・重ダンプ積込時間:240秒=4分
- ・4 分間の SP-TOM からの搬送量: 3 m³/ 分×4 分=12 m³
- \cdot 4 分間の必要供給量: $4.5 \,\mathrm{m}^3 + 12 \,\mathrm{m}^3 = 16.5 \,\mathrm{m}^3$
- ·必要供給能力: 16.5 m³/4 分 = 250 m³/h

から、「供給能力は最大 $300 \, \text{m}^3/\text{h}$ のベルトフィーダ」を 採用した。なお、片持ち梁構造のベルトコンベヤの搬送能 力も最大 $300 \, \text{m}^3/\text{h}$ で計画した(写真 $-5 \, \text{参照}$)。

(4) 旋回機能

旋回機能を持たせるため、「旋回環」、「フレーム」および「減速機付旋回油圧モータ」を改造し、インクラインBC 旋回装置とした。旋回して使用した状況を**写真**—6に示す。



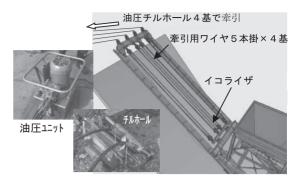
写真―6 インクライン BC 障害物回避状況

(5) 牽引装置

上述の各設備から構成されるインクラインBCの総質量は32,000kg (無負荷時)であり、設置勾配32°で引上げに必要な牽引力は約17,000kgfであった。大型の巻上ウインチで牽引する場合は、ウインチの導入費用が高額で納期も長期間であり、基礎も大型化するため、汎用の油圧チルホールを用いた牽引方法を検討した。その結果、油圧チルホール1基あたりのワイヤを5本掛けとし、全体で20本掛けとすることでインクラインBCを牽引可能であった。更に牽引装置の滑車部にはイコライザを用い油圧チルホールの牽引力が左右均等になるような工夫を行った(図ー4参照)。

4.3 インクライン式ベルトコンベヤ詳細仕様

インクライン BC の詳細設計にあたり、三次元化を行うことで完成イメージを具現化でき、安全設備や機能面での修正事項が明確となると同時に組立工事の検討に大いに役に立った。詳細仕様を表一3に示す。



図―4 牽引装置の配置と油圧チルホール

表一3 インクライン式ベルトコンベヤ仕様一覧

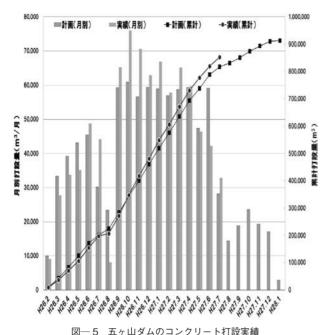
	各設備	用 途	仕 様						
1.	ホッパ	40 tDT 入替時間中に SP-	投入口寸法: 3.75 m×3.25 m						
		TOM から 180 m³/h で供	ホッパ高さ:2.4 m						
		給されるコンクリートを	有効貯蔵量: 6.0 m³						
		貯蔵							
2.	ベルト	ホッパ内のコンクリート	ベルト幅:1,050 mm						
	フィーダ	を先端ベルトコンベヤに	機 長:5.15 m						
		定量供給	電 動 機:11.0 kW						
			供給能力:300 m³/h						
3.	先端	ベルトコンベヤ脚の無い	ベルト幅: 900 mm						
	ベルト	片持ち梁構造のベルトコ	機 長:14.6 m						
	コンベヤ	ンベヤで 40 tDT へ積込	電 動 機:11.0 kW						
		が可能	供給能力:300 m³/h						
4.	旋回装置	無負荷状態の先端ベルコ	旋回環						
		ンを左右に旋回し積込位	外環:PCD 1,975 mm						
		置の変更が可能	内環: PCD 1,750 mm						
			旋回可能角: ± 30°						
5.	走行台車	ホッパ,ベルトフィーダ,	寸法:L10.0 m×W4.2 m×H2.8 m						
	フレーム	旋回装置、先端ベルコン	走行輪:6輪						
		のベースフレームでレー	サイドローラ:4輪(浮上り防止ガイド						
		ル面を走行し移動	付き)						
6.	牽引装置	インクラインベルコン本	油圧チルホール牽引力: 1,600 kgf×4 基						
		体を打設進捗に合わせて	引上ワイヤ: φ 11.7 m, ワイヤ巻掛数:						
		4基の油圧チルホールで	4 基×5 本= 20 本掛け						
		牽引							

5. インクライン式ベルトコンベヤの導入実績

五ヶ山ダムにおける 2014 年 2 月 17 日から 2015 年 7 月 31 日までの総打設量は 852,614 m^3 で、打設実績を**図** - 5 に示す。18 tCC 1 基と「SP-TOM 1 条 + インクライン BC」の組合せで打設した結果、60,000 m^3 / 月以上の達成は 6 回あり、-ヶ月当りの最大打設量は 2014 年 10 月の 76,000 m^3 であった。

5.1 「SP-TOM + インクライン BC」の実績

図—5 に示す打設実績のうち、「SP-TOM + インクライン BC」にて運搬した実績のみ抜粋したものを表—5 に示す。従来の問題点であった SP-TOM の搬送停止は、開発したインクライン BC 導入により大幅に改善された。その結果、巡航 RCD 工法の RCD 用コンクリートは「SP-TOM + インクライン BC」のみで運搬可能となり、一ヶ月当り40,000 m^3 以上運搬打設した月の平均運搬速度は約164.1 m^3/h (表—4 網掛け部の平均)に達し、18 tCC 2 基



凶一5 五ヶ山ダムのコングリート打成夫領

相当の運搬打設能力であった。一方、18 tCC 1 基は外部 コンクリートの独立・後行打設や堤内で使用する資機材の 揚重運搬に専念でき、理想的な施工を実現した。

5.2 岩着部と次層 RCD 部の同時打設の実現

SP-TOM 先端直下の岩着コンクリート打設中および打設完了後は、最大で24時間はコンクリートが硬化するまで重ダンプの乗入れができず、SP-TOMによる搬送を停止していたが、インクラインBCの開発により写真一7に示すようにSP-TOM 先端直下の岩着コンクリートを18tCCにて分離独立して後行打設しながら、次層のRCD用コンクリートを「SP-TOM + インクラインBC」を用いて重DTに供給することが可能となった。

表—4 SP-TOM +インクライン BC 運搬量, 平均運搬速度実績

年	月	種類	運搬量 (m³)	平均運搬 速度 (m³/h)	最大運 搬速度 (m³/h)
	$3\sim5$	有スランプ	28,952	91.1	171.3
	6	巡航 RCD	31,723	132.9	200
	7	巡航 RCD	27,012	142.3	203.3
$\begin{array}{c} 2 \\ 0 \end{array}$	8	巡航 RCD ハーフ	5,133	129.8	178.5
$\begin{array}{c c} 1 \\ 4 \end{array}$	9	巡航 RCD	53,329	171.1	237.2
1	10	巡航 RCD	53,672	155.2	228.8
	11	巡航 RCD	52,539	169.8	232
	12	巡航 RCD	46,657	162.6	224.3
	1	巡航 RCD	50,179	167	226.9
	2	巡航 RCD	41,693	175.5	228
2	3	巡航 RCD	42,217	147.4	227
0	4	巡航 RCD	38,343	119.8	214
1 5	5	巡航 RCD	21,999	92.7	151.2
	6	巡航 RCD	21,254	77.1	144.1
	7	巡航 RCD*	6,292	58.4	128.3
		計	520,993	_	_

※ 2015 年 7 月 9 日で RCD 施工終了



写真一7 岩着コンクリートと次層 RCD の同時施工

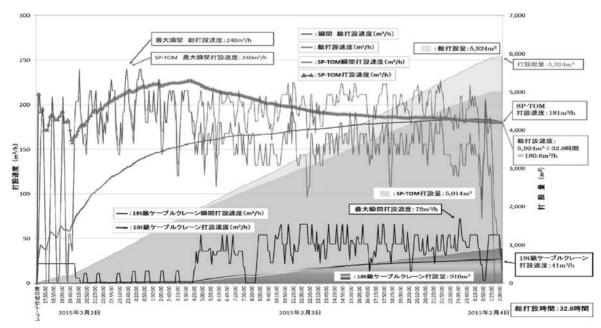


図-6 巡航 RCD 工法で堤体コンクリート(標高 369.5 m)を打設した時の打設速度

6. おわりに

標高 369.5 m において 2015 年 2 月 2 日から 2 月 4 日までの 32.8 時間, 巡航 RCD 工法で打設した時の打設速度データを図—6 に示す。5,924 m³の総打設量のうち「SP-TOM + インクライン BC」による打設量は 5,014 m³で,最大瞬間打設速度は 240 m³/h を示しており,コンクリート製造設備能力(240 m³/h)と同一であった。また,「SP-TOM + インクライン BC」は,平均打設速度は 181 m³/h(28 時間連続稼働)と高い打設速度を達成した。

SP-TOM 1 条 + 18 tCC 1 基で堤体積 100 万 m³ 級のダムを施工した例は無く、今後も工夫改善を図り、コンクリート主運搬打設設備として高い生産性向上を目指す予定である。

《参考文献》

1) 財団法人ダム技術センター: 改訂版 巡航 RCD 工法施工技術資料, pp.1 ~ 10, 平成 24 年 2 月

青野 隆

鹿島建設㈱ 機械部 技術1グループ 次長

林 健二

鹿島建設㈱ 九州支店 五ヶ山ダム堤体建設 JV 工事事務所 所長 大林 信彦

鹿島建設㈱ 九州支店 五ヶ山ダム堤体建設 JV 工事事務所 機電課長代理

お断り

この JCMA 報告は、受賞した原文とは一部異なる表現をしてあります。