

簡易装置と熱伝導解析の併用による断熱温度上昇特性の推定手法に関する基礎的検討

富山県立大学

○田治 愛里 (学生会員) 伊藤 始 (正会員)

1. はじめに

コンクリート構造物では、セメントの水和熱による温度上昇に伴い温度ひび割れが発生し、耐久性の低下を招く場合がある。土木学会コンクリート標準示方書¹⁾では、部材寸法の大きいマスコンクリートの設計や施工の際に、温度ひび割れ発生を予測して、制御することが示されている。その予測において、セメントの水和熱を表す物性値が断熱温度上昇特性である。

従来の断熱温度上昇試験装置は、コンクリート供試体の温度をもとに周辺温度をヒーターなどで制御する方式である。しかし、この方式は施工現場での適用は不向きである。そのため、本研究では現場等で比較的簡単に断熱温度上昇特性を把握することができる発泡スチロールを用いた簡易装置を用いる。この簡易装置と熱伝導解析を用いたコンクリートの断熱温度上昇特性の推定手法の構築を研究の目的とした。

2. 研究方法

(1) 保温型枠の性能試験

保温型枠の性能試験として保温型枠の厚さを 50、100、150 mm と変化させ、適切な保温型枠の厚さと解析における熱伝導率の入力値を調べる試験を行った。200×200×200mm のコンクリート供試体を内部の温度が 50℃ になるまで温めた。この供試体を保温型枠内に設置し、20℃ の恒温槽で温度を計測した²⁾。

(2) 簡易断熱温度上昇試験

簡易断熱温度上昇試験では発泡スチロールで作製した保温型枠に 200×200×200mm のコンクリートを打ち込み、熱電対を用いてコンクリート内部および空気層の温度を計測した。セメントは普通ポルトランドセメントを用い、セメント量は 294 kg/m³、打込み温度は 22.4℃ である。試験は空気層の有無を変えた 2 ケースを行った (図-1)。熱電対はコンクリート内部に 3 ケ所、空気層に 4 ケ所設置し、20℃ の恒温槽で計測を実施した。

(3) 熱伝導解析を用いた推定

熱伝導解析として順解析と逆解析を行った。順解析は解析モデルに解析条件を入力して結果を得る手

法である。一方で、逆解析は計測データから未知の解析条件を推定する手法であり、温度ひび割れ判定の精度向上に役立てることができる。今回の順解析には土木学会式を用い、逆解析には簡易断熱温度上昇試験における温度の観測値を入力し、逆解析の結果として断熱温度上昇特性を導き出した。

3. 結果

(1) 保温型枠ごとの温度低下量

図-2 にコンクリート中心温度と外気温の温度差 (℃) と温度低下量 (℃/min) の関係を示す。これより厚さ 50 mm では温度低下量が大きい、100 mm と 150 mm では大きな差がないことがわかる。保温性能と簡便性から発泡スチロールを用いた保温型枠の適切な厚さを 100 mm とした。また、解析における熱伝導率の入力値の推定はパラメータスタディを行い、0.108W/m℃ とした。

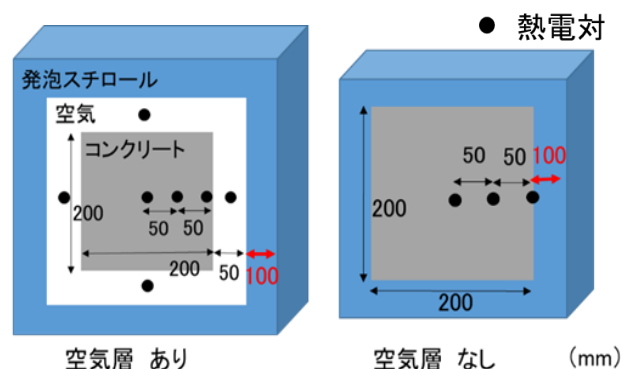


図-1 簡易装置

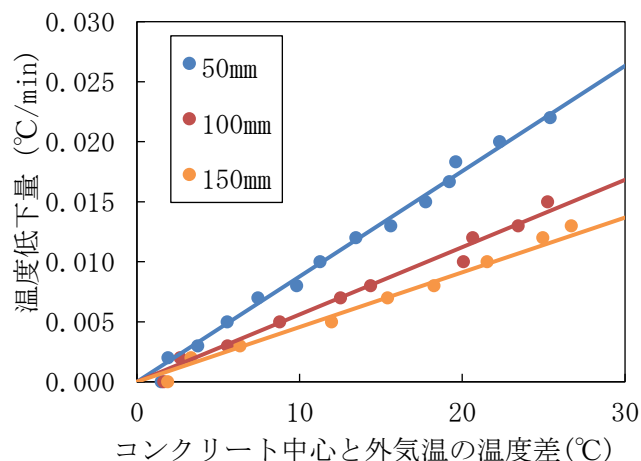


図-2 保温型枠の性能試験の結果

(2) 簡易試験における温度履歴

厚さ 100 mmの保温型枠を用いて簡易断熱温度上昇試験を実施した。試験結果を図-3 に示す。両ケースのコンクリートの温度は、打込み後約 1 日で最高温度に達し、その後低下し、打込み後約 8 日ではほぼ恒温室内の温度と同様になった。空気層ありでは約 15℃、空気層なしでは約 25℃の温度上昇が見られた。

(3) 順解析の温度履歴

空気層ありのケースで、順解析の入力値として空気層の温度履歴を入力している。そのため、空気層なしのケースに比べて空気層ありのケースの方が試験と順解析における温度の整合性が高い。また、解析条件として土木学会の断熱温度上昇特性を入力しているため、試験と順解析に温度差が生じた。

(4) 逆解析の推定結果

逆解析を用いた推定結果を図-3 に示す。空気層ありのケースは試験、順解析、逆解析ともに同様の温度履歴を示した。一方で、空気層なしのケースは順解析に比べ、逆解析を用いることにより試験の温度履歴の値に近づいていることがわかる。このように、逆解析による推定を行うことで簡単に断熱温度上昇特性を求めることができる。

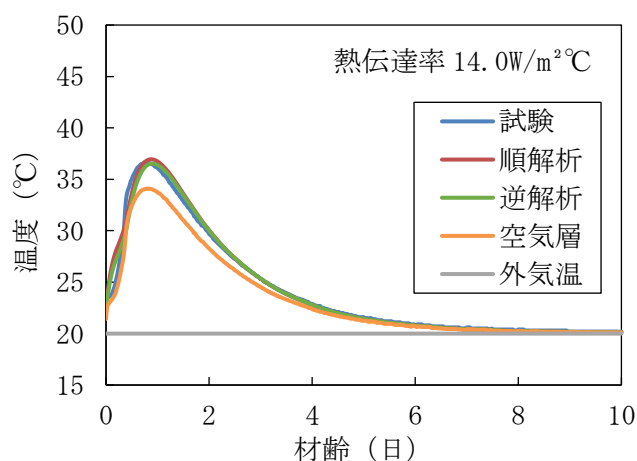
(5) 熱伝達率の検討

図-4 は逆解析において熱伝達率を変化させたときの断熱温度上昇特性である。熱伝達率を $14.0\text{W/m}^2\text{℃}$ 、 $16.3\text{W/m}^2\text{℃}$ と変化させ、材齢 4 日までの試験結果を用いて逆解析を行った。空気層ありのケースで熱伝達率を変化させたとき、曲線が変化することがわかる。そして、熱伝達率 $16.3\text{W/m}^2\text{℃}$ を用いたケースの曲線が土木学会の断熱温度上昇特性の曲線に近くなった。これより、簡易装置で熱伝導解析を行う際は熱伝達率の設定が重要であることがわかる。

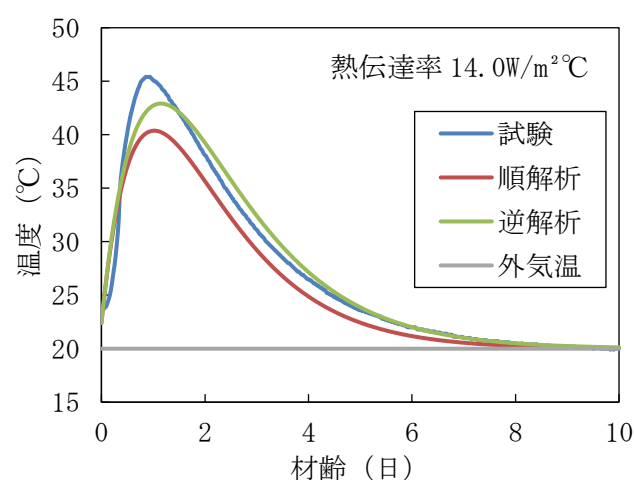
4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 保温性能と簡便性から保温型枠の適切な厚さを 100 mmとした。
- (2) 逆解析により試験の温度履歴に近づけることができる。
- (3) 断熱温度上昇特性は熱伝達率の影響を受ける。
- (4) 空気層ありの簡易装置を用い、熱伝達率 $16.3\text{W/m}^2\text{℃}$ で逆解析をしたとき、断熱温度上昇特性が土木学会の曲線に近くなった。



(a) 空気層 あり



(b) 空気層 なし

図-3 温度履歴曲線

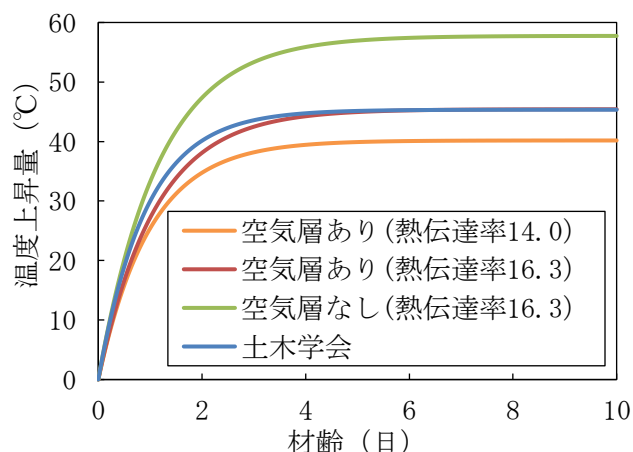


図-4 断熱温度上昇特性

参考文献

- 1) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準〕、pp. 175-181、2017.
- 2) 吉武勇、中村秀明、谷本俊夫、浜田純夫：現場利用可能なマスコンクリートの簡易断熱温度上昇測定法の提案、土木学会論文集、No. 606/V-41、pp. 103-110、1998. 11.