

鋼床版に敷設した SFRC 舗装における接着剤接合部のせん断疲労強度特性

首都大学東京 学生会員 ○松本稔将 首都大学東京 正会員 村越潤
 施工技術総合研究所 正会員 小野秀一 (国研) 土木研究所 正会員 高橋実
 法政大学 正会員 森猛

1. はじめに

近年、交通条件の厳しい鋼床版橋において輪荷重直下の溶接部に疲労損傷が報告されている。このうち閉断面リブとデッキ間の溶接部に発生する疲労き裂の対策として、既存のアスファルト舗装を、剛性が高くかつ比重のほぼ同じ鋼繊維補強コンクリート(以下、SFRC)舗装に置き換えデッキプレートと一体化させる工法が提案されており、既設鋼床版に広く適用されている。本工法では SFRC と鋼床版の接合に接着剤が使用されているが、輪荷重載荷時の応力の繰返し作用や、環境作用に対する耐久性に関しては依然として知見が少ない状況である。本稿では、輪荷重載荷による接合部の応力の繰返しに対する疲労耐久性を把握するために、これまで接合に使用されている 2 種類の接着剤を対象に接合部を模擬した小型試験体のせん断疲労試験を行い、疲労挙動の分析を行った結果を報告する。

2. 小型試験体と試験方法

図-1 にせん断試験用の小型試験体の寸法形状を示す。試験体の製作及び試験方法は、過年度に実施した静的せん断試験¹⁾と同一とした。既設橋での交通規制下での急速施工を想定し超速硬セメントを使用した。鋼材の上面に素地調整(ブラスト工法、投射密度 150kg/m²)を行った後に接着剤を塗布し、その上に SFRC を打設し、28 日間の気中養生

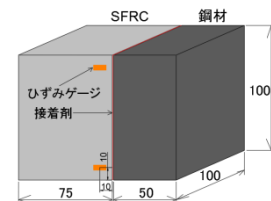


図-1 試験体の寸法形状

(20℃)を行った。SFRC の圧縮強度は、33.8N/mm² (材齢 3 時間)、64.6N/mm² (材齢 28 日)である。

表-1 に SFRC の接合に使用した 2 種類のエポキシ樹脂系接着剤の材料物性等を示す。接着剤 A は本工法用に開発された高耐久性接着剤であ

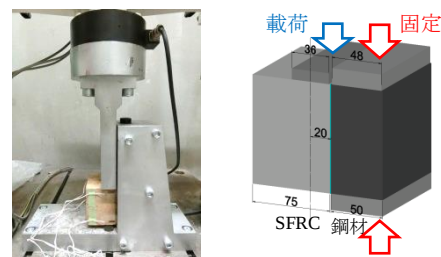
表-1 接着剤の性状及び硬化後の材料物性

項目	接着剤A		接着剤B	
	主剤	硬化剤	主剤	硬化剤
主成分	エポキシ樹脂	脂肪族ポリアミン	エポキシ樹脂	ポリチオール、変性脂肪族ポリアミン
外観	白色ペースト状	青色液状	白色粘稠液状	淡黄色液状
混合比	主剤:硬化剤=5:1(質量比)		主剤:硬化剤=3:1(質量比)	
硬化物比重	1.40±0.20 (JIS K 7112)		1.20±0.10 (JIS K 7112)	
圧縮強さ	50N/mm ² 以上 (JIS K 7181)		50N/mm ² 以上 (JIS K 7208*)	
圧縮弾性係数	1.0×10 ³ N/mm ² 以上 (JIS K 7181)		1.0×10 ³ N/mm ² 以上 (JIS K 7208*)	
曲げ強さ	35N/mm ² 以上 (JIS K 7171)		35N/mm ² 以上 (JIS K 7203*)	
引張せん断接着強さ	10N/mm ² 以上 (JIS K 6850)		10N/mm ² 以上 (JIS K 6850)	

注)各社の技術資料をもとに作成。※印は廃止規格を表す。

り、広く使用されている。接着剤 B は比較用とした接着剤であり、同工法の開発当初に使用されていた接着剤である。接着剤の塗布量は標準的な使用量 1ℓ/m² (平均塗布厚 1mm 相当)とした。

100kN 疲労試験機とせん断試験用治具を用いて、静的せん断試験(接着剤 A : 6 体(AS1~AS6)、接着剤 B : 6 体(BS1~BS6))と疲労試験(接着剤 A : 8 体(AF1~AF8)、接着剤 B : 9 体(BF1~BF9))を実施した。図-2 に試験状況と載荷方法を示す。試験体を横置きにし、50mm の鋼材部分を接合面まで固定し、一面せん断に近い載荷条件とした。図-1 に示す位置にひずみゲージ(ゲージ長:10mm)を貼付し、試験時の接合部付近の SFRC 部のひずみを計測した。静的せん断試験では載荷速度 1mm/min の変位制御とし、試験体の鋼材部と SFRC 部の接着接合部が破壊するまで載荷し、破壊時の荷重値を接合部断面積で除した値を静的せん断強度とした。疲労試験では載荷速度 10Hz (動ひずみ計測のサンプリング間隔: 0.005 秒)を基本とし最長 10⁷ 回まで載荷を実施した。各試験体の応力比は、疲労強度の傾向が得られるように適宜調整した。また、試験体の破壊面の状態を材料(SFRC 内)破壊、凝集(接着剤内)破壊、界面(鋼板と接着剤の境界)破壊の 3 種類に分類し、それぞれの面積割合と破壊位置(鋼材面からの高さ)を調べた。面積割合は破壊面の外観を写真撮影し、それぞれの面積を CAD 上で読み取り算出した。試験後に、破壊位置をレーザー変位計(スポット形



※載荷時には 1.5mm の硬質ウレタンゴムを敷いた

(a) 試験状況

(b) 載荷方法

図-2 試験状況と載荷方法

キーワード 鋼床版, 疲労, SFRC, 接着剤, せん断疲労試験

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 TEL: 042-677-2782 E-mail: matsumoto-toshimasa@ed.tmu.ac.jp

状 240mm×610μm, 分解能 300μm) で計測した。また, 試験体は異なるが, 未破壊の試験体を切断し, 接着剤層厚を画像から分析した。なお, 一連の試験は 6~1 月に室内で実施しており試験時の温度は 10~30℃前後である。

3. 試験結果と考察

静的せん断強度(平均値)は, 接着剤 A が 4.79N/mm² (6 体, 標準偏差 $\sigma=0.64$ N/mm²), 接着剤 B が 5.34N/mm² (6 体, $\sigma=0.57$ N/mm²) であり, B の方が若干大きい。図-3 にせん断疲労試験結果を示す。縦軸のせん断強度比 S_R は接着剤別の静的せん断強度に対するせん断応力範囲の比率であり, 横軸の N_f は各せん断応力範囲における破壊時の繰返し回数である。図中にはせん断強度比 $S_R=100\%$ の時に $N_f=1$ を通るとした一次回帰式を実線で, -1.64σ 下方にずらした下限式を点線で示す。ほぼすべての試験値が点線回帰式より上側にプロットされることが確認された。参考に横リブ交差部を模擬した SFRC 舗装試験体(接着剤 A)の疲労試験結果²⁾(せん断応力範囲は FEM 解析により算出)も並記した。

試験データ数が少なくばらつきは大きいものの, 2 接着剤の疲労強度には相違が見られた。実線回帰式に従えば, 10⁶ 回時では静的せん断強度に対して, 接着剤 A では 65%, B では 52%まで低下している。

写真-1 に疲労試験後の鋼材側破壊面の状況を, 図-4 に破壊面の面積割合を示す。撮影した動画の様子から, 破壊時には接合部付近の上・下側側面部分にひび割れが発生し, それらが進行する様子が確認された。破壊面の状況としては, 静的せん断試験の場合, 2 接着剤ともに材料破壊が支配的(SFRC 部は, 接着剤 A では面積割合で平均 87.1%, B では平均 70.2%)であった。一方, 疲労試験の場合, 接着剤 B では界面破壊に移行しており(SFRC 部は接着剤 B では面積割合で平均 45.4%), 静的破壊と疲労破壊では強度や破壊形態が異なる傾向がみられた。一般に界面破壊は接着性能としての信頼性が低いとされているが, 界面破壊への移行が疲労強度の低下に影響した可能性がある。ただし, 界面破壊の面積比率と疲労強度との関係に明確な相関は見られなかった。なお, 破壊面において接着剤間に線状の空隙が散見(面積比率では 1.9~10.0%), 試験体製作時に何らかの要因で接合部に空気が混入したものと考えられる。

接着剤層の厚さは接着剤 A で平均 1.0mm, 接着剤 B で平均 0.7mm であり, 2 接着剤ともに 0.3mm 程度をピークに SFRC 中に混ざり込んでいた。破壊位置に関して, 材料破壊が支配的な試験体(AS1~AS6, AF1~AF8, BS1~BS6)では, 鋼材面から, 接着剤 A で平均 1.5mm, 接着剤 B で平均 1.1mm の位置であり, SFRC 側へわずかに入ったところで破壊していた。なお, 最大高さ, 平均高さ及び粗さと疲労強度との関係には相関は見られなかった。

本研究の一部は, 国土交通省建設技術研究開発費補助金(平成 27~28 年度)と(一財)首都高速道路技術センターの研究開発助成(平成 29~30 年度)の一環として実施した。

参考文献 1) 村越他:既設鋼床版の SFRC 舗装による補強工法と耐久性評価に関する実験的検討, 土木学会論文集 A1, Vol.69, No.3, pp.416-428, 2013.9. 2) 森他:デッキ進展き裂を有する鋼床版の疲労耐久性に対する SFRC 舗装の効果, 土木学会第 72 回年次学術講演会概要集, I-278, pp.555-556, 2017.9. 3) 松田他:鋼床版に敷設した SFRC 舗装における接着剤接合部の疲労強度特性, 土木学会第 73 回年次学術講演会概要集, I-437, pp.873-874, 2018.8.

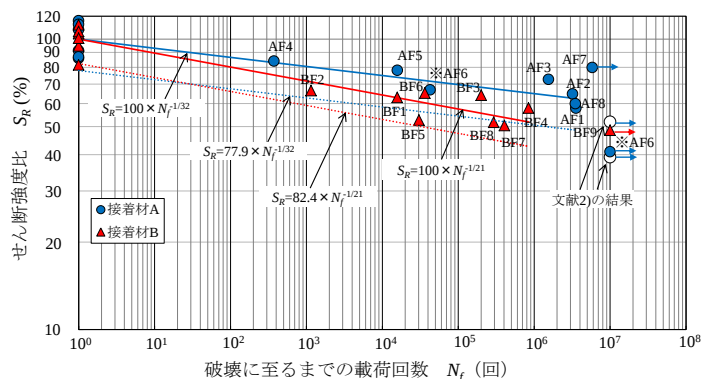
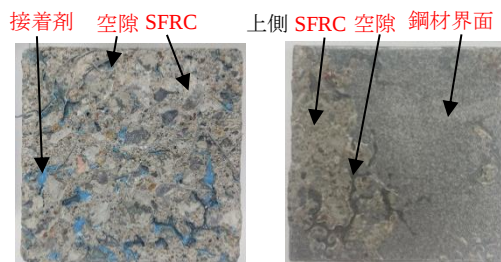
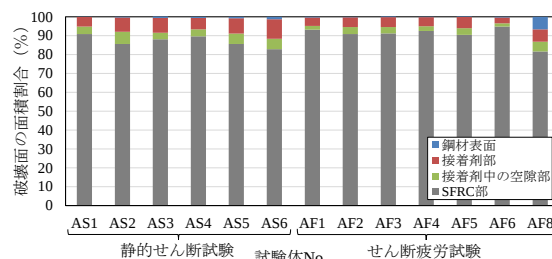


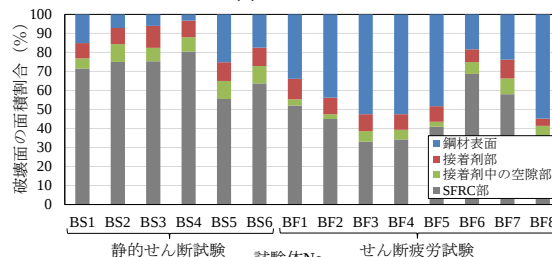
図-3 せん断疲労試験結果 (S-N 関係)



(a) 接着剤 A (AF5) 下側 (b) 接着剤 B (BF3) 上側
写真-1 疲労試験後の鋼材側破壊面の状況



(a) 接着剤 A



(b) 接着剤 B

図-4 破壊面の面積割合