

赤外線法と熱伝導解析の組合せによるコンクリート床版上面の欠陥深さ推定に関する検討

富山県立大学

学生会員○伊藤 諒磨 正会員 伊藤 始

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ができることから、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欠陥深さの推定手法の確立が課題とされている。

込山ら¹⁾は、日射量を加味する相当外気温の概念から、赤外線法の欠陥深さの適用限界を実験的に検討した。赤外線法の測定結果には、日射量や風、外気温の影響を考慮する必要があり、相当外気温はそれらを一つにまとめて考慮できる値であることが示されている。

本研究では、赤外線法から得られたコンクリート床版上面の欠陥部の温度と、相当外気温を適用し複数の欠陥深さを模擬した熱伝導解析の温度を比較することで、欠陥深さの推定手法や推定精度を検討した。

2. 対象橋梁と撮影方法

図-1 に対象橋梁の可視画像を示す。対象橋梁は富山県南砺市にある橋梁であり、撮影日の状態は片側車線のアスファルト舗装が撤去され、打音検査により内部欠陥の位置と広さがマークされている状態であった。設計かぶりと切削深さから、コンクリート表面から鉄筋までの距離は15mm程度であった。本研究では、図-1 に示す欠陥部（欠陥部1、欠陥部2）と健全部（健全部1、健全部2）の計4か所を対象として温度を測定した。健全部は、各欠陥部近傍におけるコンクリート表面の色が類似した部分とした。

撮影は、床版上面を対象に、ドローンに搭載された赤外線カメラにより上空約40mから10時頃、11時頃、14時頃、16時頃に、橋梁全長を約15分かけて実施した。

3. 熱伝導解析方法

図-2 および表-1 に解析モデルおよび解析条件を示す。解析モデルは欠陥部を中心とした4分の1モデルとし、厚さを切削後の床版厚の175mmとした。内部欠陥の広さは、熱画像によって判断した広さを模擬し、内部欠陥の厚さ、深さ、コンクリートと内部欠陥の物性値は表-1の条件とした。また、上面の熱伝達境界には相当外気温を用い、下面には外気温を用いて解析した。相当外気温は

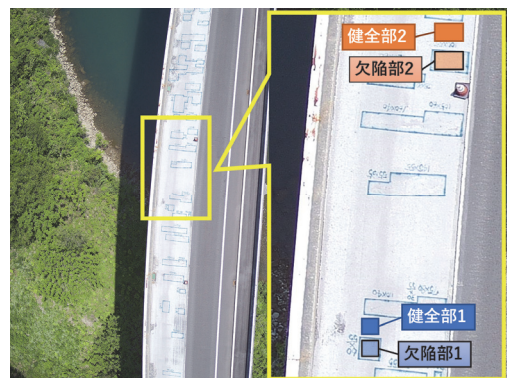


図-1 対象橋梁の可視画像

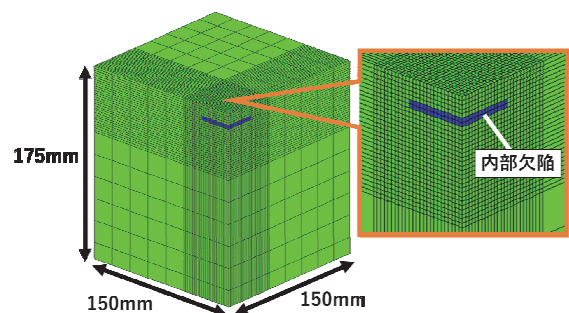


図-2 解析モデル

表-1 解析条件

	欠陥部1	欠陥部2	コンクリート
広さ (mm)	30×28	36×18	150×150
厚さ (mm)	4		175
欠陥深さ (mm)	10	20	
熱伝達率 (W/m ² °C)	0.0257		2.7
比熱 (kg/m ³)	1.166		2400
密度 (kJ/kg°C)	1.006		1.15

キーワード 赤外線法, 熱伝導解析, コンクリート床版上面, 欠陥深さ推定, 相当外気温

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

次式によって求められる¹⁾。

$$\theta_{\text{salair}} = \theta_a + R_{\text{so}}(\varepsilon_{\text{sun}} \cdot J_{\text{sun}} + \varepsilon \cdot J_{\text{nit}})$$

ここで、 θ_{salair} ：相当外気温[°C]、 θ_a ：外気温[°C]、 R_{so} ：表面の総合熱伝達抵抗[m²C/W]、 ε_{sun} ：表面の日射吸収率[%]、 J_{sun} ：日射量[W/m²]、 ε ：表面の放射率[%]、 J_{nit} ：夜間放射量[W/m²]である。本解析では、 J_{nit} を0、 R_{so} を0.071、 ε_{sun} を撮影面の色を考慮し0.45で一定とした。 θ_a 、 J_{sun} は気象庁（富山県富山）の観測値を使用した。

4. 測定結果

図-3に10時頃、16時頃の熱画像を示す。四角枠内の温度の平均値を各部分の表面温度とした。欠陥部と健全部の表面温度の差（以下、温度差）は、同一番号の欠陥部と健全部から求めるものとし、それぞれを温度差1、温度差2とした。

図-4に欠陥部と健全部の表面温度（実線）および温度差（破線）のグラフを示す。欠陥部1、2ともに10時頃の温度差が最も大きく、図-3(a)の熱画像上でも欠陥部が鮮明に確認できる。そこから徐々に温度差が小さくなり、16時頃では温度差がほとんどなくなり、図-3(b)の熱画像上でも欠陥部を確認できなかった。

5. 測定値と解析値の比較

図-5に欠陥部と健全部の温度差の測定値と解析値の比較を示す。図-5(a)の温度差1は、10時頃に欠陥深さ10mmに近い温度差を示したが、11時以降は欠陥深さ20mmと類似した挙動を示した。図-5(b)の温度差2は、10時頃と11時頃は欠陥深さ10mm、14時頃と16時頃は欠陥深さ20mmの温度差と近い値を示した。

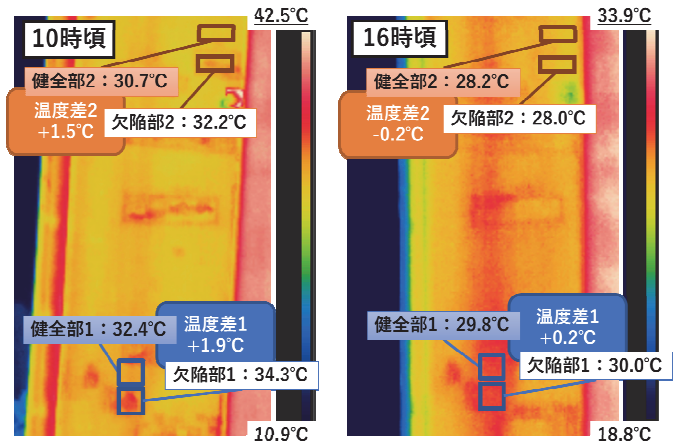
これらの結果から、欠陥部1、2の温度差は、解析上の欠陥深さ10~20mmの温度差の付近に位置し、実際のコンクリート表面から鉄筋までの距離が15mm程度であることを考慮すると、おおむね傾向が捉えられた。上記したいくつかの時刻で差異が生じた要因は、解析の内部欠陥が水平であることに対して実際の欠陥が水平と異なる方向に存在している可能性があることや、解析で想定した相当外気温に違いがあることが考えられる。

6. まとめ

- (1)欠陥部と健全部の温度差は、10時頃が最も大きく、そこから徐々に小さくなり、16時頃にはほとんどなくなった。
- (2)欠陥部1、2の温度差は、解析上の欠陥深さ10~20mmの温度差付近に位置し、コンクリート表面から鉄筋までの距離を考慮すると、おおむね傾向が捉えられた。

参考文献

- 1) 込山貴仁ら：サーモグラフィ法による外壁仕上げ材の剥離検知の適用限界に関する研究、日本建築学会構造系論文集、1966



(a) 10時頃 (b) 16時頃

図-3 対象橋梁の熱画像

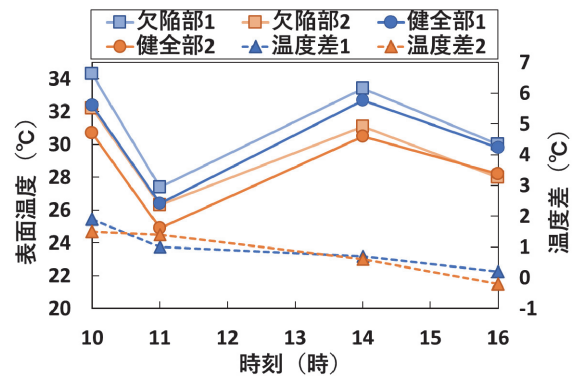
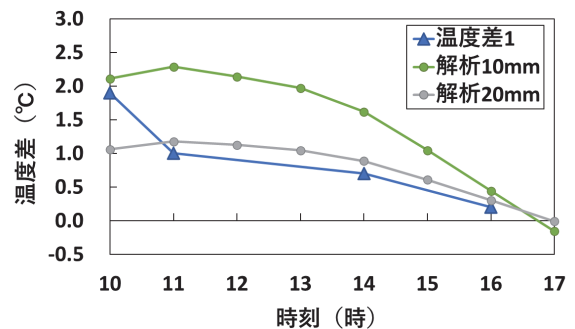
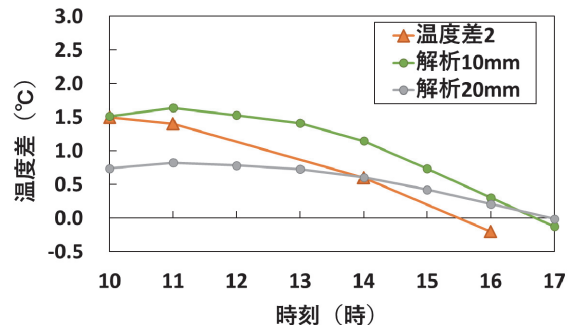


図-4 欠陥部と健全部の表面温度および温度差



(a) 温度差1



(b) 温度差2

図-5 測定値と解析値の比較