

ダムコンクリート打設自動化システム

戸澤 清 浩・石 橋 則 秀・石 井 敏 之

ダムコンクリート打設自動化システムは、ダムコンクリートの一連の打設作業（バッチャープラントでの混練、トランスファーカによる運搬、クレーンによる運搬・放出）を総合的に自動化したものである。汎用のバッチャープラントとトランスファーカおよびクレーン設備を個別に自動化する独自の制御機器、各設備の制御機器の情報を伝える光ファイバーケーブル、打設場所との情報伝達を行うための無線式ハンディーターミナルおよびこれら全てをネットワーク化し、総合自動運転を行うための制御装置から構成されている。

本システムは、計画に基づいたコンクリートの混練予約とその製造、および打設位置の指示が、打設指揮者のハンディーターミナルにより可能であること、打設指揮者がワンマンコントロールで自動運転に必要な管理情報をハンディーターミナルで確認できること、コンクリートバケットの運行方向の振止め、コンクリート放出後の鉛直方向の振止めと位置決め独自の制御方法を適用することでコンクリートバケットのバンカー線での着床と打設位置での振止めの安定化を図っていることが特徴である。

本システムは、タワークレーンおよびケーブルクレーンのいずれにも適用できる。

キーワード：ダム、自動化、コンクリート打設、混練、運搬、効率化

1. はじめに

コンクリートダム本体建設工事において、コンクリートの運搬・打設作業（バッチャープラントでの混練からトランスファーカによる積替え運搬、クレーンによる運搬・放出まで）は、重要な工種である。しかし、この運搬・打設作業は、熟練技術を要しかつ長時間にもおよぶ繰返し作業であるため、熟練技術者の不足や安全性の低下といった問題がある。

我々は、ダムコンクリートの運搬・打設作業の効率化と安全性の向上および長時間の繰返し作業による安全性の低下を防ぐ目的で、ケーブルクレーンによるダムコンクリート打設自動化システムを既に大長見ダム本体建設工事（島根県）で実用化¹⁾している。同様に、ダム用タワークレーンによるダムコンクリート打設自動化システムを開発し、大仁田ダム堤体工事（群馬県）で採用してきたが、それらを改良し、岩井川治水ダム建設工事（奈良県）に導入し成果を挙げた。

導入したシステムは、コンクリートの運搬・打設作業を自動化したもので、打設場から、コンクリートの混練予約、混練指令、打設位置の指定、クレーン旋回方向の設定、自動運転管理情報の確認等が行える。また、バケットの障害物回避、位置決め制御、振れ止め

制御により、運搬中の安全確保および打設位置とバンカー線着床時のバケット到達精度と振れの抑制を確保している。

本システムの導入により、熟練技術者を必要とせず、長時間の繰返し作業による安全性の低下が防げ、安定したコンクリートの運搬・打設作業が可能となり、作業の効率化と安全性の向上に寄与するものとなった。

本報告では、タワークレーンによるダムコンクリート打設自動化システムの概要と導入実績について述べる。

2. ダムコンクリート打設自動化システム

(1) 概 要

図—1にシステムの全体構成を示す。システムは、汎用のバッチャープラント、トランスファーカ及びタワークレーン設備を個別に自動化し、情報を伝える光ファイバーケーブルと打設場との情報を伝送する無線式ハンディーターミナルを用いてネットワーク化することによって、コンクリートの運搬・打設作業を、打設場から指示・確認により総合自動運転ができるようにしたものである。

(2) 特徴

システムの特徴は、以下の通りである。

- ①運搬・打設作業を統合した自動運転で行える。
- ②打設場から運搬・打設作業の指示が行える。
- ③指示の設定・変更・終了が容易に行える。
- ④障害物回避，位置決め，振れ止め制御が行える。
- ⑤手動運転と同程度の打設能力が確保されている。
- ⑥安全性が確保されている。

(3) 構成

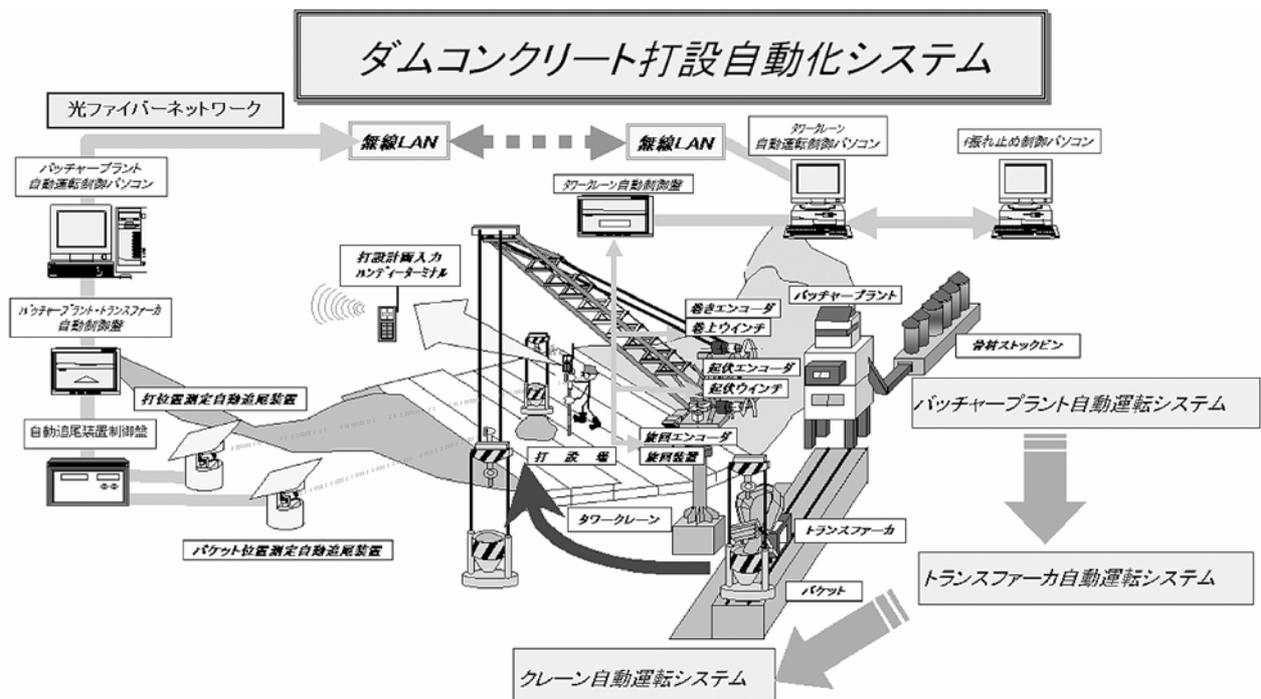
システムは、以下の3つの自動運転システムから構

成されている。

- ①バッチャープラント自動運転システム
- ②トランスファーカ自動運転システム
- ③タワークレーン自動運転システム

(4) 運転モード

3つの自動運転システムには、表—1に示す運転モードがあり，切替・選択が容易に行える。これらは，操作性の向上および異常時に他の自動運転システムへの影響を少なくするために設定している。



図—1 コンクリート打設自動化システムの全体構成（タワークレーン）

表—1 各システムの運転モード

自動運転システム	運転モード	内 容
バッチャープラント	自動モード	コンクリートの混練及びトランスファーカーへの積込が自動運転
	自動・確認モード	コンクリートの混練は自動運転，トランスファーカーへの積込指令が押しボタン操作
	手動モード	バッチャープラント操作盤での手動運転
トランスファーカ	自動モード	バッチャープラント及びクレーンと連動した自動運転
	自動・確認モード	クレーンが手動モードまたは自動・手動介入モード時に，バケットへの積込指令が押しボタン操作
	手動モード	機側での手動運転
タワークレーン	自動モード	バンカー線離床からコンクリート放出およびバンカー線復帰までのすべての動作が自動運転
	自動・確認モード	打設待機位置で一旦停止した後，クレーン運転手の操作でコンクリートを放出する自動運転
	手動モード	クレーン操作レバーによる手動運転

3. バッチャープラント自動運転システム

(1) 概要

打設場のハンディーターミナルから入力したコンクリート混練計画に従ったコンクリートの混練，トランスファーカへの積替え，トランスファーカの発進までの作業を自動化したシステムである。また，練上がりコンクリートの性状はコンシステンシー判定装置で測定される。

(2) 特徴

打設場から以下の項目を指示・確認ができる。

- ①配合別混練量，混練間隔等の予約，追加，修正
- ②混練計画の開始，一時停止，終了指令
- ③打設実績，予約状況，混練状況の確認

(3) 構成

構成は，従来のバッチャープラント制御盤に，バッチャープラント自動制御盤，バッチャープラント自動運転制御パソコン，配合表示板，コンシステンシー判別システム等を追加したものである。バッチャープラント自動運転制御パソコンでは，コンクリートの予約・混練・実績やスランプの表示，クレーン情報，システム情報，異常表示等がモニターされる。

4. トランスファーカ自動運転システム

(1) 概要

トランスファーカに積替えられたコンクリートをバンカー線で待機するバケットまで運搬し，バケットへの積込作業を自動化したシステムである。バケットが着床していないときは，バケットと接触の危険がない距離（一時待機距離）で待機する（写真－1）。



写真－1 トランスファーカによるコンクリート積込状況（自動運転）

(2) 特徴

システムの特徴は，以下の通りである。

- ①コンクリート積込み完了後，自動発進する。
- ②バケット位置からバケット着床位置を計算し，一時待機距離で自動的に停止する。
- ③待機中にバケット着床位置が変われば自動的に一時待機距離を保持するよう待機位置を補正する。
- ④走行中に障害物があった場合には自動的に警報を発生して走行停止（非常停止）する。
- ⑤試料採取は，採取ボタンを押すことにより，バッチャープラント手前で自動的に停止待機する。

5. タワークレーン自動運転システム

(1) 概要

バンカー線でトランスファーカからコンクリートを受取り，打設場で指定された打設位置に，コンクリートを運搬・放出し，再びバンカー線に戻り着床するまでのタワークレーンによる運搬・放出作業を自動化したものである。

(2) 特徴

- ①施工に応じた運転モードの切替・選択
- ②容易な打設位置の設定
- ③障害物を回避した最適な運行経路の設定
- ④到達位置での到達精度と振れ止めの確保

(3) 構成

表－2 に示すようにクレーン運転室，バケット，打設場所，自動追尾のシステムからなり，表中の指示・管理作業を行っている。

(4) 打設モード

コンクリート打設モードには直打ち打設モードがある。同モードは，1バケットごとに打設位置を指定してコンクリートの運搬・放出を行うものである（写真－2）。

図－2 に直打ち打設モードのフローを示す。

打設位置の指定方法には以下の2通りがある。

- ①任意の打設位置に打設位置設定用プリズムを置き，自動追尾式トータルステーションで計測する。
- ②打設位置の座標をハンディーターミナルに直接入力する。

(5) クレーン制御方法

クレーンの運行制御手法には，オープン制御を用い，

表一 2 タワークレーン自動運転システムの構成

タワークレーン自動運転システム	
運転室システム	自動運転制御装置 ①システム全体管理 ②システム初期設定 ③バケット位置管理 ④運行経路計算 ⑤打設位置設定 ⑥オープン制御管理
バケットシステム	自動制御盤 ①鉛直距離管理（放出高さ） ②バケット開閉管理
打設場所システム	・テレコン ①バケット開閉 ②打設位置計測要求 ③放出方法の選択 ・ハンディターミナル ①コンクリート混練管理 ②クレーン運転条件設定 ③打設位置入力 ④システムの状態表示
自動追尾システム	自動追尾式トータルステーション ①バケット位置計測 ②打設位置計測



写真一 2 コンクリート打設位置指示状況

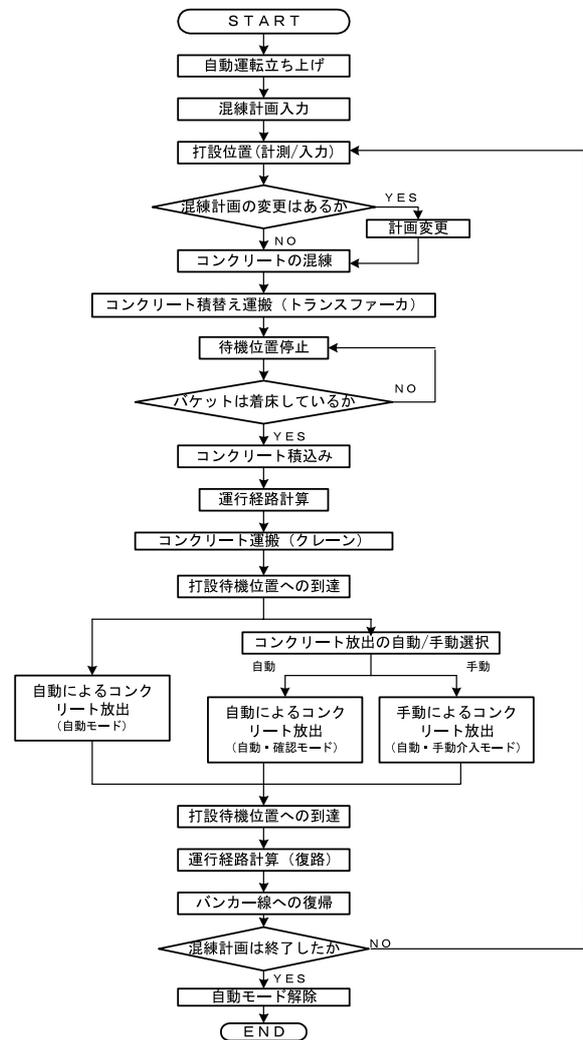
その運行制御指令は、バケットの障害物回避、位置決め、振れ止め制御の条件から求めたクレーンの巻き速度、旋回角速度、起伏速度を用いた。

(a) 障害物回避

障害物は、地形と打設後のコンクリート構造物である。コンクリート運搬時のバケット侵入禁止領域（図一 5 参照）は、開始位置から到達位置までの障害物断面形状にバケット障害物回避高さを加えたものとして設定し、この侵入禁止領域を回避した運行経路を求めている。

(b) 位置決め制御

バケット位置は、自動追尾式トータルステーションによる計測と、クレーンの巻き・旋回・起伏エンコー



図一 2 打設フローシート

ダから変換されたワイヤー長、旋回角度、起伏角度および吊荷重をパラメータとした補正量からの幾何計算の、2つの方法で求めている。自動追尾式トータルステーションで計測したバケット位置データは、運搬中のバケット位置確認に用いている。

(c) 振れ止め制御

バケットの振れ止めは、バケットが到達位置で旋回方向に振れを発生させない方法を適用している。その方法は、バケットをクレーンブーム先端からの振り子モデルとして考え、旋回方向の加速および減速を、クレーンブーム先端からのワイヤー長より求められる固有周期で最大速度あるいは停止するように制御するものである。

6. 導入実績

開発したタワークレーンによるダムコンクリート打設自動化システムを、奈良県発注の岩井川治水ダム建設工事に適用した。

(1) 工事概要

(a) ダム諸元

ダム諸元を表—3に、ダムサイト平面図を図—3に示す。

表—3 ダム諸元

型式	重力式コンクリートダム
堤高	55.0 m
堤頂長	180.9 m
堤体積	86,100 m ³

(b) 設備仕様

コンクリート運搬・打設設備の仕様を表—4に示す。

(2) 自動運転の記録

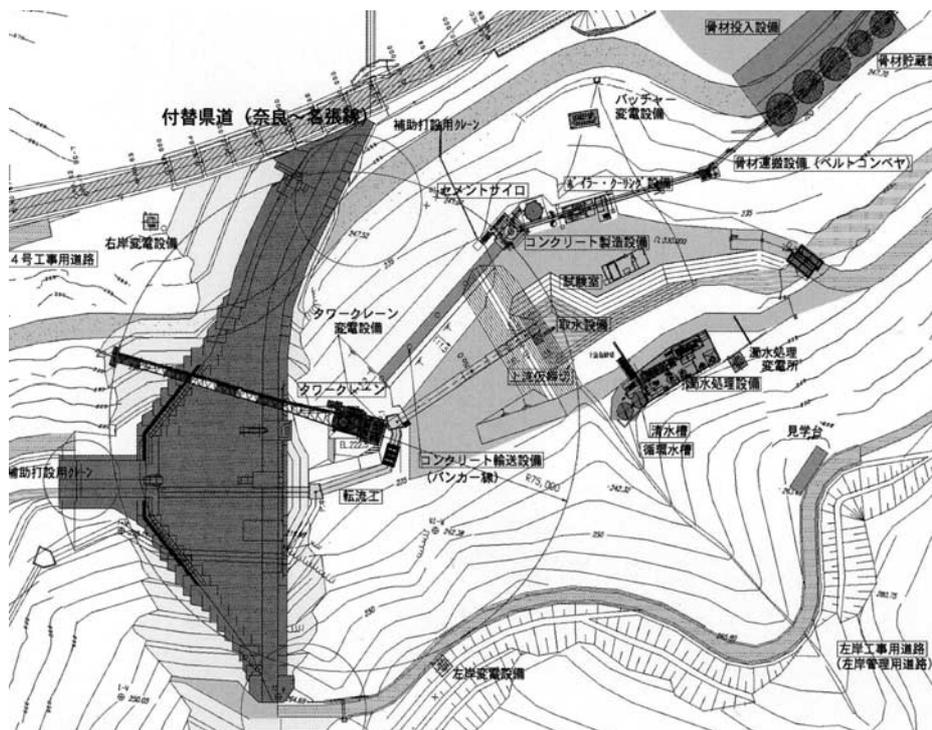
自動・確認モードの運転速度記録を、図—4に示す。運転の流れを以下に示す。

- ①トランスファーカの積込み完了信号を受けて、クレーンは自動的に離床を始める。
- ②バケットの離床確認信号を受けて、旋回は往路計算結果の速度信号に従って振れを発生させない速度で加速・減速され、③の打設待機位置（打設位置の上空）で一旦停止する。
- ③合図者は周囲の安全確認後、自動放出ボタンを押すと、クレーンは自動的に打設高さまで降下し、放出

表—4 岩井川ダムの設備仕様

設備	項目	仕様	
バッチャープラント	方式	傾胴式攪拌方式	
	攪拌容量	3.0 m ³	
トランスファーカー	種別	リフトダンプ式	
	全長	6000 mm	
	全幅	1850 mm	
	全高	3780 mm	
クレーン	ホイールベース	3500 mm	
	積載量	3.0 m ³	
クレーン	種別	タワークレーン	
	型式	ジブクライミング式	
	定格荷重	9.5 tf	
	旋回半径	最大半径 75 m	
	最大揚程	135.0 m	
	速度	巻上	42.5 m/min
		巻下	95.0 m/min
	旋回	105.0 m/min	
起伏	0.6/0.29 rpm		
バケット	サイズ	φ 1900 * 1000 * 900 * 2450	
	定格容量	3.0 m ³	
	空積重量	2.12 tf	
	積載時重量	9.5 tf	

- 後自動的に打設待機位置まで上昇する。
- ④往路が終了し、バンカー線への復路を計算する。
 - ⑤計算後、クレーンはバンカー線への復路にはいり、



図—3 岩井川ダム ダムサイト平面図

着床まで自動運転される。

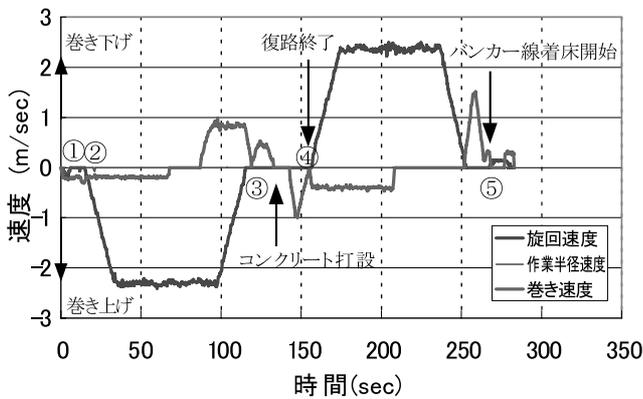


図-4 自動運転速度記録の一例

(3) 障害物の回避

復路自動運転時における計算経路と実際の運行経路の比較を、図-5に示す。同図より、計算経路と実際の運行経路はほとんど同じになっており、バケットの障害物回避高さ13mに設定したバケット侵入禁止領域を回避して、計算通り運搬されていることがわかる。

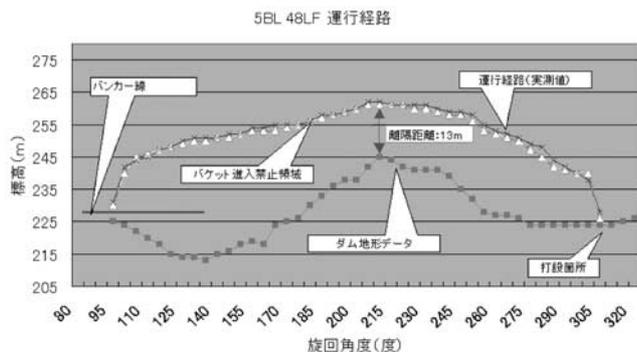


図-5 運行経路の比較

(4) サイクルタイム

5ブロック、48LF左岸旋回での打設サイクルタイムを、図-6に示す。打設は、運転モードは、自動・手動介入モードで、旋回角度225度、作業半径が28m～62m、打設高さE.L.224.0m（バンカー線高さE.L.230.0m）で行われたものである。打設数量は323m³で、運搬回数は116回（内モルタルが5回）であった。

全打設時間は約9.5時間であったが、安定したサイクルで運搬・打設作業が行えた。打設平均サイクルタイムは4分50秒であった。また、時間当たりの打設量が、約33.7m³/hであることから、自動運転は計画運転サイクルとはほぼ同程度の打設能力を確保している。

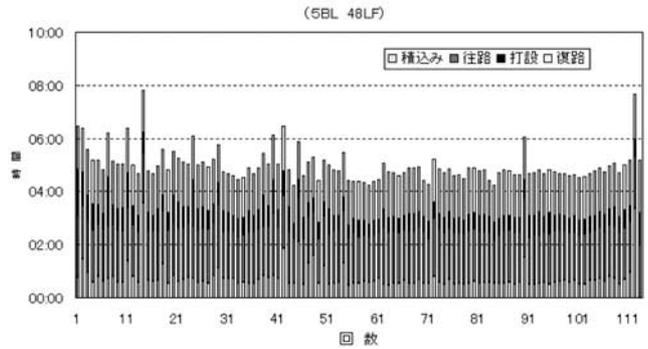


図-6 岩井川ダム サイクルタイム（一例）

岩井川治水ダム建設工事では、すべてのコンクリート打設作業に、ダムコンクリート打設自動化システムを適用した結果、クレーン運転手は1名（予備1名は他の作業に従事している）での打設が可能となり、省力化及び安全性向上が図られた。

7. まとめ

タワークレーンによるダムコンクリート打設自動化システムを開発以後、大仁田ダム堤体工事（群馬県）、岩井川治水ダム建設工事（奈良県）に導入した。

その結果、①ダムコンクリートの運搬・打設作業を統合した自動運転が打設場からの指示で行え、②クレーン運搬での障害物回避、高精度な位置決め、振れ止め制御が行え、③手動運転と同程度の打設能力が確保でき、④長時間にわたって安定した打設が行え、⑤省力化できることが確認できた。 JICMA

【筆者紹介】



戸澤 清浩（とぎわ きよひろ）
 ㈱奥村組
 技術本部
 東京土木技術部
 山岳トンネル・ダムグループ 主任



石橋 則秀（いしばし のりひで）
 ㈱奥村組
 東京支社
 土木統括 機械部工務課 課長



石井 敏之（いしい としゆき）
 ㈱奥村組
 技術研究所
 材料・LCEグループ グループ長