

FEM 解析による鋼 I 桁橋主桁溶接継手の疲労耐久性に関する検討

首都大学東京 学生会員 ○重田 樹里 首都大学東京 正会員 村越 潤

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、疲労設計導入前の古い年代に建設された鋼 I 桁橋と、現行の鋼 I 桁橋の疲労耐久性を把握することを目的として、再現設計と FEM 解析を行い、活荷重応答特性を比較するとともに、主桁の各種溶接継手を対象として疲労照査を行った結果について報告する。

2. 検討方法

2.1 対象橋梁と照査部位

適用基準として昭和 39 年の溶接鋼道路橋示方書 (S39 道示) と、疲労設計の導入された以降の道路橋示方書³⁾ (H14 道示) に着目し、同一の構造条件 (支間長 30m, 道路幅員構成は図-1 参照) の鋼 I 桁橋を対象とした。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、主桁等の構造諸元を決定した。H14 道示の設計では、「鋼道路橋設計ガイドライン (案)」⁴⁾ によっている。主桁の鋼種は S39 道示では SM490 ($\sigma_{ta}=190\text{ MPa}$)、H14 道示では SM490Y ($\sigma_{ta}=210\text{ MPa}$) である。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、要素サイズはウェブ高方向に 87.5~135mm, 支間方向に 87.5~125mm である。なお、この解析モデルは、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するものであるため、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)⁵⁾ 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/日とした。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。なお、上フランジと垂直補剛材・水平補剛材端部については、応力が 20MPa 以下と小さいため以降では省略する。

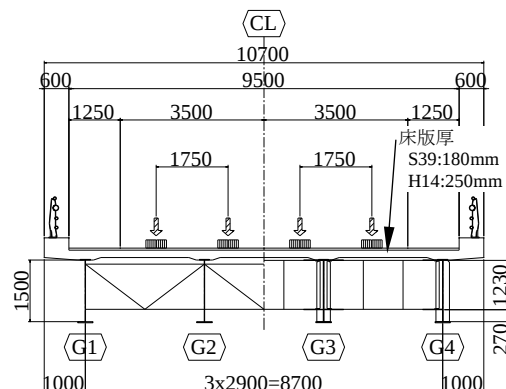


図-1 対象橋梁の道路幅員構成と桁配置



図-2 3次元立体解析モデル

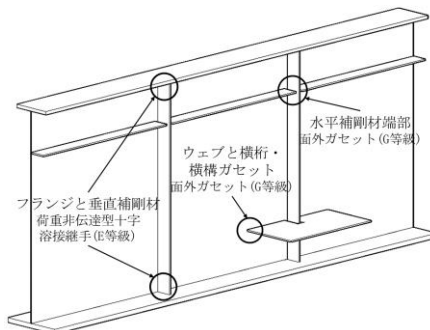


図-3 疲労照査の対象部位

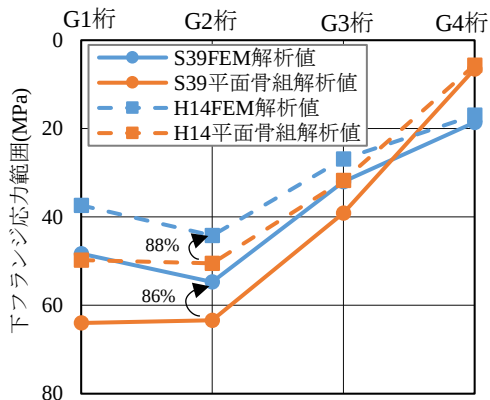


図-4 支間中央下フランジ下縁の応力範囲

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 : shigeta-juri@ed.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く、疲労指針では両者の相違を構造解析係数の違い (FEM 解析 1.0, 平面骨組解析 0.8) として考慮している⁵⁾。図-4 に例として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の支間中央下フランジ下縁の応力範囲を示す。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 85% 程度であるが、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。また、FEM 解析値に関して、S39 道示に対して H14 道示では、G2 桁における下フランジの応力範囲が 81% に減少した。

図-5 に、G2 桁を例に、FEM 解析による疲労設計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を対象) 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、S39 道示では支間中央付近以外の位置においても比較的厳しいことがうかがえる。

図-6 に、各疲労照査部位及び断面変化位置を対象とした、疲労設計荷重載荷時の、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 を超えると想定) において、FEM 解析値/平面骨組解析値は 0.39~0.94 であり、平均値は 0.72、標準偏差は 0.11 であった。H14 道示、S39 道示ともに、G2 の支間中央部と、G1 の断面変化位置付近で 0.8 を上回っているものの (横軸で 32.5~63.4MPa のデータ)、平均値では、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る。

3.2 照査部位別の累積損傷度

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。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 桁の断面変化位置付近など累積損傷度が 1.0 前後の部位がみられ、相対的に厳しい部位であることがうかがえる。次いで、下フランジと垂直補剛材の溶接部が厳しい。また、両部位ともに FEM 解析値による累積損傷度のほうが平面骨組解析値より低い傾向 (継手部の最大値に着目すると、77~86%) にある。さらに、S39 道示と H14 道示を比較すると、H14 道示での FEM 解析値による疲労損傷度はウェブガセット部位 (最大値) において 58% と小さくなっている。

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、疲労損傷の傾向を把握した。引き続き、構造諸元を変えた再現設計に対して、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 回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) 建設省: 鋼道路橋設計ガイドライン (案), 1995.10. 5) 日本道路協会: 鋼道路橋の疲労設計指針, 2002.3.

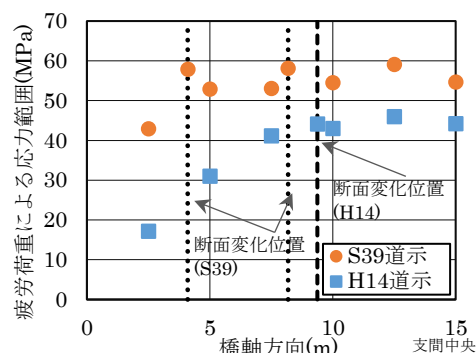


図-5 FEM 解析による照査位置断面の下フランジ下縁応力範囲 (G2 桁)

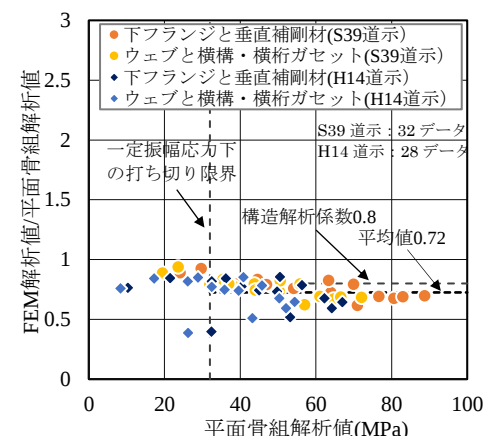


図-6 照査部位別の解析値の比較

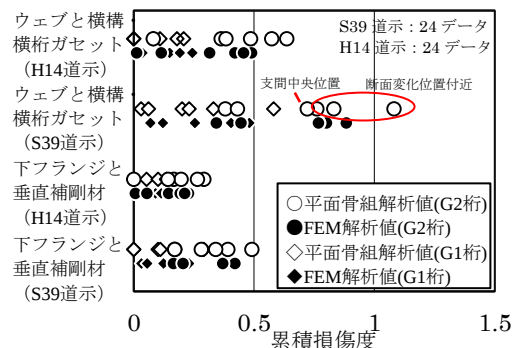


図-7 照査部位別の累積損傷度