

パッシブロックイン赤外線サーモグラフィ法による内部欠陥同定に関する解析的検討

コンステック 技術本部 正会員 ○佐藤 大輔

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 正会員 阪上 隆英

大阪大学大学院 機械工学専攻 久保 司郎

1. 目 的

近年、コンクリート構造物の早期劣化によるコンクリート片の剥落事故が社会的な問題となっている。欠陥検知手法として赤外線サーモグラフィ法は、その安全性や簡便性から注目されている。しかしながら、本手法の問題点として、材料の物性値のばらつきが表面温度に反映されるため、部分的に材質が異なる部分を欠陥として誤認しやすいことが挙げられる。特にモルタルで断面修復した補修部は、日射吸収率や熱伝導率がコンクリートとは異なるため、あたかも欠陥部のような表面温度差が現れ、表面温度のみの情報から健全な補修部と再補修を要する劣化した補修部を判別することは困難である。

そこで本研究では、非定常熱伝導解析によりコンクリート片の浮き、健全な断面修復部および断面修復材に再度浮きが生じた部分の表面温度を算出し、その時系列データをロックイン解析することにより得られるフーリエ級数係数を用いて、補修部の健全性を判定する方法について検討した。

2. 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、既に試験体を用いた実験レベルでは、その有効性について確認している¹⁾。本研究では、非定常熱伝導解析により求められた結果にロックイン解析を適用し、本法の有効性について検証した。また、その結果と日射変動との関係を考察した。

2.1 ロックイン解析

ロックイン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離散的な温度変化をフーリエ級数展開することにより得られるフーリエ係数に着目し、欠陥により変化した時系列温度変動曲線の特徴を式(1),(2)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 を用いて定量化し、その二次元的な分布画像からコンクリート内部の空隙および剥離を同定する手法である。

アクティブ加熱を用いた既往の研究²⁾によれば、離散的温度変化に対して、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 の値が小さいときほど a_n および b_n ともに欠陥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。

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

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

2.2 非定常熱伝導解析

図-1 に示す 3000×400mm の 2 次元モデルに空隙および補修箇所を設定し、非定常熱伝導解析により表面温度を求めた。解析に適用した材料定数を表-1 に示す。また、外力エネルギーとしては、平成 18 年 1 月 6 日につくば市内で実測した日射および外気温データを入力した。

表-1 材料定数

	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
モルタル	1.3	798	2000	12	75
空隙	0.026	1007	1.176	—	—

キーワード：赤外線法，ロックイン，コンクリート，剥離

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

3.解析結果

図-2に表面温度の解析結果を示す。補修(健)および補修(浮)のいずれも健全部に比べて温度変動が大きいが、補修(健)は、特に日射量の下降による表面温度の低下が急激であり、比較的短時間に健全部の温度に近づく。

表面温度値をフーリエ解析するためには、基本周期を決定する必要があるが、これは日射データ全体をフーリエ解析した結果、周期 T (全測定時間)および $T/4$ (30分)において振幅値の卓越がみられたため、フーリエ解析の1周期は30分とし、10時45分から13時まで12区間のフーリエ係数 a_1 および b_1 を求めた。

(1) フーリエ係数 a_1

全区間にて、浮きおよび健全部で明確な差が現れなかった。補修箇所でも健全部と浮き部ではほぼ同じ値で変動する。

(2) フーリエ係数 b_1

日射量が上昇傾向である11時30分付近までの b_1 は、補修(健)および補修(浮)のいずれもマイナス傾向となるため両者の判別は困難であるが、日射量が下降に転じる11時30分～12時以降は、補修(健)がプラス、補修(浮)はマイナスとなるため、両者の判別ができるという結果となっている。

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) 欠陥の存在によるフーリエ係数の差異は、 a_1 よりも b_1 で顕著となった。
- (2) 日射量の上昇区間よりも下降区間の方がフーリエ級数係数 b_1 に大きな差異が現れた。
- (3) 日射量が下降する時間帯の b_1 の値は、健全部と比較した場合、浮き部および浮きを生じた断面修復部でマイナスに、健全な断面修復部はプラスとなる。

上記の知見は、あくまで限定的な解析条件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、断面修復部の健全性を判定できる可能性が示されたものである。今後は、実構造物に対して本手法を適用し検討する予定である。

参考文献 1)佐藤ほか：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（投稿中）

2)中村ほか：改良ロックイン赤外線サーモグラフィ法によるコンクリート構造物の非破壊検査に関する研究，コンクリート工学年次論文報告，

Vol.26, No.1, pp.1857-1862, 2004.7

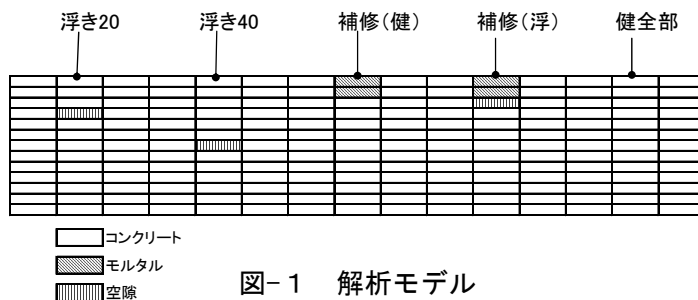


図-1 解析モデル

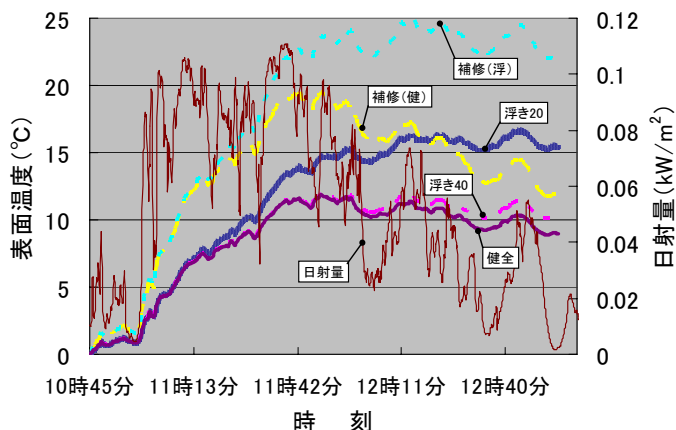


図-2 表面温度(解析結果)と日射の関係

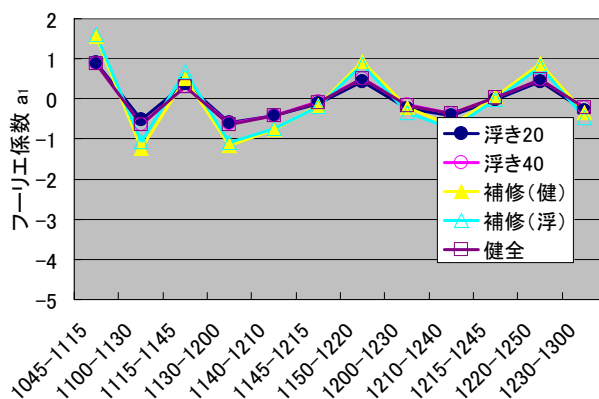


図-3 フーリエ級数係数 a_1

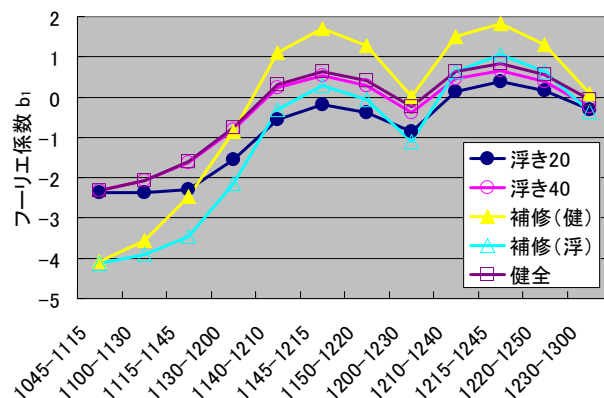


図-4 フーリエ級数係数 b_1