論文

新材料による鋼床版補強に関する研究

和田吉憲*，小野秀一**，松本政徳***

*西日本高速道路株式会社 四国支社　建設事業部　建設課（〒760-0065 香川県高松市朝日町 4-1-3）
** 工博，（一社）日本建設機械施工協会　施工技術総合研究所（〒417-0801 静岡県富士市大渕 3154）
***（一社）日本建設機械施工協会　施工技術総合研究所（〒417-0801 静岡県富士市大渕 3154）

鋼床版橋の疲労対策には，剛性の小さいアスファルト舗装に替えて鋼床版上面に SFRC を施工し，剛性増加を図るのが有効と知られており，他機関における施工実績も多い．しかし，SFRC の施工は養生時間を含めると規制時間が長く必要となり，疲労損傷が課題となる重交通区間での施工が困難となっている．これに対応するため，SFRC に替わる疲労対策に用いる新材料として，短時間で施工可能な高剛性を有する舗装材料に着目し，鋼床版疲労対策の有効性について確認を行ったものである．

キーワード： 鋼床版，疲労対策，高剛性舗装

1. はじめに

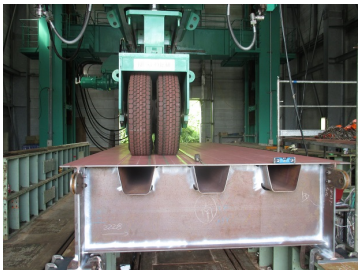
近年，既設鋼床版において，デッキプレートとUリブとの溶接部に，デッキプレートを貫通する疲労き裂の発生が報告されている．その疲労対策として，鋼床版のデッキプレート上面に SFRC（Steel Fiber reinforced concrete ; 鋼繊維補強コンクリート）舗装を施工して鋼床版を補強する工法の適用事例が多く見られる．しかし，SFRC 舗装は施工中の交通規制が長く必要となり，特に疲労損傷が多く見られる重交通路線においては，それに替わる交通規制時間の短い補強対策の実施が求められている．

そこで本研究では，SFRC 舗装に替わる補強対策として，新しく開発した高い剛性を有する舗装材料（以下，高剛性舗装とする）で舗設した実物大の鋼床版試験体を用いて移動載荷試験を実施し，疲労対策効果の有効性について検証を行ったものである．

２．試験方法

２．１ 鋼床版試験体

試験体は，既往の研究 [1)]で用いられているものと同サイズで, Uリブ 3 本で構成される実物大の鋼床版とした．デッキプレートの板厚は 12mm とし，試験体橋軸方向の両端と中央部には横リブを設けた．Uリブの板厚は 6mm であり，Uリブと横リブ交差部については，従来の鋼床版構造を考慮して，デッキプレート下側にはスカラップ，Uリブの下側にはスリットを設けている．また，デッキプレートとUリブ溶接部の溶込み量は，道路橋示方書に示されているUリブ板厚の 75%を目標とした．鋼床版試験体を写真－1 に示す．



写真－1　鋼床版試験体

２.２　舗装仕様と材料

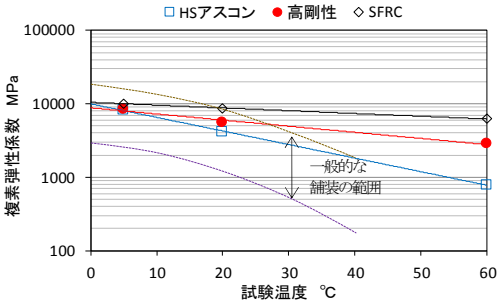
一般に鋼床版上の舗装は，接着層，基層，表層で構成される．本研究では高剛性舗装を基層に用いることとし，表層に NEXCO 設計要領第 2 集に示されている高機能Ⅱ型を使うことを想定した．なお，本試験では，表層に用いられる高機能Ⅱ型の高温時の舗装剛性が低いことから，基層の高剛性舗装に着目した．舗装構成を表－1 に示す．

表－1　デッキプレート上に施工する舗装材料

基層（40mm）	表層(40mm)	備考
高剛性舗装	－	1 層施工，接着材塗布

本試験に用いた高剛性舗装とは，鋼床版補強用混合物として新規開発されたアスファルト混合物である．熱可塑性樹脂(植物系の樹脂)を主にしたポリマー改質アスファルトで，アスファルトとコンクリートの中間的な剛性を持ち，一般的なアスファルト舗装と同様な施工が可能な混合物である．この混合物に使用するバインダは，Bio バインダと呼ばれ，特殊な熱可塑性樹脂の添加量を多くした特殊バインダである．従来のアスファルト混合物と

比較して，高温時（50～60℃）における複素弾性係数が高いのが特徴である．舗装材料の複素弾性係数を図-2 に示す．



図－2　舗装材料の複素弾性係数

２.３ 試験条件

疲労試験は，夏季を想定して舗装温度を約 55℃の条件（高温時）で実施した後，走行レーンを変更して，常温時においても同様な疲労試験を実施し，高剛性舗装の耐久性を確認することとした．高温条件の設定は，鋼床版全体を断熱材およびシートで覆い，デッキプレート下側から熱風発生装置により舗装を暖める方法とした．載荷荷重は，ダブルタイヤ１組で 69ｋN（7tf）とし，間隔 1.4 mのタンデム軸載荷とした．橋軸直角方向の載荷位置は，デッキプレート貫通き裂に着目していることから，Ｕリブのウェブをダブルタイヤが跨ぐ位置としている．本試験では，高温時，常温時ともに各 25 万往復（輪荷重の通過回数で 100 万回）の疲労試験を実施した．所定の繰返し回数において静的載荷試験を実施し，溶接部近傍のひずみ変化を計測した．本試験のフローを図-3 に,舗設後の疲労試験状況を写真-2 に示す．

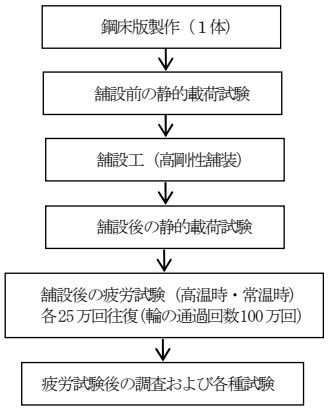


図-3　本試験のフロー

写真-2　高温時の疲労載荷試験状況

２.４　疲労試験後の各種試験

疲労試験後にデッキプレートと高剛性舗装との付着強度を確認するため，建研式引張試験を実施した．また，舗装を部分的に除去して，き裂発生が推定された箇所を対象として，デッキプレート上面より超音波探傷を実施した後，試験体を切り出して疲労き裂の有無を確認した．さらに，舗装自体の損傷を確認するために試験体からコアを採取し，舗装の密度，マイクロスコープによるコア観察，接着層への影響を確認するためのせん断試験を実施した．マイクロスコープによるコア観察の一例を写真-3 に，せん断試験状況を写真-4 に示す．

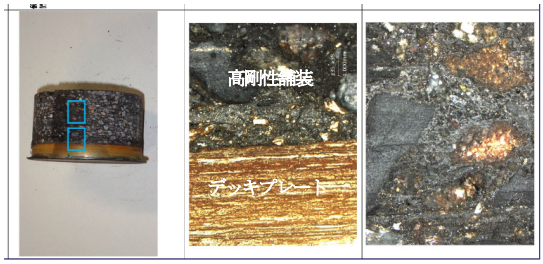


写真-3　マイクロスコープによるコア観察

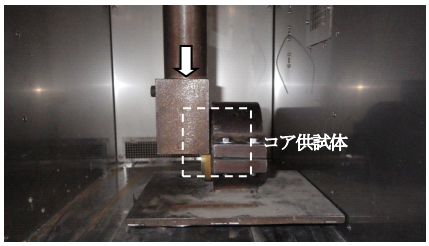


写真-4　せん断試験状況

３．試験結果

鋼床版試験体について，高剛性舗装によるひずみ低減効果および効果の持続性を確認するために，舗設前後の静的載荷試験および舗設後の疲労試験を実施した．ここでは，図-4 に示すように計測断面 A～E の測点 2 に着目し，補強効果確認試験および疲労耐久性確認試験，疲労試験後の各種試験結果について以下に詳述する．疲労試験における走行範囲を図-4 に示す．

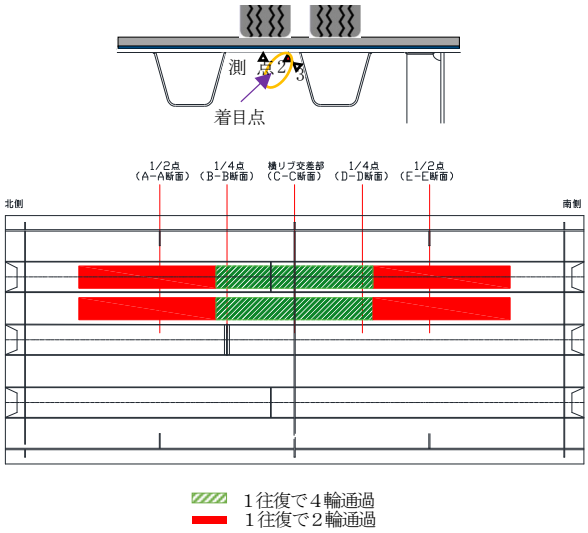


図-4　疲労試験における走行範囲

３.１　補強効果確認試験

高温時および常温時について，舗設前後に静的載荷試験を実施し，高剛性舗装による着目部のひずみ低減効果を確認した．着目点のひずみ低減効果を図-5～図-6 に示す．

舗設前後の静的載荷試験より，着目点の舗設前のひずみに対する舗設後の比は，高温時（約 55℃）で 0.73，常温時（約 23℃）で 0.52 となった．

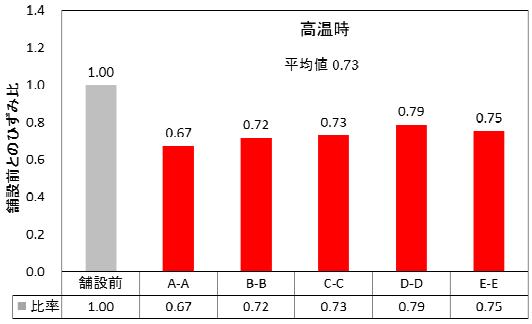


図-5　着目点のひずみ低減効果（高温時:測点 2）

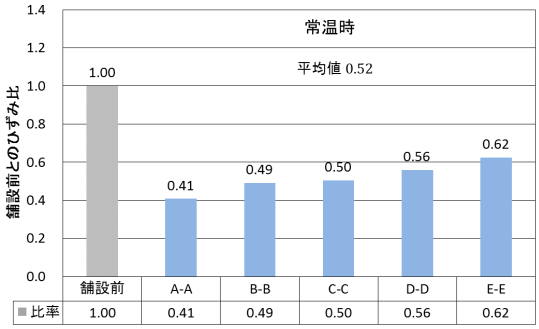


図-6　着目点のひずみ低減効果(常温時：測点 2)

３.２　疲労耐久性確認試験

高剛性舗装後の疲労耐久性を確認することを目的として，鋼床版試験体について疲労試験を実施し，高温時および常温時における補強効果の持続性を確認した．舗装前に対するひずみ比の推移を図-7～図-8 に，横リブ交差部（高温側）に発生した疲労破面を写真-5 に示す．主な結果は次のとおりである．

① 高温時，常温時ともに，輪の通過回数の少ない段階で補強効果が減少し，その後は横ばいで推移しており，補強効果が減少した状態が続く結果となった．

② 疲労試験後に目視調査を行った結果，高温時と常温時ともに，舗装面のひび割れやわだち等の変状は確認されなかった．

③ 60 万回でひずみが低下しており，疲労試験後の超音波探傷により疲労き裂の発生が推測された高温側の横リブ交差部（C-C 断面）について鋼床版を切り出し，疲労き裂の調査を行った結果，長さ 53mm，深さ 2mm の偏平状な疲労破面が確認された．

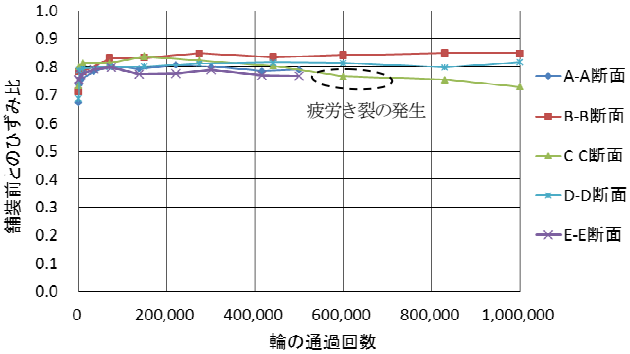


図-7　舗装前に対するひずみ比の推移(高温時：測点 2)

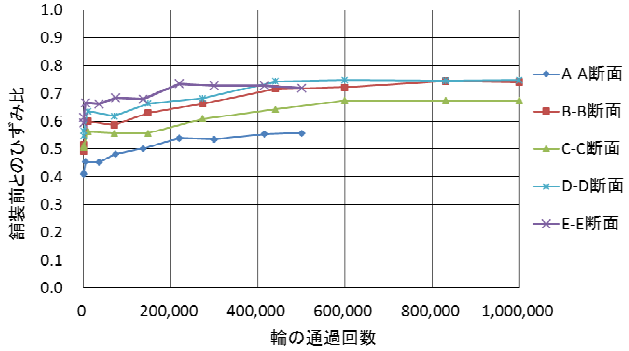


図-8　舗装前に対するひずみ比の推移(常温時：測点 2)

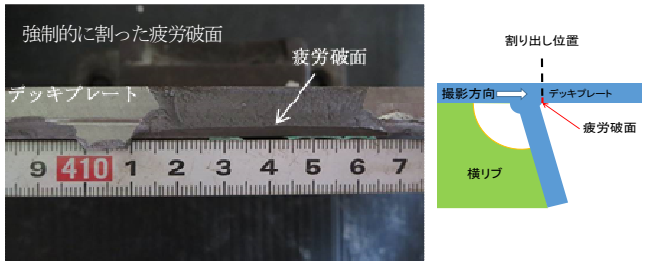


写真-5　横リブ交差部(高温側)の疲労破面

３.３　疲労試験後の各種試験

疲労試験により着目点の補強効果が減少した原因を推定するため，高剛性舗装と鋼床版との付着に着目した建研式の引張試験，舗装自体および接着層に着目したせん断試験を実施した．引張試験結果を図-10 に，コア密度を表-2 に，採取コアのせん断強度を図-11 に示す．主な結果は次のとおりである．

① 疲労試験後の建研式引張試験の結果，鋼床版と舗装との引張接着強度は，常温部，高温部，非載荷部のすべての測点で 1.5N/mm^2 以上であったが，高温時で疲労試験を行った部位でやや低い測点が確認された．なお，引張試験による破断面はほとんどが高剛性舗装内であり，接着層の引張接着強度はそれ以上であることが確認された．

② 疲労試験後にコア密度を測定した結果，輪荷重の走行による密度増加は 1.5%程度見られ，締固められた状況であった．

③ 疲労試験後に採取したコアについて加圧透水式はく離促進試験を行った結果，高剛性舗装ははく離抵抗性の

高い材料であることが確認された．

④ デジタルマイクロスコープを用いてコアを観察した結果，接着層および高剛性舗装に損傷は確認されなかった．

⑤ 接着層に着目したせん断試験を行った結果，採取したコアについて，道路橋床版防水便覧に記載されている23℃のせん断試験強度の合否判定の目安(0.15 N/mm²)を満足する結果が得られた．

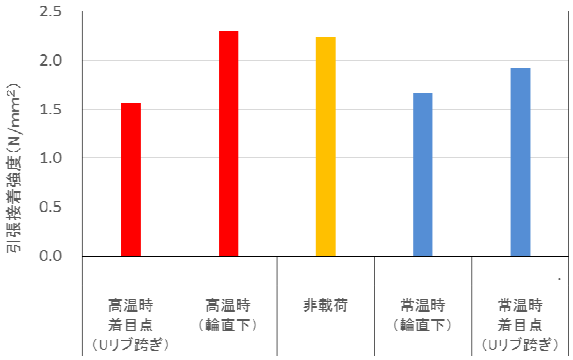


図-9　引張試験結果（各測点の平均値）

表-2　コア密度の測定結果（高温時）

採取位置	見掛密度 (g/cm³)	基準密度 (g/cm³)	理論密度 (g/cm³)	空隙率 (%)	締固め度 (%)
輪の通過 100万回	2.313	2.331	2.384	3.0	99.2
輪の通過 50万回	2.295			3.7	98.5
非載荷	2.277			4.5	97.7

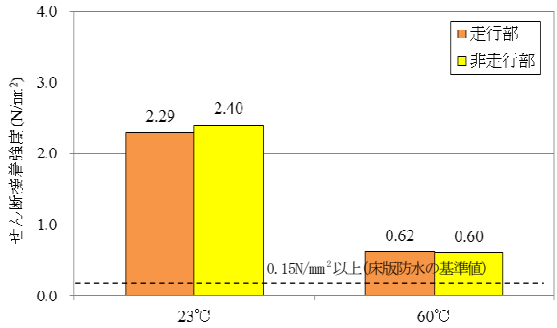


図-10　採取コアのせん断強度（高温時）

4．疲労寿命の推定

実測した着目点のひずみ比について，鋼部材の溶接継手部の疲労設計曲線の傾き(m=3)である3乗則から疲労寿命を推定すると，表-3に示す疲労寿命となった．

その結果，高剛性舗装の疲労試験終了時では，常温時で約3倍，高温時で約2倍となり，繰返し載荷により疲労寿命が低下する結果となった．参考までに表-3に示すように，別途実施したSFRC舗装の実験結果[1)]から求めた寿命は729倍となった．

表-3　疲労寿命の比較

舗装の種類	載荷条件	温度条件	舗設前に対するひずみ比	疲労寿命の推定
舗設前(無補強)	－	－	1.00	1倍
SFRC舗装	疲労試験時	常温時	0.11	729倍
高剛性舗装	初期載荷時	常温時	0.52	7.1倍
		高温時	0.73	2.7倍
	疲労試験終了時	常温時	0.72	2.7倍
		高温時	0.82	1.8倍

5．まとめと今後の課題

本試験では，舗設前後の静的載荷試験により，高剛性舗装(基層のみ)による補強効果はひずみ低減率で30～50%であることが確認することができた．また，舗設後の疲労試験では，輪荷重の繰返しにより，輪の通過回数の少ない段階で補強効果が減少し，その後は横ばいで推移しており，補強効果が減少した状態が続く結果となった．また，高温時においては，鋼床版の疲労き裂の発生が確認された．このように，高剛性舗装を鋼床版上に敷設したことによる補強効果が小さかった理由として以下の点が考えられる．

① 本試験では，基層に高剛性舗装のみ用いた安全側の評価としていたため，舗装剛性が不足して十分な補強効果が得られなかったことが考えられる．

② 本試験体は基層のみで舗装厚が薄かったため，輪荷重の繰返しの影響を直接受けて，混合物の結合状態に何らかの変化が生じていると推察される．

③ 本試験では基層のみの評価であり，舗装体にとっては，輪荷重の影響を直接受ける厳しい条件であったと考えられる．このように，高剛性舗装1層(基層のみ)では輪荷重の影響を直接受けて期待する補強効果や耐久性が得られなかったと考えられることから，舗装剛性および基層の耐久性を確保するために高剛性舗装1層(基層)と表層の施工が必要であると考えられる．

今後の課題としては，まず高剛性舗装1層(基層のみ)と，2層(基層＋表層)の舗装構成の各試験体について，要素試験(静的載荷試験)を行い，両者を比較することにより，補強効果を確認することが考えられる．さらに，その結果を踏まえて，高剛性舗装を基層に，選定した舗装材料を表層に舗設した鋼床版試験体の移動載荷試験を実施し，舗装剛性を向上させたことによる疲労耐久性を確認する必要がある．また，高剛性舗装の剛性をさらに向上させることも併せて検討する必要がある．

参考文献

1) 小野 秀一，平林 泰明，下里 哲弘，稲葉 尚文，村野 益己，三木 千壽：既設鋼床版の疲労性状と鋼繊維補強コンクリート敷設工法による疲労強度改善効果に関する研究，土木学会論文集 A Vol.65 No.2,335-347,2009.4