

剥落危険予知のための熱画像処理システムの開発

東京都市大学 教授 正会員 ○小西 拓洋
 東京都市大学 特別研究員 小屋 裕太郎
 東京都市大学 教授 正会員 手塚 正道
 東芝 橋谷 誠一

1. 目的

高架橋, トンネルでのコンクリート片剥落は, 第3者被害防止の観点から, 重要点検項目の一つとなっている. 対象部位の打音点検には足場, 高所作業車での近接が必要となるが, 近接できない場合や, 通常の巡回点検では, 剥落予知に, 赤外線サーモグラフィカメラが一部で利用され始めている. しかし, 簡便ではあるが, 打音に比べ信頼性が低く, 使用範囲は限定されている. 現在, 近接困難な箇所の剥落点検に利用出来る信頼性の高い剥落検知システムの開発を行っている. 具体的には, 熱画像から欠陥の大きさと深さを同定し, 欠陥の危険性を評価することを目標としたものである. このための熱画像処理システムについて報告する.

2. 剥落危険箇所の見逃しの原因と対処

熱画像による剥落検知は, 空隙等が存在する欠陥部と健全部で生じるコンクリート表面の温度差を検知して, 欠陥の位置を特定するものである. その原理は, 欠陥の表面側のコンクリートの温度変化速度が, 健全部の温度変化速度に比べ速いことから, 時間経過後に温度差が生じることを利用するものである. 熱意画像による剥落検知における見逃しの原因は,
 ①微小な温度を肉眼では欠陥と識別出来ないこと.
 ②温度差が出ない状態で点検を行っていること. ③

捉えた温度差の意味を特定出来ないこと, と考える. ①に対しては, 熱画像からのノイズ除去と欠陥抽出の処理を行い, 欠陥の検知率を上げるための画像処理が有効である. ②, ③については, 検査時の温度環境から, 撮影条件を判定する方法, 熱画像から欠陥寸法と深さを評価する手法を提案する.

3. 温度差推定式

健全部と欠陥部の表面温度差 ΔT は構造物と外部の温度差履歴に依存し, 一般に温度が急変するほど, 欠陥の検知は容易となるといわれている. この温度差推定式を(1)式のように欠陥の寸法, かぶりに関係する f と温度環境による影響 g に分離できるとする.

$$\Delta T = f(dw, kbr) \times g(T_e) \tag{1}$$

但し, ΔT : 欠陥部と健全部の表面温度差, dw : 欠陥の辺長, kbr : かぶり, $T_e = T_c - T_{ex}$ (健全部温度-外気温)とし, g は現場での計測時点までの外気とコンクリートの温度差により決まると考えられる. g, f を決めるために, 欠陥内在試験体 (図-1) を用いて, 屋外にて $g(T_e)$ を変えて, 欠陥寸法とかぶりと温度差の関係を1時間毎に計測した. $kbr=35mm, dw=200mm$ の欠陥の温度履歴を図-2 に示す. ある温度環境での $dw, kbr, \Delta T$ の関係を図-3 に示す. 実測データ中の異常値は補正しスムーズな温度曲面としている. (1)式の $g(T_e)$ が規定出来れば, かぶり, 寸法より温度

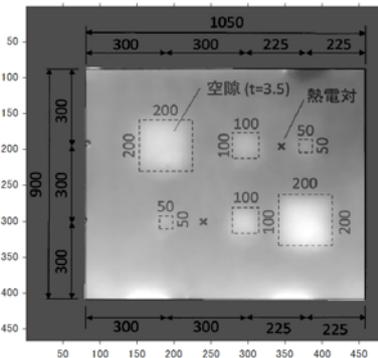


図-1 試験体熱画像

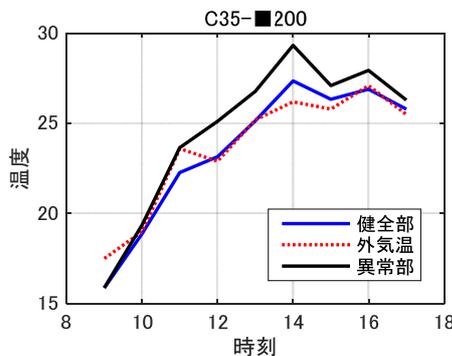


図-2 試験体温度履歴

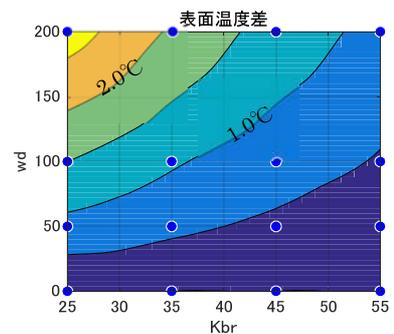


図-3 温度差曲面

キーワード 赤外線サーモグラフィ, 熱画像, 剥落, 欠陥深さ推定, 画像処理

連絡先 〒158-0082 東京都世田谷区等々力 8-15-1 東京都市大学総合研究所 TEL03-5706-3118

差を知ることが出来る。これにより、検査時に、発見すべき欠陥にどの程度の温度差が生じているか推定出来、無駄な検査を回避出来る。

3. 熱画像からの欠陥寸法、かぶりの推定

熱画像から得られる情報として、欠陥寸法と欠陥部の表面温度差がある。熱画像は、各画素値が温度を示すコンターであり、これをグレースケール、あるいは色に変換して温度分布を表示出来る。表示温度範囲を小さくすることで微小な温度差を強調できるが、ノイズも強調され欠陥抽出が難しくなる。ノイズには健全部の材料変化、日照、表面の汚れなどによる温度変化と、装置の電気ノイズなどがある。

健全部との温度差がある部分が欠陥であるが、欠陥部の表面温度変化が小さくなだらかで、健全部温度にムラがあると欠陥の判別が難しくなる。この判別を自動化するため温度差の探索ボックスを動かし、かつボックスの大きさ変化させて欠陥を背景のノイズから抽出する探索アルゴリズムを作成した。本手法を図-1の試験体に対して適用し検証を行った。試験体熱画像の欠陥探索状況を示す。探索領域を大き

くしながら、形状の変化を調べ、形状決定時を黄色で表示した。推定結果を表-1に示す。試験体の欠陥を寸法*かぶりかで示している。50mm欠陥のように、温度差が微小で、熱画像が不鮮明であると、寸法を大きく判定し、この結果かぶり誤差も大きくなる。

4. 欠陥深さの検出

欠陥部の温度差は(1)式に示すように、3つのパラメータで決まることから、温度環境と、欠陥寸法がわかれば、深さが推定出来る。剥落の危険性は、欠陥の大きさと深さで予測することが出来る。

5. 実構造物への適用

実構造物の表面温度差は、試験体に比べ複雑である。構造や環境要因による大きな温度変化の上に、欠陥による小さく急峻な温度差の山がのるような状況に対しては、本探索アルゴリズムが役立つと考えられる。図-6,7に実構造物での欠陥抽出画像を示す。

参考文献

- ・中村ら, 赤外線サーモグラフィーによるかぶりコンクリート剥落予測手法, 土木学会論文集 E2, V01. 69, 450-461, 2013

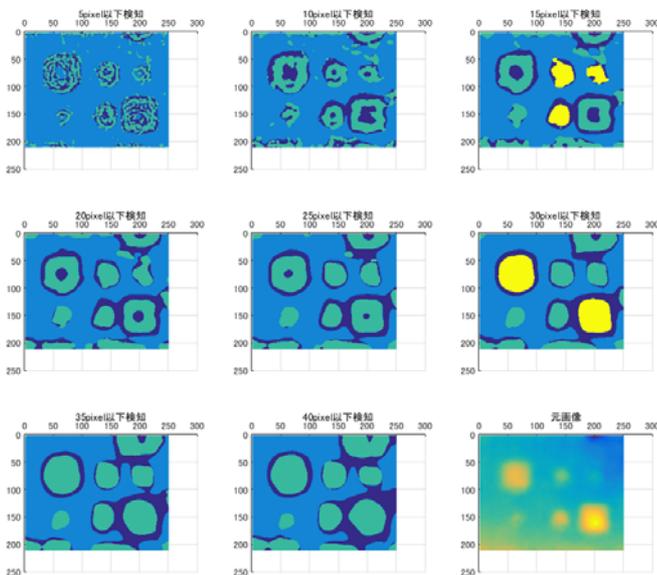


図-4 試験体による欠陥寸法探索状況

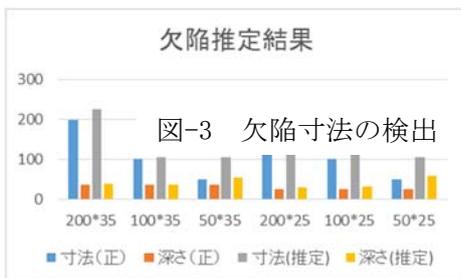
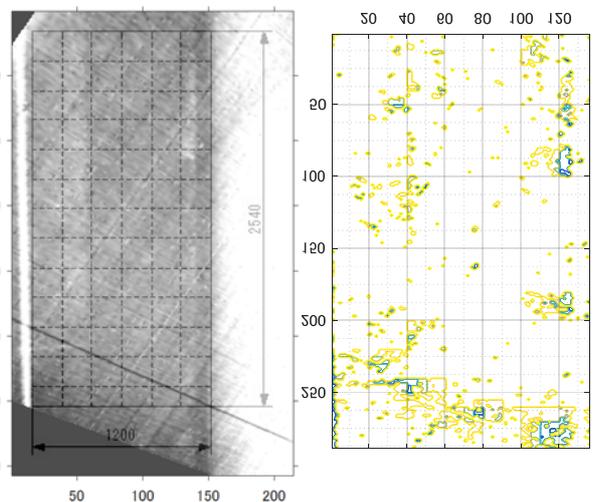


図-5 欠陥推定結果

表-1 欠陥推定値(mm)

試験体	推定値	
	寸法	深さ
200*35	226.2	37.4
100*35	105.0	35.6
50*35	105.0	53.7
200*25	218.1	28.2
100*25	121.2	30.8
50*25	105.0	58.9



(a)熱画像 (元) (b)熱画像 (処理後)

図-6 実構造熱画像

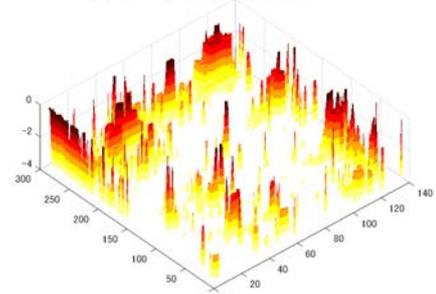


図-7 実構造熱画像の3Dカラーマップ