

アスファルト敷設時の舗装熱を利用したサーモグラフィー法によるRC床版内部の欠陥検出

日本大学 学生会員 ○三星 智典
中央工学校 正会員 金光 寿一

日本大学 正会員 柳内 睦人
日本大学 学生会員 黒古 剛司

1. まえがき

検査効率の高いサーモグラフィー法を利用したRC床版内部の欠陥検出では、外気温の変動を利用したパッシブ法と人為的な加熱によって温度差を生じさせるアクティブ法から検討されている。しかし、床版下面は外気温による温度差が余り期待できず、また人為的な加熱では温度むらや高架橋では足場の設置に問題を残す。そこで、本研究ではアスファルト敷設時の舗装熱を利用した床版内部の診断法を提案した。実験では、床版厚さ、欠陥の大きさ及び深さを変化させて検出可能範囲について差分法から検討した。さらに、パッシブ法及び非定常熱伝導解析から本手法の有効性を検証した。

2. 実験概要

2.1 試験体及び欠陥

作製した 6 種類の試験体一覧及びその断面を表-1、図-1(a)、(b)に示す。なお、試験体記号 SH

の後の数字はコンクリートの厚さを示し、-の後の数字は欠陥の深さを示す。床版内部の空洞・空隙を想定した擬似欠陥は、発泡スチロールを加工して、コンクリート下面から 20 及び 40mm の位置に設置した。また試験体は熱の流入を遮断するため、側面には厚さ 50mm の発泡スチロールを貼付けている。舗装は、内寸 480 × 480mm の木枠を作製し、その木枠内に敷設した。

2.2 アスファルト舗装

試験体への舗装は、防水工、SMA 工法及び高機能舗装の 2 層仕上げを想定し、繰り返して実験を行うために ISO 標準砂を代用して温度管理を行った。図-2に敷設熱から得られたコンクリート上面温度を熱電対 (T-G, 芯線構成: 0.65 × 2, 熱起電力: 100 $\mu\text{V}/\text{m}\cdot\text{V}$) で測定した時系列変化を示す。なお、コンクリート表面には、実橋梁施工で行われているエポキシ樹脂プライマー処理後に塗膜系の防水加工を施し、温度管理は砂の厚み及び砂上を断熱材で覆うことで調整している。

2.3 熱赤外線センサによる測定方法及び条件

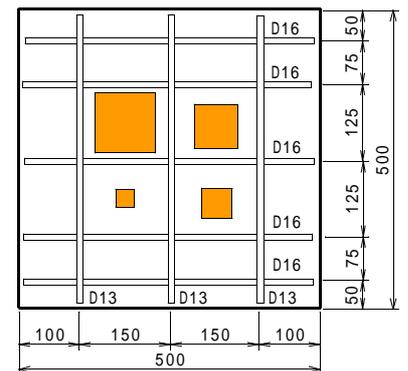
熱赤外線センサ〔2次元非冷却マイクロポロメータ型, 応答波長領域 12.0 ~ 14.0 μm , 感度 0.15 (30 黒体炉にて)〕による温度測定は、高さ 2.0 m の L 形鋼で試験体を支え、測定距離 1.35m の真下の位置から 1 層敷設直後より 10 分間隔で 6 時間連続して時系列の熱画像を得ることにした。その試験体下面の測定面は、500 × 500 mm の試験体に対して 400 × 400mm の範囲である(図-1参照)。

表-1 試験体一覧

試験体	コンクリート厚さ(mm)	欠陥寸法(mm)		
		深さ	大きさ	厚さ
SH160	160	20	30 × 30	5
SH200	200		50 × 50	
SH240	240		70 × 70	
		40	100 × 100	



(a) 断面図



(b) 欠陥配置図

図-1 試験体 (SH240-20)

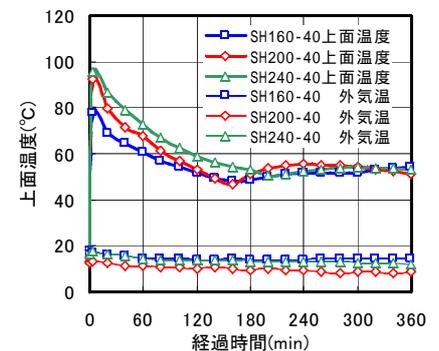


図-2 コンクリート上面温度

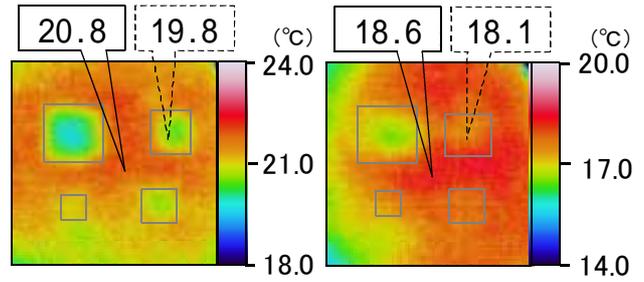
キ - ワ - ド : 舗装熱、RC 床版、サーモグラフィー法、欠陥検出、非定常熱伝導解析

連絡先 : 〒 275-8575 習志野市泉町 1-2-1 日本大学 柳内研究室 TEL.&FAX.047-474-2441 E-mail:yanai@cit.nihon-u.ac.jp

3. 実験結果

3.1 熱画像と欠陥評価

写真-1(a),(b)は、SH200-20 及び SH200-40 で得られた熱画像である。SH200-20 の熱画像は、欠陥の大きさ30mm 以上を確実に、また、評価が困難と思われる SH200-40 では 70mm 以上を確認することができる。その70mm エリアと健全部との差分温度は0.5 であった。



(a)SH200-20(220分後) (b)SH200-40(320分後)

写真-1 最適検出時間における熱画像

一方、パッシブ法の SH200-40 は高温時のピークが0.1、低温時のピークが-0.2 であり本手法の有効性が確認された。

3.2 熱伝導解析による数値シミュレーション

三次元非定常熱伝導シミュレーションには、汎用 F E M プログラム COSMOS/M Ver2.6を使用した。解析モデルは本実験値との整合を図るため、図-1に示す断面を要素分割した(図-3参照)。舗装熱を想定した熱負荷条件は、図-2に示す各試験体で得られたコンクリート上面温度を直接供給し、コンクリート内部温度及び外気温は定常とした。また、試験体側面は完全断熱境界とし、伝達係数は 11.2W/m²·K とした。解析に用いた熱特性を表-2に示す。

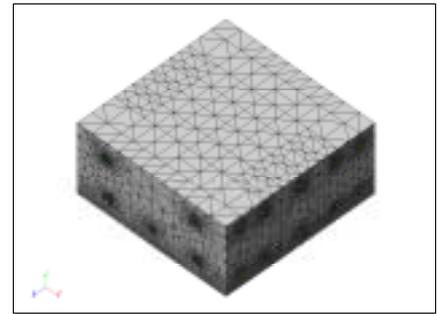


図-3 解析モデル

表-2 解析に用いた熱特性

材料	密度 (kg/m ³)	比熱 [kJ/(m ³ ·K)]	熱伝導率 [W/(m·K)]
コンクリート	2,200	0.876	1.4
鉄筋	7,850	0.461	72.0
発泡スチロール	28	1.009	0.0556

3.3 シミュレーション解析結果

図-4は実験値とシミュレーションとを比較するために各欠陥部の1画素及び1節点で得られた表面温度である。また、表-3には各欠陥と健全部との差分温度を示す。その結果、両者には若干の相違が見られるものの、伝達開始時間及び推移曲線は良く一致している。図-5に SH200-20 及び SH200-40 の解析値で得られた上昇温度と欠陥の大きさ及び深さの関係を示す。このようにコンクリートの厚さ及び上昇温度から検出可能な欠陥に対応した差分を推定することができる。

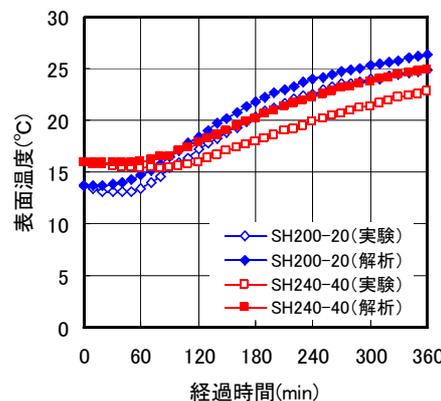


図-4 上昇温度の比較

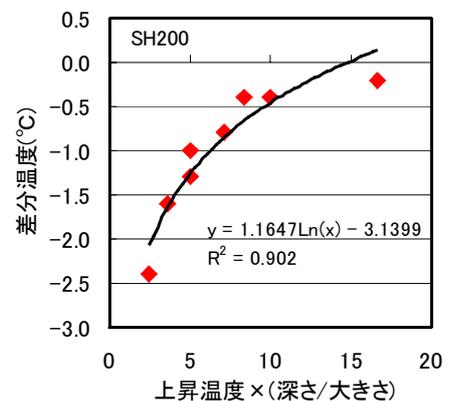


図-5 欠陥の大きさ及び深さの関係

4. まとめ

(1) 舗装熱を利用した RC 床版内部の欠陥検出では、内部空洞位置に欠陥を示す低温域が観測され、シミュレーションからも内部欠陥検出のモニタリング手法としての有効性が検証できた。

(2) コンクリートの厚さが分かれば、その健全部の上昇温度から欠陥の大きさに対応した深さを推定することができる。

表-3 差分温度の比較 (360分後)

試験体	測定開始時の表面温度 (°C)	上昇温度(°C) 実験値/ 解析値	実験差分温度(°C) / 解析差分温度(°C)			
			欠陥の大きさ(mm)			
			30	50	70	100
SH160-20	12.7	13.2/16.4	-0.7/-0.6	-1.6/-1.3	-2.5/-2.0	-3.3/-3.1
SH200-20	13.2	11.2/12.5	-0.8/-0.4	-1.3/-1.0	-2.2/-1.6	-2.7/-2.4
SH240-20	15.4	7.7/ 9.1	-0.9/-0.4	-1.1/-0.8	-2.1/-1.2	-2.5/-1.8
SH160-40	16.6	14.1/16.2	-0.5/-0.3	-1.2/-0.5	-1.7/-0.9	-2.0/-1.5
SH200-40	12.8	10.1/12.5	-0.5/-0.2	-0.7/-0.4	-1.1/-0.8	-1.8/-1.3
SH240-40	16.5	7.0/ 9.1	-0.4/-0.2	-0.4/-0.3	-0.6/-0.6	-1.3/-1.0