

赤外線法による非破壊検査の検査環境簡易判定に関する一考察

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
 住友大阪セメント(株) 正会員 原田 修輔
 大阪大学大学院 正会員 久保 司郎

1. 目的

赤外線法によるコンクリート構造物の非破壊検査では、赤外線サーモグラフィにより撮影された熱画像上の温度異常部から浮き、はく離などの内部欠陥が検出される。しかし、周辺健全部と欠陥部の間に生じる温度差は、熱画像撮影時の天候、時刻、季節など環境条件（以下、検査環境）により変化することが知られている。赤外線法の検査環境を評価する手法として、模擬欠陥が内在する試験体を検査箇所を設置して模擬欠陥部に発生する温度差から評価する方法¹⁾、検査対象物の内部温度勾配を実測し、検査面の面外方向に生じている熱の流れから評価する方法²⁾が提案されている。いずれの方法も前準備が必要であり、より簡便に検査環境を評価できる手法が望まれる。本稿では、赤外線サーモグラフィで測定可能な表面温度変化を用いて、検査環境を簡易的に判定する方法に関して解析的な検討を行った。

2. 温度解析方法

欠陥部に生じる温度差と表面温度変化の関係を調べるため、空気層が内在するコンクリート板を想定した2次元FEM熱伝導解析を行った。解析モデルを図1に示す。モデルは幅520mm、厚さ150mmのコンクリート板であり、表面からの深さ10mmの中心位置に幅56mmで表面に平行な厚さ3mmの空気層を配置した。解析に用いた熱物性値を表1に示す。コンクリートの密度、比熱はRC示方書の標準的な値とし、熱伝導率は想定される最小、最大の値として1.5、2.6(W/m/K)の2種類を用いた。初期条件はモデル全体が20°Cの一定温度であるとした。境界面（検査面）の環境変化を検討因子とし、表2に示す境界条件を設定した。本稿では基礎的検討として、日射はなく外気温が時間とともに一定割合(5, 3, 1°C/hr)で上昇するケース1, 2, 3, 外気温の変化はなく $q=300, 150$ (W/m²)の日射があるケース4及びケース5, 日射 $q=150$ (W/m²)が30, 10分あり、その後日射がなくなるケース6及びケース7の7種類の解析を行った。

解析結果から得られた表面温度分布より、健全部の表面温度変化量 A 及び変化率 A' を式(1)、式(2)により算出し、式(3)により得られる欠陥部と健全部の温度差 ΔT との関係を調べた。

$$A = T_s - T_0 \quad (1) \quad A' = \{T_s(t_2) - T_s(t_1)\} / (t_2 - t_1) \quad (2)$$

$$\Delta T = T_d - T_s \quad (3)$$

ここで、 T_0 :初期温度 t :時間(分)

T_s :健全部における表面温度の平均値(°C)

T_d :欠陥部における表面温度の平均値(°C)

3. 解析結果及び考察

外気温が一定割合で上昇するケース1, 2, 3における表面温度変化量 A と欠陥部に生じる温度差 ΔT の関係を図2に示す。表面の温度変化量 A が大きいほど欠陥部に生じる温度差 ΔT は大きくなり、

表1 熱伝導解析に用いた材料の熱特性

	コンクリート	空気
熱伝導率 (W/m/K)	1.5 2.6	0.02
密度(kg/m ³)	2300	20
比熱(J/kg/K)	1050	1250
表面熱伝達率 (W/m ² /K)	15	

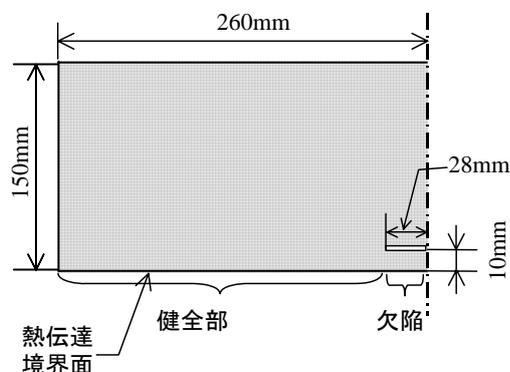


図1 解析モデル

キーワード 赤外線サーモグラフィ, 非破壊検査, 欠陥検出, 表面温度

連絡先 〒551-0021 大阪市大正区南恩加島 7-1-55 住友大阪セメント(株)セメント・コンクリート研究所 TEL06-6556-2275

熱画像を用いて欠陥が検出しやすくなる。表面温度の上昇量が大きいほど面外方向への熱拡散量が増加するため、この熱の流れを遮る欠陥の存在に伴い生じる表面温度差が大きくなるものと考えられる。外気温上昇速度の異なる3ケースにおいて、 ΔT と A の関係は異なり、外気温の上昇が緩やかなほど欠陥に生じる温度差は小さくなる傾向にあった。温度上昇が緩やかになると、欠陥部と健全部間の面内方向の熱拡散が顕著となり、欠陥温度差が減少するものと考えられる。また、ケース1ではコンクリートの熱伝導率を2.6, 1.5(W/m/K)の2種類とした解析を行ったが、 ΔT と A の関係に与える影響は小さかった。図3にケース1, 2, 3における表面温度変化率 A' と ΔT の関係を示す。式(2)に示した A' の算出は、 t_2-t_1 を10分として行った。 A' が大きいほど ΔT は大きくなる傾向にあった。ただし、両者の関係は外気温の上昇速度及びコンクリートの熱伝導率の影響を受けて変化した。 t_2-t_1 を5~30分の範囲で変化させて A' を算出した場合、 ΔT と A' の関係は同様であった。

図4は、外気温の変化はなく、日射量及び日射時間の変化を想定したケース4からケース7における ΔT と A の関係である。日射量が増えるケース6及びケース7では、 ΔT と A の関係がループを描いており、温度変化量が同一でも表面温度の上昇過程と下降過程において欠陥温度差は異なった。日射により30分間加熱されたケース6の温度下降時には、開始時から見ると表面温度は 2°C 近く高いものの ΔT はほぼ0となった。このように、境界条件を複雑にするほど ΔT と A の関係も複雑になり、任意の検査環境において ΔT を精度良く予測することは困難になるといえる。ただし、日射量が急変するケース6, 7を含めても、図2及び図4より初期状態から表面温度が 3°C 以上上昇していれば、深さ10mmの欠陥部には 0.5°C 以上の温度差が生じた。この場合、温度分解能が 0.1°C 程度の赤外線サーモグラフィを用いれば欠陥は検出できると考えられる。また、本稿では欠陥を幅56mmとした解析を行ったが、欠陥幅を大きくすると欠陥部に生じる温度差は大きくなる。したがって、寸法が50mm程度以上であり、深さが10mmと表面のごく近傍に存在する浅い欠陥の検出の可否は、赤外線サーモグラフィにより測定可能な、対象物の表面温度変化量を用いて、簡易的に判定できる可能性があると考えられる。

4. まとめ

- ・ 表面温度変化量と欠陥温度差には相関が認められるものの、その関係は検査環境により変化した。
- ・ 深さが10mm程度と表面のごく近傍の欠陥は、寸法が50mm程度あれば表面温度の変化量から欠陥の検出の可否を簡易的に判定できる可能性がある。

参考文献

1) 福岡賢ほか, 赤外線サーモグラフィ法の検証結果と新たな点検手法の一考察, コンクリート工学論文集, Vol. 15, No. 2, 2004
 2) 中村士郎ほか, 内部温度測定を併用した赤外線サーモグラフィ法に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 25, No. 1, 2003

表2 解析条件

ケース	境界条件		コンクリート熱伝導率 λ_c (W/m/K)	
	1	外気温上昇 T_{out} ($^{\circ}\text{C/hr}$)	$T_{out}'=5$	2.6
2	$T_{out}'=3$		2.6	1.5
3	$T_{out}'=1$			
4	日射 q (W/m^2)	$q=300$	2.6	
5		$q=150$		
6	日射変化	30分		
7	$q=150 \rightarrow 0$	10分		

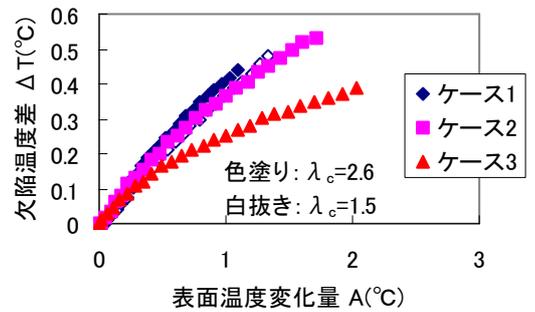


図2 表面温度変化量と欠陥温度差(ケース1,2,3)

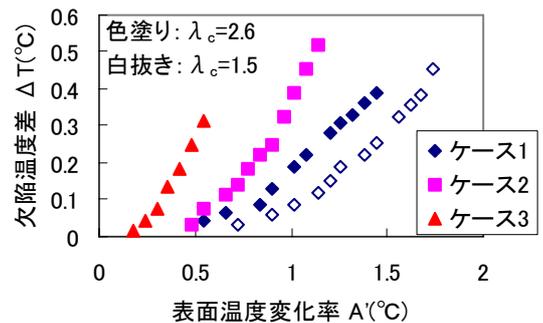


図3 表面温度変化率と欠陥温度差(ケース1,2,3)

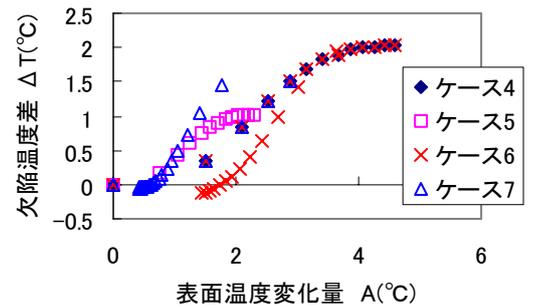


図4 表面温度変化量と欠陥温度差(ケース4,5,6,7)