

(12) 軽量樹脂モルタルを充填した鋼床版 Uリブ部の定点載荷実験

石田 学¹・大垣 賀津雄²・赤江 信哉³・鈴木 永之⁴・PHAM NGOC VINH⁵

¹正会員 太平洋マテリアル株式会社 営業本部 (〒114-0014 東京都北区田端6-1-1)

E-mail: manabu-ishida@taiheiyo-m.co.jp

²正会員 ものつくり大学教授 技能工芸学部建設学科 (〒361-0038 埼玉県行田市前谷333番地)

E-mail: ohgaki@iot.ac.jp

³正会員 太平洋マテリアル株式会社 開発研究所 (〒285-0802 千葉県佐倉市大作2-4-2)

E-mail: shinya-akae@taiheiyo-m.co.jp

⁴正会員 株式会社ネクスコ東日本エンジニアリング (研究当時: 東日本高速道路(株) 関東支社)

(〒116-0014 東京都荒川区東日暮里5-7-18) E-mail: n.suzuki.tf@e-nexco.co.jp

⁵非会員 The University of Danang-University of Science and Technology, Vietnam, Faculty of Civil Engineering

Email: pnvinh@dut.udn.vn

鋼床版の疲労損傷の中で、Uリブ溶接部を起点とするき裂の進展が発生している。このような疲労損傷の対策は SFRC 舗装工法など種々講じられている。このような状況の中で、重交通区間を想定した鋼床版下面からの補強工法として、Uリブ間に設置する CFRP 成形材と、Uリブ内に充填する軽量樹脂モルタルを用いた補強工法を検討している。本補強工法を適用した場合の軽量樹脂モルタルの長期劣化の影響を確認するため、定点載荷実験を実施した。

Key Words : Steel slab, Lightweight resin mortar, Reinforcements, Fixed-point Loading Test

1. はじめに

近年、都市内高速道路の鋼床版橋梁において、鋼床版デッキプレートにおけるUリブ溶接部から疲労き裂が多数発生している¹⁾。鋼床版の疲労損傷の中で、Uリブ溶接部に発生するき裂を放置すると、進展して道路としての機能低下につながる²⁾。現在、このような疲労損傷の対策として SFRC 舗装工法が標準的な工法として行われているが、鋼床版上面からの対策では車線規制が必要となり、社会的影響が大きくなってしまふ。また、鋼床版下面からの工法として、鋼板の当て板工法が行われているが、この工法は補修を前提としたものであり、疲労き裂が発生していない鋼床版への予防保全対策には別の工法で対応する必要がある。

そこで、本研究対象としている工法は、図-1に示す通り、Uリブ外面側でのデッキプレートとUリブ溶接部を含むコーナー部への CFRP 成形材を接着し、Uリブ内部への軽量樹脂モルタルを充填する2つの工法を組み合わせることにより、鋼床版下面からデッキプレートにおけ

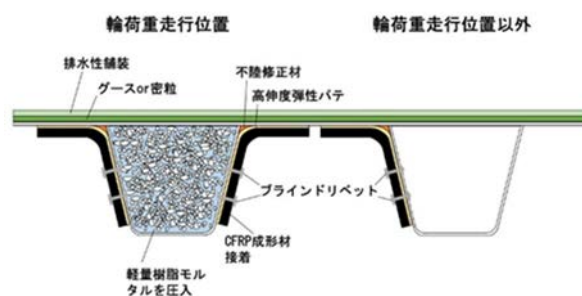


図-1 鋼床版下面からの補強工法

るUリブ溶接部の応力を低減することができる³⁾。また、本補強工法は、車線を考慮して輪荷重のかかる位置のみ、部分的な補強ができるため合理的かつ経済的な工法となっている。

なお、Uリブ内部への軽量樹脂モルタル充填工法では、モルタルを充填した後にデッキプレート付近に空隙ができてしまうので、この空隙を埋めるため、エポキシ樹脂による2次注入を行っている⁴⁾。

本研究では、鋼床版下面からの補強工法に関して、補強前後の載荷実験にて想定された補強効果が出ているこ

とを確認した後、定点載荷実験を行い、粉砕化等による疲労耐久性や補強効果への影響を調査した。

2. 実験方法

(1) 実験供試体

製作した鋼床版実験供試体の概略図を図-2に示す。供試体は、Uリブ1本を有する鋼床版とした。横リブは、供試体橋軸方向の両端に600mm間隔で設け、実橋と同様にデッキ厚は12mm、Uリブのサイズは320×240×6mm、供試体の材質はSM400である。Uリブと横リブ交差部については、デッキプレート下面にはスカラップを、Uリブ下側にはスリットを設けた。また、Uリブ溶接部の溶込み量は、実橋のデータを参考にUリブ板厚の40%溶込みとしている。

(2) 軽量樹脂モルタル充填施工

表-1に軽量樹脂モルタルの材料特性を示す。今回Uリブ充填に使用した軽量樹脂モルタルは、古くから各種構造物に用いられてきた人工軽量骨材であるパーライトを粒度調整して用いており、特殊エポキシ樹脂で硬化させたものである。

軽量樹脂モルタルの施工工程としては、まず、エポキシ樹脂とパーライトの練混ぜをハンドミキサーで行い、練混ぜ後約3分間のポンプ循環を行った。ポンプ循環を行うことにより、パーライトの一部が潰れ、約0.9kg/Lであった練混ぜ後の密度が約1.1kg/Lとなり安定する。その後、図-3に示すUリブ下部に設けた注入孔からの充填を行った。充填ポンプの圧送速度は、最大吐出量20%(10L/分)程度の低速としている。注入開始後、Uリブの左右に設けた上端の4つのエア抜き孔から、軽量樹脂モルタルを約20秒間オーバーフローさせ充填を終了した。なお、実験時の寸法は、注入孔φ44、エア抜孔φ28である。

充填した樹脂モルタルの硬化後、一回の充填だけでは充填しきれずに生じてしまうデッキプレート下面の空隙を埋めるため、エポキシ樹脂の2次注入を行う。注入には、一般的にコンクリートのひび割れ注入用に使われる低圧注入器を用いた。図-4に示す2次注入孔を開けるために、鉄鋼ドリルを用いてUリブ両側から、左右ともにエア抜き孔を横リブの間に設け、軽量樹脂モルタル充填時の注入孔側から2次注入を行った。注入したエポキシ樹脂が他の孔から漏出するのを確認したら、漏出した孔に新たに低圧注入器を取付け、それ以上樹脂が漏出しない状態で注入を終了した(図-5参照)。なお、2次注入で用いたエポキシ樹脂は軽量樹脂モルタルで使用したものと同様の樹脂である。

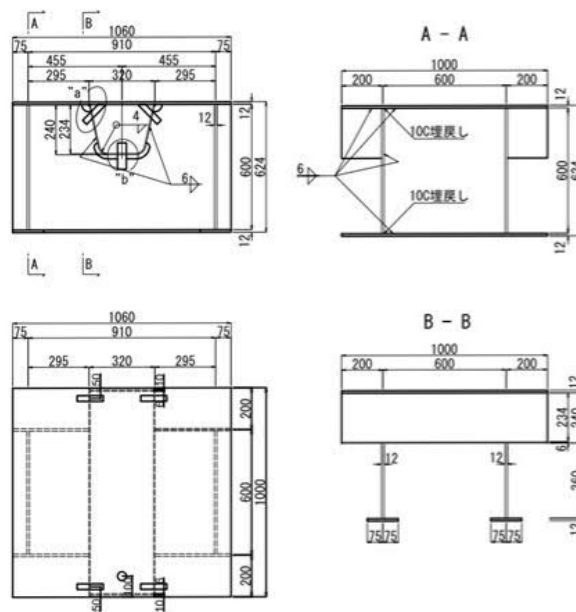


図-2 供試体の寸法形状

表-1 軽量樹脂モルタルの材料特性

項目	養生期間	試験値
フロー値	-	185mm
圧縮強度	(28日)	31.5N/mm ²
硬化体密度	(28日)	1.1kg/L
割裂引張強度	(28日)	4.7N/mm ²



図-3 樹脂モルタル充填孔

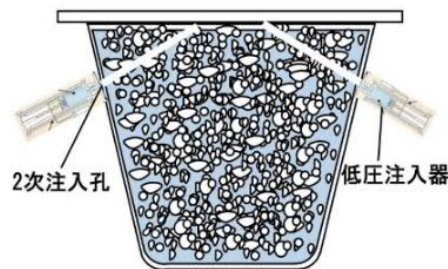


図-4 2次注入施工法

(3) 静的荷重実験

静的荷重実験の前後でのひずみの変化を比較するため、定点繰返し荷重前に本工法で補強した供試体に想定通りの補強効果が現れていることを確認する必要がある。そのため、供試体の補強前後に静的荷重を行い、FEM解析の結果と比較することで供試体に想定通りの補強効果が出ているかを確認した。図-6に静的荷重荷重の荷重位置およびひずみゲージ位置を示す。荷重荷重は、道路橋示方書⁵⁾のT荷重を参考に、250kNを想定した大型車の後輪輪重50kNをシングルタイヤ200×200mmの実態を考慮した荷重を行い、補強前後でひずみを計測した。



図-5 2次注入施工状況

(4) 定点荷重実験

静的荷重実験により用意した供試体に想定通りの補強効果を確認後、定点荷重実験を実施した。荷重位置、計測位置は静的荷重実験と同じものを使用し、荷重荷重については、静的荷重実験と同じシングルタイヤ50kNで200万回荷重した。その後、さらに衝撃係数を考慮した70kNで50万回の定点荷重を行った。定点荷重状況を図-7に示す。

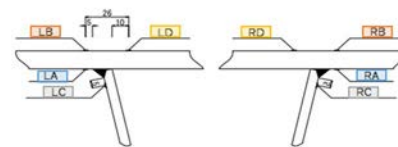
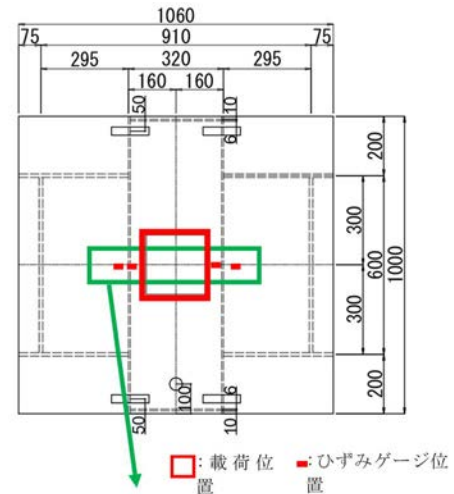


図-6 荷重位置およびひずみゲージ位置

(5) FEM解析

定点荷重実験を行う前の供試体に、本補強対策工による発生応力の低減効果を評価することを目的としてFEM解析を実施した。特にデッキ進展き裂およびビード進展き裂の起点と推定されるデッキとUリブ溶接ルート部に着目した。解析モデル化の概要は表-3に、解析モデル図を図-8に示す。

解析は汎用FEMソフトDIANAを使用し、横リブ・下フランジを8節点シェル要素で、その他のデッキプレート、Uリブ、樹脂モルタル部を20節点ソリッド要素でモデル化を行った。メッシュサイズは、一般的な部材を約20mm、溶接部の最小部分を0.25mmとし、CFRP成形材の弾性係数は、XYZ方向に163000N/mm²、ポアソン比は $\nu=0.3$ とし、上述のシングルタイヤ設置面を考慮した分布荷重(50kN/(200x200)=1.25N/mm²)で解析を行った。



図-7 定点荷重状況

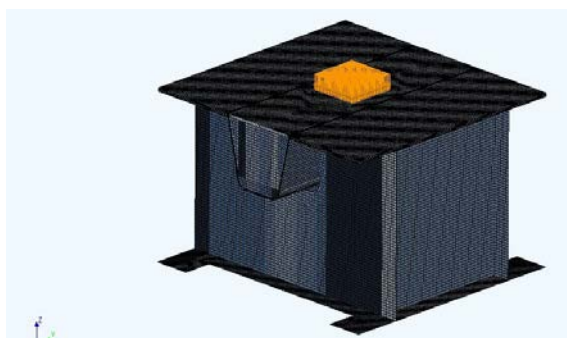


図-8 解析モデル

表-3 解析モデル概要

部材	板厚 (mm)	要素	材料	メッシュサイズ
補剛材	12	8節点曲げシェル要素 (CQ40S)	弾性体 ($E_s=2 \times 10^5$ MPa)	一般部分 (20mm)
下フランジ	12			
横リブ	12			
Uリブ	6	20節点ソリッド要素 (CHX60)	弾性体 ($E=1000$ MPa)	溶接部 (最小メッシュサイズを0.25mmとした)
デッキプレート	12			
Uリブ溶接部	2.4※			
樹脂モルタル	—			

注) ※はUリブ板厚6mmの40%溶け込みとした。

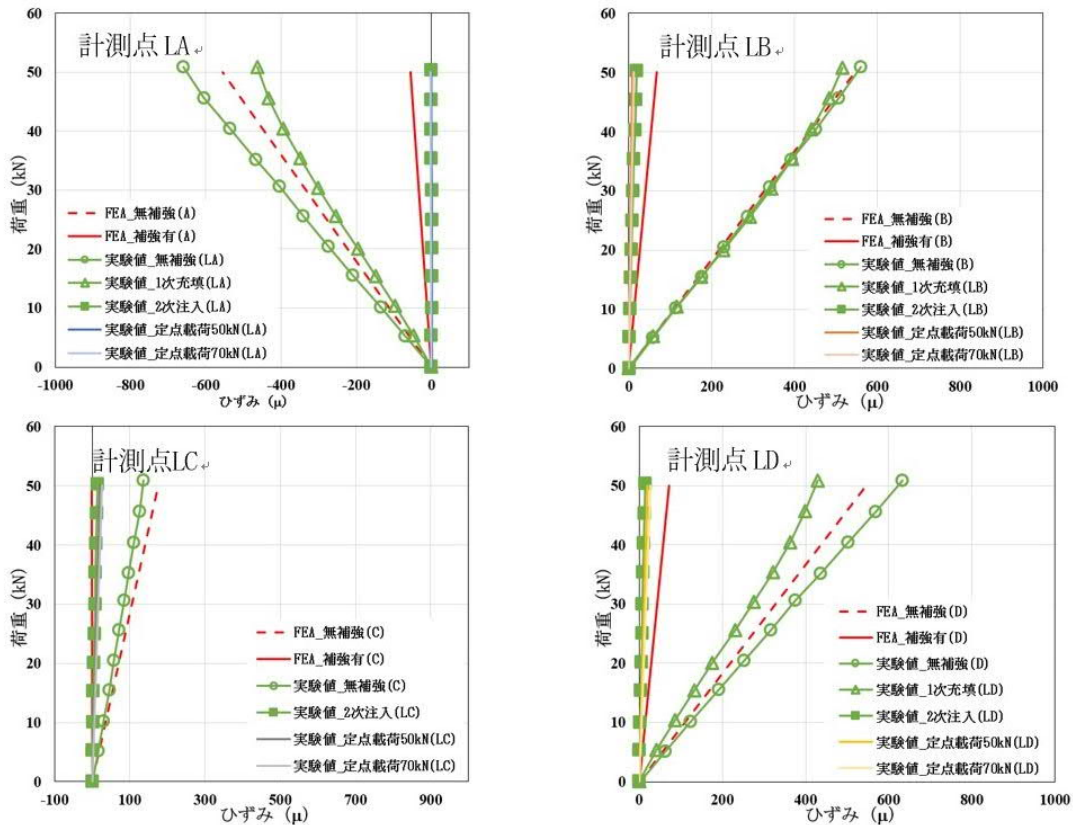


図-9 静的載荷実験とFEM解析の比較

3. 実験結果

(1) 静的載荷実験値と解析結果

図-9に静的載荷実験結果とFEM解析結果の比較を示す。Uリブの左右ともほぼ同様の結果であったので、同図にはL側の結果のみを示す。この結果から、すべての計測点で2次注入後の実験値が補強有のFEM解析に近い挙動を示しており、デッキプレート下面に隙間なく軽量樹脂モルタルが充填されていることがわかる。

(2) 定点載荷実験結果

図-10に50kNで行った定点載荷試験の結果を、図-11に70kNで行った定点繰り返し載荷試験の結果を示す。図-10の50kNで200万回の定点載荷試験を行った結果では、ひずみの増加が一番大きい計測点RDにおいて定点載荷前のひずみが25.5 μ であるのに対し定点載荷後のひずみは33 μ であり、200万回載荷後のひずみ増加は7.5 μ と小さい値であった。

一方、図-11の衝撃や過積載を見込んだ70kNでの定点載荷50万回を行った結果では、ひずみの増加が一番大きい計測点RDにおいて定点載荷前のひずみが43.9 μ であるのに対し定点載荷後のひずみは48 μ であり、ひずみの増加は4.1 μ と小さい値であった。

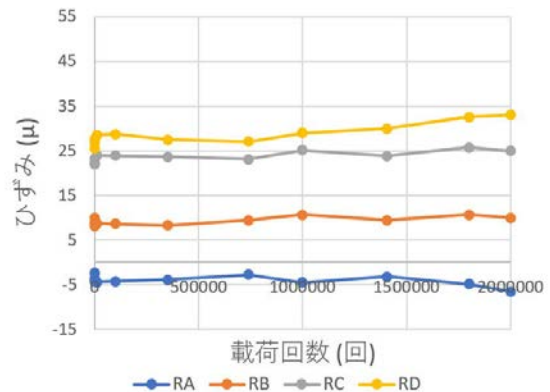
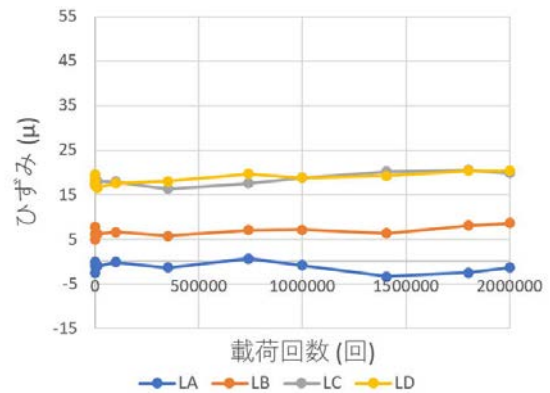


図-10 50kN 定点載荷実験

図-12に無補強時の静的載荷結果(50kN)を100%とした場合の定点載荷実験(50kN, 70kN)の各載荷回数でのひずみの割合を示す。Uリブの左右ともに計測点Cのみ無補強時の30%程度のひずみが生じているが、ひずみの増加値としては一番大きかった計測点Dを含め、その他の点はすべて無補強時の10%以下であった。

4. まとめ

鋼床版の下面からの軽量樹脂モルタルとCFRP成形材による補強工法について、実験及び解析により充填した軽量樹脂モルタルの長期劣化による疲労耐久性や補強効果への影響を確認した。

本実験において50kN200万回および70kN50万回の定点載荷実験を行った後もひずみ増加は 7.5μ 以下に抑えられており、無補強時と比較しても、計測点Cのみ無補強時の30%、その他の計測点では無補強時の10%以下に抑えられていた。また、計測点Cについては併せて施工するCFRP成形材による補強効果も期待できるため、本工法は実橋に適用した際にも長期劣化の影響が少ないといえる。

以上のことを踏まえて、今後の課題としては、移動輪荷重走行試験により、長期供用による補強効果の変

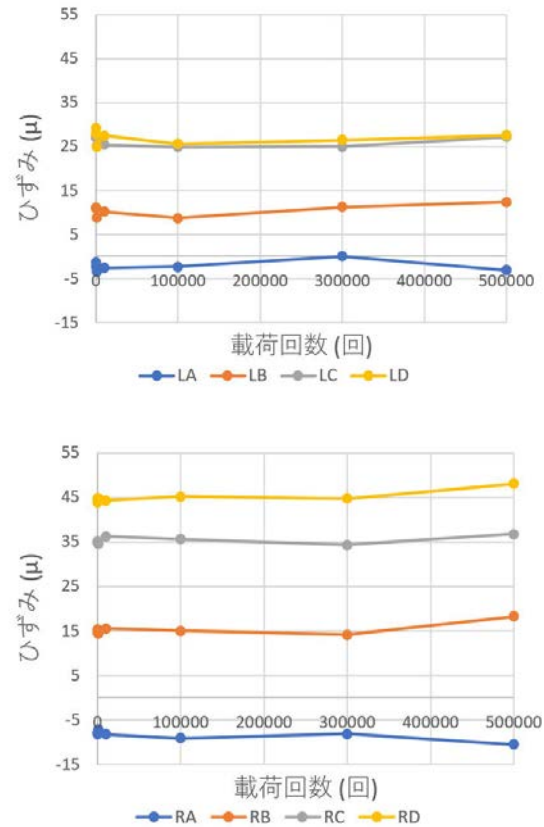


図-11 70kN 定点載荷実験



図-12 無補強状態と定点載荷時のひずみ比較

動を調査することと、合理的な施工方法を検討して、現場における試験施工を行うことである。

謝辞：本研究の実験に際しては、研究当時ものつくり大学学生の山口光太郎氏にご協力いただきましたことを感謝致します。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼床版の疲労〔2010年改訂版〕鋼構造シリーズ 19, 2010.
- 2) 日名誠太, 平野秀一：首都高速道路における鋼床版の疲労損傷と対策, 橋梁と基礎, 2020.
- 3) 渡邊健也, 大垣賀津雄, PHAM NGOC VINH, 秀熊佑哉, 石田学, 紫桃孝一郎：鋼床版橋下面からのCFRP成形材および軽量樹脂モルタルによる補強効果に関する研究, 土木学会, 第12回道路橋床板シンポジウム, 2022.
- 4) 赤江信哉, 石田学, 大垣賀津雄, PHAM NGOC VINH, 藤田直博, 紫

桃孝一郎：鋼床版橋Uリブにおける軽量樹脂モルタル充填施工と補強効果に関する研究, 土木学会, 第12回道路橋床板シンポジウム, 2022.

- 5) 安田翼, 大垣賀津雄, 秀熊祐哉, 石田学, 鈴木永之, VINH PHAM NGOC：リブ部の定点載荷実験, 土木学会第15回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム, 2023.
- 6) 石田学, 大垣賀津雄, 赤江信哉, 鈴木永之, PHAM NGOC VINH：軽量樹脂モルタルを充填した鋼床版Uリブ部の定点載荷実験, 土木学会第15回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム, 2023.
- 7) 赤江信哉, 大垣賀津雄, 石田学, 鈴木永之, PHAM NGOC VINH：供用交通状態を想定した軽量樹脂モルタルの鋼床版Uリブへの充填施工試験, 土木学会第15回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム, 2023.
- 8) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説, 2017.

(Received August 25, 2023)

A STUDY ON FIXED-POINT LOADING TEST OF STEEL DECK U-RIB SECTION FILLED WITH LIGHTWEIGHT RESIN MORTAR.

Manabu ISHIDA, Kazuo OHGAKI, Shinya AKAE,
Noriyuki SUZUKI and Ngoc Vinh PHAM

In the fatigue damage of the steel deck, cracks propagated from the U-rib weld. To prevent such damage, CFRP molding material placed between the U-ribs and lightweight resin mortar filled in the U-ribs were used as a reinforcement method from the underside of the steel deck slab bridge assuming a heavy traffic route. We are considering a reinforcement method.

In this study, we confirmed the reinforcing effect of filling U-ribs with lightweight resin mortar by static loading experiments and FEM before and after that. After that, a fixed-point loading experiment was conducted to confirm the effect of long-term deterioration of the lightweight resin mortar when this reinforcement method was applied, which is the purpose of this study.