SCプレミアムベルコン®の開発・実装・展開

清水建設(株)　○星野　翔太朗　長谷川　悦央
岩渕　真，山下　哲一
国土交通省　岡部　浩司

1．はじめに

近年，建設業における働き方改革が進められ，2024 年度より労働基準法において時間外労働に上限が定められた。ダム工事積算資料もその主旨を反映した改定がなされた。その中で工期への影響分析を実施した結果，さらなる効率的な機械の選定や新技術等の活用により，一層の工期縮減の検討が必要であると記されている[1)]。また，国土交通省では建設現場の生産性向上を目指し，従来の「i-Construction」の取組みを加速させる「i-Construction2.0」を推進している。

上記背景から，当社ではダム特有の施工条件に適した新しいダムコンクリート運搬設備「SC プレミアムベルコン」の開発に着手し，2022 年より福島県いわき市において実証実験を実施した。その結果，運搬性能，品質ともに大型ダムへの適用が十分可能であることが確認でき，足羽川ダムへの導入を決定した**（写真-1）**。

また，一般的なダムコンクリート運搬設備であるケーブルクレーンは熟練のオペレータが必要であるが，この「SC プレミアムベルコン」はボタンひとつで運転が可能であることから，「i-Construction2.0」の目指すオートメーション化にもつながると考えている。

本稿では，福島県いわき市での実証実験ならびに足羽川ダムでの実装状況と今後の展開について報告する。

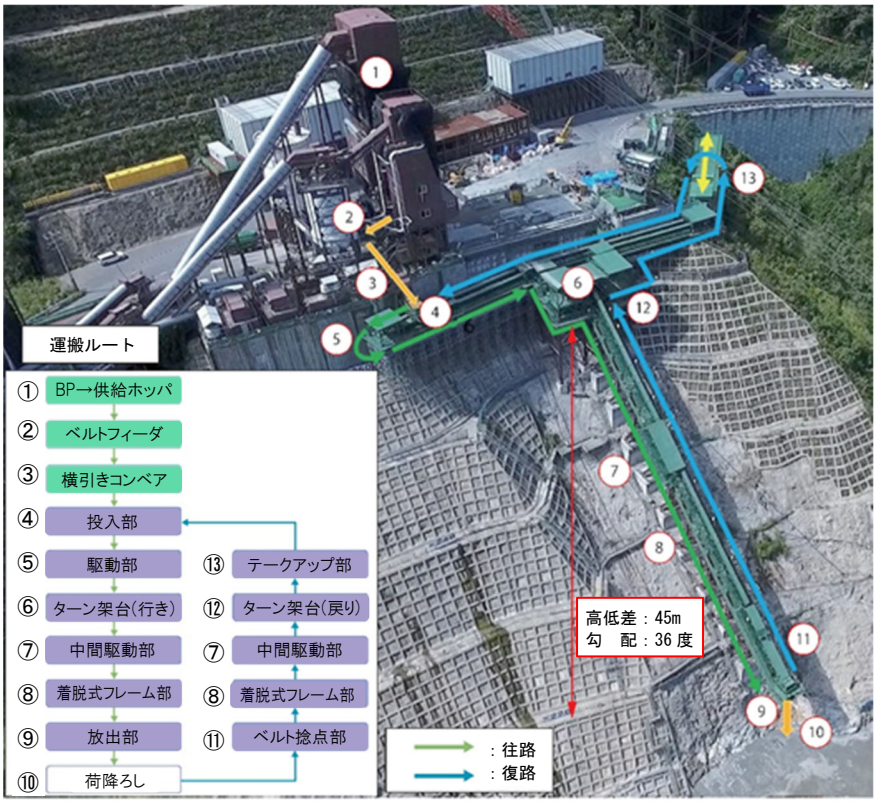


写真-1　SCプレミアムベルコン全景（足羽川左岸ダムサイト）

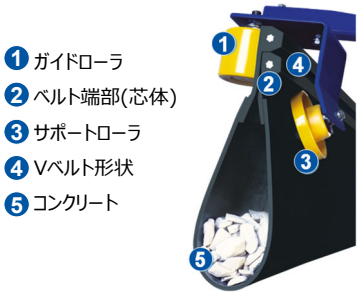


図-1　袋状ベルトコンベア

キーワード：コンクリートダム，コンクリート運搬設備，i-Construction2.0，生産性向上，働き方改革
連絡先　〒910-2513　福井県今立郡池田町寺島 21-41-1　TEL:080-6400-8923

２．実証実験（福島県いわき市）

(1) 袋状ベルトコンベヤ（図-1）

本開発は，ドイツの Continental Industry Contitech 社の技術である袋状ベルトコンベヤから発想を得た。これまで本ベルトコンベヤは，採石場等で 20 度程度の勾配まで土石を運搬した実績は豊富にあった。しかし，ダム工事で求められる「急勾配（45 度程度）での運搬」「高い運搬能力（200m³/h 以上）」「材料分離等の品質への影響が少ない」を実証する必要があった。急勾配を運搬するための「設備の改造」を実施しながら，実証試験で能力と品質の確認を行った。

(2) 実証試験（福島県いわき市）内容

実証試験は，2022 年 3 月～2023 年 1 月に実施し**（写真-2）**，下記内容について確認した。

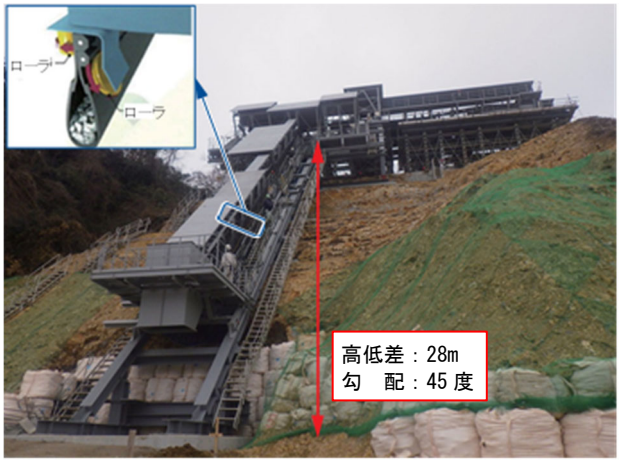


写真-2　実証試験全景（福島県いわき市）

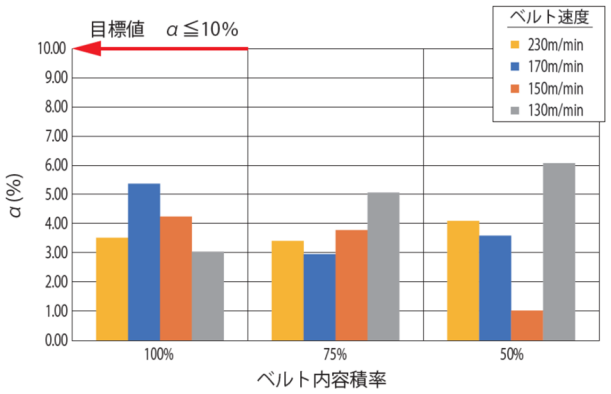


図-2　下向き 45 度運搬試験結果
（ベルト速度とベルト内容積率の組合せ 12 ケース）

a) RCD コンクリート運搬試験

RCD コンクリートを模擬した材料（石灰石微粉末・骨材・水を混合：以下模擬 RCD）を運搬し，ベルトスピード 150m/min で稼働し，運搬能力 210m³/h（500t/h）を確認した。

試験水準は，足羽川ダムでの様々な使用状況を想定し，ベルト速度(130，150，170，230m/min)とベルト内容積率(50，75，100%)の組合せ 12 ケースとした**（図-2）**。

b) 品質確認項目

模擬 RCD 運搬試験における品質確認項目を既往の研究[2)]より『材料運搬前後の 40mm 以上の粗骨材量差』を用いて評価した。下記に評価式を示す。

$$\propto = \frac{\theta 1_{G40} - \theta 2_{G40}}{\theta 1_{G40} + \theta 2_{G40}} \times 100\ (\%) \quad (1)\text{ 式}$$

$$\theta_{G40} = \frac{W_{G40}}{W_{con}} \times 100\ (\%) \quad (2)\text{ 式}$$

ここに，

α：40mm 以上の粗骨材量差

$\theta 1_{G40}$：運搬前の 40mm 以上の粗骨材の割合

$\theta 2_{G40}$：運搬後の 40mm 以上の粗骨材の割合

W_{CON}：採取試料の重量

W_{G40}：40mm 以上の粗骨材重量

材料運搬前後の粗骨材量差について，上記既往の研究[2)]より目標値を α≦10%に設定し，運搬前後の材料分離抵抗性を確認した。

c)試験結果（下向き 45 度)

各試験水準で 3m^3/回の運搬試験を 3 回実施した。その平均値を示す**（図-2)**。運搬速度，容積率による顕著な傾向は見られないものの，いずれの水準においても α 値の目標値である 10%以下を満足する結果であった。また，すべての試験水準において放出部のベルトが開く位置で模擬 RCD の挙動を動画撮影し，確認した**（写真-3)**。目視確認においてもベルト内材料は形状が保持されており，材料分離を抑制していることが確認できた。袋状にしっかりと包んで運搬するとはいえ，ベルトコンベヤ内面でコンクリートが滑らないかが懸念されたが，ベルトコンベヤ内部で材料が逸走することはなく，品質を確保して安全に運搬できた。

d)高速運搬試験

続いて，SC プレミアムベルコンの最大運搬能力を確認した。ベルト速度は 130m/min，150m/min，170m/min，200m/min，230m/min で実施した。230m/min でベルト挙動が少し不安定になったことから，全く問題なく安定していた 200m/min を最速仕様とし，その際の運搬量は以下の通り算定した。

$Q = 60 \times A \times V \times \gamma 1 / \gamma 2$

ここに

Q：運搬量(m^3/h)

A：ベルト断面積(m^2)

V：ベルト速度(m/min)

γ1：締固め前の単位体積重量(t/m^3)

γ2：締固め後の単位体積重量(t/m^3)



写真-3　放出部材料状況

ベルト速度 200m/min，ベルト断面積 0.0333m^2，γ1＝1.70，γ2=2.42 から，下り急勾配（45 度）の最大運搬能力は Q=280m^3/h となる。

e)ヘッドフレーム引き上げ試験

堤体コンクリートの打設では，打設進捗に伴い堤体の打設面が上昇してくるため，運搬設備を引き上げる必要がある。このため，SC プレミアムベルコンは，着脱可能なフレーム（着脱式フレーム L=3.0m）を設置した**（写真-4)**。そのフレームを撤去し，ヘッドフレームを引き上げることで打設進捗に追随する構造とした。

2023 年 1 月，実証試験機で，着脱式フレームの撤去，ヘッドフレームの引上げを実施し，約 2 時間で撤去を完了できることを確認した**（写真-5)**。



写真-4　着脱式フレーム引抜き



写真-5　ヘッドフレーム引上げ

f)上向き（20 度）運搬試験

古河産機システムズ（株）小山工場（栃木県）において，上向き（20 度）運搬試験を実施した**（写真-6)**。

いわき市での試験と同様に模擬 RCD，有スランプコンクリートを用いて行い，運搬が適切に行われること，運搬の前後で品質変動がないことを確認した。



写真-6　上向き運搬実証試験全景（栃木県）

３．足羽川ダム本体建設工事への実装

(1) 実装概要

足羽川ダムでは，RCD 工法による打設を 2024 年度から予定していたため，それに向け，前年度より設計・計画を進めた。基礎工事は 2023 年 10 月に着手し，冬期休止中ならびに金曜夜勤等，打設工程に影響ない範囲で施工した。2024 年 9 月に設置が完了し，試運転調整を開始した。その際，RCD コンクリート運搬前後の品質（α 値，VC 値，圧縮強度）ならびに打設場所での締固め後密度を測定した結果，いずれも規格値内であることを確認でき，コンクリート運搬を本格的に開始した。打設箇所へは，SC プレミアムベルコンから堤体上に配置したグランドホッパを介してダンプトラックに投入した後，堤体上を走行して運搬した**（写真-7，写真-8）**。

また，堤体打設面の上昇に対応するためのスライドアップ分は，**写真-1**⑬のテークアップ部上でコンベヤ端部を水平移動することで対応した**（写真-9）**。



写真-7　グランドホッパを介して
ダンプトラックへ投入



写真-8　堤体上打設箇所への運搬状況

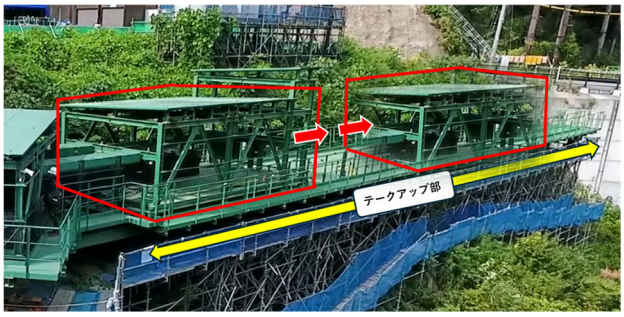


写真-9　テークアップ部移動（写真-1 ⑬拡大）

(2) SC プレミアムベルコン足羽川ダム実機での品質確認試験

品質確認は，発注者に様々なご指導，ご承認をいただきながら**図-3** に示すフローに従い，STEP1，2 の 2 段階で実施した。STEP1 では，運搬前後において試料（RCD コンクリート・Gmax80mm）を採取し，それぞれの試験値の比較を行った。材料の荷卸しの状況を**写真-10** に，試験項目一覧を**表-1** に示す。性状の変化として VC 値ならびにスランプ，空気量，単位容積質量を確認した。

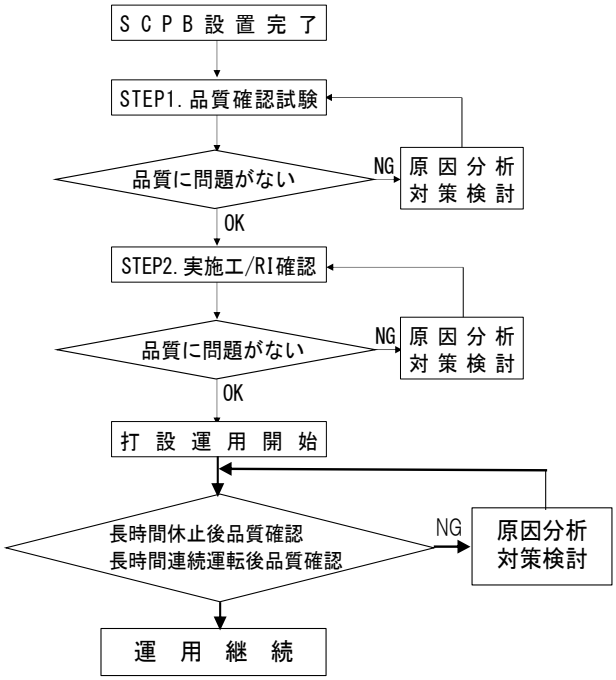


図-3 品質確認試験フロー



写真-10　品質確認試験時 RCD コンクリートの状況

表-1　試験項目一覧

試験項目	試験方法	備　　考
VC値	JSCE-F 507	20±10 (s)
空気量	JIS A 1128	1.5±1 (%)
単位容積質量	JIS A 1116	2.3以上 (t/m^3)
材料分離抵抗性 粗骨材量(G40～80)の差	JIS A 1119 を参照	α≦10%とする
圧縮強度	JIS A 1132 JIS A 1108	実績値から材齢７日で判断 供試体は７,28,91日分採取

表-2　運搬前後の品質確認結果（長時間休止後）

	運転日	試験時間	VC値	空気量	単位容積質量	CT	α
			20±10 (s)	1.5±1 (%)	2.3以上 (t/m^3)	(℃)	10以下 (%)
実装開始時	9/27	16:00	19	1.0	2.470	25	5.6
		16:30	25	1.3	2.456	24	
長時間休止後再開時	11/19	14:30	19	1.7	2.464	25	5.0
		15:30	28	1.4	2.486	24	

材料分離に対する評価（α 値）は，**２．(1)a)** と同様に検証した結果，規格値内であることを確認した。また，VC 値，空気量，単位容積質量等の性状も運搬前後ともに規格値内であることを確認した。

硬化後の物性確認として，材齢 91 日の強度を測定し満足することを確認した。

STEP2 として，初回施工時において，SC プレミアムベルコンを使用して運搬したコンクリートで打込みを行う範囲を決めた。撒き出し，転圧を完了した箇所において RI 測定を行い，規格値を満足することを確認した。

維持管理は，運搬終了後にベルトコンベヤを空荷運転して SC プレミアムベルコンへの投入口（**写真-1④**）で全線を水洗いし，ベルトコンベヤにモルタル分が付着していないことを確認した。長時間休止後の運転再開時も，同じ場所から散水してベルトコンベヤ全線を湿潤状態にして運搬を開始した。その際の品質もすべての項目で規格値内であることを確認している（**表-2**）。2025 年 6 月運搬再開時に，長時間連続運転後において規格値を満足していることを確認した。

(3) SC プレミアムベルコンを活用したダムコンクリート運搬全体パッケージの構築

SC プレミアムベルコンは，左右岸アバット等急傾斜部での大量運搬に最適なシステムであるが，ダム工事においてはバッチャープラントで製造したコンクリートを堤体上の打設現場まで，安全かつ安定的に運搬する一連のパッケージとしてシステムを構築する必要がある。そこで，足羽川ダムでは想定されるリスクを抽出し，その対策を実施することで，最大運搬能力での連続運搬時間増を目指した。

a) 想定されるリスクとその対策（その１）

最も懸念されるリスクとしては，不測のトラブルで打設が中断する等により，袋状ベルトコンベヤ内にコンクリートが残っている状態で停止することである。ベルトフィーダ～横引きコンベア～SC プレミアムベルコンにかけて最大約 4m^3 のコンクリートが積載されるが，グランドホッパ容量が 12m^3 あるためその最大残量を 8m^3 とし，監視カメラを設置してバッチャープラントでの製造を制御した（**図-4**）。

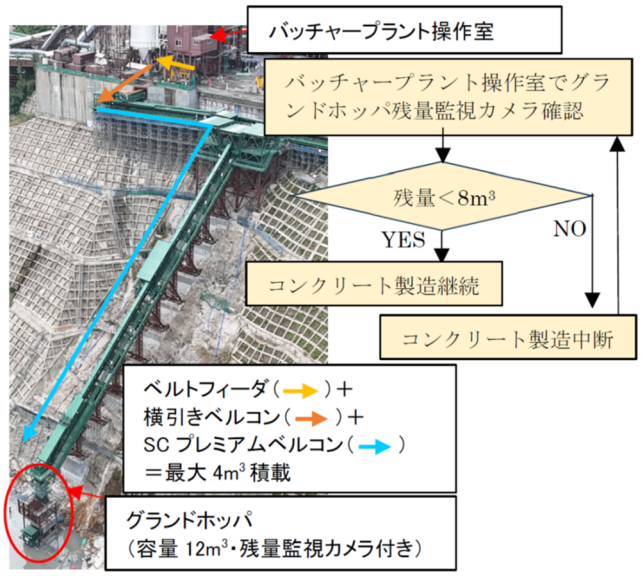


図-4　SC プレミアムベルコン運転管理フロー

b) 想定されるリスクとその対策（その２）

二つ目のリスクは，SC プレミアムベルコンの過積載である。これを防止するためにコンクリート投入口付近に過積載センサーを設置したが，これが作動して停止する事象が多く発生した。本システムではコンベヤが開いて閉じる区間は 5m程度あり，その間に停止すれば安全を確保できることから，過積載感知時間を瞬時から連続 1 秒間とした。また，急停止によるコンベヤのズレが蓄積することのないよう，傾斜部に沿って設置していた約 3m 毎のローラをトップローラセット（挟込みガイドローラとトップローラを付加）（**写真-11**）に変更した。これらの対策により，その後は停止することなく安定して連続運搬することができた。なお，万が一急停止した際も，コンベヤ内部のコンクリートが逸走しないようベルトを両サイドから挟むロック装置（**写真-12**）を傾斜部に 8 か所設置し安全対策を万全とした。

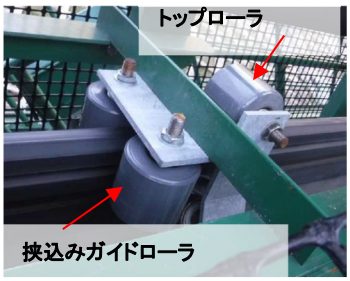


写真-11　トップローラセット



写真-12　ロック装置

c)想定されるリスクとその対策（その３）

三つ目のリスクは，SC プレミアムベルコンが最大能力を発揮しても，堤体上でのコンクリート運搬，敷均し，締固めとバランスがとれず，最大運搬能力での連続稼働時間が少なくなることである。その対策として，リフト毎に打設前検査範囲の優先順位付け，打設レーン割，コンクリート運搬用ダンプトラックの配置台数，走行路，退避，転回場所の最適化を図った**（写真-13）**。グランドホッパ設置個所のコンクリート養生時間確保が本システムの稼働開始に影響があったため，来年度は当該箇所に着岩 RCD コンクリートを優先的に打設することで、次リフトの速やかな使用開始を目指している。

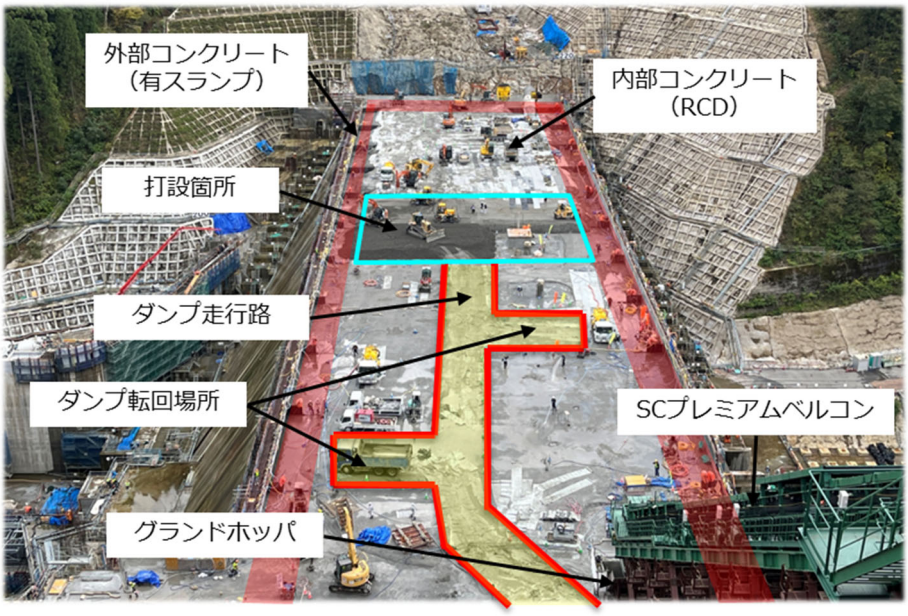


写真-13　打設レーン・堤体上ダンプトラック配置台数、走行路等の工夫

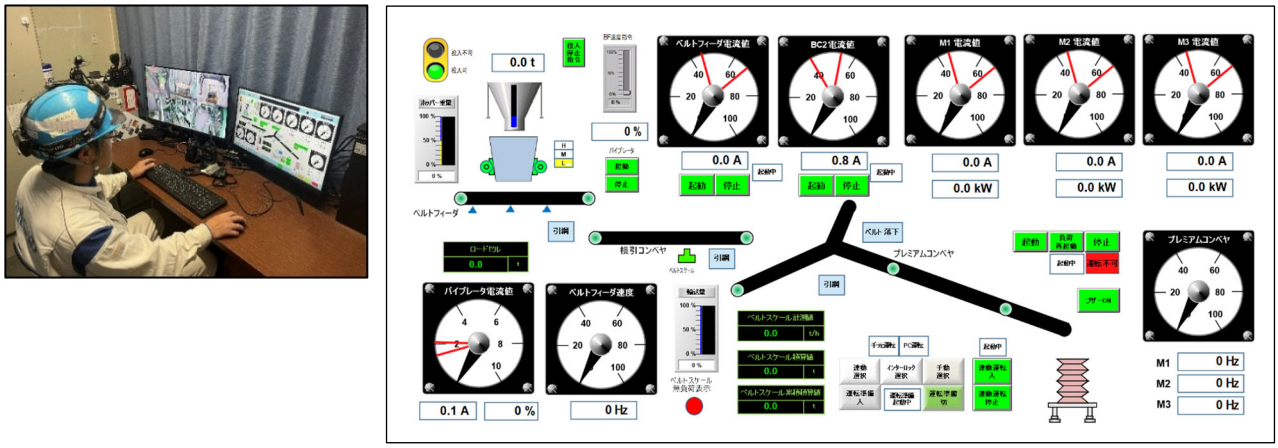


写真-14　SC プレミアムベルコン（ベルトフィーダ，横引きベルコン含む）操作タッチパネル

４．ダムコンクリート運搬実積と生産性向上

以上の様々な工夫，改善を繰り返しながら，ダムコンクリート運搬全体パッケージの構築を図り，2024 年度は 10 月の実装開始から 12 月冬期休止まで稼働させた。2025 年度 5 月からの再開後不具合の発生はなく安全，安定的に稼働することができ，累計約 2 万 m^3 を打設することができた。その際最大運搬能力はバッチャープラント製造能力同等の 180m^3/h を達成できた。SC プレミアムベルコンによる運搬時は，2 基あるケーブルクレーンをそれぞれ外部コンクリート打設と雑運搬に活用できるため，RCD コンクリート打設以外においても施工の効率化に寄与している。

５．今後の展開

国土交通省では建設現場の生産性向上を目指し，従来の「i-Construction」の取組を加速させる「i-Construction2.0」を推進している。一般的なダムコンクリート運搬設備であるケーブルクレーンは熟練のオペレータが必要であるが，この「SC プレミアムベルコン」はボタンひとつで運転が可能**（写真-14）**であることから，「i-Construction2.0」の目指すオートメーション化にもつなげていきたい。本システムは乗継ぎなく角度を変更でき，上向き運搬も可能で、バッチャープラント等仮設備配置の自由度が高くなるため，様々な条件の大型ダムへの展開が期待できる。

具体的には，利賀ダム（堤高 112m・北陸地方整備局）本体建設工事において，今年度より SC プレミアムベルコンの設置を始めている。利賀ダムはダムサイトが急峻, 狭隘で, 各種設備の配置に制約があることから，設置自由度の高い SC プレミアムベルコンの効果がより発揮できている**（写真-15）**。運搬する高低差は足羽川ダムの 2 倍程度あり，RCD コンクリートに加え有スランプコンクリートの運搬も視野に計画中である。

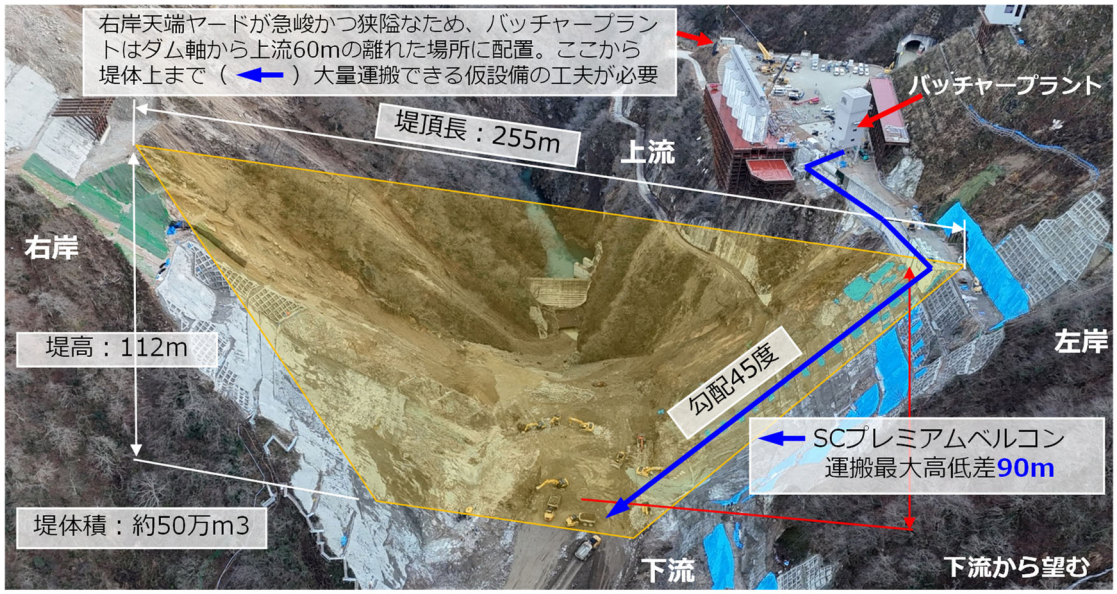


写真-15　利賀ダムへの展開状況

６．おわりに

本技術の開発にあたり，足羽川ダム本体建設工事への実装をご快諾いただくとともに，ご指導賜りました近畿地方整備局足羽川ダム工事事務所の皆様を始め，関係各位に心から感謝の意を表明する。

参考文献

1）ダム工事積算資料の改定の概要：国土交通省水管理・国土保全局 治水課 2021 年 3 月

2）田代民治，大内斉，坂田昇，渡邉賢三：コンクリートダムの高速施工に対応する運搬方法，コンクリート工学，Vol.53，No.12，pp.1051～1057，2015.12