

47. ケーブルクレーン自動運転システムの開発と施工報告

西松建設(株)：石井 正典*
荏隅幸五千，小西 保

1. はじめに

近年、建設業界において、生産性の向上、安全性の向上、技能労働者や熟練労働者の不足等雇用問題の解消を図るため、各分野において種々の研究および開発が行われている。ダム工事においても、合理化施工を目指しRCD工法や拡張レヤー工法等の面状打設工法は、急速な展開が図られているが、従来の施工法である柱状打設工法は、RCD工法等の面状工法に比べ、多少、合理化、省力化が遅れている感がある。

柱状打設工法の代表的な打設設備であるケーブルクレーンは、安定かつ効率的な打設能力の維持が工期、品質面からも重要である。しかし、昨今の熟練オペレータ不足は、この問題に大きな影響を与えている。こうした背景から、熟練オペレータと同等の運転能力の確保、繰り返し単純作業からの開放および安全性の向上を目的にケーブルクレーン自動運転システムを開発した。本システムは、平成8年2月より福岡県発注の鳴淵ダム建設工事に導入し、現在も稼働中であり、コンクリート打設ではほぼ100%の稼働率となっている。

2. 制御内容

一般に、ケーブルクレーンの操作項目として、横行移動、上下流移動、巻上下がある。柱状打設工法のコンクリートダム工事では、1ブロックが左右岸方向15mの幅で、2～3層でコンクリート打設を行う。本システムは、順次移動する打設位置を打設順序設定を行うことにより、横行（横行ウィンチ）・上下流（移動塔走行制御）・巻上下（巻上ウィンチ）の制御を行い目標位置まで、コンクリートバケットを自動で移動させる。さらに、横行方向では、加速・減速時にバケットに揺れが発生するが、この揺れを抑えるために、制振制御を位置決め制御と同時に行う。

打設場所では、各バッチのコンクリートの状態により、バケット解放後の広がりかたに違いがあるため、設定した目標位置から若干の位置変更が生じる。また、減勢工部では、ピンポイントでの位置決めが必要となる。そこで、打設側の合図者が、リモコンでケーブルクレーンを微速操作して位置決めした後、バケット開閉ができるようにした。その結果、作業



写真-1 鳴淵ダム建設工事全景

効率と安全性が向上した。

3. システム概要

図-1 にケーブルクレーン自動運転システム構成図、図-2 にシステムブロック図を示す。

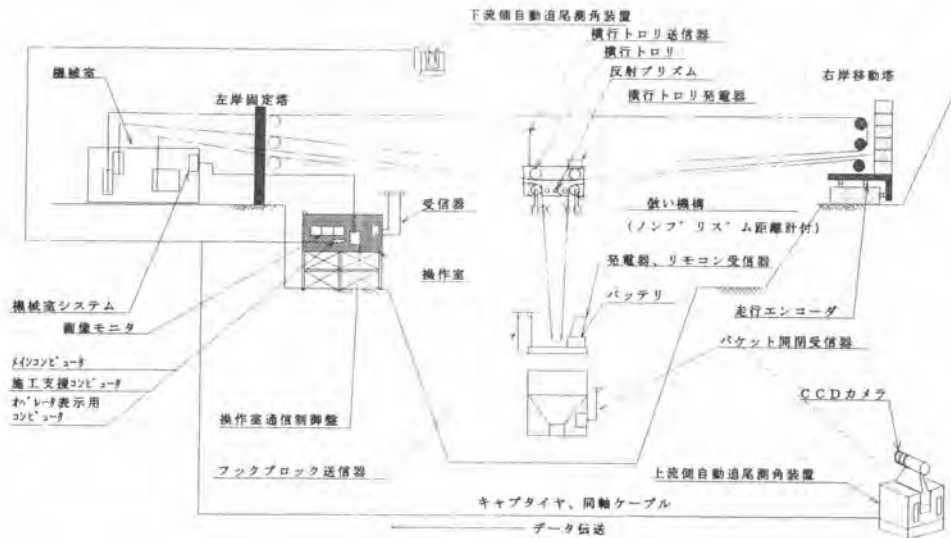


図-1 ケーブルクレーン自動運転システム構成図

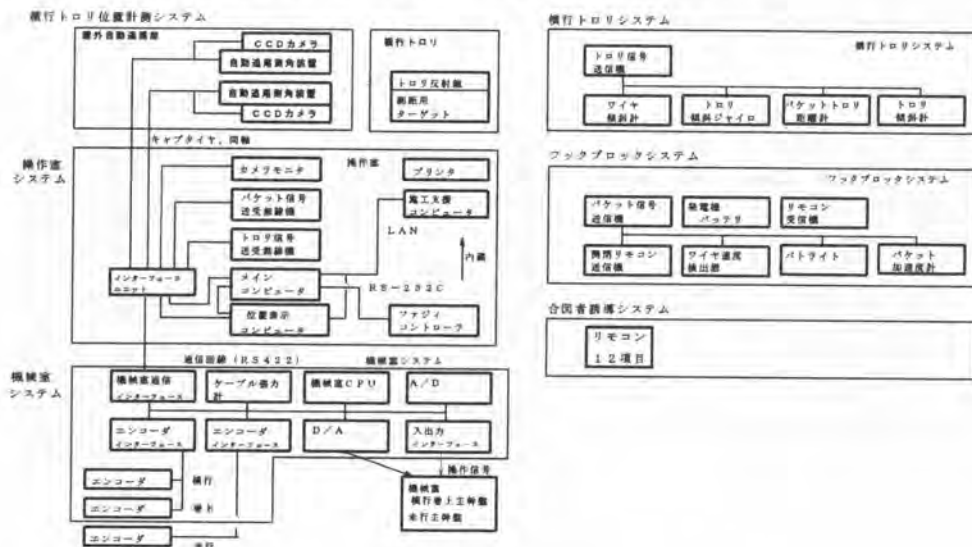


図-2 システムブロック図

ケーブルクレーン自動運転システム構成図における各システムの機能を以下に示す。

(1) 横行トロリ位置計測システム

横行トロリ位置計測システムは、目標位置に横行トロリおよびバケットを停止させるために、その各々の三次元座標をリアルタイムに計測するシステムである。

横行トロリ、バケット位置は、ウィンチのエンコーダから計測することも可能である。しかし、温度変化や張力変化によるワイヤロープの伸びにより真の位置と異なるため、この影響を常時オフセットする必要がある。従って、高精度の位置決めを行うために、トロリ位置の計測は、横行トロリ位置計測システムのCCDカメラ付自動追尾測角儀で測角し、その角度と主索位置の交点から三次元座標を演算で求める。

バケットの位置は、横行トロリシステムの横行トロリ倅い装置に取り付けたノンプリズム距離計でのバケットまでの距離、横行トロリ傾斜角および倅い装置角度から計算される。また、倅い装置角度は、ファジィ入力変数としても使用している。倅い装置は、横行トロリの巻上シーブと回転中心を同一とし、巻上索(2本)に倅って、各々の横行トロリと巻上索角度をエンコーダを用いて計測する。自動追尾測角装置の仕様を以下に示す。

自動追尾方式：レーザスキャニング式 (スキャニング範囲 ± 20 分, スキャニング回数200回/秒)

起伏速度：最大 16° /sec、 旋回速度：最大 20° /sec



写真-2 自動追尾式測角装置

(2) 操作室システム

操作室システムは、メインコンピュータ、施工支援コンピュータおよび位置表示コンピュータをLANで接続したコンピュータシステムにより構成される。

メインコンピュータは、バケットの制振・目標位置決め制御に必要なデータを、横行トロリシステム、フックブロックシステムおよび機械室コンピュータとの通信により集積し、そのデータをファジィコントローラに入力することにより、制振・位置決めを異なった2

つの状態量を同時制御するための出力量を演算し、操作量データとして機械室システムに送信する。

施工支援コンピュータは、打設ブロックの打設順序の入力、打設目標位置の三次元座標計算とメインコンピュータのデータファイルへの出力機能を持っている。また、ファジィコントローラを内蔵し、フ



写真-3 操作室システム

アジコンローラのモニタとしても使用することができる。

位置表示コンピュータは、稼働時のバケット軌跡、次打設の位置表示、バケットスケジュール確認変更画面で構成され、これらの監視画面によりオペレータの支援を行う。また、次打設位置の変更機能も併せ持つ。

(3) 機械室システム

機械室システムは、ケーブルクレーンの機械室制御盤（巻上・横行主幹盤、走行主幹盤）とウィンチエンコーダからの信号を収集・演算し、操作室システムに通信し、操作室システムからの出力信号を受け、機械室制御盤に送信する。また、ウィンチ制御出力値と実際のウィンチの動きを計測するエンコーダとの値を比較し、出力値と異なったウィンチの動作や、操作室のメインコンピュータからの異常信号に対し、ソフト上で安全に停止ができるフェイルセーフ機能を付加している。

(4) 横行トロリシステム

横行トロリシステムは、制振制御の制御パラメータである横行トロリとバケット間距離および位相角等のデータを操作室コンピュータに送信する機能を持っている。システムは、横行トロリに取り付けた傾斜計、光ファイバージャイロ、倣い装置のエンコーダの値およびノンブリズム距離計の距離データを受け、特定小電力無線で操作室に送信する。倣い装置には、ノンブリズム距離計が装備されており、バケットと横行トロリ間距離を計測している。

システム電源は、主索シーブの回転を利用した風力用発電機とソーラー発電機を併用して用いている。

(5) フックブロックシステム

フックブロックには、加速度計、バケットへの送信機、リモコン受信機、操作室送信機が装備され、バケットの加速度センサデータとともに打設側合図者のリモコン信号を受信し、特定小電力無線でバケットおよび操作室にデータを送信する。

また、移動中はシーブの回転を検出し、LEDフラッシュライトと音声により警報を促す。



写真-4 横行トロリシステム



写真-5 フックブロックシステム

(6) 合図者誘導システム

合図者誘導システムは、ケーブルクレーンを打設側合図者が放出位置付近に限り、自在に動かすことができるリモコンシステムである。自動運転システムでは、コンクリートバケット運搬目標位置の設定は三次元座標とし、打設ブロックを小ブロックに分割し、打設順序を数字で入力している。しかし、打設場所の状況により微小範囲で打設場所の変更が必要な場合があるため、打設場所での放出場所を容易に変更できるように、クレーンの操作をリモコンとして、合図者に持たせ操作させることにより、打設場所での細かなバケット操作を可能とした。

4. 技術審査証明結果

本システムは、平成9年3月28日にダム技術センターより、技術審査証明を受けた(ダム建設・技術審査証第0801号)。その結果、以下の機能が確認された。

- (1) ケーブルクレーンがコンクリートバケットの制振制御を行い、位置決めを自動制御する機能を有し、動作に安定性がある。
- (2) ケーブルクレーンによるコンクリートの運搬が予め決められた位置と順序で自動運転されている。また、打設中に運搬位置と順序の変更が容易にできる。
- (3) トランスファーカからコンクリートバケットへの積み込みが自動化されている。
- (4) 自動運転のサイクルタイムは、従来の方法と同等である。
- (5) システムの操作が簡単である。
- (6) 緊急時の対応が確実にでき、安全の確保ができる。

5. 現場導入結果

(1) 導入現場

本システムを導入している現場の諸元を以下に示す。

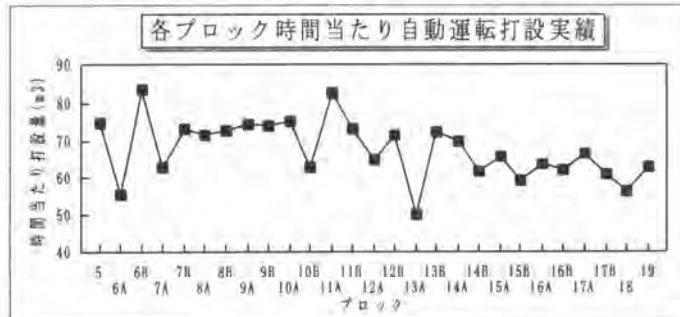
ダム諸元	ケーブルクレーン仕様
発注者：福岡県 工事名：鳴瀬ダム建設工事	
形式：重力式コンクリートダム 堤高：67.4m 堤頂長：308.0m 堤頂幅：5.0m 堤体積：392,000m ³	種類：弧動式 定格荷重：14.5tf 主索径間：475m 横行速度：340m/min(実、空荷重) 巻上速度：140m/min(実、空荷重) 走行速度：20m/min

※本システムは、固定式、両側走行式、弧動式、軌索式ケーブルクレーンに適応可能

(2) 時間当たり打設量実績

以下に、ほぼ同一リフトでの各ブロックの施工実績を示す。その結果、手動運転と同等もしくはそれ以上の時間当たり打設量がある。13Aブロックの時間当たり打設量が少ない原因は、当該ブロックが

構造物（エレベータシャフト、監査廊）を含んでいるためである。また、ブロック番号が大きくなるほど時間当たり打設量が少なくなっているのは、横行距離が長くなっているからである。



(3) 自動運転の長所・短所

a) 長 所

- ・ 自動運転中のオペレータの作業は、計器類・バケット移動の監視が主となるため、精神的・肉体的な疲労が大幅に軽減される。その結果、一人で連続で8時間の打設が行える。また、機器の点検も十分に行う余裕が生まれる。
- ・ 打設側の合図者が不慣れでも、コンクリート放出箇所の指示をするだけで自動運転することから、安全で安定した打設作業ができる。
- ・ オペレータが不慣れでも、テンキー操作とスタートボタンを押すだけで自動運転することから、安全で安定した打設作業ができる。
- ・ 無線連絡等による合図運転を行わないため、合図ミスや聞き取りミスによる誤動作が無く、安全作業ができる。
- ・ 合図しなくても、所定の位置まで自動で移動するため、合図者の作業に余裕ができる。その結果、打設箇所の安全を確認する余裕ができる。
- ・ 型枠等への接触破損が、他の現場と比較して非常に少ない。

b) 短 所

- ・ 打設作業ではほぼ100%の自動運転を行っているため、オペレータの手動運転技術および合図者の合図誘導技術が上達しない。

6. おわりに

ケーブルクレーン自動運転システムのサイクルタイムは当初の目標通り熟練オペレータに比べて、ほぼ同等であり、繰り返し単純作業でのオペレータおよび合図者の負担軽減化、熟練オペレータ等技能労働者不足に対する雇用対策に大きく貢献できたと考える。

現在、発進起動および打設側からの戻り起動に安全上の理由から、人間の判断をいれているが、システム上は全自動・完全無人化のアルゴリズムは確立されている。よって、今後は安全面・施工面の両面から、本システムの全自動・完全無人化にむけて、システムの改良を行っていく予定である。

末筆ではありますが、本システムの開発・導入に際し御尽力戴いた方々に感謝の意を表します。