

熱応答解析によるコンクリートのはく離深さ推定手法に関する研究

住友大阪セメント(株) 正会員 ○中村 士郎
 大阪大学大学院 正会員 阪上 隆英
 大阪大学大学院 正会員 久保 司郎
 大阪大学大学院 正会員 遠藤 健

1. 目的

赤外線サーモグラフィを用いたコンクリート構造物の非破壊検査手法は、非破壊かつ非接触で大断面を同時に検査可能という利点により、今後本格的な維持管理時代を迎える中で期待の大きな検査手法である。温度異常部からコンクリート表面近傍の浮き、はく離などの存在を検出する簡便な1次検査用途への適用事例が増加している一方で、欠陥を内在する対象物の熱応答を解析し、欠陥位置（はく離深さなど）を定量化する手法¹⁾の開発も進んでいる。本稿では、コンクリート中の欠陥の深さを定量化するための、より簡便な熱応答解析手法について検討を行った。

2. 実験概要

図1に示す模擬はく離欠陥を内在するコンクリート試験体に対してアクティブ加熱を行い、赤外線サーモグラフィにより収集した熱応答データから模擬はく離の深さを簡便かつ精度良く推定する解析方法に関する検討を行った。

模擬はく離には、厚さ2, 5, 10mmの発泡ポリエチレンシートを使用し、表面から5~50mmの位置に配置した。試験体の加熱には遠赤外線ヒータを使用し、試験体とヒータの距離を0.5m、加熱時間を2分間とした。試験体の表面温度の最大上昇量は25℃程度であった。使用した赤外線カメラは温度分解能がNETD値で0.1℃、画素数320×240のマイクロボロメータ素子を搭載した非冷却型である。温度表示機能を有しないため、時系列に取得する画像から得られる熱応答は温度でなく赤外線強度の時系列データである。測定は試験体の加熱終了直前から20~40分間行い、2秒間に1枚ごと赤外線画像を取得した。

3. 実験結果

3. 1 熱応答測定結果

模擬はく離を内在する試験体の熱応答測定結果の一

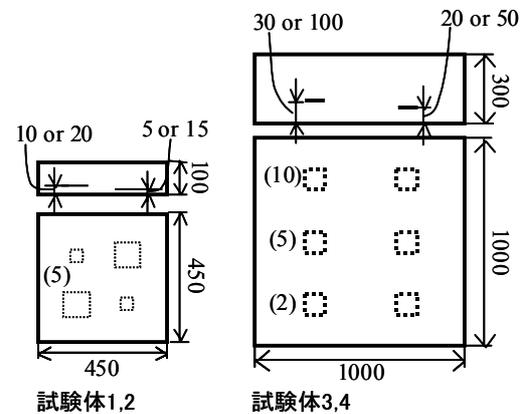


図1 試験体の概要

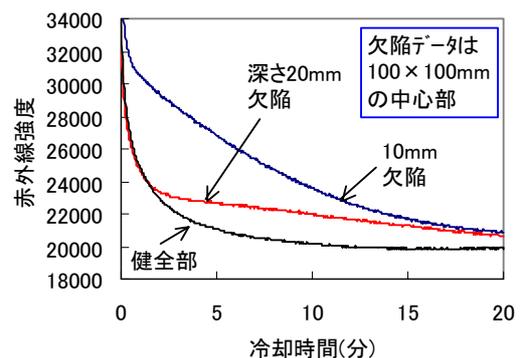


図2 健全部及び欠陥部の熱応答例

例として、表面からの深さが10, 20mm、寸法が100×100mmの模擬はく離中心部と周辺健全部の赤外線強度（表面温度に相当）の経時変化を図2に示す。深さが10mmの模擬はく離の場合、健全部と欠陥部の温度差は加熱終了直後から増大し、数分で最大値に達して減少に転じる。一方、深さ20mmの模擬はく離の場合には、欠陥部と健全部の温度差が深さ10mmの場合に比べて小さく、その差が最大となる時間も遅くなる。他の模擬はく離の測定結果を含めて、従来から指摘されるように深い位置にある欠陥ほど欠陥-健全部間に生じる温度差が小さい傾向が見られた。

3. 2 熱応答解析結果

著者ら²⁾は減肉孔を有する鋼板にパルス状の熱負荷

を与えた場合の熱応答より、式(1)に示す健全部と欠陥部の温度上昇比 R の最大値は、式(2)に示す減肉による残存板厚比の逆数と比例関係にあることを示している。

$$R = \frac{T - T_0}{T_{\text{sound}} - T_0} \quad (1)$$

$$A = \frac{z}{z_{\text{sound}}} \quad (2)$$

ここで、 T ：表面温度、 T_0 ：初期表面温度、 T_{sound} ：健全部の表面温度、 z ：板厚、 z_{sound} ：健全部の板厚

コンクリート構造物に存在する浮き、はく離欠陥が断熱層に相当し、熱的には欠陥より内部には熱が伝わらない、つまり断面が欠損しているものとみなせれば、鋼板減肉の場合と同様に温度上昇比の最大値（以下、 R_{max} ）と残存板厚比の逆数（以下、 $1/A$ ）が比例関係にあると予想され、前節の実験データを用いて検証を行った。

試験体 1, 2 に内在する、寸法が $50 \times 50\text{mm}$, $100 \times 100\text{mm}$ の模擬はく離における、 R_{max} と $1/A$ の関係を図 3 に示す。両者には図中の 1 次式で示される明確な線形関係が認められる。模擬はく離の寸法に応じて 1 次式の傾きはほとんど変化しないのに対して、切片は模擬はく離の寸法とともに減少する。これは、模擬はく離の寸法が小さいほど面内方向の熱移動が卓越し、欠陥部に生じる温度差が小さくなることを示している。また、試験体 3, 4 で模擬はく離の厚さが 2, 5, 10mm と変化した場合の R_{max} と $1/A$ の関係を図 4 に示す。厚さ 5, 10mm の場合、ほぼ同一の 1 次式で回帰できるのに対して、厚さ 2mm の場合には R_{max} が小さい。模擬はく離の厚さが小さくなるに従い断熱効果が減少したためと考えられる。今後、実構造物で空気層からなる浮き、はく離などの断熱性能を検証し、実際の検査における影響度を検討する必要がある。

また、図 3, 4 より、試験体寸法(厚さ)が異なると、模擬はく離部における $1/A$ が同一であっても R_{max} は大きく異なる。熱伝導率が高く、与えた加熱の影響が板厚全体に及ぶ鋼板などの場合とは異なり、コンクリートでは数分の加熱を行っても板厚全体に影響が伝わらないことが原因と考えられる。そこで、寸法の異なる全ての試験体に内在する深さ 5~50mm, 厚さ 5mm の模擬はく離に対して、 $1/A$ の代わりに模擬はく離深さの逆数を用いて R_{max} との関係性をプロットしたものを図 5 に示す。全ての模擬はく離に関して、1 つの 1 次式で近似可

能であり、試験体寸法、厚さに関わらず 5~50mm の範囲にある模擬はく離の深さを R_{max} により良好に推定することが可能である。

4. まとめ

- ・ コンクリートのはく離など欠陥部と周辺健全部の熱応答より算出される温度上昇比の最大値は、欠陥深さの逆数と良好な相関関係にあり、欠陥深さの推定に有用であると考えられる。
- ・ 深さが連続的に異なる実構造物中の欠陥への適用性の検証が今後の課題である。

参考文献

- 1) 阪上ほか：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欠陥検査, セメント・コンクリート, セメント協会, No. 693, pp. 64-71, 2004. 11
- 2) 遠藤ほか：パルス加熱時の温度上昇比を用いた減肉欠陥深さの簡便推定法, M&M 材料力学部門講演論文集, 機械学会, pp. 1013-1014, 2003. 9

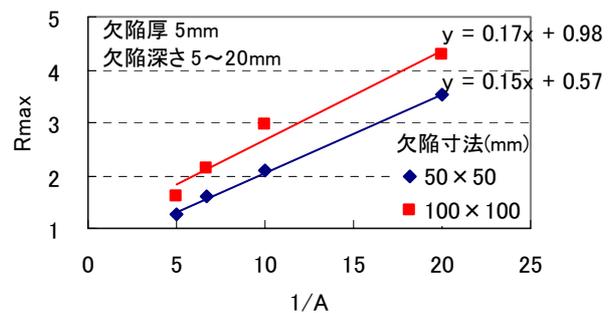


図3 最大温度上昇比と残存板厚比の逆数の関係 (欠陥寸法の影響: 試験体 1, 2)

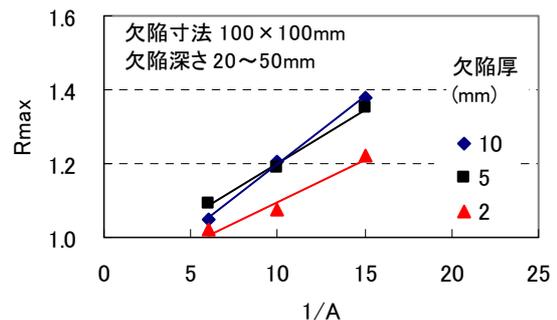


図4 最大温度上昇比と残存板厚比の逆数の関係 (欠陥厚さの影響: 試験体 3, 4)

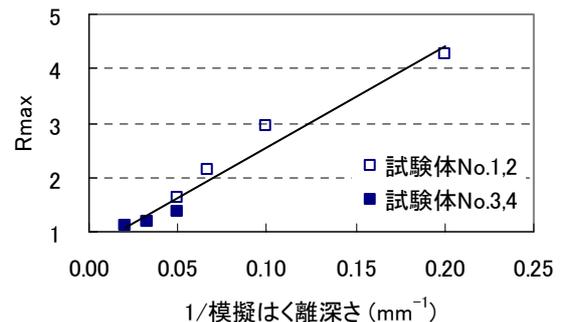


図5 最大温度上昇比と欠陥深さの逆数との関係