

○熊谷組 正会員 佐藤 英明

熊谷組 正会員 本名 誠二

熊谷組 島崎 啓介

熊谷組 佐藤 孝一

1. まえがき

練混ぜ水や骨材などを予め冷却し、コンクリートの練上り温度を低くすることでコンクリート内部の最高温度を抑制しようとするブレーキング工法は、マッシブなコンクリートの温度ひび割れの発生を低減させる有効な一手段であり、コンクリートダムの建設において古くから種々の冷却方法が試みられている。最近では、細骨材や粒径の小さい粗骨材に対して液体窒素や空気の真空減圧を利用した冷却方法等も研究されている。一方、ダムコンクリートは一般のコンクリートに比べて単位粗骨材量が多くまた粗骨材の最大寸法も大きいことから、コンクリートの練上り温度に対する熱的な効果の面からみれば熱容量が大きい粗骨材の冷却が最も効果的といえるが、従来の冷水や冷風による粗骨材冷却方法は濁水処理など付帯設備の大型化や冷却効率の悪さ等の問題が指摘されており、必ずしも大粒径粗骨材の最適な方法とは思われない。

そこで本研究は、大粒径の粗骨材を主体とした低湿度の空気による骨材冷却法(気化冷却法)を提案し、実験的にその冷却特性ならびに有効性を確認したものである。

2. 大粒径粗骨材の冷却方法の提案

今回提案した粗骨材の冷却方法は、水の融解熱(約80kcal/kgf)等と比べて水の気化熱(約580kcal/kgf)が極めて大きいことに着目したもので、粗骨材表面に適度な水分を供給しながらその表面水を低湿度の空気を送風することによって積極的に気化させて骨材冷却を行おうとするものである。

一般に、通常の大気圧下における空気中への水分の気化現象について考えると、表面に常に水分を持つ物体の温度は、理論的にはある湿球温度(t)

℃、 $\phi\%$)状態の周辺の空気から流入する熱量と水の気化熱量が釣り合う温度(湿球温度 t ℃)まで冷却させることが可能(図1参照)で、一定の温度では相対湿度の低い空気ほどその湿球温度は小さい値を示す。

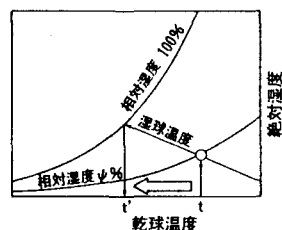


図1 湿り空気線図

3. 粗骨材の冷却実験

気化冷却法の冷却特性を把握するために、円柱骨材および粗骨材単体を用いた冷却実験を実施した。表1に、実験に用いた骨材の熱的性質を示す。なお、骨材の中心部には熱電対(銅-コスタノツ型)を取付けて経時的に温度計測し、散水には噴霧器を用いた。

図2に、初期温度を $35 \pm 1^\circ\text{C}$ とした円柱骨材について、送風および散水条件を同一とした場合における従来の冷風および散水冷却方法と、散水送風による気化冷却法との比較結果の一例を、送風温度を基準とした骨材温度の経時変化として示す。この結果、既往の冷却方法に比べて散水送風による気化冷却法は大幅に冷却速度を向上できること、ならびに骨材温度は散水温度や送風の空気温度よりも低い湿球温度まで容易に冷却できることが明らかとなった。

また、図3に同一の送風条件のもとで散水温度を 20°C および 6°C とした場合における円柱骨材の温度履歴を示す。

表1 使用した骨材の熱的性質

項目	円柱骨材	粗骨材
形状・寸法	$\phi 75 \times 150\text{mm}$	150, 80, 40mm
密度(kg/m ³)	2.64	2.75
比熱(kJ/kgK)	0.64	0.75
熱伝導率(W/mK)	3.90	1.89

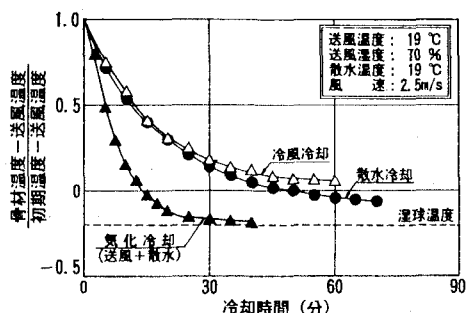


図2 冷却方法の相違による温度履歴

散水温度が低い場合には冷却速度は僅かに速くなる傾向にあるが、散水温度を6℃とした場合においても最終冷却温度は送風空気の湿球温度を下回ってはいない。したがって、低温の散水を大量に行う場合を除き散水送風による気化冷却法では散水に特に冷却水を用いなくても充分な冷却効果が期待できるものといえる。

円柱骨材の結果を踏まえ、温湿度を約30℃、15%程度とした低湿度送風および水温を30℃程度とした噴霧散水のもとで、初期温度を約30℃に調整した粗骨材についての冷却実験を行った。

図4に、散水条件を一定とした場合における骨材粒径別の風速と冷却速度との関係の一例を示す。なお、冷却速度については、初期温度から最終冷却温度までの温度低下量の1/3点における初期温度勾配とした。各骨材共に風速の増加に伴い冷却速度は増大する傾向にあるが、40mm骨材に比べて80mmおよび150mm骨材は風速の影響は小さいことが分かる。

図5に、送風条件を一定とした場合における散水量と冷却速度ならびに理論温度低下量 ΔT_i （骨材初期温度－湿球温度）に対する最終温度低下量 ΔT_m （骨材初期温度－最終冷却温度）の比との関係の一例を示す。散水量の増大に伴って冷却速度は僅かに速まる傾向を示すが、逆に $\Delta T_i / \Delta T_m$ は小さくなっている。これは、散水量を多くしていくと骨材の温度は送風空気の湿球温度まで低下できないことを示しており、散水送風による気化冷却法では必ずしも散水量を増大させることは適当ではないと思われる。

4. 細骨材の冷却実験

適度な表面水を有する細骨材についても粗骨材と同様気化冷却が可能と考え、併せて冷却実験を実施した。細骨材は粒径が小さく単体として取り扱いえないため、断熱材で覆った0.1 m²の2軸水平強制練りミキサに投入し、攪拌しながら上部より低湿度の空気を送風する方法とした。なお、細骨材は、初期温度を27℃程度に、表面水率を7±1%に調整して使用した。

実験の結果、細骨材1kgf当たり温湿度28℃、27%程度の低湿度の空気を0.06 Nm³/minで送風した場合は、約30分で表面水率は2%程度、温度はおよそ8℃低減させることができた。

図6は、送風量を一定とした場合におけるミキサの攪拌回転数と冷却速度ならびに $\Delta T_i / \Delta T_m$ との関係を示したもので、単位時間当たりの細骨材と送風空気との接触面積を増加させることにより冷却速度は向上することが分かる。ただし、回転数が少ない場合でも $\Delta T_i / \Delta T_m$ が比較的小さいことから、今回の実験では外部からの熱吸収や攪拌時の摩擦熱および機械熱などの影響を受け、冷却効率が低下したものと思われる。

5. まとめ

粗骨材のブレーキング方法の一つとして、低湿度の送風と散水とによる気化冷却法の有効性ならびにその基本的な冷却特性が確認できたものと考え。また、細骨材についても同様の気化冷却の原理にて冷却が可能であり、併せて表面水率の低減が期待できることも明らかとなった。

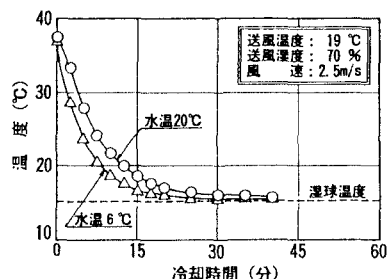


図3 散水温度の相違による温度履歴

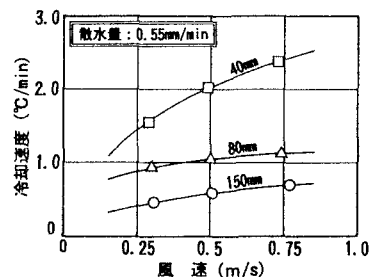


図4 風速と冷却速度との関係

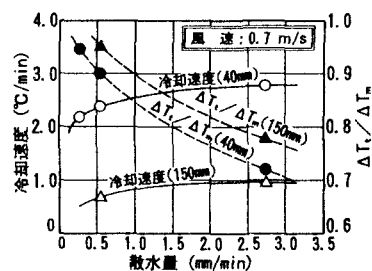


図5 散水量と冷却速度、 $\Delta T_i / \Delta T_m$ の関係

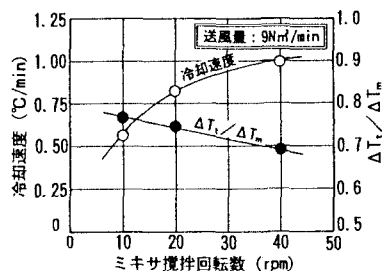


図6 ミキサ攪拌回転数と冷却速度ならびに $\Delta T_i / \Delta T_m$ との関係