

巡航RCD工法のさらなる合理化への取組みと施工実績

鹿島建設株式会社 正会員 林 健二 八重尾 康介 内田 典男 松本 信也
寺内 健二 取埴 剛 菅井 貴洋 ○上田 翔

1. はじめに

五ヶ山ダムは、福岡県と佐賀県の県境の脊振山に発し、博多湾に注ぐ二級河川那珂川に福岡県が建設を進めている堤高 102.5m、堤体積 935,000m³ の大規模重力式コンクリートダムである。

本工事では、最新技術である「巡航 RCD 工法」を初めて全面的に採用して堤体を建設しており、RCD 端部法面締固め方法の改善や連続施工など「巡航 RCD 工法」のさらなる合理化に取り組んでいる。巡航 RCD 工法はこれまで、嘉瀬川ダム（九州地方整備局）、湯西川ダム（関東地方整備局）、津軽ダム（東北地方整備局）にて採用されており、本現場が 4 例目となる。また、県発注のダムにおける巡航 RCD 工法の適用、並びに同工法の低標高部からの採用は国内初となる。

本工事にて進めている巡航 RCD 工法の施工実績、並びに新たに開発した端部法面締固め機による施工の合理化について以下に示す。



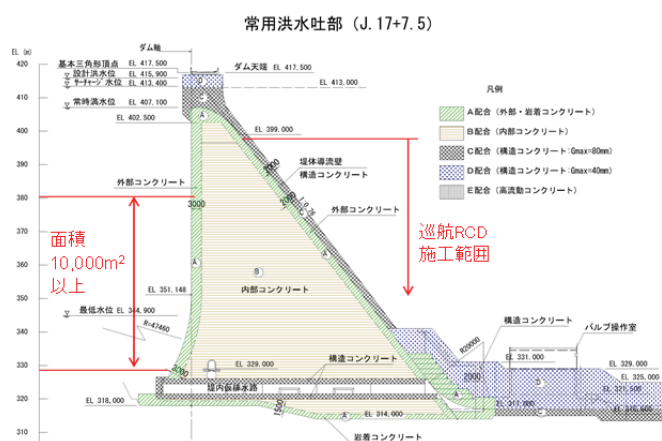
写真-1 五ヶ山ダム全景（2015年1月撮影）

2.2 工事諸元とダムの特徴

五ヶ山ダムの諸元を表-1 に、配合区分図を図-1 に示す。EL330m～EL380m の 50m 区間においてリフト面積が 10,000m² 以上（このうち RCD 用コンクリートの面積が約 9,000m²）のリフトが連続しており、堤内構造物が少ないという特徴を有する。

2. 工事概要

2.1 全体工事概要



图一 1 配合区分图

工事名：五ヶ山ダム堤体建設工事

発注者：福岡県五ヶ山ダム建設事務所

施 工 者：鹿島・飛島・松本特定建設工事共同企業体

工事場所：福岡県筑紫郡那珂川町五ヶ山

工 期：2012.6.27～2018.3.15（69 カ月）

表-1 ダムの諸元

型	式	重力式コンクリートダム
堤	高	102.5m
堤	頂 長	556.0m
堤	体 積	935,000m ³
堤	頂 標 高	EL.417.5m
基	礎 標 高	EL.315.0m
洪水吐	常用洪水吐	自由越流、幅 2.6m×1 門
	非常用洪水吐 (自由越流)	幅 9.0m×高 2.5m×4 門
		幅 11.0m×高 2.5m×4 門
総	貯 水 量	40,200,000m ³
設	計 洪 水 位	EL.415.9m
	サーチャージ水位	EL.413.4m
常	時 満 水 位	EL.407.1m
最	低 水 位	EL.344.9m

2.3 施工設備

施工設備一覧を表-2に示す。五ヶ山ダムは堤内の構造物が少なく、比較的低標高部に集中していることから、左右岸方向に横断してRCD用コンクリートを連続的に運搬できる。そのため、五ヶ山ダムではSP-TOM

キーワード：巡航 RCD、FPC、インクラインベルコン、端部法面、2 リフト同時施工、SP-TOM

連絡先：〒811-1324 福岡県筑紫郡那珂川町大字五ヶ山 TEL 092-408-8556 FAX 092-408-8557

(Special Pipe Transportation Method : 写真－2) をコンクリートの主運搬設備として採用した。SP-TOMは堤体斜面上にバッチャープラントから堤体まで円管（搬送管）を配置し、円管を回転させることでコンクリートを堤体まで連続的に分離を抑えながら運搬できる設備であり、ケーブルクレーンに比べて高い運搬能力を有する。導入したSP-TOMはコンクリートの運搬能力180m³/hを目標とし、管径はφ700mm、設置勾配34°とした。また、SP-TOMの内側には運搬に伴う材料分離を抑制するための羽根が取り付けられるのが一般的であるが、五ヶ山ダムはSP-TOMの設置勾配が緩やかであることから、設置角度34°にてSP-TOM内部の羽根を取り除くこととし、高い運搬能力を付与することとした。

表－ 2 施工設備一覧

設備		設備諸元
打設設備	コンクリート製造設備	2軸強制練り 3.0 m ³ ×2 台×1 基 (低層型バッチャープラント)
	セメント貯蔵設備	1,000t(フライアッシュ置換率 20%)×1 基 600t(フライアッシュ置換率 30%)×1 基
	コンクリート運搬設備	18t 固定式ケーブルクレーン×1 基(5.5 m ³) 6.5t 固定式ケーブルクレーン×1 基(2.5 m ³) SP-TOM×1 条 (φ700)
	場内コンクリート運搬設備	40t ダンプトラック(RCD コンクリート運搬用)×3 台 10t クローラダンプ (有スラブコンクリート用)×4 台 9.0 m ³ グランドホッパー×1 基



写真－ 2 SP-TOM 全景

打ち込み、型枠とRCD用コンクリートの端部法面とのスペースに外部コンクリートを独立・後行打設する工法である。巡航RCD工法の基本的な流れを写真－ 3に示す。RCD用コンクリートを先行させることで、連続的にRCD用コンクリートを打ち込むことができ、施工機械能力が最大限活用され、打設速度が大きく向上する。また、外部コンクリートはRCD用コンクリートと独立して施工する(写真－ 4)ことで、重機の錯綜を抑制でき、安全性の向上にもつながる工法である。巡航RCD工法の本体への適用に際しては、(財)ダム技術センターで編集された「改訂版 巡航RCD工法 施工技術資料」に示されている確認試験を実施して、各種施工仕様を設定した。

3. 巡航RCD工法による施工の合理化

3.1 巡航 RCD 工法の基本的な流れ

従来のRCD工法は、施工区画ごとに上下流面の外部コンクリートを先行して打ち込んでから内部のRCD用コンクリートを交互に打ち込む工法である。これに対し、巡航RCD工法は、RCD用コンクリートを先行して



写真－ 3 巡航 RCD 工法における基本的な流れ

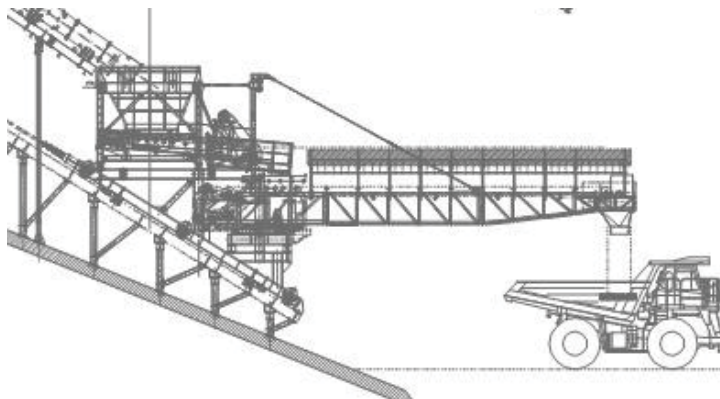
3.2 インクラインベルコン導入による2リフト連続施工

巡航RCD工法にてSP-TOMを適用する場合、SP-TOMからのコンクリート荷受け位置を回転筒出口に固定すると、回転筒出口を設置した足元を施工している時間はSP-TOMからの出荷が中断する。そこで、当工事ではこの中断を回避するためにSP-TOMの下端にインクライン式ベルトコンベヤ（図－2）を増設し、岩着部の有スランプコンクリートの施工範囲を超え、RCD用コンクリート上で連続的に荷受けが可能となるような設備を導入した。インクラインベルコンの導入によって写真－5に示すように左岸側の岩着コンクリートを施工しながら、次リフトのRCD用コンクリートを右岸側から開始する2リフト連続施工（図－3）が実現可能となった。また、図－3に示すようにベルコンを旋回（左右約30°の首振り）できる構造とすることで、水平打継面の清掃によるコンクリートの荷受け中断が生じ

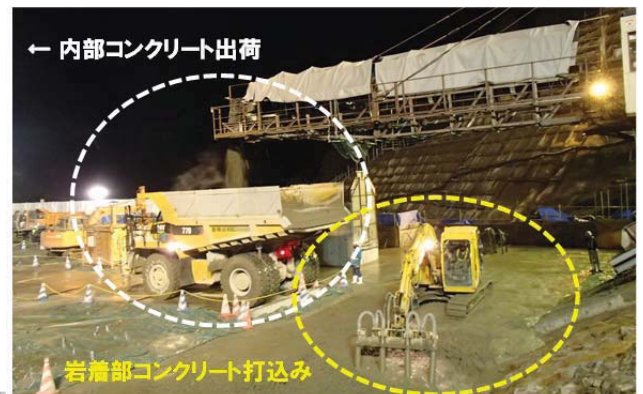
ないように工夫している。これらの工夫により、常に高い出荷速度を維持しながらコンクリートを施工できた。



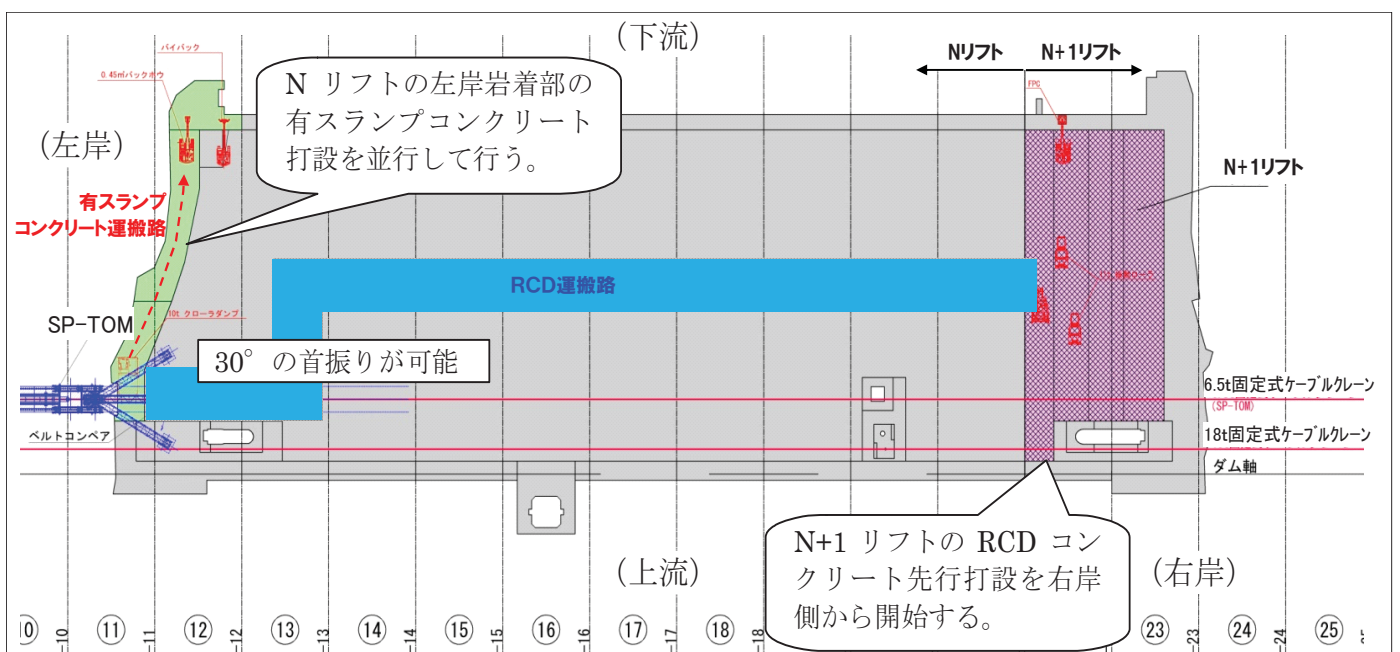
写真－4 コンクリート打込み状況



図－2 インクライン式ベルトコンベヤ



写真－5 インクラインベルコン直下の施工状況



図－3 インクラインベルコン導入による2リフト連続施工イメージ

4. 新たな端部法面締固め機の開発

4.1 開発の目的

(1) これまでの端部法面締固め手法

巡航 RCD 工法の基本技術である RCD 用コンクリートの端部法面締固め手法は、端部法面締固め専用機（以降、「二面拘束型専用機」という。）を用いて RCD 用コンクリートを勾配 1 : 0.8 で締め固めるものである。その施工手順は次のとおりである。

- 1) 法面整形に必要な削り取り分をブルドーザで余分に撒き出す（撒出しの余裕、図－4）。
- 2) バックホウにより法面勾配を 1 : 0.8 で削り取り整形する（写真－6 参照、事前整形）。
- 3) 法面勾配と撒出し厚さの確認、天端整形を行う。
- 4) 二面拘束型専用機による端部法面締固めを行う。

上記二面拘束型専用機を用いた端部法面締固め手法における課題は次の3点であった。

① 締固め機の特性から事前法面整形が必要である

二面拘束型専用機の転圧板は天端の水平部と端部法面の 1:0.8 部の 2 面が固定されており、この 2 面を同時に締め固める機構である。ここで、RCD 用コンクリート撒出し完了時の端部法面は次のような状況である。

- ・法面勾配は安定勾配の 1 : 1.0 となる
- ・端部法面の斜面や天端面は連続して直線ではなく凹凸がある
- ・法尻には大玉がこぼれ落ちている

このため、敷均し状態では転圧板と RCD 用コンクリート端部法面が部分的にフィットせず締固めが不十分になるため、事前に 1:0.8 勾配に整形することと併せ、端部法面の斜面や天端面も連続して直線的に整形する必要があった。

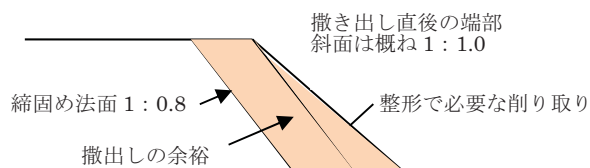
これより、過去に巡航 RCD 工法を適用したダムでは、写真－6 や写真－7 に示すように、RCD コンクリートの撒出し完了後、端部の斜面は下面で 50cm 程度削り取って 1:0.8 に整形し、天端も平面的に平滑に整形し、二面拘束型専用機による端部法面が確実に実施できるように施工している。

② 法面整形時に使用するバックホウのブームと下流面型枠が干渉する

二面拘束型専用機は、端部法面の事前整形に使用するバックホウのブームと下流面型枠が接触するため、0.25m³ バックホウを使用しても、型枠からの水平距離を 3.5m 確保する必要がある、設計から要求される外部コンクリートの厚さ（当工事では 2.5m）に対し、1m 程度、外部コンクリートを厚くする必要があった。

③ オペレータの技量が要求される

二面拘束型専用機は、締固め板 2 面を端部面の天端と法面に隙間なく当てる必要があり、オペレータに技量が要求された。また、転圧板の微調整など、補助員が 1 名以上必要であった。



図－4 端部法面の事前整形説明図



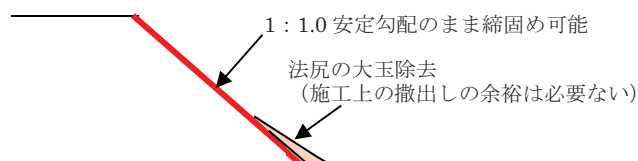
写真－6 端部法面の事前整形状況



写真－7 二面拘束型専用機による締固め状況



写真－8 FPC (Flat Plate Compactor)



図－5 FPC による端部法面事前処理 説明図

(2) 新手法開発の着目点

上記のように、二面拘束型専用機による端部法面締固め手法の3つの課題に対し、さらなる作業性の改善を目指すことを目的として、1台のマシンにて法面を整形でき、かつ任意の形状にて端部法面を締め固められるよう、写真-8に示す一面拘束のプレート型端部法面締固め機（Flat Plate Compactor、以下、FPC）を開発した。FPCは1面のプレートでRCDコンクリート端部法面を締め固める機構であることから、ブルドーザの敷均し直後の自然法面勾配1:1.0のままで締め固められる可能性があり、次の点の改善が期待できる。

- ・端部法面を1:0.8で正確に事前整形する必要がないため、これまでのような大幅な撒き出しの余裕と、その部分の削り取りが不要となる（図-5）
- ・FPCに付属の法面整形バケットにて大玉を除去する程度とした場合、バックホウが1台削減できる
- ・2面固定の転圧板を整形した法面にフィットさせることに比較し、オペレータ負荷の軽減、補助作業員の省力化が図れる。

以上のことを踏まえ、堤体コンクリート施工前の試験施工にてFPCの締固め特性を評価した。

4.2 施工実験概要

試験区画を図-6に、試験ケースを表-3に示す。8.8m×9.6m×高さ1mの区画に、RCD用コンクリートをブルドーザにて層厚25cm×4層で撒き出した。撒き出すコンクリートのフレッシュ性状によって、特に端部法面の表面の仕上がりには差が生じる可能性を鑑み、VC値を実際の施工にて想定されるVC値10秒及び20秒に調整した。撒出し完了後、FPCに取り付けたバケットにて端部法面を整形した。整形する法面の勾配は、二面拘束型専用機と同じ1:0.8、及びブルドーザによる撒出し完了時の安定勾配である1:1.0の2つの勾配にて整形した。法面整形後に、端部法面を締め固めた。従来の二面拘束型専用機による締固め時間は30秒と設定されていた。これを踏まえて、FPCによる端部締固めは、法肩→法面の順に行うこととし、締固め時間は法肩、法面をそれぞれ15秒ずつ、および30秒ずつの2パターンで試験を行った。端部法面整形完了後、11t振動ローラにて端部以外の箇所（一般部）を転圧した。施工完了後、RCDダムコンクリート用RI密度計にてコンクリートの密度を測定した。また、硬化後に図-6に示した一般部、および端部法面からφ200mmのコアを採取し、コアの密度を測定した。なお、端部法面からのコアについては、FPCによる締固め度が端部法面

の全域にわたって評価できるよう、図-6に示すように、法面の中央部と法尻近い端部から採取した。

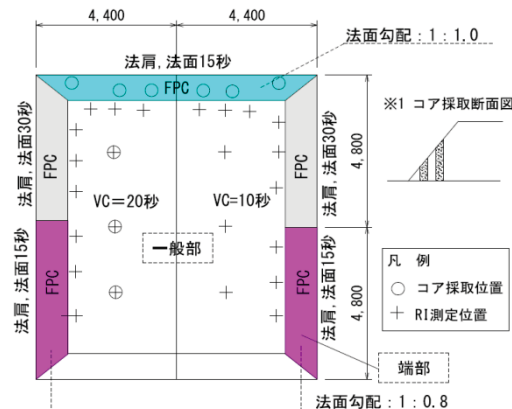


図-6 試験区画

表-3 試験ケース

VC 値	場所	締固め機械	法面勾配	締固め時間
10s	一般部	11t 振動ローラ	無振動 2 回 振動 12 回	
	端部法面	FPC	1 : 0.8	15s
				30s
			1 : 1.0	15s
20s	一般部	11t 振動ローラ	無振動 2 回 振動 12 回	
	端部法面	FPC	1 : 0.8	15s
				30s
			1 : 1.0	15s



写真-9 端部締固め時の状況（VC 値 10 秒、法面勾配 1 : 0.8、締固め 15 秒）



写真-10 端部締固め時の状況（VC 値 10 秒、法面勾配 1 : 1.0、締固め 15 秒）

4.3 試験結果

(1) 施工中の状況

VC 値 10 秒、法面勾配 1 : 0.8、締固め 15 秒における端部締固め時の法面の状況を写真－ 9 に示す。法肩部の締固め時に法面の表面が薄く崩れる状況が見られた。また、法面部の締固め時においてプレート脇の法面が流動し、盛り上がる現象が認められた。これは締固め時間 15 秒、30 秒のいずれのケースにおいても認められた。一方、RCD 用コンクリート敷均し時の安定勾配である 1 : 1.0 の端部法面を締め固める際には、写真－ 10 に示すように法面が崩れることなく締固めが可能であった。また、法尻に集中した大玉は FPC に取り付けたバケットにて問題なく除去でき、良好に整形を行うことができた。

(2) RI 密度

RI による密度測定結果一覧を表－ 4 に一覧で示す。FPC によって締め固めた端部法面は、コンクリートの VC 値や法面勾配、締固め時間によらず、いずれのケースにおいても振動ローラで締め固めた一般部と同等程度の密度が得られることが確認できた。

(3) コアの外觀および密度

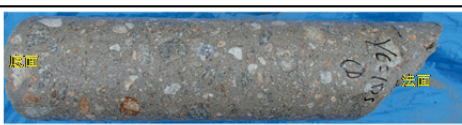
VC 値 10 秒、法面勾配 1:1.0、締固め 15 秒の端部法面から採取したコアの外觀の一例を表－ 5 に示す。いずれのコアもジャンカ等はなく、下層まで十分に締め固められていることが確認できた。また、VC 値 20 秒の一般部、および法面勾配 1 : 1.0、締固め 15 秒の端部法面から採取したコアの密度測定結果を図－ 7 に示す。法面勾配 1 : 1.0 の箇所から採取したコアについては、密度の高さ方向の分布も評価できるよう、高さ方向に 3 分割（上下）もしくは 4 分割（上中下）して密度を測定した。この結果より、FPC にて RCD 用コンクリートを法肩、法面それぞれ 15 秒ずつ締め固めることによって、高さ方向に均質で、振動ローラと同等の密度が得られるコンクリートを施工可能と考える。

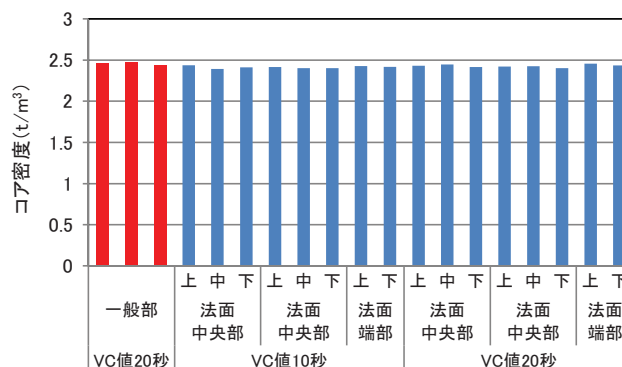
本検討によって確認された施工仕様（法面勾配 1:1.0、締固め時間は法肩、法面の順に 15 秒ずつ）にて、当工事に FPC を適用した。これによって、端部法面整形の合理化が図れるとともに、RCD 用コンクリートを打ち止める場合にはこの FPC を用いて自由な形に整形できるため、施工の自由度が向上した（写真－ 11）。

表－ 4 RI 密度測定結果

VC 値	場所	締固め機械	法面勾配	締固め時間	密度 (t/m ³)	密度比*
10s	一般部	振動ローラ	—	6 往復	2.392	1.00
	端部法面	FPC	1:1.0	15s	2.347	0.98
				30s	2.373	0.99
			1:0.8	15s	2.369	0.99
20s	一般部	振動ローラ	—	6 往復	2.372	1.00
	端部法面	FPC	1:1.0	15s	2.368	1.00
				30s	2.399	1.01
			1:0.8	15s	2.386	1.01

表－ 5 コア外觀の一例

区分	コア写真	評価
表 法面中央部		良
裏 法面中央部		良



図－ 7 コアによる密度測定結果



写真－ 11 RCD コンクリートの傾斜打止め状況

5. 施工実績

5.1 品質面の評価

(1) 降雨時の打ち止め

従来の RCD 工法では、降雨発生が予想される場合、横継目を設置して打ち止める必要があり、突発的な降雨に対し早急な対応が困難である。一方、巡航 RCD 工法は、任意の箇所で打ち止めが行えるため、突発的な降雨でも早急に対応でき、コンクリートの品質低下を防止できた。

(2) 施工の確実性

従来の RCD 工法では、止水性、耐久性を要する上下流面のコンクリートと RCD コンクリートの接続部で、縫い合わせが必要であった。巡航 RCD 工法では、外部

コンクリートを独立して施工することから、縫い合わせが不要となり、施工の確実性が向上した。

5.2 安全面の評価

RCDコンクリートと有スランブコンクリートの打設は、施工重機が異なるため、別々の打設チームに分かれて行う。従来のRCD工法では、2つのチームが同一場所で作業する時間帯が発生するため、別のチームの施工重機に対する安全性確保が課題となる。これに対し、巡航RCD工法では、2つの打設場所が完全に分離されているため、施工の安全性が格段に向上した。

5.3 工程面の評価

(1) 2リフト同時施工による打設速度の向上

インクラインベルコンの導入により、2リフト同時施工が可能となったが、従来施工の場合、岩着コンクリートの施工後、約12時間程度のインターバル（岩着コンクリートの養生）が必要であり、打設速度が伸びない要因の一つであった。インクラインベルコンを使用した施工実績（図－8）と従来の施工スケジュール（図－9）を比較し、打設速度を計算すると、約28%の打設速度向上が得られる。

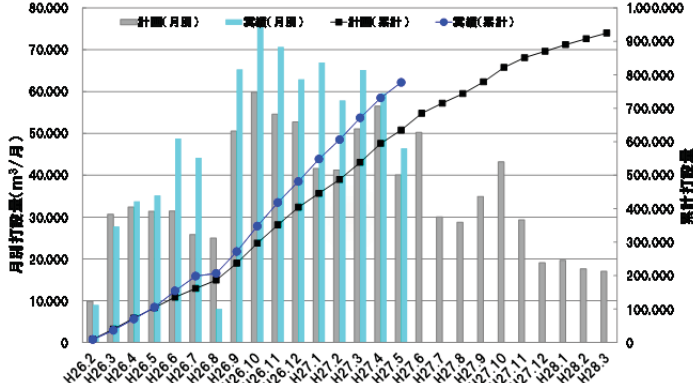
(2) FPCの採用による作業員の削減

従来の二面拘束型専用機では、法面整形のバックホウにオペレータと補助員が各1名、二面拘束型専用機と補助員が各1名の計4名が必要であった。これに対し、FPCは、法面整形と締固めを1台で行うため、オペレータと補助員が各1名の計2名となり、端部締固めに必

要な作業員を半分に削減できた。

6. おわりに

五ヶ山ダムでは、堤内を分断する放流管等の堤内構造物の施工がほぼ完了したEL329.5m（2014年6月頃）より、FPCを本格的に導入して巡航RCD工法の施工を開始した。夏季には天候不良によって打設量が伸び悩んだものの、同規模のダムに比べて設備を省力化しつつ、施工設備の持つ能力を最大限に発揮できる計画と、巡航RCD工法の採用、さらにFPCを用いた施工の合理化により、2014年9月以降は月打設量が60,000m³を超えた。標準工程である26カ月打設工程に対して、2015年5月末現在、約142,000m³（74打設日、暦日114日）ほど上回る打設量となっている。今後も引き続き安全に留意しながら高速施工を継続するとともに、施工実績に関するデータを蓄積していく。



図－10 堤体コンクリート施工実績

区分			日時(2015年1月)																		打設量(m³)	備考					
			6日				7日				8日				9日				10日				11日				
			0	6	12	18	0	6	12	18	0	6	12	18	0	6	12	18	0	6			12	18	0	6	
50LF	(EL362.5 ~363.5)	RCD コンクリート																						8,334	(59.0h)	141.2m³/h	
		外部 コンクリート																							2,876	(56.0h)	51.3m³/h
51LF	(EL362.5 ~363.5)	RCD コンクリート																							5,160	(37.5h)	137.4m³/h
		外部 コンクリート																							1,188	(26.5h)	44.8m³/h

図－8 インクライン式ベルトコンベヤを使用した場合の施工実績

区分			日時(2015年1月)																		打設量(m³)	備考				
			6日				7日				8日				9日				10日				11日			
			0	6	12	18	0	6	12	18	0	6	12	18	0	6	12	18	0	6						
50LF	(EL362.5 ~363.5)	RCD コンクリート																					8,334	(59.0h)	141.2m³/h	
		外部 コンクリート																					2,876	(56.0h)	51.3m³/h	
51LF	(EL362.5 ~363.5)	RCD コンクリート																					2,336	(17.0h)	137.4m³/h	
		外部 コンクリート																					224	(5.0h)	44.8m³/h	

図－9 従来工法の施工スケジュール（仮定）