

68. ダンプトラック搭載式 インクライン設備によるダムの施工

建設省：金丸 孝行

(株)日立製作所：*五味 清・長谷川 俊次

1. はじめに

近年、重力式コンクリートダムの施工法は、超硬練りコンクリートを振動ローラにより締め固める工法、いわゆるRCD工法が多くなっている。RCD工法は、フィルダム建設工法の経済性を追及し、汎用施工機械を主体とした大量打設により、工期の短縮を計ると共に、最近のダムサイトの条件変化にも合理的に対応しようとするものである。

このような施工法の変革により、コンクリートの運搬設備に対しても、その要求が変化した。即ち、従来工法では、ダム堤体のどの部分にも、3次元に運搬できるケーブルクレーン、タワークレーンが主体であったのに対し、RCD工法では、打設平面内の運搬はダンプトラックを用いることが可能なため、垂直面内のみには運搬可能な合理的な設備の開発がなされてきた。

インクラインはこの要求に合致し、しかも合理化施工の主目的である低コスト、高能率化を可能とする設備として最適である。

従来のインクライン設備は、トランスファーカーよりバケット台車がコンクリートを受け、打設面でホッパーにこれを持ち、随時ダンプトラックに供給するというものが一般的であった。しかし、コンクリートの積替えにおいて骨材分離の傾向があること、ブレーキングの効果損失があること、さらに、堤体上に振動ローラやゲート構造物等搬入のために他の設備が必要であることなどの欠点もあった。これら技術的、経済的問題を解決するため、コンクリートを搭載したダンプトラックを直接運ぶことが可能なインクライン設備の開発が求められていた。

1986年(昭和61年)関東地方建設局宮ヶ瀬ダム建設用としてダンプトラック搭載式インクライン設備を実現すべく検討に着手し、関係機関の協力を得ながら研究開発を進め、1991年(平成2年)にこれを完成した。

本設備は、コンクリート品質を損なわずに大量打設を実現したのみならず、振動ローラやトラッククレーン等の重機の堤体上への搬入を分解なしで迅速に行うことが出来る等、RCDダム施工に変革をもたらしたと云っても過言ではない。

以下、ダンプトラック搭載式インクライン設備をその設計思想を中心に報告する。

2. 宮ヶ瀬ダムの概要

宮ヶ瀬ダムは、神奈川県相模川水系中津川に建設省直轄工事により建設中の、堤高15.5m 堤体積2,000,000 m^3 と云う首都圏最大の重力式コンクリートダムであり、その施工法としてRCD工法を採用している。本ダムは、利水対策、治水対策、発電を目的とする多目的ダムである。ダム緒言を表-1に示す。

3. 計画の概要

計画の立案に当たり、ダムサイトの地理的条件、および建設工期より決まる要求仕様を表-2、図-1に示す。

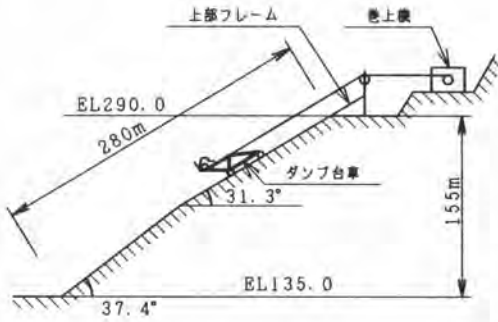


図-1 基本緒言

表-1 宮ヶ瀬ダム緒言

型式	重力式コンクリートダム
堤高	155.0m
堤体積	約2,000,000m ³
非越流部標高	E.L. 290.0m

表-2 インクライン設備仕様

軌道勾配	31° 18'、37° 24'
軌道全長	280m
高低差	155m
運搬能力	105m ³ /hr × 2基
積載重量	最大42t * ¹
巻上総重量	83t

*¹: 最大積載重量は、コンクリート9m³を積んだ重ダンプの合計重量である。

他の搭載機械は、最大42tまでとし、ブルドーザー、トラッククレーン、ホイールローダー、目仕切り機、振動ローラ、タイヤローラを対象とした。

(1) 運転速度の決定

台車の運転速度は能力確保、設備コスト、ランニングコストに直接影響するもので適正なものではなければならない。要求能力105m³/hr・基を確保するためのサイクルタイムTは

$$T = \frac{9 \text{ m}^3}{(105/60) \text{ m}^3/\text{min}} = 5.14 \text{ min} = 308 \text{ sec} \quad \text{となる。}$$

本設備は、コンクリートを積載したダンプトラックが台車に乗り、台車を下降させ打設面に着床後、ダンプトラックは降車する。さらに待機していた空ダンプが乗車し出発点まで戻り降車するまでを1サイクルとする。その運転パターンを図-2にしめす。

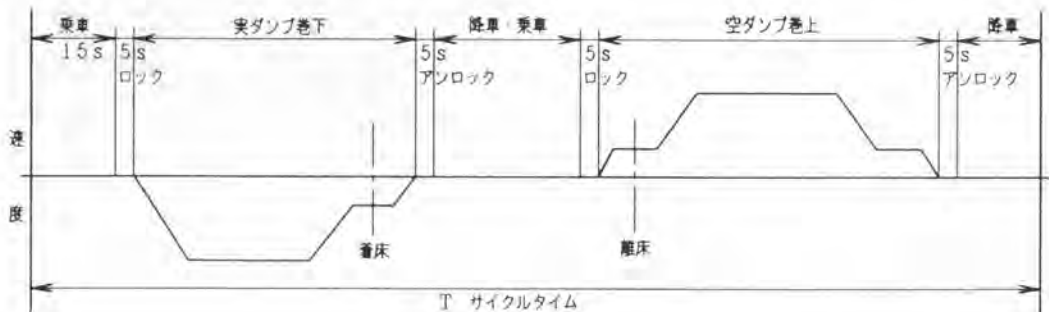


図-2 運転パターン

- (a) サイクルタイム検討の上で、ダンプトラックの乗降時間をどうとるかが議論の対象となり実験運転等、調査検討の結果それぞれ15秒とした。
- (b) 実ダンプ搭載時と台車のみでは、ロープの伸びの差があり乗降時危険であるため台車を堤体上に着床させロープ張力を抜く運転をおこなうこととした。
- (c) 台車上のダンプトラックに対する車止め装置を設けているが、この動作時間（ロック、アンロック）それぞれ5秒をサイクルタイムに含めた。

この運転は、決められたパターンに従ったもので、スタート指令の後、停止まで自動運転とした。適正な加減速度と作業効率を加味し運転速度を求めると $v=174\text{ m/min}$ となり、定格速度を 180 m/min (3 m/sec)に決定した。

(2) カウンタバランス式の採用

総重量83tを定格速度 180 m/min で運転するために必要な動力は 1400 KW /1基となり、設備費は勿論、ランニングコストが膨大となるためカウンタバランス方式、所謂つるべ式を採用した。カウンタバランス式とすることにより必要動力は 450 KW に低減された。

図-3にカウンタバランス式の説明を、図-4に宮ヶ瀬ダムインクラインの全体配置を示す。

巻上機ドラムでトルクを相殺する方式とした。

ダンプ台車用軌道は、ダム建設が進むに従い堤体内に埋設されるが、ウエイト台車のための軌道はダム完成まで全長を必要とするため、堤体を外して配置している。

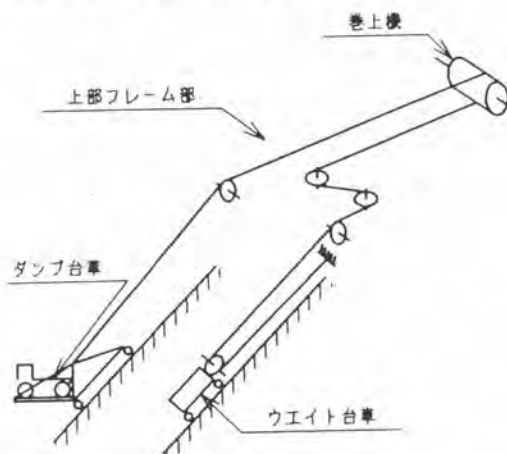


図-3 カウンタバランス方式



図-4 配置全景

(3) 適用法規

本設備は、労働安全衛生法「軌道装置及び手押し車両」が適用されるが、さらに運輸省「鋼索鉄道の構造基準」、通産省「鉱山保安規則」を参考とした。特に人が乗る設備であり、安全に係る条項についてはこれをできるだけ準拠した。

4. 構造と機能

主要構成要素とその機能は以下の通りである。

(1) 巻上機

450KW直流電動機より減速機を介しドラムを駆動するもので、ダンプ台車用ロープ2本を巻取り、ウェイト側のロープは逆方向に巻き、ドラム軸トルクで相殺しバランスさせている。

減速機入力軸に常用ブレーキを、ドラム軸には万一の駆動系の損傷による台車の暴走を防ぐため、ケーブルカーや鉱山巻上機で多くの実績のあるポスト式エアブレーキを装備している。特に非常停止時の衝撃を緩和するためのトルク特性を持っている

(2) 上部フレーム

上部フレームはロープの方向を変えるためのシープ等を有する鉄骨構造物である。ヘッドシープには荷重検出装置を設け、過荷重防止、ダンプ台車の着床、離床検出を行っている。

(3) ダンプ台車

ダンプ台車の構造を図-5に示す。台車は20tダンプが無理無く乗車でき、トラッククレーンも搭載できる広さを持っている。右前方に操作室を設け常時操作員が乗る。台車前方にダンプ乗降用ゲートを設けているが、着床時以外は常に上げた状態とし、落下防止の機能を持たせた。ダンプ定位値では、タイヤに対しロック装置を作動させる。ゲートやロック装置の駆動はクリーンな空気圧方式を採用した。

台車下面には着床検出装置があり、この検出信号を基準として各種の安全運転制御を行っている。

台車後輪付近に非常停止装置を装備しており、万一、ロープが切断した時、また規定速度以上に過速した時、機械的にこれを検出しレールを掴み台車の落下暴走を防ぐことができるもので、工場内で等価制動試験を実施し、その性能を確認した。

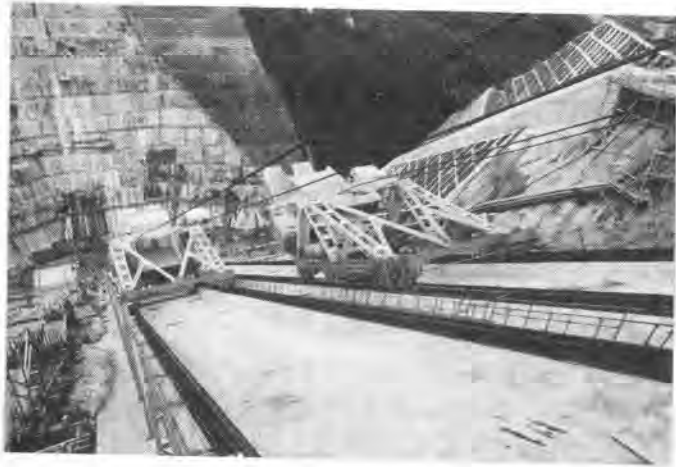


図-5 ダンプ台車

(4) ロープ

ロープの強度は労働安全衛生法に従い、静的安全率を10以上としたがさらに、鉱山保安法による計算方式により最大総荷重に対する安全率を5以上となるロープを選定した。採用したロープは、以下の通りである。

構成 : 異形線ストランドロープ IWRC 6×WS (36)

直径 : 60mm (破断荷重 288t、外層索線径 3.07mm)

(5) ウェイト台車

ウェイト台車用軌道はダム堤体を外し設置するため、ダンプ台車の移動量に対応した距離が確保できないことからロープをダブルにした。ウェイト台車には人が乗らないが、周囲の状況からダンプ台車と同等の安全性を持たせるべきとの議論から非常停止装置を装備した。

5. 電気制御

本インクライン設備の電気制御系構成において考慮すべき事項は以下の通りである。

- ①人を乗せる設備であること。
- ②大容量設備（荷重が大きく、高速）であること。
- ③高頻度（コンクリート打設のデューティーサイクル）であること。
- ④打設進行に伴い着地面が上昇すること。（自動運転時の停止点に変化する）

システム全般の信頼性、安全性確保と、負荷条件をもとに電動機駆動とその制御方式が具体的検討事項である。

電動機側からみた本設備の負荷としての特徴は、次の事項があげられる。

- ①カウンターウェイトによるつるべ方式であり、台車上の重量の大小でダンプ台車の運轉方向に関係無く、巻上負荷にも巻下げ負荷にもなり得る。
- ②ダンプ台車軌道、ウェイト台車軌道にいずれも屈曲点があり、負荷トルクが急変する。
- ③ロープ重量が大きく、斜面距離が長いと、負荷に占めるロープ重量が無視できない。

これら負荷特性により台車が1方向に運轉する間に電動機は力行と回生領域の間を遷移する。この特性に加え、運轉能率を向上させるため、通常の運轉パターンである実ダンプ巻下、空ダンプ巻上の運轉では、電動機の定出力制御が必要である。

上記負荷特性に対し、所定の運轉パターンの運轉を行なわせ、かつ負荷トルクに対応した定出力制御を行なうため、450KW・DC440V・475/950rpm・ $T_{max}200\%$ の直流電動機をサイリスタレオナード方式にて駆動する方式を採用した。

6. 安全性

本インクライン設備は、台車上に直接コンクリートを積載したダンプが乗降することから、人が乗ることが前提となっている。このため安全性の確保が最重要課題であり、計画時に下記の点について検討を行った。

一連の運轉が

- ①正しい操作によって開始されること。（フールプルーフとなっていること）
- ②規定された速度で運轉されること。
- ③規定された位置で減速を開始し、規定された速度で停止すること。
- ④機器の故障に対し、安全に停止できること。（フェールセーフとなっていること）

が要求される。これを満足するために監視すべき項目を設定し、各監視項目に対し異常発生時の停止処理を3段階に分け、制動機を使い分けし、安全性の確保を図った。（表3）

表-3 監視項目と非常停止レベル

非常停止レベル	監視項目	
常用停止 [回生ブレーキ 電磁ブレーキ×1台]	1) 非常ブレーキ空気圧異常 2) 運転条件異常 3) 過荷重	4) ダンプ過載
非常停止1 [電磁ブレーキ×2台]	1) 全域速度監視異常 2) 位置検出異常 3) 減速予告異常	4) 着地位置異常 5) 接地 6) DCM過熱
非常停止2 [電磁ブレーキ×2台 ポスト型ブレーキ]	1) 非常停止操作 2) 車両非常停止 3) サイリスタ盤故障 4) シーケンサ盤故障 5) 常用ブレーキ異常 6) 非常ブレーキ動作異常	7) 過速(115%) 8) 過巻・過卸 9) 50%減速異常 10) 着地速度異常 11) 誘導無線異常 12) ロープたるみ

7. 本体打設における稼働実績

(1) 運転実績

1991年(平成2年)10月より稼働を開始し、計画通りの打設実績を得て、1994年6月30日現在1,846,000㎡の打設を済ませた。この間月最大打設量は113,000㎡の記録を残した。実運転時間(点検整備時間を除く)に対するコンクリート運搬時間は80%で他の工法と同等以上であった。

(2) 特記すべき効果

積替え回数が少ないことによるコンクリート品質確保は勿論、ロスタイムが少なく計画値通りの能力が確保できた。また、RCD工法に使用する重機械は全て搭載できることと、45tラフタクレーンまで搭載可能であることから、堤体内外への搬出入が自由で放流設備等の資機材の搬出入にも利用でき、従来の設備に対し煩雑さが無く作業効率が向上した。言い替えれば刻々変わる打設面に工事用道路が敷設されるのと同等の設備と云える。

8. おわりに

1986年、ダム建設のためのダンプトラック搭載式インクライン設備の具体化に着手して以来、経済性と信頼性を重点に建設省が主体となり開発を進め、宮ヶ瀬ダムの建設においてその成果が実証された。全く実績のない“無”からのスタートであったが、従来型インクライン設備の使用実績とケーブルカーなどに代表される類似設備の既存技術をベースとし、関係各位の御助言をいただきながら無事完成することができた。ダム施工の合理化とは、施工機械の開発を意味するものであり、本インクライン設備がその一助となり得たものと確信する。

今後、特に運用面に改善を加え、さらに他分野への応用も積極的に図ってゆきたい。