

日本大学(院) 学生会員 ○三星 智典 日本大学 正会員 柳内 陸人
日本道路公団 正会員 菅野 匡 中央工学校 正会員 金光 寿一

1. まえがき

最近、RC 造の高架橋や高速道路の床版部は交通量の増加、車両の大型化などによる疲労損傷の事例が多く報告され、維持管理の面からモニタリング体制の構築が望まれている。そこで、本研究では日射による温度差が期待できない RC 床版内部の欠陥検出についてアスファルト敷設時の舗装熱を利用してサーモグラフィー法から検討を行うものである。特に、アスファルト敷設時の温度は約 160℃と高く、また、その熱負荷時間も長く広範囲で均一に RC 床版上面から熱が伝達されることになり、欠陥検出精度の面からも有効なモニタリング手法になるものと考ええる。

2. 実験概要

2.1 試験体及び欠陥位置

作製した 6 種類の試験体一覧を表-1 に、その断面及び欠陥配置を図-1 に示す。なお、試験体 SH の後の数字はコンクリートの厚さを、一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、試験体は熱の流出入を遮断するため、側面には厚さ 50mm の発泡スチロールを貼付けている。舗装箇所は、500×500mm の試験体に対して内寸 480×480mm の木枠を作成し、その内部に敷設した。

2.2 アスファルト舗装

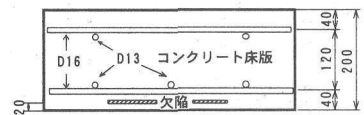
試験体への舗装は、防水工、SMA 舗装及び高機能舗装の 2 層仕上げで、繰り返して実験を行うために ISO 標準砂を加熱して代用した。その温度管理では、実施工の温度下降を想定して、敷設時の温度である 160℃～165℃が 2 次転圧終了温度 60℃に下降するまでの時間を、概ね 3～4 時間になるように砂の厚み及び砂上を断熱材で覆うことで調整した。また、2 層目は 1 層目の内部温度が 60℃に低下した時点で敷設した。砂の厚みは、1 層が 80mm、2 層が 60mm である。なお、コンクリート表面には実橋梁施工で行われているエポキシ樹脂プライマー処理後に塗膜系の防水工を施している。

2.3 熱赤外線センサによる測定方法及び条件

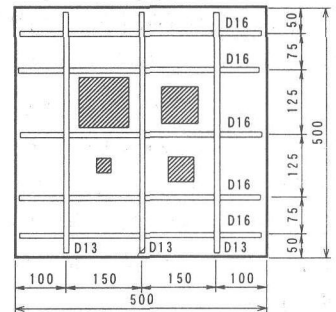
熱赤外線センサ [2 次元非冷却マイクロボロメータ型、応答波長領域 12.0～14.0 μm、感度 0.15℃ (30℃黒体炉にて)] による温度測定は、高さ 2.0m の L 形網で試験体を支え、測定距離 1.35m の真下の位置から敷設直後より 10 分間隔で 6 時間連続して熱画像を撮り込むことにした(写真-1 参照)。その試験体下面の温度測定は、500×500mm の試験体に対して 400×400mm の範囲である。特に、熱画像からコンクリート内部の欠陥検出を行う場合、欠陥と健全部間には検出可能な表面温度差が

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	40	50×50	
SH240	240		70×70 100×100	



(a) 断面図



(b) 欠陥配置図

図-1 試験体 (SH200-20)

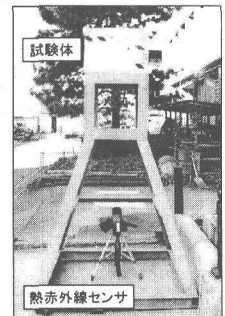


写真-1 測定状況

キーワード：サーモグラフィー法、舗装熱、欠陥診断、実床版診断

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@civil.cit.nihon-u.ac.jp

必要であり、熱伝達に伴う上昇温度から欠陥を検出する開始時間、最適な検出時間及び検出限界時間が存在することになる。

3. 実験結果

3.1 熱画像と欠陥評価

図-2 は、各試験体へ ISO 標準砂を敷設した舗装熱から得られたコンク

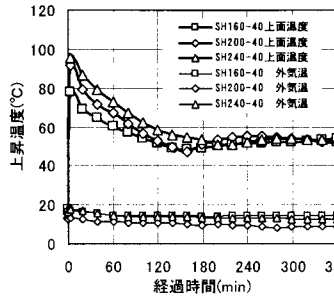
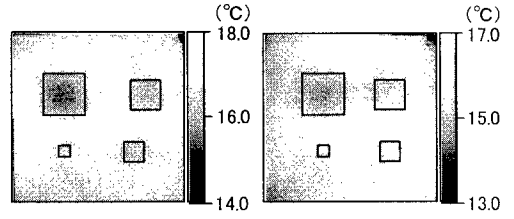


図-2 コンクリート上面温度変化



(a) SH200-20 (220 分後) (c) SH200-40 (320 分後)

写真-2 アクティブ加熱による熱画像

表-2 熱伝達開始時間と上昇温度

試験体	測定開始時の表面温度(°C)	伝達開始時間(min)	最大温度(°C)	上昇温度(°C)
SH160-20	12.7	30	22.9	10.2
SH200-20	13.2	50	20.8	7.6
SH240-20	15.4	100	20.1	4.7
SH160-40	16.6	30	27.7	11.1
SH200-40	12.8	50	18.8	6.0
SH240-40	16.5	100	20.4	3.9

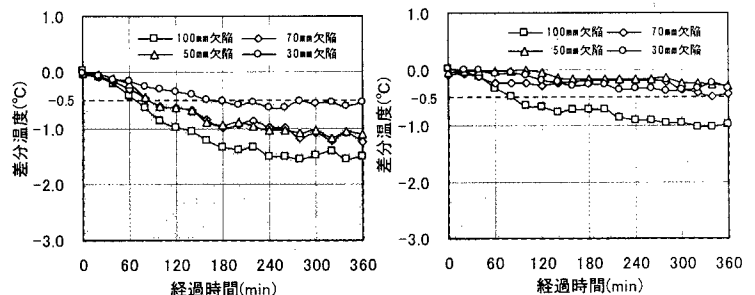
リート上面温度及び外気温を熱電対で測定した時系列変化である。

写真-2 (a), (b) は SH200-20 及び SH200-40 から得られた熱画像である。特に、この熱画像は 1 層敷設後からの経過時間において、欠陥部と健全部間に最も大きな温度差が現れた経過時間のものである。両熱画像では、伝達あるいは蓄積した熱エネルギーは欠陥部の側面から拡散されて下面に廻り込むことになるため、各欠陥の境界部が若干不鮮明となるものの、SH200-20 では、欠陥の大きさ 30mm 以上を、また、SH200-40 においては、70mm 以上を確認することができる。表-2 に、伝達開始時間及び上昇温度を示す。その結果、SH160、SH200 及び SH240 の伝達開始時間は、それぞれ 30 分、50 分及び 100 分経過後からであり、その最大上昇温度は、概ね SH160 で 10.7°C、SH200 で 6.8°C、SH240 においても 4.3°C 程度生じることが分かる。

3.2 表面温度差と欠陥検出

図-3 (a), (b) は、SH200-20 及び SH200-40 の各欠陥エリアと健全部エリア 5 箇所で作られた平均温度との差分を時系列で示したものである。

表-3 には、各実験要因から得られた各欠陥部と健全部間の最も大きな表面温度と測定開始からの経過時間を示す。その結果、熱画像での視覚的な欠陥検出では、表面温度差を判定指標として比較した結果、欠陥を確実に検出するためには -0.5°C 以下が必要であった。従って、表-3 に示す結果では、-0.4°C は誤診の危険性が、また -0.2°C での欠陥検出は困難であった。一方、検出可能な限界時間では、図-3 から測定終了時の 360 分以降もしばらくは視覚的に欠陥検出が可能な -0.5°C 以下の差分温度として継続することが推測され、欠陥検出の許容時間の確保が長時間見込める。



(a) SH200-20

(b) SH200-40

図-3 表面温度差 (SH200)

表-3 最大温度差と経過時間の関係

試験体	最大差分温度(°C) / 経過時間(min)			
	欠陥の大きさ(mm)			
	30	50	70	100
SH160-20	-0.3 / 260	-1.1 / 340	-1.6 / 300	-1.7 / 220
SH200-20	-0.6 / 240	-1.2 / 320	-1.3 / 360	-1.6 / 280
SH240-20	-0.8 / 280	-0.8 / 360	-1.1 / 360	-2.4 / 280
SH160-40	-0.4 / 240	-0.5 / 360	-0.9 / 360	-1.2 / 360
SH200-40	-0.4 / 280	-0.3 / 360	-0.5 / 340	-1.0 / 320
SH240-40	-0.2 / 300	-0.2 / 340	-0.5 / 340	-0.9 / 320

4. まとめ

(1) 舗装熱の伝達から RC 床版下面には特異的な温度分布を示す異常箇所が現れ、内部欠陥検出のモニタリング手法として有効性が検証できた。(2) 熱負荷時間が、長く広範囲で均一に RC 床版上面から熱が伝達されるため、欠陥検出精度の向上が図れた。(3) 最も欠陥検出が困難である床版厚さ 240mm の欠陥深さ 40mm では、欠陥の大きさ 70mm 以上を定量評価することができた。