

ケーブルクレーン自動運転システムの開発（その2）

—制御システムの実装とダム堤体工への適用—

西松建設(株) 技術研究所	正会員	○戸田 泰彰
西松建設(株) 技術研究所	正会員	田中 勉
西松建設(株) 機材部		井上 洸也
西松建設(株) 九州支社		中井 利幸

1. はじめに

我が国における労働人口の減少の流れは今後さらに加速するとされ、特に建設業における施工の省人化、無人化への取り組みは喫緊の課題である。そこで今回、ダム堤体工における生産性向上、CIMやICT技術を活用した「i-Construction」の実現を目指し、ケーブルクレーンによるコンクリート打設の自動化技術開発に取り組んだ。

開発したシステムはコンクリート打設作業の際に都度遷移する打設位置や、バケット積載重量の変化に応じて、運搬の軌道や速度を変化させ、最適化された自動運転を実現する。システムの特徴はGNSS測位技術を活用した高精度な位置決めと、状態フィードバック制御を利用したバケット振れ止め制御である。また本システムは、熊本県立野ダム建設工事の堤体工において試験運用を実施し、コンクリート打設作業への適用性を確認した。

2. 自動運転システムの制御

(1) 自動運転による打設フロー

本システムの打設1サイクルにおける動作フローを示す(図-1)。ケーブルクレーンとバッチャープラント・トランスファーカの各システムが連動して、動作信号をやり取りすることで、一連サイクルの自動運転を実現する。

(2) バケット振れ止め制御

横行トロリとそこから吊り下げられたフックブロックの測位データを0.1秒毎に計測することで、バケット振れの挙動をリアルタイムで取得する(図-2)。得られたバケット振れ角度及び角速度、振れ方向(横行トロリ進行方向の成分を算出)を制御パラメータとして使用し、横行トロリを加減速する制御(状態フィードバック制御)をシステムに実装している。

具体的には目標位置に近づいた際の横行トロリ減速停止制御において、(横行トロリとフックブロック、バケットの機械的な機構を単振動の振り子として扱い)振り子の周期 T と、減速開始前の初速度 V の2つの既知の値から、規定の振れ止め制御を与えた場合の停止までに必要な距離(制動距離) L を算出している。横行トロリの減速停止制御プログラムにおいてこの L を使用することで、バケッ

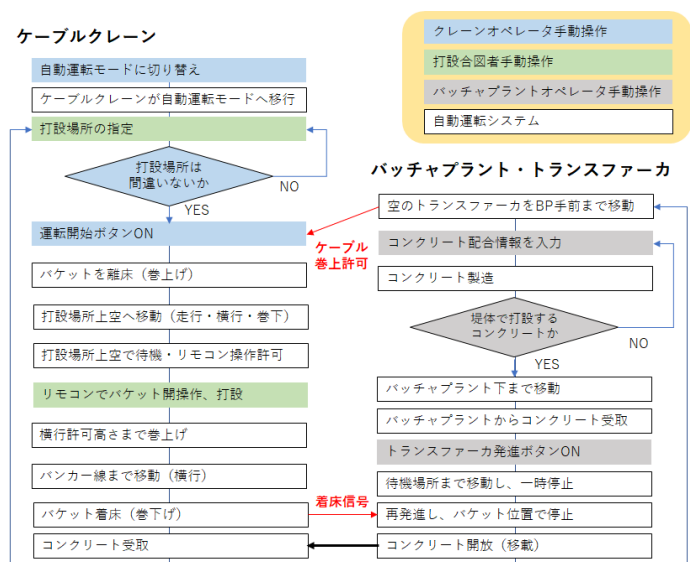


図-1 自動運転打設フロー

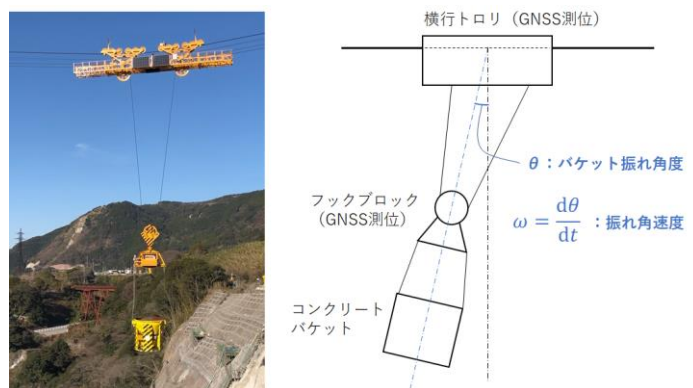


図-2 バケット振れ止め制御

キーワード ダム、ケーブルクレーン、GNSS測位技術、コンクリート打設、バケット位置制御

連絡先 〒105-6407 東京都港区虎ノ門1丁目17番1号 西松建設株式会社 技術研究所 TEL. 03-3502-0247

トの振れを抑え、且つ目標位置に高精度で停止させる、複合的なバケット停止制御を実現する。

3. ダム建設工事への適用試験

本開発にあたって、システム設置から試験導入までを熊本県内の立野ダム建設工事にて実施した。

(1) バケット到達位置精度の検証

堤体打設オペレーティングシステムにより、タブレット端末から目標位置（打設点）を指定して（図-3）自動運転を行い、指定した目標位置とバケット停止位置を比較した結果、X方向（東）及びY方向（北）いずれも±150mm以内であることを確認した。この位置精度は、実際の打設作業において打設点付近でのバケット位置の修正を必要としないため、スムーズな作業を実現し、打設サイクルタイムの短縮に寄与する。

(2) 自動化による打設サイクルタイムの短縮

上記の自動運転での打設点への到達及びバンカー線上への着床では、概ね手動運転と同等の作業時間で一連の動作ができることを確認している。

手動運転における作業上の制約として、クレーン運転士が目視確認でバケットを着床させる際に死角となるため、トランスファーカをバケット着床位置よりも60m後方で一旦停止して待機させる必要がある。これを自動運転では目視確認が不要なため、待機位置を近づけることができる。

待機位置を8mまで近づけた場合の打設サイクルタイムの短縮効果について、トランスファーカの動作シーケンスから算出した理論値と、現場試験での計測結果を示す（表-1）。トランスファーカの車輪の摩耗やバンカー線のレールの摩耗といった経時劣化により、理論値と実測値との差異が生じてはいるが、短縮効果としては実測値で25.3[s]であり、試算したとおりの効果が確認できた。この短縮時間は、打設サイクルタイム全体の約10%に相当し、これにより自動運転の導入が打設作業の生産性向上に寄与することが検証された。

(3) デジタルサイネージとコンクリート品質情報管理

ケーブルクレーンやバッチャープラントなどの、各設備の稼働状況を示す動作信号を収集し、デジタルサイネージとして統合的に情報を表示する。さら収集したコンクリート品質データ（配合データ及び試験データ）を打設位置データ（GNSS測位データ）と紐付けることで、ダム堤体全域のコンクリート品質データの蓄積と管理を行う（図-4）。この蓄積データをダム堤体CIMモデル上に付与・表示させることで、日々の打設データの管理を効率化できる。

4. まとめ

GNSS測位技術を活用したケーブルクレーン自動運転システムを構築し、横行トロリとフックブロックの測位データを活用したバケット振れ止め制御を実装し、現場適用試験を通して有用性を確認した。さらにコンクリート品質データを収集、ダム堤体CIMモデル上に蓄積する品質管理システムを構築した。



図-3 打設位置指定画面

表-1 自動化による作業時間の短縮

トランスファーカ待機状態からバケット接近までの所要時間

運転モード	待機位置	所要時間 [s]	
		理論値	実測値 (10回平均)
手動	60m 後方	40.5	50.1
自動	8m 後方	15.7	24.8



図-4 コンクリート品質管理システム