

## SFRC舗装を用いた鋼床版疲労対策技術の耐久性の追跡調査

村井啓太・玉越隆史・佐藤 歩

## 1. はじめに

交通条件の厳しい鋼床版橋では、輪荷重直下において床版の溶接各部に疲労損傷が報告されている。図-1に閉断面リブ（以下「Uリブ」という。）を有する鋼床版に発生している主な疲労き裂を示す。このうち、輪荷重直下のUリブとデッキプレート（以下「デッキ」という。）の片側すみ肉溶接のルート部には、デッキ板厚方向に進展しデッキ表面に至るき裂（以下「デッキ進展き裂」という。）と溶接ビード内に進展しビードを貫通するき裂の主に2種類のき裂が報告されている。特に、デッキ進展き裂については、通常の見視点検では発見困難であることや、き裂がある程度進展するとデッキが陥没し、車両通行を妨げ、第三者被害につながる恐れがあり、これまで様々な機関で検討や対策が講じられてきた。

既設橋に対して、デッキの剛性を高め、き裂発生の原因と考えられているデッキの局部変形や溶接部の応力を低減させることによる補強方法として、既存のアスファルト舗装を、剛性が高くかつ比重のほぼ変わらない鋼繊維補強コンクリート（以下「SFRC」という。）舗装に置き換え、鋼床版と合成させることにより、き裂発生の原因と考えられているデッキの局部変形や溶接部の応力を低減させる対策工法が提案されている。

一方で、補強効果の評価方法や閾値、補強効果を得るために舗装に求められる剛性や厚さ、耐久性等の要求性能や、その性能評価方法等については確

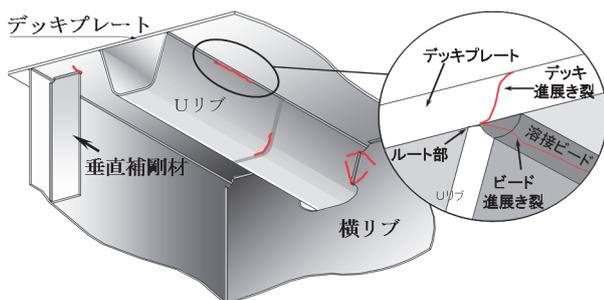


図-1 Uリブを有する鋼床版に発生する主な疲労き裂

立されておらず、対策の標準化には至っていないのが現状である。その結果、使用する材料・仕様は現場条件により様々に改良され、性能を評価するための解析条件や試験条件等は、機関によっても異なっており、中には実橋での試験施工後、間もなくコンクリート系舗装に損傷が発生した事例も存在する。

以上の背景から、著者らは、コンクリート系舗装による鋼床版補強工法の標準化を図るため、同工法を適用する際の要求性能・性能評価法を提示することを目的とした研究を行っている。SFRC舗装の耐荷性能については既往の研究により明らかとなっていることから、主に耐久性性能に着目し検討を進めている。本稿では、補強効果に影響を及ぼす因子として考えられる舗装のひび割れや舗装とデッキの接着接合面（以下「接合面」という。）の経年劣化に着目し、現地調査及び屋外に暴露された実大鋼床版試験体上面に敷設したSFRC舗装接合面の引張強度計測について紹介する。

## 2. 現地調査

## 2.1 調査対象橋梁及び調査方法

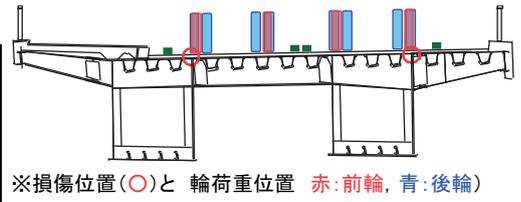
現地調査を実施した鋼床版橋を表-1に示す。現在、SFRCの舗装構成は、既設アスファルトの全厚をSFRC舗装に置き換える一層構造と、基層がSFRC、表層がアスファルト舗装の二層構造の2種類の仕様が適用されている。本研究では、外観からひび割れや摩耗等の状況を観察できる一層構造を調査対象とした。調査方法は、歩道部から可能な限り近接しての外観目視とした。

## 2.2 調査結果概要

調査した結果、舗装施工後約5～10年経過した橋梁では、SFRC表面に橋軸方向や橋軸直角方向のひび割れが見られた。橋軸方向のひび割れは輪荷重位置付近や主桁直上等に、橋軸直角方向のひび割れは橋や部位により異なるが横リブ直上や全長にわたって発生している状況が確認された。経年的な変化は追っていくことが重要と考えられるが、今回調査を行った4橋では、舗装面に浮き・剥離・段差等の損傷は見られず、早期に供用性に影響を与えるような

表-1 現地調査対象橋梁

橋梁名	橋梁形式	施工時期	経過年数 H27時点	SFRC 舗装厚	セメント の種類	スタッド (舗装端部及び 打継目部)	接着材	負曲げ域 補強筋
S橋	3径間連続 鋼床版箱桁橋2連	2005	10年	80~ 90mm	超速硬	9.0φ×40 (300mm間隔)	エポキシ樹脂系 (全面塗布)	CFRP筋 (全面)
O橋	3径間連続鋼床版箱桁橋 単純鋼床版箱桁橋2連	2007	8年	75mm	早強 膨張材使用	9.0φ×30 (300mm間隔)	エポキシ樹脂系 (全面塗布)	CFRP筋 (主桁直上)
T橋	3径間連続 鋼床版箱桁橋	2009 2010	5~6年	80mm	早強 膨張材使用	9.0φ×40 (300mm間隔)	エポキシ樹脂系 (全面塗布)	CFRP筋 (主桁直上)
N橋	2径間連続 鋼床版箱桁橋	2015	1年未満	75mm	超速硬	9.0φ×40 (300mm間隔)	エポキシ樹脂系 (全面塗布)	CFRP筋 (主桁直上)



※損傷位置(○)と 輪荷重位置 赤:前輪, 青:後輪

図-2 上部工断面図

損傷の発生は見られなかった。

### 2.3 S橋の経年調査結果

既設橋の疲労対策として国内で初めてSFRC舗装が適用されたS橋について、経年的な調査結果を報告する。図-2に上部工断面図及び概略の輪荷重作用位置を示す。S橋は、1999年にデッキ進展き裂が確認され、疲労対策として2005年にSFRC舗装を敷設している。表-2の上段に2014年度に道路管理者により実施された橋梁点検のひび割れ図（一部抜粋）を示す。橋梁点検は、SFRC舗装による対策後、道路管理者により2010年度と2014年度に実施されているが、筆者らで点検結果を比較する限り、ひび割れ状況に大きな進展は見られていない。

表-2下段に現地調査時に確認したひび割れ状況写真を示す。前回2010年2月に対策後5年経過した状況の現地調査を実施しており、舗装表面に橋軸方向と橋軸直角方向のひび割れ等を確認している。今回調査を実施した2015年11月時点では、対策後10年が経過した状況であり、前回調査時に確認したひび割れ（橋軸、橋軸直角）は、今回の調査でも同位置で確認できたが、ひび割れの顕著な進展は見られず、また、前回調査時から新たな損傷の発生は確認されなかった。図-2及び現地での車両走行位置の目視確認より、橋軸方向のひび割れは、主桁ウェブ直上かつ輪荷重位置の直下に位置していることを確認した。ひび割れの構造的な要因としては、車両が通過する度に、主桁ウェブや横リブウェブ等を支点としてデッキ及びSFRC舗装が負曲げ変形をすることで舗装表面に引張応力が繰り返し作用したことが考えられる。ひび割れが生じることによる舗装の剛性低下量や補強効果への影響は、現時点で明確ではなく、補強工法としてひび割れの発生・進展をどこまで許容するかについては、引き続き検討が必要ある。

## 3. SFRC舗装接合面の引張強度計測

数年間実環境下に晒された場合の接合面の強度の経年的な変化を確認するため、屋外暴露試験体接

表-2 橋梁点検結果と主な損傷状況写真

橋梁点検時	損傷図の抜粋	損傷状況
	対策後 9年経過 (2014.6)	
主な損傷状況写真		
前回調査時 対策後 5年経過 (2010.2)		ひび割れ(橋軸、橋直): 輪荷重位置付近
		ひび割れ(橋直): 全径間にわたり発生
今回調査時 対策後 10年経過 (2015.11)		損傷に著しい進展なし
		30~40cm間隔のひび割れを確認

合面のコア抜き引張試験を実施した。

### 3.1 試験体No.1

#### 3.1.1 試験体の概要

対象とした既存試験体は、2008年に輪荷重走行試験を実施したもので、試験時及び試験終了直後と、土木研究所敷地内に2年間屋外暴露した後（2010年）に引張試験を実施している<sup>2)</sup>。引張試験が実施された当時の試験体の形状寸法とコア抜き位置を図-3に示す。その後、2011年に図-3の赤枠の位置で切り出し作業を行い、切り出した試験片3体（全て非載荷部）が実験棟内に約5年間保管されている状況である。SFRCに使用したセメントは超速硬セメントであり、接着材は、主剤にエポキシ樹脂、硬化剤に脂肪族ポリアミンを使用したSFRC舗装の接合への実績がある高耐久のエポキシ系接着材を用いている。

#### 3.1.2 試験方法

試験方法は、過年度に実施した引張試験<sup>2)</sup>と同じとし、コアカッターを用いてφ100mmの切込みをデッキ上面まで入れ、毎秒約0.1N/mm<sup>2</sup>の速度で載荷し、デッキとSFRC舗装の接着接合面が破壊する

まで試験を行い、破壊時荷重を計測した。

過年度の引張試験は、輪荷重走行試験時（室温11～28℃）、2年間屋外暴露後（外気温24～25℃）に、常温下で実施した。今回の試験では、恒温室内で試験体が所定の温度になるまで1日以上保管し、常温（20℃）での引張試験に加え、高温（50℃）、低温（-10℃）の計3ケースについて引張試験を実施した。各ケースにつき3体以上試験を実施し、低温・高温は6体、常温は、試験体から採取できる部位が限られていたため3体とした。

### 3.1.3 試験結果

試験温度毎の引張強度の関係を図-4に示す。試験時の温度が高温になるにつれ、引張強度は低下していることが確認された。過年度に土研で実施した接合面のせん断強度試験では、高温になるに従って強度が低下（-10℃に対して50℃では約20%低下）しており<sup>2)</sup>、本試験の結果から、引張強度についても同様の傾向が伺える。破断面状況については、50℃の場合、SFRC側に接着材の点在がわずかに見られたが、温度毎の破断面の外観上の差はほとんどなく、破壊位置はほぼ全面がSFRC側であった。

図-5に引張強度の経年変化を示す。過年度に実施した輪荷重走行試験時及び2年間暴露後の引張試験<sup>2)</sup>では、引張強度の平均値はほぼ同程度の値を示しており、有意な変化は確認されなかった。一方、今回測定した引張強度（試験温度20℃）の平均値は、輪荷重走行試験時（2008年）から約21%、2年間暴露後（2010年）から約24%低下していた。試験体は2年間暴露後、実験棟内で約5年間保管していたため、日射や雨水の影響は屋外に比べて小さいと考えられるものの、実験棟内の温度変化等の継続的な環境作用が影響した可能性が考えられる。

## 3.2 試験体No.2

### 3.2.1 試験体の概要

対象とした既存試験体は、2008年に輪荷重走行試験を実施したもので、試験時及び試験終了直後（2008～2009年）に引張試験を実施している<sup>1)</sup>。引張試験が実施された当時の試験体の形状寸法とコア抜き位置を図-6に示す。試験終了後は、土木研究所敷地内に約7年間屋外暴露された状況である。SFRCに使用したセメントは超速硬セメントであり、接着材には、主剤にエポキシ樹脂、硬化剤にポリチオールと脂肪族ポリアミンを使用したSFRC舗装の接合への実績がある高耐久のエポキシ系接着材を用

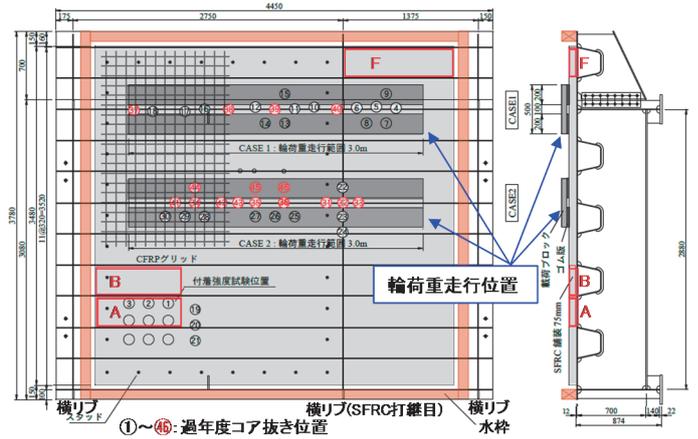


図-3 No.1試験体(切出し前)とコア抜き位置<sup>2)</sup>

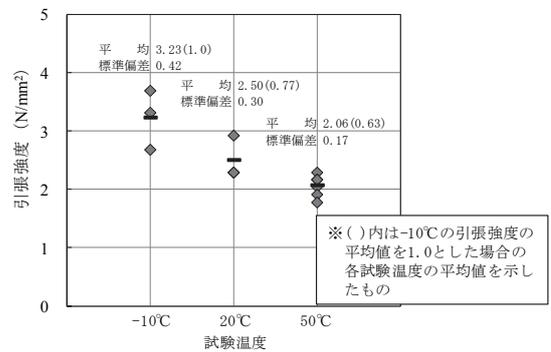


図-4 試験温度毎の引張強度 (No.1)

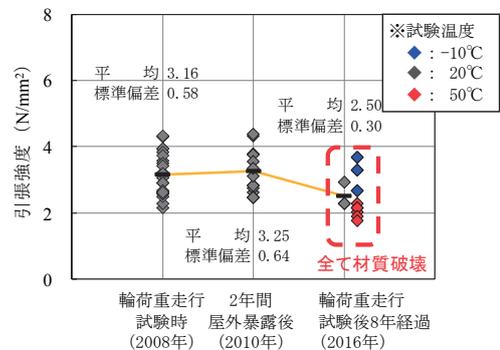


図-5 引張強度の経年変化 (No.1)

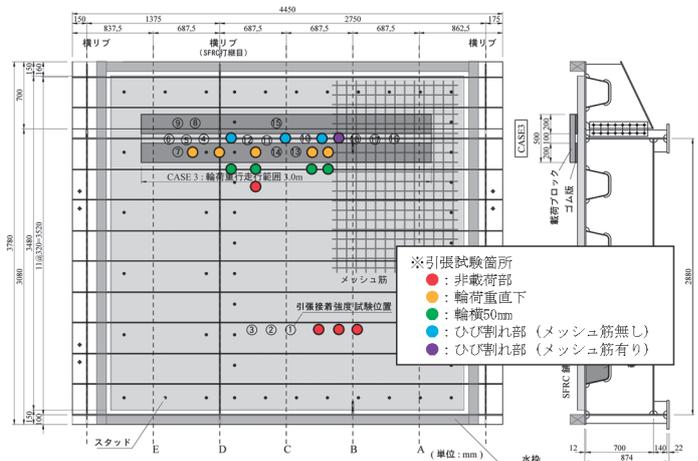


図-6 No.2試験体とコア抜き位置

いている。

### 3.2.2 試験方法

試験方法は試験体No.1と同じとした。過年度の引張試験は、輪荷重走行試験時（室温5～22℃）に常温下で、輪荷重直下、ひび割れ部及び非載荷部（図-6中の番号）で実施した。今回の引張試験は、屋外常温下で、輪荷重直下、輪横50mm、ひび割れ部及び非載荷部（図-6の着色丸印）で実施し、試験箇所ごと3体以上試験を実施した。

### 3.2.3 試験結果

引張試験箇所ごとの引張強度の関係を図-7に示す。試験箇所が輪荷重位置に近づくにつれ、引張強度が低下していることが確認された。また、破壊位置については、非載荷部はNo.1と同様に全面がSFRC側で破壊したが、輪荷重直下及び輪横50mmでは接着材界面で破壊しており、さらに鋼床版デッキ側、SFRC側ともに錆も見られた。ダブルタイヤ間に発生したひび割れ部が直近にあることから、過年度に実施した輪荷重走行試験にて発生したひび割れ部から、雨水等が浸入したことにより接合面が劣化したことが要因と推測される。

図-8に引張強度の経年変化を示す。今回測定した引張強度の平均値は、輪荷重走行試験時（2009年）から約62%低下していた。試験体は約7年間屋外暴露していたため、日射や雨水の継続的な環境作用が影響した可能性が考えられる。

### 3.3 まとめ

暴露試験体の引張強度の測定により、(1)試験体の温度が高温になるにつれて引張強度は低下すること、(2)輪荷重位置に近づくにつれて引張強度が低下すること、(3)輪荷重による負荷が継続して作用しなかった場合でも、舗装とデッキの接合面の引張強度が低下する可能性があること、が確認された。なお屋外暴露試験体の方が強度低下が大きいことから、試験体が受けた環境負荷履歴も耐久性に影響があると推測される。

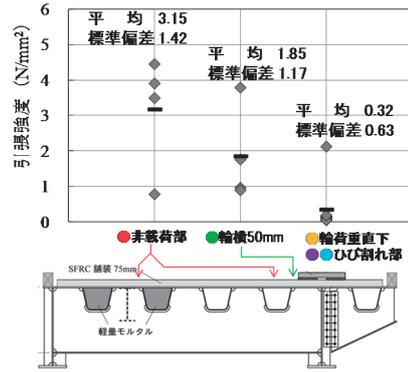


図-7 試験位置ごとの引張強度 (No.2)

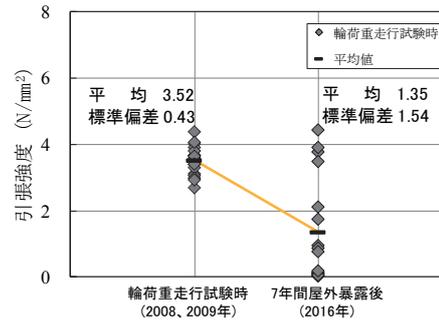


図-8 引張強度の経年変化 (No.2)

## 4. おわりに

SFRC舗装による鋼床版補強工法に対する性能評価手法を検討する上で、接着強度の劣化影響因子として、水・温度等の環境作用が無視できないことが改めて確認された。今後は、力学的作用面だけでなく、接合面に対する環境作用面も含めて、耐久性能を検証するための解析及び試験を行う予定である。

### 参考文献

- (独)土木研究所、(株)横河ブリッジ、(株)NIPPO、鹿島道路(株)、大成ロテック(株)：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）－、共同研究報告書整理番号第395号、2009.10
- 村越潤、木ノ本剛、春日井俊博、児玉孝喜、辻井豪：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（構造・地震工学）、Vol.69、No.3、pp.416～428、2013

村井啓太



土木研究所構造物メンテナンス  
研究センター 橋梁構造研究グループ 研究員  
Keita MURAI

玉越隆史



土木研究所構造物メンテナンス  
研究センター橋梁構造研究グループ 上席研究員、博士（工学）  
Dr. Takashi TAMAKOSHI

佐藤 歩



研究当時 土木研究所構造物  
メンテナンス研究センター研究員、現 首都高速道路（株）  
Ayumu SATO