

## 22. 鹿島式ケーブルクレーン自動運転システム

鹿島建設㈱：塚本 克美，\*岸 光輝

ダムコンクリート打設作業の安全性・生産性の向上および熟練オペレータ不足対策をねらいとして、開発したケーブルクレーンの自動運転システムの概要と、実証計測の結果を紹介する。

### 目次

- I. 背景と開発目標
- II. システム概要
- III. 振れ止めと位置決め
- IV. 確認した性能
- V. 今後の課題
- VI. おわりに

#### 1. 背景と開発目標

本ケーブルクレーン自動運転システムの開発にあたっては下記のような背景があり、それに伴って開発目標をつぎのように定めた。

##### 1. 背景

① コンクリートダム施工の合理化・自動化の強い要請がある。

ケーブルクレーン自動運転技術を開発し、現在保有している骨材・セメント輸送、バッチャープラント、トランスファーカ、コンクリートバケットの自動運転と組合わせて、コンクリート打設の総合自動運転システムを確立し、コンクリートダム施工の合理化を図りたい。

② 熟練オペレータの減少と高齢化が進んでいる。

##### 2. 開発目標

- ① 位置付け：当技術開発をコンクリート打設の総合自動運転システムの主要なサブシステムとする。
- ② 開発技術：両端固定式、弧動式、軌索式等全ての型式のケーブルクレーンに対応できるものとする。
- ③ ダム形式と打設工法への適用：柱状工法・拡張レーア工法・RCD工法等、あらゆるコンクリート

ダム打設工法と、重力式、アーチ式等全てのコンクリートダム形式に適用出来るものとする。

- ④ 繰返し精度：未熟練オペレータでもベテラン並に運転でき、繰返しの苦渋作業を軽減する。
- ⑤ 到達精度：目標位置への高い到達精度を確保する。
- ⑥ 能率の向上：安定したサイクルタイムにより能率を向上する。
- ⑦ 安全性の向上：確実な障害物回避と高い振れ止め技術により安全性を向上する。  
：簡単な運転操作と不具合発生時に確実な処置ができるものとする。

## II. システム概要

### 1. 構成

ケーブルクレーン自動運転システム概要を図-1に示す。

システムは次の4サブシステムで構成される。

- (1) 運転室システム
  - a. 自動運転CPU
    - a) システム全体管理
    - b) システム初期設定
    - c) コンクリートパケット位置計算
    - d) 運転レート計算
    - e) 振れ止めメーター計算
    - f) 原点リセット
    - g) 停止位置補正
    - h) コンクリート打込み位置設定
  - b. 横行トロリー自動追尾トータルステーションデータ処理

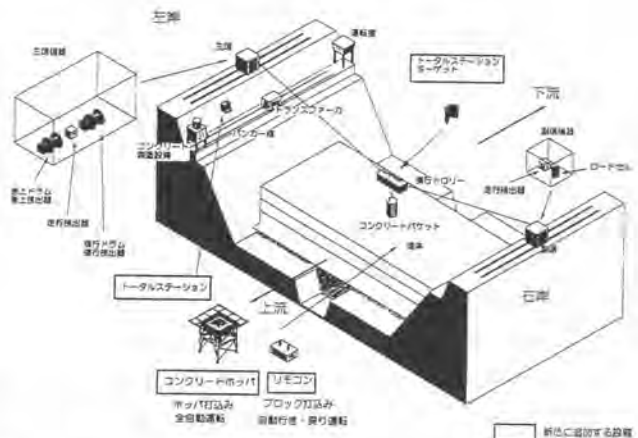


図-1 ケーブルクレーン自動運転システム概要図

### (2) トランスフェーカ自動運転システム

運転室システムとタイミングを取り合いながら、ハンカ線での進入、待機、再発進、コンクリート投入、後退等の制御を行い、「コンクリート投入完了」信号を運転室システムに出力すると、ケーブルクレーンは自動行き運転を開始する。

### (3) コンクリートパケットシステム

2本のハンギングワイヤに接続された油圧シリンダによって発生する油圧をパケットゲートの開閉力に使う、遠隔操作油圧開閉式コンクリートパケットを使用する。

パケットゲートの閉異常が発生した場合、運転室システムに「閉異常」を送信する。

運転室システムはエラーを表示すると共に、自動運転ポーズ状態となりパケットはハンカ線上で

一時停止する。

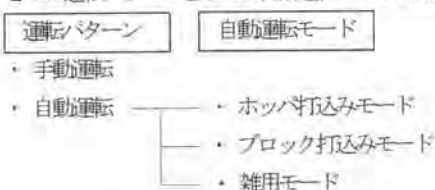
#### (4) コンクリートホップシステム

バケット到達検出用のIDセンサと、高さ検出用の反射式光電センサおよび荷重検出装置を備えている。到達高さはコンクリートの分離を防止するためにホップ上 1.5 m以内で放出するようにセットした。2つのセンサで到達を確認すると微弱無線を使ってコンクリートバケットシステムに“バケット開”信号を発信しコンクリートを放出させ、荷重検出装置でコンクリート放出完了を確認し“放出完了”信号をSS無線により自動運転システムに伝送する。

## 2. システムの特徴

### (1) 運転パターンと自動運転モード

2つの運転パターンと3つの自動運転モードを持ち、必要に応じて簡単に切替できる。



#### a) ホップ打込みモード: 全自動運転

初回の自動運転開始時刻操作以後、バンカー線～ホップ間の繰り返し往復運転およびホップへのコンクリートの放出を全自動で行う。

#### b) ブロック打込みモード

バンカー線を起点としてバンカー線～ブロック間の繰り返し運転を自動で行う。ブロックへのコンクリートの放出作業は、リモコン無線操作器およびバケット開閉無線送受信器を使って行う。

#### c) 雑用モード

現在位置から指定された場所まで、資機材等の運搬を自動で行う。吊り荷の地切り、目標位置における荷卸し作業はリモコン無線操作器を使って行う。

### (2) 振れ止めと到達位置精度

高度なフィードフォワード制御とファジィ制御を用いた2段階加減速による振れ止めにより、目標位置への高い到達位置精度と少ない残存振れを確保している。

### (3) 通過安全高さ教示

簡単な通過安全高さの教示とシステムが持つダム形状データとを合わせて、運搬経路中

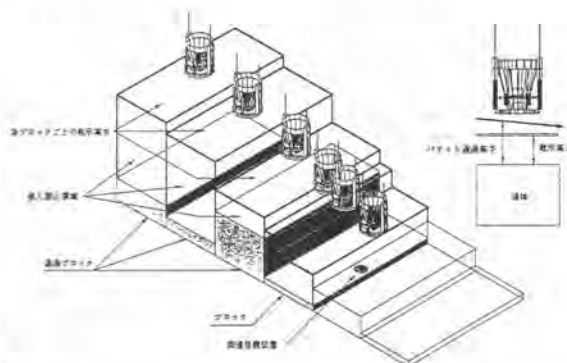


図-2 バケット通過安全高さおよび侵入禁止領域

の侵入禁止エリアを自動設定し、安全で最適な運転パターンをその都度計算して運転している。

#### (4) システムの適用性

以上の特徴を生かすことで、各ダム形式、各打設工法、および各種のケーブルクレーン型式で適用可能なシステムを構築している。

表-1 ケーブルクレーン自動運転システム適用範囲  
(コンクリートダムへの適用)

ケーブルクレーン型式 ダム形式 打設工法		両端固定式	弧動式	両側走行式	軌索式
重力式	柱状ブロック工法	◎	◎	◎	○
	拡張レアー工法	◎	◎	◎	○
	RCD工法 (ホップ打設)	◎	—	—	—
アーチ式	柱状ブロック工法	—	◎	◎	○

◎印：現状で適用可能

○印：一部改良で適用可能

### 3. システム全体フロー

図-3にシステム全体フローを示す。

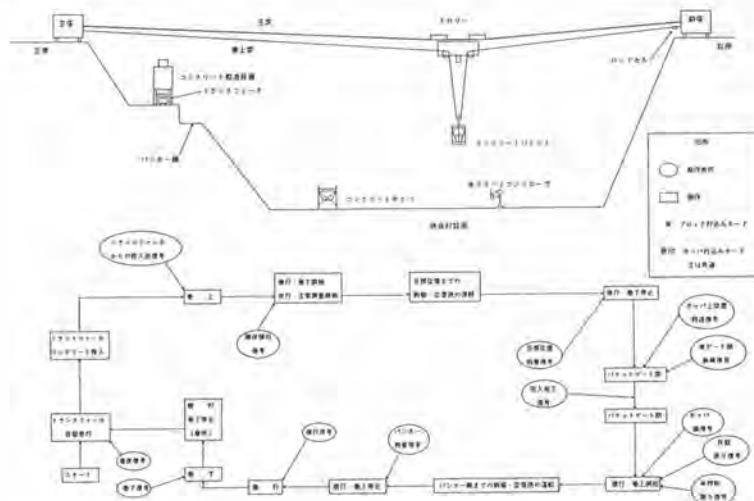


図-3 システム全体フロー図

#### 4. 操作

##### (1) 手動運転と自動運転の切替

運転パターンの切替は、運転席近くに設けた自動運転操作盤面の、手動-自動切替スイッチにより行う。

##### (2) 自動運転モードの切替

次のように作業内容により自動運転モードの切替の必要が生じた場合、パソコンのメイン画面のタッチキーにより、メニュー選択の形で簡単に切替を行うことができる。

- ① RCD工法のコンクリートホッパ式において、ダム天端付近のダンプ運転ができない直打の場合
- ② 柱状工法の構造物の周辺や、減勢工打設時等の定点へ繰返しコンクリート運転が必要となる場合
- ③ 資機材の自動運搬を行う場合

##### (3) その他のパソコン操作

下記に示す最小の事項について、パソコン画面のタッチキーにより設定と操作を行う。  
初期設定後、通常運転中は、キーボード入力は一切不要で、オペレータは“監視”に専念できる。

- ・ 打設ブロック番号とELの入力 (画面テンキー)
- ・ 画面切替操作 ・安全高さ表示解除
- ・ 自動運転開始 (初回のみ) ・雑運転時の目標位置番号入力 (画面テンキー)
- ・ 自動運転一時停止 (ポーズ指令) ・エラー発生時メッセージの確認

##### (4) コンクリート打設位置

今回の実証工事現場は、アーチ式ダムのため打設ブロック面積が狭く自動打設位置設定ができないため、ブロック打込みモードにおける次回コンクリートバケットの到達目標位置は、打設現場のリモコンオペレータが、“自動戻り”鈕を押した位置の座標とし、コンクリート打設位置を日々事前にキーボード入力する必要がないようにした。

##### (5) 通過安全高さ教示

ホッパ打込みおよびブロック打込みにおいて、始業点検を兼ねて目標位置とバンカー線間を空バケットを手動運転することで、“通過安全高さ”をシステムへ読み込ませることができる。

この“通過安全高さ”と、初期値データとして入力済みのブロック座標から、進入禁止領域を設定される。このように通過安全高さを教示するだけで、ブロック上の最低安全高さが決まるので、ジブクレーンを設置したり、足場を組んだ場合等の障害物の座標データを、改めてキーボードで入力する必要はない。

##### (6) 打設実績の収集

自動運転中のロギングデータとして必要な項目を自動記録し、簡単な市販ソフト (Excel) で分析が可能で、実績データの収集が容易にできるため作業日報等を手書きする必要がない。

### III. 振れ止めの制御方法

教示した障害物を回避する最適パスを決定後、そのパス上を移動する横行・巻上下・走行の速度パターンを決定する。振れ止めは横行・走行の2段階加減速により行う。2段階加減速とは加速（または減速）を2段に分けて行い、1段目の加速で発生する振れを2段目の加速（減速）で打ち消し振れ止めする方法である。トロリー横行位置が横行駆動ドラムから遠くなるにしたがって横行糸のゆるみが増加し、ドラム回転時、そのゆるみによりドラムの回転量とトロリーの移動量との間に差が生じる。このため加減速タイミングを、トロリーの横行位置によりファジィ演算により補正しているのが本システムの特徴の一つである。

### IV. 確認した性能

表-3に示すように実用的な残存振れ幅・到達位置精度およびサイクルタイムが得られた。

表-3 振れ幅・到達位置精度 (単位: mm) とサイクルタイム (単位: 秒)

モード	項目	残存振れ			到達目標			到達精度	サイクルタイム		
		X	Y	Z	X	Y	Z		標準	実測	差
ホッパ 打込み (件数: 12)	平均	766	1388	363	69	93	104	178	146.8	144.5	-2.3
	最大	963	1687	996	158	193	396	401	146.8	160.0	+13.2
	最小	244	1069	197	7	2	18	92	146.8	139.0	-7.8
ブロック 打込み (件数: 27)	平均	561	938	502	161	240	204	389	143.2	145.2	+2.0
	最大	888	1719	964	443	672	383	805	147.4	165.0	+17.6
	最小	276	480	196	10	3	0	82	142.8	134.0	-8.8
雑用 (件数: 15)	平均	398	400	177	211	167	279	421	—	173.4	—
	最大	498	507	301	370	325	468	621	—	174.0	—
	最小	233	302	91	3	54	11	257	—	172.0	—

### V. 今後の課題

アーチ式コンクリートダム建設工事において使用した、同心円弧動型昇降走行式ケーブルクレーンを、幾多の問題点を解決しながら自動化に成功した。今後は他のダム形式及びケーブルクレーン型式において実用に供し、当システムの有効性を実証する。

### VI. おわりに

以上鹿島式ケーブルクレーン自動運転システムの概要について述べた、これによりコンクリートダム施工の総合自動運転システムを確立することができた。今後コンクリートダム施工の自動化に本システムが貢献できるものと確言している。

なお本システムはダム技術センターの「民間開発建設技術審査」を受審し、'98年3月末に技術審査証明書を受領した。