

函渠構造物側壁部への水平エアクーリング工法の適用

株式会社熊谷組 正会員 ○神崎 恵三 正会員 中出 剛
工藤 守 正会員 濱 慶子

1. はじめに

コンクリートの温度ひび割れ対策として、コンクリート打設直後にクーリングを行い、内部温度の上昇を抑制する工法が広く用いられている。弊社は、内部温度の冷却方法として、コンクリート内部に埋込んだ管に水を循環させることによるクーリングで数例の施工事例があるが、最近、送風によるエアクーリングと、少量の水を注水することで、水によるクーリングと同等の温度抑制効果が得られることも確認している¹⁾。

弊社は地下に構築する函渠構造物側壁部の温度ひび割れ対策として、水平方向にエアクーリングを実施するにあたり、室内試験施工により内部温度の履歴や熱伝達率を把握した上で、施工を行った結果を報告する。

2. 水平エアクーリング工法の特長

地下構造物の函渠構造物側壁部に、水平エアクーリング工法を採用する利点として以下のものが挙げられる。

- ・水を流してのクーリングは、大規模な施設が必要となる。また、地下構造物では、排水処理施設も考慮する必要がある。本計画のエアクーリングは送風機と少量の水のみで実施可能で大規模な施設は必要ない。
- ・函渠側壁部のひび割れは、打継ぎ目上部に発生しやすいため、この箇所に集中的にクーリングを行うことで、より効率的なひび割れ抑制対策が可能となる。

3. 室内試験施工の実施

エアクーリング工法による内部温度の上昇傾向や熱伝達率を把握するために、室内試験施工を実施した。試験体の概要を表-1、図-1に示す。表-1に示す通り、3種類の試験体を作成した。試験体は断面 1000mm×1000mm、長さは 2000mm とし、型枠の外側は外部の温度影響を遮断するため厚さ 100mm の発泡スチロールで覆った。CASE2, 3 ではクーリングパイプ内に送風機によって送風(風速 24m/s)し、CASE3 では注水(150ml/min)を行った。各試験体の中心に計測断面(10 測点)を設け、コンクリート温度を自動計測した。風速及び注水量は、流出口から水がミスト状となるよう定めた。送風期間は 3 日間、温度計測は 8 日間実施した。

4. 室内試験施工結果(中央部温度抑制効果)

各試験体のコンクリート中央部温度の履歴を図-2 に示す。クーリングを行わなかった CASE1 と比較して、クーリングを行った CASE2 と CASE3 ではコンクリート温度の上昇の抑制効果が確認できる。さらに、送風+注水を行った CASE3 では、CASE2 より大きな抑制効果を発揮していることが分かった。これは、注水した水が管の中で気体になる時に周囲から熱を吸収することで、エアーの温度を冷却し、コンクリートの温度上昇を抑制したと考えられる。

5. クーリングパイプの熱伝達率の決定

温度解析においてエアクーリングの効果を反映させる場合、一般に対流境界条件としてコンクリートとクーリングパイプの境界条件(見かけの熱伝達率及びパイプ内温度)を与えることで考慮されており、熱伝達率はクーリングパイプ内の風速によって変化することが知られている²⁾。ここでは、コンクリート標準示方書³⁾に

キーワード 温度ひび割れ, エアクーリング工法, 3次元温度応力解析

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1 (株)熊谷組 土木事業本部 TEL 03-3235-8622

表-1 試験体平面図・断面図

CASE	エアクーリング	注 水	備 考
CASE1	無し	無し	クーリング無し
CASE2	有り(24m/s)	無し	送風のみ
CASE3	有り(24m/s)	有り(150ml/min)	送風+注水

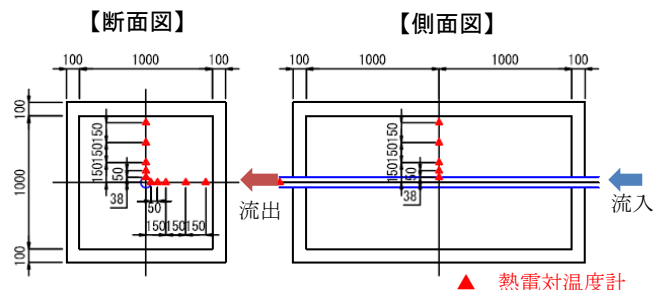


図-1 試験体平面図・断面図

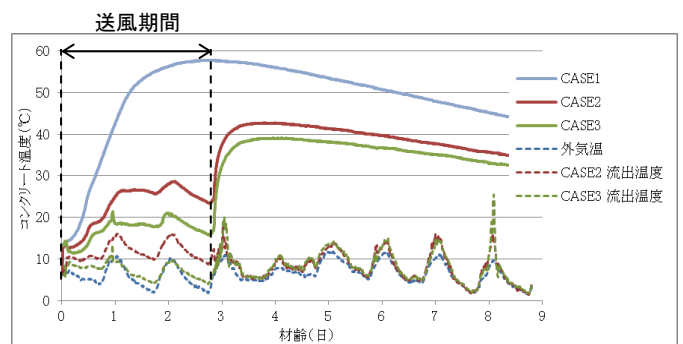


図-2 コンクリート中央部温度履歴

示される風速 v と熱伝達率 η の関係式を基本に熱伝達率の同定を試みた. $\eta = 12 + 3.45 (v - 2)$ v : 風速 (式 1)

本試験での風速は 24 (m/s) であるため, 式 1 より, $\eta = 88 (W/m^2\text{C})$ となる. パイプの熱伝達率を $\eta = 88 (W/m^2\text{C})$ として温度応力解析を行ったところ, CASE3 (送風+注水) のコンクリート温度計測値とほぼ合致した (図-3). 一方, CASE2 (送風のみ) では, 同じ風速であったが, パイプの熱伝達率を $\eta = 44 (W/m^2\text{C})$ として温度応力解析を行った場合の結果と合致した. 空気に少量の水を注水した場合は, 空気のみの場合に比べて送風温度や熱移流の相違により見かけの熱伝達率が大きくなるものと考えられる.

6. 実施工への適用 (予測解析)

室内試験施工の結果を踏まえ, 関東地方整備局発注の「田尻地区函渠その 5 工事」の 2 連カルバート構造物 (水平内空幅 11.3m, 内空高さ 8.3m) の側壁部に適用した (図-4). 側壁厚さが 1.15m で, 底版拘束による温度ひび割れが懸念されたため, 側壁下部に水平方向エアークーリングを計画した. 室内試験施工より同定した解析値 (表-2) と熱伝達率を基に, 事前に温度ひび割れの予測解析を実施した結果, 無対策時の最小ひび割れ指数 0.74 が, エアークーリングにより 1.10 まで改善する結果となった (図-5, 6).

表-2 断熱温度上昇特性

	終局断熱 温度上昇 量 $Q_{\infty} (^\circ\text{C})$	断熱温度上 昇速度に関 する係数 γ	発熱開始 材齢 $t_{0.0} (\text{日})$
解析値 (同定値)	50.0	1.50	0.30

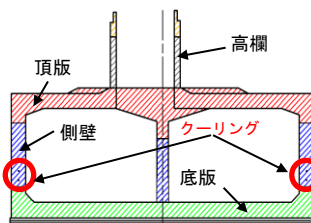


図-5 函渠リフト割り

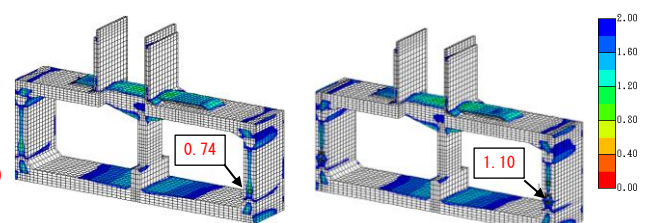


図-6 予測解析 (3次元温度応力解析)

7. 実施工

予測解析を基に実施工では, 側壁の打継ぎ目から約 1m の高さに 2 列水平方向にクーリング管を配置した. クーリングは, 打設直後から行い, クーリングの側部に設置した熱電対温度計でコンクリート温度履歴を確認し, 最高温度に到達後, 降下し始めるまで実施した. 計測の結果, クーリング管近傍で約 25°C 温度が降下し, 所定の冷却効果が発揮されたことが確認できた (写真-1, 2, 図-7).



写真-1 クーリング管接続部

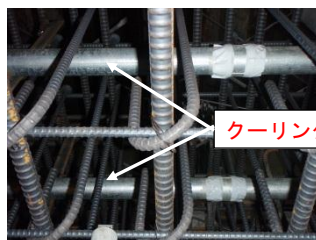


写真-2 クーリング管
(コンクリート内部)

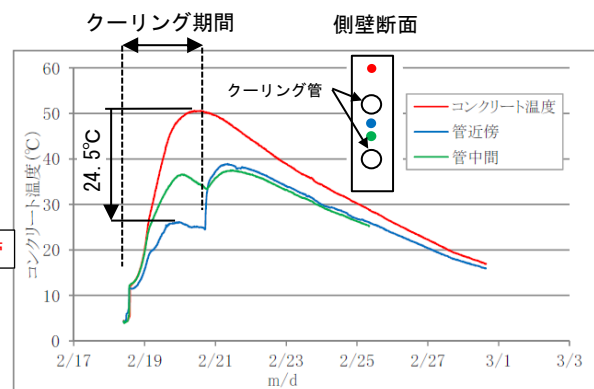


図-7 コンクリート内部温度履歴図

8. まとめ

函渠側壁部に水平エアークーリング工法を適用するにあたり, 室内試験施工から算出した解析値より予測解析を行い, 温度ひび割れに効果があることを確認したのち, 実構造物に施工を行った. また, 打設から数ヶ月後の現地確認においても有害なひび割れが発生していないことを確認した. 今後は, 風量, 水量とコンクリート温度上昇抑制の定量的な関連を把握し, より効果的な工法を構築していきたいと考える.

【参考文献】(1) 濱慶子ほか: 函渠構造物底版部への水平エアークーリング工法の適用, 土木学会第 70 回年次学術講演会 (投稿中)

(2) 笹倉ら: エアerpay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, 2002

(3) 土木学会: 2012 年制定 コンクリート標準示方書【設計編】 p307~p309