



■ダム特集

気化冷却設備によるコンクリート骨材の冷却

—紀の川水系紀の川大滝ダムにおける細骨材気化冷却設備の実績—

瀧本 圭一・反田 佳希・佐藤 英明

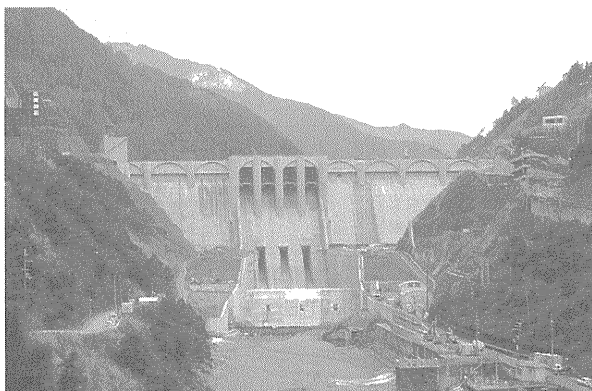
奈良県の中央部に建設中の大滝ダムでは、合理化施工の一環としてレヤ工法が採用されており、その温度規制方法としてコンクリートのプレクーリング工法が実施されている。このうち、プレクーリング工法には、骨材表面の水分を低温空気などによって積極的に気化させて冷却する気化冷却法による細骨材冷却が採用されており、暑中コンクリートの練上がり温度を長期間にわたり十分に抑制することができ、急速施工への対応や、環境保全、コスト縮減にも大きく寄与している。本報文では、大滝ダムでの細骨材気化冷却設備の稼働実績について報告するものである。

キーワード：ダム、温度規制、コンクリート、プレクーリング、気化冷却法、細骨材

1. はじめに

奈良県中央部をほぼ東西にわたって流れる紀の川は、その上流に年間降雨量が4,800 mmを超える国内でも有数の降雨地帯の大台ヶ原を抱えており、これまで幾多の水害に見舞われていた。とりわけ、昭和34年9月の台風15号、いわゆる伊勢湾台風によって紀の川流域は未曾有の大被害を被った。これを契機に、本格的に大滝ダムの建設が進められることとなった。

大滝ダム（国土交通省近畿地方整備局発注）は、堤高100 m、堤体積約100万 m^3 の治水、利水ならびに発電を目的とした多目的の重力式コンクリートダムで、昭和63年12月にその本体工事が着手され、平成8年11月にはダム本体のコンクリート打設を開始、平成14年8月には最終打設が完了し、現在試験湛水に向けて鋭意施工中である（写真—1）。



写真—1 大滝ダムの全景

大滝ダムでは、堤体コンクリートの温度規制として、一般的な練混ぜ水の冷却に加えて「気化冷却法¹⁾による細骨材のプレクーリング」が採用されている^{2),3)}。気化冷却法による骨材冷却は、他に坂本ダム（高知県）でも実施されているが^{2),4)}、大量のコンクリートの冷却に細骨材気化冷却設備が長期間にわたり本格的に用いられた事例としては初の試みであった。

そこで、本報文では、気化冷却法による細骨材冷却設備の概要、ならびにその施工実績について報告するものである。

2. コンクリート製造、打設設備の概要

コンクリート製造設備としては、1.5 m^3 傾動式ミキサ×4基、製造能力135 m^3/h を使用した。

コンクリート打設設備については、片側弧動式20tケーブルクレーンを使用し、サブクレーンとして9.5t軌索式ケーブルクレーンを、また運搬設備として6 m^3 トランスファーカ（サイドシュート式）を使用した。なお、20tケーブルクレーンには自動運転システムを導入し、コンクリートバケットの着缶ガイドと連動させることによってコンクリート積替え時のトラブルをなくしている。

3. 冷却設備の概要

(1) プレクーリング計画

コンクリートの打設は、ブロックレヤと拡張レヤを

組合わせた面状工法が採用されたため、コンクリートの温度規制にはプレクーリングが不可欠であった。

堤体コンクリートの打込み温度は25℃に規制されていたことから、冷却設備は、運搬時等のコンクリートの熱ロスを考慮して、施工管理目標値をバッチャプラントにおける暑中コンクリートの練上がり温度を23.5℃と定めて検討した。

検討の結果、一般的な練混ぜ水の冷却だけでは所要のコンクリートの練上がり温度をクリアできないことが明らかとなり、気化冷却法による細骨材冷却を併用することとなった。

(2) 設備能力

(a) 練混ぜ水冷却

練混ぜ水の冷凍設備容量は、夏期河川水温20.6℃を5℃に冷却できるよう定めた(=1,352 MJ/h)。

(b) 細骨材の気化冷却設備

ヒートバランス計算により、環境条件として最も厳しい8月打設の外部コンクリート(表-1)で、冷却後のバッチャプラントへの運搬・ストック時の熱ロスを2℃見込んで、26.5℃の細骨材を9℃まで冷却できる気化冷却設備を設置した。

細骨材を分散・冷却する気化冷却塔は、3m×3mの2連構造とし、細骨材の冷却処理能力は、単位細骨材量が最も多い内部コンクリートで設計した(=650 kg/min×2基=1,300 kg/min)。

表-2に冷却設備の基本仕様を、図-1にコンクリートの製造設備を示す。

表-1 コンクリートの示方配合

| 配合区分 | G _{max} (mm) | スランプ(%) | Air(%) | W/(C+F)(%) | S/a(%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | | | |
|------|-----------------------|---------|--------|------------|--------|--------------------------|-----|-----|-----------|----------|----------|---------|-------|
| | | | | | | W | C+F | S | G | | | | 混和剤 |
| | | | | | | | | | 150~80 mm | 80~40 mm | 40~20 mm | 20~5 mm | |
| 外部 | 150 | 3±1 | 3±1 | 46.6 | 23 | 98 | 210 | 490 | 413 | 413 | 413 | 412 | 0.525 |
| 内部 | 150 | 3±1 | 3±1 | 72.1 | 27 | 101 | 140 | 591 | 402 | 402 | 402 | 401 | 0.350 |

注1) 使用セメントは、中庸熟フライアッシュセメント(SO社製)
注2) フライアッシュ混入率は、30%

表-2 冷却設備の基本仕様

| 区分 | 項目 | 仕様 |
|---------|-------------|---------------------------|
| 練混ぜ水冷却 | 冷凍機(練混ぜ水) | 1,352 MJ/h |
| | 気化冷却塔 | 3m×3m×2基 |
| 細骨材気化冷却 | 細骨材処理量 1期分 | 650 kg/min |
| | 2期分 | 650 kg/min |
| | 送風量 1期分 | 1,134 m ³ /min |
| | 2期分 | 850 m ³ /min |
| | 冷凍機(冷風) 1期分 | 6,493 MJ/h |
| | 2期分 | 4,868 MJ/h |

なお、冷却後の細骨材のバッチャプラントへの搬送中の温度上昇をできるだけ小さくするために、冷却砂の供給コンベヤは全体をパイプで覆った構造とし、その内部および気化冷却塔の下部より冷却した細骨材を持ち上げるバケットエレベータ内部には、冷却空気を送風した。

また気化冷却法は、同一原理で粗骨材の冷却も可能(坂本ダムで採用)であるが、大滝ダムでは細骨材のみで施工管理目標値(=練上がり温度23.5℃)を十分達成可能であった。

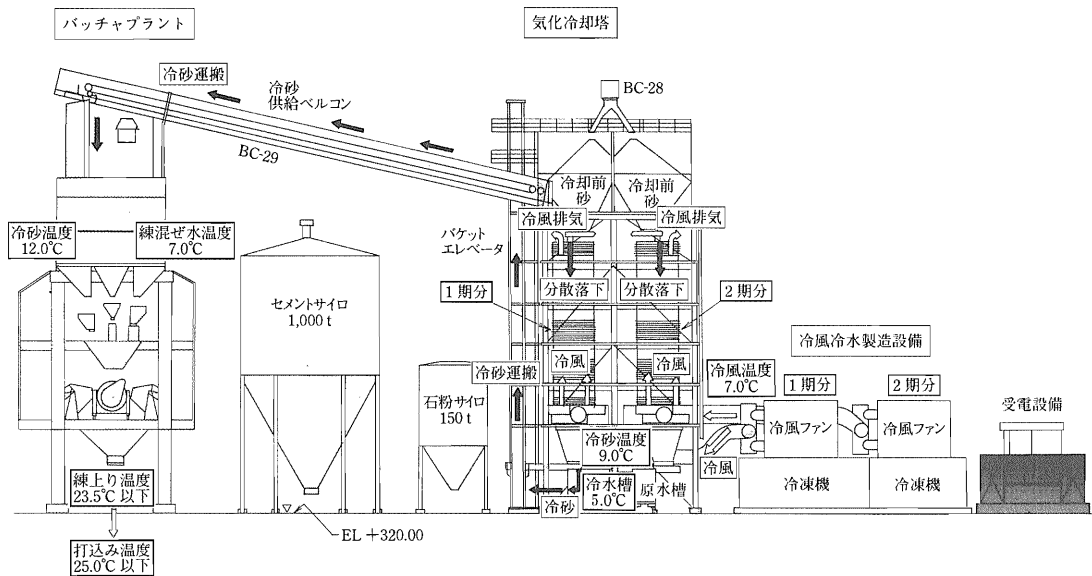


図-1 大滝ダムのコンクリート製造設備

4. コンクリート打設実績

コンクリートは、平成8年11月より減勢工コンクリートの打設が開始され、平成9年11月からは、堤体コンクリートの打設に着手し、平成14年8月の打設終了まで昼夜で行われた。

図-2に、コンクリートの打設実績を示す。

5. 気化冷却設備の運転実績

(1) 稼働期間

気化冷却設備は、平成9年6月にまず1期分（気化冷却塔1号機）を設置し、減勢工の打設を行うと共に実証運転を行った。

この結果を踏まえて、2期分（気化冷却塔2号機）の増設に当たって1、2号機共に改良・改善を行い、平成10年5月にはこの2期分を設置完了し、本格的な堤体コンクリート打設に備えた。以降、平成14年8月の打設完了に至るまで最大6年間（1号機）にもわたって大きなトラブルもなく順調に稼働した。

(2) 運転実績

気化冷却設備は、平成10年6月から堤体対応の運転をしているが、ここでは各打設ブロックの打上がり高さが概ね揃い、打止まりの制約が無くなった平成

12～13年の運転実績について以下に報告する。

(a) コンクリート練上がり温度

図-3に、それぞれ平成12、13年の6～9月ま

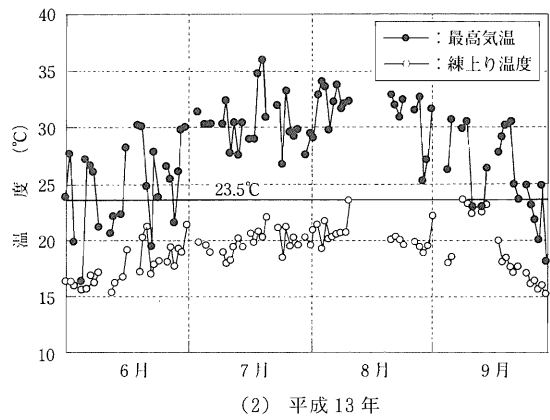
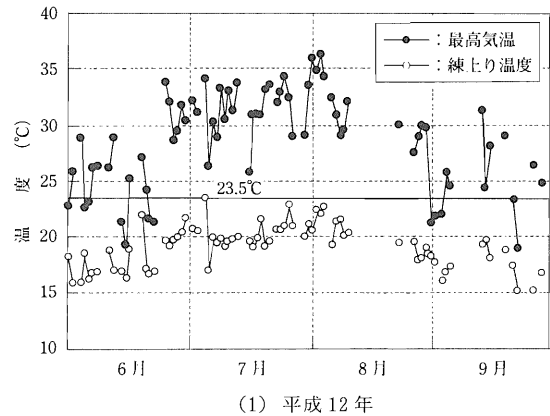


図-3 日最高気温とコンクリート練上がり温度

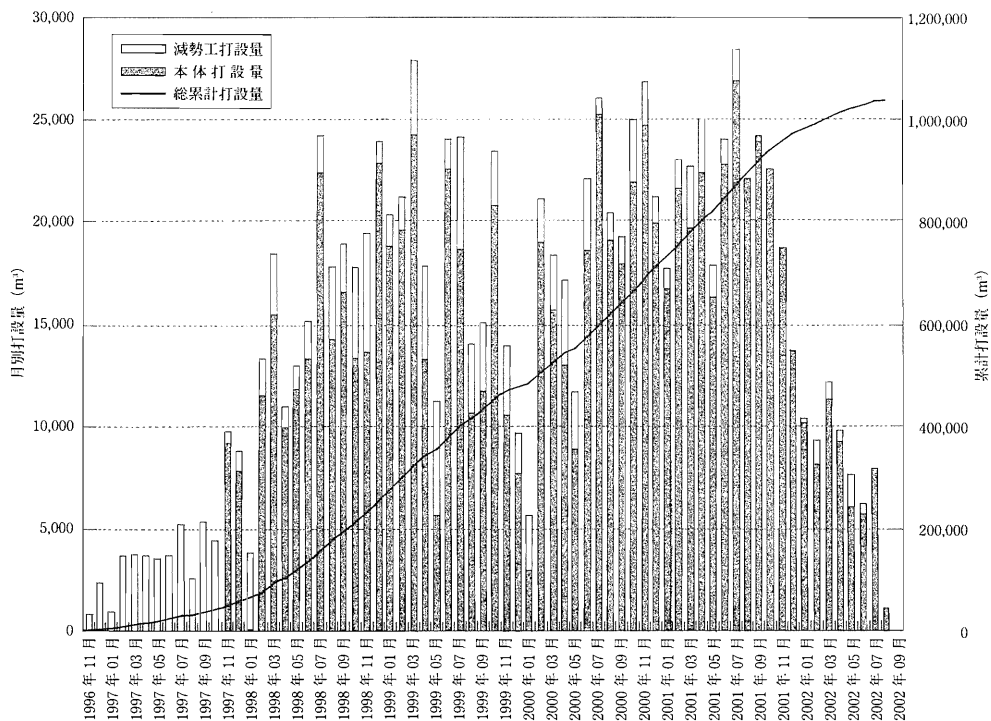


図-2 コンクリートの打設実績

での日最高気温とコンクリート練上がり温度を示す。なお、ここでは夜間打設のみの日と休止日はデータから除外している。

これによると、いずれの施工年においても、日最高気温が30℃以上の打設日が連続し、さらに最高気温が35℃を上回った場合でも、コンクリート練上がり温度は施工管理目標値(=23.5℃)を十分に下回っていることが分かる。

(b) 冷却細骨材によるプレクーリング効果

ここで、一例として日平均気温が最高となった平成13年8月3日における、

- ・外気温
- ・気化冷却塔への送風温度
- ・冷却前の細骨材温度
- ・冷却直後の細骨材温度
- ・バッチャプラント細骨材貯蔵ビンの下部温度

の経時変化を示すと、図-4のとおりである。

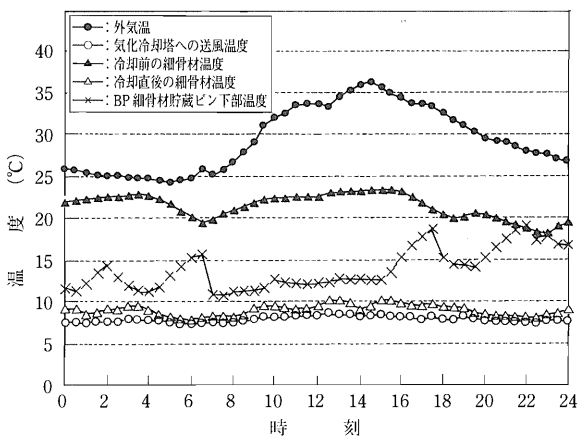


図-4 冷却細骨材によるプレクーリング効果

これより、

- ① 冷却直後の細骨材温度は8~10℃と、設計どおり気化冷却塔への送風温度に対して+1~2℃である。
- ② すなわち冷却後の細骨材温度は、冷却前の細骨材温度の影響は小さく、送風温度に支配されることが分かる。
- ③ バッチャプラント貯蔵ビンの下部(計量前)の細骨材温度は、約12~13℃であり、打設速度が遅くなると上昇する。
- ④ 打設の段取替え等によりコンクリートの出荷が中断すると、ストック状態の細骨材温度は上昇傾向を示すが、出荷を開始すると直ちに低下している。これは、センサ位置が貯蔵ビンのパネルに付いているためパネル外壁面の影響を大きく受けて

いるものと思われ、実際のビン内部の細骨材の温度上昇量は測定値より小さいと考えられる。

このように、冷却された細骨材は、基本的に外気温の影響を大きく受けずに、安定した温度でコンクリートの練混ぜが行えたものと考えられ、当初の計画どおりの性能を発揮できたものと言える。

(c) 運転時間区分

表-3に、気化冷却設備の運転時間区分を示す。

表-3 気化冷却設備の運転時間区分

| 年月 | アイドリング | 運転時間 | メンテナンス | 打設時間 |
|---------|--------|----------|--------|----------|
| 平成12年6月 | 73:25 | 454:55 | 5:00 | 460:30 |
| 7月 | 58:37 | 434:53 | 22:00 | 433:10 |
| 8月 | 57:07 | 352:38 | 15:00 | 353:40 |
| 9月 | 46:31 | 258:54 | 3:30 | 259:38 |
| 平成13年6月 | 112:20 | 369:00 | 21:00 | 363:10 |
| 7月 | 100:20 | 395:00 | 13:00 | 391:15 |
| 8月 | 70:30 | 284:20 | 40:00 | 287:55 |
| 9月 | 63:40 | 303:05 | 35:40 | 301:25 |
| 計 | 582:30 | 2,852:45 | 155:10 | 2,850:43 |
| 比率(%) | 16.2 | 79.5 | 4.3 | — |

ここで、アイドリングとは、打設の段取替え等間の気化冷却設備の無負荷運転のことを示す。

表に示すように、メンテナンスの時間が少なく、冷却運転時間の全体比率で僅か4%弱にすぎない。なお、メンテナンスの主な内容は、付随するベルトコンベヤ廻りのダスト清掃および乗継ぎ部分の清掃であった。

(d) 電力使用実績

気化冷却設備の特徴として、使用するエネルギーは電力だけで、排出物は一切発生しないことが挙げられる。表-4に使用電力の実績を示す。

表-4 気化冷却設備の使用電力量

| 年 | 月 | 電力使用量(kWh) | 打設量(m³) |
|-------|----|------------|---------|
| 平成12年 | 6月 | 328,840 | 22,107 |
| | 7月 | 367,010 | 26,052 |
| | 8月 | 306,000 | 20,454 |
| | 9月 | 173,880 | 19,182 |
| 平成13年 | 6月 | 307,800 | 24,053 |
| | 7月 | 381,580 | 28,396 |
| | 8月 | 250,460 | 22,060 |
| | 9月 | 209,660 | 24,157 |
| 計 | — | 2,325,230 | 186,461 |

※1m³当たり使用電力量→12.5kWh/m³

これによると、1m³当たりの平均使用電力量は、12.5kWhである。計画では、最高気温におけるコンクリートの練上がり温度は28℃であるので、温度低下量は4.5℃となる。したがって、1m³・℃当たりの気化冷却設備の使用電力量は、2.8kWh/m³・℃(=

12.58 kWh/m³÷4.5°C)であった。

6. ま と め

大滝ダムにおいて採用した、細骨材の気化冷却設備は、6年にわたる長期の間、当初の計画どおりその性能を十分に発揮し、コンクリートの打込み温度を抑制することができた。それと共に、猛暑の時期も乗り越え、急速施工に大いに寄与できたものとする。

運転実績から、当設備の性格上、連続運転の大量処理に極めて適していると言え、メンテナンスは軽微で月2~4回程度であり、ランニングコストも処理量を増やすほど、連続運転するほど、1m³当たりの単価は更に廉価になると思われる。

コンクリートダムなどのマスコンクリート構造物の温度規制を行う場合において、施工条件等が適合すれば骨材の気化冷却は大きな成果が期待できると思われる。なお、排出物が一切発生しないクリーンで環境にやさしい設備であることも大きな特徴である。

今後は、大滝ダムならびに坂本ダムでの実績を基に、更なる改善を加え、広く展開して行きたいと考える。

最後に、当気化冷却設備を本格採用して頂いた国土交通省近畿地方整備局大滝ダム工事事務所の皆様、ならびに共同開発に携わった石川島建機株式会社をはじめ関係各位に深く感謝する次第である。

《参考文献》

- 1) 佐藤英明, 本名誠二, 江上良二: 気化冷却を利用した細骨材冷却法の開発, 熊谷組技術研究報告, 第53号, pp.91-97, 1994.10
- 2) 佐藤英明, 古田島信義: 骨材の気化冷却法によるダム用コンクリートのプレクーリング, セメント・コンクリート, No.613, pp.38-45, 1998.3
- 3) 名波義昭, 三上 章: 大滝ダムにおける気化冷却法によるプレクーリングについて, ダム技術, No.158, pp.51-58, 1999.11
- 4) 氏原浩之, 玉井裕行, 佐藤英明: 坂本ダムのコンクリート打設工法と気化冷却法によるプレクーリングについて, ダム日本, No.650, pp.35-57, 1998.12

【筆者紹介】

龍本 圭一 (たきもと けいいち)
株式会社熊谷組
関西支社
土木統括部大阪神戸土木部
大滝工事所
作業所長



反田 佳希 (たんだ よしき)
株式会社熊谷組
関西支社
土木統括部大阪神戸土木部
大滝工事所
副所長



佐藤 英明 (さとう ひであき)
株式会社熊谷組
土木本部
ダム技術部
担当副部長



建設機械図鑑

本書は、日本建設機械要覧のダイジェスト版として、写真・図版を主体に最近の建設機械をわかりやすく解説したものです。建設事業に携わる方々、建設施工法を学ばれる方々、そして建設事業に関心のある一般の方々のための参考書です。

A4判 102頁 オールカラー 本体価格2,500円 送料600円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (機械振興会館) Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289