

III-552 凍結管の熱伝達係数に関する実験と評価

飛島建設(株) 構造技術部 正 近久 博志
 飛島建設(株) 構造技術部 正 藤原 雅博
 飛島建設(株) 構造技術部 正 中原 博隆
 飛島建設(株) 構造技術部 正〇小野 一博

1. はじめに

地盤凍結工法は、凍結管に冷凍液を循環させることにより凍結管周囲の地盤を冷却し、凍土を造成させる工法である。地盤凍結工法の設計を行う場合、凍結管の熱伝達係数の評価は重要な項目になると考えられる。本論文では、有限要素法による非定常低温熱伝導解析に非線形計画法を応用した逆解析手法を用い、実験結果から凍結管の熱伝達係数を同定することによって、本手法の適用性を示すとともに、同定した凍結管の熱伝達係数について考察をするものである。

2. 実験

(1) 実験装置

実験に用いた装置を図-1に示す。供試体は、熱電対が埋設された直径100cm、高さ90cmの円柱状のモルタルであり、中央部に冷却・解凍用の凍結管（外径 101.6mmのガス管）を設置した。実験中、供試体は鋼製型枠を取り付け、周囲に断熱材を巻いた。実験に使用した供試体と木材の熱特性および供試体の配合を表-1と表-2に示す。

(2) 実験方法

供試体の内部温度が安定したことを確認した後、凍結管に約 -30°C のブライン（冷凍液）を25日間循環し、供試体を凍結させた。その後、凍結管に約 70°C の温水を2日間循環し、供試体を解凍させた。今回は、この期間の内、冷却開始から4日間と解凍開始から約1日間の解析について報告する。

(3) 実験結果

供試体に埋設した熱電対によって、供試体の内部温度を計測した。内部温度の計測結果を図-2～図-5に示す。

表-1 供試体と木材の熱特性

	供試体	木材
密度 (kg/m^3)	2,232	430
比熱 ($\text{kcal}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)	0.321	0.310
熱伝導率 ($\text{kcal}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$)	1.92	0.171

表-2 供試体の配合

	セメント	水	細骨材
単位質量 (kg/m^3)	433	285	1514

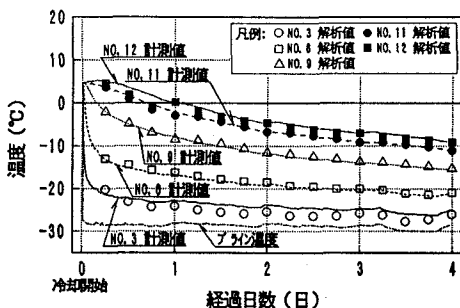


図-2 供試体内温度経時変化（冷却時）

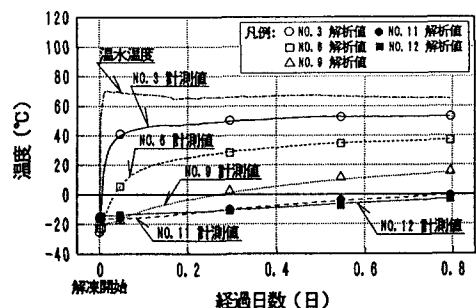
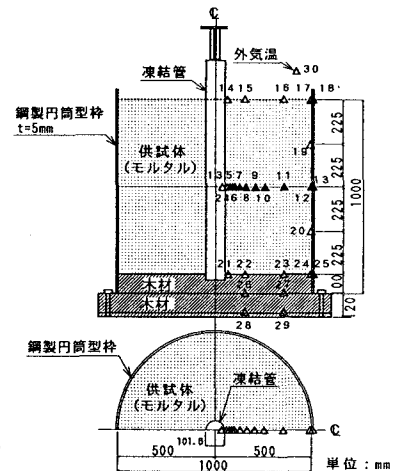


図-3 供試体内温度経時変化（解凍時）



注：△▲印は、計測点を表す（30点）。
 ・▲印は、解析に使用した計測点を表す（10点）。
 ・図中数字は、熱電対番号を表す。

図-1 実験装置

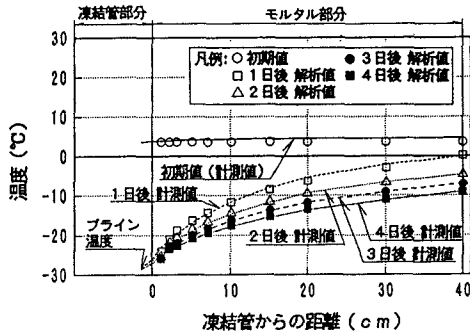


図-4 供試体内温度分布(冷却時)

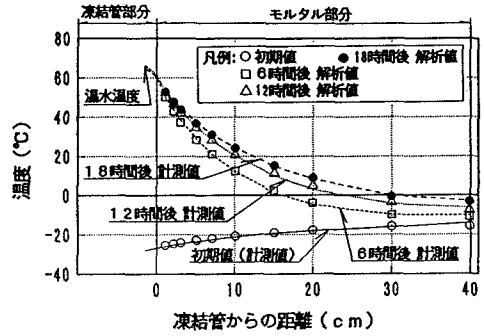


図-5 供試体内温度分布(解凍時)

なお、比較のため、同図には解析結果も示す。ここで、図-2と図-3の横軸(経過日数)は、ブラインと温水の循環開始時刻を原点とした。また、図-4と図-5の横軸(凍結管からの距離)のマイナス側は、それぞれブラインと温水の温度を示す。

3. 解析

前述の供試体に対して、図-6に示すような有限要素法の軸対称モデルを用いて解析を行った。使用したモデルの節点数と要素数は、それぞれ223と192である。また、凍結管の部分は、通水温度を外部温度とし、その他の周囲は、外気温を外部温度とする熱伝達境界として評価した。

図-6に▲印で示した10測点の温度計測結果を基にして、熱伝達境界として評価した供試体の3面(上面、側面、下面)と凍結管部分の熱伝達係数を同定した。前述の解析対象時間に対し、6時間毎に同定したため、結果として得られた熱伝達係数は6時間毎の平均的な値を示すことになる。解析に用いた供試体と木材の熱特性を表-1に示す。

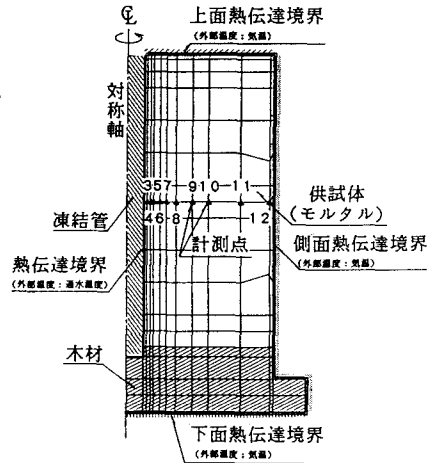
4. 解析結果

図-2～図-5に示したように、各計測点は、急激かつ非定常な温度変化を示しているにもかかわらず、冷却時、解凍時ともに、同定に用いた各計測点の温度は、比較的精度よく解析された。図-7に示したように、同定した凍結管の熱伝達係数の平均値は、冷却時と解凍時がそれぞれ192と196 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)となり、ほぼ同じような値が得られた。

5. おわりに

今回の実験と解析から、同定した凍結管の熱伝達係数は、冷却時と解凍時にに関わりなく190($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)程度となった。また、逆解析手法を用いれば、非定常状態における温度計測結果から、凍結管の熱伝達係数を容易に効率よく同定できることがわかった。今後は、凍結工法の現場計測を実施し、同様の手法によるデータの評価を予定している。今回の研究が凍結工法の設計の一助となれば幸いである。

【参考文献】 1)近久、津崎、荒井、桜井:「マスコリートの熱伝導解析への逆解析の適用」,第43回土木年次学術講演会,1988.10. 2)近久、津崎、中原、筒井:「ハイトレーシングの熱伝達係数に関する室内実験と評価」第14回コンクリート工学年次講演会,1992.6. 3)近久、藤原、中原、小野:「凍結工法における地盤の熱特性の評価」第27回土質工学研究発表会,1992.6.



図中数字は、熱電対番号を表す。

図-6 解析モデル

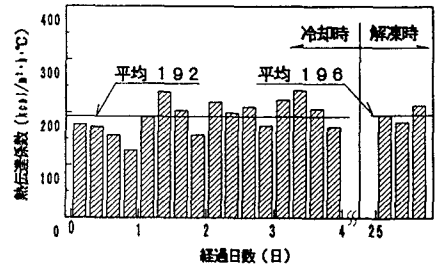


図-7 同定した凍結管の熱伝達係数