

61. 拡張レヤー工法におけるコンクリート運搬の自動化

水資源開発公団： 大塚 明克，松本 之宏
*安部 聡

1. はじめに

富郷ダムは、水資源開発公団が四国吉野川総合開発の一環として愛媛県吉野川支流銅山川に建設を行っている、堤高 111m、堤頂長 250m、堤体積 60 万 m^3 、総貯水容量 5,200 万 m^3 の重力式コンクリートダムで洪水調節、水道用水及び工業用水の供給、発電を目的とした多目的ダムである。

本体コンクリート打設は、合理化施工法として RCD 工法及び拡張レヤー工法（ELCM）を採用している。特にコンクリート主運搬設備に関しては、走行路をガーダ形状とした 20t 級両端移動式ケーブルクレーンを用いたコンクリート運搬の自動化を取り入れ合理化施工の一環としている。

これまで、RCD 部ではケーブルクレーンの横行・巻上下の組合わせを用いて、バンカー線と堤体上グラントホッパとのコンクリート往復運搬、すなわち定点としての運搬である定点運搬の自動化を行ってきた。

今回、ELCM 部ではコンクリート打設が直打設となるため、横行・巻上下の組合わにダム上下流方向の移動である走行を加え、バンカー線と堤体上任意の打設位置までのコンクリート往復運搬、つまり任意点運搬の自動化を行った。

本論文では、この新たに採用した“拡張レヤー工法におけるコンクリート運搬の自動化”についてシステムの説明、実績及び解析、今後の課題についてとりまとめ報告するものである。

2. システム採用の経緯

富郷ダムでは、地形的に急峻であり堤体への進入路敷設が困難であることからコンクリート主運搬設備としてケーブルクレーンを採用した。形式としては放流設備等の堤内構造物の据付に有利で、施工ヤードが狭い堤頂部打設の効率の向上が望める、上下流方向の移動距離 22 m の両端移動式とした。

打設方法としては、昨今のダム工事現場における労働者の高齢化、熟練労働者の不足、繰り返し作業・重機械との混在作業が多い等の問題を背景に、機械の自動化による合理化、省力化、安全性の向上を目的とし、コンクリート製造から打設位置への運搬まで、一連の動きを自動で行うコンクリート運搬の自動化を取り入れた。

RCD 部での自動化は過去に例がありその有用性が報告されているが、施工幅が狭く打設が困難な堤頂部では自動化の導入がなされていないのが現状であった。そこで今回、ELCM 部における施工効率・安全性の向上、省力化を目的とし、RCD 部での自動運搬システムに应用を加え、拡張レヤー工法（ELCM）におけるコンクリート運搬の自動化を行った。

3. システムの概要

3. 1 コンクリート運搬の流れ

RCD 部での自動運搬と異なる点は、RCD 部は定点運搬であったのに対し、ELCM 部は任意点運

搬となるため、バケットが打設位置に行く間でのケーブルクレーンの横行・巻上下の動きとそれに走行が加わる点である。その他の動きはRCD部と同じである。

コンクリートの製造から堤体上への運搬までの一連の流れは以下になる。写真-1がコンクリート運搬・打設状況（ELCM）である。（写真中の番号は文中と対応）

- ① 集中管理棟内のケーブルクレーン運転室の中央制御盤（プログラマブルコントローラ）に運搬時の設定値（スプレッド枠の大きさ、打設ブロックの座標、レーンの打設順序）を打込む。
- ② バッチャープラントで製造されたコンクリートはトランスファーカーへ自動積み込みされ、バンカー線上をバケット着缶位置へと移動する。
- ③ トランスファーカーが自動的にバケット位置を検知しコンクリートをバケットに放出する。
- ④ バケットはケーブルクレーンの動作に伴い自動的に離床し、正確な位置決めと制振を行いながら打設位置上へ移動する。（同時にトランスファーカーも自動でバッチャープラントまで戻る）
- ⑤ 打設位置上5mの高さで自動から手動に切り替わり、堤体上の操作員（遠隔操作）によりバケットの巻下げ→開閉が行われる。（切り替わりの高さは任意に設定できるが安全上5mとした）
- ⑥ バケットはコンクリートを放出した後、自動的に再起動し制振しながらバンカー線へ着缶する。

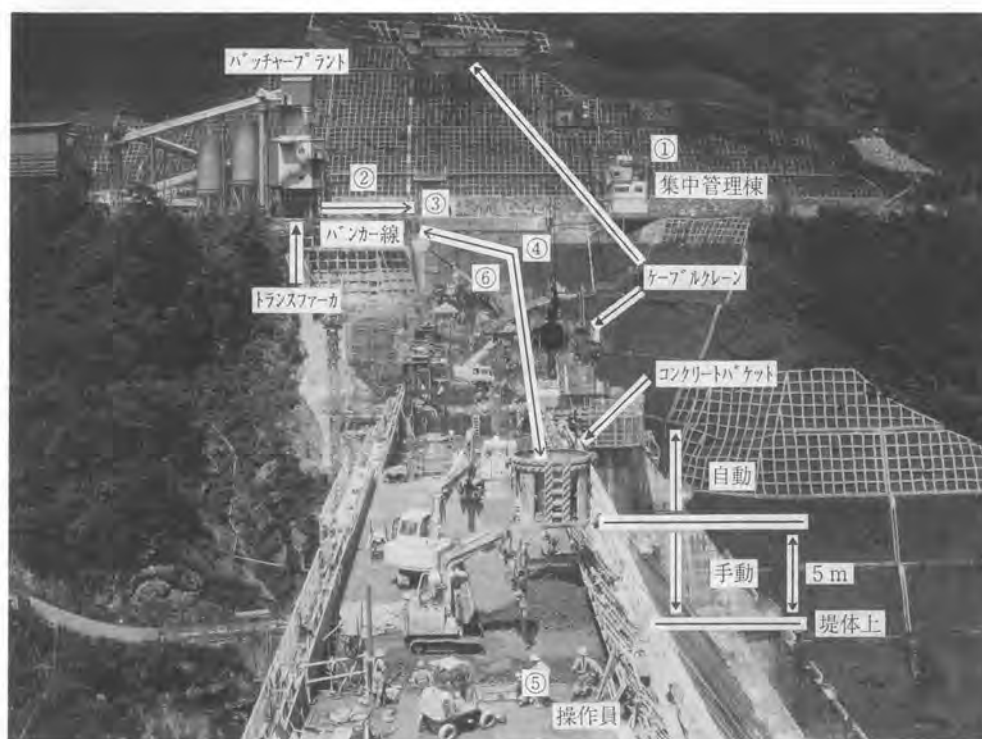


写真-1 コンクリート運搬・打設状況（ELCM）

3.2 コンクリート打設方法

ケーブルクレーンは横行、巻上下、走行の3つの動きが同時に行える、つまり3次元の動きが行えるため堤体上の任意の位置への運搬が可能だが、効率的な打設が行えるように8種類の打設パターンを考えた。そこで、代表的な2種類のパターンについて説明する。

3. 2. 1 左右岸方向打設モード

図-1に打設方法を示す。各レーンに表示されている数値が打設順序となる。

- ①～③ パンカー線よりコンクリートを受け、Zレーン1 Y1レーンの第1打設ポイントへ移動、コンクリートを放出後、再びパンカー線へ着缶。
- ④ 続いてY1レーンを2→5と運搬する。
- ⑤ 6へ移動しY2レーンを6→10と運搬する。
- ⑥ Zレーン1(1層目の)Y1・2レーン打設後Zレーン2(2層目の)Y1レーンを11→15と運搬する。
- ⑦ 再びZレーン1に戻りY3レーンを16→20と運搬する。
- ⑧ 再びZレーン2に戻りY2レーンを21→25と運搬する。以降追跡2層打ちを行い50で打設完了。

図-1のバケットの動きから分かるように、このモードは任意点運搬のうち横行の位置決めを主に行う打設方法である。横行・巻上下・走行が同時に稼働するのは打設順5→6、10→11というように次のレーンに移るときである。横行・巻上下同時稼働時のバケットの振れ止め制御は、定点運搬の自動化で完成されていた。今回、走行の振れ止めについては制御を行わず走行距離を短くし、サイクルタイムに影響を及ぼさない範囲で走行時間を長くすることで振れを押さえた。走行時間は横行時間内に収まるためサイクルタイムには影響しない。写真-2が左右岸方向打設の施工状況である。

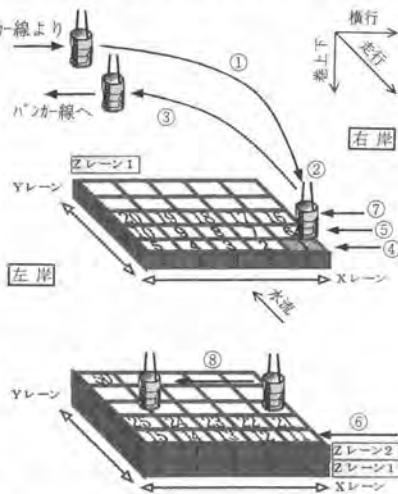


図-1 左右岸方向打設方法

3. 2. 2 上下流方向打設モード

図-2に打設及びレーン施工順を示す。図-2のバケットの動きから分かるように、このモードは任意点運搬のうち走行の位置決めを主に行う打設方法である。横行・巻上下・走行が同時に稼働するのは打設順1→2、2→3…6→7(5→6は除く)というように各打設時で走行回数が多いが、走行の振れ止めについては左右岸方向打設モードと同じ考え方である。写真-3が上下流方向打設の施工状況である。

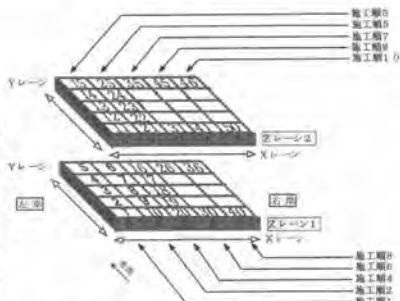


図-2 上下流方向打設方法



写真-2 左右岸方向打設状況



写真-3 上下流方向打設状況

4. 打設概要と打設計画

4.1 打設概要

ELCM部は、図-3の打設区分図に示すようにEL.430.5から0.75m 2層打ち1.5mリフトで打設を行った。総ブロック数は16であり、1ブロックの長さ(左右岸方向)は15m、EL.430.5における幅(上下流方向)は約19mであり、丁度ケーブルクレーンの走行範囲(ダム軸より下流側20m)内である。

打設にあたっては、放流設備、堤内構造物据付等によるブロック分断のため最大3ブロック連続の打設を行った。

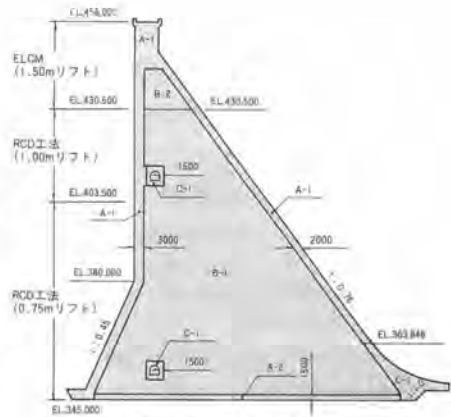


図-3 打設区分図

4.2 打設計画

図-4に4・5BL EL432.0~EL433.5打設時の打設計画図(スプレッドスケジュール)を示す。この時のモードは、左岸上流開始・左岸→右岸打設モードであり、記入されている番号が打設順序である。マス目の設定方法は以下ようになる。

コンクリートバケットの容量は6 m^3 であるので、1マス分のコンクリート量ができるだけ6 m^3 になるようにマスの大きさを決定する。まず、打設面幅17.1m(2層目)のうち外部コンクリート(A1配合)幅5m(上流3m+下流2m)を確保する。内部コンクリート(B2配合)については残りの幅12.1m、長さ30(m)のスペースに1マス6 m^3 となるように幅2.67m、長さ3.0mのマス目とした(2.67×3.0×0.75=6 m^3 となる)。実際には、設定上厳密に6 m^3 とならない箇所もあり、

順次打設していくうちに、コンクリート量が足りなくなる場合がでてくるため、打設後再び同じ位置へ運搬できるようにリピートボタンを設けている。図-4で1.43mの幅はリピートを用いて調整を行う。実際の打設は図-4のスプレッドスケジュールの諸設定値をコンピュータに打込み、トランスファークからバケットへのコンクリート積み込みが完了すれば、以降打設順序に従い自動的に打設が行われる。

		1層目 (15.00)					2層目 (17.10)						
		1.00	2.00	2.67	2.67	1.43	1.00	2.00	2.67	2.67	1.43	2.00	
左岸	4BL	1	1.1	4.1	5.1	8.1	9.1	2.1	3.1	6.1	7.1	10.1	11.1
		2	1.2	4.2	5.2	8.2	9.2	2.2	3.2	6.2	7.2	10.2	11.2
		3	1.3	4.3	5.3	8.3	9.3	2.3	3.3	6.3	7.3	10.3	11.3
		4	1.4	4.4	5.4	8.4	9.4	2.4	3.4	6.4	7.4	10.4	11.4
		5	1.6	4.6	5.6	8.6	9.6	2.6	3.6	6.6	7.6	10.6	11.6
右岸	5BL	6	1.8	4.8	5.8	8.8	9.8	2.8	3.8	6.8	7.8	10.8	11.8
		7	1.7	4.7	5.7	8.7	9.7	2.7	3.7	6.7	7.7	10.7	11.7
		8	1.8	4.8	5.8	8.8	9.8	2.8	3.8	6.8	7.8	10.8	11.8
		9	1.9	4.9	5.9	8.9	9.9	2.9	3.9	6.9	7.9	10.9	11.9
		10	2.0	5.0	6.0	9.0	10.0	3.0	4.0	7.0	8.0	11.0	12.0
		A1	B2	A1	A1	B2	A1						

図-4 スプレッドスケジュール

4.3 システムの目標

- ① 施工性…手動による打設と同等以上の能力を発揮する。
- ② 安全性…人間による仕事を機械で行うことによって、安全かつ安定した施工を行う。
- ③ 省力化…人間の配置を少なくし操作員、作業員の労力を軽減する。

5. 成 果

5.1 施工性

今回導入したシステムでは手動と同等以上の能力を発揮することはできなかったが、

- ① 手動の70～80%の能力を発揮することができた。
 - ② 長時間の連続打設でも、従来の手動運転で見られるばらつきがなく安定した能力が発揮できた。
- 手動と自動打設とでの打設能力を比較するために打設サイクルタイムの測定を行った。

図-5に同一ブロックにおける、連続20回分の打設サイクルタイムの平均値の比較を示す。

(単位:秒)

打設方法	①離床	②行き	③コンクリート放出	④帰り	⑤着缶	⑥コンクリート投入	合計
上流→下流自動打設(EL.441.0)	29	42	90	44	36	54	294
左岸→右岸手動打設(EL.439.5)	6	41	28	42	15	93	225
上流→下流自動打設(EL.435.0)	28	46	122	46	35	65	343
左岸→右岸自動打設(EL.433.5)	22	47	71	50	15	88	293

時間(秒)

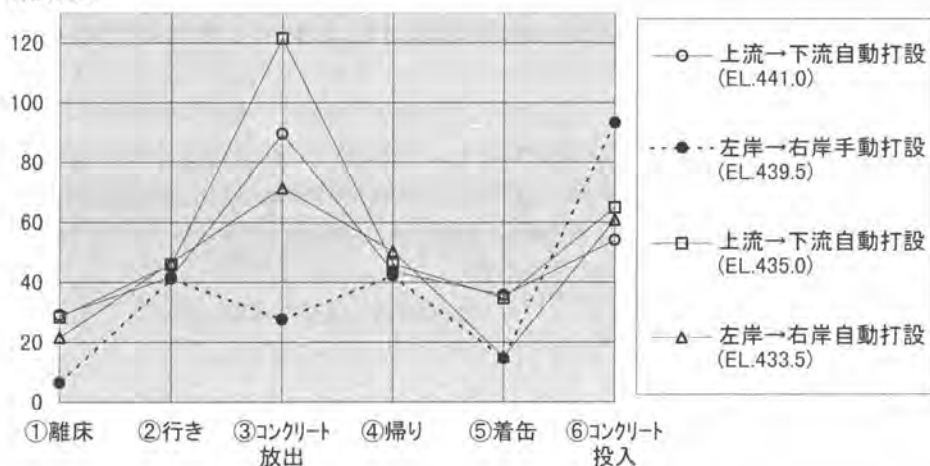


図-5 サイクルタイム比較表

手動と自動とを比較すると、先ず自動打設の①離床、⑤着缶については打設面上昇に伴いバケット横行時に重機とバケットとの接触の危険性が発生し、EL433.5以上では離床・着缶時の高さを高くしたため、①離床、⑤着缶の時間が長くなってしまった。EL433.5では、①離床は長いものの、⑤着缶は同等である。手動打設では、オペレータが直接堤体上の状況を目視で確認できるため、離床時の高さを高くする必要はなく離床時間は短くなっている。

②行き、④帰りについてはほぼ同等である。RCD部では打設面から着缶位置までの高さがあったのでバケットの往復は最短距離、すなわち横行・巻上下の同時稼働による放物線を描いたが、ELCM部では高さがないため安全性を重視して、重機等の障害物と接触しないように横行→巻下げ、巻上げ→横行というように動作を分け直線的な動きとしたため若干遅くなってしまった。

③コンクリート放出、⑥コンクリート投入はケーブルクレーン以外の動作であるため手動、自動で変わる要素ではないが、③コンクリート放出時間で、各打設で差があるのは、当初計画では堤体上の作業

はバケットの巻下げと開閉だけであったが、コンクリートの施工性から堤体上で横行、走行の微調整をできるように遠隔操作用のリモコンを導入したため、その都度打設状況によって時間差が生じてしまった。今後はこの時間を短縮すれば打設のサイクルタイムが縮まると考えられる。

⑥コンクリート投入は、トランスファーカからバケットへコンクリートを積込むまでの時間であり、RCD部ほど打設能力が大きくないELCM部ではバッチャープラントの能力に余裕があるため、コンクリート製造が追いつかなくなりケーブルクレーンを待機させるということはないのでは一定の時間で投入できた。手動打設で時間がかかっているのは骨材不足等のトラブル発生のためである。

5. 2 安全性

- ① 従来、操作員に頼っていた重機が混在する危険箇所での作業が機械で行えるようになったため、省人力化が図られ接触事故等の人災もなく安全に施工できた。
- ② 重機の運転が人間から機械へととって代わり、疲労・集中力の低下による事故発生の危険性がなくなった。

5. 3 省力化

- ① バッチャープラント操作員、ケーブルクレーン操作員、堤体上の操作員の3人でコンクリート運搬が行えた。
- ② ケーブルクレーン操作員の仕事が運転から監視へと代わり、肉体的、精神的負担が軽減されたため、従来と比べケーブルクレーン操作員の就業人数を半減することができた。

6. 今後の課題

- ① スプレッドスケジュールの打設枠通りにコンクリートを運搬しても、放出時の広がりにより所定のコンクリート高さ、幅が得られず、次のレーンを打設する時にはどうしても微調整がいるため、今後、堤体上での調整時間を短縮するためには打設後次の運搬位置を瞬時に設定できるシステムが必要である。
- ② 構造物周りではプログラムが組めず、また、上下流型枠部の打設では特に微調整に時間がかかってしまったため、今後、堤体上の操作をなくし完全な自動とするには、バケット自体に構造物等を検知し、コンクリートを自動で放出できるようなシステムを考える必要がある。

7. おわりに

今回初めて導入したシステムとして、施工能力的には手動の70～80%であったが、作業の安定性・安全性・オペレータの労力の軽減化を含めると満足した結果が得られたといえる。また、完成されたシステムには及ばなかったものの今後の土台作りにはなったと考える。今後、更にシステムの改良あるいは、新しい考え方を導入し完全なシステムを目指したい。

今回、「拡張レーン工法におけるコンクリート運搬の自動化」の報告を行ったが、今後のダム建設事業の参考になれば幸いである。

最後に、システム導入にあたりご協力いただいた大林・森本・住友共同企業体の皆様に深く感謝いたします。