

古い年代に建設された鋼 I 桁橋の FEM 解析による疲労耐久性に関する検討

首都大学東京 学生会員 ○石川 莉帆 首都大学東京 正会員 村越 潤
 首都大学東京 正会員 野上 邦栄 首都大学東京 正会員 岸 祐介

1. はじめに

古い年代に建設された鋼道路橋において、主桁と横桁の交差部や横構取付部のように疲労強度の低い溶接継手に、主桁ウェブの部分破断といった落橋につながりかねない重大な疲労損傷が報告されている¹⁾²⁾。本稿では、疲労設計導入前に建設された鋼 I 桁橋の疲労耐久性を把握することを目的として、建設当時の再現設計と FEM 解析を行い、活荷重応答特性を検討するとともに、主桁の各種溶接継手を対象として疲労照査を行った。

2. 対象橋梁と照査部位

昭和 39 年の溶接鋼道路橋示方書 (S39 道示) に基づく、標準的な支間長の鋼 I 桁橋を対象橋梁とした。S39 道示は溶接鋼道路橋に対応するとともに、同基準より 50 キロ鋼が導入されていること、床版厚も薄い (死荷重が小さい) ことから、主桁に作用する活荷重応力度が相対的に大きいものと考えられる。まず、当時の標準設計や設計の考え方、方法を踏まえて、鋼単純合成 I 桁橋の再現設計 (APOLLO Analyzer による平面骨組解析) を行い、主桁等の寸法諸元を決定した。支間長は 30m とし、道路幅員構成は図-1 のとおりとした。主桁の鋼種は SM50 (許容応力度 190MPa) である。

次に、再現設計された構造諸元を基に 3 次元立体解析モデルを作成し、主桁の活荷重応力度、各部位の溶接継手の累積損傷度を算出し、再現設計における平面骨組解析による計算値との比較分析を行った。FEM 解析には解析ソフト MSC.Marc を用い、RC 床版を 8 節点ソリッド要素、主桁、横桁、対傾構等の鋼部材を 4 節点シェル要素でモデル化した (図-2 参照)。主桁ウェブは高さ方向に 14 分割とした。要素サイズはウェブ高方向に 87.5~135mm、支間方向に 87.5~125mm、アスペクト比 a/b は 1.0~3.0 である。なお、この解析モデルは溶接継手の応力集中を算出することを意図したものではなく構造全体の荷重分配等の影響など、実挙動に近い状態を評価しようとするものである。従って、応力算出に際しては溶接継手の応力集中の影響を含まない公称応力を算出するようにした。疲労照査については、現行の「鋼道路橋の疲労設計指針」 (以下、疲労指針)³⁾に基づき行った。疲労照査部位には現行設計において一般的に照査が行われる主桁の溶接継手 (図-3 参照) を対象とした。設計で考慮する供用期間は 100 年、一方向一車線当たりの日大型車は 2000 台/日と仮定した。ここで、活荷重補正係数 γ_{T1} は 2.98, γ_{T2} は 1.00, 衝撃係数 i_f は 1.125, であり、これらの係数により補正された疲労設計荷重は 670.5kN である。

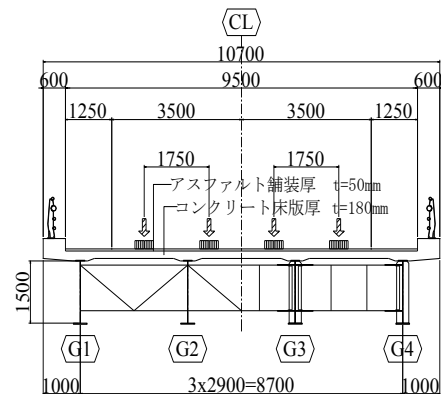


図-1 対象橋梁の道路幅員構成と桁配置

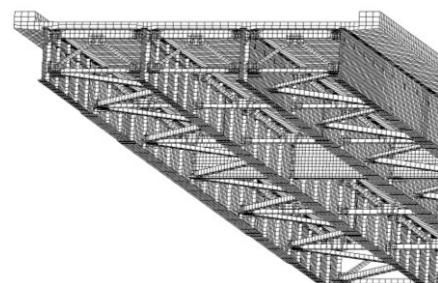


図-2 3次元立体解析モデル

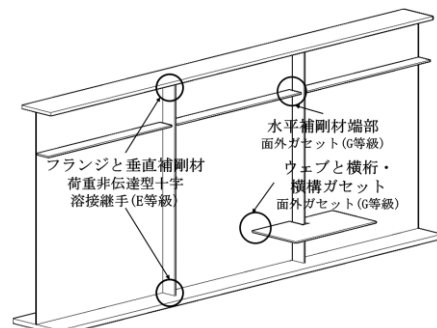
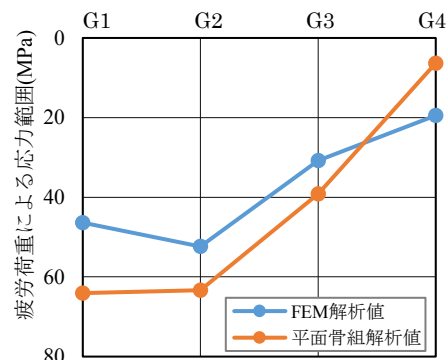


図-3 疲労照査の対象部位

図-4 G2 側車線載荷時の
支間中央下フランジ応力度

キーワード 既設鋼 I 桁橋, FEM 解析, 疲労, 疲労耐久性, 累積損傷度

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京大学院 TEL : 042-677-2782 E-mail : murakos@tmu.ac.jp

3. 解析結果

3.1 疲労設計荷重載荷時の主桁応力の発生傾向

一般に設計計算で得られる応力に対して実際に主桁に作用する応力は小さくなることが多い⁴⁾。図-4に、疲労設計荷重を支間中央の車線位置に載荷した場合の各桁支間中央下フランジ下面の応力を示す。荷重が直上に載荷する G2 桁では FEM 解析値が、平面骨組解析値の 8 割程度に収まっているが、G4 桁では FEM 解析値の方が大きくなっている。これは、FEM 解析の方が主として RC 床版等による荷重分配効果をより適切に考慮できているためと考えられる。

図-5に、G2 桁を例に、FEM 解析による疲労荷重を進行方向に移動載荷した場合の支間方向の下フランジの応力範囲の分布（主桁の各種溶接継手の照査位置断面对象）を示す。点線は断面変化位置（現場ボルト継手部）である。相対的に支間中央ほど応力は大きくなる傾向にあるが、断面変化位置においても比較的厳しいことがうかがえる。

図-6に、各疲労照査部位を対象とした、平面骨組解析による応力度に対する FEM 解析による応力度の比率を示す。設計計算応力、すなわち平面骨組解析値が大きい場合（ここでは、G 等級の一定振幅応力下の打ち切り限界 32MPa を想定）において、FEM 解析値/平面骨組解析値は 0.62~0.83 であり、平均値は 0.72、標準偏差は 0.07 であった。すなわち、平面骨組解析に基づく疲労照査を行う場合に考慮される構造解析係数 (=0.8) よりも若干小さい値となっている。部位ごとに見ると、一部、G2 の支間中央部と、G1 の断面変化位置付近で 0.8 を上回る部位も見られたが、図より、解析値の大きい部位では 0.8 を下回っていることがわかる。

3.2 照査部位別の疲労損傷度

図-7に疲労指針によって算出した各部の累積損傷度を照査部位別に示す。それぞれ左が FEM 解析、右が平面骨組解析の結果である。平面骨組解析値には、疲労指針の構造解析係数 0.8 を考慮している。ウェブガセット位置（200 万回基本許容応力範囲 σ_{ce} が 50MPa）では G2 桁の断面変化位置など累積損傷度が 1.0 を大幅に上回る部位が複数有り、相対的に厳しい部位であることがうかがえる。また、フランジと垂直補剛材下端の溶接部が次いで厳しく、ウェブガセットと同様に FEM 解析値による累積損傷度の方が平面骨組解析値より低い。さらに、フランジと垂直補剛材上端の溶接部及び水平補剛材端部の溶接部については、構造解析係数を考慮した疲労設計荷重（応力範囲の最大値）が一定振幅応力下の打ち切り限界以下となった。

4. まとめ

建設当時の適用基準や構造条件の違いを踏まえた上で活荷重応答特性、疲労損傷度の傾向を把握するとともに、構造解析係数を考慮した平面骨組解析と FEM 解析による疲労損傷結果の相違を把握した。引き続き再現設計を行い、適用基準、構造条件等の違いから疲労損傷が発生する可能性の相対的に高い橋に共通する特徴を検討する予定である。

参考文献 1) 玉越, 三宅, 村越: 鋼部材の疲労き裂について (その 1) -道路橋の主桁-, 土木技術資料 51-10, pp.39-40, 2009.10. 2) 中村, 増井, 仲野, 森: 「主桁-横桁取合い部」損傷の補修検討, 土木学会第 64 年次学術講演会概要集, I-140, pp.279-280, 2009.9. 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編, II 鋼橋編, 2002.3. 4) 日本道路協会: 鋼道路橋の疲労設計指針, 2002.3.

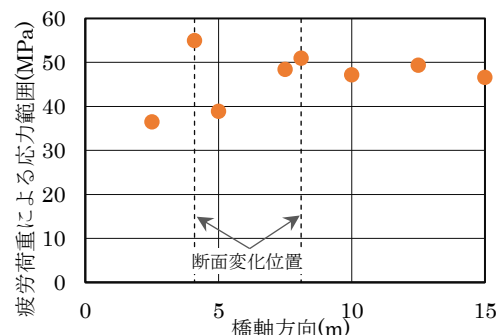


図-5 FEM 解析による照査位置断面の下フランジ応力

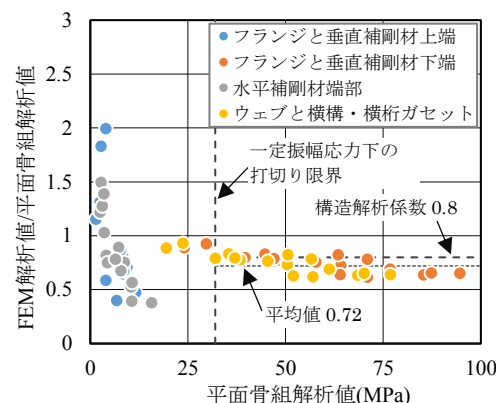


図-6 照査部位別の解析値の比較

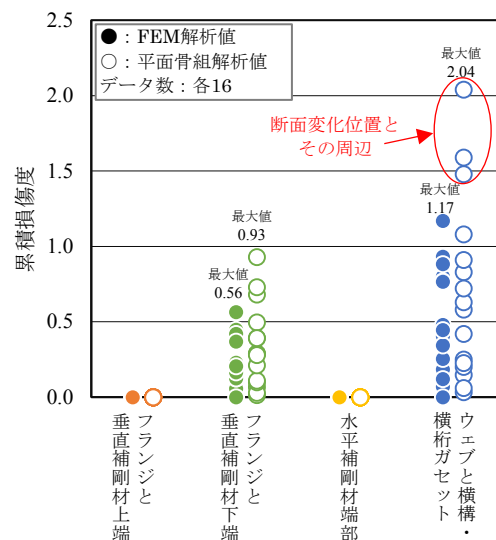


図-7 照査部位別の疲労損傷度