

25. 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

ー五ヶ山ダム（巡航 RCD 工法）におけるコンクリート運搬打設設備ー

鹿島建設株式会社
鹿島建設株式会社
鹿島建設株式会社

○ 青野 隆
林 健二
大林信彦

1. はじめに

重力式コンクリートダム的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-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：935,000m³(減勢工含む)
堤 高：102.5m, 堤頂長：556.0m

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～EL398.5m)と拡張レヤー工法(EL398.5m～EL417.5m)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



写真-1 SP-TOM 先端に自走式ベルコンを配置(嘉瀬川ダム)

表-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:20m, ベルト幅:900mm, 質量:12 t 能力:200 m³/h ・自走式なので設置, 撤去が容易 ・機長が長いので堤体上下流幅が狭いと設置箇所が限定される ・ベルト仰角は油圧シリンダ駆動で 0~20 度まで対応可

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。



写真-2 SP-TOM 先端直下に重ダンプ配置（湯西川ダム）

(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：180m³/h
- ・ 岩着コンクリート硬化までの進入制限時間：24h
- ・ 効率：0.8 と設定
- ・ 搬送低下量 = $180\text{m}^3/\text{h} \times 24\text{h} \times 0.8 \div 3,400\text{m}^3/\text{日}$
- ・ 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： $3,400\text{m}^3/\text{日} \times 6 \text{ 日} = 20,400\text{m}^3$

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。

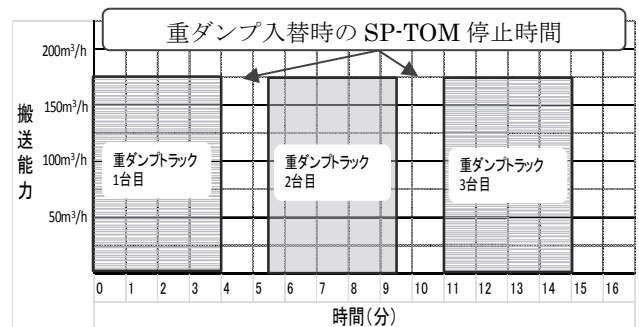


図-2 重ダンプ入替え時の SP-TOM 搬送能力低下イメージ

(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：180m³/h = 0.05m³/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：3600 ÷ 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： $0.05\text{m}^3/\text{秒} \times 990 \text{ 秒} \div 50\text{m}^3/\text{h}$
- ・ 効率：0.8 と設定
- ・ 搬送低下量 = $50\text{m}^3/\text{h} \times 24\text{h} \times 0.8 \div 960\text{m}^3/\text{日}$
- ・ 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： $960\text{m}^3/\text{日} \times 18 \text{ 日} = 17,280\text{m}^3$

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る、追加の製作コストおよび設置、撤去作業が発生する。

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-3 監査廊回避 固定式ベルコン設置（湯西川ダム）



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-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
固定式ベルトコンベヤ	機長:14m, ベルト幅:900mm, 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） ・50t 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-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 4.5m³（180 m³/h÷3600 秒×90 秒＝4.5m³）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=14.6m）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 300m³/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 4.5m³ のコンクリートを貯蔵可能な有効貯蔵容量 6m³ 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る、供給能力 300m³/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

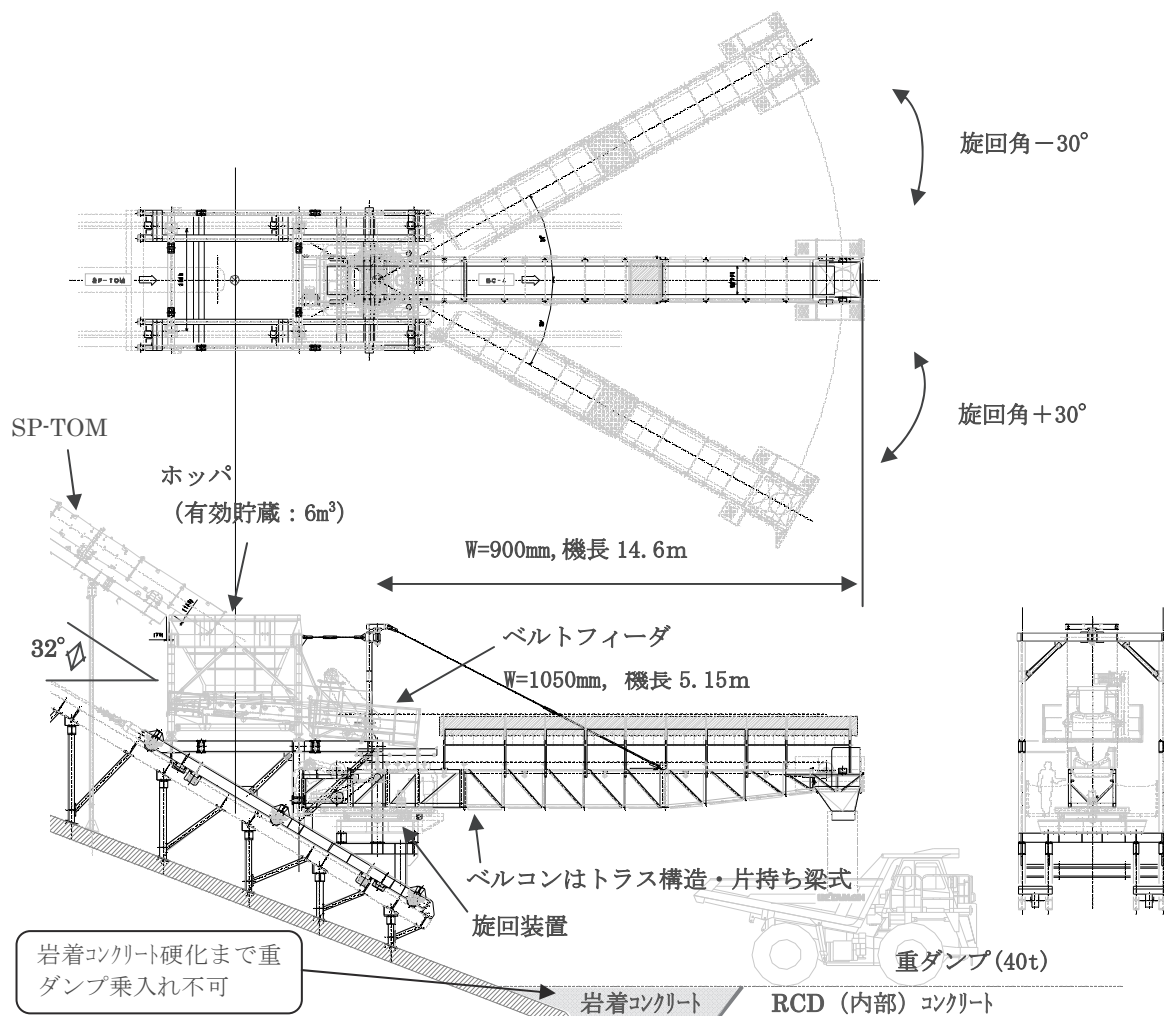


図-3 インクライン式ベルトコンベヤ側面・平面・正面図

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-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 14.6m 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：180m³/h=3m³/分

- ・貯蔵必要容量：3m³/分×1.5 分=4.5m³

から「有効貯蔵 6.0m³ホッパ」を採用した (写真-5 参照)。

(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：3m³/分×1.5 分(90 秒)=4.5m³

- ・重ダンプ積込時間：240 秒=4 分

- ・4 分間の SP-TOM

からの搬送量：3m³/分×4 分=12m³

- ・4 分間の必要供給量：4.5m³+12m³=16.5m³

- ・必要供給能力：16.5m³/4 分≒250 m³/h

から、「供給能力は最大 300m³/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 300m³/h で計画した (写真-5 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。

(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-4 参照)。

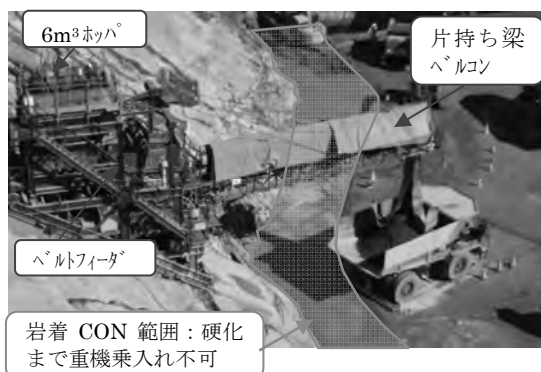


写真-5 インクライン BC 全景



写真-6 インクライン BC 障害物回避状況

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-4 に示す。

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、852,614m³ で打設実績を図-5 に示す。18tCC 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、60,000m³/月以上の達成は 6 回あり、一ヶ月当りの最大打設量は 2014 年 10 月の 76,000m³ 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 40,000m³ 以上運搬打設した月の平均運搬速度は約 164.1m³/h (表-5 網掛け部の平均) に達し、18tCC 2 基相当の運搬打設能力であった。一方、18tCC 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。

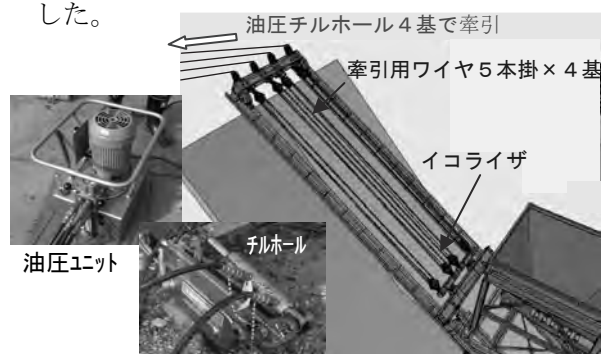


図-4 牽引装置の配置と油圧チルホール

表-4 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	40tDT 入替時間中に SP-TOM から 180m³/h で供給されるコンクリートを貯蔵	投入口寸法: 3.75m×3.25m ホッパ高さ: 2.4m 有効貯蔵量: 6.0m³
2. ベルトフィーダ	ホッパ内のコンクリートを先端ベルトコンベヤに定量供給	ベルト幅: 1050mm, 機長: 5.15m 電動機: 11.0kW 供給能力: 300m³/h
3. 先端ベルトコンベヤ	ベルトコンベヤ脚の無い片持ち梁構造のベルトコンベヤで 40tDT へ積込が可能	ベルト幅: 900mm, 機長: 14.6m 電動機: 11.0kW 供給能力: 300m³/h
4. 旋回装置	無負荷状態の先端ベルトコンベヤを左右に旋回し積込位置の変更が可能	旋回環 外環: PCD 1975mm 内環: PCD 1750mm 旋回可能角: ±30°
5. 走行台車フレーム	ホッパ, ベルトフィーダ, 旋回装置, 先端ベルトコンベヤのベースフレームでレール面を走行し移動	寸法: L10.0m×W4.2m×H2.8m 走行輪: 6 輪 サイドローラ: 4 輪(浮上り防止ガード付き)
6. 牽引装置	インクラインベルトコンベヤ本体を打設進捗に合わせて 4 基の油圧チルホールで牽引	油圧チルホール牽引力: 1,600kgf×4 基 引上ワイヤ: φ11.7m, ワイヤ巻掛数: 4 基×5 本=20 本掛け

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-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

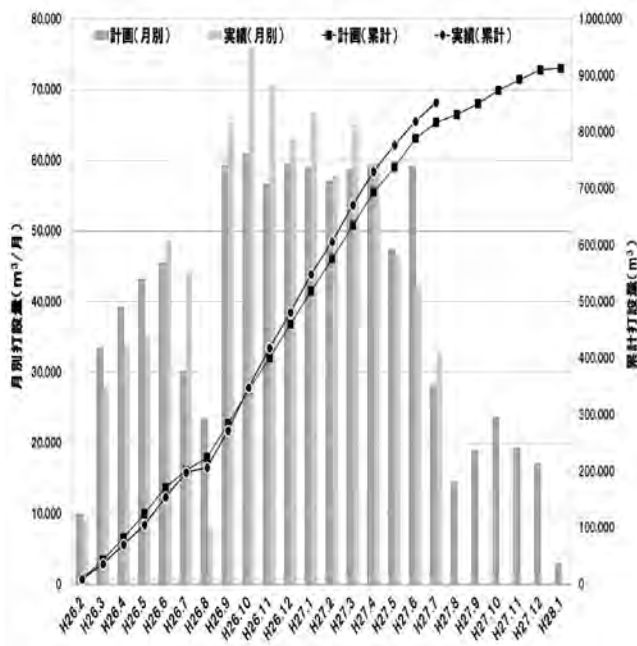


図-5 五ヶ山ダムコンクリート打設実績

表-5 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)
2015	3~5	有スラップ	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
	8	巡航RCDへフ	5,133	129.8	178.5
	9	巡航RCD	53,329	171.1	237.2
	10	巡航RCD	53,672	155.2	228.8
	11	巡航RCD	52,539	169.8	232
2016	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
	3	巡航RCD	42,217	147.4	227
	4	巡航RCD	38,343	119.8	214
	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

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。



写真-7 岩着コンクリートと次層 RCD の同時施工

6. まとめ

標高369.5m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。5,924m³の総打設量のうち「SP-TOM+インクラインBC」による打設量は5,014m³で、最大瞬間打設速度は240m³/hを示しており、コンクリート製造設備能力(240m³/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181m³/h(28時間連続稼働)と高い打設速度を達成した。

SP-TOM 1条+18tCC 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

- 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

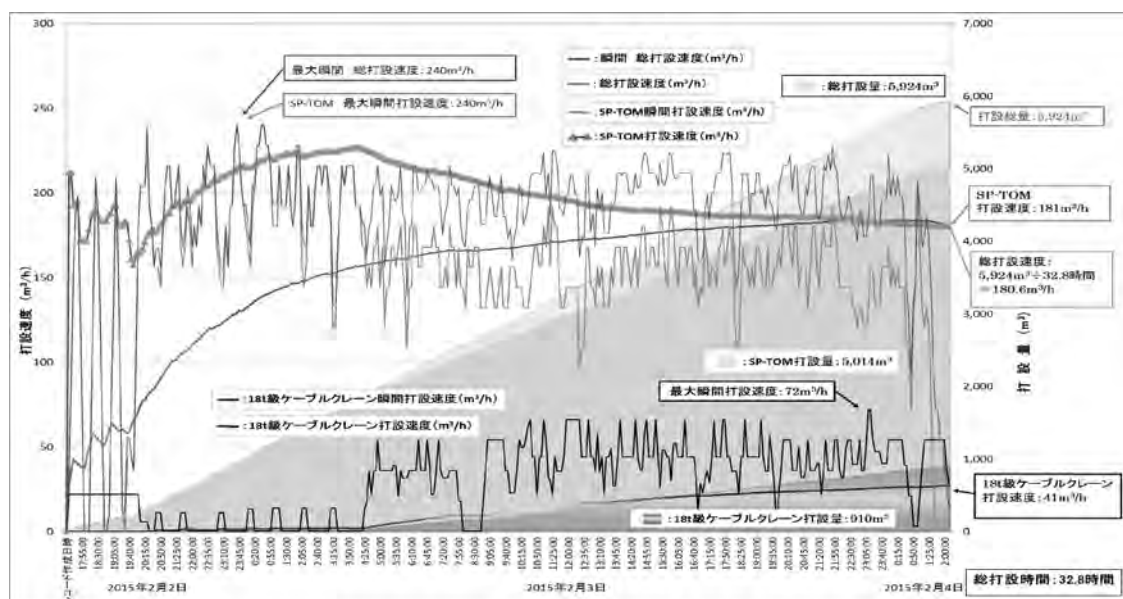


図-6 巡航 RCD 工法で堤体コンクリート（標高 369.5m）を打設した時の打設速度