

論文

鋼床版 U リブ・横リブ交差部の疲労損傷対策の提案と検証

坂野昌弘*, 坂本千洋**, 白石祐一***, 小西日出幸****, 大森功一*****

*工博, 関西大学教授, 環境都市工学部都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

** (一社) 建設コンサルタンツ協会, 近畿支部 (〒541-0054 大阪府中央区大手通 1-4-10)

***関西大学大学院理工学研究科都市システム工学専攻 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

****博 (工) (一社) 日本橋梁建設協会 (〒550-0005 大阪府大阪市西区西本町 1-8-2)

*****国土交通省近畿地方整備局 (〒540-8586 大阪府大阪市中央区大手前 1-5-44)

鋼床版構造は、軽量化と工期短縮の面で有利であるが、疲労耐久性が課題となっている。本研究では、U リブと横リブの交差部に着目して、既設と新設それぞれに対する疲労対策を提案し、疲労試験を行ってそれらの効果を検証した。得られた主な結論は以下の通りである。(1)従来構造に当て板を施すことにより、十分な予防保全効果と事後保全効果が確認された。(2)改良構造では疲労き裂は全く発生せず、十分な疲労耐久性が確認された。

キーワード：鋼床版, U リブ, 横リブ, 交差部, 疲労, 当て板補強

1. はじめに

鋼床版は、軽量化と工期短縮の面で有利であるが、疲労耐久性が課題となっている。そこで、「鋼床版の疲労耐久性向上に関する研究プロジェクト」が平成 29 年度から立ち上げられ、FEM 解析や疲労実験および実橋計測により、疲労損傷対策の検討および検証が進められている¹⁾。

デッキと U リブの溶接部の疲労き裂に対してはすでに効果的な疲労対策が提案されている²⁾。そのため、本研究では、U リブと横リブの交差部³⁾⁴⁾に着目して、既設と新設あるいは更新用の鋼床版それぞれに対する疲労対策を提案し、実物大の試験体を用いた疲労実験を行ってそれらの耐久性を検証することを目的とする。

2. 実験方法

2.1 試験体および補強工法

図-1 に試験体の寸法と形状、および载荷位置を示す。試験体は、U リブ 2 本、横リブ 3 本、主桁 2 本を有する長さ 4.3m、幅 1.4m、高さ 0.9m の実物大である。U リブは、従来構造 (U1) と、新設あるいは更新用の改良構造 (U2) の 1 本ずつ設けた。また、ダイヤフラムの影響を見るために、中央横リブから東側に 300mm の位置にダイヤフラムを設けた。

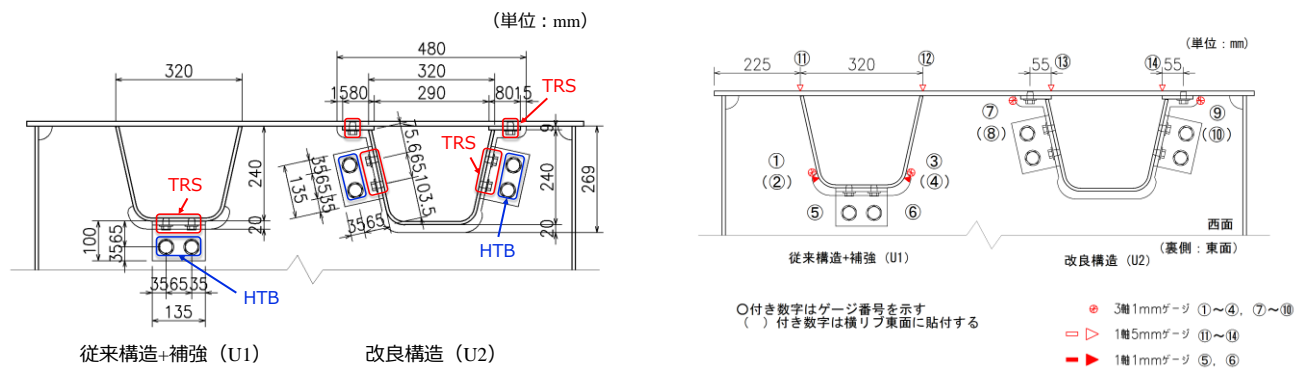
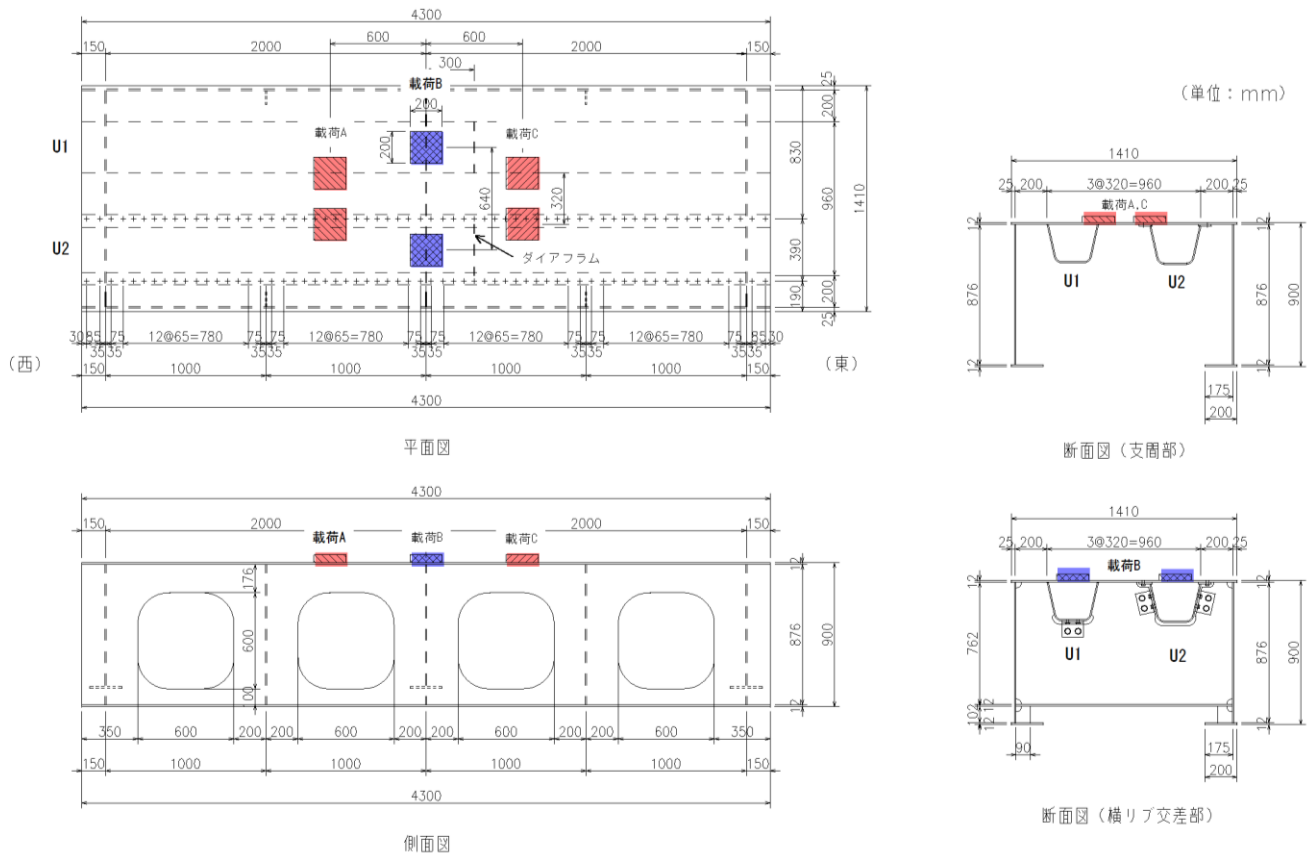
図-2 に U リブと横リブの交差部の詳細図を示す。従来構造 (U1) には、アングル材と U リブ側の接合にスレッ

ドローリングスクリュー (TRS) を用いた当て板補強工法を施した。TRS は、従来の摩擦接合型のワンサイドボルトの問題点である U リブ内面の摩擦面の品質保証が不要で、U リブ内の密閉性も確保できる支圧接合型のワンサイドボルトである⁵⁾。

改良構造 (U2) では、TRS を用いて U リブとデッキおよび横リブを接合し、疲労上の弱点となる溶接継手を設けない構造とした。なお、デッキ側では、幅 80mm の平板を TRS でデッキに予め固定し、その平板に、従来と同様に、U リブ厚の 75%以上の溶け込みを確保するように U リブを溶接で取り付けた。

2.2 ひずみ計測位置

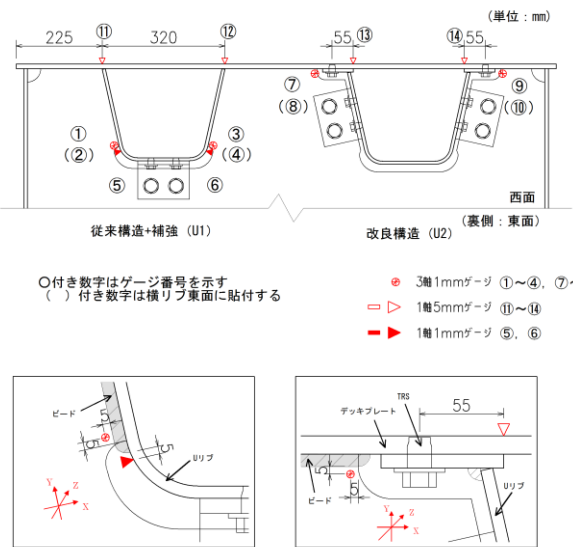
図-3 に、U リブ・横リブ交差部のひずみゲージ貼り付け位置の詳細を示す。U1 側の U リブ下部の横リブスロット部では、当て板補強の効果を確認するために、実橋⁶⁾と同様に U リブと横リブを接合する溶接下端の U リブ側に 1 軸ゲージを、横リブ側には 3 軸ゲージをそれぞれ溶接止端から 5mm の位置に貼り付けた。U2 側では、唯一の溶接部であるデッキと横リブ間の溶接端部のスカーラップ部に、溶接止端から 5mm 離して 3 軸ゲージを貼り付けた。また、デッキ下面から上面に進展する亀裂を検知するために、デッキ上面の U リブウェブの直上 4 か所に 1 軸ゲージを貼付した。なお、ゲージ長さは、デッキ上面は 5mm、それ以外の溶接部近傍の局部応力測定用は 1mm を用いた。



2.3 載荷方法

図-1に示すように， 載荷は200×200×40mmのゴム板を用いて3断面で行った。 載荷位置AとCはUリブの内側のウェブとデッキの溶接部直上に， 載荷BではUリブ内中央に載荷した。 AとCは， Uリブが水平方向に変形し， 横リブとの交差部のUリブ下部の横リブの槽部に亀裂が生じるような荷重条件を再現するために， FEM解析⁹⁾により載荷位置を決定した。 Bは， デッキ貫通亀裂が発生する載荷条件²⁾を再現したものである。

静的載荷試験では， 3本のアクチュエーターを用いてA， B， Cの3断面に別々に載荷し， 疲労試験では載荷位置A， B， Cで位相を90°ずつずらして連続的に載荷



した。 載荷荷重は， 阪神高速で計測された最大軸重260kN³⁾相当 (ダブルタイヤ1組で130kN) の $\Delta P=130kN$ ($P_{max}=150kN$, $P_{min}=20kN$) と設定し， 載荷速度は3~4Hzで疲労試験を実施した。 表-1に疲労試験ステップを示す。 従来構造では， 当て板ありで予防保全効果の検証， 対策なしの状態でき裂の再現， き裂進展後に当て板ありで事後保全効果の検証の3ステ

表-1 疲労試験ステップ

ステップ	従来構造		新設・更新用構造	
	目的	対策	目的	対策
1	予防保全効果の検証	当て板	予防保全効果の検証	改良構造
2	き裂の再現	なし		
3	事後保全効果の検証	当て板		

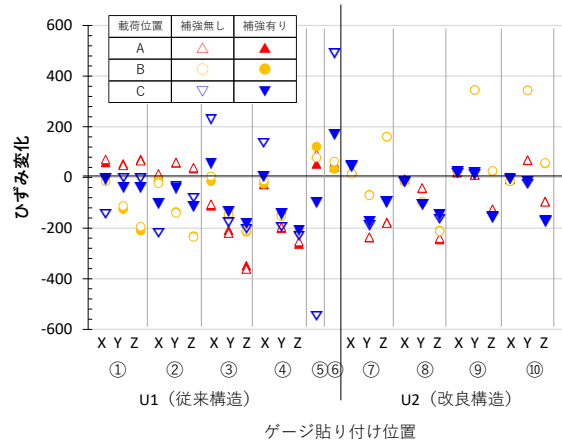


図-4 静的载荷試験結果

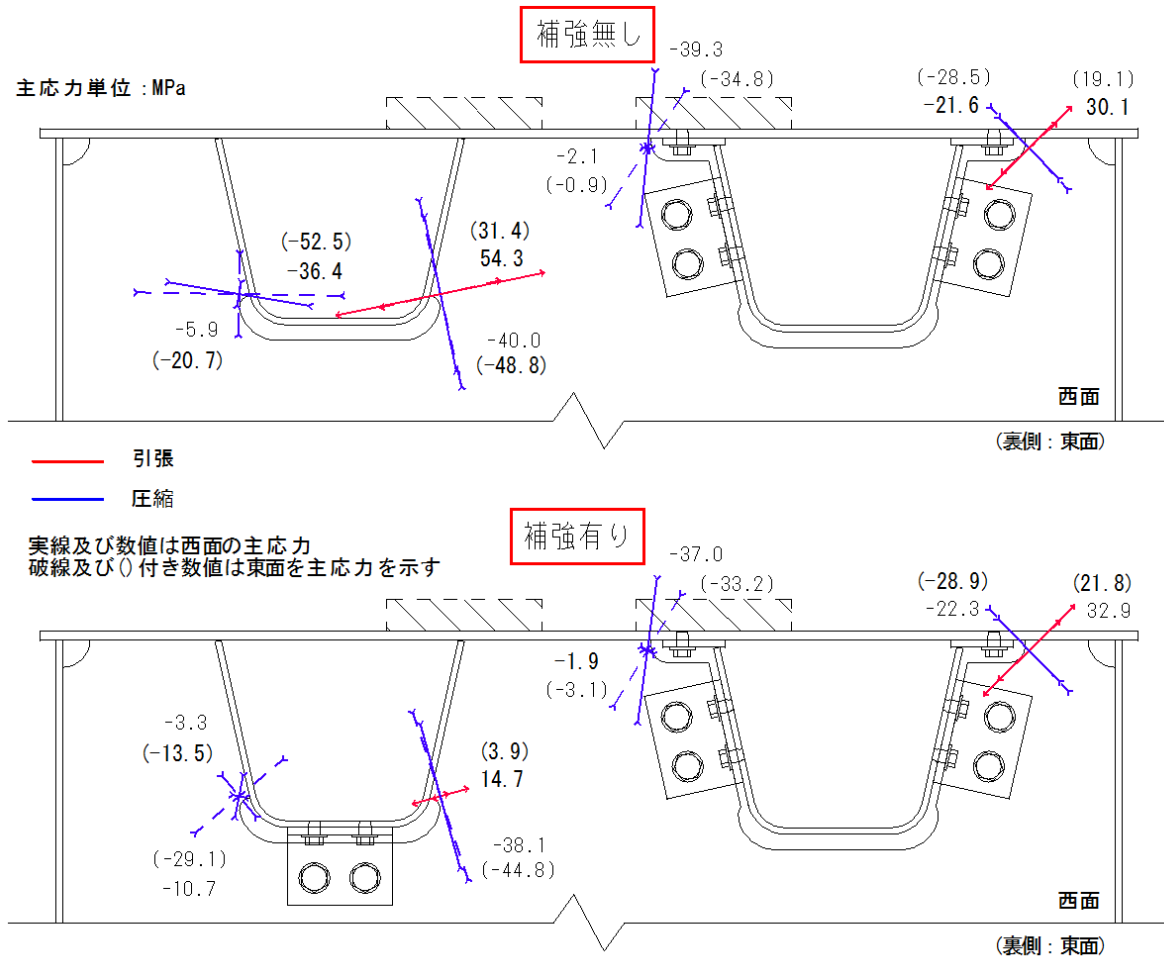


図-5 载荷位置Cの主応力図

ップの疲労試験を行った。新設・更新用構造では試験終了時まで改良構造について予防保全効果の検証を行った。

3. 実験結果

3.1 静的载荷試験

Uリブ・横リブ交差部のアングル材補強前後の静的载荷試験で得られたひずみ変化分布を図-4に、横リブ側の主応力分布を図-5に示す。载荷位置で比較するとダ

イアフラムがある側のC载荷の発生応力が大きい。補強前にUリブ側のゲージ⑤と⑥で生じていた -550μ (-110MPa)と $+500\mu$ (100MPa)のひずみ変化が、補強後はそれぞれ -100μ (-20MPa)と $+170\mu$ (34MPa)に1/3~1/5程度まで減少、また、横リブ側で補強前に水平方向に生じていた $\pm 50\text{MPa}$ を超える主応力が補強後は $\pm 10\sim 20\text{MPa}$ 程度に減少しており、アングル材補強により、十分な応力低減効果があることが確認された。

3. 2 疲労試験

図-6 にデッキ表面のひずみ変化を示す。従来構造側のゲージ⑪と⑫付近では8万回程度でデッキ亀裂が発生し、50万回程度でデッキ上面に貫通したものと推測される。写真-1 に試験終了時(108万回載荷後)のデッキ上面のき裂の状況を示す。それぞれのき裂は、デッキ上面に貼付したひずみゲージをほぼ直撃している。なお、軸重260kN相当で8万回は疲労限を無視し、S-N線の傾きを1/3と仮定して法定軸重100kNに換算すると140軸となる。

図-7 にゲージ位置⑤と⑥付近のUリブ側溶接止端からUリブ母材に進展した亀裂の長さの変化を示す。始めに予防保全として横リブスロット部にアングル材補強を行い、疲労試験を行ったところ、200万回を超えてもき裂の発生は確認されなかった。その後、アングル材を外して疲労試験を継続したところ、外してから47万回で⑥付近の溶接止端からUリブ母材に10mm程度進展した亀裂を発見した(写真-2)。その後亀裂を進展させ、再度アングル材を取り付けたところ亀裂はほとんど進展せず、アングル材を外したら進展したことから、当て板補強によって亀裂進展防止効果もあることが確認された。写真-3~6に、疲労試験終了時のUリブ母材に進展した亀裂の状況を示す。

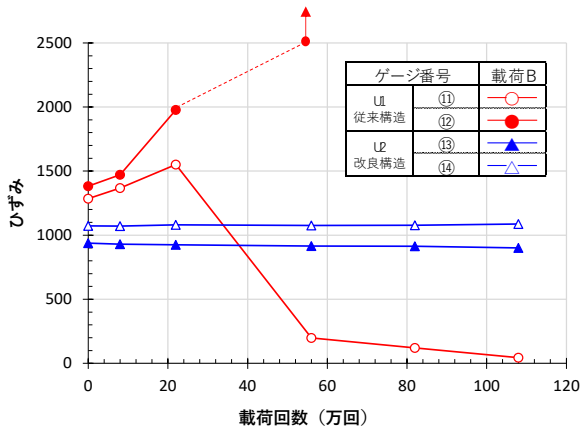


図-6 デッキ表面のひずみ変化

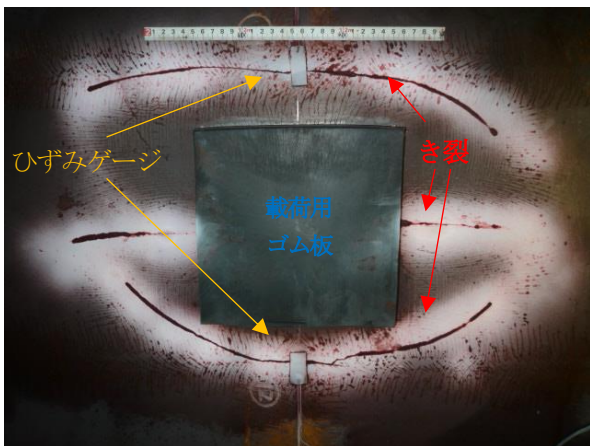


写真-1 試験終了時のデッキ貫通き裂

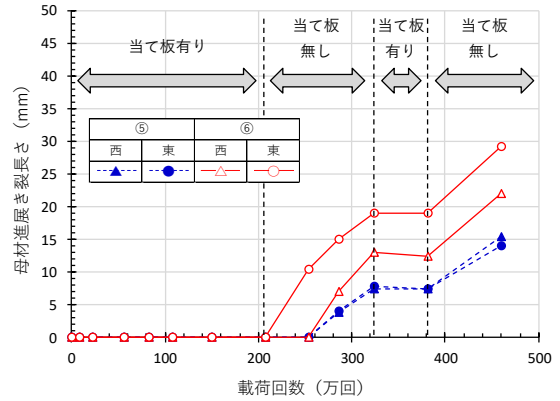


図-7 Uリブに生じた亀裂長さと載荷回数の関係

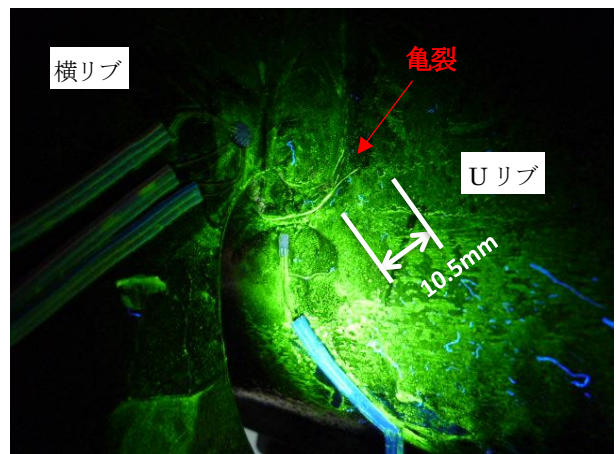


写真-2 発見時のき裂状況
(N=254万回、ゲージ⑥付近)

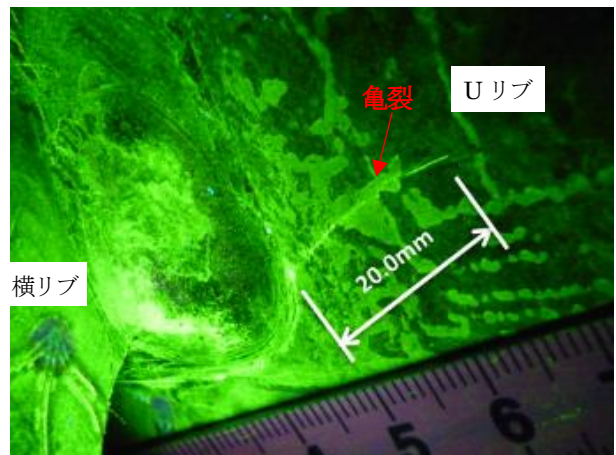


写真-3 試験終了時の亀裂状況 (ゲージ⑤西側)

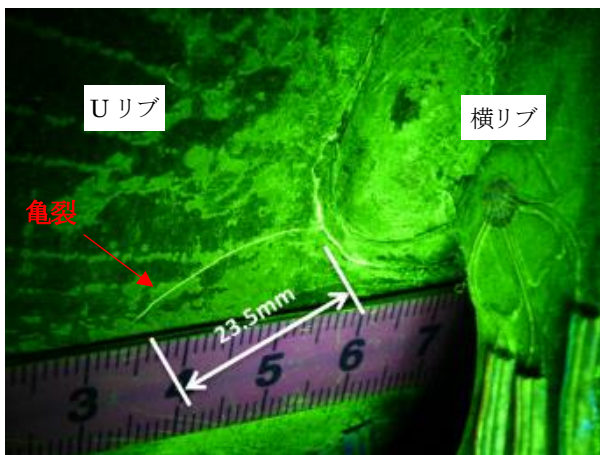


写真-4 試験終了時の亀裂状況 (ゲージ⑥西側)

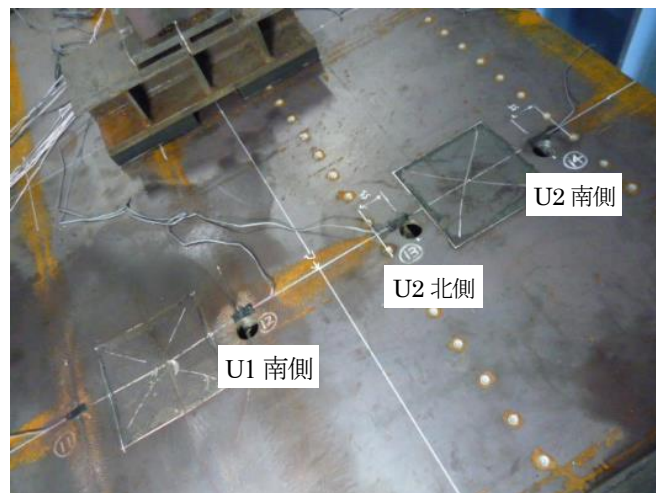


写真-7 デッキ上面のコア抜き位置

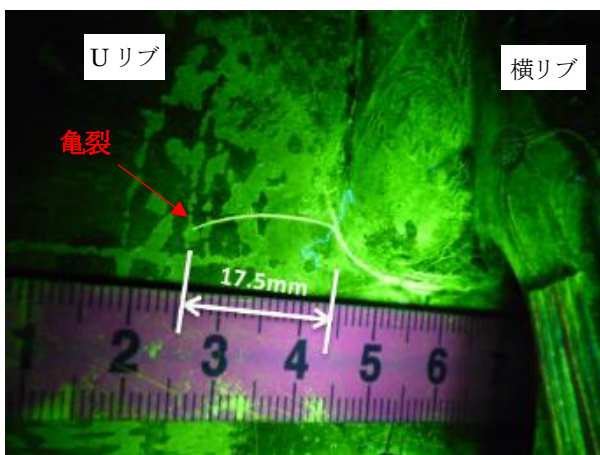


写真-5 試験終了時の亀裂状況 (ゲージ⑤東側)

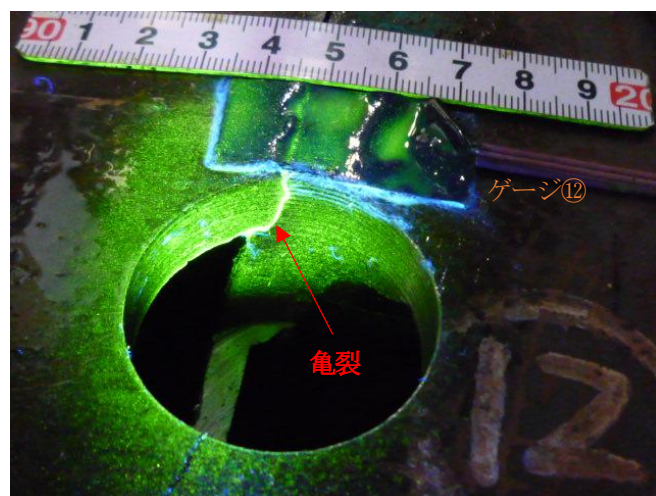


写真-8 U1 南側のコア孔

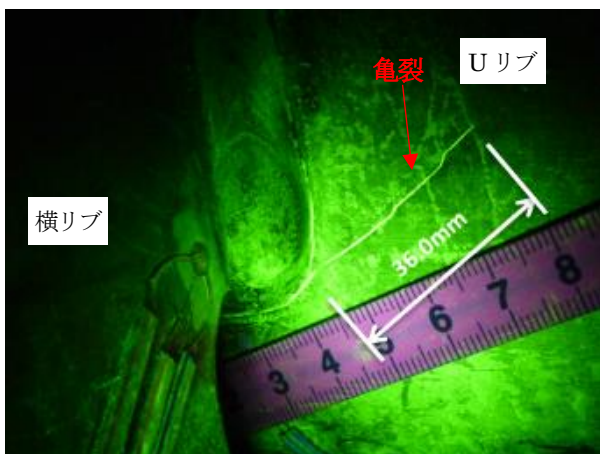


写真-6 試験終了時の亀裂状況 (ゲージ⑥東側)

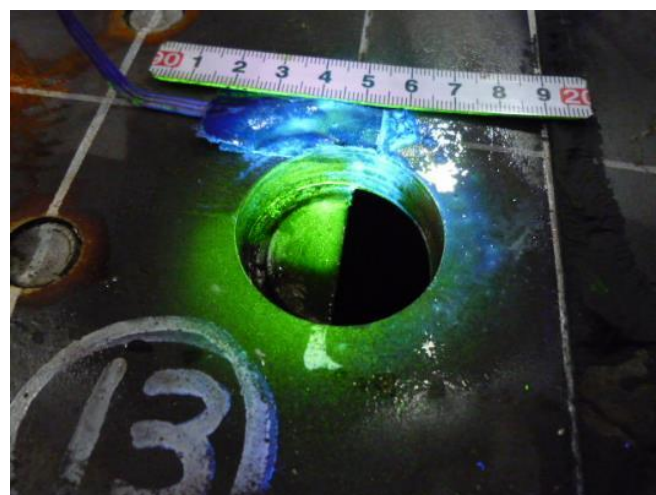


写真-9 U2 北側のコア孔

写真-7にデッキ進展亀裂の有無を確認するために疲労試験終了後にあけた直径40mmのコア孔位置、写真-8～12に各コア孔内部の状況、写真-11, 12にTRS孔の周辺のMT写真を示す。従来構造のゲージ⑫付近では、デッキとUリブを接合する溶接ルート部から発生して溶着金属に沿ってデッキに進展し、上面に貫通した亀裂が確認できる。一方、改良構造のデッキにもTRS孔にも亀裂は認められない。

以上、改良構造では、従来構造側の3ステップの疲労試験に合わせて460万回载荷したが、Uリブと横リブ交差部、デッキともに疲労き裂は全く発生しなかった。

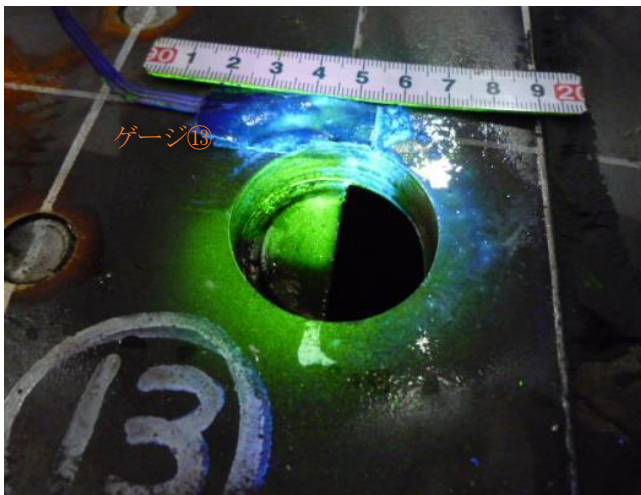


写真-9 U2 北側のコア孔

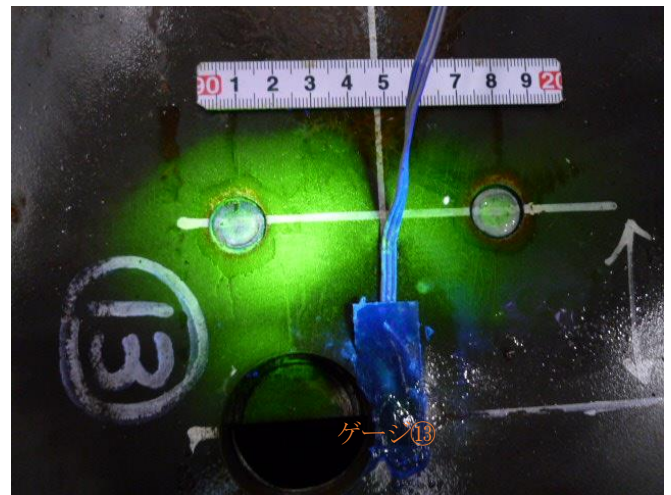


写真-11 TRS 孔 (ゲージ⑬付近, 西側)

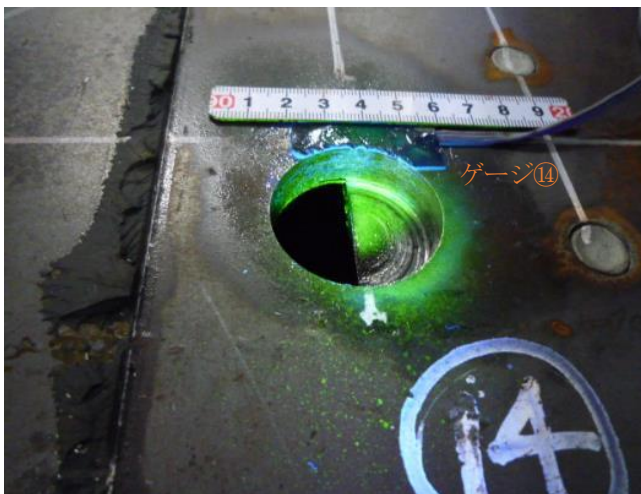


写真-10 U2 南側のコア孔

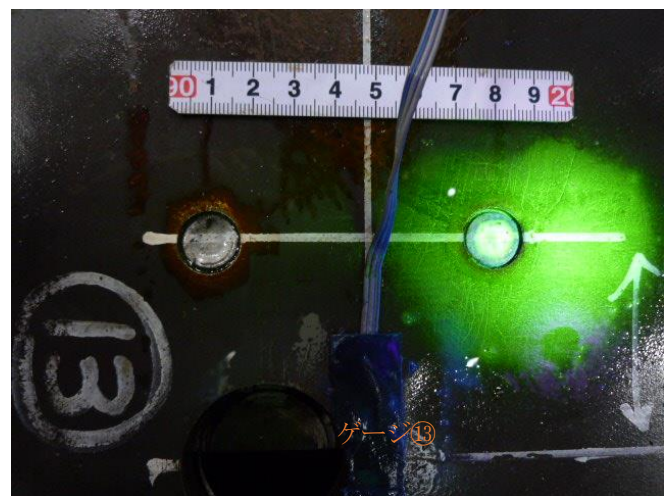


写真-12 TRS 孔 (ゲージ⑬付近, 東側)

4. まとめ

- (1) 従来構造に当て板補強を施すことにより、横リブスリット部のき裂に対しては、十分な予防保全効果と亀裂進展防止効果があることが確認された。ただし、デッキ貫通き裂に対しては効果がなかった。
- (2) 改良構造では、Uリブと横リブ交差部、デッキともに疲労き裂は全く発生せず、十分な疲労耐久性が確認された。

なお、TRS の施工性に関しては、工場での施工試験や実橋での試験施工を行い検証している⁷⁾。

参考文献

- 1) 坂野昌弘：鋼床版の疲労耐久性向上に関する研究プロジェクト(その3), 土木学会第73回年次学術講演会, CS3-1, 2020.
- 2) 溝上善昭, 森山彰, 小林義弘, 坂野昌弘：Uリブ鋼床版ビード貫通き裂に対する下面補修工法の提案, 土木

学会論文集 A1, Vol.73, No.2, pp.456-472, 2017.

- 3) 阪神高速道路株式会社：阪神高速道路における鋼橋の疲労対策 (三訂版), 2012.
- 4) 服部雅史, 大西弘志, 高田佳彦, 青木康素, 松井繁之：鋼床版の U リブと横リブ交差部の疲労損傷対策の検討と輪荷重走行試験, 鋼構造年次論文報告集, 第 17 巻, pp.337-344, 2009.
- 5) Ichinose,H.L., 國年滋行, 坂野昌弘：実橋における鋼床版 U リブ・横リブ交差部の補強効果の検証, 鋼構造年次論文報告集, 第 27 巻, pp.824-832, 2019.
- 6) 松本理佐, 田辺篤史, 國年滋行, 坂野昌弘：鋼床版 U リブ横リブ交差部の応力解析, 土木学会第 73 回年次学術講演会, CS3-003, 2018.
- 7) 溝上善昭, 金澤高宏, 坂野昌弘：Uリブ鋼床版ビード貫通き裂に対する TRS を用いた下面補修法の開発, 高速道路と自動車, 第 60 巻, 第 10 号, pp.20-24, 2017.

(2020年7月17日受付)