

ヒートパイプとアルミ材を用いたクーリング工法の効果の検証と解析手法の検討

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

コンクリートの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が行われている^{1,2)}。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³⁾。著者ら²⁾は、ヒートパイプの高い熱伝導性を生かすため、熱伝導性が高く、形状の自由度が有り軽量であるアルミニウム材料を用いて、集熱性と放熱性を向上させた新たなヒートパイプ(以下、アルミ製ヒートパイプ)を開発した。本稿では、アルミ製ヒートパイプのコンクリートにおけるクーリング効果の検証結果を示す。また、クーリング時のコンクリート温度の推定は、温度ひび割れを考えるうえで重要な項目である。そこで、アルミ製ヒートパイプの性能試験から得られた熱伝導率と、熱流体解析によって得られた熱伝達率を用いて、一般的な非定常熱伝導解析ソフトによる解析を実施し、実験結果との比較により解析手法の妥当性を検討した。

2. アルミ製ヒートパイプのクーリング効果の検証

2. 1 実験概要

使用するアルミ製ヒートパイプは、全長2mであり、φ15mmのヒートパイプと、φ45mmの集熱パイプを一体化した棒状の構造とし、全長2mのうち上部先端の0.5mには放熱フィンを取り付けた構造とした。集熱パイプおよびアルミ製ヒートパイプの構成を、図-1に示す。コンクリート試験体の寸法は1m×1m×1mの立方体とし、型枠は木製とした。マスコンクリートを模擬するため、コンクリートの周囲を厚さ400mmの断熱材により被覆することとし、側面および底面の断熱材はあらかじめ設置、上面はコンクリートの打込み完了後に被覆した。また、直径50mmのシース管はコンクリートの中央にあらかじめ設置し、コンクリートの打込み後にアルミ製ヒートパイプを挿入し、管内を水で充填した。試験は、“クーリング無し”と、“クーリング有り”の2種類として、比較を行った。試験体の断面と温度比較位置を、図-2に示す。なお、今回使用したコンクリートの配合を、表-1に示す。

放熱フィン部分は大気との間に熱の出入りがある熱伝達境界であり、熱伝達境界の特性である熱伝達率は、周囲の風速によっても変化する。本実験においては、屋外での使用を想定し、風速が2~3m/sとなるよう調整した。

2. 2 実験結果

中心からの250mmの地点における温度履歴の比較を、図-3に示す。クーリングの有無によるコンクリート内部の各計測位置の最高温度の比較を、図-4に示す。“クーリング無し”の場合、断面内の最高温度はほぼ一定であるが、

キーワード ヒートパイプ、放熱フィン、アルミニウム、クーリング、熱抵抗

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

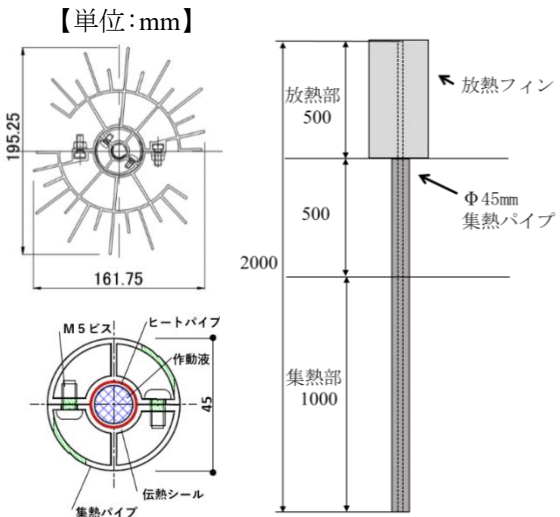


図-1 放熱フィン（左上）、集熱パイプ（左下）アルミ製ヒートパイプ構成概念図（右）

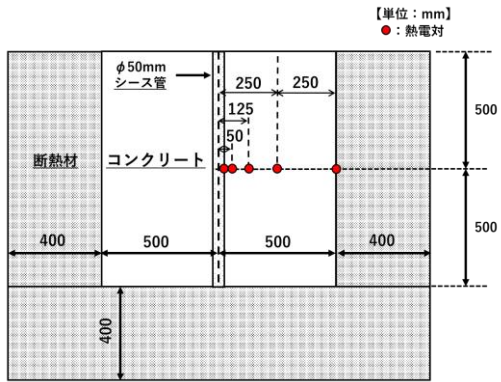


図-2 試験体断面の概要図

表-1 配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
		W	C	S	G
58.3	46.3	170	292	838	990

“クーリング有り”の場合には、断面内には温度勾配が生じ、アルミ製ヒートパイプに近いほど最高温度が低下した。また、各計測位置の最高温度をもとに算出した断面平均温度は、“クーリング無し”で56.9℃，“クーリング有り”で47.1℃であり、アルミ製ヒートパイプによって、コンクリート内部の温度は約10℃低下した。

3. 解析手法の検討

3. 1 物性値の算出

アルミ製ヒートパイプを用いた際のコンクリート温度を推定することを目的に、実験で得られた熱伝導率と、熱流体解析により得られた熱伝達率を用いた数値解析を実施し、実験結果との比較により解析手法の妥当性を検討する。

熱伝導率 λ (W/m℃)については、式(1)を用いて算出した。

$$\lambda = L/RA \tag{1}$$

ここで、 L (m)は長さ、 R (℃/W)は熱抵抗、および A (m²)は断面積である。熱伝導率は、集熱部から放熱部までの鉛直方向の熱の伝わりやすさとして考慮するため、放熱フィンを除いたヒートパイプおよび集熱パイプの物性値として評価する。長さは集熱部と放熱部の各中間点の距離である1.25(m)とし、断面積は、φ15mmのヒートパイプを含むφ45mmの集熱パイプ部分として、 1.6×10^{-3} (m²)とした。また、熱抵抗はアルミ製ヒートパイプ単体の性能試験結果²⁾から算出する。アルミ製ヒートパイプの試験結果を、表-3に示す。熱抵抗の算出は、アルミ製ヒートパイプの入熱部と放熱部の各平均温度の差を入熱量で除すこととし、入熱量によって違いがあることから、平均値である0.057(℃/W)として熱伝導率を算出した。

集中熱伝達率 h (W/℃)については、式(2)により算出した⁴⁾。

$$h = A_0 \times \eta \tag{2}$$

ここで、 A_0 (m²)は放熱面積、 η (W/m²℃)は表面熱伝達率である。なお、実験期間中の風速の平均値は2.8(m/s)である。風速を考慮した熱流体解析により、放熱面積は1.125(m²)、熱伝達率は22.95(W/m²℃)となる。

解析に用いた物性値を、表-2に示す。

3. 2 実験結果と解析値の比較

前節で算出した物性値を用いた解析値と実験値の比較を、図-5に示す。温度履歴は、比較的良く一致しており、この他の温度計測位置においても同様の結果となっている。したがって、アルミ製ヒートパイプの性能試験の結果から算出した物性値と、熱流体解析によって算出した熱伝達率を用いることで、アルミ製ヒートパイプを使用した場合のコンクリート内部の温度を精度よく推定可能であることがわかった。

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) 高橋直希ほか：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，土木学会第 75 回年次学術講演会，V-68，2020
3) 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
4) 伊吹真一ほか：ヒートパイプを用いたパイプクーリングの 1 次要素を用いた温度解析，土木学会第 70 回年次学術講演会，V-358，2015

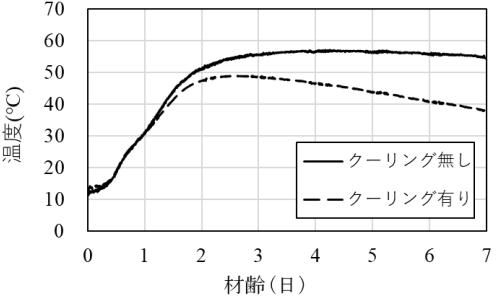


図-3 温度履歴

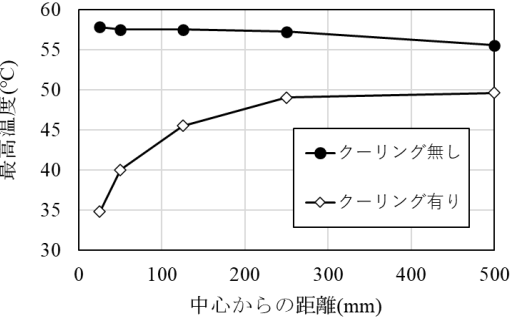


図-4 各計測位置における最高温度

表-2 解析に用いた物性値

項目	物性値	
コンクリート	熱伝導率(W/m℃)	2.7
	密度(kg/m ³)	2290
	比熱(J/g℃)	1.15
	W/C	0.58
	単位セメント量(kg/m ³)	292
アルミ製ヒートパイプ	熱伝導率(W/m℃)	13700
	集中熱伝達率(W/℃)	25.8

表-3 アルミ製ヒートパイプの試験結果

入熱量 (W)	温度(℃)		温度差 (℃)	熱抵抗 (℃/W)
	入熱部	放熱部		
49.3	39.4	36.4	3.0	0.061
115.5	65.5	59.5	6.0	0.052

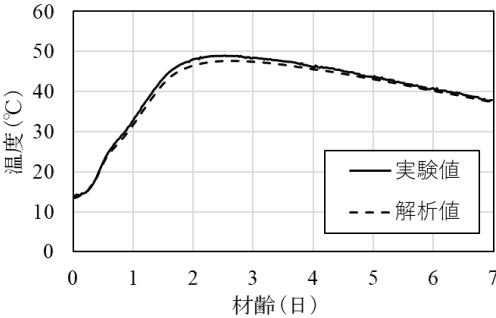


図-5 温度履歴比較(中心からの距離:250mm)