

鉛直エアパイプクーリングの施工への適用と評価

Apprication of Vertical Air Pipe Cooling Method for Concrete Structure and Evaluation by Thermal Stress Analysis

楨島 修 ^{*1}	北 倫彦 ^{*1}	川里麻莉子 ^{*1}	石塚 健一 ^{*1}
Osamu Makishima	Tomohiko Kita	Mariko Kawasaki	Kenichi Ishizuka
中原博隆 ^{*2}	梶田茂世 ^{*2}	坂本哲也 ^{*3}	寺澤正人 ^{*1}
Hiroataka Nakahara	Shigeyo Kajita	Tetsuya Sakamoto	Masato Terazawa

【キーワード】 鉛直エアパイプクーリング 温度応力解析 マスコンクリート ひび割れ 温度計測

1. はじめに

マスコンクリート部材の温度応力ひび割れ抑制対策として、パイプクーリング工法がある。パイプクーリング工法は、部材の中にクーリングパイプを設置し、パイプ内に冷却水を循環させることによってコンクリートの水和熱を奪い、躯体の温度上昇を抑制する方法である。

近年では、壁部材に対してクーリングパイプを鉛直に配置して、簡便かつ効果的にクーリングする方法（以降、鉛直パイプクーリングと称する）も適用されている¹⁾。今回、鉛直パイプクーリングの形態で、パイプ内に空気を送風することで躯体温度を抑制する方法（以降、鉛直エアパイプクーリングと称する）を実部材に適用した。

本報告では、鉛直エアパイプクーリングの実部材への適用の概要と、施工時に実施した部材内部の温度計測と温度応力解析により、躯体温度の抑制効果とひび割れ抑制効果を評価した結果を紹介する。

2. 適用部材と事前検討

鉛直エアパイプクーリングを適用した構造物は、橋台のパラペット部（高さ：約3m、長さ：約15m、壁厚：80cm）であり、たて壁に拘束されたマスコンクリート部材となるため、温度応力ひび割れの発生が懸念された。

使用したコンクリートは、普通ポルトランドセメントを用いた、単位セメント量 359kg/m^3 、水セメント比46.5%の比較的富配合のコンクリートであり、施工条件は、外気温が 24°C 、コンクリートの打設温度が 25°C であった。

クーリングの温度抑制効果は、クーリングパイプ内の送風温度と風速によって変化することが知られており²⁾、風速に応じたクーリングパイプの熱伝達係数を小型試験体によって事前に実験的に把握した。この結果より、想定される風速 4m/s に該当する熱伝達率 $14.0\text{W/m}^2\text{C}$ を用いて温度解析を実施して、鉛直エアパイプクーリングの効果を事前検討した。

3. クーリングおよび温度計測実施概要

壁の中央部にクーリングパイプ（直径 65mm 樹脂製シース管）を 800mm 間隔で鉛直に設置した。写真-1に示すように、クーリングパイプ内には、内径 25mm のフレキシブルホースを配置し、ホース内には、送風機によって所定の風速（約 4m/s ）の風を送風した。部材内には、パイプ間中央部とパイプ近傍に設置した熱電対によって部材内部の温度計測を実施し、パイプ間中央部の温度がパイプ近傍の最高温度と同等になる時点までクーリングを継続した。

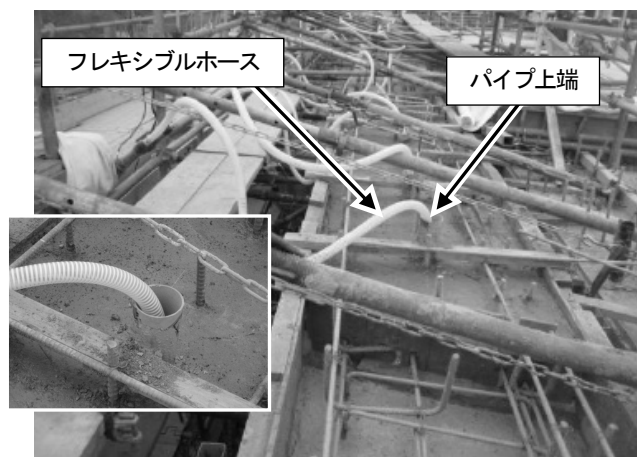


写真-1 鉛直エアパイプクーリング実施状況

4. 温度計測と温度応力解析による効果の評価

図-1に、温度計測履歴と解析によって予測された温度履歴を示す。図に示すように、計測結果では、パイプ間の中央部の最高温度 61.7°C に対して、パイプ近傍の最高温度が 53.3°C となり、約 9°C の温度低下が認められた。クーリングパイプ近傍の温度低下が確認されたことから、鉛直エアパイプクーリングの適用は、躯体の温度を抑制する効果があることを確認した。

また、パイプ間中央の温度の計測値と解析値が、ほぼ同じになるように断熱温度上昇曲線をフィッティング解析によって求めた。ここで得られた断熱温度上昇曲線と事前に実験で求めたパイプの熱伝達率を入力値として温度解析することで、パイプ間中央およびパイプ近傍の温度が計測結果と解析結果で概ね一致することが確認された。このように、コンクリートの温度上昇特性とパイプの熱伝達率を適切に設定すれば、鉛直エアパイプクーリングの温度抑制効果を精度良く予測することが可能となることを確認した。

図-2に、フィッティング解析によって求めた断熱温度上昇曲線を用いた無対策の場合の温度解析結果と、鉛直エアパイプクーリング実施による温度解析結果を示す。図に示すように、無対策の場合の最高温度64.6℃と鉛直エアパイプクーリングを実施した場合のパイプ間中央の最高温度63.0℃がほぼ同等であることが確認された。

図-3に、鉛直エアパイプクーリングを実施した場合と無対策の場合の最高温度分布を、図-4に、鉛直エアパイプクーリングを実施した場合と無対策の場合の最小ひび割れ指数分布を示す。最小ひび割れ指数分布に示されるように、鉛直エアパイプクーリングを実施することで、最小ひび割れ指数の改善と、ひび割れ指数1.0以下の範囲の大幅な減少が確認された。このように、鉛直エアパイプクーリングを適用しても最高温度が無対策と同等であるにもかかわらず、ひび割れ指数が改善する理由は、クーリングパイプ近傍の温度の低下により、温度分布が不連続となり、見かけ上、拘束長を低減することと同等の効果が得られるためと考えられる。

鉛直エアパイプクーリングの適用によって、有害なひび割れの発生は認められなかったことと、躯体内部の温度が抑制でき、外部拘束によるひび割れ指数を改善することが確認できたことから、鉛直エアパイプクーリングは有効なひび割れ抑制対策であると評価される。

5. まとめ

実部材への鉛直エアパイプクーリングの適用と部材温度の計測および温度応力解析を通じて、

- 1) クーリングパイプ近傍で約 9℃の温度抑制効果が認められ、有害なひび割れの発生が認められなかった。
- 2) クーリングパイプの熱伝達率やコンクリートの発熱特性を適切に考慮すれば、部材温度を精度良く予測解析できること、およびひび割れ指数が改善されることを確認した。

以上より、鉛直エアパイプクーリングは有効な温度ひび割れ抑制策であると評価された。今後、実施工への適用データの蓄積等により、より信頼性の高い工法として確立していきたいと考えている。

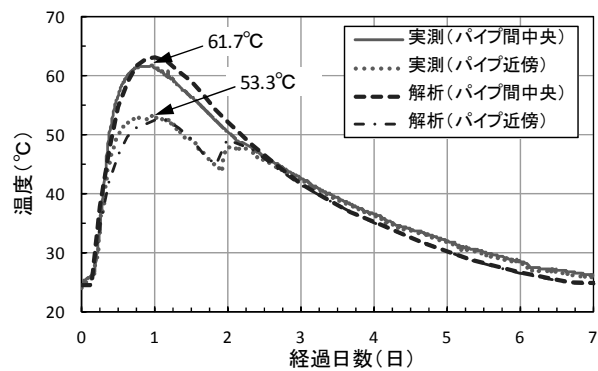


図-1 温度計測結果と温度解析結果の比較

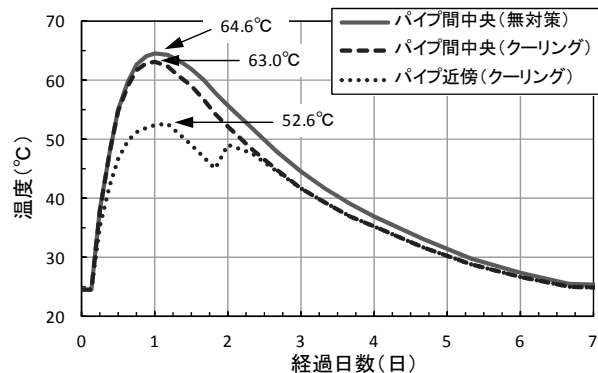


図-2 クーリング実施時と無対策の温度解析結果

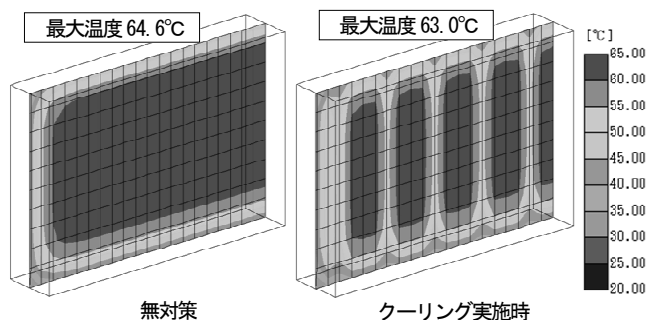


図-3 温度応力解析結果 (最大温度分布)

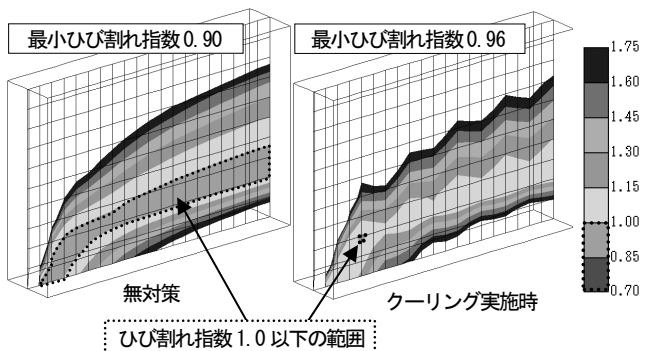


図-4 温度応力解析結果 (最小ひび割れ指数分布)

【参考文献】

- 1) 佐藤友厚 他：鉛直パイプクーリングの模擬供試体実験と実施工への適用、とびしま技報 No.60, pp.149-150, 2011.
- 2) 笹倉伸晃, 伊藤始, 三島徹也, 中島良光：エアパイプクーリングによる温度ひび割れ抑制効果に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.981-986, 2002.