

舗装熱を利用したサーモグラフィー法による走行荷重を受けた CFS 補強コンクリートの剥離進展領域評価

日本大学(院) 学生会員 ○黒古 剛司 日本大学 正会員 柳内 睦人
中央工学校 正会員 金光 寿一 日本大学 学生会員 三星 智典

1. はじめに

近年、RC造の橋桁や床版部の補強方法として、炭素繊維シート(以下、CFSと記す)を接着する工法が注目されている。この補強後の供用下においては更なる交通・環境条件の変化から既に潜在する疲労損傷やひび割れを起因とする剥離が懸念される。そこで、本研究では、CFSで補強された高架橋梁を想定し、非接触型のサーモグラフィー法から剥離の検出について検討した。実験は、CFSで補強されたRC梁に対して静荷重載荷及び走行荷重載荷実験を行い、破壊時に発生した曲げ及びせん断ひび割れを起因とする剥離領域評価についてアスファルト舗装時の熱伝達を利用して検討した。また、その剥離領域評価は打音法から検証した。

2. 実験概要

試験体は、長さ 2,800mm、幅 300mm の梁底面を CFS で 1 層補強し、静荷重載荷及び走行荷重載荷実験を行った。CFS(N 社製：高強度カーボン,目付量 200g/m^2 ,シート厚 0.111mm ,標準施工厚 0.45mm ,熱伝達率 $18\text{w/m}\cdot\text{K}$)で補強された RC 梁下面の剥離進展領域は、サーモグラフィー法では破壊後にアスファルト舗装時の熱伝達から、また打音法では FFT 解析で得られるスペクトルピーク及びウェーブレット解析から得られる時間-周波数の相違から閾値を設定し剥離領域を評価した。なお、実験は積層数による影響を検討するため 1 層補強の載荷実験後に 3 層まで貼付けている。

2.1 静荷重載荷及び走行荷重載荷実験

作製した試験体一覧及びその断面図を表-1及び図-1に示す。静荷重載荷実験は、支間 2,000mm の中央に車輪(直径 400mm,幅 250mm)を停止した状態でを行い、走行荷重載荷実験は支間中央を起点に左支点まで走行し、同点を折り返して右支点まで走行し、同点を折り返して支間中央で車輪を停止するものである。

2.3 サーモグラフィー法及び打音法の測定方法

試験体への舗装は、防水工、SMA舗装及び排水性舗装の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に舗設熱から得られたコンクリート上面温度を熱電対で測定した時系列変化を示す。熱赤外線センサ[2次元非冷却マイクロメータ型,応答波長領域 $8.0\sim 14.0\mu\text{m}$,感度 $0.15\text{ (at}30^\circ\text{C)}$]による温度測定は、測定距離2.3mのL型鋼で試験体を支え、測定距離1.65mの真下の位置から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とした。また、打音法に使用した自動剥離試験機は、打撃部(周波数範囲 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$,音圧感度 -36dBV/Pa ,レンジ $30\sim 135\text{dB}$)によって 0.02msec 毎に $0\sim 5.12\text{msec}$ までの打撃音の強さが記録できるものである。

表-1 試験体一覧

試験体記号	シート枚数	荷重載荷
SC1	1	静荷重
SC3	3	
LC1	1	走行荷重
LC3	3	

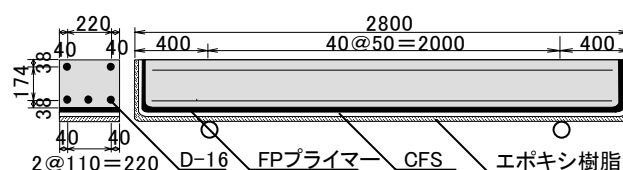


図-1 試験体断面

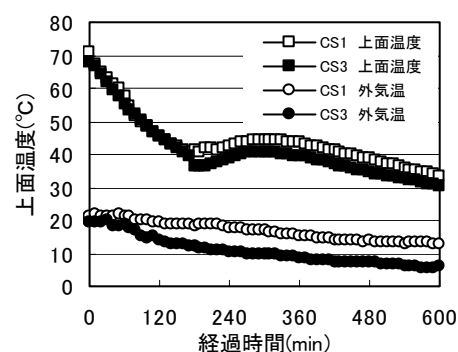


図-2 コンクリートへの供給熱

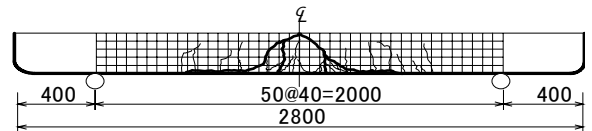
キーワード：炭素繊維シート、サーモグラフィー法、ウェーブレット解析、RC 梁、走行荷重

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

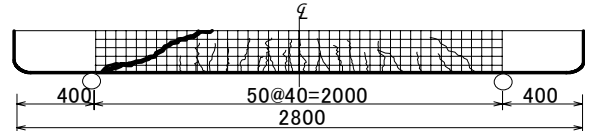
3. 実験結果

3.1 ひび割れ状況と熱画像

図-3 は静荷重及び走行荷重載荷実験から得られた SC3 及び LC3 のひび割れ状況とその後図-2 の舗装熱から得られた熱画像である。その結果、静荷重載荷では試験体の中央に曲げ及びせん断力の影響からひび割れ幅の大きいアーチ状のひび割れが確認される。一方、走行荷重載荷では、せん断スパン比 $a/d=2.59$ の位置で走行中にせん断破壊を起こしている。そのひび割れ間隔は、静荷重載荷が 5~7cm、走行荷重載荷では、3~7cm とさらに密に発生している。静荷重載荷の熱画像では、ひび割れ箇所を中心とする低温域が広範囲に現れており、剥離が面的に発生していることが分かる。一方、走行荷重載荷では、せん断ひび割れ箇所に発生した面的な剥離は確実に検出できるものの、曲げひび割れ箇所を中心とする線的な剥離は視覚的に誤診を起こす危険性がある。



(a) 静荷重載荷(SC3)



(b) 走行荷重載荷(LC3)

図-3 ひび割れ状況と熱画像

3.2 表面温度差を利用した剥離評価

図-4 及び図-5 に熱赤外線センサから得られた試験体の長手方向中心部の表面温度を示す。その結果、静荷重載荷では左支点より 65cm、85cm、120cm の位置に低温域のピークが確認され、その大きさとしてそれぞれ 20cm、15cm、50cm 程度の剥離評価となる。また、走行荷重では支点部、支点から 40cm と 55cm の位置に 5 及び 10cm 程度の大きさを確認することができるが、80~200cm にかけては温度差が 0.1 程度と極端に小さくなり剥離としての確認を難しくしている。

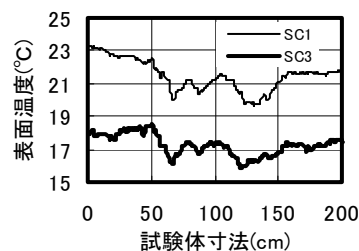


図-4 SC の表面温度

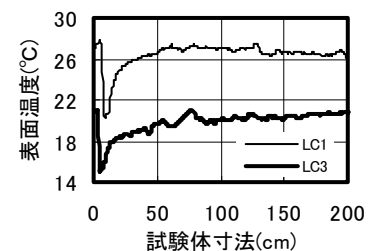


図-5 LC の表面温度

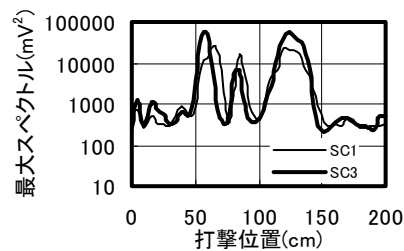


図-6 SC の最大スペクトル

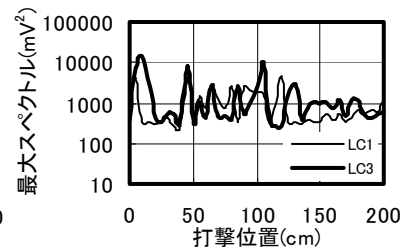


図-7 LC の最大スペクトル

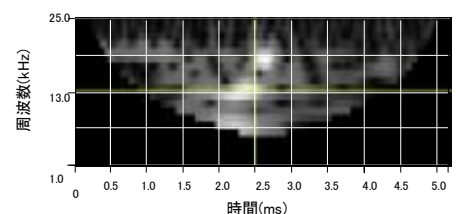
3.3 打音法を利用した剥離領域評価

図-6 及び図-7 は軸方向中央部を 5cm 間隔で打撃して得られたスペクトルピークと打撃位置の関係である。さらに剥離境界部を明確にするためにウェーブレット解析を行った。図-8(a), (b)に接着部と剥離部の可視化処理画像を示す。ウェーブレット解析では、このように 1msec 時の周波数帯域に明らかな違いが見られ約 1cm 程度の誤差で境界部を判定できる。

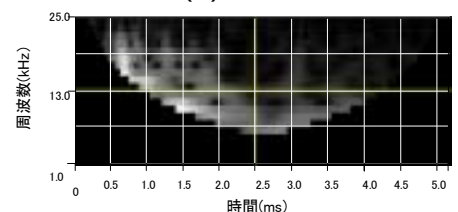
4. まとめ

本研究で得られた結果は、以下に示すとおりである。

- (1) 舗装熱を利用した剥離評価では、表面温度の変化と打音法の剥離評価から 5cm 程度の大きさが確認できた。
- (2) 打音法では、ウェーブレット解析から 1.0msec 時の強度レベルを指標として接着部と剥離部の境界を定量的に評価することができた。



(a) 接着部



(b) 剥離部

図-8 可視化処理画像(SC3)