

ヒートパイプとアルミニウム材料を用いたクーリングに関する検討

フジタ 正会員 ○高橋 直希 小島 秋 平野 勝識 井手 一雄
日軽金アクト 田川 義孝

1. はじめに

コンクリートは硬化の過程において、セメントと水の反応による水和熱が生じ、コンクリートの内部の温度が上昇する。このため、特に部材寸法の大きい構造物では、温度勾配によってひび割れが発生する。温度ひび割れの対策の1つとして、ヒートパイプを用いたクーリング工法に関する報告も行われている¹⁾。ヒートパイプは、熱抵抗および熱容量が小さいために、小さな温度差で多量の熱輸送が可能である²⁾。本稿では、ヒートパイプと、熱伝導率の高い金属であるアルミニウム材料を用いた、新たなヒートパイプ(以下、アルミ製ヒートパイプ)の性能について述べるとともに、アルミ製ヒートパイプを適用した際のクーリング工法におけるコンクリートの温度低減効果について、温度解析による検討の結果を示す。

2. アルミ製ヒートパイプ単体の性能実験

2. 1 アルミ製ヒートパイプの概要

従来、ヒートパイプをコンクリート構造物に適用した際には、シース管およびシース管内の水を介して、コンクリートの内部の熱がヒートパイプに移動し、外気に曝された放熱部から熱を放出することでコンクリートの温度低減に寄与している。迅速な熱移動を可能とするヒートパイプの特徴を活かすためには、コンクリートからの熱が伝わる部分(以下、入熱部)と移動した熱を放出する部分(以下、放熱部)の性能が重要であり、入熱部および放熱部の形状や材質によって、ヒートパイプ全体としての性能が変化すると考えられる。そのため、熱伝導性の高いアルミニウム材料を使用し、入熱部はコンクリートからヒートパイプへ効率的に熱を取り込むために集熱パイプを、放熱部は集熱パイプから外部へ効率的に熱を放出するために放熱フィンを取り付けることとした。ヒートパイプのパイプ(コンテナ)の径はφ15mm、材質はアルミ材A1050とし、作動液はHFC-134aとした。集熱パイプおよび放熱フィンの材質はアルミ材A6063とし、形状は、図-1に示すようなものとした。

2. 2 実験方法および結果

ヒートパイプに集熱パイプを取り付けたもの(以下、フィン無しHP)と、集熱パイプと放熱フィンを取り付けたもの(以下、フィン有りHP)を作製し、ヒートパイプの重要な特性の1つである熱抵抗特性について検討を行った。実験は、図-2に示すように、集熱パイプの下部から1000mmの位置までヒーターを巻き付け、フィン無しHPのヒートパイプ表面の温度が60℃となるよう熱を与えることとし、ヒーターの上から断熱材を巻き付けることとした。ヒートパイプの熱抵抗は、蒸発部と凝縮部

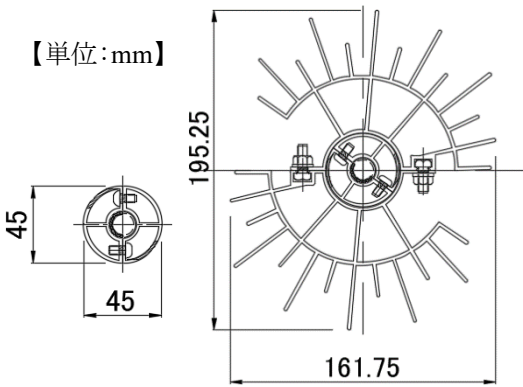


図-1 集熱パイプ(左)および放熱フィン(右)

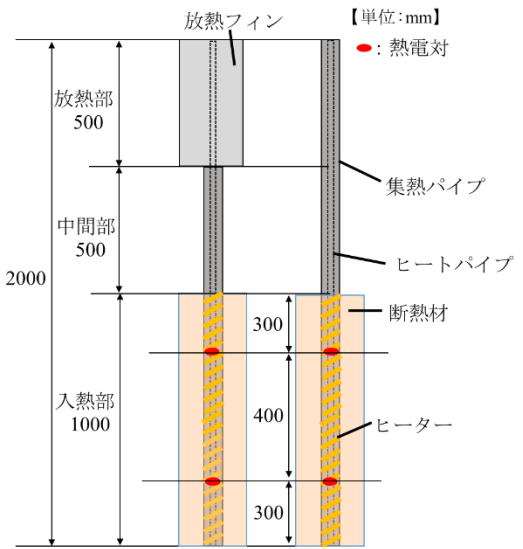


図-2 実験概念図

表-1 実験結果一覧

項目	温度(℃)		温度差 (℃)	入熱量 (W)	熱抵抗 (℃/W)
	入熱部	室内			
フィン無しHP	65.5	20.7	44.8	115	0.39
フィン有りHP	44.5	20.8	23.7		0.21

キーワード ヒートパイプ、クーリング、アルミニウム、熱抵抗、放熱フィン

連絡先 〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1 (株)フジタ技術センター TEL 046-250-7095

表-2 各物性値

項目	物性値		備考
コンクリート	熱伝導率(W/mK)	2.7	
	密度(kg/m ³)	2293	
	比熱(J/g°C)	1.15	
	W/C	0.57	
	単位セメント量(kg/m ³)	296	
フィン無しHP	熱伝導率(W/mK)	1700	
	熱伝達率(W/m ² °C)	3.5	放熱部、中間部
フィン有りHP	熱伝導率(W/mK)	3000	
	熱伝達率(W/m ² °C)	60	放熱部
		3.5	中間部

に生じる温度差を熱輸送量で除したもの³⁾であるが、本実験においてはヒートパイプ単体ではなく、フィン無し HP およびフィン有り HP 全体としての熱抵抗として評価するため、入熱部と実験室内の温度差を入熱量で除することにより算出した。

試験結果を、表-1 に示す。放熱フィンを取り付けることにより、入熱部の温度が 20℃以上低下した。さらに、熱抵抗はフィン無し HP に比べて半分程度になったことから、放熱フィンによる熱輸送能力の向上が確認できた。なお、ヒートパイプの熱輸送特性は、温度条件や長さによっても変化する²⁾ため、今後は実験的および解析的検討を進めていく予定である。

3. アルミ製ヒートパイプを用いた温度低減効果

作製したフィン無し HP およびフィン有り HP をコンクリートの試験体に適用した際の効果について、一般的な温度応力解析ソフトを用いて解析的に検討した。フィン無し HP およびフィン有り HP の各物性値を、表-2 に示す。フィン無し HP およびフィン有り HP の熱伝導率および熱伝達率は、実験により得られた温度計測の結果から算定し、密度および比熱については、一般的なアルミニウムと同様とした。想定したコンクリートの試験体は、1m×1m×1m の立方体、全面を厚さ 0.4m の断熱材(熱伝導率:0.036W/mK)で覆ったものとし、外気温は 20℃で一定とした。解析モデルを、図-3 に示す。フィン有り HP の解析モデルは、フィン無し HP と同様のものとし、熱伝導率および熱伝達率を変えることとした。

温度解析により得られた結果を、図-4 に示す。無対策の場合、温度が 66.1℃まで上昇しているのに対し、フィン無し HP では 63.8℃、フィン有り HP では 53.6℃となっている。したがって、フィン無し HP は 2.3℃、フィン有り HP は 12.5℃の温度低減効果が得られる結果となった。放熱フィンの取り付けにより、ヒートパイプが有する熱輸送能力を有効活用することができ、コンクリートの温度ひび割れ抑制の効果が期待できる。

4. まとめ

ヒートパイプと、熱伝導率の高い金属であるアルミニウム材料を用いた新たなヒートパイプの熱的特性を把握するための実験を実施し、放熱フィンによる性能向上効果を確認した。さらに、本実験の条件下で得られた物性値を用いて、コンクリートでの適用を解析的に検討した結果、放熱フィンを取り付けた場合、無対策のものと比較して、10℃以上の温度低減効果が確認されたため、コンクリートの温度ひび割れ対策に有効であると考えられる。

参考文献

1) 伊吹真一ほか：ヒートパイプを利用したパイプクーリング，コンクリート工学年次論文集，Vol. 36，No. 1，pp. 1500-1505，2014. 6
2) 高岡道雄ほか：長尺ヒートパイプの開発とヒートパイプの応用製品，藤倉電線技報，第 68 号，pp. 50-63，1984. 12
3) 伊藤謹司：ヒートパイプ Heat Pipes，学献社，pp. 48-76，1978

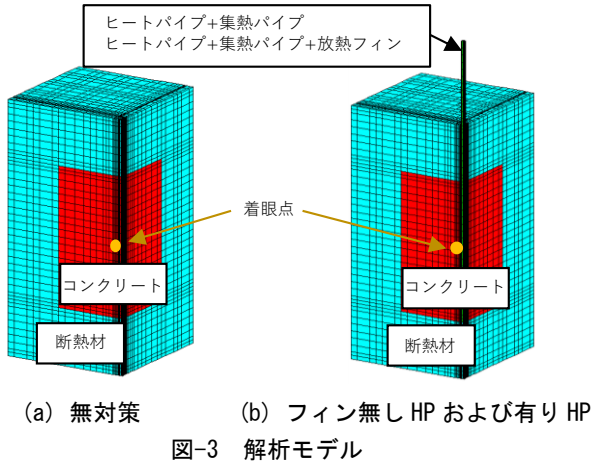


図-3 解析モデル

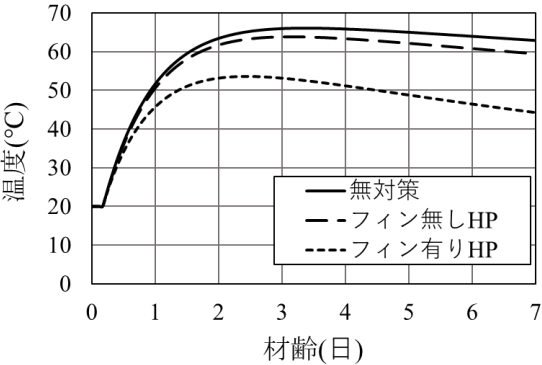


図-4 温度履歴比較 (着眼点)