

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

前田建設工業 正会員 ○平川 彩織 前田建設工業 正会員 田中 麻穂  
 前田建設工業 正会員 笹倉 伸晃 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つであるパイプクーリング工法は、鉛直にパイプを配置することにより、大断面橋脚やボックスカルバートなどの壁状構造物に対しても適用事例が増加しており、最近では、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<sup>1)</sup>。

本論文では、ヒートパイプを利用した温度応力ひび割れの低減工法として、発熱部の熱を既設コンクリートへ移動させることで打設部と既設部の双方の体積収縮を制御することができるトップヒート型ヒートパイプの原理に着目し、それを用いたパイプクーリング工法に関して、ひび割れ抑制対策の効果を検討した。

2. ヒートパイプクーリング工法の概要

(1) トップヒート型ヒートパイプの原理

本工法で用いるヒートパイプ（以下、ヒートパイプ BACH）の原理を図1に示す。ヒートパイプ BACH の特徴は、トップヒート型であり、上部の熱を下部へ移動させることを可能としたものである。

(2) トップヒート型ヒートパイプクーリング工法

著者らが考案したクーリング工法は、上述したヒートパイプ BACH を利用し、打設コンクリートの熱を見シース管と水を介してヒートパイプで吸熱し、温度を低減するだけでなく、吸収した熱を下部へ移動させ、既設コンクリートへ放熱し、上部と下部の温度差を低減し、外部拘束型のひび割れを低減する工法である。

3. ヒートパイプ BACH の解析設計値に関する実験

(1) 実験概要

本実験では、ヒートパイプ BACH の効果を温度応力解析に反映するため、熱移動特性を決定する要素試験を行った。実験は、ヒートパイプ BACH の上部および下部をそれぞれ吸熱部・放熱部と仮定し、上部には一定温度の高温水を、下部には一定温度の低温水を導水させた。実験水準は、上部と下部の温度差がヒートパ

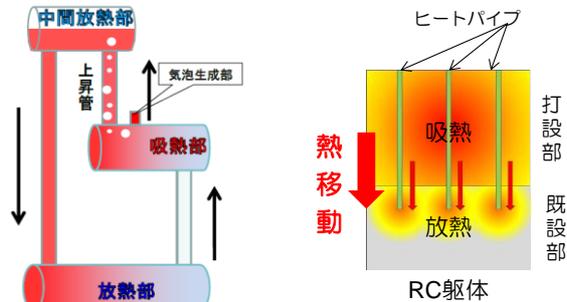


図1 ヒートパイプ原理

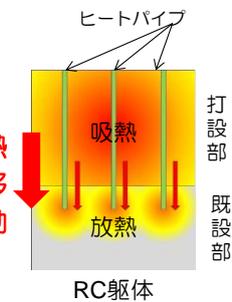


図2 工法概要

表1 ヒートパイプのみかけの熱伝導率

		Case1	Case2
吸熱量	W	186	154
放熱量	W	111	88
見かけの熱伝導率	W/mK	192.8	204.2

イプの熱輸送能力に及ぼす影響について検討するため、下部に導水する温度を 15°C一定として上部に導水する温水の温度を 70°C(case1), 50°C(case2)とし、試験後、吸熱部および放熱部の水温の温度変化により、吸熱量および放熱量を求め、見かけの熱伝導率を算出した。

(2) 温度応力解析物性値

実験結果を表1に示す。いずれのケースも吸熱量より放熱量が小さくなる結果となった。これは、吸熱した熱は中間放熱部を通過することで放熱部へ熱を移動させるため、中間放熱部での吸熱した熱が一部放熱することは避けられず、吸熱量と比較し、放熱部での放熱量は小さくなるためと考える。したがって、見かけの熱伝導率は、温度応力解析上、安全側である放熱量を用いるものとした。

4. ヒートパイプ BACH クーリングによるひび割れ

低減効果の解析的評価

(1) 解析概要

実験から求めた見かけの熱伝導率を用いて本工法のひび割れ低減効果を温度応力解析により評価した。解析モデルを図3に示す。

解析モデルは、フーチング上に壁状部材を打設する

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

構造とし、1/4 モデルとした。コンクリートの熱特性、強度特性については 2012 年制定土木学会コンクリート標準示方書[設計編]に準拠し、ヒートパイプ BACH の有無による解析を行った。また、

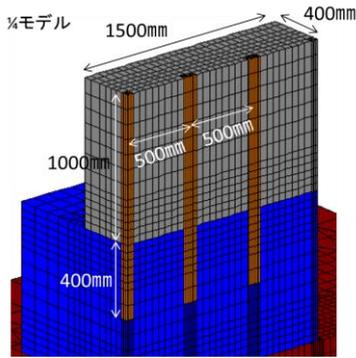


図3 解析モデル

ヒートパイプは、φ100mm 程度のシース管内に水を張った中に設置することを想定しモデル化した。解析に用いた代表的な入力値を表 2 に示す。ヒートパイプの見掛けの熱伝導率は 3. (2) の実験結果から 240.2W/mK とし、密度および比熱については水の熱特性値と同一とした。これは、熱伝導率は、3. (1) の試験で行った case2 の高温水および低温水の温度差がヒートパイプ BACH を用いない場合の既設部と打設部の温度差と近似しているためである。

表 2 温度応力解析物性値

		物性値	
コンクリート	熱伝導率	2.7W/mK	
	密度	2400kg/m <sup>3</sup>	
	比熱	1.15J/g・°C	
	単位セメント量	300kg/m <sup>3</sup>	
	水セメント比	50%	
	打ち込み温度	20.4°C	
	対流境界の熱伝達率	14W/m <sup>2</sup> ・K	
ヒートパイプ BACH	みかけの熱伝導率	240.2W/mK	
	密度	1000kg/m <sup>3</sup>	
	比熱	4.18J/g・°C	
その他	外気温	15.4°C	

(2) ヒートパイプ BACH 使用によるひび割れ低減効果

解析結果として、上部コンクリートが最高温度となる時期の温度分布を図 4 に示す。上部コンクリート温度は、ヒートパイプ BACH を用いることで 6.6°C 低減された。加えて、ヒートパイプ BACH の効果として、本工法は、無対策よりも、より深い位置まで既設部へ熱を移動させる効果が見られた。

最小ひび割れ指数分布を図 5 に示す。外部拘束ひび割れに着目したひび割れ指数は、無対策では 0.85、本工法では 1.02 と改善され、ひび割れ発生確率は 75% から 47% に低減された。

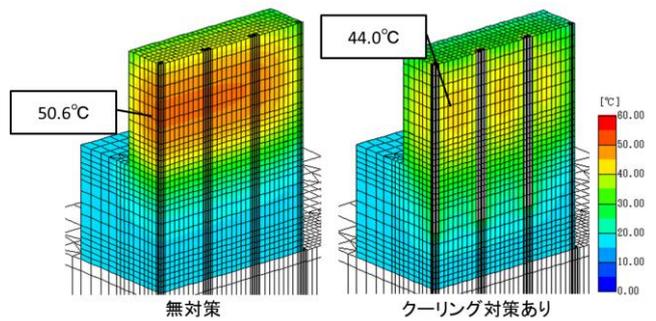


図 4 上部リフト最大温度時の比較

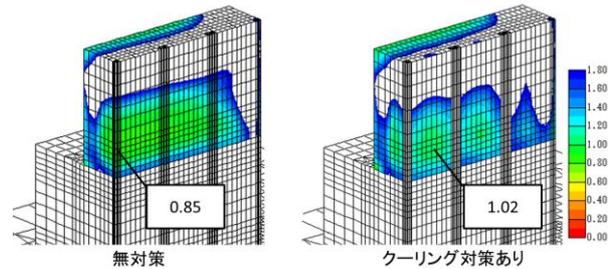


図 5 最小ひび割れ指数分布の比較

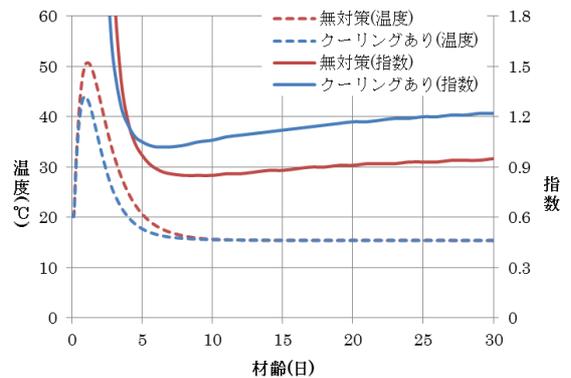


図 6 最大温度、最小ひび割れ指数の履歴

5. まとめ

トップヒート型ヒートパイプクーリングのひび割れ抑制効果を解析的に検討した結果を以下に示す。

- ・ヒートパイプ BACH の性能確認試験により、トップヒート型ヒートパイプの解析用熱特性値を把握した。
- ・考案したクーリング工法を模擬した温度応力解析結果により、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、外部拘束型のひび割れを低減できる可能性が示唆された。

今後は、コンクリート打設実験等により、本工法の適用性を検証する。

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