

69. 骨材の真空冷却工法の開発

建設省：小合澤 辰雄

(財)ダム技術センター：西田 穂積

大成建設(株)：松谷 真二・*安倍 善悦

1. まえがき

近年、大規模ダム、長大橋の下部工、LPGタンク基礎、原子力発電所のベースマット等コンクリート構造物の規模が大型化すると同時に、急速マスコンクリート施工が要請されている。

これらのコンクリート工事においては、セメントの水和熱に起因するコンクリートの温度上昇の最高値及び、コンクリート内の温度勾配を小さくして、コンクリートに生じる温度応力を低減させることによって、コンクリートのひび割れの発生を防ぐことが、構造物の耐久性、機能性の点から重要な課題である。マスコンクリートの温度ひび割れの防止対策としてコンクリートの練上り温度を低下させる「ブレーキング」が有効な手段として用いられている。ブレーキング方法は、練りませ水の冷却、砕水の使用、骨材の冷水散水や冷風吹き込又最近では、液体窒素(LN₂)を利用した工法も開発されている。

今回、従来からブレーキングがしにくいとされているコンクリート材料の細骨材及び粗骨材を直接冷却する方法で、骨材の表面水が蒸発する際に気化熱が奪われることを利用して冷却する「真空冷却工法」を開発、実施した結果を報告する。

2. 基本原理

水は沸騰、蒸発する時に気化熱を吸収する。

水が沸騰する温度は、常圧(760mmHg)では、100°Cであるが、図-1のように、圧力が下がると沸騰する温度も下がり、たとえば、4.58mmHgまで減圧すると0°Cでも沸騰する。真空冷却工法はこの原理を応用し、骨材を真空容器に入れて減圧し骨材の表面水を蒸発させることによって骨材を冷却するものである。

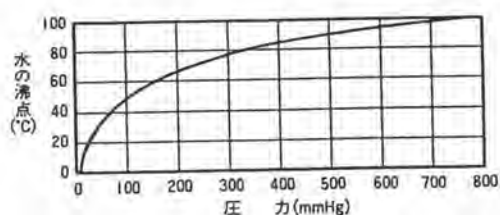


図-1 圧力と水の沸点

3. 真空冷却設備

骨材の真空冷却設備は真空冷却槽、真空排気装置、骨材供給排出装置から構成されていて、冷却システムの概念図は図-2に示すとうりである。冷却のシステムは骨材を真空冷却槽に投入して真空ポンプによって冷却槽内の空気を排気する。圧力が降下すると骨材の表面水が蒸発し、骨材の温度が低下する。蒸発した水分はコールドトラップ通過中に冷却され結露し、水蒸気中の空気分だけが真空ポンプに導かれ排気される。この操作を連続的に行い、真空槽の中の圧力を数mmHg程度まで降下させると、骨材の温度は2°C前後まで冷却される。そして、このシステムは骨材の供給から冷却、排出まで全自動で行い、真空度と排気時間を設定することによって、骨材の冷却温度を任意に制御する。

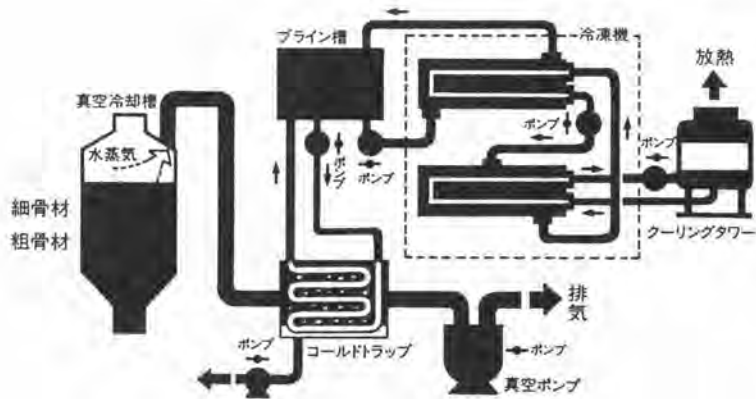


図-2 冷却システム概念図

4. 実施例

(1) 三国川ダム

骨材の真空冷却工法は、平成元年～2年に洪水吐き減勢工部、副ダムの夏期コンリート打設に実施した。真空冷却を行う骨材を2種類とし、配合から比較的单位量の多い細骨材の細砂と、粗骨材の25mm～5mmを冷却することにした。三国川ダムで使用した骨材真空冷却設備を図-3に示す。容量 5m^3 の真空冷却槽2槽（細砂と25mm～5mm）と1組の真空排気装置及び、骨材の供給排出装置からなり、細砂と25mm～5mmを交互に冷却して、各々15分間の冷却でコンクリート量換算で時間当たり 25m^3 の骨材を冷却する能力を有している。冷却設備の主要機械を表-1に示す。

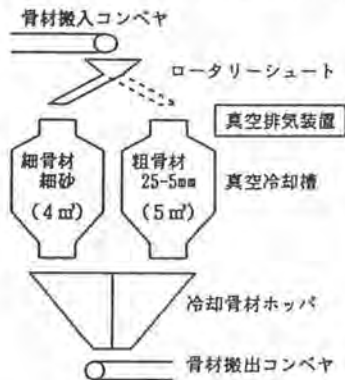


図-3 骨材真空冷却設備

表-1 真空冷却機械設備

名称	仕様	台数	備考
真空冷却槽	鋼製円筒型 $\phi 1.8\text{m} \times \text{H}5.5\text{m}$ 有効容量 5m^3	2	
真空ポンプ	排気量 6500 l/min	3	$7.5\text{kW} \times 3$
冷凍機	冷却能力 300000kcal/h	1	135kW
コールドトラップ	$\phi 1.62\text{m} \times \text{L} 4.0\text{m}$	1	

細骨材の冷却特性を図-4に示す。23℃の細砂が19分で平均2℃まで冷却されている。槽内の温度分布は上部、中央部ではほぼ均一であるが、隔壁の内下部で数度高くなっている。図-4では、真空槽の真空度を温度に対応して示してあり、槽内の気圧が骨材温度に対応した飽和蒸気圧まで下がると冷却が始まり、沸騰温度より2℃遅れ程度で冷却が進んでいる。粗骨材25mm～5mmの冷却特性は図-5に示すとうり、細砂と同様な冷却特性を示している。25mm～5mmの場合、槽内の温度差はほとんど

ないが、冷却が進むにつれ表面水が少なくなり温度降下の効率が悪くなっている。骨材の品質は、比重、吸水率、粒度分布、単位容積重量、洗い損失、安定性、すりへり減量等について真空冷却の前後で試験した結果、細砂、25mm～5mm 共に品質の変化は認められなかった。ただし表面水率は20℃程度の温度降下のもとで、細砂25mm～5mm共に、約1%低下している。ブレイクリングしたコンクリート温度は、図-7 のとおりで気温が30℃を越す日中でも22℃以下でコンクリートを打込むことができた。各材料温度から、冷却温度を分析した結果、図-6 のよおに、全部で10.2℃のブレイクリングがなされ、その内、骨材真空冷却で6.3℃、冷却されたことが確認できた。

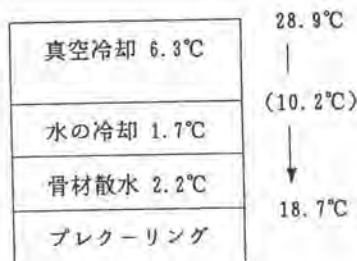


図-6 冷却効果分析

(2) 小玉ダム

福島県の小玉ダムは、堤高102m、堤頂長280m、堤体積554,000m³の重力式コンクリートダムで、RCD工法で施工中である。コンクリートの打設期間は平成3～6年で、計画の暑中コンクリート量は約10万m³あり25℃以下で打設するためには、練り混ぜ水の冷却だけでは不足で骨材の真空冷却を適用した。小玉ダムではバッチャープラントに隣接して骨材真空冷却設備を設置し、バッチャートップから粗骨材(20mm～5mm)をベルトコンベヤで取り出し、真空冷却後、急傾斜コンベヤでバッチャートップの受材ビンに貯蔵した。真空冷却では、真空排気時間により骨材の冷却温度を制御する。小玉ダムでは、コンクリート練混ぜ時の各種材料の温度計測システムを設け、コンクリート練上り温度の予測と実測により、粗骨材20-5mmの冷却温度を決定し、真空排気時間を制御して、練上りで24℃以下のコンクリートを製造した。ブレイクリングの状況は図-8のとおりである。平成5年まで約5万m³暑中コンクリートのブレイクリングを実施し、気温が30℃を超える日中でも、打込み温度25℃以下を達成した。

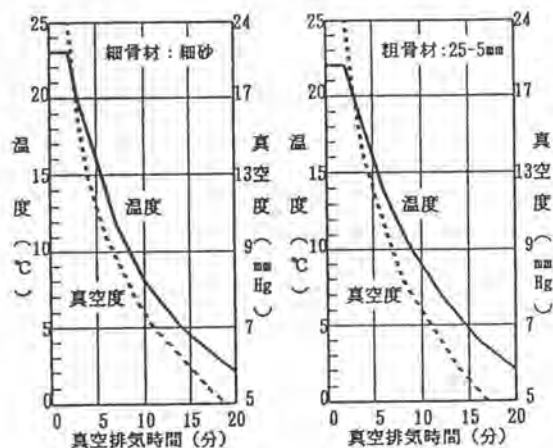


図-4 細骨材冷却特性

図-5 粗骨材冷却特性

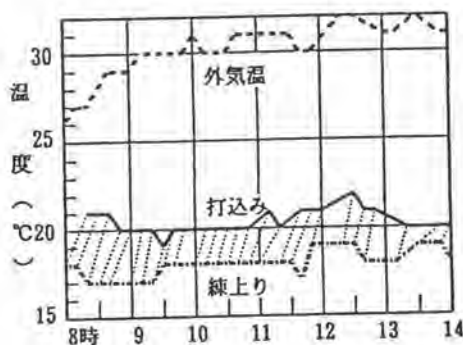


図-7 コンクリート温度実績

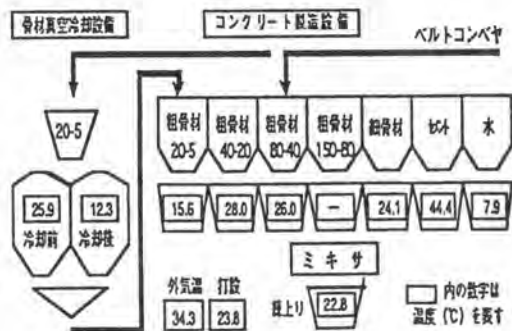


図-8 小玉ダムプレクーリング状況



写真-1 小玉ダム骨材真空冷却設備

5. まとめ

骨材真空冷却は、特に材料を使わず、細骨材や粗骨材を短時間に効率良く冷却できるので、運転費が安く、コンクリート温度の制御範囲が広いのが特徴で、冷却温度が低く、大量のコンクリートを冷却する場合は、経済的な方法である事が実証されつつある。これまでは設置されているプラントに適用していたが、計画段階から適用することを検討している。群馬県、四万川ダムでは、温泉地に隣接しているため夜間工事ができないので、骨材の調整ピンを真空冷却槽とすることにより、夜間の工事休止時間を有効利用し、骨材を冷却する方法を実施している。

今後は更に図-9 に示すとおり、冷却骨材の温度上昇を抑え、設備費のコストダウンを図る

ためバッチャープラントの骨材受材ピンを真空冷却槽にして、骨材を冷却するプレクーリング方法を設計中である。この実証実験を進めることにより骨材真空冷却工法は、安全、確実に経済的なプレクーリング工法として、発展することが期待されている。

参考文献

- 1) 小合澤辰雄他：骨材真空冷却によるコンクリートのプレクーリング、ダム技術 No.36, 1989
- 2) 飯田一彦他：防止・抑制工法の実施例(水和熱)、第5回新しい材料・工法・機械講習会講演概要、土木学会土木施工研究委員会、1991.9

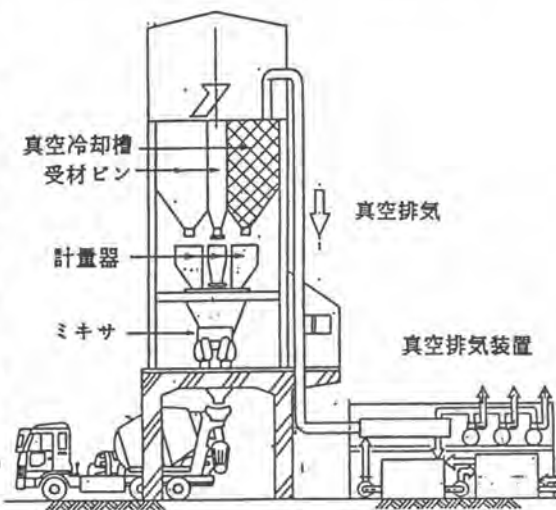


図-9 バッチャー搭載型真空冷却