

低温空気による鉛直エアパイプクーリング工法の開発 その3

(株) 鴻池組 正会員 ○林 逸貴

(株) 鴻池組 正会員 福田 尚弘

(株) 鴻池組 正会員 金澤 優樹

(株) 鴻池組 正会員 為石 昌宏

(株) 鴻池組 正会員 北尾 朋大

(株) 鴻池組 正会員 生駒 顕彦

1. はじめに

マスコンクリートの温度ひび割れ対策として実施される鉛直パイプクーリング工法において、冷媒に水ではなく冷たい空気を使用する「低温空気による鉛直エアパイプクーリング工法」を開発した。小型試験体(240mm×450mm×245mm)およびドラム缶サイズ(φ550mm×h860mm)試験体による冷却試験を実施した結果、本工法によってコンクリートの水和発熱を抑制できる可能性があることを確認した¹⁾²⁾。しかし、試験体サイズが実際に施工するコンクリートに比べると小さいため、本工法がマッシブなコンクリートに対して冷却が可能であるかが不明であった。そこで、実構造物を想定した大型試験体を用いて、屋外にて冷却試験を実施した。

本報告では、大型試験体を用いて実施した冷却試験の結果と、試験結果に基づく本工法の冷却効果について報告する。

2. 試験概要

使用したコンクリートの配合を表1に示す。本試験の配合は夏季に施工するマスコンクリートを想定して、コンクリート内部の最高温度が70℃以上となるように呼び強度36N/mm²の配合を採用した。試験は2022年10月25日～31日の期間、大阪府岸和田市で実施し、雰囲気温度は7.9℃～21.2℃であった。

図1に試験概要図を、図2に試験体概要図を示す。屋外において、内空寸法2.0m×2.0m×2.0mのプレキャストBOXカルバートを横倒しにしたものを型枠として、型枠内にコンクリートを打込み、試験体を作製した。試験体は本工法によって冷却を実施するものと冷却しないものの2体を作製し、冷却する試験体については平面間隔500mmでφ50mmのシース管を9本建て込んだ。冷却条件は冷風温度：筒先温度-2.1℃～11.2℃、風速6.3m/secであった。打設から約2日間冷却を行い、あらかじめ型枠内に設置した熱電対によって、打込み後のコンクリートの温度を計測した。計測位置は図2に示す位置で、240箇所/試験体とした。

本試験においては、コンプレッサーに吐出空気量11.0m³/min、吐出圧力0.69MPaのものを採用した。これは、冷風発生装置(吐出量0.74m³/min)を9本使用するための総吐出量6.7m³/minを安定して送ることができるように、総吐出量がコンプレッサーの吐出空気量の7割以下となるように決定したためである。また、コンプレッサーの保護と圧縮空気の安定供給を目的にレシーバータンクを使用した。試験の実施状況を写真1に示す。

3. 試験結果および考察

図3～5に各試験体の着目点における温度履歴を示す。凡例のNは無対策の試験体、Xは冷却試験体である。着目点①は無対策の場合に最高温度となる点、着目点②は本工法において冷却効果が最も必要とされる下端付近(下

表1 配合表

呼び名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				SP (C×%)
			W	C	S	G	
36-18-20N	44	46.4	180	409	771	910	0.77

※SP：高性能 AE 減水剤

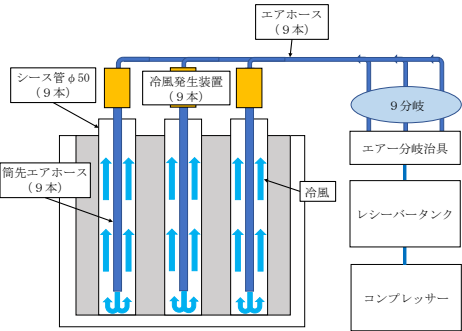


図1 試験概要図

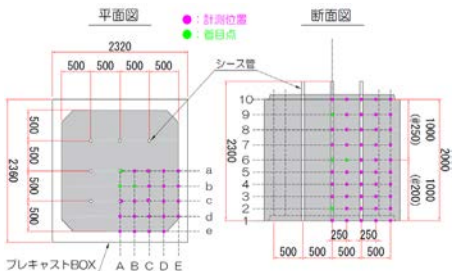


図2 試験体概要図



写真1 実施状況

端から 200mm) で最高温度となる点, 着目点③は冷却効果が小さくなると考えられる上端付近(上端から 250mm) で最高温度となる点とした。

着目点①では, 無対策の試験体のピーク温度は 71.2℃となったのに対して, 冷却試験体のピーク温度は 57.5℃となり, 13.7℃のピークカットが確認された(図 3)。この結果から, 本工法は大型試験体においても, コンクリートの水和発熱を抑制できるため, マッシブなコンクリートにおいても, 十分な冷却効果があると考えられる。

着目点②では, 無対策の試験体のピーク温度は 57.3℃となったのに対して, 冷却試験体のピーク温度は 39.1℃となり, 18.2℃のピークカットが確認された(図 4)。最高温度点(着目点①)に比べて下端付近(着目点②)の方が冷却される結果となった。これは, 本工法では下端から送風するため, 冷風が下端から上端へ流れる過程で熱交換が行われたことで温度が高くなったことが原因であると考えられる。下端付近の冷風温度は-2.1℃~11.2℃であったのに対して, 最高温度点(着目点①)付近は 10.1℃~22.0℃であった。

着目点③では, 無対策の試験体のピーク温度は 53.8℃となったのに対して, 冷却試験体のピーク温度は 50.0℃となり, 3.8℃のピークカットであった(図 5)。上端付近(着目点③)においても温度低下は確認されたが下端付近(着目点②)や最高温度点(着目点①)に比べて, 冷却効果が小さいという結果であった。これは前述したように, 本工法では下端から上端へ冷風を送るため, 上端付近の冷風温度が 13.7℃~28.9℃と高くなったことや, 上端付近は外気の影響を受けやすく, コンクリートの温度上昇が少なかったことが原因であると考えられる。

また, 対流境界での熱伝達係数を土木学会コンクリート標準示方書に記載の内容³⁾を式①によってあらわし, 風速を用いて算出した熱伝達係数 $h=26.8$ (W/m²℃) によって実施した温度解析結果と実測値を比較する。

$h=12.0+3.45(u-2.0) \cdots$ 式① ここで, u は風速で本試験では 6.3m/sec である。

下端付近(着目点②)においては温度履歴に乖離があるが, 解析結果よりも高い冷却効果があるという結果であった。一方, 最高温度点(着目点①)や上端付近(着目点③)においては解析結果と実測値で概ね一致する結果となった。このことから, 現状の手法による解析では, 下端の冷風温度が低い位置では解析結果と実測値が乖離するのに対して, 冷風が上端へ流れる過程でコンクリートとの熱交換によって冷風温度が上昇した位置では解析結果と実測値が比較的一致するものと考えられ, 特に下端付近(低温域)における解析精度に課題があるといえる。

これらの結果より, マッシブなコンクリートでも本工法によりクーリングを実施することは可能と考えられる。

また, 本試験は既往の試験¹⁾²⁾と異なり屋外で実施したため, 雰囲気温度が一定とならない条件での試験となった。これにより, コンプレッサーから冷風発生装置に送られる圧縮空気温度も変動したため, 冷風発生装置から吐出される低温空気の温度も連動して-2.1℃~11.2℃の間で変動することが確認された。このことから, 本工法を適用する際には, 雰囲気温度が変化することに配慮することや, 冷却効果が少なくなる際に雰囲気温度を下げる対策をする, 等を念頭に入れた計画が必要であると考えられる。

4. おわりに

実構造物を想定した大型試験体を用いた冷却試験を実施した結果, マッシブなコンクリートに対しても本工法によりクーリングが実施できることを確認した。また, コンプレッサー等の主要設備は, 一般的なリース品を使用することで本工法を適用できることを確認した。下端付近の解析結果と実験結果との間に乖離がある等課題もあるが, 今後はこれらの課題を解決するために追加の実験や解析手法の確立等を行い, 本工法の実用化を目指していく予定である。

参考文献

- 1) 金澤 他: 低温空気による鉛直エアパイプクーリング工法の開発 その1, 土木学会第78回年次学術講演会(投稿中)
- 2) 生駒 他: 低温空気による鉛直エアパイプクーリング工法の開発 その2, 土木学会第78回年次学術講演会(投稿中)
- 3) 土木学会: 2017年制定 コンクリート標準示方書[設計編: 標準], p.326

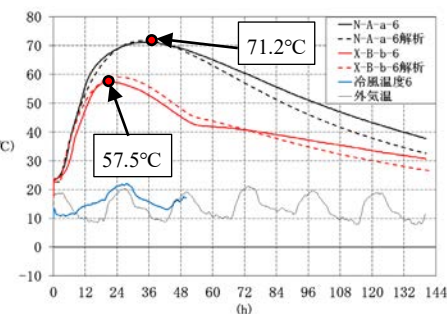


図 3 温度履歴(着目点①)

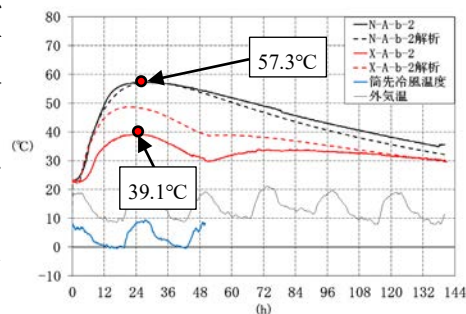


図 4 温度履歴(着目点②)

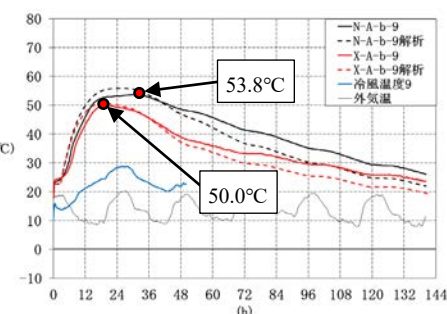


図 5 温度履歴(着目点③)