

トップヒート型ヒートパイプを用いたクーリング工法に関する実験的考察 (その2：コンクリートの水和熱を利用した性能確認試験)

前田建設工業 正会員 ○秋田 剛 笹倉 伸晃 佐藤 文則 加藤 楓
福井大学 永井 二郎

1. はじめに

RC 構造物の温度応力ひび割れ抑制対策の1つとしてパイプクーリング工法があり、近年、ボトムヒート型のヒートパイプを用いた冷却水の循環が無いクーリング手法も提案されている¹⁾。

著者らは、図1、図2に示すトップヒート型ヒートパイプの原理を用いたクーリング工法に関して、ひび割れ抑制対策技術としての効果を検討してきた²⁾。本論文では、コンクリートの水和熱によるヒートパイプの性能把握実験を実施し、ヒートパイプのトップヒート効果によるコンクリート内部への熱輸送能力について報告する。また、本実験の逆解析を実施し、本工法のひび割れ抑制対策としての適用可能性について報告する。

2. コンクリート打設時のヒートパイプ BACH のトップヒート効果に関する実験

(1) 実験概要

本実験では、シース管を埋め込んだ既設コンクリート 1m³ の上部に新たに 1m³ のコンクリートを打設し、シース管内に水を投入してヒートパイプを設置後、打設したコンクリートの水和熱によるヒートパイプの作動状況および熱の移動状況を確認した。図3および写真1に試験体の概要を示す。コンクリート内部には T 型熱電対を設置して温度変化を計測した。また、ヒートパイプには非接触型の流量センサと真空計を設置し、ヒートパイプ内の作動液の循環状況および蒸気圧の変化を把握した。作動液には水を用いており、ヒートパイプ内は真空ポンプにて空気を除去した状態とした。

(2) 実験結果

図4に計測した打設および既設コンクリートの温度履歴を示す。コンクリート打設後、ヒートパイプ上部の気泡生成確認窓より蒸気泡の生成を確認した。パイプ内は空気を除去した状態であることから、気泡の生成により作動液が循環し、打設した上部コンクリートからシース管内部の水を介して既設の下部コンクリ

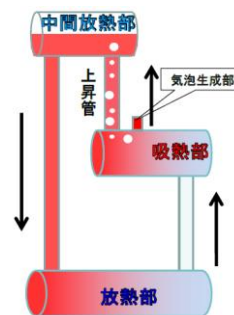


図1 ヒートパイプ原理

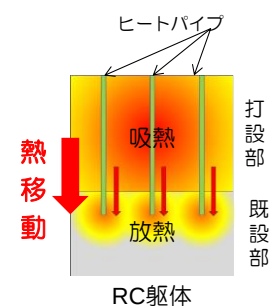


図2 工法概要

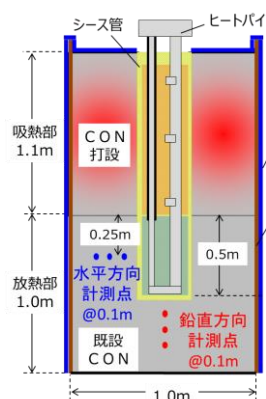


図3 試験体概要図



写真1 試験体

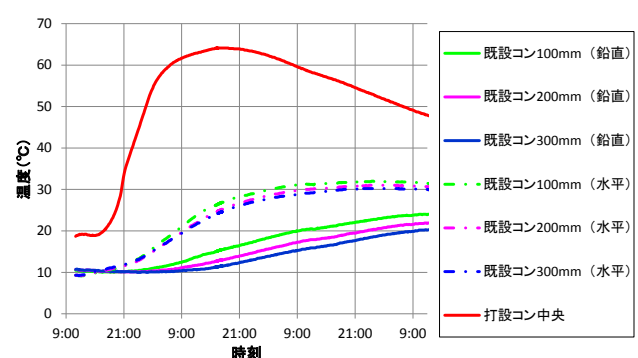


図4 コンクリートの温度履歴グラフ

トへの熱移動が生じた。しかし、コンクリートの温度上昇に伴ってヒートパイプ内の蒸気圧が上がり、気泡の生成頻度が減少する現象が生じた。そこで再度パイプ内を真空ポンプにより減圧した結果、再び気泡の生成が生じる結果となった。

キーワード ヒートパイプ、パイプクーリング、温度応力、初期ひび割れ

連絡先 〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-2 前田建設工業株式会社 TEL03-5276-5166

3. ヒートパイプの熱輸送能力に関する解析的評価

(1) 解析概要

実験にて得られた温度計測データを用いて逆解析を行い、無対策時のケースと比較してヒートパイプの熱輸送能力を解析的に評価した。図5に解析モデル、表1に解析に用いた各熱物性値と得られたヒートパイプの見かけの熱伝導率を示す。解析は1/4モデルとした。また、ヒートパイプ上部の中間放熱部からの放熱の影響を考慮し、ヒートパイプ要素の上面には熱伝達率を別途設定した。打設コンクリートの断熱温度上昇特性式は下部コンクリート打設時の温度計測結果を用いて逆解析より同定したものを用いた。

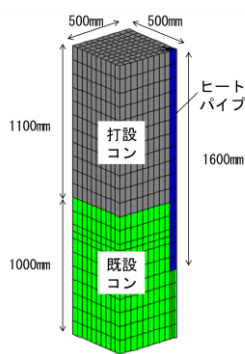


図5 解析モデル

(2) ヒートパイプ BACH が熱伝達に及ぼす影響

実験より得られた打設コンクリートと既設コンクリート（シース管表面から水平および鉛直方向に 10cm, 20cm の地点）の温度変化を、逆解析の結果と併せて図6に示す。結果より、ヒートパイプの見かけの熱伝導率は $150\text{W/m} \cdot \text{K}$ 程度となり、既往の検討²⁾にて得られた値と同程度となった。また、最高温度到達時の温度コンター図を無対策の解析結果と併せて図7に示す。ヒートパイプ BACH のトップヒート効果により、打設コンクリートの最高温度が 4.1°C 低下し、既設コンクリートへの熱伝達が生じたことから、本工法の温度ひび割れ抑制技術としての適用可能性について示唆された。

4. まとめ

トップヒート型ヒートパイプクーリングの熱輸送能力に関するコンクリート打設実験を行い、解析的に評価した結果について以下に示す。

- ・コンクリートの水和熱を利用してヒートパイプのトップヒート効果を実験的に検証した結果、水和熱によりパイプ内の作動液が循環して熱伝達が生じ、本工法の実構造物への適用可能性が示唆された。
- ・ヒートパイプ BACH の熱輸送能力を解析的に評価し、得られた熱物性値が従来の検討と同程度であることを確認した。また、本工法の適用により、既設コンクリートと打設コンクリートの温度差を低減し、温度応力ひび割れを低減できる可能性が示唆された。

表1 解析条件

	物性値	
	熱伝導率	2.7W/m $\cdot$ K
コンクリート	密度	2400kg/m ³
	比熱	1.15J/g $\cdot$ °C
	初期温度（上部）	10.0°C
	初期温度（下部）	7.0°C
	終局断熱温度上昇量	60.0°C
ヒートパイプ BACH	密度	1000kg/m ³
	比熱	4.19J/g $\cdot$ °C
	初期温度	10.0°C
	中間放熱部の熱伝達率	14.0W/m ² $\cdot$ K
	見かけの熱伝導率	150 W/m $\cdot$ K
断熱材（スタイロフォーム 10cm）	熱伝達率	1.0W/m ² $\cdot$ K
その他	外気温	実測値

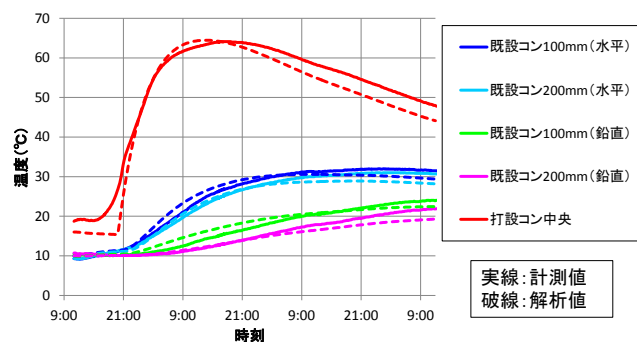


図6 温度履歴グラフ（実測および逆解析値）

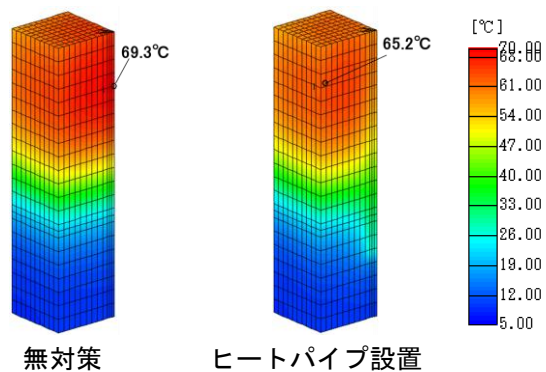


図7 温度コンター図（打設後 27 時間後）

参考文献

- 1) 伊吹真一，船本恵一，前田智宏，飯塚隆博：ヒートパイプを利用したパイプクーリング，コンクリート工学論文集，Vol.36,No.1,2014
- 2) 平川彩織，田中麻穂，笹倉伸晃，永井二郎：トップヒート型ヒートパイプを用いたクーリング工法に関する解析的検討，第70回年次学術講演会講演概要集，pp.717～pp.718，2015.9