

小型試験体を用いた I ビーム橋の耐疲労性に関する検討

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

1. はじめに

鉄道の地方線区において、主桁に I 形鋼を用いた桁橋である I ビーム橋が多く使われている。I ビーム橋では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⁾。このき裂の発生原因は、腐食による補剛材下端の隙や沓座モルタルの損傷により、下フランジ首部が首振り状態になるためと考えられている²⁾。著者らは、支点沈下や左右の桁の高低差に着目し、主桁に H 形鋼を用いた実大試験体で図 1 のように疲労き裂発生再現の再現試験をしたが³⁾、当該箇所の疲労強度検討のために数多くの大型試験を行うことは困難である。さらに、今後古鋼材を対象とした検討も行うことを念頭に置くと、小型試験体を用いた評価が考えられる。そこで、I ビーム橋支点近傍の主桁下フランジ首部の耐疲労性について、実大試験体の首振り状態を模擬した小型試験体の疲労試験を行い、検討を行った。

2. 小型試験体の応力状態

適用する小型試験体の応力性状を、解析的に大型試験体と比較した。小型試験体の寸法と荷重位置を図 2 に示す。H 形鋼(SS400, H-400x300x10x16)からフランジとウェブを切り出し、2つの試験片のフランジを、標準軸力を導入した F10T 高力ボルトにより締め付けることで接合し制作したものである。荷重位置は、下フランジ側面に荷重する 3 点曲げとし、首振りを模擬した。首振りのイメージを図 3 に示す。実大試験体は文献 3)においてき裂を再現した試験体が対象であり、主桁に H 形鋼を用いた主桁高さ 390mm、支間長 1600mm、主桁中心間隔 1500mm の橋りょう(荷重 170kN)とした。実大試験体および小型試験体の解析モデルを図 4 および図 5 に示す。解析コードは Abaqus2020 である。解析では材料を線形弾性体とし、高力ボルトの接合部には、接触要素($\mu=0.4$, 初期すき間 0)を用い、幾何学的線形も考慮している。双方のモデルの着目箇所近傍(下フランジ R 終端部)の要素サイズは同じでありともに最小メッシュサイズは 1mm である。荷重は、実大試験体では試験時の荷重 180kN³⁾とし、小型試験体では着目箇所の最大応力が実大試験体の解析値と一致するように 9.33kN とした。着目箇所における板厚方向の応力分布の解析結果を図 6 に示す。両者ともに直線分布となっており、中立軸の位置がやや異なるが、小型試験体を用いて実大試験体の初期のき裂進展挙動は概ね再現できると判断した。なお、小型試験体の方が実大試験体に比べて引張領域が大きいため、実大試験体を小型試験体で評価するとやや安全側になる。



図 1 I ビーム橋の疲労き裂再現事例

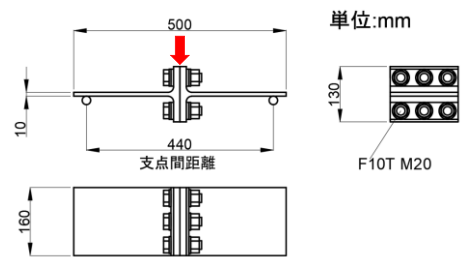


図 2 小型試験体

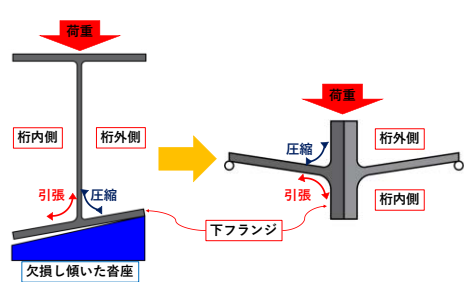


図 3 首振り再現のイメージ

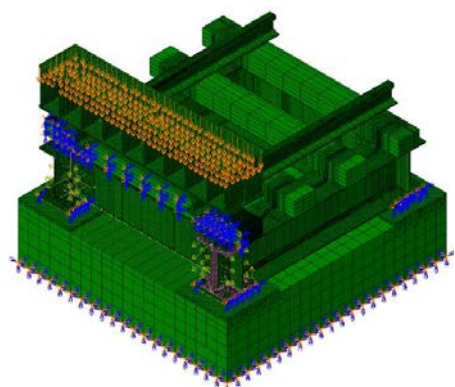


図 4 実大試験体解析モデル

キーワード I ビーム橋, 疲労き裂

連絡先 〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3 丁目 7 番地 2 号 法政大学鋼構造研究室 TEL 042-387-6279

3. 疲労試験

試験体は、図2に示す、実大試験体同様に新材で製作した小型試験体である。試験体の首部には、実大試験体で行った腐食による欠損の模擬の有無³⁾や補修溶接後の余盛削除の有無⁴⁾を再現し、新材(N)、腐食模擬(C)、補修溶接後非仕上げ(AW)、補修溶接後余盛削除(G)の4種類を製作した。なお、Cの腐食による欠損は、ディスクグラインダーを用いて図7のように幅10mm、深さ1mm程度削ることで模擬した。また、AWとGの補修溶接は、補修時の開先を有する突合せ溶接である。試験には、動的能力160kNの電気油圧サーボ式試験機を用いた。下限荷重は0.2kNで一定とし、荷重範囲は4.5~9kNである。

4. 疲労試験結果

図8に試験結果を示す。図中の線は、小型試験体の条件ごとに $m=3$ (m :疲労強度曲線の傾きを表す係数)で近似した際の回帰曲線を示している。また、図中には実大試験体の試験結果³⁾も合わせて示している。その際の応力範囲は、N、Cを対象とした実大試験体と小型試験体の解析を実施し、両者の着目箇所の最大応力値が一致した小型試験体の公称応力値とした(N 254.6 N/mm², C 624.1 N/mm²)。小型試験体について、き裂発生位置は下フランジ首部近傍の引張側(桁内側)であり、実大試験体で再現したき裂³⁾と同一であった。条件ごとの100万回疲労強度はN(374N/mm²)→C(276N/mm²)→AW(239N/mm²)→G(204N/mm²)の順である。NとGの疲労強度の差は、溶接による引張残留応力の有無に起因すると考えられる。実大試験体の結果は、小型試験体の回帰曲線と整合しており、小型試験体の結果を用いて評価できる可能性がある。

表1は、首振り状態の新材を1とした際の各条件での疲労寿命を割合で示している。NとCを比較すると、Cは断面欠損により疲労寿命が16%まで減少する。また、補修溶接後のAWとGを比較すると、余盛を削除したAWは疲労寿命が約2倍となることがわかる。なお、文献4)で提案する補修方法では、補剛材下端の隙を補修して首振りが小さくすることで、82.9%の応力低減が確認されている。この応力低減が小型試験体へも適用でき、補修後の実橋では適切な防食が施されると仮定すると、疲労寿命がGでは61倍、AWでは81倍となり、高い補修効果が得られることになる。

5. まとめ

- (1)実大試験体の首振り状態を、3点曲げの小型試験体で模擬できる可能性を示した。
- (2)小型試験体の疲労試験より、首部の状態の違いによる疲労強度の違いを示した。また、余寿命評価の際の目安を示した。

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ビ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) 平野ら：Iビーム橋の疲労き裂の溶接補修に関する検討, 土木学会第77回年次学術講演会, 2022

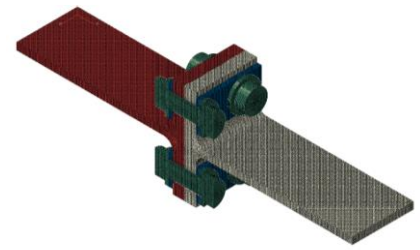


図5 小型試験体解析モデル

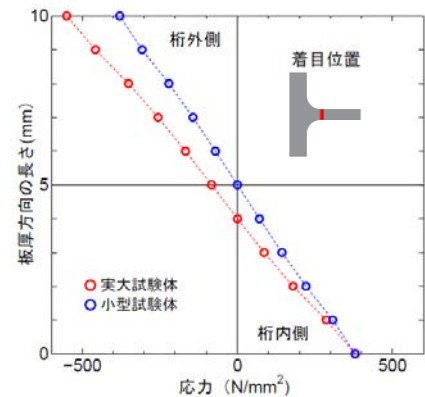


図6 板厚方向の応力分布

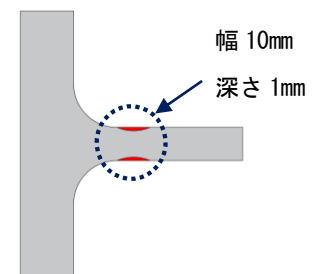


図7 腐食の模擬

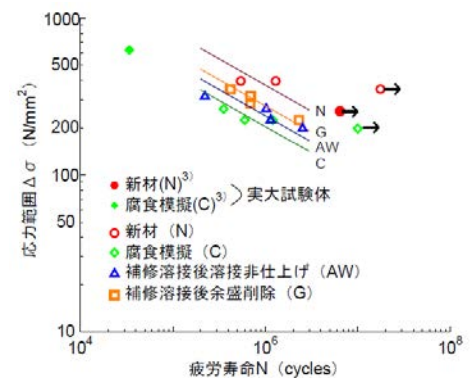


図8 疲労試験結果

表1 下フランジ首部の疲労寿命(割合)

| | | |
|--|-------------------|-------|
| 補剛材下端部の 補修無し | 新材(N) | 1.00 |
| | 腐食(C) | 0.16 |
| | 補修溶接後 非仕上げ(AW) | 0.26 |
| | 補修溶接後 余盛削除(G) | 0.40 |
| 補剛材下端部の 補修 ⁴⁾ (補修による 応力低減を考慮) | 補修溶接後 非仕上げ(AW) | 60.64 |
| | 補修溶接後 余盛削除(G) | 81.26 |