

湯西川ダム本体建設工事における RCD 工法高速施工への取り組み

鹿島建設(株)	正会員	大内	斉
鹿島建設(株)	正会員	後閑	淳司
鹿島建設(株)	正会員	福井	直之
鹿島建設(株)	正会員	戸澤	清裕
鹿島建設(株)	正会員	○岡山	誠

1. 目的

湯西川ダムは、栃木県日光市西川に建設される重力式コンクリートダムで、堤高119m、堤頂長320m、堤体積約105万m³という大規模ダムである。堤体コンクリート打設工法としては、RCD工法（頂部はELCM）が適用された。RCD工法は重力式コンクリートダムの合理化施工法として確立された工法である。近年更なる合理化を目指しRCD用コンクリートを外部コンクリートに先行し打設することにより高速施工を可能とした「巡航RCD工法」が開発され、嘉瀬川ダム（九州地方整備局）において最初に採用された。湯西川ダムでは、工期短縮を目的にEL621m～EL640m（約18万m³）で本格的に導入した。採用に当っては、数々の問題点を解決するため、場外にて事前の試験施工を実施するとともに、新施工技術も開発した。

本報では、巡航RCD導入時の課題と対応策、事前の試験施工、新施工技術の開発、及び施工実績について報告する。

2. 巡航RCD工法の適用計画

2. 1 従来のRCD工法と巡航RCD工法の違い

「従来のRCD工法」は、打設区画毎に外部コンクリートと内部RCD用コンクリートを交互に打設し、相互の一体化を確保しながら進める工法である。

「巡航RCD工法」は、RCD用コンクリートを先行打設し、外部コンクリートはRCD用コンクリートと分離・独立した施工が可能となるため、打設開始直後から設備能力が最大限活用され、高い打設速度が維持されるとともに、打設効率の向上が図れる工法である。図-1に従来のRCD工法と巡航RCD工法のイメージを示す。

2. 2 従来のRCD工法における問題点

従来のRCD工法における問題点を以下に示す。

①外部コンクリートとRCD用コンクリート、及び各々同士の打継ぎ時間規制があり、その制約を守りながらの施工となる。そのため、手間のかかる外部コンクリートの施工速度に影響を受け、設備能力を最大限利用できないことが多い。特に打設開始直後、終了直前には顕著である。

②分割打設では、横継目に打止め型枠を設置する必要がある。打止め型枠設置やその周辺部への有スランブコンクリート打設が、打設終盤の打設効率低下の一因となっている。

③1リフト3分割での施工が最短である。

2. 3 巡航RCD工法の目標と解決すべき課題

上記を考慮した上で、巡航RCD工法適用における目標と解決すべき課題を以下に示す。

（1）巡航RCD工法の目標

①RCD打継部端部処理方法を効率化し、打設中断時間の短縮、打設可能時間の向上を図る。

②設備稼働率を向上させて1日の打設可能量を増大させる。

③連続性を確保し、3日未満で次リフトへ移行する。

（2）解決すべき課題

①RCD打継部端部処理方法：端部処理方法と打設再開時間を短縮する技術を確立する。

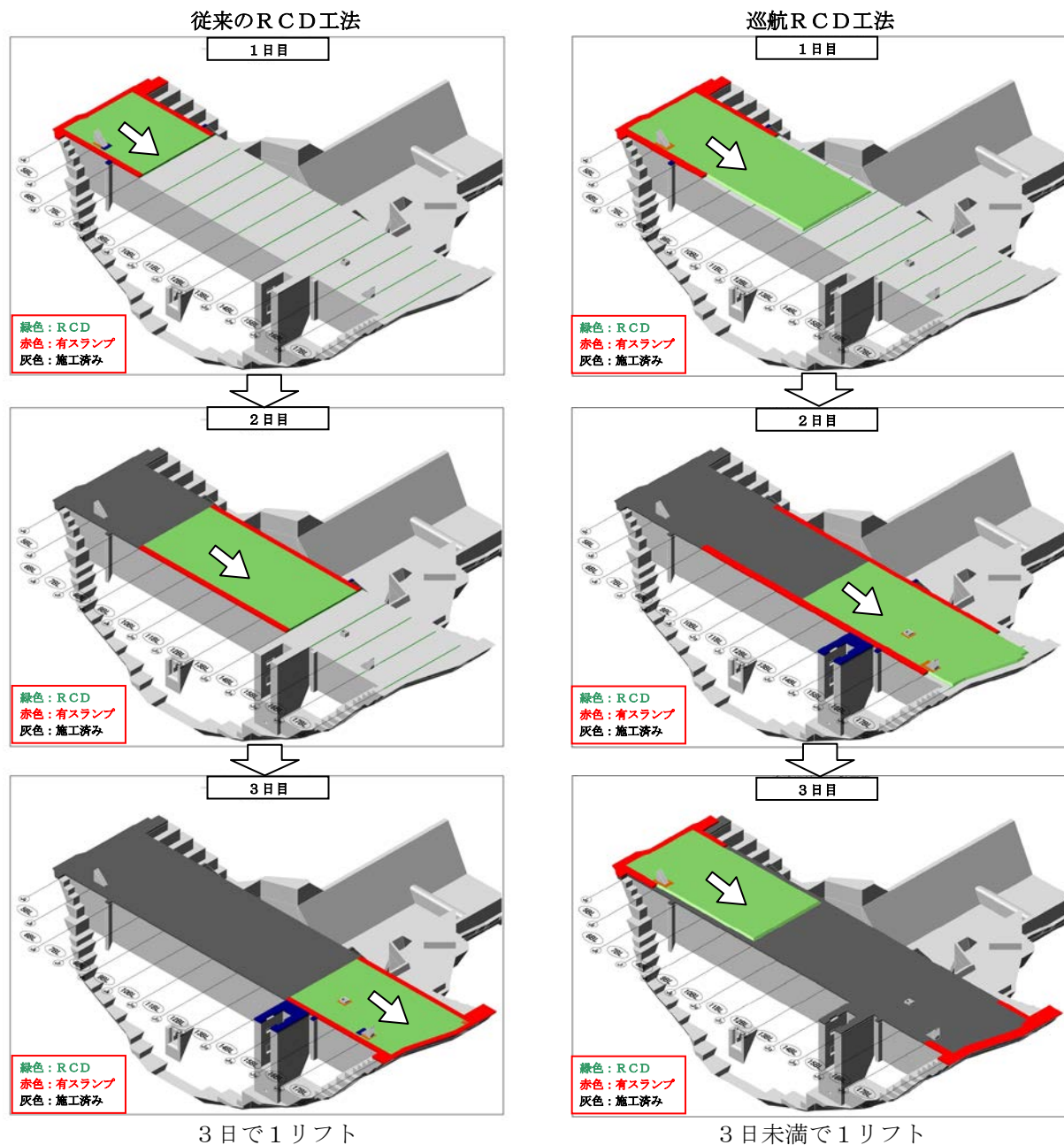
②外部コンクリートの打設：外部後行打設における打継時間規制を緩和する。

③連続打設時の資機材移動方法：連続打設に支障が生じないような資機材移動方法を確立する。

④機械・設備の点検方法：連続打設に支障が生じない、かつ安全性を損なわないように機械・設備の

キーワード 巡航RCD工法、コンクリートダム、高速施工、施工性向上

連絡先 〒107-8348 東京都港区赤坂6丁目5番地11 鹿島建設株式会社土木管理本部 TEL 03-5544-0666



図ー１ 従来RCD工法と巡航RCD工法の比較

点検方法と適切な実施時期を設定する。

- ⑤着岩部の施工：着岩部，特にフーチング部打設時には，ダンプによるコンクリート搬入が困難なため，適切な打設方法を確認する。
- ⑥SP-TOM乗継バルコン設置・撤去：SP-TOM乗継バルコンの設置・撤去時間の短縮，及び設備稼働率を向上させる。
- ⑦RCD用コンクリートの打継面処理：短い養生期間でも確実に打継面処理が可能な方法を確認する。
- ⑧早期型枠移動：連続打設を行うため，短い養生期間でも安全かつ確実に打継面処理が可能な方法を開発する。

3. 試験施工

(財) ダム技術センターで編集された「巡航RCD工法施工技術資料」¹⁾ (以下「技術資料」と表記) に従って基礎データの確認試験を行うとともに，新技術についての試験施工を行った。

3. 1 確認試験

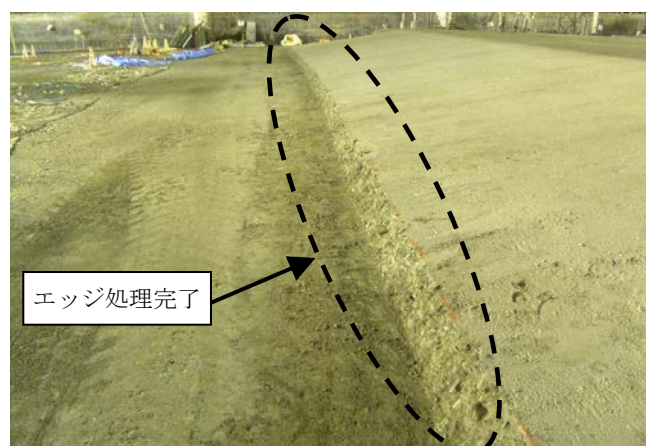
「技術資料」に従って表ー1に示す確認試験を実施した。試験結果は嘉瀬川ダムで得られたものとおおよそ同じであった。

3. 2 新技術試験(1:0.8端部法面RCD打継ぎ)

先行RCD用コンクリート打止め部に対して，後行のRCD用コンクリートを打ち継ぐ場合，これまでは「1:4.0以上での傾斜打止め」を行っていた。

表－１ 試験施工実施項目と結果

試験項目	湯西川ダム	嘉瀬川ダム
外部コンクリートの若材齢強度と積算温度の関係把握試験	型 枠 移 動 可 能 圧縮強度 1.32 N/mm^2 内部積算温度 $440^\circ\text{C}\cdot\text{h}$ 外部積算温度 $370^\circ\text{C}\cdot\text{h}$	圧縮強度 1.32 N/mm^2 内部積算温度 $421^\circ\text{C}\cdot\text{h}$
	アンカー引き抜き抵抗性確保	
	圧縮強度 2.86 N/mm^2 内部積算温度 $723^\circ\text{C}\cdot\text{h}$ 外部積算温度 $566^\circ\text{C}\cdot\text{h}$	圧縮強度 2.86 N/mm^2 内部積算温度 $1,000^\circ\text{C}\cdot\text{h}$
RCDコンクリートの端部法面締固め試験	締固め時間30秒	締固め時間30秒
RCDコンクリートの打継面処理(ソフトトリートメント)試験	水圧： 0.7 MPa 水量： $50\sim100\text{ l/m}^2$ 転圧完了後 $1.5\sim2.0$ 時間 積算温度 $45\sim65^\circ\text{C}\cdot\text{h}$	水圧： 0.7 MPa 水量： $50\sim100\text{ l/m}^2$
傾斜打止め部のエッジ処理試験	打設後4時間後 処理高を 15 cm バックホウ 0.4 m^3 級	打設後24時間以内 人力又は小型バックホウ
外部コンクリートとRCDコンクリートの一体化確認試験	一体化する 打継時間：72時間以内 (それ以上でも可能)	一体化する 打継時間：72時間以内



写真－１ 傾斜打止め（１：４．０）とエッジ処理状況

この傾斜打止め部に対して、外部コンクリートとの打継面に用いていた「１：０．８の端部締固め技術」を応用した「RCD用コンクリート同士の打継ぎ」が可能となれば、端部処理時間の短縮やエッジ処理時間の短縮、及び打設再開時処理の簡素化による打設可能時間の増加が期待できる（写真－１，２参照）。

「打継面の一体化確認試験」を実施した結果、１：０．８ 端部法面にRCD用コンクリートを打ち継ぐ場合、打継面にモルタルを塗布すれば、一体化することが確認できた。なお、１：０．８ 端部法面の締固めは専用の締固め機械を導入して実施した（写真－３参照）。品質上の留意点は、打継面にモルタルを塗布することと、新たに打設するRCD用コンクリートの法尻部のブル転を確実にすることである（写真－４参照）。



写真－２ １：０．８ 端部法面の打継ぎ全景



写真－３ １：０．８ 端部法面締固め状況



写真－４ １：０．８ 端部法面打継ぎ施工状況（ブル転）

４．適用するための対応策

４．１ RCD打継ぎ方法

試験施工により、１：０．８ 端部処理においても、打継面にモルタルを塗布することによって、問題なくRCDの打継面が一体化されることが確認された。

打設可能時間をできるだけ長く、有効に利用するために打継ぎ処理の効率化（スピードアップ）が必要である。これに対して、「技術資料」で提唱されている１：４．０ 傾斜打止め方法では、造成に４時間、硬化待ち４時間、更にエッジ処理や打設面清掃といった作業が加わり、降雨や休日による打設中断時には、１０時間以上（降雨時間除く）打設できない時間が生じることになる。

今回採用した１：０．８ 端部処理の方法では、上下流方向の法面延長が $40\sim50\text{ m}$ の場合で、造成を約２時間で完了させることに成功している。また、打設再

開時には特別な打設面清掃は行わず、モルタルを塗布することのみで打設開始ができるため、打設中断時間を約3時間と大幅に短縮することができた。

4. 2 外部コンクリートの打設

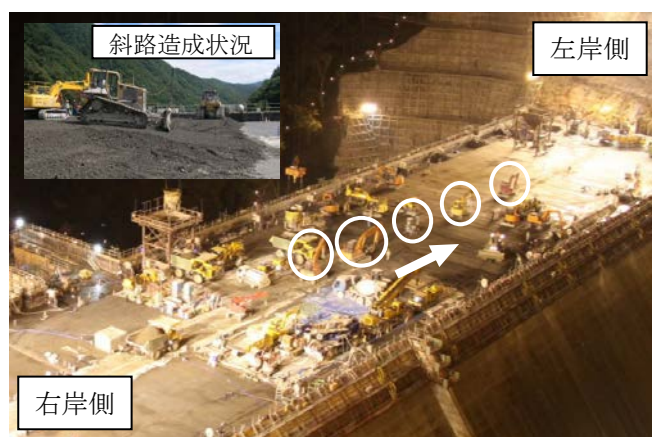
外部コンクリートの打設開始時期は、打設面走行可能となる転圧完了6時間後とした。ただし、外部コンクリートの打設速度とRCD用コンクリートの打設速度のバランスを考慮しないと、有スランプ打設がRCD打設に追いついてしまい、全体としての打設速度が低下するため、有スランプの打設開始時間は、RCDと有スランプの打設量を考慮して決定する必要がある。

4. 3 連続打設時の資機材移動方法

左岸側から連続して右岸側へ打設を進めていくと、打設面にある資機材を適切な時期に、打設中のエリアを通過して右岸から左岸に移動させる必要が生じる。資機材を右岸側から左岸側への移動させる時は、ブルドーザでRCD敷均しレーンの中に重機類が通行できる斜路を造成し、移動完了後に再度敷均し作業を行うようにすることで、作業効率の確保と品質の確保を両立させた（写真－5参照）。

4. 4 機械・設備の点検方法

連続打設の場合、1リフトの打設終了まで機械を点検・整備するような時間を設けることができないことから、その方法や実施時期を工夫する必要がある。湯西川ダムではバッチャープラントのミキサー



写真－5 資機材（重機類）の移動状況

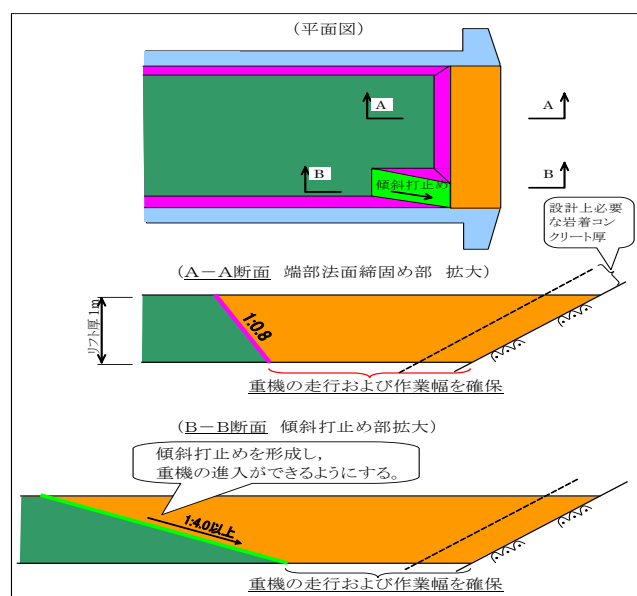
が3m³強制二軸4基、15tケーブルクレーン（5m³バケット）2基、φ700SP-TOM1基が配置されている。複数の設備を備えていることから、ミキサーを1基ずつ（4基中3基稼働）点検・整備を行い、SP-TOM出荷中にケーブルクレーンを1基ずつ点検・整備することで、出荷能力の低減量を極力抑える工夫をした。

4. 5 着岩部の施工

「技術資料」では、岩盤面近くへのコンクリート運搬方法として、RCD部に1:4.0以上の傾斜部分を設けてダンプ走路とし、岩盤面に直接荷卸しする方法を提唱している。しかし、有スランプの打設量が多くなると、傾斜部の処理に時間が掛かることから、RCD部から有スランプをダンピングし、それを足場にバックホウとバイバックを進入させる

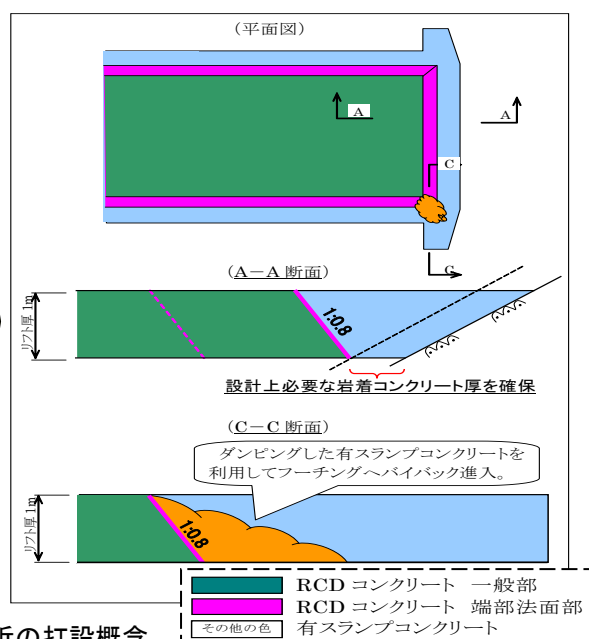
【「技術資料」に例示された方法】

ダンプ直接進入による供給計画



【湯西川ダムで実施した方法】

傾斜打止めによる斜路を設けない供給



図－2 岩着部付近の打設概念

方法とした。その結果、有スランプ打設量は設計量以上に増加せず、傾斜打止めの作業も不要となり、比較的効率的な打設が可能となった（図－２参照）。

4. 6 SP-TOM乗継ベルコン設置・撤去方法

SP-TOMの搬送能力は150m³/h以上有り、これらを有効に利用するためには、使用可能時間をできるだけ多く取る必要がある。SP-TOMからダンプに積込む方法として乗継ベルコンを使用しているが、その下部をRCDとするか有スランプとするかによって打設速度やダンプ乗入れ可能時間に大きく影響する。先ずは、下部をRCDとし、ベルコンの設置撤去時間を短縮するために架台埋込式から自走式に変更することによって、使用不可能時間が14.5時間から7時間に短縮された（図－３参照）。

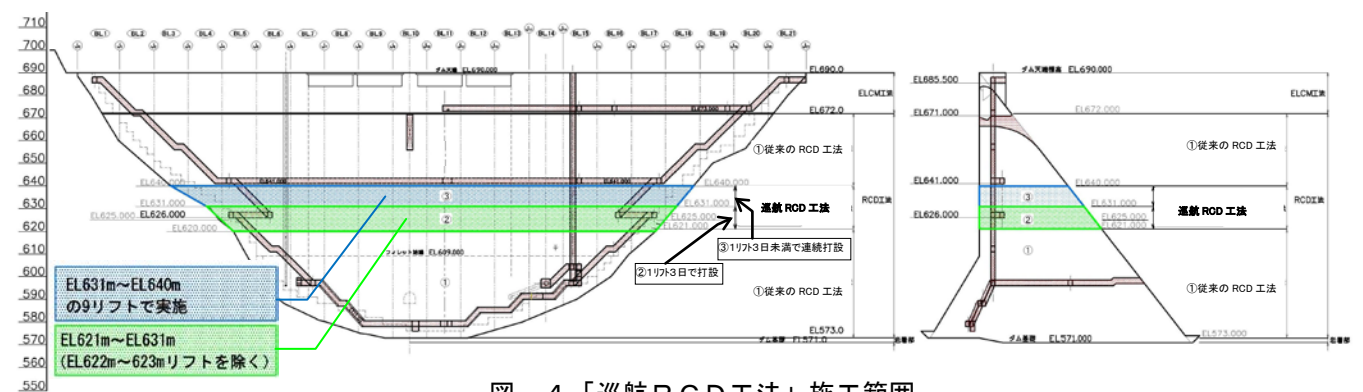
4. 7 RCD用コンクリートの打継面処理

走路部及び資機材仮置部はポリッシャー＋消防ホースを使用し、打設完了後12時間～20時間から実施する。それ以外の部分は試験施工で確認した低圧水による打継処理を打設完了後1.5時間～2.0時間から実施することで、清掃作業の効率化が図られた。

5. 施工実績

5. 1 巡航RCD工法の適用範囲

構造物が少なく比較的打設面積が広い部分であるEL621m～EL640mに適用した（図－４参照）。



図－４「巡航RCD工法」施工範囲

【従来の RCD 工法での計画リフトスケジュール】																			
開始標高	～	到達標高	BL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
EL640	～	EL641																	
EL639	～	EL640																	
EL638	～	EL639																	
EL637	～	EL638																	
EL636	～	EL637																	
EL635	～	EL636																	
EL634	～	EL635																	
EL633	～	EL634																	
EL632	～	EL633																	
EL631	～	EL632																	

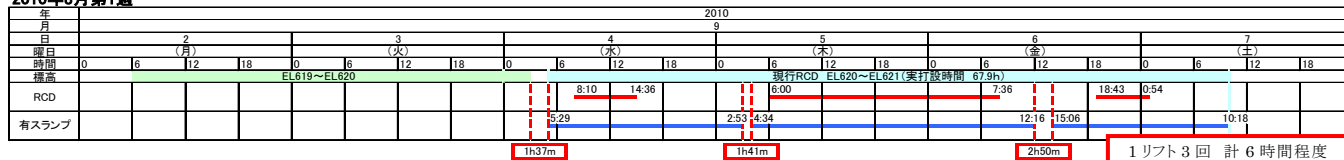
【巡航 RCD 工法での実績リフトスケジュール】																			
BL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

図－５ リフトスケジュール比較

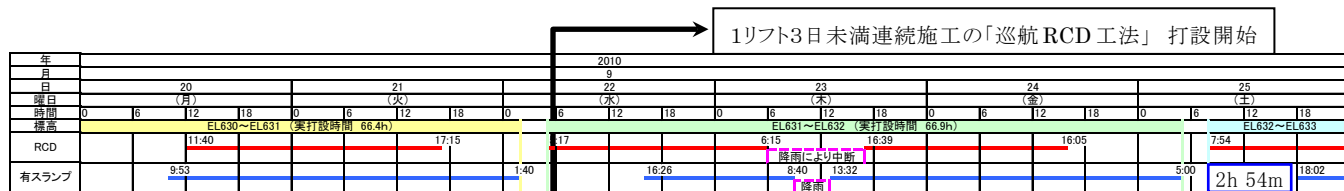
配置断面図	
当初施工方法	埋め込み式ベルコン脚
改良 1	設置式ベルコン脚
改良 2	移動式ベルコン

図－３ SP-TOM乗継ベルコン設置方法

2010年8月第1週



図－6 「従来のRCD工法」で打設したときの、次打設までのインターバルの状況



図－7 「1リフト3日未満連続施工の巡航RCD工法」で打設したときの、次打設までのインターバルの状況

EL621m～EL631m (EL622m～EL623mを除く)は、前節で説明したそれぞれの課題を検証するために1リフト全面を巡航RCD工法で施工することに専念し、1リフトを3分割3日で打設した。また、EL631m～EL640mは連続して打設することによって1リフトを3日未満とすることを目標として施工した。

5. 2 施工速度

「従来のRCD工法」による計画リフトスケジュールと、「1リフト3日未満で連続施工した巡航RCD工法」による実績リフトスケジュールを比較すれば、計画打設日数27日(暦日40日)を実打設日数26日(暦日31日)に短縮することができた(図－5参照)。打上り速度が向上した理由は以下のとおりである。

①コンクリート打設速度の向上による1リフト打設時間の短縮

②インターバル時間の短縮 (1リフト当たりのインターバル回数減と所要時間の短縮)

1リフトの打設時間は、堤内構造物が少ない場合、従来のRCD工法では142.7 m³/hで、1リフト3日未満で連続施工した巡航RCD工法では、155.0 m³/hであった。これより、従来のRCD工法の平均速度に対し、9%程度の打設速度向上が達成できた。

「従来のRCD工法」で打設した場合、1つの区画の打設完了から次の区画の打設開始までに資機材移動等のインターバルが、1回当たり2～3時間程度、1リフト当たり3回計6時間程度必要であった(図－6参照)。「1リフト3日未満で連続打設する巡航RCD工法」で打設した場合、1リフトの分割がない連続施工であり、資機材等の移動も打設と並行して実施され、1リフト内でのインターバルは不要であった。

したがって、打設が次リフトに移る際に必要なインターバルも大幅に短縮され、1リフト当たり2.2時間程度であった(表－2、図－7参照)。

以上のインターバル時間を使用し、1リフト10,000m³の打設を行った場合の打設間隔も含めた打設速度を計算すると、約14%の速度向上効果が得ら

表－2 1リフト1回のインターバルの実績

実施位置 (リフト上面標高)	インターバル 時間の実績(h)
EL.632m→EL.633m 間	2.90
EL.633m→EL.634m 間	1.82
EL.634m→EL.635m 間	0.82
EL.635m→EL.636m 間	2.38
EL.637m→EL.638m 間	3.07
EL.638m→EL.639m 間	2.05
EL.639m→EL.640m 間	2.40
平均	2.2

表－3 1リフト3日未満で連続打設する巡航RCD工法を採用することによる打設速度の向上

打設工法別	10,000m³リフトの 打設時間①	インターバル②	1リフト当たりの所要 時間 ③=①+②	(平均速度) =10,000m³÷③	比
従来のRCD工法	10,000 m³÷142.7 m³/h = 70.1h	2.0h×3回/リフト = 6.0h	70.1h+6.0h=76.1h	(131.4m³/h)	1.00
1リフト3日未満で連続 施工した巡航RCD工法	10,000 m³÷155.0 m³/h = 64.5h	2.2h×1回/リフト =2.2h	64.5h+2.2h= 66.7h	(149.9m³/h)	1.14

れる（表－３参照）。

５．３ 巡航ＲＣＤ工法の導入効果

「従来のＲＣＤ工法」と「巡航ＲＣＤ工法」を比較する形で効果を整理する。

（１）降雨時及び週末休止時における施工性向上

ダムの堤体打設においては、打設開始時には降雨が無くても数時間後に「降雨発生」が予測される場合がある。「従来のＲＣＤ工法」における対応手順は、以下の①～④である。

①横継目位置を考慮したうえで、無降雨時間に施工可能な数量を算出する。

②施工可能数量に対するレーン計画を立案する。

③監督員との協議→決行・中止の判断を行う。

④決行した後、予測より早い降雨中断が発生すると、コールドジョイント等の「煩雑な処理」を実施する。

結果として当日の「打設中止判断」がなされるか、決行した場合でも予測より早い時間で降雨中断に入る場合がほとんどである。

これに対して、「巡航ＲＣＤ工法」における対応手順は以下の①～③である。

①横継目位置とは無関係に、「打止め処理に要する時間」までの間、通常のコンクリート打設を行う。

②予報された「降雨発生時刻」前に、ＲＣＤ用コンクリートについて「１：０．８の打止め処理」を行う（湯西川ダムの事例では１回の中断時の打止め処理に要した時間は、約２時間程度であった）。

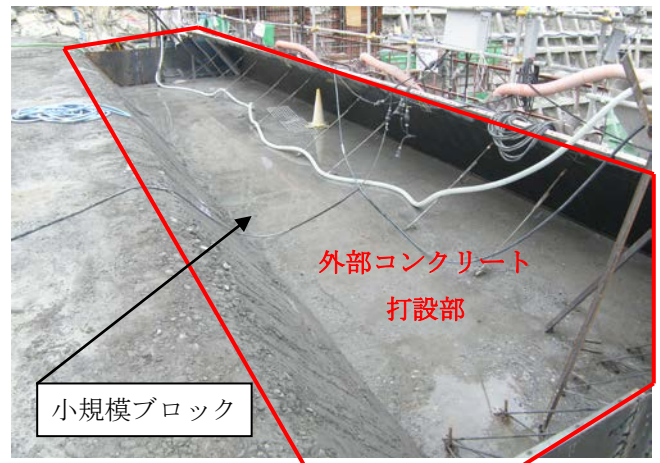
③再開時には、打継面にモルタルを塗布するだけの「容易な処理」で再開が可能となる。

以上より、「無降雨時間を有効活用したコンクリート打設」が可能となった。

また、週末休止時においても、「巡航ＲＣＤ工法」では、横継目位置とは無関係に任意の位置で打止めが可能になったため、休止前予定終了時刻まで出来る限りの打設が可能となり、休日前後についても打設可能時間を最大限有効活用できるようになった。

（２）レーン割の自由度向上

「従来のＲＣＤ工法」では、外部コンクリートについてもＲＣＤ用コンクリートの「レーン割り」によって定まる打設区画で施工されていた。このため、外部コンクリートにはＲＣＤ用コンクリートとの打継ぎ時間規制に加えて、隣接する外部コンクリート同士にも打継ぎ時間規制が存在するので、堤体打設



写真－６ 巡航ＲＣＤ工法の外部コンクリート

の「レーン割り」計画立案に際して、外部コンクリートが大きな規制項目となっていた。

これに対して「巡航ＲＣＤ工法」では、外部コンクリートは「上下流面型枠」・「先行打設されたＲＣＤ用コンクリート」とは独立しており、打継ぎ時間規制がない。そのため、堤体打設の「レーン割り」に外部コンクリートは無関係で、ＲＣＤ用コンクリートだけに着目できることとなって自由度が向上した。このことが、全体的な施工速度向上にも寄与したと考えられる。

なお、外部コンクリートは小規模ブロック打設となることから、準備が整いしだい任意時刻に任意箇所の打設が可能となり、外部コンクリートの打設自由度も向上した（写真－６参照）。

（３）品質の向上

「従来のＲＣＤ工法」では、止水性、耐久性を要する上下流面外部コンクリートとＲＣＤ用コンクリートの接合部で、縫い合わせが必要であった。これに対して「巡航ＲＣＤ工法」では、前節で述べたように外部コンクリートは小規模ブロック打設となることから、縫い合わせが不要になり、施工の確実性が向上する。

なお、巡航ＲＣＤ工法で採用された「ＲＣＤ用コンクリート同士の打継ぎ」について、その部分のコアを採取して付着状況の確認も行った。採取したコアの外観を写真－７に示す。写真からも分かるように、外観上は、打継部は一体化しており、大きな異常は確認されなかった。さらに採取したコアの強度試験も実施し、強度的に問題がなかったことも確認

※黒矢印が打継部

している。また、強度試験時のコアの破壊状況としては、いずれのコアにおいても、打継部以外で破壊する結果となっていたため、打継部は構造的に弱部となっていないと考えられる。

(4) 施工安全性の向上

RCD用コンクリートと有スランブコンクリートでは、締固め機構が異なるので施工機械も異なる。このため、実際の打設現場では作業人員も含めて「有スランブ打設チーム」と「RCD打設チーム」を設けている。

「従来のRCD工法」では、RCD用コンクリートと有スランブコンクリートを隣接箇所で行うことから、これら2つのチームが同一箇所に混在する時間帯が発生する。このため、別チームの施工重機に対する作業員の安全性確保（例えば有スランブチーム作業員へのRCD敷均しブルの接近防止など）には、慎重かつ十分な配慮が必要なので、対応に苦慮していた部分もあった。

これに対して「巡航RCD工法」では、RCD用コンクリートと有スランブコンクリートの打設箇所が完全に分離される。そのため、上記のような別チーム混在現象は解消され、施工安全性は格段に向上した。

6. まとめ

湯西川ダムでは、日本で初めてリフト全面へ「巡航RCD工法」を適用し堤体打設を行った。ダムの堤体コンクリート打設に「巡航RCD工法」を適用した際の「施工性向上効果」は、当初見込んだ「打設速度の向上」や「打止め型枠撤廃による打設時間短縮」だけでなく、「降雨時における施工性向上」に起因した「リフトの打上り速度向上」、「品質の向上」及び「施工安全性の向上」もあることが明らかになった。

今後の課題としては、「次リフトとのラップ施工」が挙げられる。図-8の施工タイムテーブル②に示すように、施工3日目に右岸アバットの有スランブ

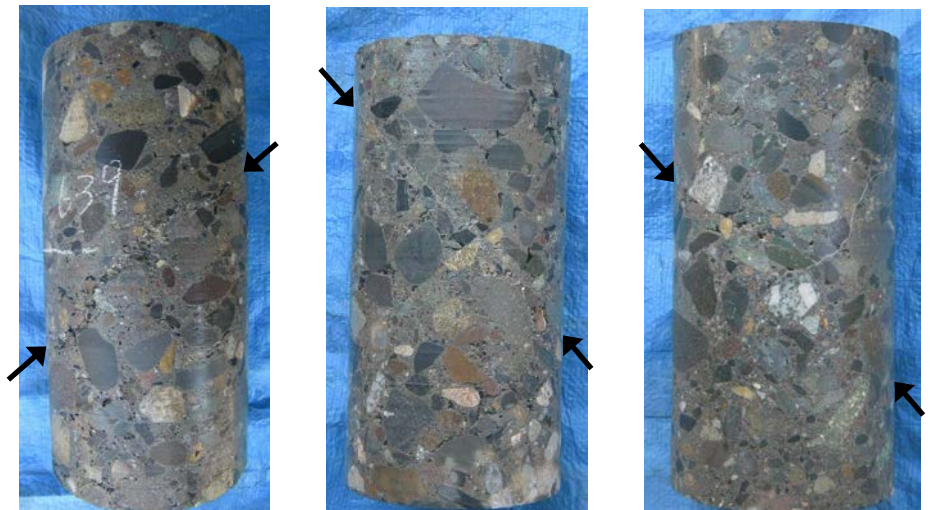


写真-7 RCD用コンクリート同士の打継部から採取したコアの外観

【施工タイムテーブル①】（湯西川ダムでの打設実績）

		1日目				2日目				3日目			
		0	6	12	18	0	6	12	18	0	6	12	18
当リフト	RCD												
	外部配合												
次リフト	RCD												
	外部配合												

次リフト打設の準備インターバル

【施工タイムテーブル②】 更なる工程短縮を図った例

		1日目				2日目				3日目			
		0	6	12	18	0	6	12	18	0	6	12	18
当リフト	RCD												
	外部配合												
次リフト	RCD												
	外部配合												

ラップ施工

図-8 更なる工程短縮を図った場合のタイムテーブル比較

コンクリート打設と、次リフト左岸のRCD用コンクリート打設をラップ施工することが可能となれば、更なる工期短縮が期待できる。

「巡航RCD工法」は重力式コンクリートダムの合理化施工であるRCD工法の数少ない弱点を補い、工程、品質、安全確保に大きく貢献できる工法であり、上記の課題に対し改善することで、今後の国産技術の海外進出に大きく貢献できる技術であると考えられる。

参考文献

- 1) (財)ダム技術センター；巡航RCD工法施工技術資料（平成23年3月）
- 2) (財)ダム技術センター；改訂版巡航RCD工法施工技術資料（平成24年2月）