

赤外線サーモグラフィーによるコンクリート剥落危険予知

東京都市大学 正会員 ○小西 拓洋

東京都市大学

Muge Kuleli

首都高速道路株式会社 正会員 平野俊一

1. 目的

赤外線サーモグラフィ（IRT）による剥落危険箇所の点検は、足場設置の必要がなく遠方から広範に実施でき、効率的な一次スクリーニングに有効な方法といえる。IRTによる欠陥部の検知は、健全部と欠陥部表面の温度差 ΔT ($\Delta T = T_c - T_f$, T_c : 健全部温度, T_f : 欠陥部温度)により行うが、この温度差は外部温度条件の影響を受けるため、同一の欠陥でも検査毎に ΔT が変化してしまうため、温度差により欠陥の深さなど定量評価が難しいとされてきた、これに対して欠陥の大きさ、深さが評価可能な実橋剥落検知システムを構築した。システムは以下の特徴を有する。

- ・日中の温度上昇時のIRT画像により検査を行う。
- ・事前に準備した深さ推定曲線を用いて温度差、寸法より欠陥深さを推定する。検査対象の表面温度上昇率を用いて、推定曲線を補正する。
- ・健全部の温度（背景温度）の除去と、欠陥部強調アルゴリズムを適用することで微小な欠陥を検知できる。
- ・IRT解析結果と可視画像、図面（高欄配筋図面等）を対応させて対比することで、信頼性の高い欠陥評価が可能である。

2. 欠陥の深さ評価法の概要

各種空隙を内在させた試験体を室外に置き、IRTにより表面温度差 ΔT を9時から17時まで計測した。

(図-1) この結果より、欠陥の寸法、深さに対する温度差評価曲面を作成した。図-2(a)は200mm□の欠陥に対する健全部と欠陥部表面の温度差の時刻変化で、C25は欠陥のかぶり(25mm)を示す。図-2(b)はコンクリート健全部表面温度の時刻変化、図-2(c)は曲面用データ(赤)を示す。この曲面は実験時の9時～14時のある温度上昇率に対して定義したもので、1回の実験、あるいはシミュレーションにより一つの評価曲面が作成できる。この曲面により、同じ温度上昇率での検査であれば寸法と温度差を与えれば、深さを推定することが出来る。実験では表面温度上昇

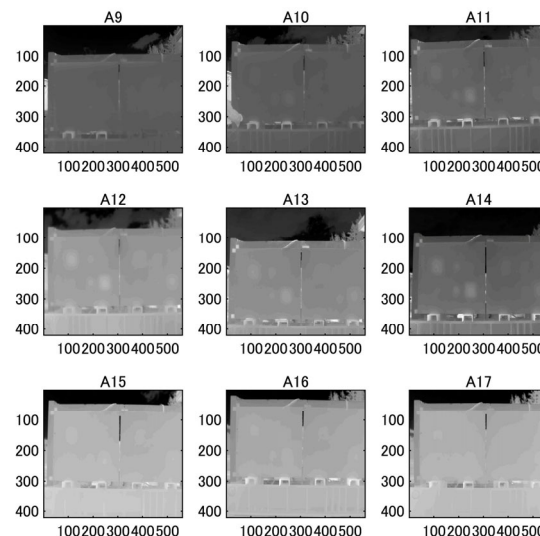


図-1 空隙試験体の室外IRT計測

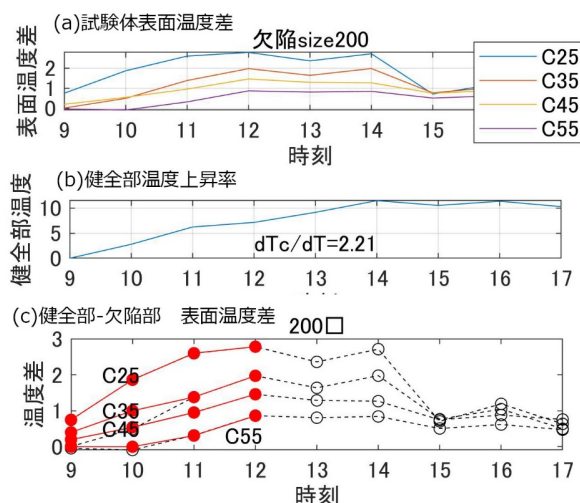


図-2 欠陥評価曲線の作成

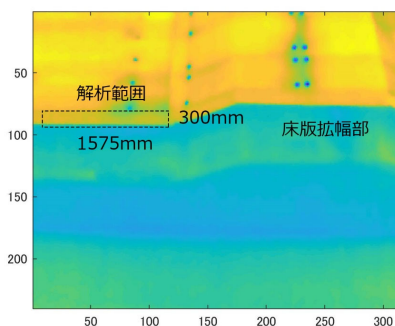


写真-1 検査部IRT画像

率は $2.2^{\circ}\text{C}/\text{h}$ であったが、現場での温度上昇率を計測し、両者の比率より曲面の補正を行う。補正法は、簡易的には温度差に上昇率の比率を乗じて求める。また寸法、深さが既知である欠陥が検査箇所にある場合には、その欠陥の表面温度差を用いて、曲面の補正係数を決定することが出来る。

3. 剥離欠陥の検知

壁高欄部などの欠陥を検知する場合には、欠陥により生じる温度差に日射の強度、躯体内の深さ方向以外の熱移動による温度差などが生じる。これらをまとめて背景温度（＝健全部温度）とよぶ。計測温度分布から背景温度分布を減算することで、剥落の原因となる内部剥離の検出を行う。図-3 は検査領域の背景温度分布を示す（横軸は pixel, 縦軸は正規化温度）。背景温度計算は、最大欠陥寸法を仮定し、それを越える欠陥は背景として扱うため、一辺がある大きさ以上の欠陥は検出されない。図-4 は検査面の表面温度から背景温度を引き算した温度分布図である。図-5 に温度分布を実際の検査部位の写真上に並べて示す。この図より床版水切り角部の剥落部脇のコンクリート下面にひび割れが生じており、これが原因で非剥落部端部に温度差が生じたことがわかる。

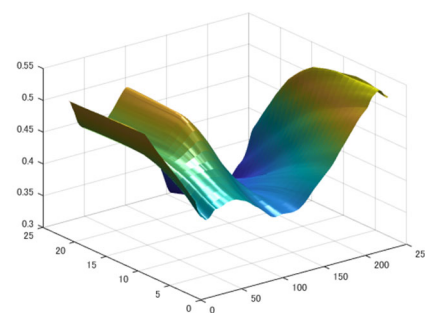


図-3 検査面の背面温度分布

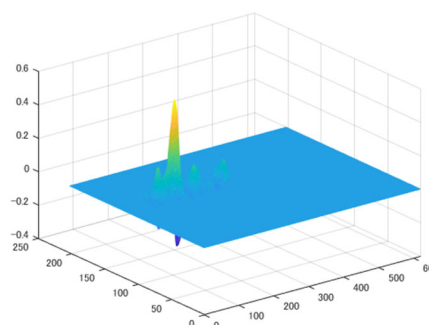


図-4 検査面温度－背景温度

4. 欠陥評価

IRT により検知出来た欠陥に対し、剥落の定量化のため深さ推定を行う。まず、欠陥寸法を特定するため、温度画像を寸法がわかる図面に投影（マッピング）する。図-5 に示すマッピング後の温度差分布図より、欠陥寸法は 0.2°C 以上の範囲の縦横寸法の平均値として 103.5mm 、ピーク温度は 0.57°C であった。現場計測時の温度上昇率は計測していないため、実験時の値を用いると、ピーク位置の深さは 48.1mm と計算され、鉄筋のかぶり厚に近い値となった。現場時の温度勾配を用いれば深さは多少増加すると思われる。但し曲面モデルは未貫通き裂を対象としたものであり、貫通き裂に対しては補正が必要と考えられる。剥落予知に重要な情報として、欠陥範囲とピークの位置関係がある。ピーク位置が欠陥中心からずれ、端部での温度勾配が急な場合には、欠陥、ひび割れが表面に達している可能性が高いと考えられる。

5. まとめ

実橋壁高欄部の剥落予知に、IRT 画像による剥落危険度の診断システムを適用した。IRT を利用して日中の 30 分程度で 40m 程度の撮影を完了出来る。得られた温度差分布図と、可視画像、図面を並べ観察することで信頼性の高い判定が可能なが確認出来た。しかし別条件での点検では同じ欠陥が検知されないケースも発生しており、検知感度を向上させる強調処理を開発中である。また欠陥深さにより、剥離原因の推定、危険性評価が可能となり診断の信頼度が向上する。

本研究は首都高速道路 3 社との共同研究の一環として実施されたものである。

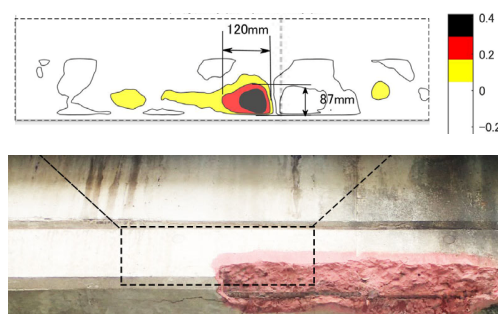


図-5 温度分布図と可視画像

キーワード: 赤外線サーモグラフィ、剥落、遠隔検知、コンクリート空隙検知

連絡先: 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1, 東京都市大学 都市基盤施設の再生工学研究センター tel03-5707-0104