

V-8 細骨材気化冷却設備の冷却特性と基礎理論

(株)熊谷組土木本部土木技術部

正会員 古田島 信義

(株)熊谷組土木本部土木技術部

正会員 佐藤 英明

(株)熊谷組 四国支店

正会員 玉井 裕行

(株)熊谷組 大阪支店

正会員 森田 栄治

1. はじめに

本報は、コンクリートのブレッキング技術である細骨材気化冷却設備について、これまでの実績データにもとづいたその冷却特性と、分散落方式の基礎理論および設計手法を報告するものである。

2. 細骨材気化冷却システム

細骨材気化冷却システム¹⁾は、冷風製造設備、細骨材気化冷却塔(以下、気化冷却塔と称す)、冷却砂搬送設備から構成されている。図1に、そのフロー図を示す。

本システムは、コンクリートの製造速度と所要の冷却温度との関係から、送風空気の温湿度と冷却前後の細骨材温度を計測システムにより監視しながら、細骨材の切出し量や冷風の送風量を制御することによって運転するものである。

3. 気化冷却塔の特性

気化冷却塔内部の熱交換は非常に複雑であると考えられるが、冷却効率と送風風速、砂空気比、表面水率の低下量との関係を調べた結果、以下のような傾向を得た。

図2は砂空気比¹⁾と冷却効率¹⁾の関係を調べたもので、砂空気比が大きいくほど冷却効率が低くなり、砂空気比が小さいほど冷却効率が高くなる傾向がある。その関係は指数関数的であり、砂空気比が小さいほどばらつきが多くなっている。ここで、CASE1、CASE2は、2箇所のダム現場の気化冷却塔2基を示す。また、送風風速と冷却効率との関係を調べると、風速が速いほど冷却効率は高くなる傾向にあり、風速が遅いほどばらつきが大きくなっている。また図4に示す表面水率低下量と冷却効率の関係では、表面水の低下量が多いほど冷却効率は高くなる傾向があるように見えるが、それは風速とは特に関係がない。すなわち風速が速いほど冷却効率が高くなる傾向は、風速が遅くなるほど気化を促しているわけではない。これらのことから熱伝達による熱移動と蒸発潜熱による熱移動は、各種の条件によってその割合が変化していると考えられ、図2および図3でばらつきの多い範囲、つまり砂空気比が小さい場合と送風風速が遅い場合に、その割合が変動しているためと考えられる。

以上のように実設備の基本的な冷却特性を確認したが、実際の設備設計においては複雑な物理現象はある程度簡略化する必要がある。以下にその概要を示す。

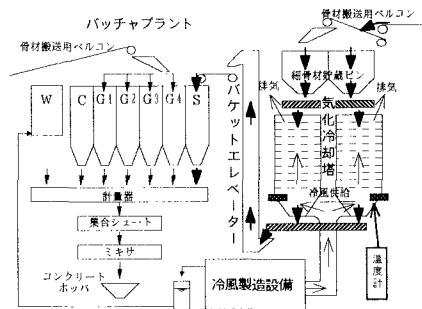


図1 細骨材気化冷却システムフロー図

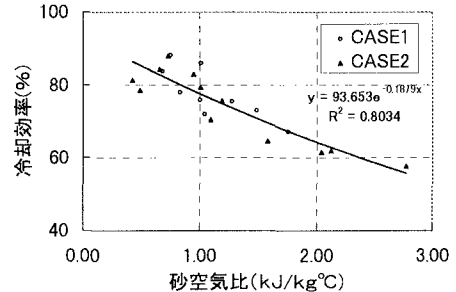


図2 砂空気比と冷却効率

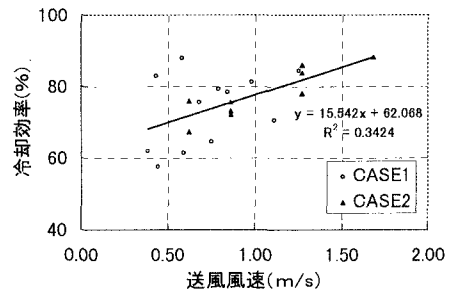


図3 送風風速と冷却効率

キーワード：ブレッキング、気化、骨材、基礎理論

連絡先：(株)熊谷組土木技術部 〒162-8557 新宿区津久戸町2-1 TEL:03-3235-8647 FAX:03-3266-8525

4. 細骨材気化冷却システムの基礎理論と設計法

気化冷却塔は、その構造や原理、物理現象などが空調設備における冷却塔に酷似しているため、以下の論理展開は開放式向流形冷却塔の基礎理論と設計法に準じた²⁾。

気化冷却塔における細骨材と送風空気の交換熱量 Q (J/h) は、細骨材温度 t_s と同じ温度の飽和空気エンタルピ i_s と、送風空気のエンタルピ i との差 $(i_s - i)$ に比例するとすれば(図5参照)、式(1)のように表すことができる。

$$dQ = K_a (i_s - i) A dZ \quad (1)$$

ここで、 K_a ：空調設備における冷却塔の設計においてエンタルピ基準総括体積熱伝達率といわれる実験比例定数 ($\text{kJ}/\text{m}^3 \cdot \text{h} \cdot \Delta i = \text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$)、 A ：気化冷却塔の断面積 (m^2)、 Z ：気化冷却塔の有効高さ (m)、である(図6参照)。

厳密に言えば熱ロスがあるが、これも気化冷却塔の特性と考え K_a に含まれるものとすれば、この dQ は送風空気量 G (kg/h) を用いて式(2)でも表すことができる。

$$dQ = G di \quad (2)$$

ここで di は細骨材との熱交換で変化した送風空気のエンタルピ量である。気化冷却塔内の有効容積 $V = AZ$ 間で K_a が一定とすれば、(1)、(2)を積分し(3)式が求まる。

$$K_a = \frac{G}{AZ} \int \frac{di}{(i_s - i)} \quad (3)$$

細骨材の表面水蒸発量は少ないと仮定し、近似的に(4)式が成り立つ。

$$G di = -S \cdot C_s \cdot dt_s \quad (4)$$

ここで C_s は細骨材の換算比熱¹⁾ である。さらに(3)、(4)から(5)式が得られる。また、実験式として(6)式のような関係があることが分かっている。

$$K_a = -\frac{S C_s}{AZ} \int \frac{dt_s}{(i_s - i)} \quad (5) \quad K_a = C_1 \left(\frac{S}{A} \right)^\alpha \left(\frac{G}{A} \right)^{1-\alpha} \quad (6)$$

ここで C_1 、 α は実験から得られる定数である。 K_a 値は、気化冷却塔内の現象が複雑で理論的には求めにくいので、実験によって求めることになる。実際に稼働した気化冷却塔2基の K_a 値を実測値をもとに(5)、(6)式から求め、CASE1、CASE2として、図7に示す。CASE1とCASE2では設備規模の違いが原因と考えらる差があり、設備規模の小さいCASE1の方が熱の交換効率が高いものとなっている。この値から(5)式等により、冷却塔の高さを求めることができる。

5. おわりに

今後の本システムの普及展開において、ここで紹介した冷却特性を勘案し、より安価で効率の良い設備および運転方法を検討していく予定である。なお、気化冷却システムは(株)熊谷組が石川島建機(株)と共同で開発したものである。

<参考文献>

- 1) 古田島信義、佐藤英明、他／細骨材気化冷却設備の冷却特性、第53回土木学会年次学術講演会 講演概要集VI 平成10年9月
- 2) 山田治夫／増訂改版 冷凍および空気調和、株式会社 養賢堂発行
- 3) 手塚俊一／冷却塔概論、空気調和・衛生工学 第52巻 第4号 昭和53年4月
- 4) 化学工学協会編／改訂五版 化学工学便覧 丸善株式会社

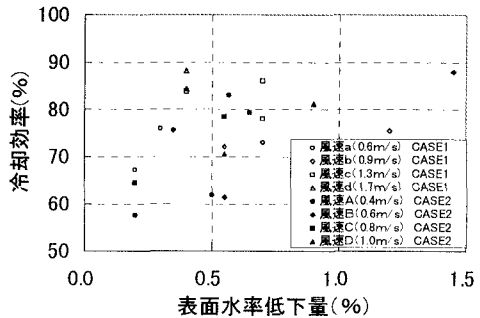


図4 表面水率低下量と冷却効率

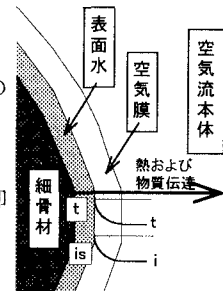


図5 熱・物質伝達

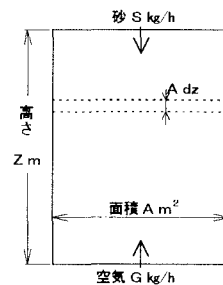


図6 砂と空気の接触

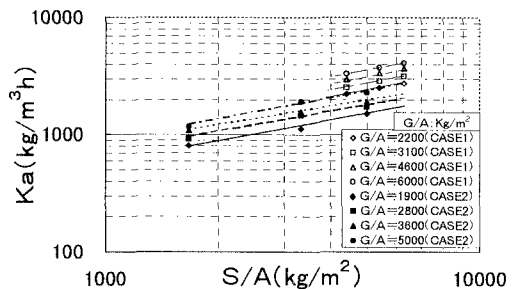


図7 実機2塔の K_a 値