鉄道橋Iビーム桁支点首部の疲労き裂に対するストップホールの補修効果の評価

名古屋大学 学生会員 〇岩井 将樹 正会員 判治 剛 フェロー会員 舘石 和雄 正会員 清水 優 西日本旅客鉄道株式会社 正会員 池頭 賢 正会員 丹羽 雄一郎

1. はじめに

鉄道橋 I ビーム桁において,支点部のウェブと下フランジの境界部(首部と呼ぶ)に疲労き裂が報告されている. このき裂は,支点の不等沈下に伴う首部の面外曲げの繰返しにより発生し,首部に沿って進展することが示されている¹⁾.本研究では,疲労試験と有限要素解析により,このき裂に対するストップホール補修の効果を検討した.

2. 実橋撤去桁を用いた疲労試験

試験体は図-1 に示す I ビーム桁である. 撤去した実 橋桁ほぼそのままであり, ソールプレートのみ新たに 設置している. 支点首部には供用中に発生した疲労き 裂があり, その先端にストップホールが施されている. 試験方法を図-2 に示す. 載荷はき裂のある支点の直上 とし, ソールプレートの下にテーパープレートを入れ て不等沈下を導入した. 不等沈下量が実橋での計測結 果と同程度となるようにテーパーの傾斜を調整した. また, ウェブ表裏面にひずみゲージを貼付し, ストッ プホール近傍での応力を計測した. なお荷重の大きさ は, 実橋でのひずみ計測結果をもとに決定した.

3. 静的載荷試験

着目支点における相対変位と荷重の関係を図-3 に 示す.相対変位とは、下フランジ内外側の鉛直変位の 差である.図中には実橋での計測結果も示しているが、 実橋と同程度の不等沈下を導入できている.この設置 条件での最大荷重時のストップホール縁(孔縁と呼ぶ) の応力分布を図-4 に示す.桁外側で圧縮,桁内側で引 張が生じており、首部の面外曲げが再現できている.

4. 孔縁からの疲労き裂の再発生

疲労試験開始後,4万回の繰返しで孔縁にき裂を確認した.き裂は応力の変動範囲の大きい桁外側にて生じた.載荷を続け,き裂が約40mm進展した段階でストップホールを再削孔し,試験を継続した.その結果,削孔後50万回で桁外側にき裂を確認した.このき裂をストップホールの拡大により除去し,テーパープレ









ートを平板に替えて試験を再開した.200万回載荷後もき裂は生じず,不等沈下の解消による延命効果が示された.

5. 有限要素解析

有限要素解析により試験体支点首部の孔縁に生じる応力を求めた.解析モデルを図-5に示す.寸法は試験体と同じであるが,載荷位置を変更できるようにレールとまくらぎもモデル化した.レールは桁に比べて十分に長くし,

キーワード Iビーム桁,支点首部,疲労き裂,ストップホール補修,面外曲げ,補修効果評価法 連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL: 052-789-4620 その両端の3方向の変位を拘束した.レールとまく らぎは剛結とした.疲労試験と同様に,着目支点部 においてテーパープレートやき裂を模擬し,接触を 考慮した.摩擦係数は0.4 とした.荷重はレール上 面に与え,その大きさは実橋調査結果をもとに決定 した.支点直上に載荷したときの相対変位が疲労試 験と同程度となるように隙間量を調節した.着目す る孔縁近傍の要素サイズは約1mmで統一した.幾何 学的非線形を考慮した弾性解析とし,鋼材とまくら ぎの弾性係数とポアソン比は,それぞれ200kN/mm²



と 0.3, 7.1kN/mm² と 0.4 とした ²⁾. 最大荷重時の孔縁近傍の応力分布は図 -4 に示すとおりであり, 解析値は実験値とおおむね一致している.

6. 孔縁の最大応力範囲による疲労寿命の整理

解析における孔縁の最大応力範囲を用いて,実験にて得られたき裂再発 生までの繰返し回数(疲労寿命)を整理した.図-6に結果を示す.図中に は実橋から切り出した桁試験体¹⁾および面外曲げを受ける円孔やストップ ホールを有する鋼板の試験結果³⁾⁻⁵⁾も示している.全橋試験体や桁試験体 の結果は他の結果の下方に位置している.これは,鋼素材の疲労強度が鋼 材強度に依存するためであると考えられる.そこで,図-6の縦軸を鋼材の 降伏応力の平方根で除した(一般化した)応力範囲^{3),4)}で整理した結果を 図-7に示す.全橋試験体の降伏応力は不明であったため,過去の調査結果 ⁶⁾をもとに,同年代の鋼材の平均値を用いた.図より,鋼材強度の違いに よる差が小さくなっていることがわかる.図中の破線は未破断を除いたす べての結果に対して最小二乗法により求めた回帰線であり,実線はそれを 標準偏差の2倍分だけ下方にシフトしたものである.回帰線は試験結果の 傾きをおおむね表現しており,また結果の下限をおさえている.以上より, 図-7中の疲労強度曲線により,1ビーム桁支点首部の疲労き裂に対するス トップホール補修の効果を定量評価できる可能性があるといえる.

7. き裂長と孔縁の応力範囲の関係

前述の解析モデルを用いて,き裂長を163mmから692mmまで変化させたときの孔縁の応力範囲を比較した.なお,荷重は支点直上からまくらぎ間隔の1/2 ずつ中央に移動させて与え,各載荷位置での孔縁の応力範囲から,その最大値とき裂長の関係を求めた.両者の関係を図-8 に示す.き裂

が長くなると、不等沈下による面外曲げの影響が小さくなり、応力範囲も減少する.一方、紙面の制約上、詳細は 割愛するが、き裂が長い場合には、桁変形に起因する曲げとせん断の影響により、最大応力発生点が孔縁の上寄り になることが示されており、ウェブを縦断する方向にき裂が発生する可能性が考えられ、注意が必要である.

8. まとめ

実橋撤去桁を用いた疲労試験を行い,支点首部の疲労き裂に対するストップホールの効果を検討するとともに, 鋼材の降伏応力で一般化した孔縁の最大応力範囲によりストップホールの疲労寿命を評価できる可能性を示した. 参考文献 1) 岩井ら:土木学会第71回年次学術講演会概要集,I-393, pp.785-786, 2016. 2) 鉄道総合技術研究所: RRR, Vol.64, No.8, pp.34-35, 2007. 3) 大倉ら:鋼構造年次論文報告集, Vol.7, pp.181-188, 1999. 4) 内田:法政大学学位論文, 2006. 5) 松本 ら:鋼構造論文集, Vol.21, No.83, pp.53-61, 2014. 6) 池田ら:鋼構造論文集, Vol.19, No.73, pp.107-117, 2012.

