

## 論文

## 超早強SFRC 上面補強における鋼床版のたわみ低減効果に関する研究

野口博之\*, 阿部忠\*\*, 川井豊\*\*\*, 一瀬八洋\*\*\*\*, 山下雄史\*\*\*\*

\* 日本大学 大学院生産工学研究科土木工学専攻 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

\*\* 博 (工) 日本大学 生産工学部土木工学科 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

\*\*\* 工 (博) 日本大学 生産工学部土木工学科 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

\*\*\*\* 鹿島道路株式会社 生産技術本部技術部 (〒 112-0004 東京都文京区後楽 1-7-27)

道路橋鋼床版は、デッキプレートの局部変形により溶接部に疲労き裂が発生し、その補強対策として接着剤塗布型 SFRC 上面補強が施されている。そこで本研究では、SFRC のコストの縮減を図ると同時に、乾燥収縮によるひび割れの抑制を図るために、普通または早強セメントに低収縮型早強性混和材、鋼繊維を配合した 1.5 日仕様の SFRC を提案するとともに、上面補強した場合のたわみの低減効果を検証した。その結果、SFRC は 1.5 日で圧縮強度  $33.2\text{N/mm}^2$  が確保されたとともに、界面に接着剤を塗布することで  $2.59\text{N/mm}^2$  の付着強度が確保された。補強後はデッキプレートおよび U リブ間のデッキプレートのたわみが大幅に抑制された。したがって、提案する SFRC および接着剤塗布型 SFRC 上面補強は、鋼床版の補強法として実用的であるといえる。

キーワード：鋼床版，接着剤塗布型 SFRC 上面補強，応力低減効果，輪荷重走行試験

## 1. はじめに

1980 年代から道路橋鋼床版は、交通量の増大や過積載の走行により疲労損傷が生じている。鋼床版は、デッキプレートを横リブと縦リブで溶接した構造である<sup>1)</sup>。鋼床版の疲労損傷は、デッキプレートと縦リブとの溶接部や垂直補剛材上端部とデッキプレートの溶接部、さらには縦リブと横リブの交差部付近の溶接に発生している。当時の設計基準<sup>1)</sup>によるとデッキデッキプレートには 12mm 厚の鋼板、U リブには 8mm 厚の鋼板が用いられており、コンクリート系床版に比して軽量であるが剛性が低い。したがって、走行車両の繰り返しにより、接合部や部材の交差部の溶接などに局部的に大きな交番応力が発生し、疲労き裂が生じている。これらのき裂の発生箇所の補修法としてデッキプレートでは鋼板をボルト接合するあて板補修法により緊急対応されている<sup>2)</sup>。しかし、あて板補修法は緊急対応の補修法であることから鋼床版の局部変形を抑制し、耐疲労性の向上を図る恒久的な補強法に至っていないのが現状である。これらのことから、鋼床版の疲労き裂に対する恒久的な補強対策として、デッキプレート上面に超速硬セメントを用いた鋼繊維補強コンクリート (SFRC) を鋼床版上面に専用のエポキシ系の接着剤を塗布した上面補強法が提案され、高速道路などの重交通路線の鋼床版の補強法として採用されている<sup>3), 4)</sup>。また、既に緊急対応で鋼板をボルト締めしたあて板補修が施された箇所においても、あて板上面に

も接着剤を塗布した SFRC 補強が施され、高速道路の鋼床版の補強法として採用されている。主要高速道路における SFRC 材の要求性能としては、交通規制に伴う経済損失等を考慮し、道路橋示方書・同解説 (以下、道示とする) に規定するコンクリートの圧縮強度が 3 時間で  $24\text{N/mm}^2$  以上を確保する必要がある。SFRC のセメントには超速硬セメントに鋼繊維を配合している。しかし、超速硬セメントを用いた場合は、費用が高価となると同時に可使時間が短いことから熟練した高度な技術が必要となる。しかし現状では、鋼床版の SFRC 上面補強法においては実績のある超速硬セメントが使用されている。

そこで本研究では、鋼床版上面に補強する SFRC 材の要求性能を、道示に規定するコンクリートの設計基準強度  $24\text{N/mm}^2$  以上を確保できる時間を 36 時間 (1.5 日) とした新たな SFRC とし、セメントには普通または早強セメントを用い、低収縮型早強混和材および鋼繊維を配合した SFRC 材を提案する。また、鋼床版上面には、接着剤を塗布し、上述のように提案する SFRC 上面補強材を 40mm 補強した鋼床版 (以下、接着剤塗布型 SFRC 上面補強とする) を用いて輪荷重走行試験を行ない、デッキプレートおよび U リブ間のデッキプレート、U リブ下面のたわみを動的に計測し、接着剤塗布型 SFRC 上面補強法におけるたわみの低減効果について検証した。

## 2. 鋼床版の損傷状況

鋼床版のデッキプレートの疲労き裂および U リブ

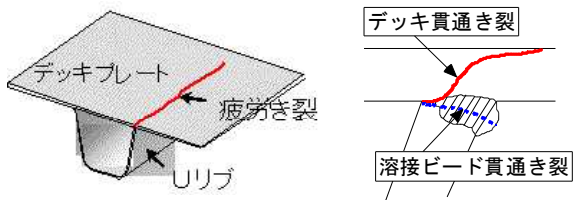
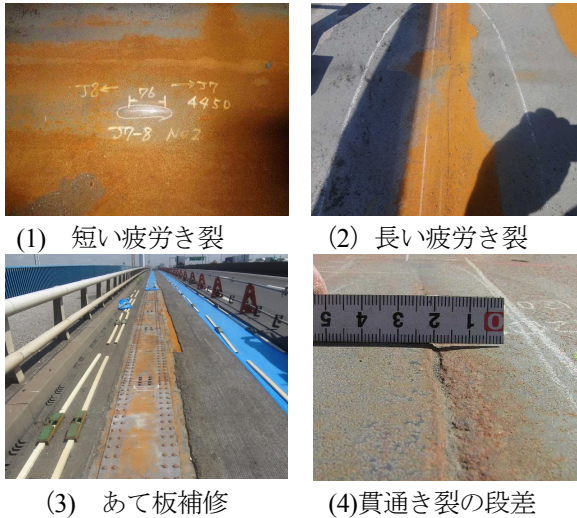


図-1 デッキ貫通き裂<sup>1),4)</sup> 図-2 2種類の貫通き裂<sup>1),4)</sup>



(1) 短い疲労き裂

(2) 長い疲労き裂

(3) あて板補修

(4)貫通き裂の段差

写真-1 鋼床版の損傷事例

取付位置の貫通き裂の一例を図-1, 2に示す。鋼床版は板厚 12mm のデッキプレートを縦リブと横リブで補剛した構造であるため、大型車両の走行によって設計時には想定し得ない、局部変形がデッキプレートに生じ、縦リブとデッキプレートの溶接部、縦リブの突き合わせ継手溶接部、縦リブと横リブの交差する溶接部などに、金属疲労によるき裂が発生している。デッキプレートと U リブ溶接部の疲労き裂が発生し、デッキ貫通き裂(図-1)や溶接ビード貫通き裂(図-2)に分類される<sup>1),4)</sup>。また、垂直補剛材とデッキプレートの溶接部の損傷も多く報告されている。

次に、近年橋梁点検の際に発見された実橋鋼床版の損傷事例を写真-1に示す。デッキプレートのき裂は 75mm 程度(写真-1(1))から 1000mm 程度まで発生している(写真-1(2))。この橋梁は交通量が多いことから数年前からき裂が発生し、その緊急対応としてあて板補修が施されている(写真-1(3))。あて板は一般的にボルト接合で 12mm の鋼板を拘束し補修されている。一方、U リブとデッキプレートの溶接位置にデッキ貫通き裂が発生し、デッキプレートに段差が生じている(写真-1(4))。デッキプレートの不陸や疲労き裂部による段差が見られる鋼床版の補修法であるあて板補修した場合はデッキプレートとあて板とに段差が生じる可能性があることから、再劣化に至る場合が考えられる。

よって、本研究では、鋼床版の疲労き裂に対する補修方法を確立し橋梁の長寿命化を行うことを目的

とする。実橋鋼床版をモデル化した試験体を製作し、輪荷重走行疲労実験により疲労損傷を与えた後、デッキプレート上面に接着剤塗布型 SFRC 上面補強を施し、輪荷重走行試験を行い、鋼床版のデッキプレートのためみ低減効果および補強効果を検証する。

### 3. 供試体概要

#### 3.1 使用材料および材料特性値

##### (1) 鋼材

現在、最も多くの疲労損傷を受けている鋼床版の鋼材には SM400 材が用いられている。材料入手の関係から本供試体を構成する鋼材にはこれと同等の強度を有する SS400 を用いる。なお、鋼材の材料特性値はミルシートより、降伏強度が 341N/mm<sup>2</sup>、引張強度が 462N/mm<sup>2</sup>、ヤング係数は 200kN/mm<sup>2</sup>である。

##### (2) SFRC

鋼床版上面補強に用いる SFRC には、超速硬セメントが使用されていた。しかし、超速硬セメントを用いた場合は、交通規制が 8 時間で解放する高速道路を対象とした材料であることから、SFRC の凝結終了時間は 25 分程度と短いために、熟練した高度な技術が必要である。一方、一般国道や地方公共団体が管理する道路橋は、交通規制が 2 日から 7 日程度が可能となることから、超速硬セメントは必要としない。そこで、提案する SFRC は、普通または早強セメントに乾燥収縮による微細ひび割れを抑制させるために低収縮型早強性混和材および鋼繊維を配合した SFRC とし、超速硬セメントに比して大幅なコストの縮減効果が得られるものである。本供試体を使用する SFRC は、普通セメント、低収縮型早強性混和材 (AD)、最大寸法 15mm の粗骨材、5mm 以下の砕砂、高性能 AE 減水剤 (S.P)、長さ 30mm の鋼繊維を混入量 1.27Vol.%で配合した。ここで、SFRC の配合を表-1に示す。

##### (3) 防錆剤および使用接着剤と付着強度

鋼床版デッキプレート上面を研掃後、全面に防錆剤を塗布する。その後、SFRC と鋼床版との付着性を高めるために、防錆剤塗布した上面に接着剤を平均 1.0mm 厚で塗布する。ここで、高耐久型エポキシ樹脂接着剤(以下、接着剤とする)の材料特性値を表-2に示す。接着剤を塗布した SFRC 上面補強後の引張試験による付着強度は 2.89N/mm<sup>2</sup>である。

#### 3.2 供試体寸法

鋼床版を構成する鋼材の寸法は、デッキプレート

表-1 SFRC の示方配合

W/ C	s/a (%)	単位重量(kg/m <sup>3</sup> )						S.P (%)
		W	C	S	G	SF	AD	
38	57.9	174	358	936	686	100	100	1.5

表-2 高耐久型エポキシ樹脂接着剤の特性値

項目	実測値	試験方法
外観 主剤 硬化剤	白色ペースト状 青色液状	異物混入なし
混合比(主剤:硬化剤)	5:1	重量比
硬化物比重	1.42N/mm <sup>2</sup>	JIS K 7112
圧縮強さ	102.88N/mm <sup>2</sup>	JIS K 7181
圧縮弾性係数	3976.4N/mm <sup>2</sup>	JIS K 7181
曲げ強さ	41.16N/mm <sup>2</sup>	JIS K 7171
引張せん断強さ	14.86N/mm <sup>2</sup>	JIS K 6850
コンクリート 付着強さ	3.7N/mm <sup>2</sup>	JIS K 6909

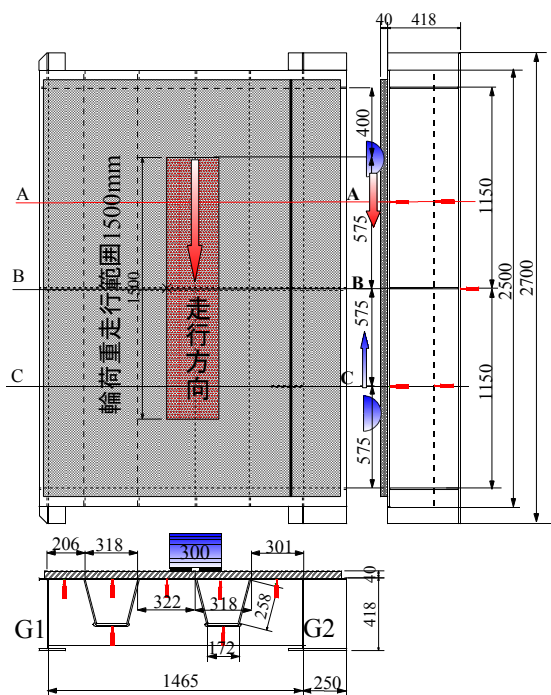


図-3 供試体寸法および測定点

は幅 1765mm, 全長 2500mm, 厚さ 12mm を用いる。また, U リブは幅 704mm, 全長 2500mm, 厚さ 8mm を用いる。主げたは I 形断面とし, 主げた間隔を 1465mm とする。U リブは主げた G1 から 206mm の位置, また G2 げたから 301mm の位置とする。次に, 横リブは軸方向の鋼床版中央に I 形, 端部の横リブは中央から 1150mm の位置とし, 弾性変形を考慮して 8mm 厚の下フランジのない腹板のみとする。ここで, 鋼床版の概略寸法を図-3 に示す。

### 3.3 SFRC 上面補強

鋼床版の接着剤塗布型 SFRC 上面補強の手順を写真-2 に示す。SFRC 上面補強法は「橋梁補修設計マニュアル」<sup>9)</sup> に準拠した補強法で供試体を製作する。

補強手順は, 輪荷重走行試験で 40,000 回走行させた後, デッキプレート上面に SFRC との接着性を高める目的でショットブラストによる研掃(1 種ケレン相当)を行なう(写真-2(1))。その後, 鋼床版上面に防錆剤塗布し(写真-2(2)), 養生後, 接着剤を



(1) ショットブラスト研掃

(2) 防錆剤塗布



(3) 接着剤塗布

(4) SFRC 打設・養生

写真-2 接着剤塗布型 SFRC 上面補強法



(1) 鋼床版の疲労試験

(2) 鋼床版上面補強後の

(40,000 回)

走行実験

写真-3 鋼床版の疲労実験および SFRC 補強後の走行実験

平均厚 1.0mm で塗布する(写真-2(3))。その後, SFRC を混練し, 厚さ 40mm 打設し, 表面仕上げをし, 養生を行う(写真-2(4))。

## 4. 実験方法

### 4.1 輪荷重走行疲労試験装置の概要

鋼道路橋 RC 床版の陥没などの損傷問題が発生して以来, 研究機関ではひび割れ損傷問題の原因究明や対策について調査・研究が行われてきた。RC 床版のひび割れ損傷は, 自動車荷重の繰り返し走行が起因する広義の疲労現象であると結論されている。しかし, 鋼床版は RC 床版破壊メカニズムと異なることから, 鋼床版上面を輪荷重走行することにより, 各計測点での応力, 変形を検証する必要がある。そこで本研究では輪荷重が走行すると同時に計測点の変形状態を動的に計測し, 荷重が走行(移動)することで, どのようにたわみが増加するかを検証する。ここで, 輪荷重走行疲労試験装置を写真-3 に示す。

### 4.2 実験方法

輪荷重走行試験は, 供試体の端部の横リブ I から 400mm の位置から 1500mm 走行し, 元の位置まで折り返す 1 往復とする。1 往復の走行時間を 10sec とする。ここで, 走行範囲を図-3, 4 に示す。輪荷重(幅 300mm)は大型車両のダブルタイヤを想定し, 鋼床



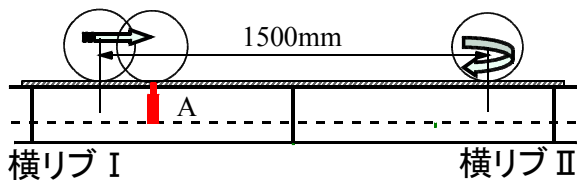
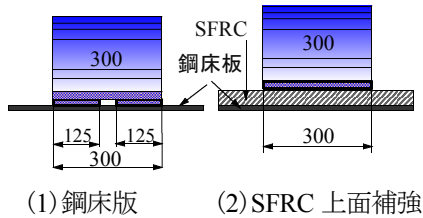


図-4 輪荷重走行試験



(1) 鋼床版 (2) SFRC 上面補強  
図-5 載荷板の設置状態

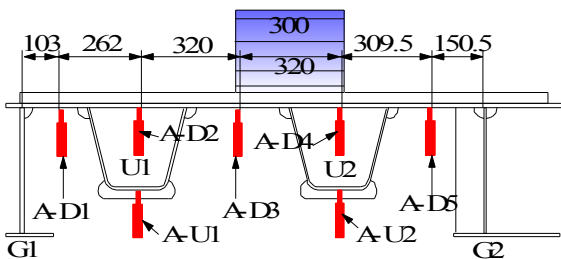


図-6 たわみの計測位置

版上面に幅 120mm、厚さ 3.2mm の鋼板 2 枚設置し、その上に幅 300mm、厚さ 4.5mm の鋼板を設置した。なお、SFRC 上面補強においては厚さ 4.5mm の鋼板のみを設置した。載荷板の設置状態を図-5 に示す。

#### (1) 鋼床版

補強前の鋼床版には図-3, 4 に示す。荷重は、1 走行ごとに荷重 10kN ずつ増加し、荷重 100kN まで載荷する。計測は、1 走行ごとに各計測点のたわみを動的に計測する。1 往復の走行時間を 10sec とし、1 走行の計測データ数は 1000 個とする。ここで、たわみの計測位置を図-6 に示す。断面 A は支間中央から横リブ I 側に 575mm の位置とする。

本実験では、未損傷の鋼床版の断面 A のたわみを荷重 100kN まで走行させた後、荷重 50kN で 40000 万回走行の輪荷重走行疲労実験を行い、鋼床版に疲労損傷を与える。輪荷重走行疲労実験後に疲労き裂の目視では確認されなかった。その後、SFRC 上面補強を施し、たわみの低減効果の検証を行うものとする。本論文では、補強前と補強後のたわみの変化のみ考察するものとする。

#### (2) 接着剤塗布型 SFRC 上面補強

鋼床版に 40,000 回走行の疲労損傷を与えた後、デッキプレート上面に接着剤塗布し、SFRC を上面補強して、7 日後に、輪荷重走行試験を開始した。荷重載荷条件は鋼床版と同様である。なお、荷重 100kN まで載荷後は輪荷重走行疲労実験を実施した。本論文では、補強前の鋼床版の動的たわみと SFRC 上面補強後の動的たわみを比較し、鋼床版の接着剤塗布

型 SFRC 補強法におけるたわみの低減効果について検証する。

## 5. 結果および考察

### 5.1 本提案する SFRC 材の圧縮・引張強度

#### (1) SFRC の圧縮強度

本実験に用いた SFRC は普通セメントに低収縮型早強性混和材および鋼繊維を配合した SFRC であり、1.5 日で、道示に規定するコンクリートの設計基準強度  $24\text{N/mm}^2$  確保できる材料である。1.5 日 (材齢 36 時間) の圧縮強度の平均は  $33.2\text{N/mm}^2$  であり、1.5 日で道示に規定する設計基準強度を満足している。材齢 7 日の圧縮強度は  $56.6\text{N/mm}^2$  であり、7 日後から実験準備を開始し、7 日以降に実験を行った。

#### (2) 建研式引張試験

1.5 日、材齢 36 時間後の鋼床版と SFRC 上面補強との界面の付着強度を確認するために、建研式引張試験を行い、補強後の付着強度を計測した。SFRC 上面補強時の付着強度の基準は  $1.0\text{N/mm}^2$  以上が条件である。試験は、SFRC 上面補強した A 断面の主げた G1 上から  $\phi 100\text{mm}$  で鋼板位置まで切り込みを入れる。その後、ノギスを用いて直径を計測する。本コアの径は  $98\text{mm}$  である。コアの上面に接着剤を塗布し、鋼製治具を圧着する。接着剤が硬化したのち、油圧式接着力試験機を用いて、載荷速度  $1.0\text{N/cm}^2/\text{sec}$  で引張試験を実施した。A 断面の付着強度の平均は  $2.59\text{N/mm}^2$  である。よって、鋼床版上面に接着剤を塗布することで界面の付着強度が十分確保されている。

### 5.2 デッキプレート

断面 A の各計測点のたわみと走行時刻の関係を図-7 に示す。図-7 に示すたわみは最小荷重 10kN と最大荷重 100kN の結果である。たわみと走行時刻の関係は、走行時刻 0.0sec が支点から 50cm の位置であり、走行時刻 1.15sec 付近が計測点 A を通過する付近である。走行時刻 5.0sec 付近が輪荷重折り返し位置となる。輪荷重折り返した後、走行時刻 8.8sec 付近が再度、輪荷重が計測点 A を通過する付近であり、走行時刻 10.0sec が元の位置となり、1 往復 10.0sec のたわみの状態である。なお、補強前と補強後に、それぞれ計測し、合成した図であることから計測点を通過する時刻には差異が生じるが、たわみは最大値と最小値を得て、変形量を考察することとする。

#### (1) デッキプレート A-D1

主げた G1 と U1 リブの中央 A-D1 のデッキプレートのたわみは図-7(1)に示すように、輪荷重が走行開始から元の位置までの 1 往復のたわみを動的に計測した結果である。補強前のたわみの最大値は  $0.62\text{mm}$ 、最小値は  $0.35\text{mm}$  である。上限と下限のたわみの差は  $0.27\text{mm}$  である。一方、接着剤塗布型 SFRC 上面補強後

のたわみの最大値は0.49mm、最小値は0.26mmであり、上限と下限のたわみの差は0.23mmである。最大たわみを比較するとSFRC上面補強によりたわみが21% (=  $1 - (0.49/0.62)$ ) 低減している。また、変位振幅では15% (=  $1 - (0.23/0.27)$ ) 低下している。

#### (2) デッキプレート A-D2

主げた U1 リブ間の中央 A-D2 のたわみと走行時刻の関係を図-7(2)に示すように、補強前のたわみの最大値は0.001mm、最小値は-0.11mmである。上限と下限のたわみの差(絶対値)は0.111mmである。補強後のたわみの最大値は-0.001mm、最小値は-0.08mmであり、上限と下限のたわみの差(絶対値)は0.079mmである。最大たわみを比較するとSFRC上面補強によりたわみが27%低減している。また、変位振幅では29%低下している。計測点 A-D2 は大きなたわみの変形は見られない。

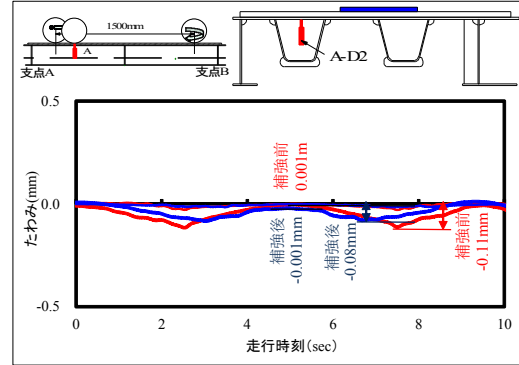
#### (3) デッキプレート A-D3

デッキプレート A-D3 のたわみと走行時刻の関係は図-7(3)に示すように、補強前のデッキプレート A-D3 のたわみの最大値は1.38mm、最小値は0.44mmである。最大値と最小値の差は0.94mmである。一方、補強後のたわみの最大値は0.72mm、最小値は0.23mmであり、差は0.49mmである。最大たわみおよび変位振幅ともにSFRC上面補強により48%低減している。デッキプレート A-D3 は輪荷重が走行する位置であることからたわみ量が最も多く、また、補強後の抑制効果も大きい。

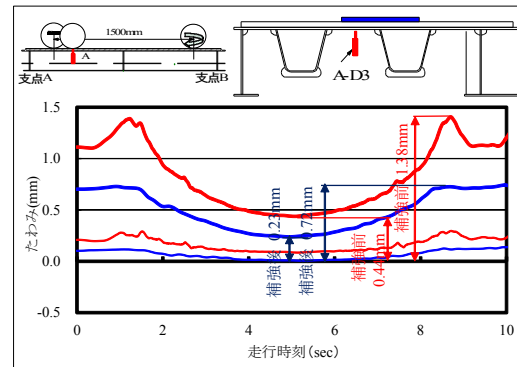
#### (4) デッキプレート A-D4

デッキプレート A-D4 のたわみと走行時刻の関係は図-7(4)に示すように、輪荷重が計測点 A を通過する時刻が最大であり、輪荷重が床版中央に配置した横リブ上、断面 B を通過する時のたわみは0.0mmである。輪荷重が反対側の折り返し付近が最小値となる。たわみの最大値は0.82mm、最小値が0.19mmであり、たわみの差(絶対値)は1.01mmである。一方、補強後のたわみの最大値は0.08mm、最小値は-0.14mm、差は0.22mmである。よって、最大たわみに対する低減率は90%であり、たわみが大幅に抑制されている。変位振幅では78%低下している。この位置しいことから U2 リ

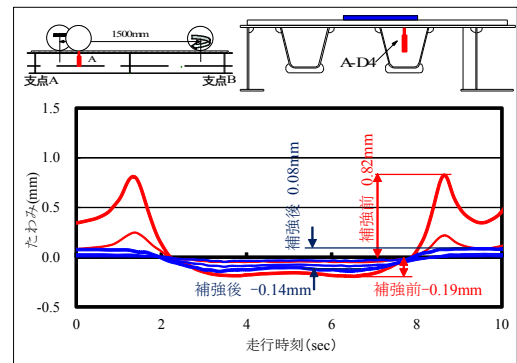
ブとデッキプレートの溶接部などに、金属疲労によるき裂が発生するものと考えられる。しかし、SFRC 上面補強することで大幅に軽減する結果が得られる。よって、U2 リブ内のたわみは輪荷重が走行する位置によって、正負のたわみが発生することから、U リブ取付け付近ではたわみの交番による変動範囲を低減する必要



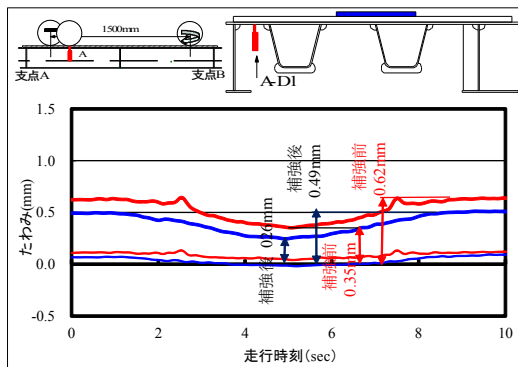
(2) たわみと走行時刻の関係 (A-D2)



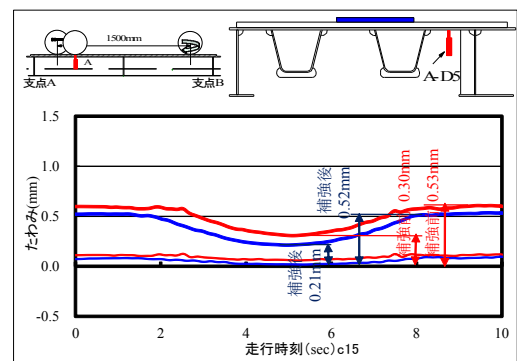
(3) たわみと走行時刻の関係 (A-D3)



(4) たわみと走行時刻の関係 (A-D4)

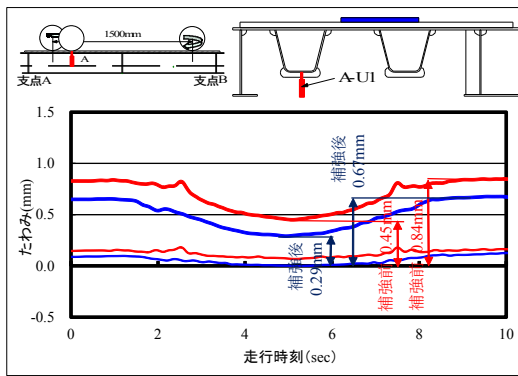


(1) たわみと走行時刻の関係 (A-D1)

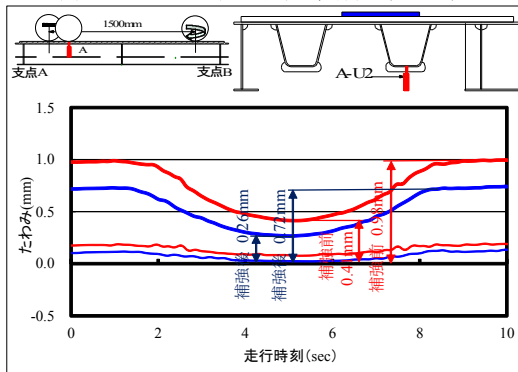


(5) たわみと走行時刻の関係 (A-D5)

図-7 デッキプレートのたわみと走行時刻の関係



(1) たわみと走行時刻の関係 (A-U1)



(2) たわみと走行時刻の関係 (A-U2)

図-8 Uリブのたわみと走行時刻の関係

がある。

### (5) デッキプレート A-D5

デッキプレート A-D5 のたわみと走行時刻の関係は図-7(5)に示す。計測点 A-D5 は G2 げたから 150.5mm の位置で、G2 げたには垂直補剛材が配置されている位置であり、垂直補剛材とデッキプレートの溶接部の損傷が多い位置でもある。補強前のたわみの最大値は 0.53mm、最小値は 0.30mm であり、差は 0.23mm である。SFRC 上面補強後の最大たわみは 0.52mm、最小たわみは 0.21mm、差は 0.31mm である。

## 5.3 Uリブ

Uリブ下面のたわみと走行時刻の関係を図-8に示す。

### (1) Uリブ下面 A-U1

Uリブ下面 A-U1 のたわみと走行時刻の関係を図-8(1)に示すように、たわみの最大値は 0.84mm、最小値 0.45mm であり、差は 0.39mm である。なお、U1 リブ内のデッキプレート A-D2 下面のたわみは 0.11mm である。一方、補強後のたわみの最大値 0.68mm、最小値 0.29mm、差は 0.39mm である。補強前の鋼床版の最大たわみと比較すると補強後のたわみは 19%低下している。

### (7) Uリブのたわみ A-U2

Uリブ下面 A-U2 のたわみと走行時刻の関係を図-8

(2)に示すように、補強前のたわみの最大値は 0.98mm、最小値が 0.41mm である。差は 0.57mm である。上面のデッキプレートの最大たわみは 0.89mm であり、デッキプレートとはほぼ同等の変形である。しかし、最小値は 0.19mm であり、差 (絶対値) は 0.6mm である。一方、補強後のたわみの最大値は 0.72mm、最小値が 0.26mm、差が 0.46mm である。

よって、最大たわみに対する低減率は 26%である。変位振幅では 19%低下している。この位置のデッキプレートはたわみの交番が著しい位置であるが、SFRC 上面補強することで大幅に抑制されている。

## 6. まとめ

(1) 本実験に用いた普通セメントに低収縮型早強混和材および鋼繊維を配合した SFRC 材は 1.5 日 (材齢 36 時間) の圧縮強度が  $33.2\text{N/mm}^2$  である。また、界面に接着剤を塗布することで付着強度が  $2.59\text{N/mm}^2$  であることから、本提案する SFRC 材は鋼床版の上面補強材として実用的であるといえる。

(2) 無補強の鋼床版と SFRC 上面補強した供試体は、各計測点において最大たわみが大幅に減少している。とくに、U2 リブのデッキプレートは、輪荷重が走行することによりたわみが交番するものの、たわみの変化が大幅に減少している。よって、デッキプレートや溶接部のき裂の発生が大幅に抑制されるものと考えられる。

(3) 輪荷重が走行する位置によってデッキプレートにはたわみの交番が発生することからたわみの交番の影響を考慮した設計法も検討する必要がある。

## 参考文献

- 1) 土木学会：鋼構造シリーズ 19 鋼床版の疲労 2010 年 改訂版，(2010)
- 2) 松下，齋藤，村越，有馬：き裂を有する鋼床版の当て板補強に関する解析的検討，土木学会第 61 回 年次学術講演会講演概要集，(2006.09.)
- 3) 児玉孝喜，加形護，伴康夫，海老沢秀治，鈴木康範：SFRC 舗装による鋼床版の疲労耐久性向上対策，第 12 回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集，(2009.08)
- 4) 石井博典，井口進，春日井俊博，村越潤，梁取直樹：既設鋼床版の SFRC 舗装による応力低減効果と破壊性状に関する検討，構造工学論文集 Vol.59A，pp.1138-1149，(2013.03.)
- 5) (社)建設コンサルタンツ協会 近畿支部 公共土木施設の維持管理に関する研究委員会道路分科会 橋梁 WG ②(補修・補強)：2. 橋梁補修設計マニュアル(案)，(2012.7.)