

大平高架橋の鋼床版における S F R C 舗装によるひずみ低減効果

Reduction Effects of Local Strains by Steel Fiber Reinforced Concrete on Orthotropic Steel Deck of Ohira Viaduct

児玉孝喜^{*1}, 緑川和由^{*2}, 玉越隆史^{*3}, 村越潤^{*4}, 山本洋司^{*5}, 一瀬八洋^{*6}, 大田孝二^{*7}

Takayoshi Kodama, Kazuyoshi Midorikawa, Takashi Tamakoshi, Jun Murakoshi, Youji Yamamoto, Yatsuhiko Ichinose, Koji Ohta,

^{*1} 鹿島道路株式会社 技術部 構造物解析・対策グループ 課長 (〒112-8566, 文京区後楽 1-7-27)

^{*2} 国土交通省 宇都宮国道事務所 所長 (〒321-0931, 宇都宮市平松町 504)

^{*3} 国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路構造物管理研究室 室長 (〒305-0804, つくば市旭 1)

^{*4} 独立行政法人 土木研究所 構造物研究グループ (橋梁) 上席研究員 (〒305-8516, つくば市南原 1-6)

^{*5} 国土交通省 宇都宮国道事務所 課長 (〒321-0931, 宇都宮市平松町 504)

^{*6} 鹿島道路株式会社 技術部 構造物解析・対策グループ (〒112-8566, 文京区後楽 1-7-27)

^{*7} 新日本技研株式会社 技師長 (〒105-0014, 港区芝 2-1-23)

There have been reported fatigue damages of orthotropic steel bridge decks by increasing traffic volumes and higher wheel loads. As countermeasure of improving fatigue durability of existing orthotropic steel decks, steel fiber reinforced concrete (SFRC) pavement is expected from the viewpoint that the deck plate is stiffened by the composite action of the concrete and the local strains of the deck plate are reduced much both by the action and by the effect of distribution of wheel loads of the SFRC.

Static loading tests using 200kN dump truck were conducted on the orthotropic steel deck of Ohira viaduct. This paper reports the results of strains measurement before and after the construction of SFRC pavement that shows the great reduction effects of the local strains of steel decks.

Key words: steel deck, fatigue damage, SFRC pavement, steel fiber, reduction of local strain, Epoxy resin adhesives

1. はじめに

近年、重車両の通行する鋼床版をもつ橋梁には、疲労損傷亀裂の発生が数多く報告されている。亀裂は横リブと縦リブの溶接部、縦リブとデッキプレートとの溶接部、縦リブ相互の溶接部などに発生している。デッキプレート近辺で生じる亀裂は、まれにデッキプレートを貫通することもあり、路面陥没などの事例も報告^{1), 2)}されており、通過交通の事故の可能性にもつながることから、大きな問題とされている。

このような疲労損傷に対し、鋼床版上の舗装に剛性の高いスチールファイバーレインフォーストコンクリート(以下、SFRC)を用いることで、鋼床版の局部変形を抑え、局部応力を低減することで、疲労耐久性を向上させる試みがいくつか実施されてきている。

SFRC舗装は、古くは名古屋高速道路公社³⁾にて使用されているが、当時は縦断勾配の大きいランプ部や料金所等における舗装の損傷対策として用いられていた。鋼床版の疲労対策としては、SFRCとデッキプレート間の接合に従来のスタッドジベルではなく、エポキシ樹脂接着剤を用いる新しい工法として、横浜ベイブリッジ下層の一般国道357号^{4), 5)}、湘南大橋^{6), 7)}、首都高速道路(株)⁸⁾にて実施されてきている。

今回、栃木県小山市の供用中の鋼床版橋梁である大平高架橋において、疲労対策の一環としてSFRC舗装の舗設工事があり、旧舗装であるアスファルト舗装と新舗装のSFRC舗装におけるトラック載荷試験を行うこと

ができた。SFRC舗装による鋼床版のひずみ低減効果が確認できたので、ここに報告する。

2. 大平高架橋へのSFRC舗装

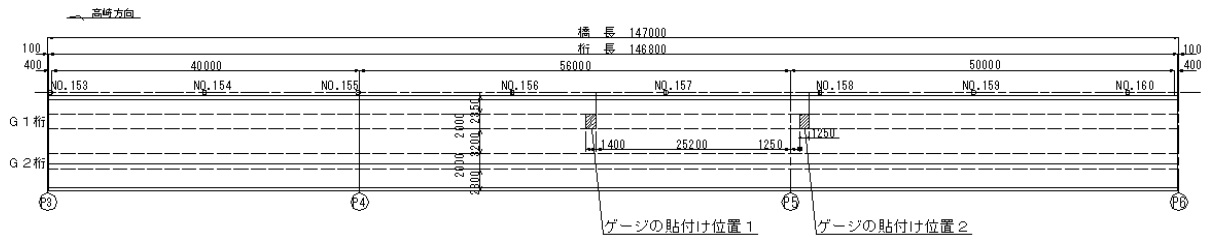
2.1 大平高架橋とSFRC舗装の概要

大平高架橋は国道50号の31径間、全長987mの道路橋である。1983年に上り線2車線(高崎方向)が完成し、2005年に上り線に並行して下り線2車線が開通した。上り線、下り線は独立の上部工をもつ橋梁であるが、共通の橋脚によって支持されている。そのうち、上り線のUリブを用いた鋼床版の3径間連続2箱桁1連、単純鋼床版桁2連、延長213mにSFRCを舗設した。

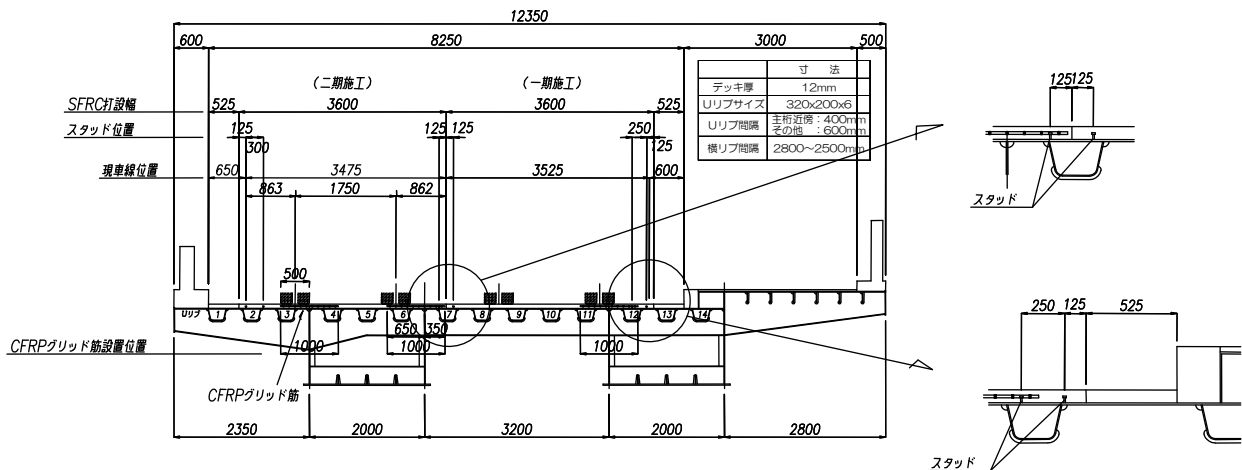
今回、測定の対象とした部分は上り線(高崎方向)で、P3橋脚からP6橋脚に架かる3径間連続鋼床版2箱桁とした。デッキプレート厚は12mm、Uリブは幅320mm、高さ200mm、厚さ6mm、支間長は40m, 56m, 50mである。測定対象橋梁の平面図を図—2.1に断面図を図—2.2に示す。

本橋はすでに20年以上供用しており、車輪通過直下の鋼床版溶接部には、デッキプレートとUリブとの溶接部等に疲労損傷が見られていた。今回、疲労対策の一環として、鋼床版各部の局所応力の軽減を図るためにSFRC舗装を用いることになった。

SFRC舗装は幅員方向に二分割で施工した。径φ9mm、高さ30mmのスタッドジベルを施工幅の両端部および



図—2.1 大平高架橋（P3～P6）上り線（高崎方向）の平面図



図—2.2 大平高架橋（P3～P6）上り線（高崎方向）の断面図



写真—2.1 接着剤とスタッドジベル



写真—2.2 CFRP グリッド筋の設置

施工目地部に橋軸直角方向2列、300 mm 間隔に設置している。接着剤は水浸輪荷重疲労試験⁹⁾にて付着強度の低下がなかった高耐久型のエポキシ系接着剤を塗布量 1.4kg/m²で使用した(写真—2.1 参照)。また、接着剤はデッキプレートとSFRCとの接合だけでなく、SFRC同士の施工目地部やSFRCと伸縮装置との接合などの、立ち上がり面にも使用した。

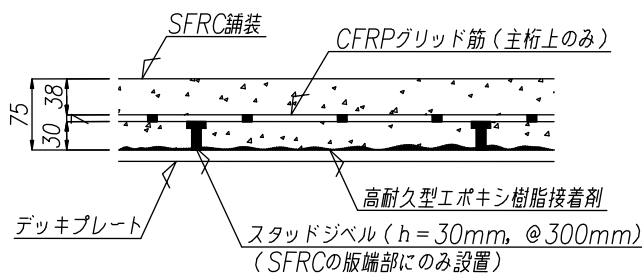
SFRCは上り線2車線が約1.5ヶ月間交通止め可能であったことから早強コンクリートを用いた。コンクリートの設計基準圧縮強度 29.4N/mm²、膨張剤 20 kg/m³、スチールファイバーは長さ30mmを120kg/m³としている。また、箱桁主桁ウェブ直上のSFRC舗装内には負曲げによるひび割れ後の剛性確保のため、100mmメッシュのCFRP(炭素繊維)グリッド筋を主桁ウェブ中心に幅方向1.0m、下かぶり30mmにて用いている(写真—2.2 参照)。なお、CFRPグリッド筋の断面積は39.2mm²、引張強度は1400N/mm²とした。

2.2 SFRC構造の検討概要

SFRCの厚さやCFRPグリッド筋の設置幅などは施工前に構造検討を行った。ここでは、主な検討の概要を述べる。

SFRCの厚さはアスファルト舗装厚と同厚のケース75mm、既設厚より増厚のケース100mm、SFRC厚45mm＋表層アスファルト厚30mmの2層の3ケースについて経済性、施工性、維持管理面での比較を行い、既設アスファルト舗装と同厚75mmに決定した。

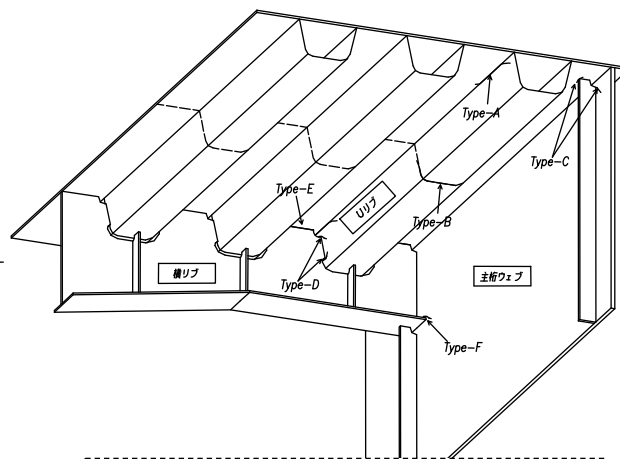
SFRCを補強するCFRPグリッド筋やスタッドジベルについては、有限要素解析にて主桁直上モデルや橋梁部分モデルにて検討を行った。SFRCに生じる応力度は主桁配置、横リブ間隔、Uリブ間隔などの鋼床版の構造で異なることから、大平高架橋をモデル化した橋梁部分モデルにて、活荷重や水和熱により発生する応力度を求めた。



図—2.3 SFRC標準断面図

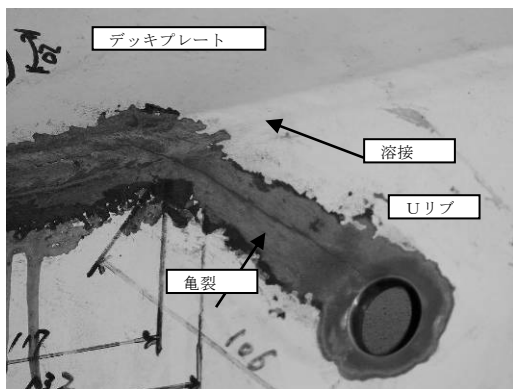
表—2.1 各径間の疲労損傷数

区間	上部工形式	Type-A	Type-B	Type-C	Type-D	Type-E	Type-F	計
P3-P4	3径間連続箱桁	31	0	15	5	0	0	51
P4-P5		42	0	27	19	2	0	90
P5-P6		26	0	3	10	2	0	41
P10-P11	単純桁	7	4	8	0	2	0	21
P13-P14	単純桁	8	1	1	2	0	0	12
計		114	5	54	36	6	0	215

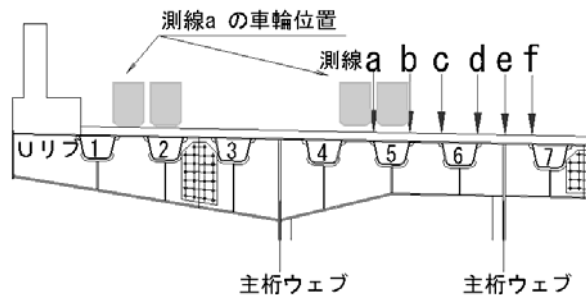


- Type-A: デッキプレートとUリブとのすみ肉溶接部
- Type-B: Uリブの突合せ溶接部
- Type-C: デッキプレートと垂直補剛材とのすみ肉溶接部
- Type-D: 横リブとUリブとのすみ肉溶接部
- Type-E: デッキプレートと横リブとのすみ肉溶接部
- Type-F: 横桁・横リブフランジと主桁ウェブとのすみ肉溶接部

図—2.4 疲労損傷の概略図



写真—2.3 大平高架橋での疲労亀裂の例



図—2.5 トラック載荷の測線位置

その結果、CFRPグリッド筋についてはSFRCのひび割れ幅抑制効果を確認するとともに、設置範囲を主桁上1.0mに決定した。

スタッドジベルについては、水和熱や乾燥収縮による舗装のそり上がりに対して、接着剤のみで十分対応できない結果となった。しかしながら、実橋での接着剤の長期耐久性が確認されていないことから、SFRC端部において、万一、接着層のはがれによる水等の浸入をできるかぎり防ぐことを目的として、端部にのみスタッドジベルを設けることとした。

また、将来のSFRC舗装の維持修繕について30mm程度の舗装切削に対応できるよう、スタッドジベルの高さ30mm(特注品)、グリッド筋の下かぶりを30mmとした。SFRCの標準断面を図—2.3に示す。

2.3 大平高架橋の疲労損傷概要

平成17年と18年に、Uリブを用いた鋼床版部において、点検調査および補修が実施されている。その結果によれば、疲労損傷は車輪直下のデッキプレートとUリブとのすみ肉溶接部 (Type-A) やデッキプレートと垂直補

剛材とのすみ肉溶接部 (Type-C) に多数発生している。疲労損傷の概略図を図—2.4に、各径間の疲労損傷数を表—2.1に示す。また、大平高架橋における損傷例を写真—2.3に示す。この写真によれば、デッキプレートとUリブとの溶接部に生じた亀裂が方向をかえUリブ本体に進展しており、亀裂の先端にストップホールが施工されている。このような疲労亀裂に対して、橋梁補修会社にて補強または補修が行われた後に、鋼床版各部の局所応力の軽減を図るためにSFRCを鋼床版上に舗装した。また、車輪直下に疲労損傷箇所がないように、走行車線の変更を行った。

2.4 測定計画と測定内容

(1) 測定の概要

SFRC舗装は鋼床版のデッキプレートの変形を抑制し同時に載荷荷重の分散を図り、結果として溶接部周辺の局所的なひずみ、つまり局部応力の低減を図ることができる。今回、SFRC舗装による鋼床版の局部応力の軽減効果を確認するために、デッキプレートの溶接部を中心に、横リブやUリブについてもひずみゲージを貼



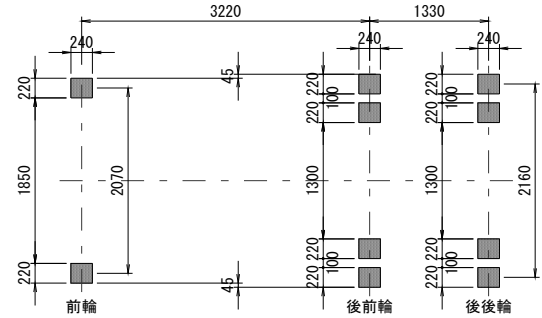
写真—2.4 第一実験（橋軸方向に移動載荷）



写真—2.5 第二実験（橋軸方向より撮影）

表—2.2 使用測定機材

	使用機材名	使用箇所
ひずみゲージ	ひずみゲージ 1軸：FLA-3-11-10LTSA	鋼桁
	ひずみゲージ 2軸：FCA-3-11-10LTSA	鋼桁
	ひずみゲージ 3軸：FRA-3-11-10LTSA	横リブ
	熱電対内臓埋め込み型ひずみ計：KM-100BT	コンクリート内部
	熱電対先端テフロン防水処理：k-6F-0.32BT	コンクリート内部
テラログ	TDS-303	
スイッチボックス	ASW-50C	



図—2.6 トラックの車輪配置と接地面積の詳細

付けした。

このひずみの低減効果は橋梁の鉛直たわみが比較的大きなP4とP5の支間中央付近のひずみゲージ貼付け位置-1と、比較的たわみが小さな中間支点P5に近い部分のひずみゲージ貼付け位置-2とでSFR Cの効果が異なることが予想されたため、この2箇所を対象に測定することとした(図—2.1参照)。

測定対象は追越し車線側(中央分離帯側)の箱桁上で、車輪の通行位置とUリブ位置を考慮し、測線a～fを定めた。測線aからeでは右車輪が測線を通るように、fでは左車輪が測線を通るように想定した。測線の位置を図—2.5に示す。

(2) 載荷実験ケース

載荷実験には3軸のトラックを使用した。前輪がシングルタイヤ、後輪が2軸で各々の軸の両側にダブルタイヤがあるタイプであり、総重量をほぼ200kNとなるように調整した。写真—2.4に試験状況(第一実験 後述)を示す。

トラックの前輪、後前輪、後後輪位置の詳細を図—2.6に示す。後軸のダブルタイヤの載荷に当たっては、ダブルタイヤの中心線が測線と一致するように載荷(写真—2.5参照)した。図—2.6に示すように前輪の幅員方向の載荷位置は、外側輪から45mm程内側に位置する。したがって、後輪のダブルタイヤがちょうど測線を跨ぐような位置関係では、前輪はUリブのちょうど中央位置を通る。

使用したトラックの載荷荷重を明確にするため、アスファルト舗装時点の基層表層ともに密粒度アスファルト混合物での載荷トラック、SFR C施工後の載荷トラッ

クの軸重を測定した。測定結果を以下に示す。

- 1) アスファルト時点の載荷トラックの軸重
 - 全重量 : 222.0 kN
 - 前輪軸重 : 58.2 "
 - 後輪前側軸重 : 83.2 "
 - 後輪後側軸重 : 72.8 "
- 2) SFR C時点の載荷トラックの軸重
 - 全重量 : 222.3 kN
 - 前輪軸重 : 56.4 kN
 - 後輪前側軸重 : 87.0 kN
 - 後輪後側軸重 : 73.3 kN

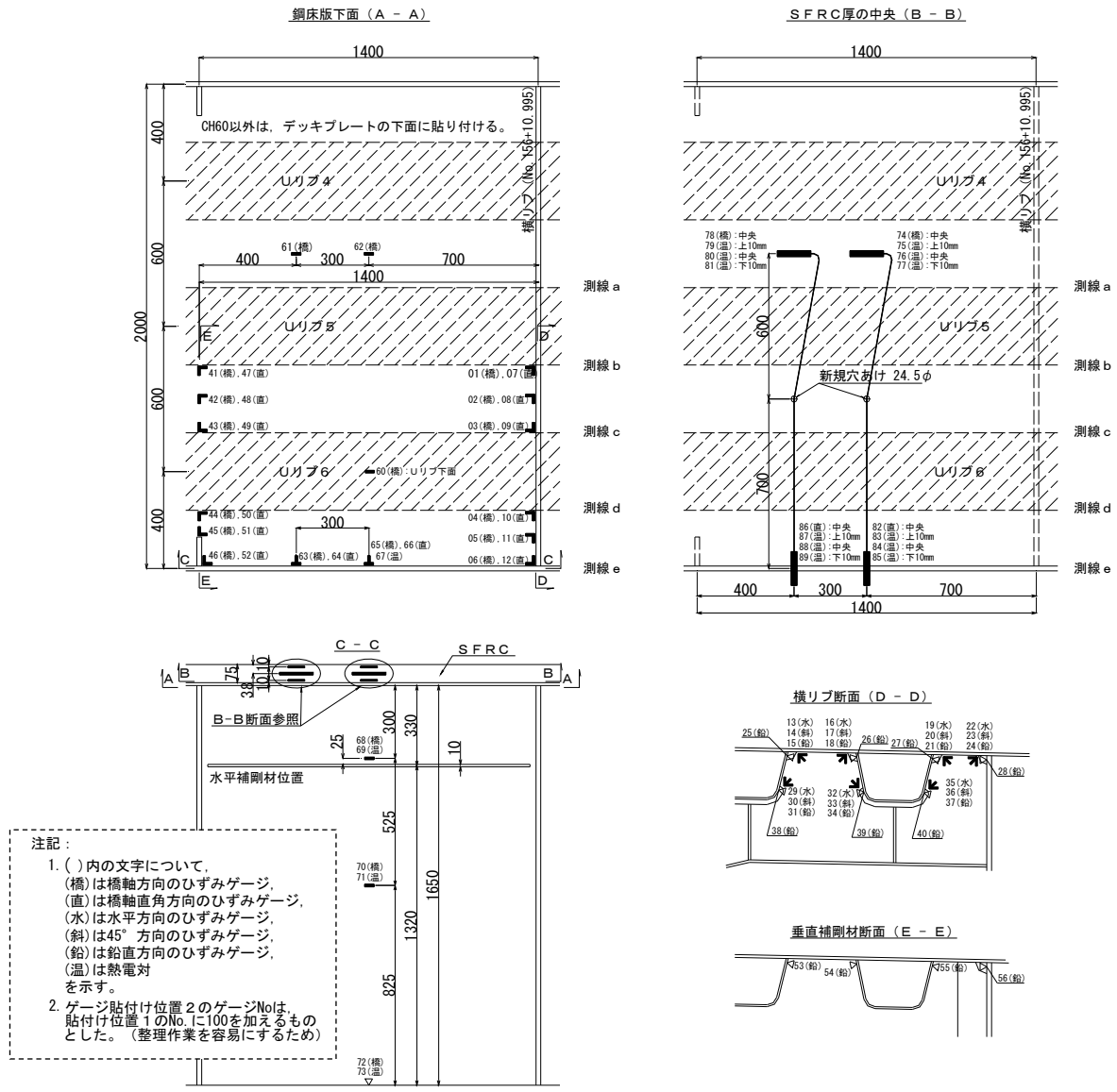
いずれもその差は小さいと判断し、測定結果の取りまとめにおいては軸重差を考慮せず、同じ荷重のトラックが載荷されたとしてデータ整理を行っている。

載荷実験としては、下記の3ケースの実験を実施した。

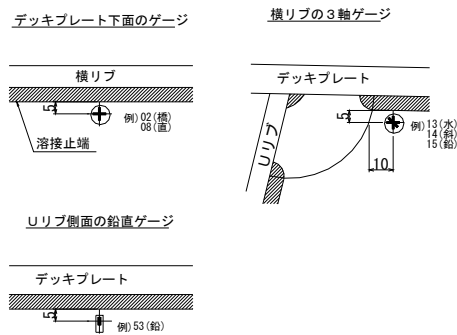
- i) 第一実験：トラックの橋軸方向移動によるひずみ変動の影響(図—2.5, 測線c, dを対象)
- ii) 第二実験：トラックの橋軸直角方向位置(図—2.5, 測線a～f)によるひずみ変動の影響
- iii) 第三実験：他径間に位置するトラックの影響

第一実験については、橋軸方向に700mmずつ移動させた15ケースについて測定を行った。(図—3.2参照)

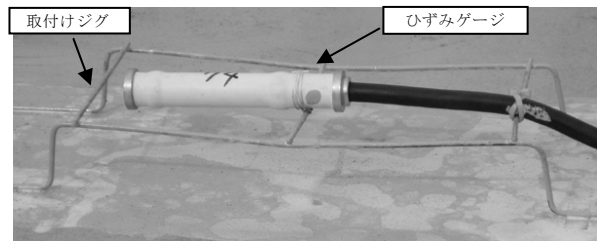
第二実験については、車輪位置として、前輪が各ひずみゲージ断面直上にきた場合、後前輪が各ひずみゲージ断面にきた場合、後輪2軸のちょうど中央が各ひずみゲージ断面にきた場合、後後輪が各ひずみゲージ断面にき



図—2.7 ゲージの位置とゲージ番号



図—2.8 スカーラップ位置のゲージ

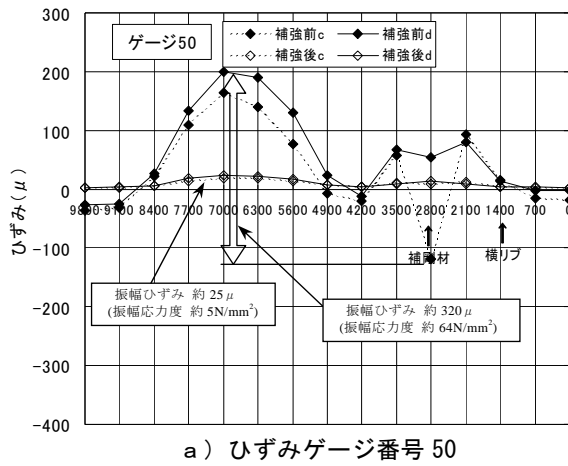


写真—2.6 コンクリート測定用ひずみゲージ

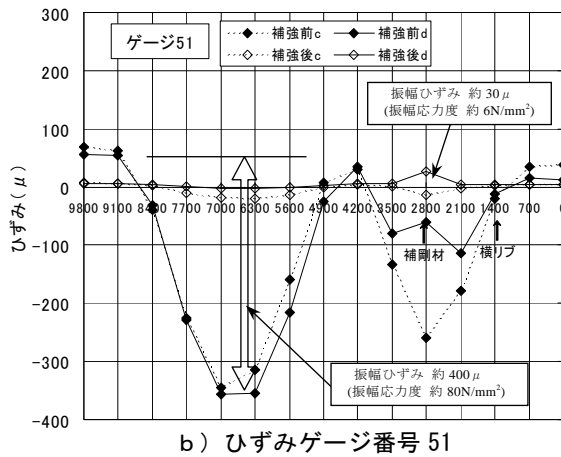
た場合の4ケースについて、各断面（図—2.7、D断面、E断面）の測定を行った。

なお、橋梁上面からはひずみゲージ断面の正確な位置や箱桁内のUリブ位置を把握することは難しく、橋軸方向には伸縮継ぎ手や排水樹位置、橋軸直角方向については壁高欄や歩道の立ち上がり位置から、ひずみゲージ断面位置や測線 a ~ f の位置を定めた。

第三実験については、トラック荷重1台を考えたとき、桁作用によるひずみの変動が、第二実験の輪荷重によるひずみの変動と比べどの程度かを把握する目的で行った。そのため、荷重は橋軸直角方向には箱桁の中央、橋軸方向には後輪タンデム軸の中央が各径間の中央に一致させ、その時の各ひずみゲージ断面に生じるひずみを測定した。

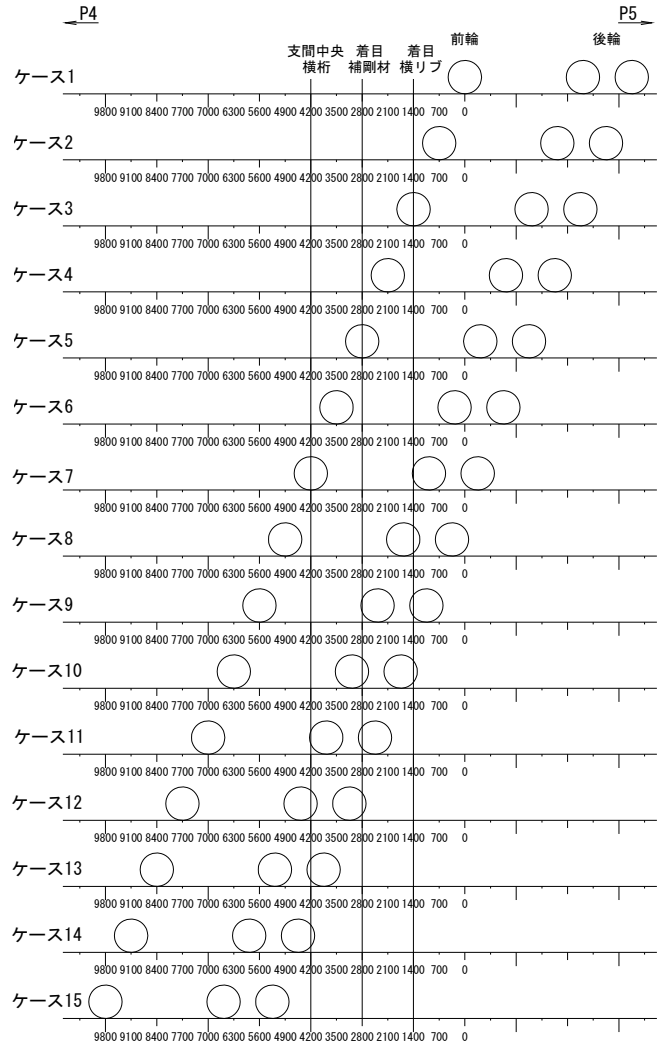


a) ひずみゲージ番号 50



b) ひずみゲージ番号 51

図—3.1 輪荷重を移動させた時のひずみ



図—3.2 第一実験時の輪荷重位置

(3) 測定の日程

測定は撤去前のアスファルト舗装の時点(補強前)と、S F R C 打設後 1 週間程度の時点(補強後)の 2 回とし、S F R C 舗装による鋼床版のひずみ低減効果を確認するために測定した。

測定の日時および宇都宮地方気象台、小山の平均気温データは以下の通り。

- ①アスファルト舗装時：2007 年 10 月 2 日，19.1℃，曇
- ②S F R C 舗装施工時：2007 年 10 月 30 日，16.1℃，曇
- 〃 測定時：2007 年 11 月 6 日，14.3℃，曇

(4) 測定ひずみゲージの位置

ひずみゲージは箱桁内のデッキプレートのひずみを中心にして測定することにした。図—2.7 のようにデッキプレートの橋軸，橋軸直角方向のひずみを横リブ近辺(D-D 断面)と横リブ支間中央(E-E 断面)に対して測定した。横リブとUリブとの交差位置では、同図右下のように主応力方向が不明との考えから 3 軸のロゼットゲージを使用した。

なお、ひずみデータの整理に当たっては、1 軸，2 軸のひずみゲージではそのままの値，3 軸では主ひずみの値で整理している。使用した機材を表—2.2 に示す。

また、スカーラップ位置でのひずみゲージは、ゲージ長 3mm のものを溶接止端部から 5mm の位置に貼付けた。貼付位置を、図—2.8 に示す。

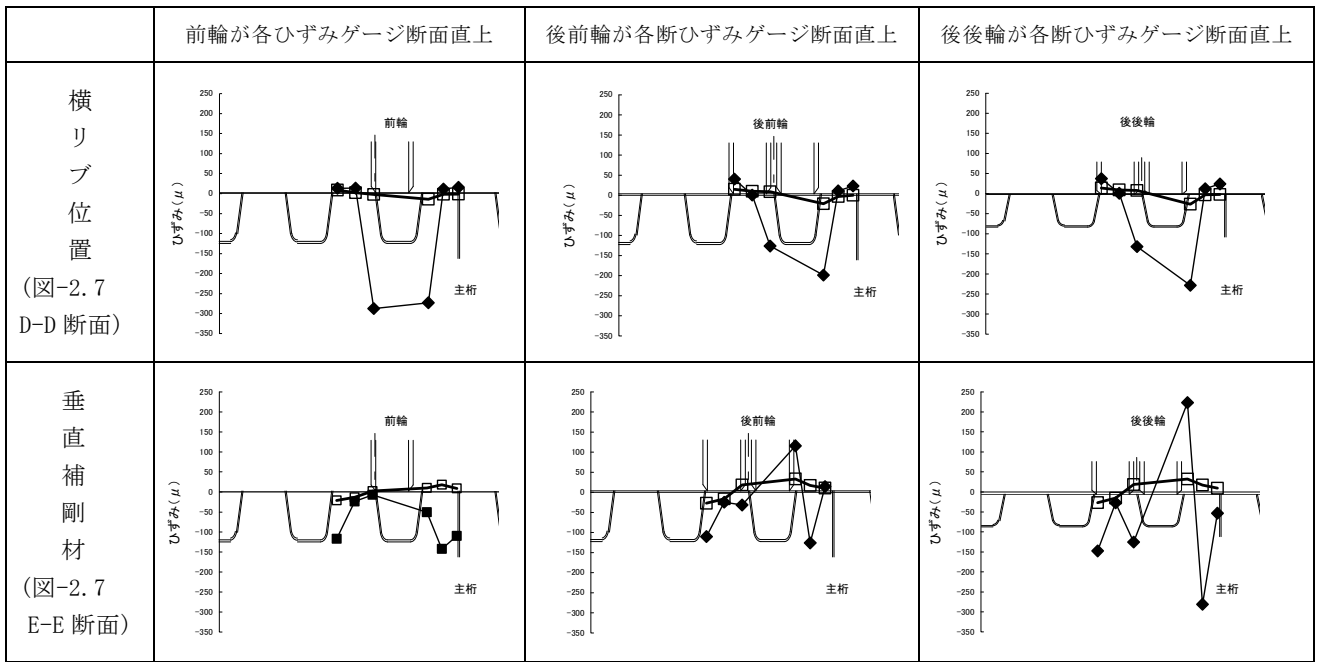
(5) S F R C 内部のひずみ測定

S F R C 舗装の温度や乾燥収縮によるひずみの変化を把握する目的で、S F R C 内部に温度ゲージとともに径 $\phi 20$ 、長さ 100mm のひずみゲージを取付けた。S F R C 打設前の取付け状況を写真—2.6 に示す。各ひずみゲージ貼付位置に各々橋軸方向には箱桁中央部分に 2 箇所、橋軸直角方向には、箱桁ウェブ線に 2 箇所、すべて S F R C 舗装の厚さ 75mm の中央部に設けた。平面位置を図—2.7, B-B 断面、高さ位置を図—2.7, C-C 断面に示す。箱桁との関係を明確にするため、各ひずみゲージと近いデッキプレートやウェブ高さの中央部、ウェブの下端などにひずみゲージと同様に温度ゲージを設けている。

3. 測定結果と考察

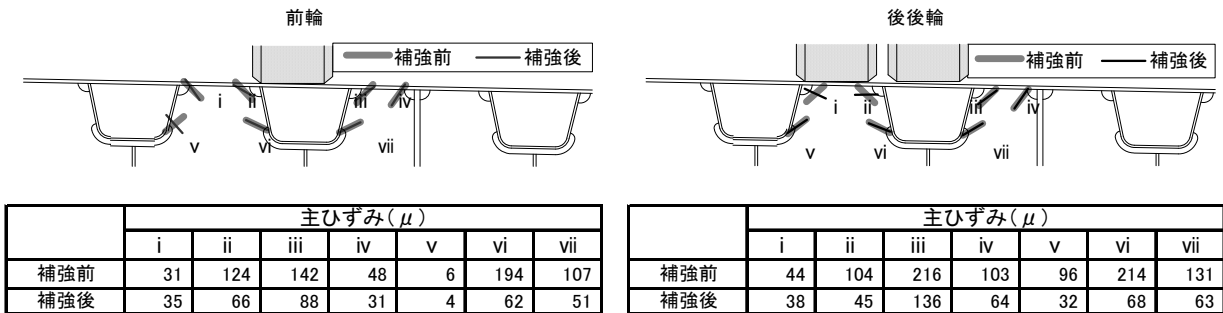
3.1 第一実験の測定結果

デッキプレートとUリブとの溶接部のひずみゲージ番号 50 とデッキプレートと垂直補剛材との溶接のひずみゲージ番号 51 における S F R C 補強前後のひずみ値を



(◆ : 補強前, □ : 補強後)

図—3.3 デッキプレートのSFRC補強前後のひずみ



a) 前輪による主ひずみ方向

b) 後後輪による主ひずみ方向

図—3.4 横リブの主ひずみ方向

図—3.1 に示す. ひずみゲージ番号 50, 51 (図—2.7 参照) は箱桁内のデッキプレート下面でUリブ 6 と主桁ウェブとの間にある. 第一実験の载荷は c, d 測線を後輪が跨ぐように载荷されるため, ひずみゲージ 50, 51 はちょうど車輪の真下に来るといえる.

図—3.1 は, 前輪が 0mm から 9800mm まで移動したときのひずみゲージ番号 50, 51 のひずみ値を示している. 7000mm のときのひずみ値がそれぞれ 200μ , -350μ 程度を示しているのは, 図—3.2 ケース 11 に示す車輪位置となり, 前輪が 7000 の位置, 後輪がひずみゲージ番号 50, 51 の直上付近を通過する場合である.

ひずみ値はアスファルト時点 (補強前) の载荷では前輪通過時でそれぞれ -100μ , -250μ , 後輪 2 軸がひずみゲージ付近通過時の最大ひずみ値はそれぞれ 200μ , -350μ 程度を示しているが, SFRC 補強後はどちらも 50μ に達していないことが分かる. デッキプレートについてはそのひずみ値は大きく改善されている.

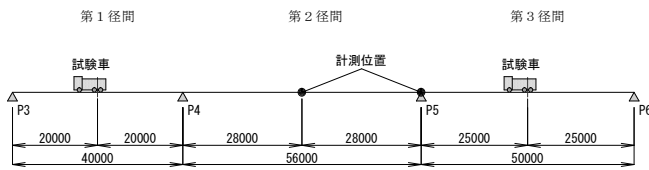
また, デッキプレートとUリブとの溶接継手の疲労強

度等級は明らかではないが, これを鋼道路橋の疲労設計指針¹⁰⁾ に示された E 等級と仮定した場合, 活荷重によって生じる振幅応力度 64N/mm^2 (図—3.1 参照) は直応力を受ける継手の変動振幅応力度に対応する打ち切り限界である 29N/mm^2 を越えており, 車両の交通量によっては疲労損傷が生じる可能性がある. しかし, 補強後の変動振幅応力度は 5N/mm^2 (図—3.1 参照) となり, 打ち切り限界よりかなり小さくなっている. このひずみは溶接端から 5mm 離れた, 溶接部よりも応力集中の小さな位置の値であるが, 疲労損傷が生じる可能性が低くなったと考えられる.

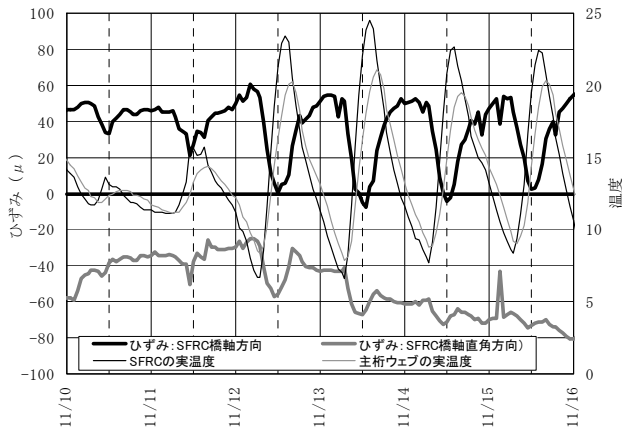
3.2 デッキプレートのひずみ測定結果 (第二実験)

デッキプレートに関して, 比較的大きなひずみが測定されたケースのいくつかについて図—3.3 に示す. 示したのは, 測線 c への载荷のうち, 支間中央のひずみゲージ貼付け断面 1 で, 横リブ位置と垂直補剛材の各測定断面における, 前輪が各ひずみゲージ断面直上にきた場合,

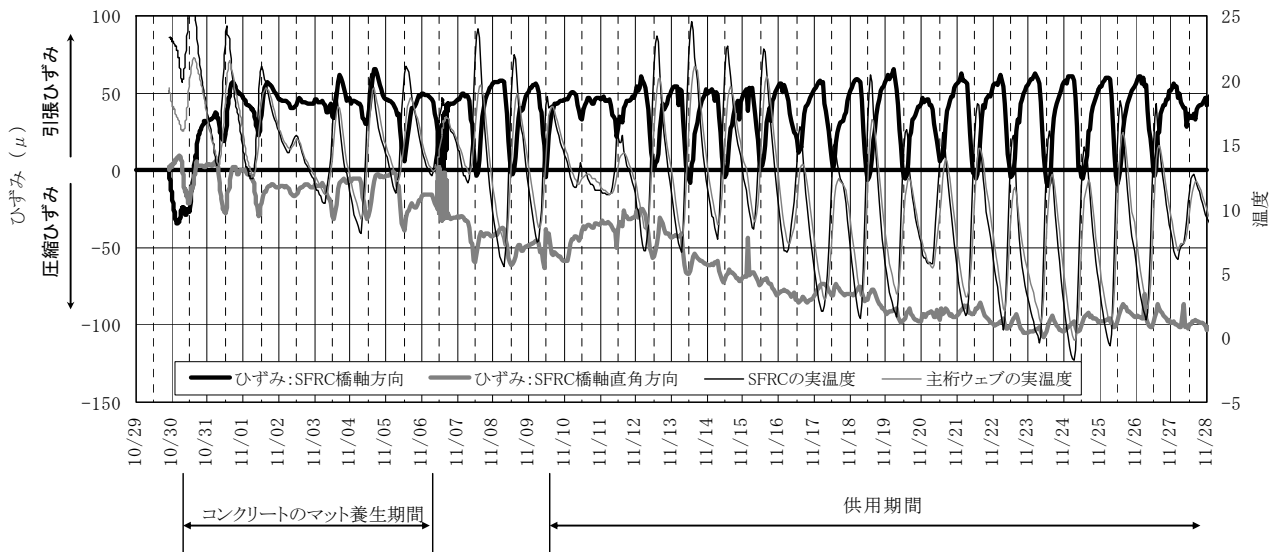
後前輪が各ひずみゲージ断面にきた場合、後後輪が各



図—3.5 第三実験のトラック位置図



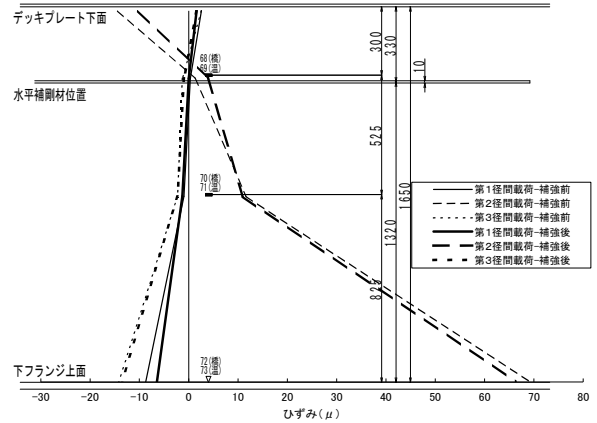
図—3.8 SFRC内部のひずみ (11/10~11/15)



図—3.7 SFRC内部のひずみの推移

ひずみゲージ断面にきた場合の3ケースである。アスファルト時点(補強前)のひずみ(◆)がSFRC時点(補強後)のひずみ(□)に比べて、ひずみが大きく改善されていることが分かる。いずれのひずみも50 μ 以下となっており、SFRC舗装によるひずみ低減効果は明らかであり、局部変形は著しく低減している。

鋼床版のデッキプレートについては、SFRCを施工することで、デッキプレートの変形が抑制され、リブの変形も生じにくくなる。施工後の測定がまだ交通開放前であったことから、SFRCにひび割れが生じておらず、SFRCが版としてもっとも剛性が高く、荷重分散機能



図—3.6 桁作用による主桁のひずみ

表—3.1 埋設ひずみゲージの特性

	SFRCの変形が鋼桁や支承などに拘束された場合	SFRCの変形が鋼桁や支承などに拘束されない場合
温度変化 コクリートの発熱	ひずみを感じ (応力が発生)	ひずみを感じしない (応力は発生しない)
乾燥収縮 自己収縮	ひずみを感じない (応力が発生)	ひずみを感じ (応力は発生しない)

ももっとも優れている状態であるが、ひずみ低減効果は明確に認められる。アスファルト時点でのひずみの大きなものが-300 μ (図—3.3)を超えており、この値が疲労亀裂を生じる可能性があるひずみであることを考えると、デッキプレートに対しては-50 μ 以下に低減されており、SFRCによる疲労損傷対策としての大きな可能性を有しているといえる。

3.3 横リブのひずみ測定結果(第二実験)

支間中央部の横リブ測定結果を、図—3.4に例示した。3軸ゲージであり、アスファルト荷重時点(補強前)と

SFRC 載荷時点（補強後）では大きく主ひずみ方向が変わることが予想されたが、ひずみ値の大きなものは、おおむね主ひずみ方向が一致することが分かった。

ひずみ値は 200μ 程度であり、測定位置がスカラップから若干離れていることもあって、それほど大きなひずみ値は測定されていない。

これらのひずみ値は SFRC 舗装の補強後におおむね $1/2$ から $1/3$ に減少していることが分かる。デッキプレートほどではないが、横リブのひずみ低減についてもある程度の効果が期待される。

3.4 第三実験の測定結果

他径間にトラックが載荷（図—3.5 参照）したときのひずみ値を測定したが、桁作用による橋軸方向のひずみ値は、デッキプレート位置では顕著でなかったため、桁作用としての差異、すなわち、箱桁ウェブの高さを違えた位置に貼付したひずみゲージで確かめた。その結果を図—3.6 に示す。SFRC 補強前後で、中立軸より離れた位置でわずかなひずみ差はみとめられるが、明確な違いは生じていない。

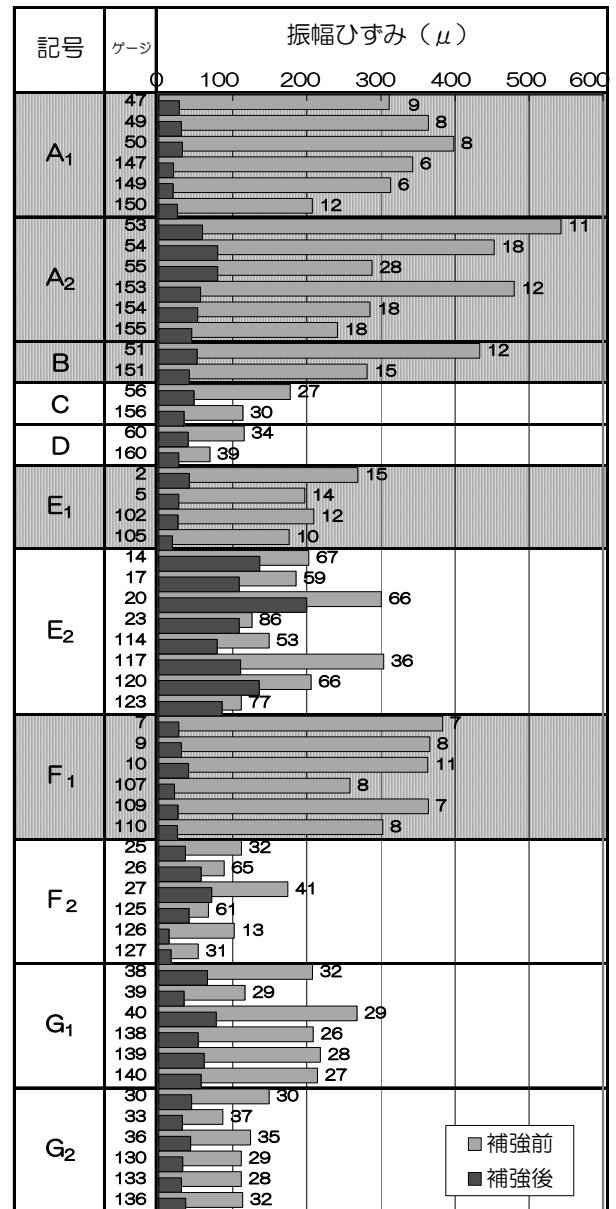
3.5 SFRC 内部のひずみの推移

鋼床版上に打設される薄層の SFRC は、乾燥収縮、打設時のコンクリートの発熱、温度変化、直射日光による鋼桁との温度差などにより、応力度が生じることとなる。今まで SFRC に着目して、ひずみを測定した例¹¹⁾は、ほとんどなく、今回、大平高架橋において、SFRC 内部のひずみの推移を測定することとした。支間中央部におけるコンクリート打設から 1 ヶ月間の測定結果を図—3.7 に、11 月 10 日～11 月 15 日間を図—3.8 示す。このとき、ひずみのゼロ点は打設から 7 時間後のコンクリートの凝結終了時間として、ひずみ値を整理した。また、今回使用したひずみゲージは表—3.1 に示すような特性のものを用いた。

コンクリート打設から 7 日間はマット養生を行い、ひずみ測定やレーンマーク作業などの交通解放準備 4 日間の後に、11 月 9 日に供用を開始した。

橋軸方向の測定ひずみは、1 日単位で 0 から 50μ 程度を周期的に繰り返し全体的に引張が生じる。11 月 10 日（図—3.8 参照）においては、1 日の温度変化がほとんどなく、橋軸、橋軸直角方向ともに、ひずみもほとんど変化しない。一方、11 月 13 日は日中に温度が 7°C から 25°C に上昇し、SFRC と鋼桁との温度差が約 5°C 生じている状態において、SFRC のひずみは、橋軸方向は 50μ の圧縮方向へ変化する。これは、SFRC が鋼桁による拘束を受けているからと考えられる。

SFRC のひびわれ発生ひずみは、既往の研究¹²⁾によれば $260\sim 280\mu$ となっている。乾燥収縮によるひずみが、橋軸直角方向の収縮ひずみ 100μ と同じであると仮定すると、橋軸方向の拘束ひずみは 100μ となる。つまり、活荷重分は除く橋軸方向の応力ひずみは日変化によるひ



記号	番目部位	ひずみの方向
A1	デッキプレートとUリブとの溶接部 (Uリブ支間部)	デッキプレートのひずみ
A2	デッキと垂直補剛材との溶接部	Uリブの鉛直ひずみ
B	主桁と垂直補剛材との溶接部	デッキプレートのひずみ
C	主桁と垂直補剛材との溶接部	主桁の鉛直ひずみ
D	Uリブの突合せ溶接部	Uリブのひずみ
E1	横リブとUリブまたはデッキプレートとの溶接部	デッキプレートのひずみ
E2	溶接部	横リブ3輪ひずみ
F1	デッキプレートとUリブとの溶接部 (横リブ交差部)	デッキプレートのひずみ
F2	溶接部	Uリブの鉛直ひずみ
G1	横リブとUリブとの溶接部 (下側)	横リブ3輪ひずみ
G2	溶接部	Uリブの鉛直ひずみ

図—4.1 SFRC の補強前後のひずみ

ずみ 50μ と乾燥収縮の拘束ひずみ 100μ の合計 150μ が発生していることとなる。ひび割れ発生ひずみ $260\sim 280\mu$ に比べ、測定 1 ヶ月時点でのひずみ 150μ は小さい結果となった。一方、橋軸直角方向は全体的に圧縮ひずみが生じる。これは、支承や桁などによる拘束がほとんどないため、デッキプレートによる拘束のみで比較的自由に変形しているものと考えられる。

4. SFRC舗装によるひずみ値低減効果の総括

SFRC舗装のひずみ低減効果を明示するために、デッキプレート付近のひずみゲージのSFRC補強前後の比較、横桁位置のひずみゲージのSFRC補強前後比較をまとめて整理した。その結果を図—4.1に示す。ひずみは疲労照査で用いる車両通過時の最大ひずみと最小ひずみの幅である振幅ひずみを使用した。

なお、ひずみゲージ欄の番号(図—4.1参照)が二桁は支間中央、三桁はP5付近のひずみゲージ貼付位置を示す。

SFRC補強前後の比較は、SFRC補強前を100とした場合のSFRC補強後の比率%($100 \times \text{補強後} / \text{補強前}$)とし、図—4.1内の振幅ひずみ(棒グラフ)の右側に数字で示した。とくにデッキプレート(図—4.1網がけの部分)では、10%以下となっているものも多い。

網がけ部分のひずみ値(図—4.1参照)を見ると、輪荷重による振幅ひずみは、アスファルトの段階では $400 \sim 500 \mu$ ($84 \sim 105 \text{N/mm}^2$)であったものが、SFRC補強後はすべてが 100μ (21N/mm^2)に達していない。

また、デッキプレートと横リブの溶接部(図—4.1記号E, F)についても20~30%にまで低下しているものも多く、SFRC舗装が鋼床版の疲労亀裂の対策として、十分な効果を有していると期待される結果となっている。

5. 結論

大平高架橋上り線(高崎方向)の3径間連続鋼床版箱桁に厚さ75mmのSFRC舗装を施し、その補強前後、すなわちアスファルト舗装時点、SFRC舗装時点(以下、SFRC補強前後と称す)の載荷試験を行った。載荷にはトラックを用い、交通解放前のSFRC舗装によるひずみ低減効果を調査した。

主な結果を以下にまとめた。

- ①デッキプレート位置におけるひずみ低減効果はきわめて大きく、とくに、デッキプレートとUリブとの溶接部においては、SFRC補強前後で1/10程度にまでひずみ値が低下している例が見られた。
- ②横リブとUリブとの溶接部についても、そのひずみ値はSFRC補強前後で1/2から1/3に減じており、デッキプレートほどではないが、ひずみの低減効果は認められる。
- ③橋軸方向にトラックを移動させた試験ではSFRC補強前後でひずみの低減効果は大きく、床組み全般に対してひずみの低減効果が認められる。
- ④他径間にトラックを載荷した試験結果では箱桁ウェブのひずみをSFRC補強前後で測定したが、有意な差は見られなかった。SFRCはトラック1台に対しては、主桁作用への応力低減効果は少ないと考えられる。
- ⑤SFRCに乾燥収縮や温度変化などによって生じるひずみは、桁や支承などによる拘束度の違いにより、橋軸方向は引張、橋軸直角方向は圧縮と異なる傾向が認められる。

6. おわりに

今回の調査測定はSFRCによる補強効果がもつとも期待できる補強直後に行われたものであるが、鋼床版の疲労耐久性の向上に資すると考えられる大きなひずみ低減効果がみられた。打設後供用下で約4ヶ月経過した時点でも、SFRC表面にひび割れの発生は確認されておらず、主桁ウェブ上にひび割れ抑止対策¹³⁾として配置したCFRPグリッド筋の効果も発揮されているものと考えられるが、将来的にはある程度のひび割れの発生は生じる可能性があると考えられる。

今後も経過観察を行い、今回施工したSFRC舗装の鋼床版の疲労予防対策としての効果とその持続性、舗装自身の耐久性等について検証をおこなっていきたい。

参考文献

- 1) 西川：SFRCによる鋼床版舗装—鋼とコンクリートの新しい関係—、橋梁と基礎 2005-8,pp.84-87
- 2) 山田：重交通下における鋼床版の疲労損傷—名古屋周辺での事例—、土木学会 第10回鋼構造と橋に関するシンポジウム, 2007, 8
- 3) 佐藤ら：鋼繊維補強コンクリート舗装を施した鋼床版の合成効果, 橋梁と基礎, 1986-2, pp.26-30
- 4) 加形ら：SFRC舗装による鋼床版の疲労損傷対策—一般国道357号横浜バイブリッジ舗装工事—、橋梁と基礎 2004-10, pp.27-32
- 5) 山田：SFRC舗装による鋼床版の疲労低減効果、第62回土木学会年次学術講演会, 2007.9
- 6) 菊池ら：湘南大橋における鋼床版の疲労対策、土木学会 第10回鋼構造と橋に関するシンポジウム, 2007, 8
- 7) 児玉ら：供用下におけるSFRCによる鋼床版の疲労対策、橋梁と基礎 2006-11, pp.30-38
- 8) 牛越ら：実橋における既設鋼床版へのSFRC補強効果確認測定、第62回土木学会年次学術講演会, 2007.9
- 9) 小野ら：鋼繊維補強コンクリートを敷設した鋼床版の水浸輪荷重疲労試験、第62回土木学会年次学術講演会, 2007.9
- 10) 鋼道路橋の疲労設計指針、平成14年3月、社団法人日本道路協会
- 11) 児玉ら：鋼床版上FRCへの乾燥収縮と温度の影響に関する一考察、第62回土木学会年次学術講演会, 2007.9
- 12) 小栗ら：鋼床版上に用いる鋼繊維補強コンクリート舗装の基本物性に関する一考察、第61回土木学会年次学術講演会, 2006.9
- 13) 一瀬ら：鋼床版上SFRC舗装の耐久性向上を目的とした補強筋の検討、第62回土木学会年次学術講演会, 2007.9