

# 大規模コンクリートダムコンクリート打設 工期短縮に向けた取組みについて

爲沢長雄<sup>1</sup>・高田悦久<sup>2</sup>・熊谷憲二<sup>3</sup>・岡本弾<sup>4</sup>・富田祐二<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 独立行政法人水資源機構 中部支社（〒460-0001 愛知県名古屋市中区三の丸1-2-1）

<sup>2</sup>正会員 鹿島建設株式会社 胆沢ダム堤体盛立工事事務所（〒023-0403 岩手県胆沢郡胆沢町若柳字愛宕488-1）

<sup>3</sup>正会員 工修 鹿島建設株式会社 滝沢ダム本体建設工事事務所（〒369-1901 埼玉県秩父市大滝4014）

<sup>4</sup>株式会社熊谷組 滝沢ダム本体建設工事事務所（〒369-1901 埼玉県秩父市大滝4014）

<sup>5</sup>株式会社銭高組 滝沢ダム本体建設工事事務所（〒369-1901 埼玉県秩父市大滝4014）

公共工事のコスト削減が社会的に要請される中で、首都圏内で建設中の滝沢ダムにおいては大規模重力式コンクリートダムの合理化施工を進め本体コンクリート打設に係る当初設定工期を大幅に短縮し、試験湛水開始を1年間前倒した。打設可能日を増やすために、降雨対策用の移動可能な大型テントや厳寒期用の打設前後・打設中の保温対策と特殊養生を行った。打設能力の向上と安定化のためには、熟練技能者が減少する社会的状況を鑑みてコンクリート打設自動運転システムを開発、運用した。円滑な打設サイクルの維持のためには、型枠にプレキャストブロックの積極的採用を進めるとともに堤内構造物としての放流管やゲート設備の据付工事について長期にわたる工程調整を図った。

**キーワード：**ダム,合理化施工,自動化,コンクリート打設,ケーブルクレーン,プレキャストブロック

## 1. はじめに

滝沢ダムは、独立行政法人水資源機構が埼玉県奥秩父の荒川支流中津川において建設中の多目的ダムで、大規模な重力式コンクリートダムである。事業実施にあたっては近年の公共事業を取り巻く情勢に鑑みて、事業による環境への影響を極力小さくする目的を立てるとともに、本体コンクリート打設方法としてダム下部にRCD工法、ダム上部に拡張レア工法（以下ELCM工法）を採用するなど施工の合理化、コスト削減をめざした。

冬期にマイナス10℃近くにもなる厳しい気象条件下で通年施工することをはじめ幾多の自然的要因、また施工的困難が予想された。そうした問題を克服して本体コンクリート打設の工期短縮を実現するため、打設可能日数の増加に主眼をおき降雨、冬期対策などを行うとともに、プレキャストブロックの積極的採用及びコンクリート打設自動運転システムの開発を実施することにより、試験湛水の開始を1年早めることとした。

本報文では、打設工期短縮に対する取組みを報告する。

## 2. 滝沢ダムと本体工事の概要

滝沢ダムの堤体、貯水池及び本体コンクリート打設設備の概要は次のとおりである。

### (1) 堤体

|        |                          |
|--------|--------------------------|
| 形 式    | 重力式コンクリートダム              |
| 堤 高    | 140m                     |
| 堤頂長    | 424m                     |
| 堤体積    | 約1,800,000m <sup>3</sup> |
| ダム天端標高 | EL.568m                  |

### (2) 貯水池

|        |                          |
|--------|--------------------------|
| 集水面積   | 108.6 km <sup>2</sup>    |
| 湛水面積   | 1.45 km <sup>2</sup>     |
| 総貯水容量  | 63,000,000m <sup>3</sup> |
| 有効貯水容量 | 58,000,000m <sup>3</sup> |

### (3) 堤体打設設備

|           |                            |
|-----------|----------------------------|
| バッチャ-プラント | 強制2軸4.5 m <sup>3</sup> ×2基 |
| 循環バケット    | 4.5 m <sup>3</sup> ×5基     |
| ケーブルクレーン  | 固定式15 t×3基                 |

グラントホッパー 9.0 m<sup>3</sup>×3基  
ダンプトラック 25 t×3台

堤体コンクリートはEL497までがRCD工法(リフト高1.0m), EL497～堤頂をELCM工法(リフト高1.5m)で打設する. 非越流部堤体断面の配合区分を図-1に示す.

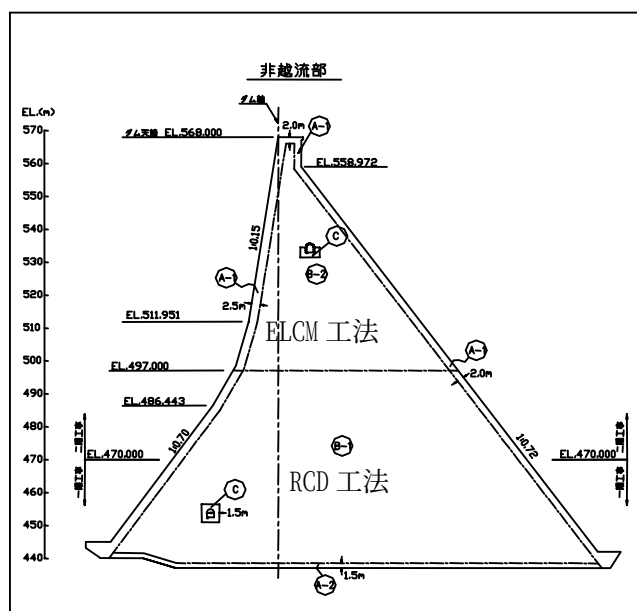


图-1 配合区分断面图（非越流部）

#### (4)事業工程

表-1に示す通り1999年3月に本体工事が発注された。当初計画では本体掘削が約2年、本体コンクリ



**写真-1** 施工設備全景

ート打設開始が2001年秋から本格的に開始され2005年7月に打設完了、2006年10月試験湛水開始予定であった。

その後、コスト縮減、試験湛水計画の見直しを行った結果、試験湛水を1年早めて2005年10月に開始とし、これに伴いダム本体コンクリート打設完了時期を2004年9月（1BL及び天端橋梁は2005年3月まで）に変更した。

### 3. リフトスケジュール計画

### (1)当初計画リフトスケジュール

当初は2001年打設開始、2005年7月打設完了の約

**表-1** 滝沢ダム事業工程

[illegible]

46ヶ月のリフトスケジュールであった。当初計画条件を表-2に示す。実際の施工にあたってこの条件を見直してみると以下の検討課題があげられた。

- ① 13.5t ケーブルクレーンの打設能力の見直し
- ② 打設不稼働日の不現実性の検証

表-2 当初計画リフトスケジュール条件

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 打 設<br>不稼働日   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 休祭日等<br/>祝祭日，土日曜日，年末年始6日，<br/>盆休み3日</li> <li>・ 降雨制限（RCDの場合）<br/>時間雨量2mm以上または日雨量10mm以上となる日の1/2</li> <li>・ 降雨制限（ELCMの場合）<br/>時間雨量4mm以上または日雨量20mm以上となる日の1/2</li> <li>・ 気温及び打ち込み温度規制<br/>冬期：日平均気温0℃以下日の1/2<br/>夏期：日平均気温25℃以下日の1/2</li> <li>・ 定期点検日<br/>1日/月</li> </ul> |
| 平均打設<br>能力    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ EL430～EL434.5（1.5m）<br/>57～63m³/h</li> <li>・ EL434.5～EL447（12.5m）<br/>190～198m³/h</li> <li>・ EL447～EL530（83m）<br/>205～219m³/h</li> <li>・ EL530～EL568（38m）<br/>40～146m³/h</li> </ul>                                                                                |
| 日 当 り<br>打設時間 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 3月～11月 ： 21時間</li> <li>・ 12月 ： 12時間</li> <li>・ 1月 ： 9時間</li> <li>・ 2月 ： 11時間</li> </ul>                                                                                                                                                                            |
| 打設間隔          | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 一般部 ： 中3日</li> <li>・ 堤内構造物部 ： N+1日<br/>(Nは型枠鉄筋等の作業日数)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                   |

これらの課題を考慮してリフトスケジュールを計算し直すと最遅打設工程が66ヶ月となった。

## (2)リフトスケジュール上の工程短縮対策

これに対し、見直し後の事業工程を確保するためには3.5ヶ月の打設工程短縮が必要であった。そこで、打設工程の短縮要素として以下の4点についてリフトスケジュールを再検討した。

- ① 打設稼働日を増やす
- ② 1日当りの打設時間を増やす
- ③ 平均打設能力を上げる
- ④ 打設間隔を詰める

このうち、②1日当りの打設時間の21時間はケーブルクレーンの点検・雑運搬を考えるとこれ以上の増加は難しい。③ケーブルクレーンによる平均打設能力は通常の運転では180m³/hが事実上限界であ

る。④打設間隔はクリティカルになっていない。そこで①打設稼働日について検討した。具体的には、

- ① 祝休日の有効活用を図って機械設備点検や打設準備等にあて、年間136日から115日へ21日削減
- ② 降雨時は大屋根を使用するものとして降雨制限日をRCD部で年間36日を9日へ27日削減，ELCM部で18日を9日へ9日削減
- ③ 冬期打設対策をして気温制限日を年間27日から0日へ削減

と条件を変更してリフトスケジュールを計算すると打設工程は41.5ヶ月となり約4.5ヶ月の短縮が可能であるという結論になった。

## 4. 打設工期短縮への取組み

### (1)祝休日の有効活用

当初計画では祝日と全土曜日は休日等に含まれることになっていたが、機械設備点検や打設準備のための作業にあてることによって月2回の土曜日と祝日を有効活用した。

### (2)降雨対策

#### a) 大屋根の開発<sup>1)</sup>

過去の気象データから連続して強い雨が降り続けることは稀であり、一時的な強い雨をしのげれば打設を継続することは可能である。降雨予想時の打設可否の判断をする際、数時間でも雨がしのげる降雨

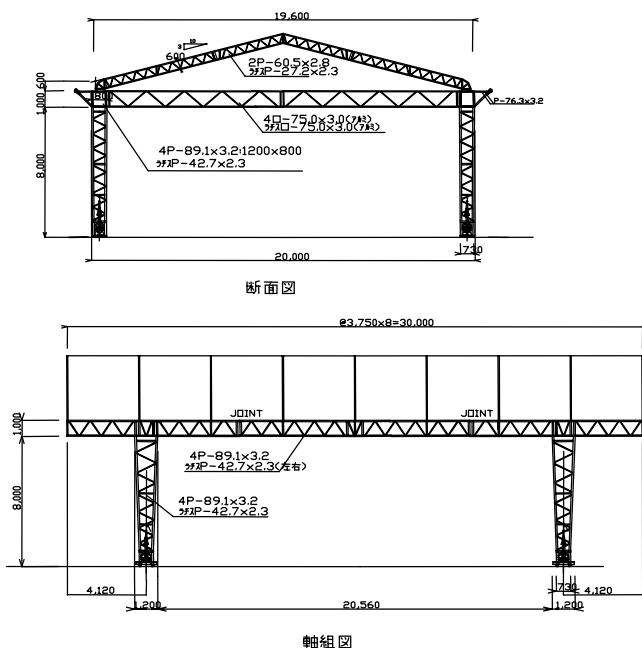


図-2 大屋根断面図

対策用大屋根があれば従来では打設中止になるような日でも打設可能日とすることができると考えた。

滝沢ダムで開発した大屋根は図-2に示すとおり30m×20mの広さがあり、幅15mの1ブロックを覆って雨をしのげる。移動方法としては左右岸方向は15t固定式ケーブルクレーンで行い、上下流方向は打継ぎ面にレールを敷き人力移動とした。

#### b) ELCM工法への変更

ELCM工法の降雨制限は時間雨量4mm以上で、RCD工法の2mm以上に対し2倍緩いため、少雨の場合は途中でもELCM工法へ切替えて打設を継続した。また、ELCM工法は打設エリアが限定されても対応できるため、降雨日でも打設ブロック数を少なくして大屋根で覆うことにより打設可能とした。

### (3)気温対策<sup>2)</sup>

埼玉県奥秩父地方は12月から3月初旬の3ヶ月間で日平均気温が0℃を下回る日が過去10年平均で43日もある。そのうちの1/2が気温規制による打設休止日となるが、実際の現場では打設前にその日の日平均気温を予想することは難しく、冬期打設を休止にするか冬期対策をして毎日打設を基本とするかのいずれかとなる。

当現場では、初年度は河床部コンソリデーショングラウチング施工のため1～2月中旬までを打設休止としたが、2年目、3年目は毎日打設可能となるように冬期対策を行った。

#### a) 冬期対策

冬期打設のための対策の一覧を表-3に、また冬期養生用に準備した熱源設備と能力を表-4に示す。

打設は最も気温の下がる深夜から明け方を避け、朝10時には打設開始できる状態にしておく必要がある。2年目の2002年度は前日から大屋根と小型テントで打設ブロックを覆い温風で養生した。2003年度はさらに冬期対策を確実にするため温水での湛水養生を追加した。



写真-2 打設面養生状況（2002年度）

表-3 冬期対策一覧

| 項目           | 具体策                                       | 目的                |
|--------------|-------------------------------------------|-------------------|
| 大屋根・小型テントの活用 | 降雨用大屋根と小型テントで打設予定ブロックを覆い温風で養生             | 打設前の打設面凍結防止対策     |
| 冷加熱設備の温水利用   | コンクリート混練用温水を打設面まで配管し利用                    | 打設面の解水作業          |
| 冬期養生用設備増設    | 表-4の冷加熱設備を除く熱源設備を増設                       | 凍結防止・解水・型枠養生・岩盤養生 |
| 打設面特殊養生      | 高発泡ポリエチレンシート（ミラマット t=10mm）＋ブルーシートによる打設面養生 | 打設コンクリートの温度確保     |
| 打設前特殊養生      | 次に打設するブロックで温水による湛水養生（2003年度）              | 打設前コンクリート面の温度確保   |
| 養生班・打設準備班増員  | 凍結防止・解水作業の養生班・打設前水切り班を10～12名増員            | 凍結防止・解水・型枠養生・岩盤養生 |

表-4 冬期養生用設備一覧

| 設備名        | 供給方式 | 熱量      | 2002年度    | 2003年度    |
|------------|------|---------|-----------|-----------|
|            |      | Kcal/h  | 台数        | 台数        |
| 冷加熱設備      | 給湯   | 500,000 | 2         | 2         |
| 移動式ボイラ     | 給湯   | 250,000 | 2         | 3         |
| 蒸気ボイラ      | 蒸気   | 367,000 | 1         | 0         |
| ヒーター車      | 温風   | 210,000 | 2         | 2         |
| ジェットファーン   | 温風   | 29,000  | 5         | 5         |
| 熱量合計Kcal/h |      |         | 2,432,000 | 2,315,000 |

生を追加した。

また、冬期においてはRCDより単位セメント量が多く発熱量の高いELCM工法に切替えて打設した。ELCM工法は機械台数が少なくでき、狭いブロックでも打設可能であり、さらに締固め完了後ただちに打設面養生ができるという利点を生かした。

#### b) 冬期対策の効果

図-3に外気温と養生中コンクリート温度の変化



写真-3 移動式ボイラ（2002年度）

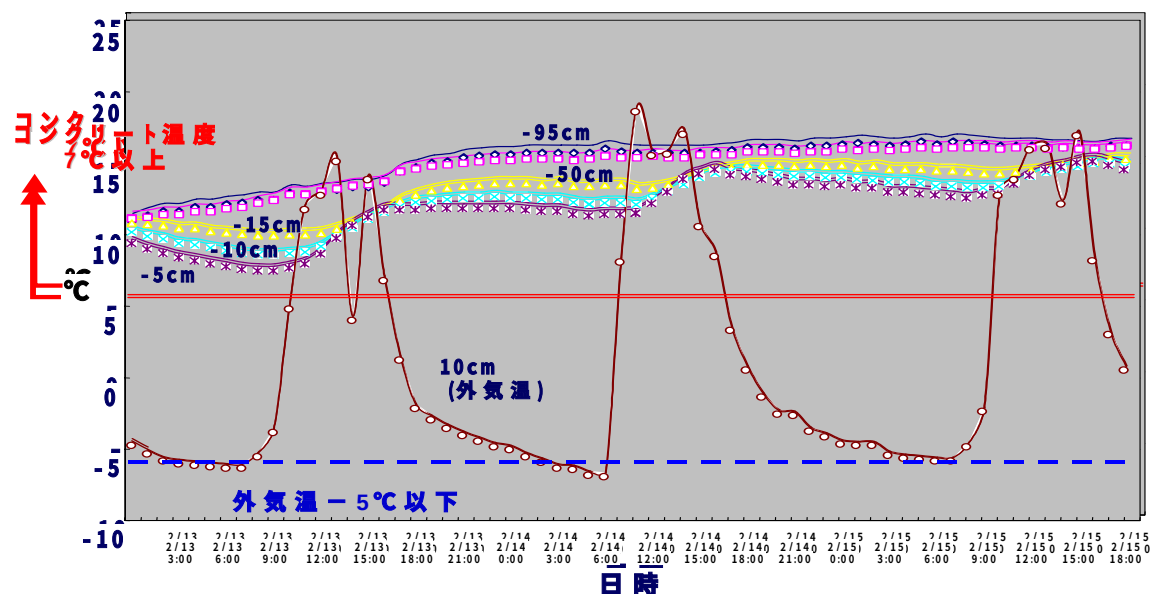


図-3 外気温と養生中のコンクリート温度変化

(図中の数字はコンクリート表面からの高さ(+)または深さ(-))

のグラフを示す。これによると、外気温が $-5^{\circ}\text{C}$ 程度まで下がってもコンクリート温度が $7^{\circ}\text{C}$ 以上確保できていることがわかる。この結果、外気温が $-5^{\circ}\text{C}$ になる午後12時ころまで打設可能時間を延ばすことができ、冬期における日打設時間が午前10時～午後12時の14時間確保することができた。

調整が打設工程のクリティカルパスとなっていた。

そこで、型枠支保工解体の安全性を確保することも含めて、図-4に示す通り吐口頂部、ゲート室側部及びゲート室頂部をプレキャスト化した。その結果、ブロック内作業の削減、機械メーカーの作業スペース確保及び安全作業が図られ、工程短縮になった。

#### (4)プレキャストブロックの使用

監査廊やエレベーターシャフトのプレキャスト化は一般的になりつつあり、当ダムにおいても350mある水平監査廊及び123mのエレベーターシャフトは当初からプレキャストブロックで計画した。

2門ある常用洪水吐は張出し構造の呑口底部型枠をプレキャスト板にしたが、吐口側等は通常の型枠支保工であった。常用洪水吐のある14, 15BLは機械設備工事との混在作業となり機械メーカーとの工程



写真-4 吐口頂部プレキャストブロック

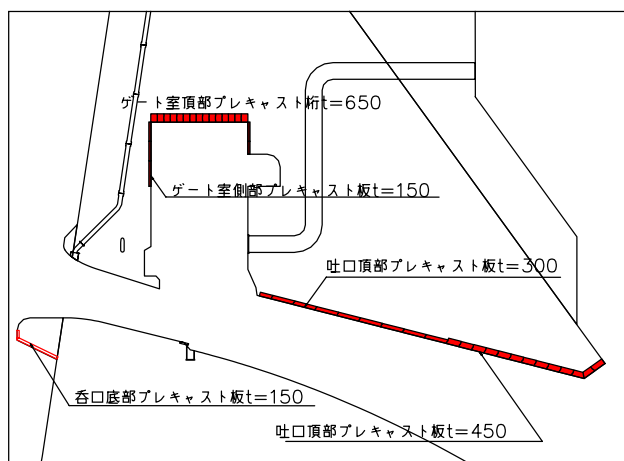


図-4 常用洪水吐プレキャストブロック使用箇所

#### (5)コンクリート打設自動運転システム<sup>3)</sup>

滝沢ダムでは、コンクリート製造設備で練混ぜたコンクリートを5台のレール式循環バケットと3系統の固定式ケーブルクレーンにより堤体ホッパーまで運搬する複雑な打設設備構成になっている。

また、作業側の問題としては、ケーブルクレーンによる平均打設能力は熟練した運転員と信号員が担当したとしても、滝沢ダムでは過去の実績から $180\text{m}^3/\text{h}$ が事実上の限界であろうと想定された。昼夜施工で3系統のケーブルクレーンを稼働させるた



めには少なくとも 30 人程度の熟練作業員を、数年にわたって確保しなければならない。さらに、複雑な構成の設備を運転員が手動運転すれば連携による効率ロスが想定された。

そこで、最適な運搬経路を選択し各設備の最大能力を発揮させるため、コンクリート打設自動運転システムを開発し運用した。各設備を手動運転で試験的に稼動したとき連携ロス等で当初想定能力の 50%程度の実績しか出せなかったが、本システムにより平均打設能力 180m<sup>3</sup>/h を確保できた。

## (6)機械メーカーとの工程調整

打設工程に直接影響する堤内構造物で別途機械メーカーへの発注は次の通りである。

- ・ 利水放流管 (EL458～EL480)
- ・ 取水設備 (EL472～EL568)
- ・ 常用洪水吐 (EL515～EL538)
- ・ 修理用ゲート (EL521～EL568)
- ・ 非常用洪水吐 (EL541～EL568)

工程調整は本体 JV と機械メーカーとが個別に行ったほか、2 ヶ月に 1 回程度、発注者、本体 JV、原石山 JV 及び機械メーカーが一堂に会しての全体工程調整会議の場を設けた。打設工程短縮のための主な調整事項を示す。

- ① 利水放流管の EL458 水平部据付けを打設休止中の 2002 年 5 月連休に作業集中して行った
- ② 利水放流管の EL480 水平部据付け用架台の設置標高を 2 リフトに分割施工した
- ③ 取水設備の戸当りを品質・安全面から一次コンクリートへ変更し、打設サイクル内での据付け完了と打設ブロック設定により調整した
- ④ 常用洪水吐整流板を打設休止中の 2003 年夏期休暇に作業集中して据付けた
- ⑤ 常用洪水吐きゲート室等のプレキャスト化を実施した

## 5. 打設工期短縮への取組み (その2) ――堤体上部について

コンクリート打設の最終年度においては堤体上部特有の問題点を克服するために、さらに施工上の工夫を行った。

### (1)ケーブルクレーン2号機の有効活用

滝沢ダムのカブルクレーンは固定式が 3 基、10 m 間隔で設置されている。当初、堤体上部はリフト

数量が減少するので、堤体を外れたクレーンが無くても工程への影響が小さいと考えていた。しかし、実際の施工を行うにあたって以下の課題に直面した。

- ① 堤体上部ではコンクリート打設量に比して鉄筋、横継目工用の資材及び放流設備金物等の搬入回数が多くなり、計画通りの雑運搬時間の確保が困難となった
- ② そのため打設時間を継続して得るには、点検作業や雑運搬作業を打設と並行して行うことが必要となった

これはクブルクレーンが1基となる上部においては重大な工程遅延要因と想定された。

そこで、打設能力の向上・雑運搬時間の確保等、設備能力の向上を図る目的で、堤体下流側にリフトアップ追随型（積み木形式）の仮設架台を設けダム天端までケーブルクレーン2基の使用を可能とした。



写真-5 下流面張出し架台

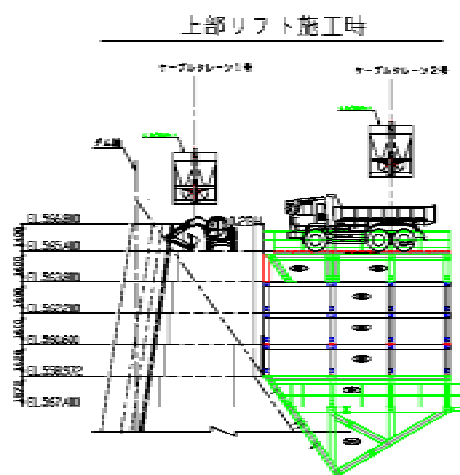


図-5 下流面張出し架台断面図

### (2)プレキャストブロックの積極的な採用

重力式ダムではダム天端幅を確保するため一般に下流面に勾配変化がある。その施工範囲がほぼダム全域に渡り、それまで使用してきたスライド型枠を

用いる場合、当該リフトで型枠入替え等の施工量が膨大となり工程への影響の生じることが予測された。

そこで、堤体内構造物のプレキャスト化を一歩進め、勾配変化部の外部型枠として採用した。この作業手順を以下に示す。

- ① 勾配変化点に合わせてリフト割りを変更する
- ② スライド型枠足場を利用してプレキャストを据え付ける
- ③ 1リフトの打設間隔中にスライド型枠と変更する（下流面勾配→鉛直）
- ④ スライド型枠を引上げ、鉛直に据え付ける

これにより、錯綜作業である型枠入替え（足場の勾配変更→スライド）を分散させ、工程遅延要因を除外することができた。



写真-6 勾配変化部プレキャスト型枠

### (3)簡易テントによる降雨日打設

滝沢ダムでは移動式全天候型大屋根を開発し、降雨時や冬期時の施工に大きく寄与した。しかし、堤体上部においては堤体幅が狭く据付が困難であるため、別途吊り下げ式の簡易テントを開発した。

これは堤体から外れたケーブルクレーン2号機から吊り下げたシートで堤体上を覆い、雨水を堤体外に排除するもので、最終年度には降雨休止予定日18日（4月～9月）に対して、台風の影響による3日間のみにすることができた。



写真-7 吊り下げ式簡易テント

### (4)打設設備機械の改良

堤体上部では打設エリアが狭くなるため、打設機械が煩雑となり作業効率の低下を招く。そこで以下の打設機械配置の改良を試みた。

- ① ELCM工法における湿地ブルドーザでの敷均し
- ② リフト高 1.5mでの 1 層目地切りが可能な目地切り機の開発・導入
- ③ 下流面張出し架台を用いたダンプトラック運搬とケーブルクレーン直接投入の併用



写真-8 ブルドーザによる敷均し状況



写真-9 1.5m用目地切り機稼動状況

### (5)施工実績

これまで述べてきた工期短縮への取組みの結果として、施工実績を以下に記す。

図-6 に示すとおり、本体コンクリートは 2001 年 7 月（減勢工は同年 5 月）に打設開始し、河床部コンソリデーショングラウチングの集中施工のため 2002 年 1～2 月に休止する期間はあったものの、2004 年 9 月末に 1BL のコンクリートバケット着缶部と天端橋梁を除き打設完了した。月間最大打設量は 91,700 m<sup>3</sup>に達した。

当初リフトスケジュールの 46 ヶ月に対し、実績 39 ヶ月と約 7 ヶ月短縮し、試験湛水を 1 年前倒しする事業工程に合せることができた。

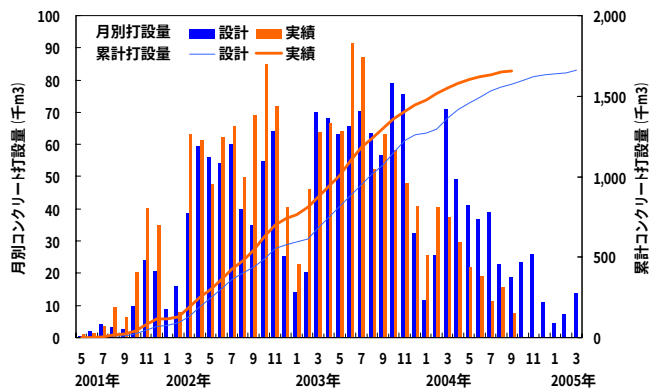


図-6 堤体コンクリート打設進捗図

月ごとの打設稼働日数と1日当たり平均打設時間について、当初計画と実績を比較した結果が図-7と表-5である。いずれも実績が当初計画を上回っている。打設工程短縮の主な要因は降雨対策、冬期対策を行うことにより、打設稼働日の改善と1日当たりの打設時間を増やすことができたためと考えられる。

打設稼働日でみると、通常期は月2回の土曜日と祝日及び降雨日を打設できたことにより30～35%の増、冬期は冬期対策を行ったことによりほぼ倍の打設日を確保できた。

1日当たり打設時間はリフトスケジュールの条件である21時間まで達している月がある。実際、打設を行いながらケーブルクレーン点検や雑運搬などを行い、打設時間を確保した。

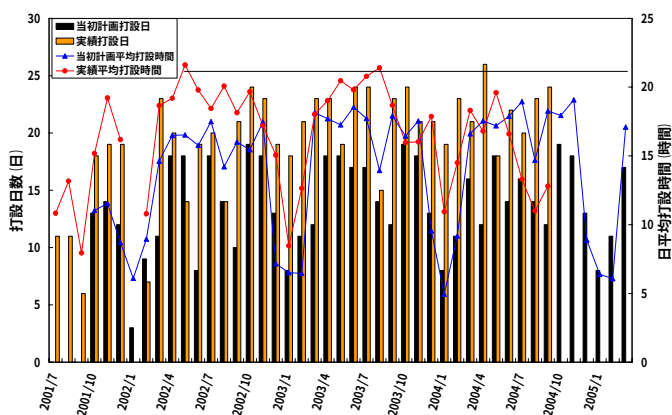


図-7 打設稼働日と1日当たり打設時間

表-5 打設稼働日の比較

| 期 間                      | 当初計画 | 実績   | 差    |
|--------------------------|------|------|------|
| 2002年3月～11月<br>(通常期)     | 134日 | 178日 | +44日 |
| 2002年12月～2003年2月<br>(冬期) | 32日  | 58日  | +26日 |
| 2003年3月～11月<br>(通常期)     | 145日 | 196日 | +51日 |
| 2003年12月～2004年2月<br>(冬期) | 32日  | 63日  | +31日 |

総打設時間は約12,400時間であり、当初計画リフトスケジュールの総打設時間約9,400時間に対し約32%の増加となった。

## 6. 今後の課題とむすび

コスト縮減、施工の合理化という社会的要請を受けて実施した様々な取組みを紹介した。要約すると次の通りである。

- ① 大屋根の使用と打設方法をELCM工法に切替えること等、状況に合わせて改良を加えながら降雨時の打設を可能にした。降雨対策は打設工程短縮に対して非常に有効な手段であった。
- ② 冬期養生対策を行うことにより-5℃まで打設可能にし冬期間でも毎日打設可能となった。
- ③ 月2回の土曜日と祝日を有効に使って打設稼働日を増加することができた。
- ④ プレキャストブロックを積極的に活用して堤体構造物による打設サイクル延長を軽減できた。
- ⑤ コンクリート打設設備の自動化システム導入により打設能力を確保した。
- ⑥ 機械メーカーとの工程調整により打設サイクルの維持を実現した。
- ⑦ 面状施工では主運搬設備について従来のような制約を受けずに選定できるメリットがある反面、作業の錯綜による効率低下を招くが、設備の改良を図ることで対応することができた。

以上の取組みにより、目標であるコンクリート打設工程を7ヶ月短縮することができた。これらは全て発注者と請負者間の理解と協力のもとに一丸となって施工を進めていった結果であると考えられる。また、用意周到な準備と各組織の社内外各部署の協力をいただいた成果である。

今後は合理化施工法として発展してきた面状工法のメリットを最大限発揮するために、ダム細部構造についての検討も必要であると思われる。

## 参考文献

- 1) 松枝修治：滝沢ダムの設計と施工について一低品質骨材の利用と新しい施工設備一，ダム日本，No.695，pp.53-80，2002.9
- 2) 青山太洋，杉尾俊治：滝沢ダムの設計と施工状況について，ダム日本，No.717，pp.11-31，2004.7
- 3) 太田裕士：滝沢ダムにおける打設設備の自動化ーコンクリート打設自動運転システムの概要ー，建設の機械化，No.637，pp.14-19，2003.3