

赤外線法によるコンクリート内部欠陥検出の合理化に向けた熱伝導解析の適用検討

中央コンサルタンツ株式会社（前 富山県立大学） 正会員○伊藤 諒磨

富山県立大学

正会員 伊藤 始 長島 凜々華

北電技術コンサルタント株式会社

松谷 悟 白上 新 正会員 橋本 徹

1. はじめに

内部にはく離などの欠陥が存在するコンクリート構造物を赤外線カメラで撮影すると、欠陥部の空気層が断熱層となって熱流を遮断することで、欠陥部と健全部でコンクリート表面に温度差が生じて撮影される。この欠陥部の判定手法を赤外線サーモグラフィ法（以下、赤外線法）という。この手法は、非接触で対象の構造物を点検できることや、一度に広範囲を撮影できることから、より効率的な点検が可能になる特徴をもつ手法である。しかし、測定時の天候や季節、温度の日変動などの環境要因による影響が大きく、測定結果がそれらの要因で変動するため、欠陥部の状態を正確に捉えることが難しく、赤外線法のみでの定量的な点検は困難である。そのため、欠陥部の検出精度の向上や内部欠陥を判定できるだけの表面温度差があるかを確認するための測定環境の評価が課題とされている。

本研究では、内部欠陥の検出精度向上や測定環境の評価に向けて内部欠陥を模擬した熱伝導解析を実施し、熱伝導解析の精度や、測定環境の事前評価について検討した。

2. 実験方法

図-1 に使用したコンクリート供試体の概要を示す。供試体寸法は、 $200 \times 200 \times 250\text{mm}$ であり、内部欠陥として広さ $100 \times 100\text{mm}$ 、厚さ 4mm の発泡スチロールを深さ 10, 20, 30, 40mm に埋め込んだ内部欠陥供試体と熱電対を埋め込んだ健全供試体の計 5 体を用意した。供試体表面からの反射を抑制するために、表面に厚さ 1mm 程度のセメントペーストを塗布し、供試体の側面には厚さ 50mm の発泡スチロールを貼り付け、側面からの熱の流入出を制限した。

図-2 に供試体の設置方法を示す。供試体を図-2 のように設置し、供試体内部の温度を外気温に追従するように測定日前日 17 時頃から測定開始時刻まで静置し、

内部温度、外気温、日射量、および熱画像を 15 分間隔で測定した。測定時間は 8:00~18:00 の 10 時間とした。また、供試体表面の方位を南として 3 回の測定を実施した。

3. 熱伝導解析方法

解析モデルは供試体の 2 分の 1 モデルとし、熱伝達境界に相当外気温を用いて解析した。相当外気温とは日射を加味した見掛け上の外気温のことであり、式(1)によって求められる¹⁾。

$$\text{相当外気温 } t_e = t_0 + \frac{aI}{\alpha_0} \quad (1)$$

ここで、 a : 外壁外表面の日射吸収率[-], I : 外壁面に入射する日射量 $[\text{W}/\text{m}^2]$, α_0 : 外気側総合熱伝達率 $[\text{W}/\text{m}^2\text{C}]$, t_0 : 外気温 $[\text{C}]$

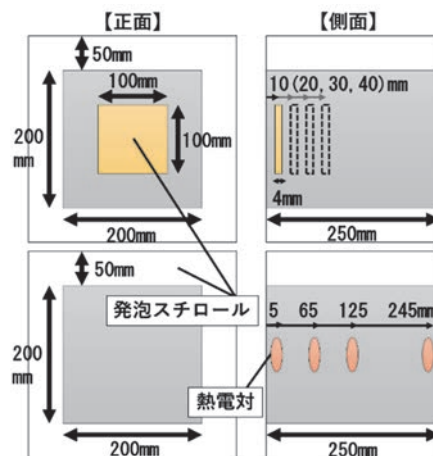


図-1 供試体の概要

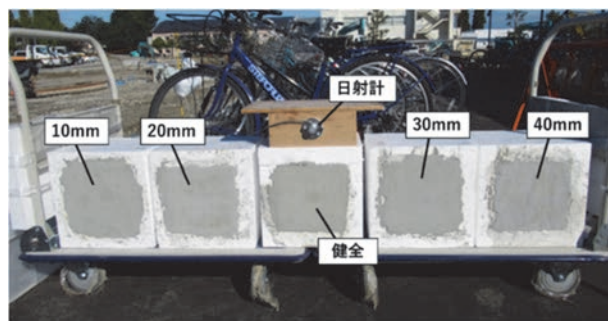


図-2 供試体の設置方法

キーワード 赤外線サーモグラフィ法, 熱伝導解析, 測定環境の評価, 相当外気温, 表面温度差

連絡先 〒939-0398 富山県射水市黒河 5180 富山県立大学 環境・社会基盤工学科 TEL 0766-56-7500

本研究では、 α はコンクリート表面の色を考慮して 0.6 で一定とし、 α_0 は $14\text{W/m}^2\text{C}$ とした。 t_0 は実測値と予想値とし、 I は実測値と予想値を傾斜角等で補正した値を使用した。 t_0 と I の実測値を用いた解析の値を解析値、予想値を用いた解析の値を予想解析値と記す。

4. 実験値と解析値の比較

図-3 に欠陥深さ 10mm における表面温度の実験値と解析値、予想解析値を示す。供試体中央の $100\times 100\text{mm}$ における表面温度の平均値を欠陥部の表面温度、供試体全体 ($200\times 200\text{mm}$) の表面温度の平均値を全体の表面温度とした。解析値は、14 時頃まで実験値と類似した挙動を示した。予想解析値は、実験値と解析値に比べて低い値を示した。

図-4 に欠陥深さ 10, 40mm における欠陥部の表面温度差の実験値と解析値、予想解析値を示す。欠陥部の表面温度差は、欠陥部の表面温度から全体の表面温度を引いた値とし、表面温度の実験値と解析値が類似した 8 時から 14 時の表面温度差を記載した。欠陥深さ 10mm のケースは実験値の方が大きく、欠陥深さ 40mm のケースは実験値の方が小さくなった。実験値と解析値で差が生じた要因として、式(1)で一定値とした α と α_0 に差異が生じていることが考えられる。

表面温度差の実験値と解析値、予想解析値の相関関係から、どのケースにおいても、相関が見られた。そのため、実験値と解析値、予想解析値はおおむね類似した挙動を示し、予想の外気温、日射量を用いることで、事前に表面温度差の挙動を把握可能であることが確認できた。

5. 熱伝導解析によるメカニズム分析

図-5 に 14 時における欠陥深さ 10, 40mm の温度分布図を示す。欠陥部付近の内部の熱流は、欠陥部裏面付近に回り込むように挙動し、欠陥深さが深くなるほど欠陥部で遮断されずに周囲に拡散される熱流が増加するため、表面から欠陥部付近に熱が溜まりにくくなっている。欠陥部で遮断される熱と欠陥部裏面付近に回り込む熱流が表面温度に影響を与えていることから、それらを正確に捉えることが重要である。

6. まとめ

(1)欠陥深さ 10mm のケースの表面温度差は実験値の方が解析値に比べが大きく、欠陥深さ 40mm のケースの表面温度差は実験値の方が小さかったが、おおむね類似した挙動を示した。

(2)予想解析値より、事前に表面温度差の挙動を把握可能であることが確認できた。

(3)熱伝導解析による内部欠陥供試体の内部の熱流は、欠陥部に遮断される熱と欠陥部裏面付近に回り込む熱流が存在し、それらを正確に捉えることが重要である。

参考文献

- 1) 武田仁, 胡震洪: 光触媒利用付け日除けスクリーンによる建物温熱環境評価, 日本建築学会技術報告集, 第 22 号, pp285-289, 2005.12

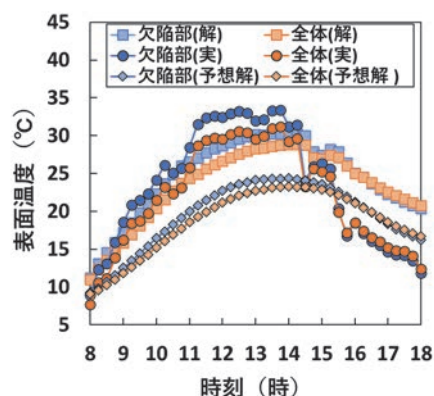


図-3 表面温度の実験値と解析値、予想解析値
(欠陥深さ 10mm)

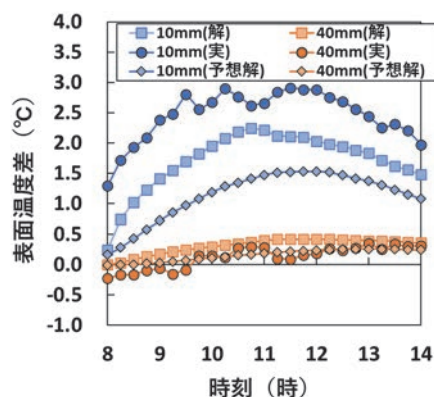


図-4 表面温度差の実験値と解析値、予想解析値
(欠陥深さ 10, 40mm)

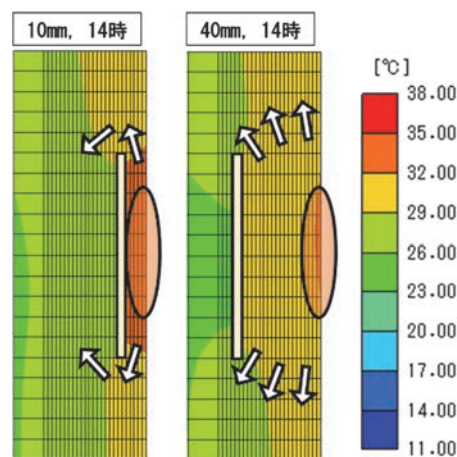


図-5 欠陥深さ 10, 40mm の温度分布図 (14 時)