

鋼床版の SFRC 舗装における接着材接合部の疲労強度特性

首都大学東京 学生会員 ○松田季里子
 施工技術総合研究所 正会員 小野秀一

首都大学東京 正会員 村越潤
 (国研)土木研究所(現 首都高速道路(株)) 正会員 佐藤歩
 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。これらの疲労対策として、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を使用しているが、実橋に適用されてから約 10 年が経過する一方で、ひび割れは確認されており、ひび割れ発生後における応力低減効果の持続性、ひび割れや舗装端部等からの水の浸入による舗装体及び SFRC と接着材接合部の耐久性への影響などに関しては依然として不明な点が多い。本文では、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について検討するために、接合部を模擬した小型試験体を製作し、せん断疲労試験を実施した結果を報告する。

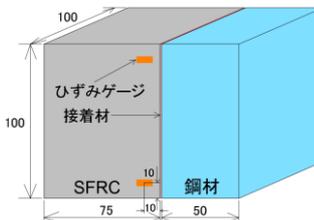


図-1 試験体の寸法形状

表-1 接着材の性状及び硬化後の材料物性

項目	接着材 A		接着材 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	変形脂環式ポリアミン、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製。※印は廃止規格を表す。

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、過年度に著者らが実施した静的せん断試験^{1),2)}と同一とした。既設橋での交通規制下での急速施工を前提として超速硬セメントを使用した。デッキ表面を模擬した鋼材上面に素地調整（ブラスト工法、投射密度 150kg/m²）を行った後に接着材を塗布し、その上に 75mm 厚の SFRC を打設し、28 日間の気中養生（20℃）を行った。

表-1 に SFRC 舗装の接合に使用した 2 種類のエポキシ系接着材の性状及び硬化後の材料物性を示す。接着材 A は、本工法用に開発された高耐久性接着材で広く使用されている。接着材 B は比較用とした接着材であり、同工法の開発当初に使用されていたが現在では使用されていない。接着材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。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。

静的せん断試験（接着材 A：6 体、接着材 B：6 体）と疲労試験（接着材 A：7 体、接着材 B：6 体）とについて、100kN 疲労試験機で実施した。図-2 に文献 1) のせん断試験を踏まえ製作した載荷治具を示す。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コンクリート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、計測した破壊時の荷重値を試験体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。また、破壊面の状態については、材料破壊、凝集破壊、界面破壊の 3 種類に分類し、それぞれの面積割合を調べた。面積割合は、試験体破断面の外観を写真撮影し、それぞれ

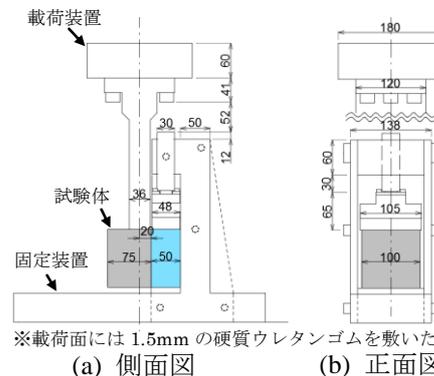


図-2 せん断試験用載荷治具

キーワード 鋼床版, 疲労, SFRC, 接着材, 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：matsuda-kiriko@ed.tmu.ac.jp

の破壊性状を CAD 上で抽出して算出した。接着材 B に関しては、目視での観察では SFRC との判別が難しかったため、ブラックライトを照射して接着材部分を特定した。

3. 試験結果と考察

静的せん断強度（平均値）は、接着材 A が 4.79N/mm^2 （標準偏差 $\sigma=0.64\text{N/mm}^2$ ）、接着材 B が 5.34N/mm^2 （ $\sigma=0.57\text{N/mm}^2$ ）であった。図-3 に疲労試験結果を示す。縦軸の応力比 R は接着材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、接着材別に破壊した試験体に対する一次回帰式を破線で示し、応力比 $R=100\%$ の時に $N_f=1$ を通る一次回帰式を実線で示す。また、参考に、横リブ部を模擬した SFRC 舗装試験体の疲労試験結果³⁾（応力範囲は FEM 解析により算出）も並記した。

2 接着材について、静的せん断強度は同程度であったが、データ数が少なくばらつきは大きいものの、疲労強度には相違が見られた。実線に従えば、 10^6 回載荷では静的せん断強度に対して、接着材 A では 67.0%、接着材 B では 53.7% まで低下している。

写真-1 に両試験における破壊面の状況（鋼材面側）を、図-4 に破壊面の面積割合を示す。荷重、変位、ひずみの動的計測より、各部のひずみ範囲は疲労試験中、ほぼ一定であった。また、撮影した動画の様子から、最後のほぼ 1 回の疲労載荷時に破壊に至った。破壊時（側面からみた破壊時の接合部の状況）には、上・下側にひび割れが発生し、それらが進行する状況が確認された。破壊面の状況としては、静的せん断試験の場合、2 接着材ともに材料破壊が支配的であったが、疲労試験の場合、接着材 B ではデッキ表面の露出が多く見られ界面破壊に移行する傾向が見られた。以上のように、静的破壊と疲労破壊では強度や破壊形態が異なることが分かった。また、破壊面において接着材間に線状の空隙が散見されており、これは試験体製作時に何らかの形で接合部に空気が混入した可能性が考えられる。

本研究の一部は、国土交通省建設技術研究開発費補助金「鋼床版の疲労損傷に対するコンクリート系舗装による補強技術の性能評価に関する研究」（平成 27~28 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) (独)土木研究所他：鋼床版橋梁の疲労耐久性向上技術に関する共同研究（その 2・3・4）報告書-SFRC 舗装した既設鋼床版の補強に関する設計・施工マニュアル(案)-，共同研究報告書，第 395 号，2009.10.
- 3) 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.

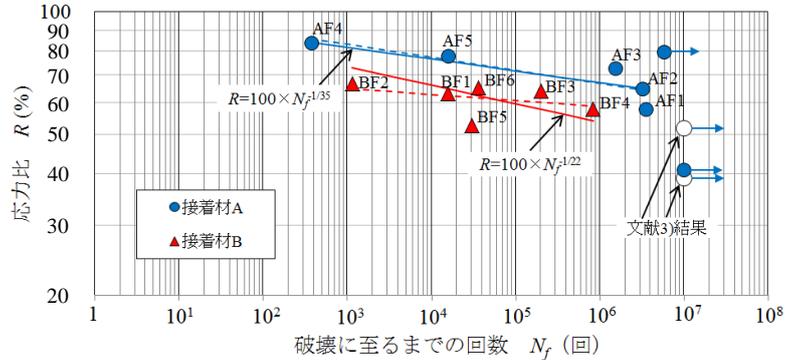


図-3 せん断疲労試験結果（S-N 関係）

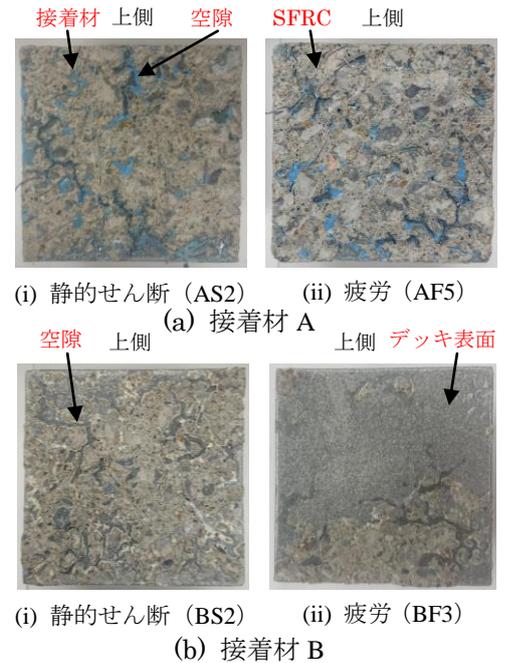
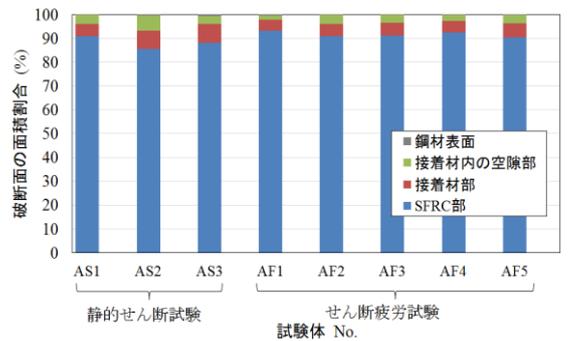
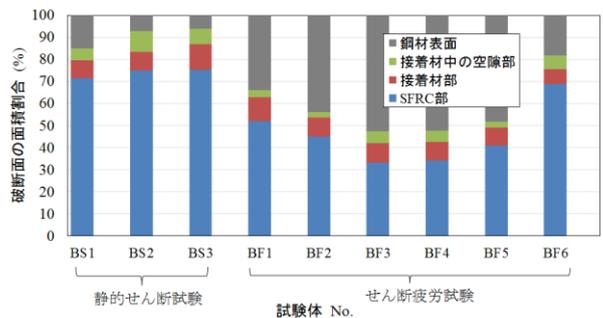


写真-1 破壊面の状態の例



(a) 接着材 A



(b) 接着材 B

図-4 破壊面の面積割合