

ヒートパイプを用いたパイプクーリングの1次元要素を用いた温度解析

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

株式会社計算力学研究センター 正会員 吉川信二郎

1. 目的

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^{1),2)}がある。ヒートパイプを用いたパイプクーリングの検討を3次元FEMによる温度応力解析で行う場合、ヒートパイプ周囲の要素サイズが小さいため、解析モデルが煩雑となっている。そこで、解析モデルを簡素とするためヒートパイプを棒状の1次元要素で表せるように温度応力解析ソフト「ASTEAMACS」の改良を行い、その解析結果の検討を行った。

2. 工法の概要

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、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ことによる³⁾。

ヒートパイプを用いたパイプクーリングは、図-1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送風機等で冷却し放熱作用を増強することにより熱移動が促進され、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⁴⁾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、必要な部位のみのコンクリート温度を制御することができる。

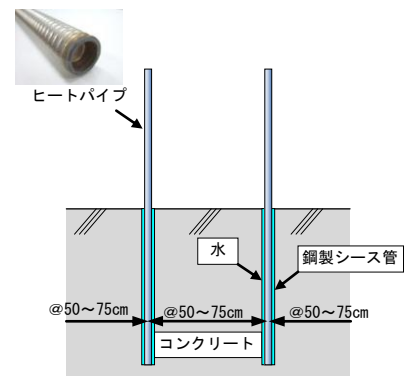


図-1 概念図

3. ヒートパイプ1次元要素の導入

ヒートパイプを用いたパイプクーリングを3次元FEMによる温度応力解析で行う場合、50mm程度の鋼製シースに直径27mmのヒートパイプを挿入し、シース内に水を充填させることから、図-2に示すようにヒートパイプ周囲の解析モデルが煩雑となっている。そこで、ヒートパイプを棒状の1次元要素としモデルが簡素になるようにした。

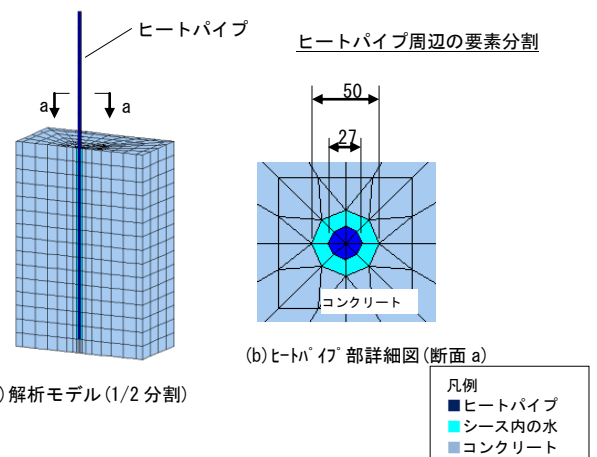


図-2 従来の解析モデルの例

従来の3次元FEM温度応力解析システムに、節点トラス要素に2節点熱伝導の特性値(等価断面積・熱伝導率・熱容量)を指定可能とすることによりヒートパイプ1次元要素とした。ヒートパイプ1次元要素は熱伝導率・熱容量は一定値の入力となるが、稼働時間を指定することにより、ヒートパイプを挿入しクーリングを実施している期間を設定できる。

解析ソフトのFEM解析システムの仕様では1次元要素は、3次元要素モデル内しか配置することができない。そのため、ヒートパイプの空气中に突出した放熱区間は、図-3に示すモデル表面の1次元要素の端部境界に集中熱伝達率 h を与え、ヒートパイプの放熱を模擬することとした。集中熱伝達率 h は、次式より算出する。

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、温度応力解析

連絡先 〒286-0825 千葉県成田市新泉 9-1 鉄建建設株式会社 研究開発センター TEL 0476-36-2334

$$h = A_0 \times \eta \quad (\text{W}/^\circ\text{C})$$

ここで、表面熱伝達率 : η ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$)

放熱面積 : $A_0 = \pi R \times L + \pi R^2/4$ (m^2)

ヒートパイプ直径 : R (m)

ヒートパイプ放熱区間長 : L (m)

集中熱伝達率 h はヒートパイプ 1 次元要素系列の端部境界上の節点に与え、熱伝達と外気温の時間変化を可能としている。なお、次の打設ロットとしてコンクリート要素が出現し集中熱伝達率を与えた点が端部境界でなくなると、その系列の 1 次元要素の熱伝導機能は停止する。

4. 解析結果の比較検討

マスコンクリートを模擬した模型試験体の温度計測結果¹⁾を例に、ヒートパイプ 1 次元要素を用いた簡易モデルと従来モデルの温度解析結果の比較を行った。ヒートパイプ等の熱物性値は模型試験で得られたものを使用した。

温度解析より得られた従来モデルと簡易モデルの最高温度分布図を図-4 に示す。ヒートパイプ 1 次元要素を使用した簡易モデルと従来モデルの温度分布は概ね一致しており、試験体の最高温度を比較すると、従来モデルおよびヒートパイプ 1 次元要素を用いた簡易モデルともに 70.6°C であった。

図-5 に断面 A の最高温度時の温度分布を示す。クーリングパイプの周囲のコンクリート温度はいずれの解析モデルの結果も実測値との差異は小さい。ヒートパイプ 1 次元要素を用いたモデルは、シース内の水は考慮していないが、従来モデルと概ね同等の温度解析結果が得られた。

5. まとめ

- (1) ヒートパイプ 1 次元要素を導入することにより、より容易にヒートパイプを用いたパイプクーリングの温度応力解析モデルを作成できるようになった。
- (2) 気中の放熱区間は、ヒートパイプ 1 次元要素の端部境界に表面熱伝達率や長さを考慮した集中熱伝達率を用いて表現した。
- (3) ヒートパイプ 1 次元要素を用いた簡易モデルは、シース内の水は考慮していないが、従来モデルと概ね同等の温度解析結果が得られることが確認できた。

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, コンクリート工学年次論文集, Vol. 36, No. 1, pp. 1500-1505, 2014. 6
- 2) 高須賀伸生, 船本恵一, 前田智宏, 伊吹真一: ヒートパイプを利用したパイプクーリングの施工報告, 第 23 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 17-20, 2014. 10
- 3) 高岡道雄, 馬渡恒明, 坂谷益司, 望月正孝, 益子幸一, 伊藤雅彦: 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, pp50-63, 1984. 12
- 4) (社)日本コンクリート工学協会, マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008

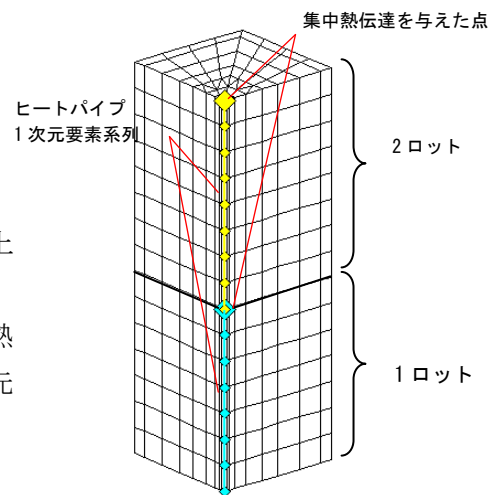


図-3 ヒートパイプ 1 次元要素のモデル例

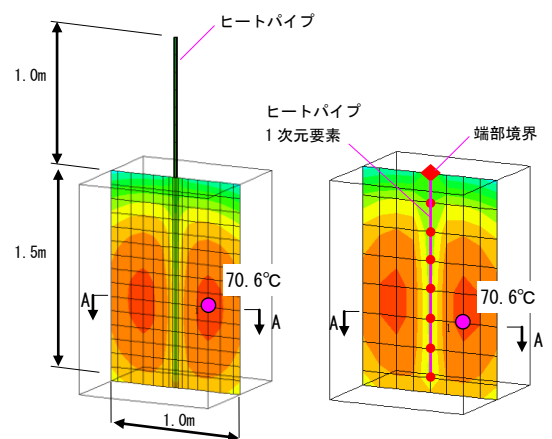


図-4 最高温度分布図の比較

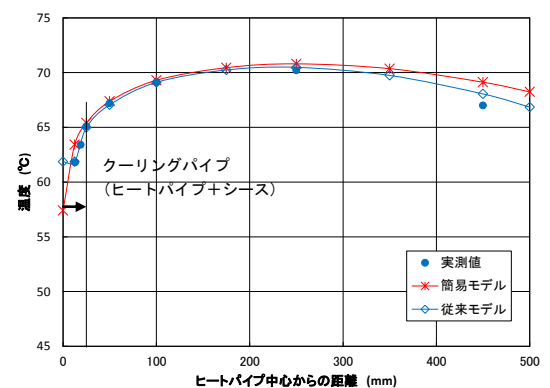


図-5 最高温度時温度分布(断面 A)