

21. ダムコンクリート打設自動化システム

㈱奥村組：*林 正造、栗本 雅裕
石井 敏之

1 まえがき

コンクリートダム本体建設工事におけるダムコンクリートの混練・運搬・打設作業は熟練技術が必要であり、さらに長時間におよぶ繰り返し作業となるため熟練技術者の不足や安全性の低下が問題となっている。

このようなことから、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）を自動化することにより、打設作業の効率化、安全性の向上および省人化を図ることを目的として、ダムコンクリート打設自動化システムを開発・実用化した。

開発システムは汎用の施工設備に制御機器を付加することによりコンクリートの混練・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、自動運転の管理情報の確認が行える。またクレーンの自動運転では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性および打設位置とパンカー線着床時の到達精度と振れの抑制を実現した。

本システムの導入により熟練技術者を必要とせず、長時間の繰り返し作業による安全性の低下を防ぎ安定したコンクリート混練・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および省人化に寄与するものとなった。

本報告では異なった施工設備を使用するダム本体工事にダムコンクリート打設自動化システムを導入したので、その概要と実績について述べる。

2 開発目標

開発システムのコンセプトを図-1に示す。ダムコンクリート打設自動化システムはバッチャープラント、トランスファーカおよびクレーン設備を個々に自動化し、制御情報を伝送す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、コンクリートの混練・運搬・打設作業を打設場からの指示・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。また、打設指揮者が持つハンディーターミナルで自動運転情報の確認、混練予約・指示が可能で施工状況に応じた自動運転ができる。さらに、個々の自動運転システムはそれぞれ独立した運転が可能で故障時にも他の自動運転ができるシステムとした。

自動化システムの開発目標を次に示す。

- ① 自動化システムを付加することにより汎用の施工設備の自動運転ができること
- ② ハンディーターミナルの指示により自動運転ができること

- ③ システムに互換性と柔軟性があること（各自動運転設備の独立性の確保、多様な設備の組み合わせが可能）
- ④ 手動運転と同程度の打設能力を有すること
- ⑤ 安全性が確保されていること

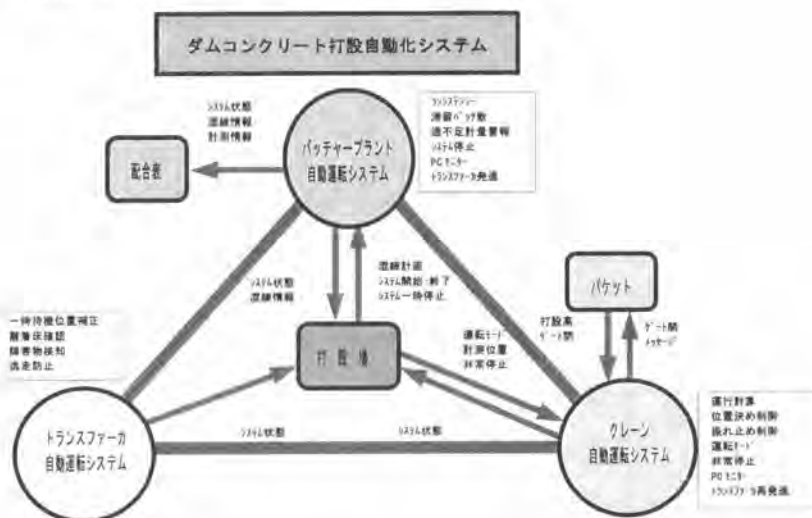


図-1 ダムコンクリート打設自動化システム

3 対象設備

ダムコンクリート打設自動化システムを導入したダムおよび施工設備を表-1に示す。対象ダムはRCD工法による大長見ダム（島根県）と拡張

表-1 施工設備

対象設備	大長見ダム	大仁田ダム
バッチャープラント	強制2軸攪拌方式 (2.25m ³ x 1台)	傾胴形攪拌方式 (1.5m ³ x 2台)
トランスファーカ	サイドシュート方式	リフトダンプ方式
クレーン	軌索式ケーブルクレーン (14.5 tonf)	ダム用タワークレーン (9.5 tonf)

レヤ工法による大仁田ダム（群馬県）の重力式コンクリートダムである。それぞれ異なった工法およびコンクリート施工設備を使用するダムである。

4 ダムコンクリート打設自動化システム

ダムコンクリート打設自動化システムはバッチャープラント自動運転システム、トランスファーカ自動運転システム、クレーン自動運転システムを連動させ打設場からの指示・確認により総合自動運転を可能にしたものである。以下に各自動運転システムについて述べる。

4.1 バッチャープラント自動運転システム

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。打設場からは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、混練状況の確認ができる。

4.2 トランスファーカ自動運転システム

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、バケットに積込む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。特徴は以下の通りである。（写真 - 1）

- ① コンクリート積込み完了後の自動発進（バッチャープラントへの復帰）
- ② 主索位置（起伏角度）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
- 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待機位置の補正
- ④ 走行中に障害物があった場合には自動的に警報を発して走行停止（非常停止）
- ⑤ 試料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

4.3 クレーン自動運転システム

4.3.1 自動運転システムの特徴

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任意の打設位置に、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作業を自動化したものである。特徴としては①施工に応じた運転モードの切替・選択、②容易な打設位置の指定、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等がある。

コンクリート打設方法は、1バケット毎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。打設位置の指定方法には、①写真 - 2に示すように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方法、②打設位置の座標を手動で入力する方法の2通りがある。



写真 - 1 コンクリート積込み状況 (サイドシュート式)



写真 - 2 打設位置指定状況

4.3.2 クレーン制御方法

クレーンの運行制御手法には、オープン制御を適用した。打設位置が与えられると、障害物を回避しバケットの振れの発生を抑制し最短時間の経路を求める。この経路から巻き、横行(旋回)、走行(起伏)速度を求め制御速度とした。クレーンの制御フローを図-2に示す。クレーンの運転モードはフローに示すように、①全自動モード(積込・運搬・放出がすべて自動)、②自動・確認モード(打設場の安全確認後、自動放出)③自動・手動介入モード(打設場への運搬までは自動、コンクリートの放出は手動)の3種類がある。打設場での施工条件により使い分けが容易に行えるシステムである。

a 自動運転の記録

自動・確認モードの自動運転の速度記録を図-3に示す。自動運転の流れを同図を用いて説明する。図-3はタワークレーンの結果であるが、旋回を横行、起伏を走行に読み替えるとケーブルクレーンの自動運転と同等なものになる。

①トランスファーカの積込み終了信号を受けてクレーンは自動的に離床を始める。

②バケットの離床信号を受けて、旋回(横行)は往路の計算結果の速度信号にしたがって振れを発生させない速度で加速・減速し③の打設待機位置(打設位置上空)で一旦停止する。

③合図者は周囲の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後自動的に打設待機位置まで上昇する。(自動・確認モードの場合)

④往路が終了しバンカー線への復路の計算をする。

⑤計算終了後、クレーンはバンカー線への復路に入り着床まで自動運転される。

クレーンの自動運転はトランスファーカと互いに連動して①～⑤までのサイクルを繰り返すものである。

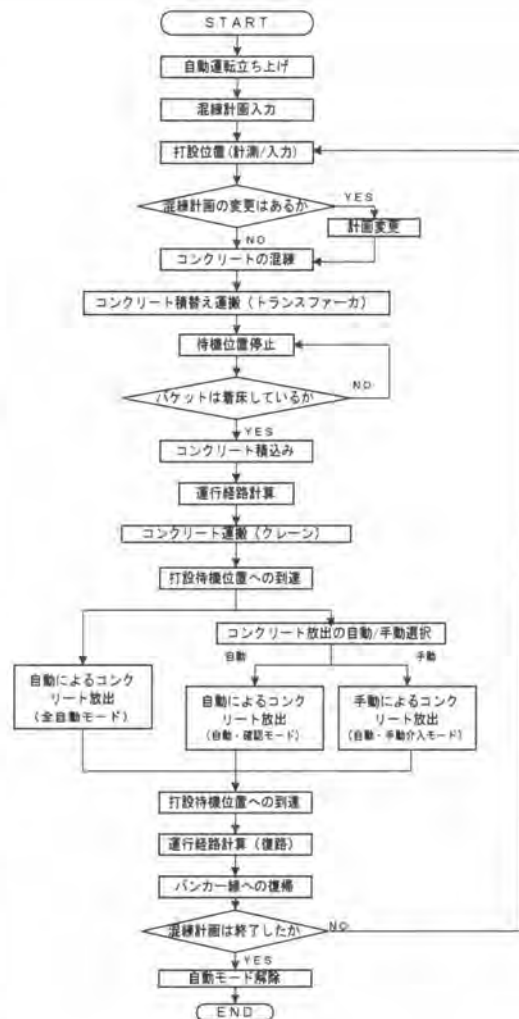


図-2 クレーン制御フロー

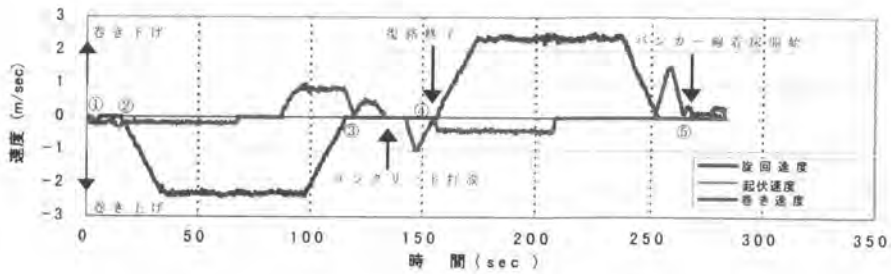


図 - 3 自動運転の速度記録

b. 障害物回避

コンクリートバケットの運行経路を求める場合、安全を確保する上で地形および打設の進捗により変化する堤体の形状を考慮する必要がある。この地形と堤体を重ね合わせたものを障害物と定義する。障害物の回避はコンクリート運搬の開始・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から侵入禁止領域を定める。この侵入禁止領域を回避する運行経路を求める。その結果を図-4に示す。図には地形、侵入禁止領域、計画軌道と計測したバケットの軌道を併記している。パンカー線近傍に運行経路に障害となる山が存在しており、これを避けた形で運行経路を算定している。また、計画と実際の運行経路はほぼ一致していることがわかる。

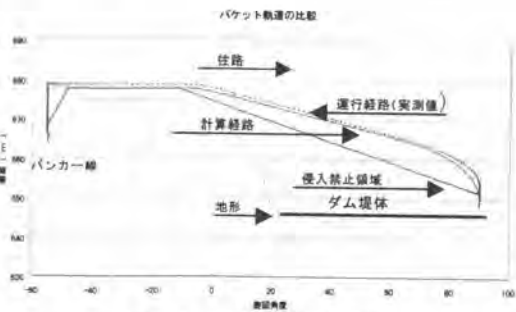


図 - 4 運行経路の比較

また、計画と実際の軌道の離れを常に計測しており、離れが所定の長さ以上になれば自動運転が停止するインターロックを施している。図-4の状況（山を越える運搬状況）を写真-3に示す。



写真 - 3 障害物回

c. 位置決め・振れ止め制御

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、横行（旋回）、走行（起伏）エンコーダから変換したワイヤー長、角度および吊荷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。また、バケットの振れ止めは、バケットが到達位置で横行（旋回）方向に振れが発生させない方法を適用している。その方法は、バケットを振り子モデルと

仮定し、横行あるいは旋回方向の加速および減速を、巻きの速度を考慮した振り子の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。

タワークレーンとケーブルクレーンのバケット到達位置でのXY座標（X：ダム軸方向、Y：ダム軸直角方向）の時間変化の一例を図-5に示す。バケット到達位置での目標位置に対するズレおよび振れは開発目標であるバケット直径の1/2以下となっており、十分な位置決め精度と振れの抑制が確保されている。これらの制御によりコンクリート放出作業は施工上問題なく行うことができた。

次に、打設サイクルタイムの一例を図-6に示す。タワークレーンでは旋回角度約220度、作業半径が20～60m、ケーブルクレーンは横行距離が約110mの打設位置である。平均サイクルタイムはタワークレーンで5分50秒、ケーブルクレーンで4分55秒であった。また、RCDコンクリート部のサイクルタイムは3分35秒であった。このサイクルタイムは手動運転の平均サイクルタイムと同程度である。

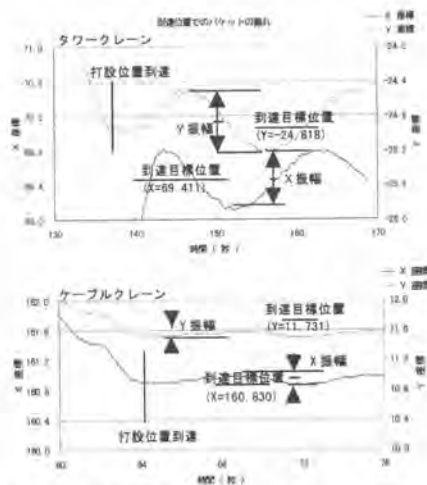


図-5 到達位置でのバケットの振れ

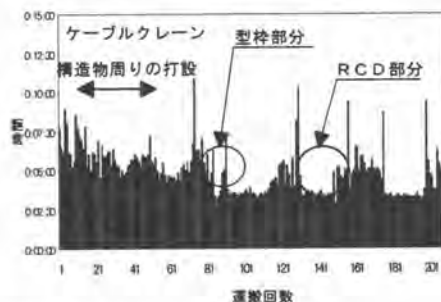
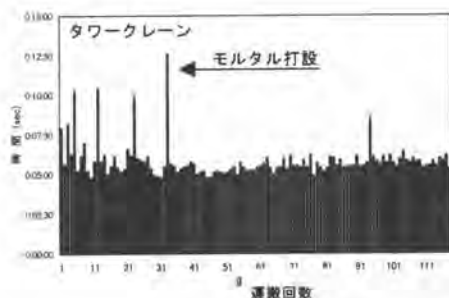


図-6 打設サイクルタイム

5 まとめ

ダムコンクリート打設自動化システムを開発しダム本体の建設工事に導入した。その結果当初の開発目標を満足し、安定したコンクリートの混練・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および省人化できることを確認した。

6 あとがき

当初の開発目的をほぼ達成できたと考えている。今後は信頼性・耐久性の向上を図っていく予定である。本システムの開発に際し、東京大学生産技術研究所藤田隆史教授のご指導と現場のご支援を頂き、ここに深く感謝の意を表します。