

ダム用コンクリート自動運搬システムの開発

—軌索式ケーブルクレーンへの適用—

三好 哲也・安田 直・蔵元 一成

今回開発したダム用コンクリート自動運搬システム(3次元)は、軌索式ケーブルクレーンによる打設箇所への直接運搬を全自動化したもので、システム全体を集中制御するコンピュータが、プログラミングされた打設手順に従って、自動運転を行うものである。このシステムの開発にあたっては、軌索式ケーブルクレーン特有の3次元ベクトルを持った振れを制御することがポイントとなったが、フィードフォワード、学習機能、フィードバック制御を組み合わせることでこれを解決した。本報文は、^{よまさり}世増ダムにて実用化した事例について報告する。

キーワード：軌索式ケーブルクレーン、完全自動化、GPSを利用した振れ止め、学習機能、フィードフォワード制御

1. ま え が き

コンクリートダムの建設工事は、その大部分がコンクリート打設である。そのため、コンクリート打設の効率化と安全性向上が工事全体のなかで重要なポイントとなる。特にケーブルクレーンの運転は高度な熟練技術が必要であるため、コンクリート打設の効率化はオペレータの技量により左右される。そこで、熟練オペレータ不足や、典型的な繰返し作業からの開放をターゲットに全自動コンクリート運搬システムの開発に着手し、固定式ケーブルクレーンでの実用化を千屋ダムにおいて1992年に成功した。その後この技術を応用し、富郷ダムで両端移動式ケーブルクレーンを実用化した。

一方、近年、ダムコンクリートの建設工事は、ダムの規模が中・小規模が中心となる中、周辺環境への配慮から多量の走行路掘削を必要としない、軌索式ケーブルクレーンによるコンクリート運搬方式の採用が増えており、今後もこの傾向が続くものと考えられる。

そこで今回は、従来開発したダム用コンクリート自動運搬システムを基本に、軌索式ケーブルクレーンによる打設箇所への直接運搬を完全自動化したシステムを開発し、^{よまさり}世増ダムで平成12年の4月の打設開始より実用化した(写真-1参照)。

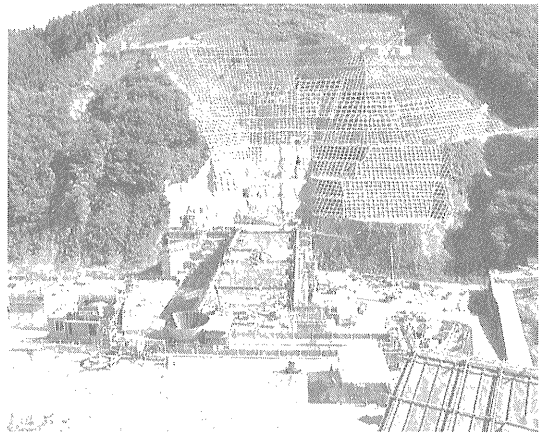


写真-1 世増ダムにおけるコンクリート打設状況

2. 工事概要

^{よまさり}世増ダム建設地は、北上山系の最北端に位置する洪積台地で、青森県八戸市、階上町、南郷村及び岩手県軽米町に跨る標高20~310mの比較的起伏の少ない丘陵地帯の中に位置する。

世増ダムは、重力式コンクリートダムで、施工性及び経済性を考慮した拡張レア工法が採用され、コンクリート打設期間17カ月と非常に厳しい工程が定められていた。

- ・工事名称：八戸平原開拓建設事業世増ダム建設工事
- ・所在地：青森県三戸郡南郷村大字島守地内
- ・発注者：東北農政局

- ・施工者：大林・住友・鉄建特定建設工事共同企業体
- ・工期：平成10年9月25日～平成14年2月28日
- ・規模等：重力式コンクリートダム
堤高52.0m
堤頂長247.0m
堤体積220千m³

3. ダム用コンクリート自動運搬システムの概要

(1) 機器構成

ここでは、世増ダムで使用した軌索式ケーブルクレーンダム用コンクリート運搬システムに係る機器の概要を図-1に、運搬機械の仕様を表-1に示す。

(2) ダム用コンクリート自動運搬システムの概要

ダム用コンクリート自動運搬システムは、コンピュータからの指令により最適な振れ止めを行いながら打設位置へ正確に移動し、打設面での安全を確認してコンクリートを放出する。放出完了後空バケツは、バンカー線まで移動し、GPSによって振れを検知して、振れ止めを行いバケツ

表-1 運搬機械の仕様

| 装置名 | 仕様 |
|--------------|--|
| バッチャープラント | 傾胴式ミキサ 2.25 m ³ ×2基 |
| トランスファーカー | ダンプアップ式 積載容量4.5 m ³ 、レール走行式 |
| コンクリートバケツ受台車 | 4.5 m ³ レール走行式 |
| コンクリートバケツ | 4.5 m ³ エア閉閉式 |
| 軌索式ケーブルクレーン | 定格荷重 15 t |
| | 制御方式 サイリスタレオナード |
| | 径間 406.749 m |
| | 軌索径間 191.383 m |
| | 揚程 100 m |
| | 走行範囲 144.383 m |
| | 巻上装置 350 kW 最大速度 176 m/min |
| | 横行装置 250 kW 最大速度 300 m/min |
| | 走行装置 160 kW 速度 15 m/min |
| | 主索調整 90 kW 速度 3 m/min |

台車に着床する。

コンクリート打設開始前に、打設開始場所、幅、長さ等簡単なパラメータを入力することにより、決められたスケジュールに従い放出場所を順次移動しながら、コンクリート打設作業を自動的に行う。

打設面での安全確保は、コンクリートバケツ下部と、周辺機械や作業員のヘルメットに取付けた感応機が信号をやりとりすることで行われている。感応機が反応すると、運転は中止される。

(3) コンクリート自動運搬システムの運転フロー

- ① サブコンピュータへ直打設の施工手順を登

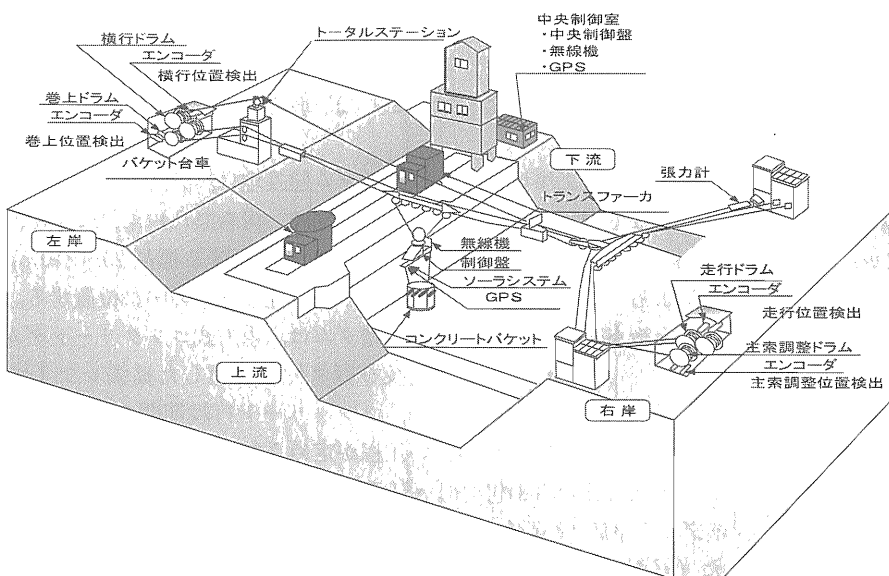


図-1 軌索式ケーブルクレーンコンクリート自動運搬システム構成図

- 録する。
- ② 打設の基準点に空バケットを移動し操作盤で位置を登録する。
 - ③ バッチャープラントコンクリートを製造後、トランスファーカに放出する。
 - ④ 信号を受けたトランスファーカは、自動発進しバケット台車に向かって走行し、バケット台車の近接スイッチが感知した時点で停止する。
 - ⑤ コンクリートとモルタルの区別を判断しそれぞれのモードでベッセルをダンプする。バケット台車は、バケット着缶後、コンクリートバケット開閉用エアの圧力を感知し、不足している場合は自動的にノズルを出して補給を行う。
 - ⑥ ケーブルクレーンは、トランスファーカの後退、バケット台車のノズルが出ていないこと、コンクリートバケットが閉じていることを確認して自動発進する。
 - ⑦ 到着したバケットは、打設場所の頭上6mからセンサにて安全を確認後、打設箇所の1.5m上まで巻下げ、指定されたゲートの開きと時間で開放し、コンクリートを放出する。この時、コンクリートを放出することにより重量が軽くなり、浮上りを防止するためにコンクリートバケットを開放しながら巻下げる。
 - ⑧ バケット内のコンクリートが放出したことを確認後、ゲートを閉じて放物線を描きながら最短距離でバンカー線のバケット台車へ戻っていく。ここでは、学習機能を使用して次回の振れを少なくするための操作調整を考慮している。
 - ⑨ バンカー線付近まで戻って減速しバケット台車上で停止し、コンクリートバケットの振れをGPSにより測定し±0.5m以上の振れを判定したらインチングによる振れ止め制御を行い、その後バケット台車に着缶する。

4. システム開発における問題点

(1) 軌索式ケーブルクレーンの特有の振れ
自動化システムは、今回の軌索式ケーブルク

レーンに関しては、使用実績がなく、3次元的なバケットの振れを制御する技術の開発が必要であった。

軌索式ケーブルクレーンの特徴は、片岸の2点間にケーブルを張り(軌索ケーブル)、軌索ケーブルに設けられた走行トロリーに、対岸の1点からケーブル(主索ケーブル)を張ったもので、主索ケーブルに取付けられた横行トロリーに吊下げられたバケットによりコンクリートを運搬するものである。その特徴として主索ケーブルは、一方が固定、もう一方が固定されていない軌索ケーブルに支持されている点が挙げられる。そのため、軌索式ケーブルでは、空荷時と全荷重時における主索サグ量の変化も加わって、他のケーブルクレーンでは見られない特有の振れが発生する。このことにより、軌索式ケーブルクレーンの運転は、特に高度な運転技術を必要とする。

図-2に固定式のケーブルクレーンにおけるコンクリート放出時の振れを、図-3に軌索式ケーブルクレーンにおけるコンクリート放出時の振れを示す。

軌索式以外のケーブルクレーンにおける振れは、垂直方向に2m程度であるのに対し、軌索式ケーブルクレーンの振れは垂直方向に4m程度、

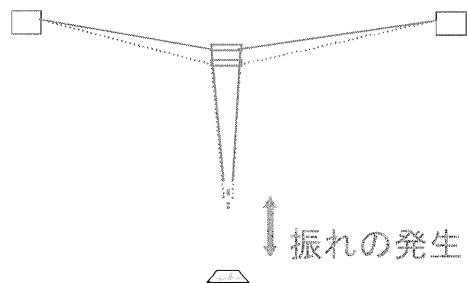


図-2 固定式ケーブルクレーンの振れ

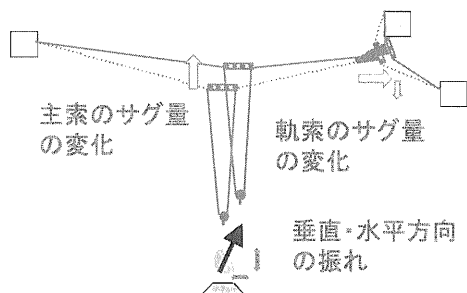


図-3 軌索式ケーブルクレーン特有の振れ

水平方向に1 m程度になる（これは、設置条件や、ケーブルクレーンのフックの位置がどこにあるかによって異なる）。

（2） 打設方法

これまでの自動化は、グラントホッパへの運搬を主目的としていたが、今回はELCM工法（拡張レア工法）による打設が採用されているため、コンクリートを直接打設する位置までピンポイントで運搬し、打設ポイントごとに条件を変える必要があった。

（3） 安全対策

コンクリートの打設場所は作業員と機械が近接しており、打設場所まで直接バケットを運搬する際に接触の危険性が高い。

5. 問題点に対する解決策

（1） 振れ止めシステムの開発

軌索式ケーブルクレーンの特有の振れを抑えるため、4つの振れ止めシステムを組み合わせることによって解決した。

（a） フィードフォワード制御

振れ止め制御は、バケットの振れを予測し制御するフィードフォワード（F.F.）制御により行う。即ち、横行トロリの加減速により生ずるバケットの振れは、横行トロリの加速と等速および減速と等速を順次繰返し制御することにより止まる。

本システムでは、目標座標に向けて運転される横行速度等運転パターンに応じた振れ止め制御パターンを幾つかコンピュータにファイルしておき、目標座標に最適なパターンを採用している。

（b） 放出時の振れ止め

軌索式ケーブルクレーンの特徴として、コンクリート放出時に特有の振れが発生する。そこで、コンクリート放出時の振れを抑えるため、コンクリート放出時に巻下げを行い、振れ制御を行い振れを抑える。巻下げ制御はコンクリートが放出する前から動作させ、コンクリート放出時間が配合により違うため、コンクリートバケットのゲートの開き具合を調整できるようにし、一定の巻下げ

スピードにて行う。

（c） 学習機能

運転計画時間と実際の動作時間との差が大きいほど振れ止め精度が悪ことが分かった。これは場所により、運転時間と実際の動作時間との差が違うために発生しており、上り勾配と、下り勾配の時のモータの回転数が違うことと、スピードが遅い時と、早い時のブレーキの利きかたが違うためであった。

これらより、運転計画時間と実際の運転時間を計測させ、この差を計画通りになるよう各モータの電圧と回転数の関係に補正係数を掛けることで、次の運転サイクルではこの補正されたデータで運転させるようにする。

（d） GPSを使った振れ止めシステム

現場のGPS固定局を運転室屋上に、GPS移動局を吊りハンガ部に取付け、GPS移動局のローカル座標（クレーン自動運転に対応した座標）、 X 、 Y 、 Z をホストコンピュータにリアルタイムに入力する。ホストコンピュータは受信したデータ（ X 、 Y 、 Z ）にて残留振れを計測し、次に残留振れを取るために必要な横行インチング距離を計算することで、横行インチング動作をさせ振れを止める。このシステムは、コンクリートを放出後バンカー線上空にて動作し、どのような振れが発生していてもバケット台車にスムーズに着缶できる。この時のGPSの測位方式は精度20 mm程度のRTK（Real Time Kinematic）といいいGPSによる測量方式の一つ）方式を採用した。このシステムは、バンカ線上において振れが ± 0.5 m以上あるときのみ作動する。

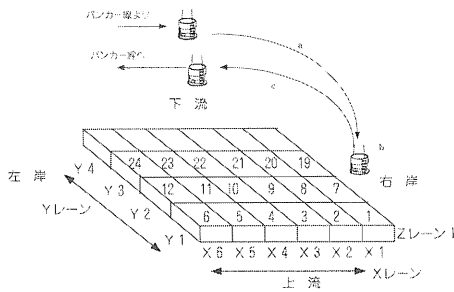
（2） ピンポイント運搬システムの開発

（a） 直接打設モード

打設開始前に簡単なパラメータを入力することで打設位置を順次変えながら打設を行っていく。運転目標位置は毎サイクル異なり目標位置にてコンクリートを自動放出する。

下記に直打設の打設例と、図—4に直打設概念図を示す。

- ① バケット台車からコンクリートを受け、第1打設ポイントへ移動
- ② 第1打設ポイントにてコンクリートを自動



図—4 直打設概念図

放出

- ③ バンカへ自動着缶
- ④ 上記①～③の動作を繰返し，設定データを基に打設ポイントを順次打設する。

(b) 位置補正

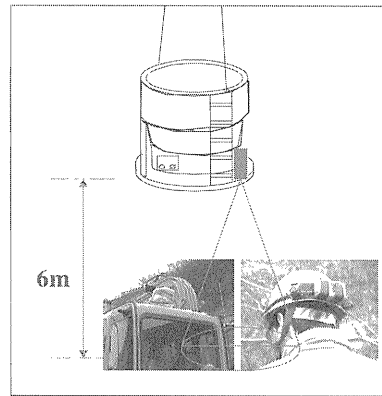
毎回異なる打設位置に精度よくコンクリートを放出するため，各ウィンチにエンコードを取付けワイヤの送り出し量を計測し，計算により座標管理を行っている。また，ワイヤの伸びや，滑り等により生じる誤差は，トータルステーションにより原点位置にて補正し，精度を確保する。

(3) 安全対策

(a) コンクリートバケット下部安全確認システム

コンクリートをコンクリートバケットから打設場所に直接打設するため，安全上，コンクリート放出前にバケット下部に人や作業機械がないことを確認する必要がある。ダム用コンクリート運搬システムを完全自動化するため確実に検知できるシステムを設置し，人や作業機械を検知した場合は自動運転を一時停止させる機能をもたせた。

システムは，コンクリートバケット下部に超音波センサを，人，機械に感应器をそれぞれ取付ける。感应器がセンサと反応するとケーブルクレーンの自動運転は一時停止し，コンクリートバケット下部における人と機械の安全が確保できる。センサは，コンクリート放出場所直上6mからコンクリート放出まで感知している。また，センサの感知範囲は，コンクリートバケット外周から2m程度である。コンクリートバケット放出下部安全確認システムの概念図を図—5に示す。



図—5 システム概念図

6. 現場実証により確認された効果

(1) 振れ止めシステム

(a) GPSの採用

当初，振れ止めは，基本となるフィードフォワード制御とコンクリート放出時の振れ止めを組み合わせることで行った。

コンクリート放出時間と巻下げのタイミングが合う時は振れを抑えることができた。逆にタイミングが合わない時は，バンカ線上においてバケット台車に着缶できない現象が起きた。着缶できない比率は，約30%程度であった。これは，同じ配合においてもスランプが若干変化すると，コンクリートの放出時間が変化するため発生していると考えられた。

このことから，コンクリート放出時の巻下げ制御だけでは，バケット台車に全て着缶させることは不可能と判断し，GPSを使った振れ止めシステムの採用により，上記問題を解決した。

(b) 学習機能の採用

完全自動によるコンクリート放出において，コンクリートバケットの振れが0.5～2.0m発生しており振れが大きいとコンクリートの放出される場所が変わってしまった。そこで，運転計画時間と実際の動作時間の差を補正する学習機能を採用したところ，コンクリートの振れを，±0.5m以内に抑えることで問題を解決した。

(2) ピンポイント運搬システム

このシステムの採用によって，確実な位置補正

が可能となり、正確なポイントへの打設が可能であり、±0.3 m 以内という精度を確保できた。

(3) 安全対策

コンクリート下部確認システムの採用によって、打設現場におけるコンクリートバケットの下部の安全を確保できたため、接触事故を防止することができた。

7. ま と め

軌索式ケーブルクレーンによるダム用コンクリート自動運転システムは、高度な振れ止め技術や安全装置によって、様々な問題点を克服した結果、世増ダムで実用化に成功した。

本システムを採用することにより、熟練オペレータを必要とせず、疲労による作業効率の低下もなく安定したコンクリートの供給が可能となり、その結果、作業の効率化の促進、作業者の苦渋作業の軽減、安全性の向上等に大きく寄与するものとなった。

今後、同様ダムへの適用を図るとともに、本システム開発により得られた高度な制振システム技

術、自動化制御技術を、重機械の無人化運転技術や IT 施工管理技術に適用させていきたい。

最後に、ご指導、ご協力を頂いた関係各位に誌面を借りて感謝を申し上げます。

J C M A

【筆者紹介】

三好 哲也 (みよし てつや)
株式会社大林組
東京本社
土木技術本部
技術第3部
部長



安田 直 (やすだ なおし)
大林・住友・鉄建特定建設共同企業体
機械・電気課
課長



蔵元 一成 (くらもと かずなり)
株式会社大林組
東京本社
土木技術本部
技術第3部



絵で見る安全マニュアル

〈建築工事編〉

本書は実際に発生した事故例を専門のマンガ家により、とても解いやすく表現している、新入社員の安全教育テキストとしてご活用下さい。

要因と正しい作業例

- ・物動式クレーン
- ・電動工具
- ・油圧ショベル
- ・基礎工事用機械
- ・高所作業車
- ・貨物自動車

A5版 70頁 定価650円(消費税込) 送料270円

社団法人 日本建設機械化協会

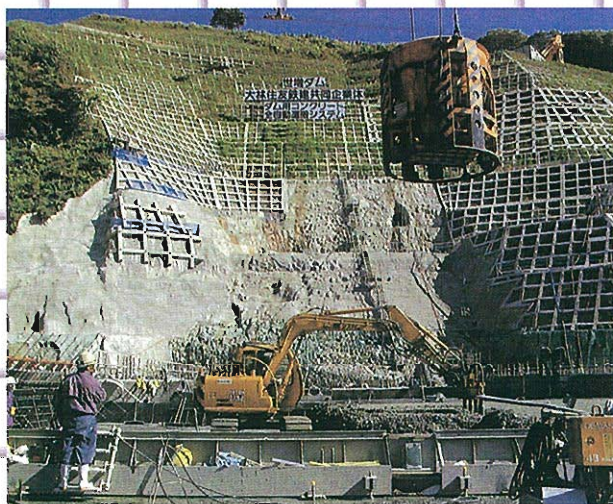
東京都港区芝公園3-5-8(機械振興会館) TEL03-3433-1501 FAX03-3432-0289

ダム用コンクリート 自動運搬システムの開発

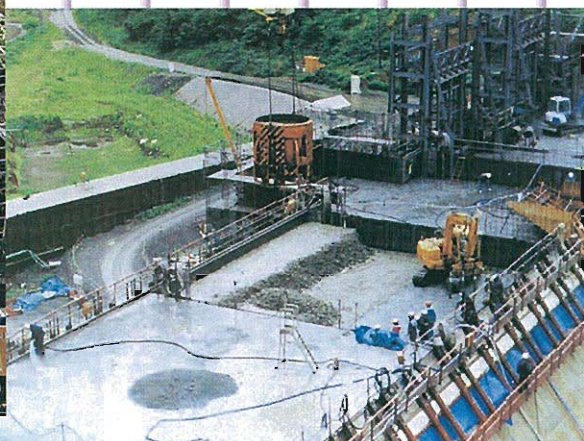
軌索式ケーブルクレーンへの適用



↑現場全景



↑自動運転状況1



↑自動運転状況2



⇩ケーブルクレーンフック部分



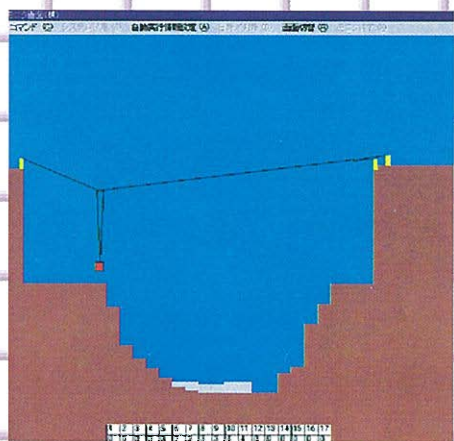
⇩トランスファーカ運転状況



⇩クレーン操作画面



⇩運転席より自動運転状況



⇩モニター画面