

I ビーム橋の疲労き裂の溶接補修に関する検討

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○平野 雄大 法政大学 正会員 内田 大介
法政大学大学院 学生会員 豊原 匡織 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 網谷 岳夫

1. はじめに

鉄道の地方線区において、主桁に I 形鋼を用いた I ビーム橋が多く使われている。I ビーム橋では図 1 のように桁端部近傍の主桁下フランジ首部に疲労き裂が発生する事例が報告されている¹⁾。この事例の恒久対策は、桁架換えが一般的であるが²⁾、線路の破線が必要となるなど煩雑な工事となる。簡易な補修で数十年程度の延命ができれば、I ビーム橋の修繕費用の低減や平準化につながり、効率的な維持管理が可能となる。そこで、簡易な方法による数十年程度の延命化を目的として、I ビーム橋の疲労き裂の溶接補修の施工試験と、補修後の疲労耐久性に関する検討を行った。

2. 溶接補修の施工試験

試験体の形状寸法を図 2 に示す。主桁に H 形鋼(SS400)を用いた鉄道橋で、設計列車荷重 EA-17(170kN)¹⁾を想定した荷重の繰返し载荷により、図 1 と同様の疲労き裂を再現したものである³⁾。き裂の補修手順を図 3 に示す。補修は、図 4 のように作業スペースが確保しやすい橋りょう外側一方から行うことにした。現場状況は邪魔板を用いて再現した。まず、支点上補剛材を撤去する。横桁は、上下フランジのガセット板の接合はそのままとし、添接板はウェブ側のみ取り外す。この際、疲労き裂を観察するために、高力ボルトは機械的に緩めて取り外した。次に、エアークガウジングとグラインダーにて疲労き裂を除去し、開先整形を行う。き裂の除去範囲は、再現したき裂が残らないように 300mm 程度とした。開先は、ルート間隔を 4mm 程度にしたうえで主桁外側を 30~50° 程度に整形した。その後、桁内側にセラミック製の裏当て材を取り付け、溶接時の鉛直方向の収縮を軽減する為に上下のフランジをジャッキで固定した後に、溶接(6 パス)を行った。溶接方法は CO₂ 溶接とし、溶接ワイヤはスラグ系フラックス入りワイヤ(JIS Z 3313:T49J0T1-1CA-UH5)とした。パス間温度は 200℃以下で管理した。補修は、図 2 に示す 2 つの支点上に着目し、溶接ビードの仕上げ、すなわち余盛削除の有無をパラメータにした。なお、き裂を再現した支点は一箇所³⁾であったため、き裂のない支点では同様のき裂を想定した補修を模擬している。また、補剛材は、き裂再現時は腐食による欠損を模擬し、下フランジとの間に隙間を設けていたが、新設の補剛材は下フランジに接するよう合うものをつけた。この際、実橋における腐食状態を参考に、下フラン



図 1 I ビーム橋の疲労き裂事例

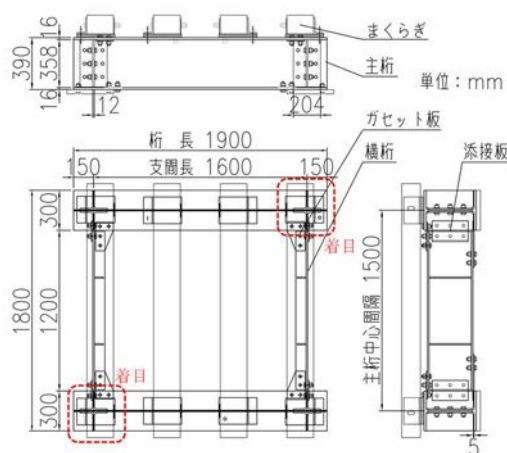
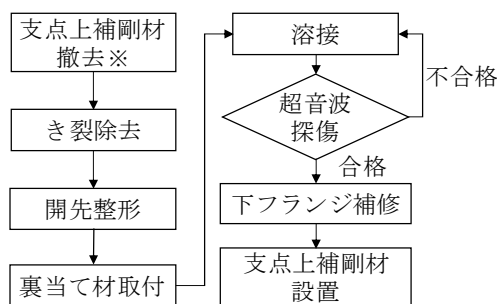


図 2 試験体



※高力ボルトが腐食している場合やリベット接合の場合はガス切断またはエアークガウジングにて取り外す

図 3 補修手順



図 4 補修の現場模擬の状況

キーワード I ビーム橋, 疲労き裂, 溶接補修

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町 2 丁目 479 番地 JR 東日本研究開発センター TEL 048-651-2552

ジの補剛材下端と接する箇所をグラインダーで深さ 1mm 程度切削した上で、金属補修材を用いて不陸を修正している。

3. 静的載荷試験、疲労試験

試験対象は補修後の試験体である。試験には静的能力 400kN の電気油圧サーボ式試料試験機を用いた。載荷位置は桁端部のまくらぎ上とし、左右のレールに均等に荷重が載荷されるようにレールの上へ鋼製の載荷梁を設置した。載荷は、設計列車荷重を参考に静的載荷試験では目標荷重 180kN とし、疲労試験では繰返し速度 0.6Hz、荷重範囲 180kN(下限荷重 3.4kN)とした。ひずみは着目するウェブ下端にて鉛直方向ひずみを計測した。ひずみの計測位置を図 5 に示す。支点条件はき裂を再現した条件³⁾と同一とし、鋼板を挟んで左右の桁の高低差(7mm)をつけるとともに、着目する支点到図 5 のようにテーパーPLを使用し、首振りを再現した。

4. 試験結果

静的載荷試験より、溶接ビードの余盛を削除した支点における荷重と桁端から 10mm の位置に生じた鉛直方向応力の関係を図 6 に示す。応力は、計測したひずみにヤング係数 $E=2.0 \times 10^5$ (N/mm²) を乗じて算出した。なおき裂再現前の結果は、文献 3)における腐食を模擬した支点の結果である。新規の補剛材の設置により、首振りによる曲げが大幅に改善されていることがわかる。補修後の載荷荷重 30kN 程度までに生じる曲げは、補剛材の製作精度に起因する多少の隙や、鋼に比べて剛性の低い金属補修材の変形によるものであると考えられる。補修前後で応力は 180kN 載荷時で 82.9%低減しており、支点到変状がある場合でも下フランジ首部の発生応力は大幅に低減することがわかった。

溶接ビード非仕上げの支点における疲労試験時のひずみ範囲の履歴を図 7 に示す。桁端から 260mm の位置の外側のひずみ範囲が 100 万回から増加しており、110 万回の時点で磁気探傷試験にて目視できる溶接止端部からのき裂を確認した。き裂は 100 万回時点で発生したと考えられ、これは貨物列車の通る 3・4 級線の設計通過量⁴⁾に対して 91 年相当となる。図 8 に試験終了後のき裂の状況を示す。き裂は、桁外側首部溶接ビード下側止端から発生し、桁端かつ下フランジ方向に斜めに進展している。200 万回まで載荷した後に補剛材を外して詳細な調査を行ったところ、補剛材背面の桁内側首部にもき裂が確認された。なお、同じ条件で試験を行った補修後余盛削除のケースは、200 万回の載荷を行っても疲労き裂は生じなかった。

5. まとめ

(1)提案する溶接補修の施工性を確認した。(2)補修により、支点到変状がある場合でも下フランジ首部の応力は低減することを確認した。(3)溶接後非仕上げで列車通過量 91 年分、余盛削除で 100 年以上の耐疲労性を確認した。今回は新たに製作した橋りょうを対象としたが、今後は古材の橋りょうに対する溶接補修を検証する予定である。

参考文献 1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)鋼・合成構造物, 2017 2) 鉄道総合技術研究所編：鋼構造物補修・補強・改造の手引き, 1992 3) 平野ら：I びーム橋端補剛材近傍における疲労き裂の発生要因に関する検討, 鋼構造年次論文報告集, 第 29 巻, pp.430-440, 2021 4) JR 東日本編：鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物)のマニュアル, 2021

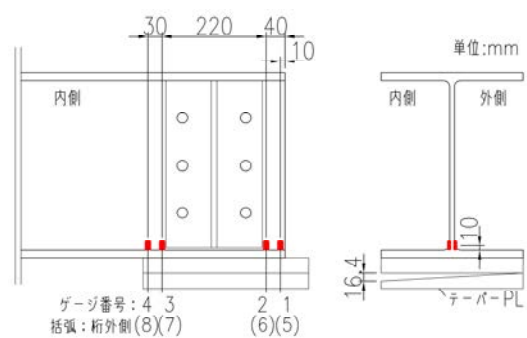


図 5 ひずみの測定位置

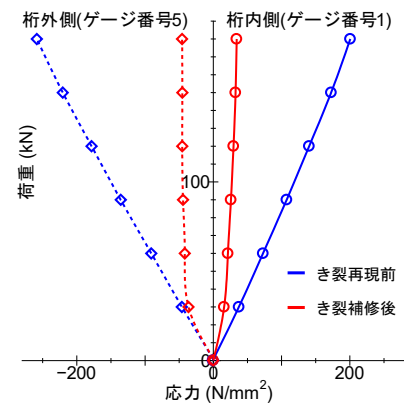


図 6 荷重－桁端首部の鉛直方向応力関係 (余盛削除)

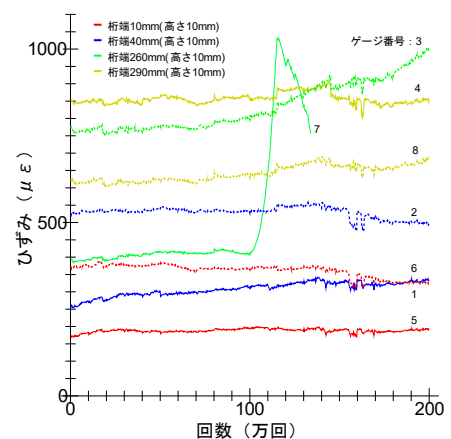


図 7 ひずみ範囲(非仕上げ)

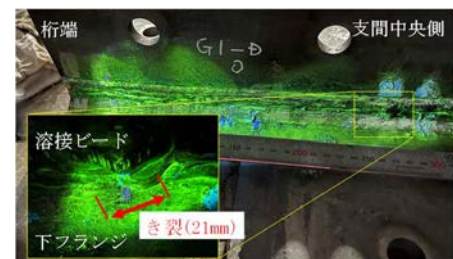


図 8 発生したき裂(非仕上げ)