

ヒートパイプを利用したパイプクーリング工法の開発

鉄建建設株式会社 正会員 ○伊吹 真一
 鉄建建設株式会社 正会員 柳 博文
 鉄建建設株式会社 正会員 松岡 茂

1. 目的

近年、コンクリートの初期欠陥を減少させることが求められており、マスコンクリートではセメントの水和発熱によるひび割れが問題となるケースが増えている。マスコンクリートにおけるひび割れ抑制対策として、断面内に熱移動量の大きなヒートパイプを設置し、コンクリートの水和熱による温度上昇を抑制する方法を開発した。

2. 工法概要

ヒートパイプはパイプ内に冷媒液を密封したもので、その熱移動スピードは銅棒の数十～数百倍の熱伝導率に相当することが特徴である。ヒートパイプの動作原理は図-1のとおりで、一方を加熱すると冷媒液が蒸発し、その蒸気流により熱が高速に移動する。

ヒートパイプを利用したパイプクーリングは、図-2に示すように、あらかじめ50～75cm 間隔に埋設した直径50mm 程度の鋼製シース管にヒートパイプを挿入し、水を注入してコンクリート内部の熱を空气中に放出する非常にシンプルな方法である。また、ヒートパイプの突出部分を扇風機等で冷却し熱移動作用を増強することにより、放熱が促進され、より高いクーリング効果を得ることができる。本工法は、冷却水の循環が無い簡便なパイプクーリングで、冷却水の循環管理・温度調整を行う装置が不要になり、大量の水の調達が困難な作業現場においても、必要な部位のみの温度を制御することができる。

3. ヒートパイプの適用性の確認

コンクリートの水和熱による温度上昇抑制(クーリング)のヒートパイプの適用性について、模型試験体を製作し確認試験を行った。コンクリート試験体のヒートパイプの有無により、ヒートパイプの放熱によるコンクリートの温度上昇の低下を確認し、ヒートパイプの適用性を確認した。

模型試験体はクーリング無し(試験体 No.1)とクーリング有り(試験体 No.2)の2体とし比較検討を行った。ヒートパイプによるクーリングを行った試験体 No.2 の形状寸法を図-3に示す。試験体寸法は1m×1m×高さ1.5mとし、側面および底面は型枠+断熱材としたマスコンクリートを模擬したものである。橋脚等の一般的なコンクリート構造物を想定し、コンクリート温度が最大70℃程度となるよう表-1の配合とした。

ヒートパイプは鋼製シース管(直径50mm)にコンクリート打込み後に挿入した。計測は、熱電対を用いてコンクリート内部・ヒートパイプ表面・シース表面の温度およびシース内の水温を測定した。なお、室内で試験を行い外気温は20℃一定となるように空調を行った。

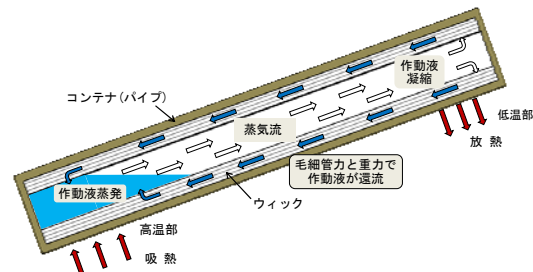


図-1 ヒートパイプの原理

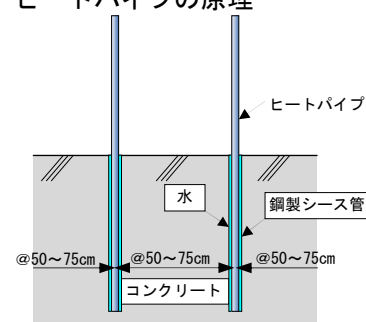


図-2 概念図

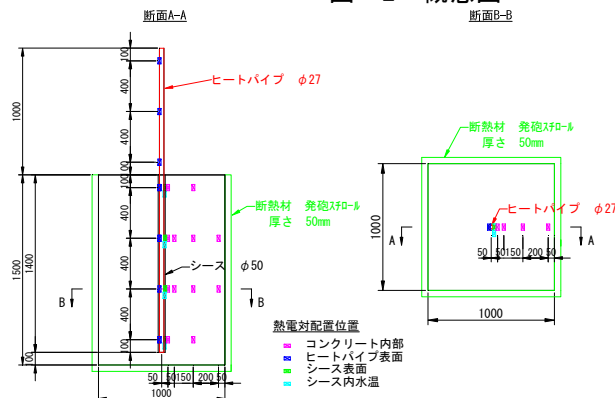


図-3 試験体形状図(試験体 No. 2)

表-1 配合表

セメント 種類	粗骨材 の最大 寸法 (mm)	水セメ ント比 (%)	細骨材 率(%)	単位量 (kg/m ³)				
				水 W	セメ ント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE 減水剤
N	20	44.2	42.4	190	430	689	963	4.3

キーワード マスコンクリート, ヒートパイプ, パイプクーリング

連絡先 〒286-0825 千葉県成田市新泉 9-1 鉄建建設株式会社 TEL 0476-36-2334

試験体に配置された熱電対により計測された温度から求めた断面 A の最高温度分布図を図-4 に示す。クーリングの有無の試験体の最高温度分布を比較すると、ヒートパイプの周囲の温度の低下が確認できる。試験体中心部の着目点 1 の温度を比較すると、試験体 No. 1 で 74.1°C であるのに対し、それに対応する試験体 No. 2 のヒートパイプ周囲のコンクリート温度は 65.1°C であった。試験体 No. 2 でコンクリート温度が最大となる着目点 2 の温度履歴を図-5 に示す。着目点 2 では最高温度時においてはクーリングにより 2.4°C の温度差が確認できた。

ヒートパイプを用いた簡易なパイプクーリングについて、模型試験体を用いた試験より、コンクリートの温度上昇の抑制（クーリング）に効果があることが確認できた。

4. 解析用物性値の設定

ヒートパイプを利用したクーリングを温度解析に適用する場合、ヒートパイプの熱移動特性を考慮する必要がある。そこで、一般的な温度応力解析用プログラムでヒートパイプの冷却効果を評価するために、ヒートパイプおよびシース管内の水の見かけの熱伝導率を試験結果から逆解析で算定した。

模型試験体で得られた計測温度結果を用いて、試験体 No. 1 を基準とし、試験体 No. 2 との温度差をヒートパイプによるクーリングの影響とし、ヒートパイプに関する解析用の物性値を求めた。図-6 にフィッティングで特に着目した断面 B の最高温度時の温度分布図を示す。

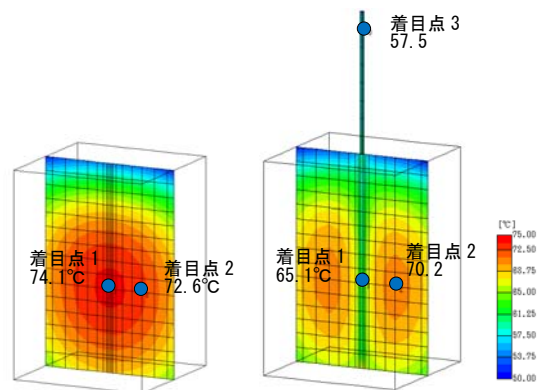
ヒートパイプの見かけの熱伝導率は 40000W/mK とし、密度および比熱については銅と同じとした。これは、ヒートパイプの解析モデルとして銅の約 100 倍の熱伝導特性を持つ要素として評価したものである。ヒートパイプの熱輸送特性は、温度条件や長さなどにより変化するが、ここでは一定値として設定した。

シース内の水の見かけの熱伝導率は 1.8W/mK と、一般的な熱伝導率の 3 倍の値となった。これは、水の対流の影響と金属シースの影響を含んだ値と考えられる。ヒートパイプの気中放熱部の表面熱伝達率は $20\text{W/m}^2\text{K}$ であり、一般的なメタルフォームの熱伝達率より大きい結果となった。今回使用しているヒートパイプのコンテナはステンレス製のコルゲート管であるため表面積が大きいことによる影響と考えられる。

コンクリート温度のピークを過ぎた状態からであるが、試験体 No. 2 のヒートパイプの表面露出部に扇風機を用いて送風を行い、放熱の促進を行った。扇風機の風速は約 5m/s であった。扇風機の送風によりヒートパイプ表面温度は 10°C 程度減少し、気中部の表面熱伝達率について同様の逆解析を行ってみると、今回の条件におけるヒートパイプの表面熱伝達率はおおむね $70\text{W/m}^2\text{K}$ という数値を得られた。

5. まとめ

- (1) ヒートパイプを利用したパイプクーリングは、コンクリートの水和熱による温度上昇量の低減が可能である。
- (2) ヒートパイプによるパイプクーリングの温度解析において、ヒートパイプの熱移動のメカニズムやシース内水の対流といった要素を見かけの熱伝導率に置き換えることで簡易的に解析できる。
- (3) ヒートパイプの表面露出部に送風を行うことで放熱を促進させ、クーリング効果を向上させることができる。



試験体 No. 1 クーリング無し 試験体 No. 2 クーリング有り

図-4 最高温度分布図(断面 A)

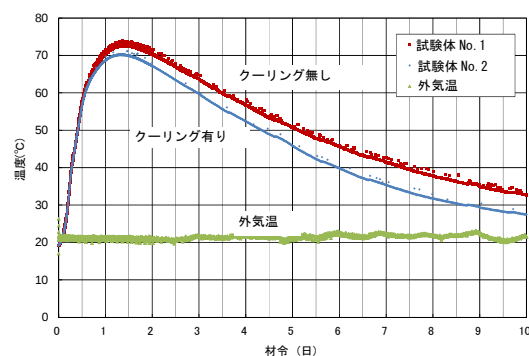


図-5 温度履歴の比較(着目点 2)

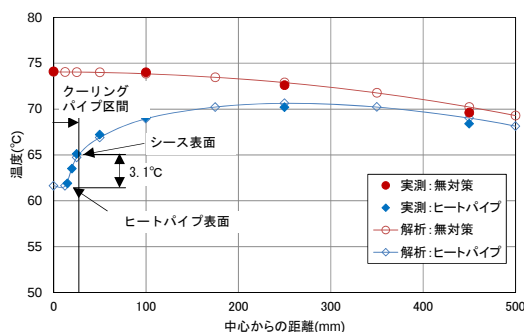


図-6 最高温度時温度分布(断面 B)