アスファルトの舗装熱を利用したサーモグラフィー法による 炭素繊維シート補強コンクリートの内部欠陥検出手法

日本大学大学院	学生会員	山本	欣德
日本大学	正 会 員	柳内	睦人
中央工学校	正 会 員	金光	寿一

1. まえがき

近年、道路橋床版部の補強方法として CFS が採用されている。その補強後の床版内部の欠陥検出法として サーモグラフィー法を適用する場合、パッシブ法では床版下部は日陰となるため温度差が得られなかったり、 アクティブ法では加熱範囲が制限されるため検出精度や足場の経費に問題を残す。そこで、本研究では、ア スファルト舗装熱を利用する内部欠陥の検出手法を提案し、CFS の積層数、欠陥部の大きさ及び深さを変化 させて実測し欠陥の検出が可能となる温度差について検討した。さらに、CFS の積層数が及ぼす欠陥検出へ の影響は、シミュレーションから明らかにした。

表-1 試験体一覧

深さ

(mm)

20

40

欠陥要因

大きさ

 30×30

 50×50

 70×70

 100×100

欠陥部寸法(mm)

厚さ

5

2.実験概要

2.1 試験体及び欠陥

実験に供した試験体一覧を表-1 に、その断面図を図-1に示す。使 用したCFSは、N社製(目付量 200g/m²,シート厚0.111mm,標準 施工厚 0.45mm,熱伝導率18W/m・

K)で、下地処理、 エポキシ樹脂プライマー処理後に 1~3枚を接着 樹脂で含浸した。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20mm及び40mm (表 面間寸法)の位置に設置した。なお、 試験体は測定面以外からの熱 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。

試験体

記号

CS0

CS1

CS2

CS3

-

枚数

0

1

2

3

2.2 アスファルト舗装

試験体への舗設は、防水工、SMA舗装及び高機能舗装の 2層仕上 げを想定し、繰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に熱電対で得られたコンクリート上面温度の時 系列変化を示す。なお、コンクリート表面には防水加工を施し、温 度管理はISO標準砂上を断熱材で覆うことで調整している。その舗 装厚さは、1層が80mm、2層が60mmである。

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 0 120 領域12.0~14.0µm,感度0.15 (30 黒体炉にて)〕による温度測定 は、高さ2.0mのL形鋼で試験体を支え、測定距離 1.35mの真下の位 図-2 舗装熱(置から1層舗設直後より10分間隔で10時間連続して時系列の熱画像を得ることにした。

コンクリート床版 120 D16 200 40 欠陥・ 2 CFS 断面図 (a) 50 D16 75 D16 125 D16 200 125 D16 75 D16 50 D13 D13 100_ 150 100 150 5**0**0 (b) 欠陥配置図 図-1 試験体(CS1-20) 90 -CS1-20上面温度 80 -------CS3-20上面温度 70 - CS0-20外気温 CS1-20外気温 ୍ବି 60 ▲ CS3-20外気温 No. of Concession, No. of Conces WWWWWWWWWWWW 函 50 则 40 匾 30 ч 20 10 ٥ 0 120 240 360 480 600 経過時間(min) 図-2 舗装熱(コンクリート上面温度)

キーワード: RC 床版, 欠陥検出, 炭素繊維シート, サーモグラフィー法, 舗装熱

連絡先: 〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1 日本大学生産工学部 TEL047-474-2441 E-mail: yanai@civil.cit.nihon-u.ac.jp

-821-

3.実験結果

熱赤外線センサによる温度測定は、パッシブ法では 9:00から、舗装 熱は12:00から行った。図-3は、舗装熱の熱伝達から得られた健全部の 表面温度である。写真-1(a),(b)にパッシブ法及び舗装熱で得られた熱 画像を示す。その結果、パッシブ法では深さ 40mmに位置する欠陥部を 確認することは困難である。一方、舗装熱では欠陥部 100mmを確実に 検出することができる。表-2に各欠陥部と健全部間(欠陥部-健全部) の最大温度差を示す。欠陥検出では、 熱画像との比較から健全部との 温度差が±0.5 以上は必要であった。

4. 熱伝導解析

三次元非定常熱伝導解析には、汎用FEMプログラム COSMOS/M Ver2.7を使用し、CFSの影響を明確にする ためCS0-20で得られた実験要因統一してシミュレーシ ョンを行った。解析モデルは、図-1に示す断面を要素 分割し、CFSの1層の接着厚さは0.17+0.11+0.17mmとし、 熱伝導率は繊維方向とその直角方向で異なる値を設定 した。解析条件を表-3に示す。熱伝達係数はCS0-20の 表面温度にほぼ一致した 21.0W/m²・Kとし、解析時間

間隔は5分、結果 の出力は10分間 隔とした。なお、 側面とこ全断熱 境界としている。 その推移曲線か ら熱伝達開始時 間はほぼ60分程 度であり、欠陥

部の位置が深く

表-2 火陥部と温度差の関係						
試験体 記号	日射による最大温度差(℃)/ 舗装熱による最大温度差(℃)					
	30	50	70	100		
CS0-20	0.06/-0.21	0.20/-0.50	0.38/-0.69	0.58/-1.65		
CS1-20	0.00/-0.13	0.29/-0.30	0.51/-0.50	0.88/-1.23		
CS2-20	0.21/0.06	0.33/-0.21	0.70/-0.51	0.96/-1.30		
CS3-20	0.24/-0.04	0.33/-0.29	0.46/-0.45	0.73/-1.20		
CS0-40	-0.06/-0.20	0.12/-0.28	0.30/-0.44	0.34/-0.94		
CS1-40	0.01/-0.04	0.06/-0.17	0.18/-0.47	0.30/-0.84		
CS2-40	0.15/-0.14	0.18/-0.19	0.27/-0.38	0.37/-0.64		
CS3-40	0.12/-0.01	0.17/-0.17	0.30/-0.28	0.43/-0.59		

積層数が多くなるほど検出開始時間が遅くなることが分か る。積層数が影響する温度差は、欠陥の深さ20mmの無補強 と3層との比較から600分後で0.19 、深さ40mmでは0.12 と格差が非常に小さく、欠陥部の深さに大きく影響するこ とが分かる。また、検出許容時間では検出が最も困難であ るCS3-40で400分間以上は-0.5 を確保しており、舗装熱を 利用する診断法の有効性が明らかとなった。



36.2 35.9 36.6 (°C) 36.5 (°C) 36.0 28.0 31.5 26.0 57 55 17 50 24.0 27.0

(a)パッシブ法(11:00) (b)舗装熱(600 分後) 写真-1 熱画像(CS3-40)

表-3 解析条件

材料	密度 (kg/m ³)	比熱 [kJ/(kg•K)]	熱伝導率 〔W/(m•K)〕
コンクリート	2,400	0.95	1.50
発泡スチロール	28.6	1.30	0.027
エポキシ樹脂	1,850	1.10	0.30
CFS(繊維/直角)	1,268	1.61	18.0/0.30



5.まとめ

- (1) 実験及びシミュレーションから、舗装熱を利用することでパッシブ法では検出できなかった深さ 40mm に位置する欠陥部 100mm を検出できることが分かった。
- (2)検出許容時間では、検出が最も困難である CS3-40 で 400 分間以上は確保され、長大橋梁の検査にも十分 対応できることが分かった。