

パッシブロックイン赤外線サーモグラフィ法による剥離検出限界の向上

コンステック 技術本部 正会員 ○佐藤 大輔
 大阪大学大学院 機械工学専攻 正会員 阪上 隆英
 コンステック 技術本部 込山 貴仁
 大阪大学大学院 機械工学専攻 久保 司郎

1. 目 的

近年、社会基盤を支えるコンクリート構造物の早期劣化や欠陥による不具合が問題となっている。特に、コンクリート片の剥落は第三者被害をもたらすため社会問題となる。コンクリート片の剥落を未然に防ぐためには、定期的な検査を実施し、生じた不具合に対しては対策を施さなければならない。赤外線サーモグラフィ法は、剥離を検出する非破壊検査手法として、その安全性や簡便性から注目されている。著者らは、コンクリート構造物にロックイン赤外線サーモグラフィ法を適用し、剥離部とそれ以外の温度変動とを区別し、剥離範囲の検出に有効であることを示している¹⁾。

本研究では、非定常熱伝導解析によって求められるコンクリート表面の温度変動値をロックイン処理し、得られたロックイン値をもとに検出可能なコンクリートの剥離や内部空隙の深さの限界に関する検討を行った。

2. パッシブロックイン赤外線サーモグラフィ法

著者らは、ロックイン赤外線サーモグラフィ法の熱源として、日射や気温変化を利用したパッシブロックイン赤外線サーモグラフィ法を提案し、既に試験体を用いた実験を行い、その有効性を確認している¹⁾。この検討においては剥離部とそれ以外の温度変動とを区別することに限定しており、剥離および内部空隙の深さの同定が可能かについては未だ不明である。本研究では、非定常熱伝導解析により求められた表面温度変動をロックイン処理し、剥離および内部空隙の深さの検出限界の向上について検討を行った。

2.1 データ処理

ロックイン赤外線サーモグラフィ法は、赤外線装置の時系列データから得られる温度変動をフーリエ級数展開することにより得られるフーリエ級数係数に着目し欠陥を検出する手法である²⁾。欠陥により変化した時系列温度変動曲線の特徴を次式に示す $\cos$ 関数および $\sin$ 関数に対する係数 a_n および b_n を、二次元的な分布画像に変換することで、コンクリートの剥離部と健全部を高精度に区別する。

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos \frac{2\pi n}{T} t dt \quad \dots(1)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin \frac{2\pi n}{T} t dt \quad \dots(2)$$

これまでの検討¹⁾において、フーリエ級数係数 a_n および b_n の分布を求める場合、 n の値が小さいほど、 a_n および b_n とともに剥離部と健全部との差が大きくなり、欠陥の検出に対して良好な結果を得ている。本研究においても、基本周波数成分 $n=1$ について検討する。また、健全部と剥離部の判別においては、フーリエ級数係数 a_n の分布画像が有効であったため、本研究においてもフーリエ級数係数 a_n を対象として検討を行った。

2.2 非定常熱伝導解析

表-1 材料定数

400mm×300mm の2次元モデルに、一辺が 100mm、厚さ 20mm の空隙を模擬剥離として設定し、非定常熱伝導解析により表面温度を求めた。剥離深さとしては、

	熱伝導率 W/(m・K)	比熱 J/(kg・K)	密度 kg/m ³	熱伝達率 W/(m ² ・K)	日射吸収率 %
コンクリート	2.5	1050	2300	12	75
空隙	0.026	1007	1.176	—	—

20mm～100mm まで 10mm 刻みで 9 種類を設定した。解析に適用した材料定数を表-1 に示す。解析に用いた日射データおよび外気温は、平成 18 年 11 月 8 日に大阪市内で実測したものである。

キーワード：パッシブ、赤外線法、ロックイン、コンクリート、剥離

連絡先：大阪市中央区常盤町 2-3-14 技術本部 TEL:06-4791-3121 e-mail:d-sato@constec.co.jp

2.3 解析結果

健全部の表面温度の解析値と実験値を図-1 に示す。解析値と実験値は、位相のずれはなくかつほぼ相似な波形とみなすことができる。これにより、熱伝導解析によって試験体表面の温度変動を再現できていると考えられる。そこで、数値解析データを用いて、剥離深さの検出限界について検討を行った。

3.欠陥の検出限界

一辺が 100mm の剥離を検出できる剥離深さの限界を、健全部と剥離部の表面温度差およびフーリエ係数差によって比較検討を行った。なお、健全部の値は剥離部の影響を受けない位置から求め、剥離部の値は、熱画像において剥離として認識できる最小の大きさがおおよそ 80mm であったため、剥離の中心から 40mm の位置にて求めた。

(1)表面温度差により検出可能な欠陥深さの限界

通常の熱画像では、日中の計測においては健全部と剥離部の温度差が 1℃以上得られれば、剥離を認識可能である。図-2 に示すとおり、表面温度による欠陥検出の限界はおおよそ 50mm 程度となった。

(2)フーリエ係数差により検出可能な欠陥深さの限界

既往の研究より、フーリエ級数係数は、熱画像に比べノイズが少なくなる傾向にあり健全部においては、ほぼ均一な値を示すことが確認されている。実測値から求められた健全部におけるフーリエ係数のばらつきは、0.05 程度であった。また、実測値から求められたフーリエ係数分布画像では、深さ 20mm および 30mm の剥離を検出できることを確認している。図-3 に示すとおり、深さ 60mm においてフーリエ係数値は、深さ 20mm の場合とほぼ

同じ値を示しており、フーリエ係数を用いることにより深さ 60mm の剥離検出が可能である。また、深さ 100mm の場合のフーリエ係数差は 0.2 であり、健全部と剥離部を判別できる可能性があると考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見は、下記のとおりである。

- (1) 熱画像では、表面から深さ 50mm にある空隙を検出することが可能であると考えられる。
- (2) フーリエ級数係数を用いることで、熱画像では判別不可能な深い位置の空隙を検出できる可能性がある。

上記の知見は、限定的気象データを用いた解析から得られたものであるが、フーリエ解析を用いることで、熱画像に比べより深い位置に存在する欠陥を検出できる可能性が示されたものである。今後は、コンクリート試験体に対して本手法を適用し検討する予定である。

謝辞：本研究の実測データは、住友大阪セメント(株)中央研究所の実験ヤードにて計測したものであり、実験にご協力いただきました中村士郎氏、同社の皆様に感謝いたします。

参考文献 1)佐藤大輔ほか：パッシブブロックイン赤外線サーモグラフィによる欠陥判別法に関する基礎検討,コンクリート工学年次論文集 2006, 第 28 巻, pp.1823-1828, 2006.7 2) 阪上隆英ほか：表面温度分布の時系列赤外線サーモグラフィ計測に基づく非破壊検査法,日本機械学会 第2回 評価・診断に関するシンポジウム シンポジウム講演論文集, No.03-56, pp.160-163, 2003.12

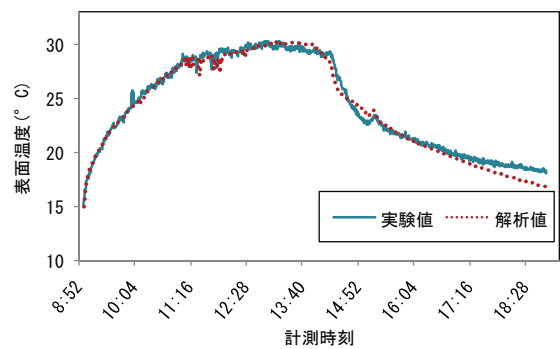


図-1 表面温度の実験値と解析値

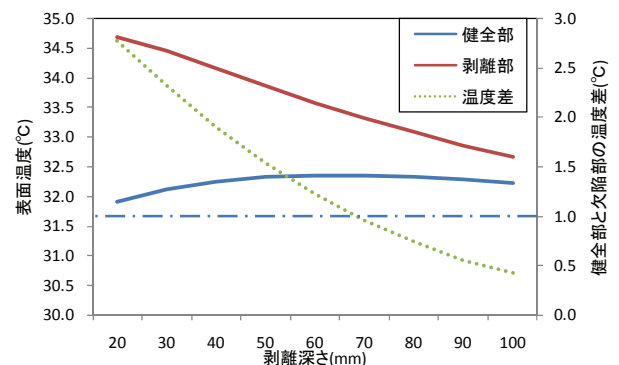


図-2 表面温度

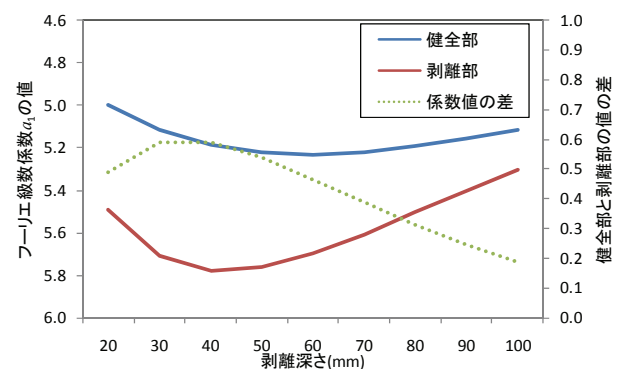


図-3 フーリエ級数係数の値