

床組部材の疲労損傷と保全対策（その２）

～ 疲労損傷の保全対策とその有効性について～

大阪府茨木土木事務所 所長 正会員 丸山 明
 大阪府枚方土木事務所 正会員 ○梶川 正純
 大阪府土木部交通道路室 正会員 松尾 英樹

１．はじめに

疲労損傷は，一般的に亀裂の長さや引張応力がある一定の条件を満たすことで一気に脆性的な破壊を引き起こす恐れがあり，その対応には迅速さが求められる．また，繰返し作用する応力振幅が支配的となることから，一般的な静的耐荷力とは違った対応が求められる．ここでは，トラス橋の床組部材に発生した疲労損傷の保全対策の検討結果について報告する．

２．疲労損傷の発生状況とその要因

疲労損傷が確認された橋梁は，昭和 29 年に架設されたゲルバートラス橋の床組部材であり，大小 107 箇所の亀裂損傷が確認された．発生箇所は，縦桁が横桁にウェブで接合された箇所（以下「縦桁接合部」と呼ぶ．）で，そのほとんどが上縁側からの進行であった．

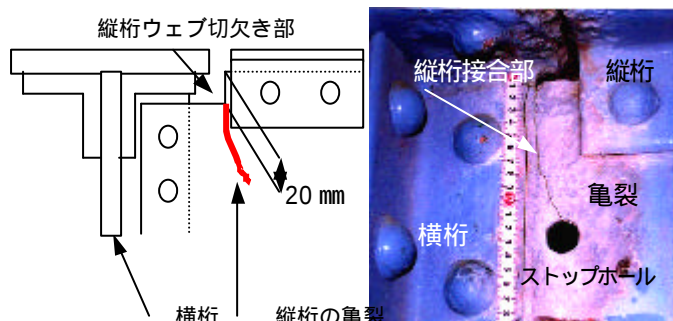


図-1 縦桁接合部の損傷 写真-1 亀裂の状況

亀裂の発生要因は，交通量の増加による応力疲労，縦桁ウェブの曲げ伝達構造及び切欠部の存在によるディテール上の問題に腐食環境が加わった複合的作用によるものであり，床版端部の浮上りがさらに助長させているものと推測される．

３．補修工法の選定

補修にあたっては，以下に示す要求性能を定義し，対策工法の選定を行った．

亀裂進行の抑止及び縦桁破断の防止
 施工時の交通規制を最小限にする

亀裂，疲労，腐食，桁連結，維持管理

〒573-0027 枚方市大垣内町 2 丁目 1 5 - 1

死荷重増加を最小限にする

縦桁接合部の局部応力減少と腐食環境の排除

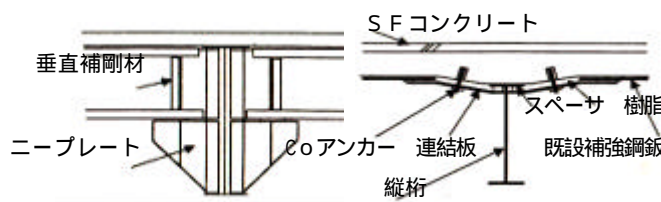


図-2 増設ニーププレート工法

図-3 合成連続化工法



図-4 増設支持縦桁工法

図-5 バイパス式桁連結工法

(1) 増設ニーププレート工法（A 案）

亀裂進行とともに縦桁ウェブの支持力が低下したときの代替機能として，横桁から張り出したニーププレートにより直接支持し，縦桁の破断を防止する構造である．本工法の FEM 解析の結果，ある程度の亀裂進行後に補強材へ応力が伝達することから，亀裂進行を積極的に抑止する工法とはいえない．

(2) 合成連続化工法（B 案）

縦桁上フランジと接着鋼板に連結板を介在して，樹脂及びコンクリートアンカーを用いて一体化を図る工法で，スチールファイバーコンクリートにより床版上面を増厚し，これを引張部材として床版を連続化する工法である．本工法は，間接的に縦桁接合部の応力緩和と，衝撃による応力変動の低減が図れるが，既に発生している亀裂の進行抑止と縦桁破断対策については万全ではない．また，床版の上面増厚工事にはかなりの交通規制が予測されることから現実的ではない．

(3) 増設支持縦桁工法（C 案）

既設縦桁の曲げ剛性不足と縦桁接合部の断面補強を目的に既設縦桁の直下に増設縦桁を設け，一体化を図る工法である．間接的に亀裂進行の抑制及び局部応力の低減が図れるが，主構に与える死荷重増加（主構応力換算で +4.5MPa）の影響が他案に比べて最も大きい．

072-844-1331 FAX 072-843-4623

(4) バイパス式桁連結工法 (D 案)

横桁と縦桁が直交する4箇所の隅角部に、縦桁曲げ応力を伝達するための連結材を設け、引張ボルトを用いて隣接縦桁と連結する工法である。縦桁端部に発生した曲げ応力は、連結材のフランジを通りバイパス的に応力を伝達させることで、縦桁接合部の局部応力を低減することができ、亀裂抑制に適した構造である。

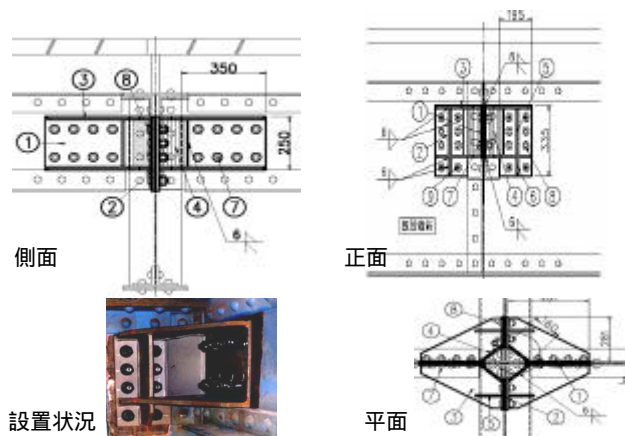


図-6 バイパス式桁連結工法の構造

表-1 対策工法選定にあたっての評価

要求性能	A案	B案	C案	D案採用
亀裂進行抑止	×	間接的	○直接的	直接的
交通規制		×	○搬入難	
死荷重増加		×	×	
局部応力低下	×	○	○	
縦桁落下防止	○	×		
腐蝕環境	×		×	×

表-1 に示す各対策工法の比較検討の結果、D 案の採用に至った。なお、腐食環境の改善は別途検討とした。

4. 載荷試験と補修効果

対策工法の妥当性を載荷試験を通じて実証し、その効果について検討した結果を以下に示す。

(1) 対策前後における亀裂先端付近の応力変化

床版連続部の亀裂発生箇所について、総重量約 200kN 車を縦桁接合部及び支間中央に静的に載荷し、対策前後の応力計測結果から局部応力の低減効果を確認した。

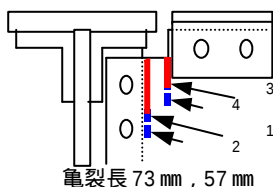


図-7 ゲージ貼付位置

表-2 の結果から、補強前の亀裂先端部の発生応力度は降伏強度(225MPa)を超える値となっており、進行性の亀裂であることが確認されたが、補強後における発生応力度は補強前の 40～50% に低減されており、照査用解析値と同様に効果が確認できた。一方、亀裂の進展性については、図-8 に示す FEM 解析の結果、バイパスフランジ付近で局部応力が消滅した。

表-2 対策前後における亀裂先端付近の応力変化

載荷位置	計測位置	応力度(MPa)		計測前/後	照査用解析前/後
		対策前	対策後		
縦桁中央	1	-126.3	-42.6	0.34	亀裂発生前での (35/70) 0.50
	2	-95.0	-17.4	0.18	
	3	219.5	117.5	0.54	
	4	104.2	45.7	0.44	
縦桁端部	1	-153.4	-46.3	0.30	対角線
	2	-114.6	-17.8	0.16	
	3	271.2	131.1	0.48	
	4	127.4	53.0	0.42	

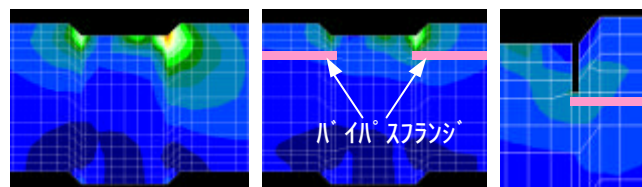


図-8 性能照査に用いた FEM 解析による応力変化

(2) 高力ボルトの引張接合における付加軸力

引張接合に用いる六角高力ボルトに、予めひずみゲージをセットして補強材を取付け、ボルトに加わる静的載荷時の付加軸力と供用荷重による応力変動範囲を計測した。計測結果は、0～450N であり、設計値の 47% の発生軸力であった。また、応力頻度測定では最大で 2kN 程度の付加軸力が確認されたが、設計軸力の 1% にも満たない微小な付加軸力であった。

5. まとめ

バイパス式桁連結工法は、縦桁接合部の局部応力低減に効果があり、概ね補強前の 50% 以下となる。

縦桁接合部に発生した疲労亀裂は、応力低減により進展速度が低下し、バイパスフランジ近傍で終焉する。

引張接合に用いた高力ボルトは、発生付加軸力が微小で高力ボルトの疲労に影響を及ぼすものではない。

本工法は、疲労亀裂の対策工法として十分な効果が発揮できる工法であると結論づけられる。

6. おわりに

本工法は、大規模な交通規制を伴わず、迅速に対策が実施できたことの意義は大きく、今後の床組の疲労対策工法として期待されることである。

末筆であります。本検討には、大阪大学大学院工学研究科松井繁之教授の御指導を賜りました。また、(株)修成建設コンサルタント並びに日本橋梁(株)の協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。