

鋼床版 SFRC 舗装における接着剤接合部の環境負荷後のせん断疲労強度

東京都立大学 学生会員 ○白河拓丈 東京都立大学 正会員 村越潤
 施工技術総合研究所 正会員 小野秀一

1. はじめに

近年、交通条件の厳しい鋼床版橋において、デッキプレートと U リブの溶接部等に疲労損傷が報告されている。この対策として、既存のアスファルト舗装を、比重がほぼ同じで剛性の高い鋼繊維補強コンクリート（以下、SFRC）舗装に置き換え、接着剤により床版と一体化させる工法が提案され、既設鋼床版に広く適用されている。本工法における接着剤接合部の疲労挙動については、先行研究¹⁾において *S-N* 線や破壊性状が明らかにされているものの、水の浸入や温度の影響を受けた場合の疲労挙動や耐久性については依然として知見が少ない状況である。本検討では、環境負荷を与えた状態における、接着剤接合部の輪荷重載荷に対する疲労性状を明らかにするために、接合部を模擬した小型試験体のせん断疲労試験を実施した。

2. 試験体と試験方法

図-1 にせん断試験に使用した小型試験体の寸法形状を示す。試験体の製作手順及び試験方法は、過年度に実施したせん断試験¹⁾と同一とした。既設橋での交通規制下での急速施工を前提として超速硬セメントを使用し、デッキプレート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）を行った後に接着剤を塗布し、その上に 75mm 厚の SFRC を打設し、28 日間の気中養生（20℃）を行った後、供用環境での負荷を想定し 50℃温水に 168 日間浸漬した。負荷期間は文献²⁾を参考に決定した。

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剤の性状及び硬化後の材料物性を示す。接着剤 A は、本工法用に開発された高耐久性接着剤であり、広く使用されている。接着剤 B は本工法の開発当初に使用されていたが、現在は使用されていない。接着剤の塗布量は、接着剤 A では 1.4kg/m²、B では 1.35kg/m²（平均塗布厚 1mm 相当）とした。SFRC の圧縮強度は、33.1N/mm²（材齢 3 時間）、64.4N/mm²（材齢 28 日）である。

表-2 に試験条件ごとの試験体数を示す。これらについて、静的せん断試験と疲労試験を 100kN 疲労試験機で実施した。なお、接着剤 A については、文献¹⁾の結果と比較するために、負荷なしの場合の静的試験及び疲労試験を各 2 体実施した。試験結果については、接着剤 A, B における環境負荷なしの場合の試験結果（*S-N* 線）¹⁾と比較することとした。

写真-1 にせん断試験の状況を、図-2 に載荷方法を示す。試験体を横置きし、専用治具を用いて、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。載荷圧の極端な偏りがないことを確認するために、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

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 東京都立大学 TEL : 042-677-2782 E-mail : shirakawa-takumi@ed.tmu.ac.jp

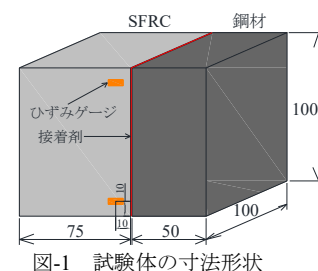


図-1 試験体の寸法形状

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、脂肪族ポリアミン
外観	白色ペースト状	青色液状	乳白色粘濁液	黄色透明液
混合比（質量比）	主剤：硬化剤＝5：1		主剤：硬化剤＝4：1	
硬化物比重	1.40±0.20 (JIS K 7112)		1.35±0.05 (JIS K 7112)	
圧縮強さ	50N/mm ² 以上 (JIS K 7181)		60N/mm ² 以上 (JIS K 7208 [※])	
圧縮弾性係数	1.0×10 ⁴ N/mm ² 以上 (JIS K 7181)		2.0×10 ⁴ N/mm ² 以上 (JIS K 7208 [※])	
曲げ強さ	35N/mm ² 以上 (JIS K 7171)		40N/mm ² 以上 (JIS K 7203 [※])	
引張せん断強さ	10N/mm ² 以上 (JIS K 6850)		10N/mm ² 以上 (JIS K 6850)	
ガラス転移温度	56℃		54℃	

(注) 各社技術資料より作成、※印は廃止規格を示す。

表-2 試験体一覧

試験種別	接着剤	環境負荷	試験体数
静的試験	A	あり	3
	B	なし	2
疲労試験	A	あり	7
	B	なし	3
		あり	7



写真-1 試験状況

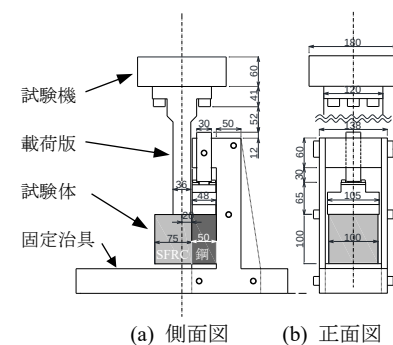


図-2 載荷方法

破壊時の荷重値を試験体断面積 ($10,000\text{mm}^2$) で除した値を静的せん断強度とした。疲労試験では载荷速度 10Hz で最長 10^7 回まで繰返し载荷を実施し、試験中の荷重及びひずみを $1/200$ 秒ごとに計測した。各試験体の応力範囲は、試験を行いつつ疲労強度の傾向が得られるように適宜調整した。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、それぞれの破壊性状の面積をCAD上で読み取り算出した。なお、一連の試験は8~12月に室内で実施しており試験時の温度は $10\sim 30^\circ\text{C}$ 前後である。

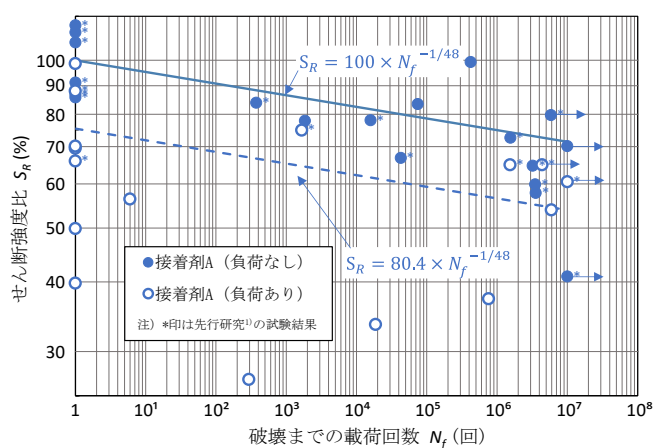
3. 試験結果と考察

負荷ありの静的せん断強度は、接着剤 A で平均 3.14N/mm^2 (標準偏差 0.97N/mm^2)、接着剤 B で平均 5.99N/mm^2 (標準偏差 0.81N/mm^2) であった。

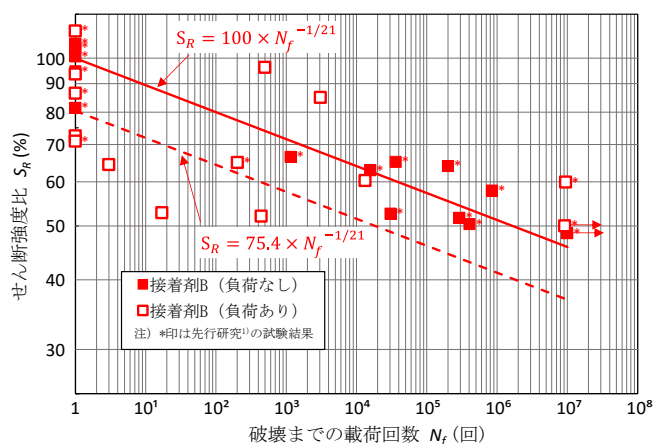
図-3 に、せん断疲労試験結果を示す。負荷なしと比較するために、先行研究¹⁾での結果を*印付きで示した。せん断強度比 S_R は、先行研究¹⁾での負荷なしの静的強度の平均値 (接着剤 A : 4.79N/mm^2 , 接着剤 B : 5.34N/mm^2) により無次元化した疲労強度である。図中の実線は、先行研究の結果を含め $N_f = 1$ で $S_R = 1$ となるよう求めた回帰式であり、破線はこの回帰式を $2 \times$ 標準偏差だけ下方にずらした下限式である。負荷なしと比較して疲労強度のばらつきが大きくなっており、強度の信頼性は極めて低い結果となっている。

図-4 に界面破壊の面積割合を、写真-2 に破壊面 ($100 \times 100\text{mm}$) の状況を示す。接着剤 A ではすべての負荷あり試験体で界面破壊が支配的であり、破壊した鋼板表面には錆が発生していた。接着剤 B では界面破壊が主体ではあるが、一部に材料破壊、凝集破壊が確認された。また、鋼板面の外周や空隙部分を中心に錆が発生していたが、未発錆の部分もあった。 50°C 温水浸漬という負荷条件は、夏季に接着層への水の浸入が発生した場合には起こり得る可能性が否定できないが、168日間という負荷期間²⁾は厳しいものと考えられる。ただし、破壊面の状態を踏まえると、維持管理において、接着層に水が浸入しないよう防水対策を確実にすることが重要と考えられる。

参考文献 1) 松本他：鋼床版 SFRC 舗装における接着剤接合部のせん断疲労挙動に関する実験的検討，土木学会論文集 A1, Vol.76, No.5, pp.72-83, 2020.5. 2) 宍戸他：鋼床版 SFRC 舗装接着剤接合部の劣化特性に関する実験的検討，鋼構造年次論文報告集, Vol.28, pp.167-176, 2020.11.

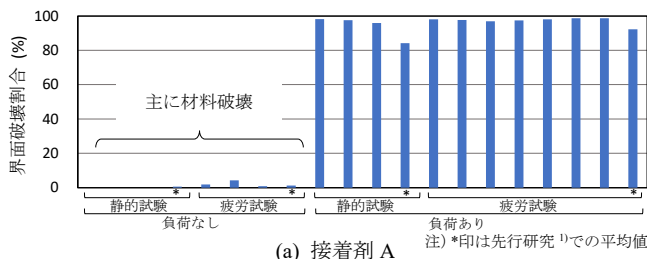


(a) 接着剤 A

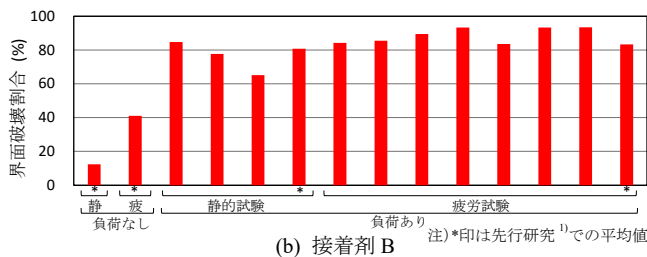


(b) 接着剤 B

図-3 せん断疲労試験結果 (S-N 関係)

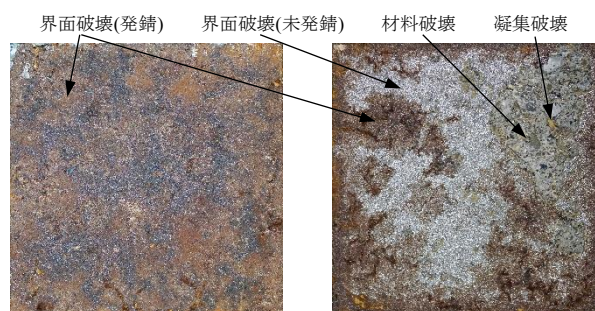


(a) 接着剤 A



(b) 接着剤 B

図-4 界面破壊割合



(a) 接着剤 A ($N_f=5,993,993$)

(b) 接着剤 B ($N_f=13,281$)

写真-2 破壊面の状況 (鋼板側)