

14 鋼床版の疲労耐久性向上に関する研究プロジェクト

関西大学 坂野昌弘

1 はじめに

長大橋梁や軟弱地盤上に架設される橋梁はもちろん、地震の多いわが国では死荷重の低減が極めて有利であること、またプレファブ化が容易なために工期短縮が可能なことなどから、鋼床版に対するニーズは高い。また、経年劣化したコンクリート床版を更新する際に、軽量化による下部工への負担軽減と、交通規制を要する工期短縮の面から、鋼床版構造は極めて効果的であるとされている。しかしながら、近畿管内の橋梁点検においても横桁と鋼床版縦リブとの溶接部等に疲労亀裂を多く確認していることから、鋼床版の疲労耐久性の向上が焦眉の課題となっている。

本研究では、平成 29 年度から 3 年間の計画で、鋼床版の縦リブと横桁・横リブの交差部等を対象として、既設鋼床版に対しては現在の補強工法よりもさらに合理的な工法を、また新設あるいは更新用の鋼床版については現在の疲労問題を根本的に解決できるような新しい構造をそれぞれ提案し、解析や疲労実験によってそれらの耐久性を検証、最終的にはそれらの工法や構造を実橋に適用して疲労耐久性の向上効果を検証することを目的とする。

2 研究計画

鋼床版のメリットを活かしつつ、縦リブと横桁・横リブの交差部等を対象として疲労に対する耐久性が高い構造を提案する。さらに、その疲労耐久性の検証方法についても提案し、信頼性の向上を図る。具体的な研究内容は以下のとおりである。

- (1) 既設橋に対しては、従来 U リブ側に用いられてきた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管理が不要で、密閉性も確保できる支圧接合型の新型ワンサイドボルト (TRS) を用いた補強工法を提案し、解析や疲労実験によりその疲労耐久性を検証する。
- (2) 新設および RC 床版等の更新用鋼床版に対しては、リベット接手と同様な支圧接合型の新型ワンサイドボルト TRS を用いて疲労上の弱点となる溶接接手を使用しない構造を提案することにより、従来の鋼床版の疲労問題を根本的に解決する。これらの構造に対しても解析や疲労実験を行い、疲労耐久性を検証する。
- (3) (1)および(2)で疲労耐久性を検証した補強工法と新しい構造を実際の橋梁で適用し、既設橋に対しては補強前後の実働応力計測により、新設橋や更新用の鋼床版に対しては設置後の実働応力計測により、それらの有効性を検証する。

3. 平成 29 年度の成果

3.1 実橋での応力計測による疲労損傷状況の把握¹⁾

紀の国大橋において、提案する補強工法の補強効果を検証することを目的として、補強前後の動的載荷試験と応力

頻度測定の内、補強前の分を実施した。

- ・動的載荷試験における 3 回の散水車走行試験においては、いずれも輪荷重直下の測定点が最大値を示しており、3 回ともほぼ同じ大きさの値を示した。
- ・72 時間の応力頻度測定の結果、最も大きな値を示したのはやはり輪荷重直下の測定点で 58 MPa であった。
- ・疲労寿命計算結果において、疲労寿命の最も短いものは輪荷重直下の測定点の 400 年程度 (F 等級) であった。このことは、大阪側に比べて、今回計測を行った和歌山側の方が疲労亀裂の発生数が少ないことと整合している。

3.2 FEM 解析による実橋の応力状態の再現²⁾

実橋モデルの有限要素解析を実施した結果、応力の計測値と解析値がおおよそ一致した。しかし、U リブ止端に生じる応力は、解析値の方が計測値よりも大きくなった。これは、実際の載荷位置が今回想定した走行位置よりも U リブ内の方向に若干ずれていたことが原因だと考えられる。

試験体モデルの有限要素解析では、以下の知見が得られた。

- ・U リブ下部のスリット周辺の溶接部に生じる応力は、着目部位を踏むように荷重が走行する場合が最も応力が大きくなる。
- ・横リブ側の止端では、ダイヤフラム位置より 200mm 外側に載荷した場合に引張応力が生じ、その位置から横リブを挟んでちょうど反対側の位置に載荷した場合に圧縮応力が生じた。一方、U リブ側の止端では、ダイヤフラム位置より 200mm 外側に載荷した場合に引張応力が最大となった。
- ・横リブ側の止端は、ダイヤフラムがある場合の方が、ダイヤフラムがない場合と比較し、応力が小さくなる傾向にあった。一方、U リブ側の止端は、ダイヤフラムがない場合の方が、ダイヤフラムがある場合と比較し、応力が大きくなる傾向にあった。

3.3 疲労実験による疲労亀裂の再現³⁾

実物大試験体を用いて、疲労実験により疲労耐久性を検証した。その結果、以下の知見が得られた。

- ・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応力が 1/5~1/3 に低減された。
- ・従来構造に補強を施した場合、U リブ下部の横リブスリット部周辺ではき裂は発生せず、予防保全効果があることが確認された。また、万一亀裂が発生していても、それ以上の進展が防止できることも確認された。ただし、8 万回程度の繰返し載荷でデッキき裂が発生し、50 万回程度でデッキ上面に貫通した。
- ・改良構造では、400 万回以上の繰返し載荷を行っても、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、十分な疲労耐久性を有することが確認された。

4. 平成30年度の成果

4.1 FEM解析による既設橋に対する補強工法の検討⁴⁾

紀の国大橋の実橋モデルを用い、Uリブ下面と横リブウェブをアングル材で接合する補強工法による効果についてFEMによる応力解析を行い評価した。

その結果、アングル補強を施すことにより、横リブスリット部のUリブ下面の橋軸方向と橋軸直角方向の水平方向の動きを抑えることができるため、疲労亀裂の原因となる横リブ側およびUリブ側の溶接止端部の溶接線直角方向の応力を大幅に低減できることが示された。

4.2 疲労実験による補強工法の疲労耐久性の検証⁵⁾

- ・従来構造に当て板補強を施すことにより、横リブ交差部で最も大きな引張応力が生じるUリブ側の溶接止端部付近の応力を30%程度低減できることが確認された。
- ・補強状態では、横リブ側、Uリブ側ともに200万回の繰り返し载荷をしても、疲労き裂の発生は認められなかった。一方、補強を取り外すと、30万回の繰り返し载荷でUリブ側の止端部に指示模様を確認され、補強効果があることが確認された。なお、それらの指示模様は、その後母材への進展は認められなかった。
- ・垂直補剛材上端部については、TRSを用いてアングル材を取り付ける工法を適用することにより、溶接止端部の応力を1/3に低減することができた。

4.3 実橋での応力計測による補強効果の検証⁶⁾

- ・補強前・補強後に行った試験車走行試験により、最も大きな引張応力が生じていたUリブ止端部の応力は補強前の21MPaから補強後の10MPaへと1/2に減少しており、補強効果が確認された。
- ・応力頻度測定により、最も大きな引張応力が生じていたUリブについては、補強前の46MPaから補強後の22MPaとやはり1/2に減少しており、補強効果が確認された。
- ・横リブ下フランジでは、補強前後で発生応力の最大値(16MPa)はほとんど変わらなかった。これを試験車走行時に発生した応力(6MPa)と比較することにより、試験車両(後軸8.5t)の2.7倍(23t)の軸重の車両が常時通過しているものと推定される。
- ・Uリブについては、応力範囲の最大値は補強前の54MPaから補強後の38MPaに30%程度減少した。
- ・横リブ下フランジの補強後の最大応力範囲は補強前の応力範囲よりも1割程度大きくなっており、交通荷重が厳しくなっていることが推定される。
- ・発生している応力範囲が小さく、特に横リブ下フランジの寿命が ∞ となってしまう比較できないため最低等級のH'等級の設計曲線を用い、さらに横リブ下フランジの疲労寿命の違いを補正して比較した結果、Uリブの補強後の推定寿命は補強前の1.4倍となり、補強効果が確認された。

5. まとめ

以上、平成29および30年度の成果について報告した。令和元年度についても研究を継続している。

6. 研究体制

[産]日本橋梁建設協会、建設コンサルタンツ協会近畿支部、日本非破壊検査工業会、本四高速道路、西日本高速道路、阪神高速道路

[官]国土交通省近畿地方整備局 道路部、和歌山河川国道事務所、近畿技術事務所

[学]関西大学、京都大学

参考文献

- 1) Ichinose, 水嶋, 坂野: 実橋における鋼床版Uリブ・横リブ交差部の応力測定, 土木学会第73回年次学術講演会, CS3-002, 2018.8.
- 2) 松本, 田辺, 國年, 坂野: 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, 2018.8.
- 3) 坂本, 小西, 大森, 石川, 坂野: Uリブ鋼床版横リブ交差部の疲労損傷に対する対策効果の検討, 土木学会第73回年次学術講演会, CS3-004, 2018.8.
- 4) 田辺, 松本, 國年, 坂野: 鋼床版Uリブ横リブ交差部に対する補強工法の解析的検討, 土木学会第74回年次学術講演会, CS3-02, 2019.9.
- 5) 坂本, 小西, 奥村, 坂野: Uリブ鋼床版垂直補剛材上端部の疲労損傷に対する対策効果の実験的検討, 土木学会第74回年次学術講演会, CS3-03, 2019.9.
- 6) Ichinose, 國年, 坂野: 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, 土木学会第74回年次学術講演会, CS3-04, 2019.9.