

(Ⅱ-10)

RCD工法によるコンクリート打設の 施工管理について

Work Control of Concrete Placement By RCD Method

佐藤工業(株) 館 真人

佐藤工業(株) ○吉田 均

by MASATO YAKATA, HITOSHI YOSHIDA

RCD工法により築堤されたダムは、10例以上を数えるようになり、大量コンクリートの急速施工を目指し、特にコンクリートの輸送について色々な工夫がなされている。

ここでは、インクラインを使用した運搬システムによるRCD工法の施工の省力化、合理性について、打設に関する制約条件(地形、仮設備、工程等)、打設技術(敷均し、転圧作業、打設計画等)、関連作業(打設面処理、型枠作業等)、品質管理といった項目に着目して述べる。

【キーワード】 RCDコンクリート、インクライン

1. はじめに

境川ダムは富山県の南西部に位置し、一級河川庄川水系境川の左岸富山県東砺波郡上平村桂、右岸岐阜県大野郡白川村加須良地先に多目的ダムとして建設されるものである。

ダムは重力式コンクリートダムで、堤高115m、堤頂長297.5m、堤長幅5m、堤体積717,500m³、総貯水容量59,900万m³、有効貯水容量56,100万m³の規模をもち、洪水調節、かんがい用水、上水道用水、工業用水、消流雪用水の供給および発電を目的とするものである。

当ダムは、RCD工法によるダムとしては初めて堤高100mを越えるもので、そのコンクリートには極めて高い品質が要求されている。RCDコンクリートの品質は、主に練り上りから転圧締固め完了までに要した時間に大きく左右されると考えられる。そのため、コンクリート出荷時においては、VC値の

経時変化を気温、雨量を始めとした気象条件に合せて管理することが必要であり、また打込現場(打設ブロック)においては、所定時間内に転圧を完了できるようなレーン割が必要になる。

本稿ではRCDコンクリートの出荷工程、打込工程における、当ダムの現況について、その特徴を中心に述べる。

2. 工事概要

表-1 ダムおよび貯水池諸元

ダ ム		貯 水 池	
型 式	重力式コンクリートダム	集水面積	37.7km ²
堤 高	115.00m	溢水面積	1.60km ²
堤 頂 長	297.50m	総貯水容量	59,900,000m ³
堤 頂 幅	5.00m	有効貯水容量	56,100,000m ³
堤 体 積	717,500m ³	計西尾砂容量	3,800,000m ³
非放流部高	EL 578.00m	洪水調節容量	5,400,000m ³
放流部高	EL 570.10m	利水容量	50,700,000m ³
堤体法勾配	上流 鉛直 下流 1:0.78	設計洪水位	EL 576.30m
放流設備	自由放流	ゲージ水位	EL 573.60m
取水設備	多段式ゲート 制水ゲート	常時満水位	EL 570.10m
放流設備	放流管 放流ゲート	最低水位	EL 512.00m
地 質	新生界古第三系大白山層群の流紋岩		

* 境川ダム(作)

(〒939-19 富山県東砺波郡上平村椿1420
tel 0763-67-3111)

** 同 上

コンクリートの打設計画は、減勢工を含めた対象
 数量を717,500m³、年間の打設可能期間を4/21～11/30、全体の打設期間を63年 5月～平成 4月 8月の
 33か月間とし、1リフトを75cmとする。

RCD工法による打設は、インクラインの稼働範
 位EL463.25～EL558.50 mの約632,000 m³であり、ブ
 ロック工法による打設は、EL558.50～上部の約47,0
 00m³である。

堤体コンクリートは、平成2年8月現在、EL530
 まで打ち上がり、減勢工を含めて約50万m³を打設し
 たところである。

表-2 施工機械一覧表

名 称	容 量	仕 様 ・ 規 格	台数
バッチャープラント	4.5 m ³	2.25m×2.25m 貯蔵ビン容量3000m ³ ・骨材セメント自動供給	2 基
トランスファーク	4.5 m ³	440V 15kW 電動走行 (インバータによる速度制御・コンプレッサ付)	2 台
バケット台車	4.5 m ³	440V 400kW 電動インサ (サイリスタレオナードによる速度制御)	2 台
ホッパステーション	4.5 m ³	440V 7.5kW 電動コンプレッサ (バケット台車自動給炭装置)	2 基
ダンプトラック	4.5 m ³	11 ton 組合機表示出付 (組合表示5機)	2 台
ブルドーザ	—	15 ton (D53P)	1 台
振動ローラ	—	7 ton (BW200)	2 台
振動目地切り機	—	13 ton (PC120V) 切断能力 幅1200×高さ900	1 台
パイプレータ	—	φ130 (HIB-130) / φ100 (HIB-100)	8 台
レイタスリムバ	—	2,800 kgf/cm ² 15.9 φ/mm 135PS トラクタ付	1 台
ケーブルクレーン	9.5 ton	軌条式 主梁466m 副梁150m (サイリスタレオナード制御)	1 基
コンクリートバケット	3.0 m ³	遠隔(無線操作)開閉 (トランスファークより自動給炭)	2 台

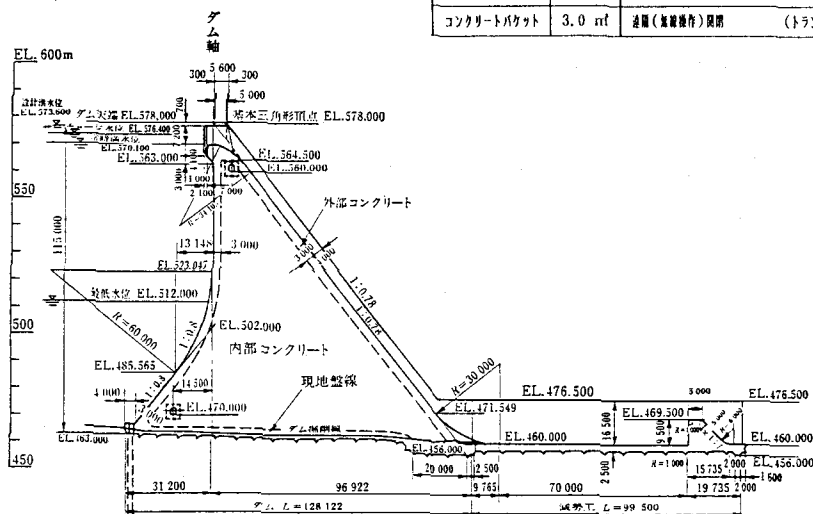


図-1 標準断面図

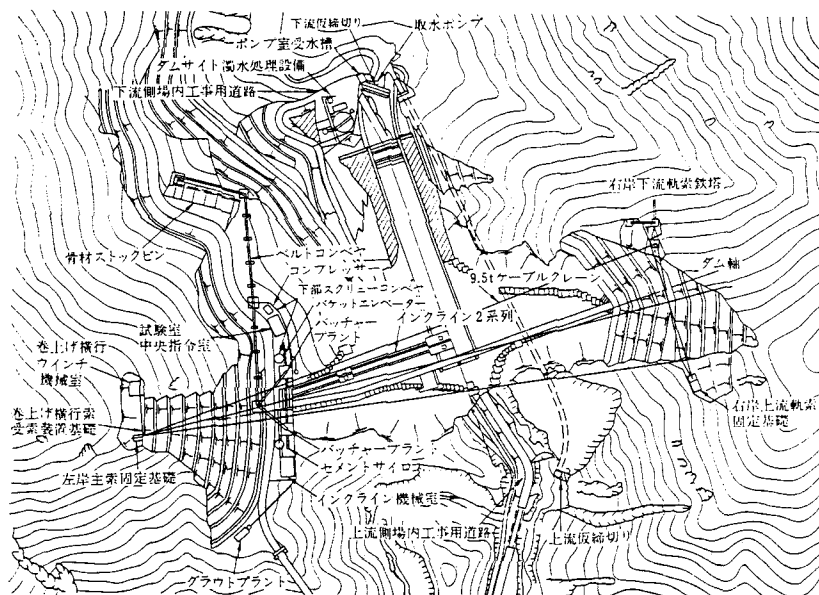
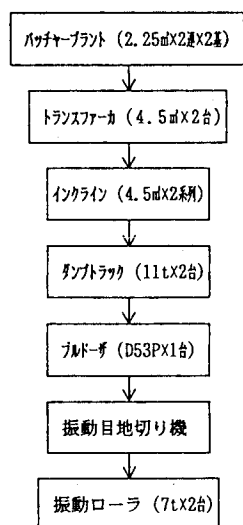


図-2 仮設備概要図



図－3 打設フロー図

3. 出荷時における品質管理

RCDコンクリートは従来工法によるダムコンクリートに比べて、超硬練りで貧配合という特性から使用骨材や配合のみならず締固め機械、施工方法にも大きく影響される。特に単位セメント量、単位水量が少なく超硬練りのため、骨材分離による品質のバラツキを生じ易くなっている。それらを解消するためには骨材（特に砂）の水分管理が重要であり結果としてコンクリートの硬さ（コンシステンシー）を調整している。この硬さは、VC試験によってコンクリート中のペースト分の浮上時間（VC値）として表される。以下に、その手順と実績について述べる。

（1）製造管理

a) 砂の表面水率

コンクリート材料のなかで、砂の水分の影響が最も大きいので、打設中2時間毎にコンクリート製造直前のサンプルより表面水率を測っている。表面水は、砂の製造過程で機械的に処理止、安定した砂をストックするようにした結果、平成元年度の表面水率は、2.6～6.4%（平均 4.90%）となった。

b) VC試験

通常は打設時に1回/時間で測定している。試料はバッチャープラントのミキサー放出時のコンクリ

ートを用いるが、打設現場でも定期的に採取して、相関を求めている。

VC値は、 20 ± 10 秒で管理しているが、砂の表面水率、練上がり温度、水温や気温、風力、天気などの気象条件により目標値を設定している。

ここに、平成元年度の月別の結果を示す。

表－3 VC値の月別変化

月	試 験 回 数	VC値の 変動範囲 (SEC)	平均値 (SEC)	標準偏差 (SEC)	変動係数 (%)	月平均 気 温 (℃)
4 月	154	12～23	17.3	2.2	13.0	7.0
5 月	235	13～25	17.3	2.3	13.4	12.0
6 月	237	14～23	17.4	2.1	11.9	15.4
7 月	244	14～22	16.8	1.4	8.5	20.1
8 月	136	14～22	16.5	1.4	8.2	21.3
9 月	193	14～23	17.3	1.5	8.8	17.7
10 月	195	14～22	17.7	1.4	7.7	10.0
11 月	174	15～22	18.2	1.4	7.7	6.4
全 体	1,568	12～25	17.3	1.8	10.6	13.7

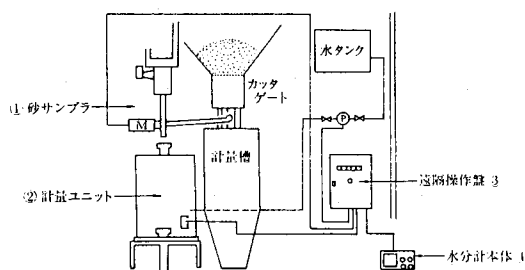
表－1のように、気温が高い時期は日較差も小さいので、VC値を小さく（軟らかく）して出荷し、また変動も小さい。反対に、気温が低い時期は、日較差も大きいので、VC値を大きく（硬く）して、変動も大きい。

4. 製造、運搬設備における特徴

（1）バッチャープラントの水分計

前述のように、コンクリート製造時により良い品質を安定的に得るためには、特に細骨材の表面水量を連続的に正確に測定し、管理することが必要である。

当ダムで採用した水分計は、各バッチ連続的に精度良く水分補正することができるものである。



図－3 水分計システム構成図

a) 測定原理

「JIS A1111—細骨材表面水率試験法」に準拠

*計測所要時間は、砂の採取から補正まで最長20秒で各バッチでの水分補正が可能である。

b) 特徴

この水分計の特徴としては

①NK重力式水分計は、測定原理を精度の高い直接法に準拠しているため、砂の粒度、粒径、密度、塩分などに影響されない。

②マイクロコンピューターと機器とを組み合わせることにより、全自動連続水分補正が可能である。

③ホッパーから流出して実際に計量される砂をサンプルで自動的に採取、測定するので精度の良い測定値を得ることができる。

④計量されたサンプルは、ミキサーに戻されるため、後処理が不要である。
という点が挙げられる。

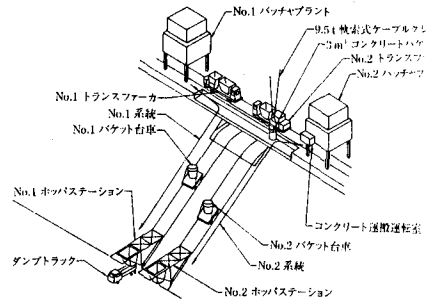


図-4 システムの概要

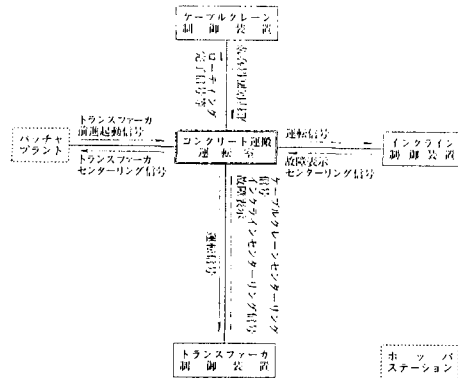


図-5 運転制御装置のシステム構成

(2) コンクリート運搬設備総合運転制御システム

本体コンクリートの打設工事においては、長期間にわたって品質の保たれた大量のコンクリートを、速く確実に安定的に供給できる設備が必要である。中でもRCDコンクリートに関しては、練り上がりから転圧完了までのサイクルを出来るだけ短く（通常4時間以内）することが、品質確保の上で望ましい。

当ダムにおいては、ダムサイトが急峻なV字谷に位置することから、ダンプトラックによる打設現場への直接運搬が不可能である。そこで、インクライン（4.5m²×2条）とダンプトラックの併用運搬という方法を採用しているが、バッチャプラントからトランスファー、インクライン（1部ケーブルクレーン併用）、ダンプトラックにいたるコンクリートの運搬フローをできるだけ機械化、自動化することにより省力化を図るとともに、安全性を高めかつ150 m/hの達成を目指した。

a) 総合運搬制御システムの概要

① インクラインによるRCDコンクリート打設

2.25m²×2台型×2基のバッチャプラントで練ったコンクリートをトランスファー 2台でパンカーラインを運搬し、4.5m² のバケット台車に移し替え

インクラインガーダーを降下し、コンクリート打設面直上のホッパステーションで、ダンプトラック（11t 車）に移し替え打設場所に運搬する。

② ケーブルクレーンによるブロック打ちのコンクリート打設

バッチャプラントで練ったコンクリートをトランスファーカーラインを運搬し、（トランスファーカーはインクライン用4.5m²、ケーブルクレーン用3.0m² の2個のホッパーを搭載している）コンクリートバケット3.0m² に移し替え、9.5t吊りケーブルクレーンで打設場所に運搬する。

表-4 運転員の比較

機 械 装 置	自動化前	自動化後
バッチャプラント	2 人	2 人
トランスファー	2 人	1 人
バケット台車(クイン)	2 人	
ホッパステーション	2 人	
ダンプトラック	2 人	2 人
計	10 人	5 人

ｂ) システムの特徴

①このシステムは、トランスファーカー／インクライン、インターロック運転およびトランスファーカー／ケーブルクレーン、インターロック運転の２種類のモードを持っている。

②２系統のトランスファーカー／インクラインのインターロック運転操作を１人の運転手にて行なうことができる。（スイッチ操作は不要で監視が主業務）

③トランスファーカーおよびインクラインは、全自動運転を行なうが、各々の機械は単独に運転することもできる。

④コンクリートの配合は、ダンプトラックまで自動的に伝達される。

⑤ホッパーステーションからダンプトラックにコンクリートを積み込む場合、運転手は降りずに無線、ペンダントスイッチによりホッパーゲートの開閉を行なう。

⑥バケット台車ゲート開閉用エアは、ホッパーステーションで自動供給される。また、ケーブルクレーン用コンクリートバケットの開閉用エアは、トランスファーカーで自動供給される。

⑦コンクリートバケットのゲートは、微弱無線による遠隔操作で開閉してコンクリートを放出するので、人力の介入を必要としない。

⑧機械の構造・機能の安全性を高めるため、インクラインの昇降用ワイヤーロープは２条掛けとし、万一１本切断しても他の１本でバケット台車を保持する。また、巻き上げウインチのブレーキは、ドラム式のかわりに油圧ディスク方式を採用している。

５．打設ブロックにおける特徴

ａ) 打設実績の分析

RCDコンクリートの品質を保つためには、打設作業に費やす時間が短い方がよいことは、前述の通りである。特に当ダムは、１リフト50㎡で計画された設備を用いて75㎡の打設を行なっているため、設備能力を十分発揮できるような打設をすることが、必要不可欠である。

ここでは、右岸、中央、左岸の３ブロックのうち特に右岸、中央ブロックの打設能力の実績データを分析する。

各ブロックの特徴を簡単に説明する。

〔右岸ブロック〕

RCDコンクリートの数量も大きい、着岩コンクリート、通廊周りのコンクリート等、富配合コンクリートの比率が高い。また、構造物の都合で一部ケーブルクレーン打設を行なわなければならない箇所がある。

〔中央ブロック〕

上流側に取水塔があり、トラッククレーン打設を行なわなければならないことを除けば、そのほとんどがRCDコンクリートの打設である。

〔左岸ブロック〕

コンクリート運搬設備であるインクラインが位置するブロックである。インクラインの構造は、EL526mまではコンクリートの直接基礎、EL526m以上はトレッスル構造となっているが、どちらの場合もダンプ走行路を確保しながら打設を行い、ホッパーステーションの下で終了しなければならない点、他ブロックと大きく異なる特徴となっている。これに対しては、富配合コンクリートを段階的に打ち継ぐこと、またブロックの数量を小さく抑えることによって、レーンの境界面の硬化による打継ぎ条件の悪化を防いでいる。

インクラインの設置場所については、ダムの形状やインクラインの有効利用等を考慮して、最適な構造、位置としなければならない。

①右岸ブロックについて

30リフト～73リフトは平成元年度（図－６）

74リフト～102リフトは平成２年度（図－７）

の実績である。

元年度においては、リフトが上がるにつれて能力がアップしたが、２年度においては逆にダウンする傾向にある。これは、91リフトから96リフトまでをケーブルクレーン併用打設を行なったこと、また97リフトから102リフトまでを夜間打設として、ブロックを小さくして打設したためと考えられる。そこで、２年度の実績を３ケースに分けて、その運搬、打設能力の検討を行なってみた。

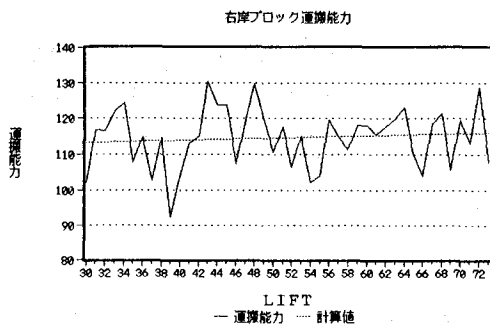


図-6 平成元年度実績

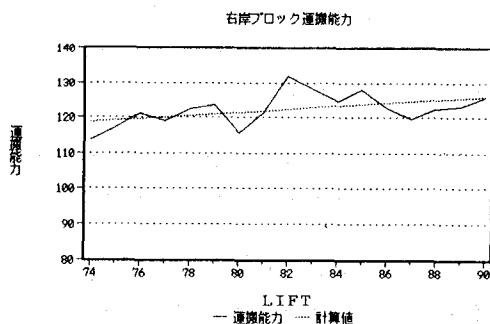


図-8 ケース①

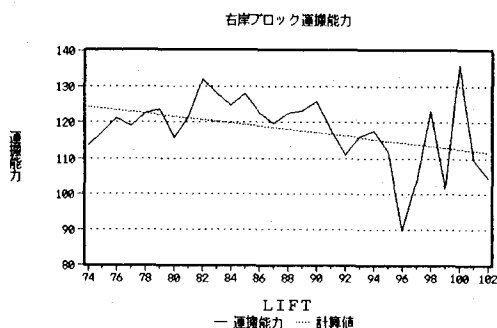


図-7 平成2年度実績

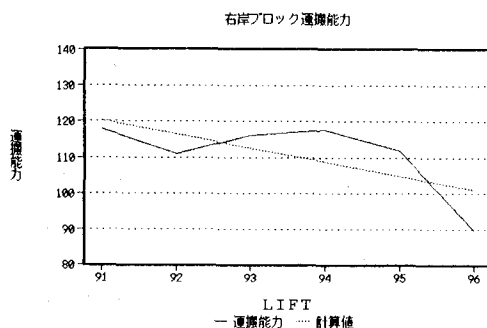


図-9 ケース②

⑤ 運搬能力＝打設数量／運搬を行った実時間

各ケースの打設条件を以下に示す。

ケース①： 74～90 リフト 数量約 2000m

(インクライン)

ケース②： 91～96 リフト 数量約 2000m

(インクライン+ケーブルクレーン)

ケース③： 97～102リフト 数量約 1200m

(インクライン)

ケース①の分析

・ 運搬能力は、元年度の傾向を継続する傾向にある。

・ リフトが上がるのに伴う変化には以下のものがある。

- 1 インクラインの走行距離 ——— 減少
- 2 ダンプの走行距離 ——— 増加
- 3 レーン長さ ——— 増加

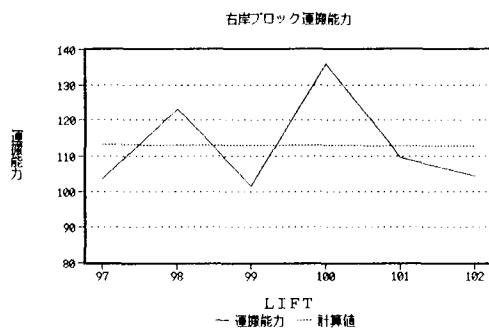


図-10 ケース③

4 レーン数 ——— 減少

これらのうち、運搬に関しては、インクラインの走行距離が減少した分ダンプの走行距離が増加したと見なしても構わないと考えられる。また、レーンが長くなることにより、ブルドーザーによる敷均し

作業がスムーズになると同時に、敷均しが終了した箇所から目地切り、転圧等の他工程に移れるために全体として作業効率がアップすると考えられる。

レーン数の減少は、モルタル敷均しや富配合コンクリートの先行打設という工程が少なくなることに結がるので、それらの段取り替えに費やしていた時間を、減らすことになると考えられる。

以上のような要因により、ケース①の場合は、リフトが上がるにつれて、打設能力が上がっていったと考えられる。

ケース②の分析

稀なケースであるため比較の対象から除外する。

ケース③の分析

このケースの特徴は、打設数量が少なく（約1200 m³）、富配合コンクリートの割合が高いことである。

このような状況の場合、インクライン2基を用いて、RCDコンクリートを出荷する時間が短くなるため、ブルドーザー、振動ローラーなどの休止時間が長くなり、大きなロスを生じてしまう。

②中央ブロックについて

中央ブロックの打設が、右岸ブロックの打設と大きく異なるのは、RCDコンクリートの割合が極めて高い点、数量は少ないが打設に時間を要する構造物があるという点の2点である。

元年度の打設においては、1年を通して運搬、打設能力ともそれほど大きなアップをしていない。これは、60リフト以降、放流管周りの打設が複雑化したためと考えられる。しかし、特に運搬能力は、常に右岸ブロックより高い値を示している。

次に、2年度の打設について見てみる。

各ケースの条件を以下に示す。

ケース①： 74～95リフト 取水塔を含む

74～83リフト 幅45m

84～95リフト 幅60m

ケース②： 96～102リフト 取水塔を含まず

幅45m

ケース①、②の分析

・ケース①について

打設ブロック幅が45mの場合と60mの場合とでは

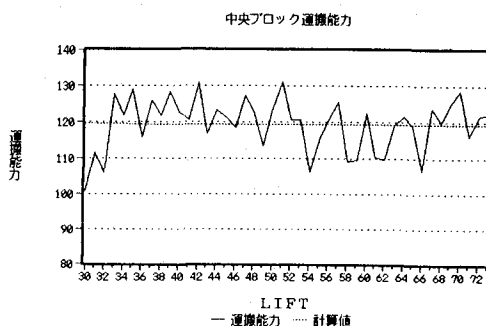


図-11 平成元年度

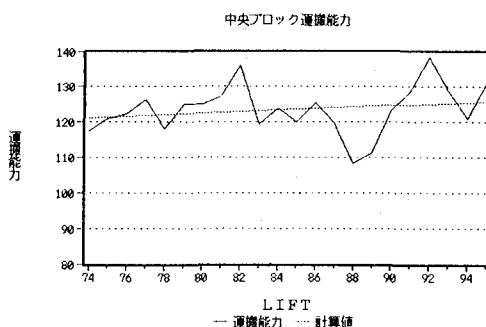


図-12 ケース①

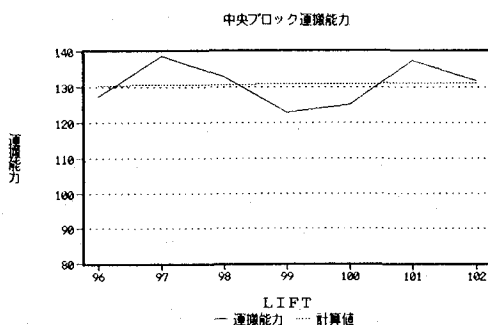


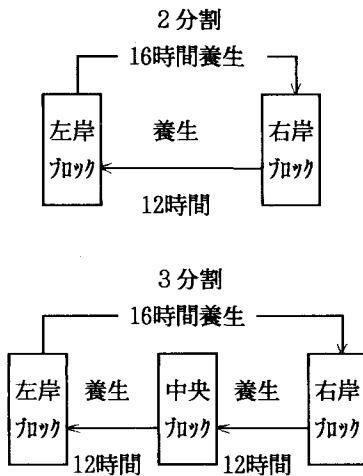
図-13 ケース②

60m の場合の方が、打設効率が良いと見なすことができる。これは、RCDコンクリートの割合を大きくすることで、構造物周りの打設による遅れをカバー出来るということと考えられる。

・ケース②について

ケース②は、幅45mで構造物を含まない打設ブロックのデータであるが、7リフトにわたって比較的安定して高い能力を示している。この理由としては構造物を含まないということが第1だと考えられるが、他にも言えることは天候が安定している夏期の夜間に打設を行なったからということである。そのために、レーン幅を広めにとることが可能となり、レーン数を減らすことによって、効率を上げることができたのではないかと考えられる。

(b) 2分割打設と3分割打設との施工性の比較



2分割のサイクルは、打設間隔が短かすぎるために、打設面処理作業、グラウチング作業、型枠作業などが同じ時間帯となる。そのため、各作業が競合する箇所が多くなり、全体として作業効率は相当低くなると予想される。

それに対して3分割の場合は、中央ブロックの施工時間が各作業の競合を緩和するために、各作業に必要な時間を確保できるようなサイクルとなり、施工性は2分割よりも3分割の方が良い。

(C) コンクリート打継面処理について

コンクリート打継面の処理作業は、ダムの一体性に大きな影響を及ぼすため、慎重な施工が要求される作業であると同時に、比較的多くの作業員を要す

る作業でもある。RCD工法においては、柱状打設工法に比べて1回打設当りの面積が広いため、打設サイクルの短縮を図るためには、機械化と自動化による効率化が必要となってくる。

機械化、自動化する上では、以下の条件が要求される。

- ① 打継面の不陸に対する適応性
- ② コンクリート強度の変化に対する適応性
- ③ 処理能力の向上
- ④ 施工面の良好な仕上がり

これらの条件を考慮して、超高圧ウォータージェットを利用したグリーンカットマシンを開発し、その結果、コンクリート表面の強度差および凹凸に対しても適切なグリーンカットができています。また、時間当たり約200㎡の処理が可能となり、均一なグリーンカット面ができ好結果を得ている。

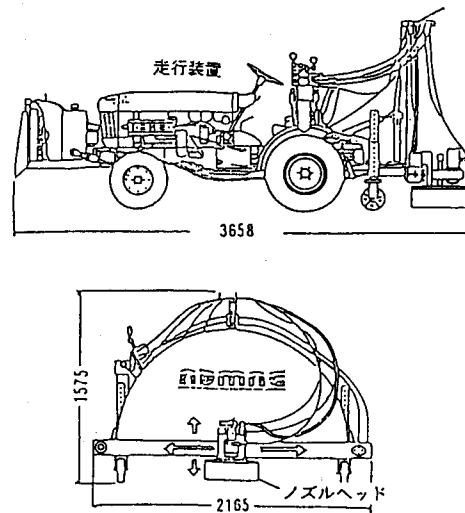


図-13 グリーンカットマシン本体概略図

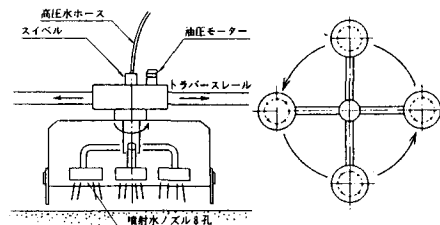
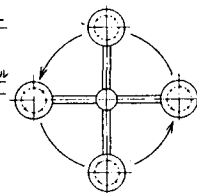


図-14 回転ノズル略図



(6孔×4=24孔)

図-15 ノズル略図

6. 考察

RCDコンクリートの運搬能力、打設能力を着岩コンクリートを含む右岸ブロック、RCDコンクリートの割合の高い中央ブロックを例に分析したが、運搬能力は 120~130m³/h を達成している。打設能力がインクラインの運搬能力で決定されていることから、時間当たり平均打設量を 120m³/hとした場合、その機械効率 $120/150=0.8$ となり、比較的高い効率で稼働していると言える。特に、中央ブロックでかつ構造物のないケース②の場合には、コンスタントに130m³/h を達成していることから、RCDコンクリートを連続的に出荷することも、打込み現場においてそれを処理することも可能なことがわかる。

一方時間当たりの運搬能力、打設能力がそれほど高くない場合の理由としては、大きく分けて次の2つがある。

- ① バッチャープラントにおける要因
- ② 打設ブロックにおける要因

①は、主に配合の切り替え時に生じるロスであり特に、モルタルを断続的に出荷した場合に大きくなる。

②には、

1. 富配合コンクリートの割合が高い
2. 構造物がある
3. レーン幅が小さい（ブルドーザーの敷均し能力の低下）
4. レーン長が短い（敷均し、目地切り、転圧作業を同時進行できない）
5. ある配合が必要以上出荷される

といったものが考えられる。この中で、5 については打設現場における管理ミスと見る事ができるが他の 1~4 については、打設計画の段階で工夫をすることで克服が可能である。

これまでの実績から考えると、打設ブロックにおける望ましいレーン長、レーン幅として、次の条件があると考えられる。

1. ブルドーザー、目地切り機、振動ローラーが、同時に稼働できるだけの長さ

2. 目標とする時間内に転圧を完了できる長さ

3. 敷均しの効率を落さないだけの幅（排土板の2倍程度）

4. 振動ローラーをフル稼働できる幅

例）ローラーを2台とした場合、1台につき2コース転圧するとすれば、計4コース分のレーン幅にする。（3コース分にするとも1台休止することになる）

分割数について言うと、4分割、5分割の方が、打設面処理前の養生時間を長くとれること、それぞれの工種において作業のサイクルがパターン化すること、1回当たりの打設時間が短いために天候の変化に対して適応性があることなど、いくつかの利点はあるが、打設工程の進行が遅れるという大きな欠点がある。

従って、当ダムの場合、現在の3分割施工が最も適していると言える。

7. まとめ

以上のような工程を経てコンクリートが打設されているわけだが、その製品の品質確認には、標準供試体（φ150mm×300mm）による圧縮強度試験（7、28、91日）を行い、最終的には打設コンクリートのボーリングコアを、外観評価および圧縮強度試験している。

表-5 試験結果

項	目	個数	平均値	備考
標準供試体	単位容積重量	材令 7日 196	2.424 (2.397~2.461)	規格値=2.3 t/m ³
		材令 28日 170	2.422 (2.384~2.446)	
		材令 91日 101	2.427 (2.397~2.457)	
	圧縮強度	材令 7日 196	54.6 (42~73)	設計基準強度 f' _{CK} =105kg f/cm ²
		材令 28日 170	120.3 (93~146)	
		材令 91日 101	217.4 (183~250)	
コア	単位容積重量	14	2.455 (2.406~2.490)	規格値=2.3 t/m ³
	圧縮強度	24	188 (96~236)	設計基準強度 f' _{CK} =105kg f/cm ²

平成元年度の結果では、強度については設計基準を、単位容積重量については規格値を十分に満足しボーリングコアの外観評価も良好であった。

このような結果より、1リフト50cm用の設備を用

いての1リフト75cmの打設は、運搬能力と打設ブロックにおける処理能力とが、バランスのとれた稼働をしていると判断できると思われる。

8. おわりに

本稿では、設備能力の不足を補って品質の保たれたコンクリートを打設するというに関連した事柄を、各工程を追って説明したため、労務管理に関してはほとんど触れることができなかったが、設備能力の不足が、多少なりとも労務管理面においてマイナス要因を生じさせていることは否定できない。また、現在の技能工不足の現状を考えると、個人の作業分担を専門化させて、あまり色々な職種を担当させないようにしなければならない。そのためには1ブロックの施工が1日で完了するような設備計画が理想と思われる。

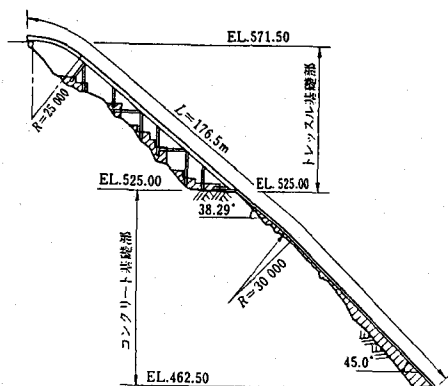


図-16 インクライン縦断面図

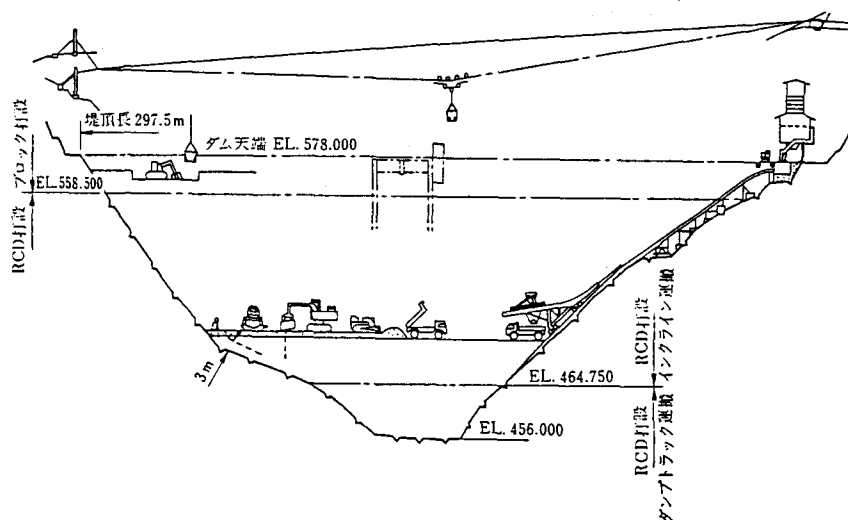


図-17 施工方法模式図

【参考文献】

- 1) 長谷川利正、金谷和喜：境川ダム(RCD工法)の施工設備、建設の機械化、pp20～25、1989.10
- 2) 中村慎悟：境川ダムにおけるRCD用コンクリートの性質について、ダム技術 NO26(1988) 増刊 pp199～206
- 3) 館真人、金谷和喜、広本勝男、槌谷徹：インクラインによるコンクリート運搬の自動化、土木学会新潟会論文集、pp117～pp122