

走行式タワークレーンによるダムコンクリートの 打設システムの検討

CONCRETE PLACING SYSTEM IN DAM USING THE TRAVELLING TOWER CRANE

嶋田 洋*・山城幸治**・田中 進***・井出榮一****

By Hiroshi SHIMADA, Koji YAMASHIRO, Susumu TANAKA and Eiichi IDE

Rational construction methods of concrete dam are currently being studied and some practical placing methods of concrete are already suggested. However, research upon concrete placing the travelling tower crane has not been in practice.

The automatic placing system of concrete consisting of the travelling tower crane is proposed in this study and structure of the system and working principle are discussed. Applicability of the system into the practical construction has been also confirmed.

Keywords : rational construction, concrete dam, placing, travelling tower crane

1. ま え が き

最近では、ダムの合理化施工法の研究が進み、RCD工法でみられるようにダンプトラックによる方法や、その他ベルトコンベア、ポンプ等によるコンクリート運搬方法も採用されるようになってきている。しかし、一般にはまだクレーンを用いたバケット方式によるコンクリート打設が主流を占めている。

ダムのコンクリート打設に使用されているクレーンを分類してみると、図-1に示すようにケーブルクレーン、走行式ジブクレーン、タワークレーン、移動式クレーンの4つに分類され、さらに、移動形式により多種形の形式に区分される。これらの形式の中から、ダムサイト周辺の地形、環境条件および必要なコンクリート打設能力、作業範囲などを考慮して最も適した打設設備を選定する。

前述のように、ダムコンクリートの打設方法にはいく

つかの方法が使用されているが、これらの中でタワークレーンについては、1台のクレーンでダム全体をカバーした施工例は少なく、コンクリート運搬設備も含めて検討課題であった。

本報告は、このような背景で福岡県犬鳴ダムにおいて実用化した、大型走行式タワークレーンによるダムコンクリートの打設方法に関する検討と実施についてとりまとめたものである。

2. 打設設備の比較検討

当ダムの場合、ダムサイト周辺の地形はかなり急峻で、ダムサイトを含めた周辺の地質は、大部分が緑色片岩か

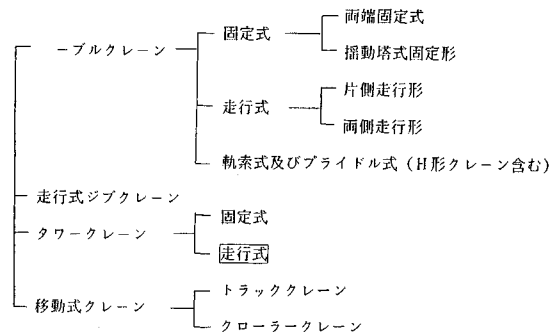


図-1 ダム用クレーン形式の分類

* 正会員 清水建設(株)九州支店土木部
(〒822-02 福岡県鞍手郡若宮町脇田)

** 正会員 清水建設(株)九州支店土木部(同上)

*** 清水建設(株)四国支店土木部
(〒787-07 高知県宿毛市平田町戸内4774)

**** 清水建設(株)九州支店土木部
(〒822-02 福岡県鞍手郡若宮町脇田)

らなるが、垂直に近い節理が発達している。

このようなことから、ダム本体掘削および取付道路、仮設備関係の工事のための掘削を行うと、その掘削のり面のバランスが崩れ谷側にのり面が押し出されてくる、いわゆるトップリング現象が起きることが予想された。このような地形にケーブルクレーン等のアンカーを置く工法を採用することは、将来に問題を残すと判断されたため当ダムの打設設備としては、打設設備工事の掘削が少なく環境破壊が少ない表-1に示す上流トレススル走行式タワークレーン案(ケース②)が望ましいと判断した。

この工法を採用した場合、堤体内の他工事との競合も少なく工程短縮上より有利となる。またトレススル下の困難な打設もなく、トレススル撤去後支柱の後処理もなくなり、打設条件は改善され打設能力もアップする。しかし、当工法の場合、洪水時のトレススル基礎の洗掘が懸念される。そのため過去の水文資料をもとにトレススルの下に導水路を築造し対処した。

3. 打設設備の計画と施工

(1) 走行式タワークレーン

土木工事用の大型タワークレーンが開発されて約10年になるが、主に固定式タワークレーンとして使用されてきた。そのため、ダム建設工事の全域をカバーするためには、複数のタワークレーンが必要であり、この場合、複数のクレーンの総能力は過大となるのが一般的である。したがって、所要打設能力のクレーン1台でダム全域をカバーさせるためにはクレーン自身を走行させる必要がある。

このような機能をもった走行式タワークレーンをダム現場で使用した例は過去に数例¹⁾みられるが、いずれも200tm程度のクレーンであり、それ以上の能力のタワークレーンを使用した例は見当たらなかった。

本工事で採用した700tmの走行式タワークレーンの構造的特徴は、クレーンマストおよび固定用基礎架台をそのまま使用して、脚4本の追加とそれぞれの4本の脚に車輪を取り付けたことである。その際クレーンマストの剛性を高めるため、4方向に斜めのサポートを設置した。走行架台(写真-1参照)は、コンクリート運搬車両が通過できる高さ、5mを確保して設計した。この走行架台の下に取り付けられた走行装置は、各車輪ともロッカービームに取められ、各車輪にかかる荷重が均等になるような構造になっている。

走行車輪は一脚6車輪とし、2車輪が駆動輪である。

この走行式タワークレーンの安定計算は、クレーン構造規格²⁾およびクレーン鋼構造部分計算基礎³⁾(JIS)に準拠して行った。また、クレーン鋼構造部分の計算基準による用途分類は、「用途A：一般クレーンに適用」とした。

なお、突風時の風速は、逸走防止対策に使用される「休止時風荷重の40%」の35m/sとした。

安定度に対する荷重条件は、表-2に示すとおりであるが、35m/sの突風時には、浮き上がり力約70tが生



写真-1 タワークレーン走行架台



写真-2 浮き上がり逸走防止装置

表一 打設設備比較表

概 要	ケース① 固定式ワーククレーン	ケース② 上流トレッサカ走行式ワーククレーン	ケース③ 下流トレッサカ走行式ジブクレーン	ケース④ 下流トレッサカ走行式ワーククレーン
<p>○作業性が良く安全である。</p> <p>○バンカ一線を小規模にできる。</p> <p>○堤体・減勢工の全域をカバーできる。</p> <p>○洪水の影響が少ない。</p>	<p>○灌水池内に仮設備を設置するため、自然環境破壊がない。</p> <p>○灌水池内のため基礎の撤去が不要。</p> <p>○作業性が良く安全である。</p> <p>○ダム本体を全てカバーできる。</p> <p>○トレッサカ付近に仮設備をまとめることができる。</p> <p>○トレッサカ架設と本体掘削があまり競合しない。</p> <p>○トレッサカの高さが下流案に比べて低くなる。</p> <p>○トレッサカの鋼材が全て転用できる。</p>	<p>○一般的な300t程度程度の走行式ジブクレーンが使用できる。</p> <p>○トレッサカ上のいずれの場所でも打設が可能。</p> <p>○洪水の影響がない。</p>	<p>○保安林解除の範囲もすくなく自然環境破壊がすくなくない。</p> <p>○作業性が良く安全である。</p> <p>○減勢工も全域カバーできる。</p> <p>○トレッサカ付近に仮設備を設けることができる。</p> <p>○洪水の影響が少ない。</p> <p>○クレーン(700t・m)のマストは6本で良い。</p>	
<p>○2台のクレーン(600t・m)が必要となりイニシャルコストが高くなる。</p> <p>○安全上、各クレーンに衝突防止装置が必要である。</p> <p>○本体掘削工程とクレーン基礎工程が競合する。</p> <p>○バックチャージラントを本体下流河床近くに設置するため、骨材輸送ベロコンが取くなる。</p> <p>○組立、解体用の工事運路が左右岸に必要のため自然環境破壊を生じる。</p>	<p>○ジブクレーン(700t・m)を使用してもクレーン支柱が9本(30本)必要となるため、走行架設が大まくなり、やや割高となる。</p> <p>○暴風時のクレーンの安定性に問題がある。</p>	<p>○トレッサカの高さが高くなり、仮設備が高くなる。</p> <p>○コンクリートの輸送はトレッサカ次第が高いためにインクラインが必要となる。</p> <p>○トレッサカ下の打設が困難となり、補助打設設備が必要。</p> <p>○減勢工は、2次打設設備が必要となる。</p> <p>○ダム下流側にトレッサカにとりつく工事用道路が必要となり、自然環境を生じる。</p>	<p>○トレッサカの高さがケース②に比べ高くなり仮設備費が高くなる。</p> <p>○本体掘削にトレッサカ工程との調整が必要となる。</p> <p>○トレッサカの長さが増えるため、左右岸の堤体の一部は、2次打設設備が必要となる。</p> <p>○骨材の輸送ラインも低くなり、その分配も急となる。</p> <p>○湧水の地山斜面が急であり、工事用道路掘削時に上部掘削機連への影響が懸念される。</p> <p>○トレッサカが短い場合、打設クレーンは毎回クレーン起伏が生じ、サイクルタイムが落ちる。</p> <p>○トレッサカ下の打設が困難となる。</p> <p>○工事用道路掘削上、トレッサカ天端はE185以下に制限される。</p>	
総合評価	○	△	○	

じる。そこで作業の安全性を確保するため、クレーンを使用する際には、トレスル上に指定した3か所のポイントでロックした状態で作業を行うこととし、そのトレスル上の吊荷作業指定位置3か所それぞれに浮き上がり防止装置および逸走防止装置(写真-2参照)を取り付けた。また走行時には無負荷を原則とし、クレーン重心が、クレーンの中心と一致する半径($R=66\text{ m}$)になるようにジブを起こした状態でクレーンを移動させ、走行中のクレーンの安定を図った。

また、走行動作に関するインターロック機構を設けるとともに、走行速度は20 m/minとして、加速、減速がスムーズに行える一次電圧制御方式とした。今回採用した走行式タワークレーンによるコンクリート打設能力は、40~60 m³/hである。

クレーンの性能を図-2に示す。

(2) トレスル

トレスルは走行式タワークレーンおよびトランスファーカーの荷重を支える構造物であるが、当現場はクレーン高が大きいため、トレスルの高さを極力低くすることができた。設置位置については、下流案、上流案と種々検討した結果、ダム軸上流20 m、高さEL. 185 m 盤に決定した。トレスルの構造設計は、道路橋示方書⁴⁾および鋼構造設計規準⁵⁾に準拠して行い、主桁に桁高 $H=1\,244\text{ mm}$ のプレートガーダー、脚柱には $H-414\times 405\times 18\times 28$ のH鋼を使用し、座屈長を極力

表-2 安定度に対する荷重条件

NO.	条件	垂直荷重	慣性力による荷重		風荷重	固定装置
			垂直	水平		
①	走行時	0	0	$0.1W_1$	16 m/s	解放
②	走行時	0	0	0	35 m/s	解放
③	作業時	1.3P	0.1P	$0.1W_2$	16 m/s	固定
④	作業時	1.7P	0	0	0	固定
⑤	作業時	0.3P	0	0	0	固定
⑥	作業時	1.0P	0	0	35 m/s	固定
⑦	休止時	0	0	0	55 m/s	固定

P: 巻き揚げ荷重, W_1 : クレーン全重量, W_2 : クレーン起伏部の重量

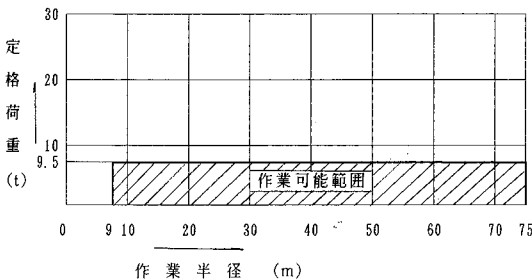


図-2 クレーンの定格荷重および作業半径

短くするため、L-150 の等辺山形鋼をブレース材としてダイヤモンド形に取り付けた。

構造計算の荷重条件は、走行式タワークレーンの自重504 t、トランスファーカーの自重25 t、設計震度 $k_n=0.1$ である。クレーン走行桁は、スパン $L=7.1\text{ m}$ の単純桁とし、表-3に示すクレーンの最大車輪圧を外力とした。

衝撃係数は、「鋼構造設計基準(日本建築学会)」の天井クレーンの衝撃力を準用し、 $i=0.1$ (走行速度 $V<60\text{ m/h}$) とした。また、道路橋示方書による鋼橋としての衝撃係数 $i=20/(50+L)$ は、中期扱いとして計算し、両方の計算結果の大きい部材を採用した。

部材の許容応力度の割り増しは、トレスルの使用期間が約3年と長いことや、大型走行式タワークレーンの使用が初めてであることを考慮し、永久構造物と同様として取り扱った。ただし、突風時(風速 $V=35\text{ m/s}$)については、法律上の規定はないので、安全側を考えて計算を追加したが、この場合の発生確率はきわめて小さいと考え、鋼材の降伏強度まで許容した。この結果、トレスル部材の大部分は作業時突風時、または走行時突風時の荷重により決定されている。

トレスル設計のうえで特に留意した点は、タワークレーン走行桁の桁高を押さえるために、各トレスル脚柱上部に支点を設け、主桁のスパンを短くしたこと、外気温の変化によってクレーン走行桁に生じる温度応力による橋軸方向の水平力を軽減するため、各スパンごとに可動シューとして、ふっ素子樹脂支承板を採用した。さらに脚柱のコンクリートフーチングは、作業突風時、地震時、走行突風時および無載荷暴風時の転倒モーメントに対して自重だけで抵抗させるとフーチングが大きくなるため、ロックアンカーにて引抜き力に抵抗させる構造とした。トレスルの構造は図-3に示すとおりである。

4. コンクリート運搬設備の自動化

走行式タワークレーンによる打設を省力化、合理化するために、関連するコンクリート運搬設備の自動化について検討した。コンクリート運搬設備の概要は、図-4に示すとおりである。

表-3 タワークレーン最大車輪圧

	風荷重 (m/s)	最大車輪圧 (t/輪)	コーナ浮上り力 (t)	備考
走行時	16.0	24.3	-	長期荷重
走行時	35.0	37.1	-	短期荷重
作業時	16.0	36.6	-	長期荷重
作業時	35.0	52.7	67.7	短期荷重
休止時	55.0	52.3	65.4	短期荷重

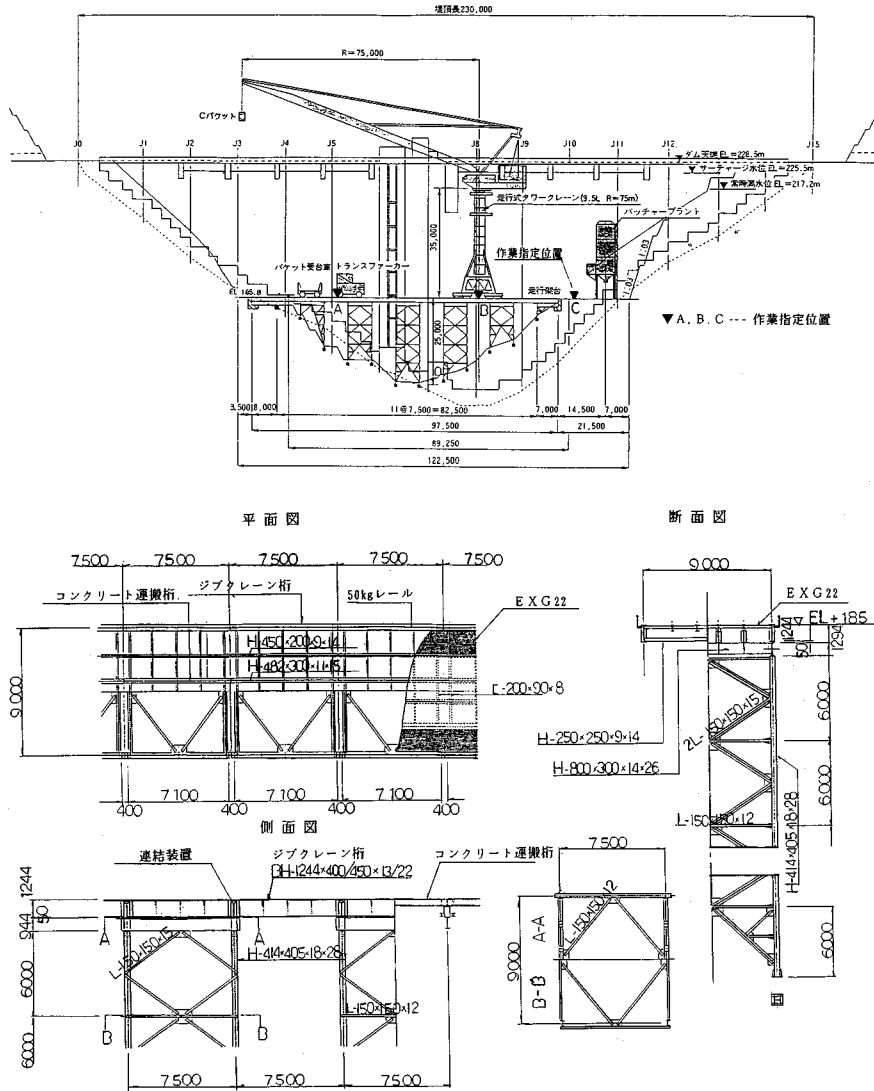


図-3 トレッスル構造図

(1) コンクリート運搬設備の概要

従来、コンクリート運搬設備として、台車でコンクリートバケットを運搬しバケットを吊り替える方式が採用されていたが、最近では、安全面・サイクルタイムの短縮の面から優れている全自動式トランスファーカーが各種開発されている。当ダムでもトレッスル同一平面上でのコンクリートの積替えが可能なダンプ式トランスファーカー（以下、TF）を採用した。

このコンクリート運搬設備は、TF、バケット受台車およびクレーンの一連の組合せからなり、パッチャープラント（以下、BP）からのコンクリートを受け取り、コンクリートバケットに移し変え、打設場所に運び、放出するまでの全工程を自動化して省力化を図り、安全性

およびサイクルタイムを向上させることを目的として計画した。

(2) トランスファーカー

TFの構造はコンクリート23万 m^3 を運ぶため、約6000kmの走行をするが、それに見合った構造となるように設計した。走行時の衝撃は機械の多方面に悪影響を及ぼすため、インバーター制御による緩発進、緩制動とした。

ブレーキは電磁ブレーキと油圧開放によるばねブレーキの2段とした。また、自動制御にはシーケンサ（PC）を使用して、より細かい制御を可能とし、制御の組替えが容易になるようにした。自動制御のためのセンサーは、バケット受台車との距離を検知するために半導体レー

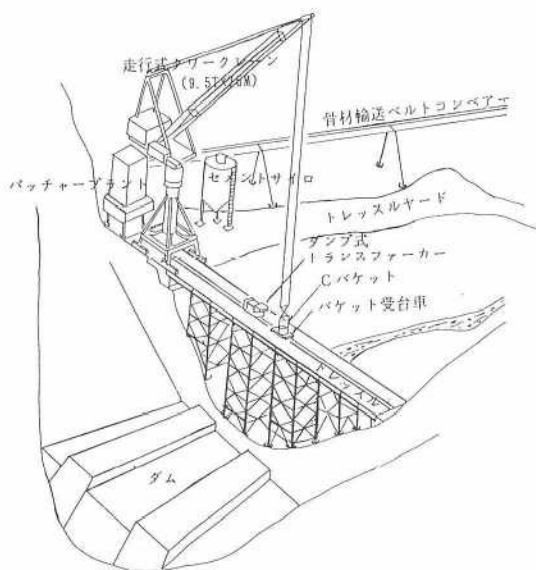


図-4 コンクリート運搬設備概要図

ザーを使用したレーザーマスターと、超音波を利用した超音波測距リレーを2重に使用した。コンクリートバケット（以下、Cバケット）の着床信号としてフォトリレーを使用しその他近接リミットスイッチ、接触リミットスイッチを強制減速や停止装置のセンサーに使用した。

TFは無線によってBPより起動され、以降はシーケンス制御により、コンクリートをCバケットに排出し、自動的にBP下に戻ってくるシステムとした。また、万一を考慮し、運転席を設け手動運転も可能とした（写真-3参照）。

(3) バケット受台車

バケット受台車の使用目的は、TFとCバケットとの仲介をなすものであり、Cバケットを任意のクレーン作業半径の位置で受け止められるように自走式とした。また、Cバケットの着床を容易にするため片開きのガイドを設けるとともに、転倒防止器も取り付けした。さらに、自動給気のエア源として、電動コンプレッサーを搭載し、Cバケットの給気カプラーが確実に接合するように、ガイドピン受けを設けた。電源はTFと同一線路上を走るため、トロリーバー方式とし、TFと共用し、Cバケットが衝突しないようにトロリーバーの取付位置は、バケット受台車の上面より下になるように配置した。

操作はタワークレーンオペレータからの無線遠隔制御とした。また、手動運転も可能である（写真-4参照）。

(4) コンクリートバケット

Cバケットは、安全確保を考慮して、人が接触しなくても、バケット開閉が可能ないように、遠隔操作方式とし



写真-3 ダンプ式トランスファーカー



写真-4 バケット受台車



写真-5 コンクリートバケット

た。構造は高さを抑えてボリュームを確保するために楕円形構造とし、下部に自動給気用の給気カプラーとガイドピンを設け、吊り具には発電機と制御盤を設け、その中に無線受信機を収納した（写真-5参照）。吊り具と



写真-6 コンクリートバケット着床状況



写真-7 コンクリート打設の状況

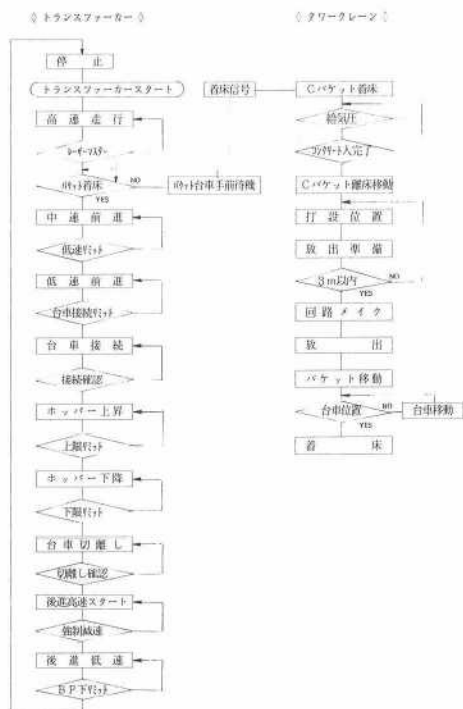


図-5 自動運転システムフロー

Cバケットはキャブタイヤケーブルと、コネクタによって接続され、信号手の無線操作により、ソレノイドバルブを作動させて開閉させる方式とした。安全対策として、操作スイッチ2個を同時に押さないと、開閉しないようにするとともに、超音波リレーにより地上面より3m以内にならないと回路が成立されないようにした。写真-6にCバケットの着床状況を示す。

(5) コンクリート自動運搬システム

前述した諸機械に使用した無線制御機はすべて、クレーン運転に使用された実績をもち、誤動作のないこと

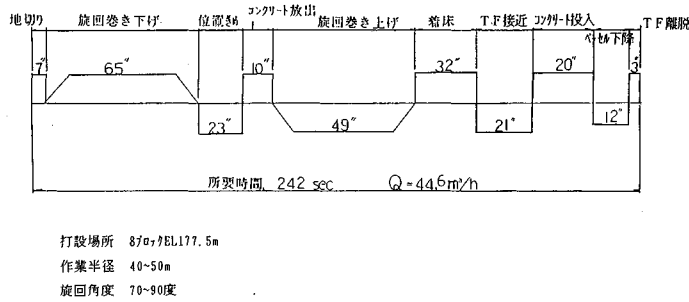
が保証された機器を使用した。自動運転システムの流れは図-5に示すとおりである。主な流れの概要は、以下に示すようである。

- ① クレーン操作室より、バケット受台車を無線により遠隔操作し、バケット着床位置に合わせる。
- ② TFは、BP操作室より無線によって、発車信号を受け、本機内に組み込まれたシーケンサにより、バケット受台車に向かって加速をする。
- ③ 走行後バケット受台車に近づいたら、距離検測装置が作動して減速状態に入り、バケット受台車手前で停止する。
- ④ Cバケットが着床すると、バケット受台車から着床確認信号が送られ、TFは微速前進を始める。
バケット台車検知停止後ダンプ上昇を始め、コンクリートを放出する。
- ⑤ ダンプ下降後シーケンサのプログラムに従って、TFは後退を始め、BPの定位置に停止する。

なお、Cバケットは、前述したようにバケット台車着床と同時にエアの自動供給を行う。また、TFは前後に障害物検出装置を設け、障害物があれば自動的に停止する。また、BP操作室、TF操作盤よりの非常信号にても非常停止する。

5. サイクルタイム

現時点では23万 m^3 のコンクリートのうち、約70%の量を完了したところであるが、走行式タワークレーン、トランスファーカーとも順調に稼働している。



図—6 タワークレーンサイクルタイム

ダム の 代表地点 (8 ブロック, EL. 177.5 m) におけるサイクルタイムは図—6 のとおりである。

現在までの時間当たり平均打設量は $45 \text{ m}^3/\text{h}$ である。

6. あとがき

犬鳴ダムでの仮設備計画に際して、コンクリート打設に一般的に使用されている軌索式ケーブルクレーンを採用するには、環境保護、地形的条件などの面からいくつかの問題があった。このようなことから、打設方法について検討した結果、従来ほとんど実施されていなかった大型の走行式タワークレーンを用いたダムコンクリートの打設方法を検討、実用化した。

本工事において実施しているコンクリート運搬の自動化は、これまでもいくつか実施されており、ほぼ実用の段階になっていると考えられる。この面では、トレスルでバケット受台車を用いてコンクリートの受け渡しを行うようにした点に1つの新規性を試みたが、バケッ

ト受台車の移動の微調整の自動化等に今後の検討課題が残されている。

本報告が、今後のダムコンクリート打設方法開発の参考となれば幸いである。

最後に、本システムの実施にあたっては、仮設備計画時より、終始福岡県犬鳴ダム建設事務所の方々のご指導を頂いたことを記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 佐藤勝三・南 勲・根上義昭：新中野治水ダムかさ上げ工事の機械設備、建設の機械化、1980. 8.
- 2) クレーン構造規格 (労働省告示), 昭和57年3月27日告示23号
- 3) クレーン鋼構造部分の計算基準 (JIS B 8821), 昭和51年5月1日制定
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書 (鋼橋編), 昭和55年2月.
- 5) (社)日本建築学会：鋼構造設計規準, 1970. 5.

(1990. 8. 21・受付)