

鋼桁橋の主桁-横桁接合部の疲労に着目した局部応力と変形パラメータの関係

東京都立大学 学生会員 ○小峰 愛菜 東京都立大学大学院 正会員 村越 潤
 東京都立大学大学院 学生会員 吉川 聡平 (国研) 土木研究所 正会員 大西 達也

1. はじめに

鋼 I 桁橋の疲労き裂の大半を占める、主桁-横桁接合部における垂直補剛材上端部の疲労き裂(変位誘起疲労)の発生には、橋全体挙動に伴う二次応力の影響が大きいとされている(例えば1)。同き裂の進展性を明らかにし、合理的な対策選定に資する実用的な診断手法を提案するための基礎検討として、実橋での载荷試験結果に対して橋全体系の 3 次元立体 FEM モデルによる再現解析を実施している。本検討では、橋全体挙動が外桁垂直補剛材上端部の局部応力に及ぼす影響と各種の応力軽減対策の効果を明らかにすることを目的として、疲労着目部の局部応力と床版・主桁の変形パラメータとの関係について解析的検討を行った。

2. 対象橋梁と解析方法

対象橋梁は土木研究所構内の試験橋であり、形式は鋼単純活荷重合成 I 桁橋(図-1, 支間 30m, 設計活荷重 TL20, S55 道示適用)である。同橋に対し、3 軸 196kN (20tf) 荷重車(軸重: 前軸 72.7kN, 中後軸 118.2kN, 軸距: 3.225m, 1.310m)による静的载荷試験を実施しており、载荷荷重を同じとした。表-1 に解析ケースとそのモデルの概要を示す。応力軽減が期待される対策を解析ケースとし、Case 1 及び Case 2(局部応力軽減効果の確認のために横部材の拘束を緩和)では、荷重車による载荷試験を実施している。Case 3 及び Case 4(下フランジ厚を 22mm から 31mm に増厚)は、B 活荷重対応を想定して RC 床版または主桁を補強したケースである。

解析モデル(図-2)は、RC 床版、及び着目部である桁支間中央部(1250mm 範囲)と横桁接合部をソリッド要素で、その他の鋼部材をシェル要素で構成した。舗装剛性は考慮していない。応力着目部は、試験計測位置に

合わせ、垂直補剛材上端こぼ面のまわし溶接止端から 10mm 位置(図-2(b))とし、鉛直方向応力に対し補剛材の板曲げを考慮し膜応力 σ_m と曲げ応力 σ_b について分析した。同部周辺の最小要素寸法は $5 \times 5 \times 5$ mm である。荷重は試験時の荷重車の各タイヤの重心位置の要素にフェース荷重として载荷した。解析では、荷重車を支間中央位置(中後軸を支間中央に配置)に幅員方向にずらしながら载荷を行い、着目部の応力、変形性状を分析した。幅員方向には、片輪がそれぞれ G1, G4 桁上に载荷される位置から内桁側に向かって 325mm ピッチで計 20 ケース载荷した。なお、载荷試験において、主桁の直応力・鉛直変位について試験値と解析値は良く一致しており、また、図-2(b)の着目部の局部応力に関して载荷位置に対する比率(解析値/試験値)も概ね一致しており、解析モデルによる全体挙動の再現性は確認している。

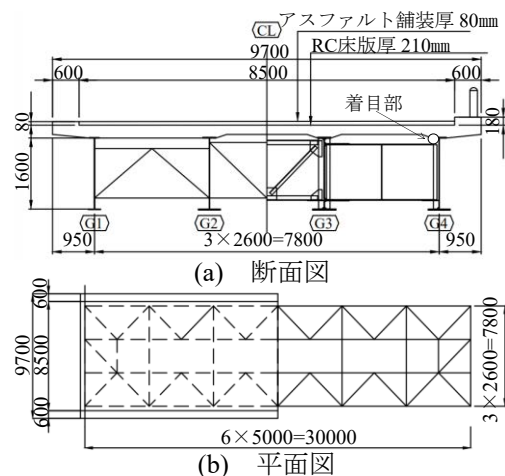
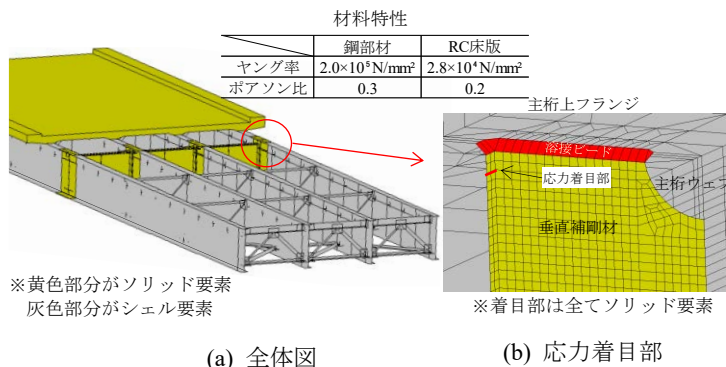


図-1 対象橋梁の概要と着目位置

表-1 解析ケースの概要

ケース名	解析モデルと概要
Case 1	基本モデル: 現状の構造
Case 2	横桁拘束緩和モデル: 横構撤去, G4桁と横桁・対傾構の全接合ボルト外し
Case 3	床版剛性向上モデル: 床版厚を210mmから240mmに増厚
Case 4	主桁剛性向上モデル: 主桁断面剛性を1.25倍に増加



(a) 全体図 (b) 応力着目部

図-2 解析モデルと応力着目部

キーワード 鋼 I 桁橋, 主桁-横桁接合部, 疲労, FEM 解析, 変形パラメータ

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学 TEL: 070-3621-3947 E-mail: komine-aina@ed.tmu.ac.jp

3. 解析結果と考察

3.1 変形パラメータの定義と分析方法

局部応力に影響を与える部材の変形を表す指標として、疲労損傷に関わる構造要因としての主桁や床版変形¹⁾や既往研究²⁾を参考に、主桁フランジとウェブの交点周りの2つの回転角 θ_d と θ_w を考えた。図-3に応力が最大となる荷重位置のケースを例に、支間中央断面の変形状況と2つの回転角の取り方を示す。 θ_d はG4桁上フランジ下面縁端と水平線のなす角度であり、主桁上の床版のたわみ変形角に対応する。 θ_w は主桁ウェブ上端から下方向に220mm位置(横桁ウェブとのボルト接合の最上段のボルト位置)の節点と鉛直線がなす角度であり、主桁間の相対変位を横桁が拘束することにより生じるウェブの変形に対応する。符号は時計回りの回転角を正としている。

着目位置の膜・曲げ応力 σ_m 、 σ_b と回転角 θ_d 、 θ_w の関係を分析するとともに、 σ_m 、 σ_b をそれぞれ目的変数とし、 θ_d と θ_w を説明変数とした重回帰分析を行った。Case 1のFEM解析値に対する回帰分析結果を基に、 $(\theta_w - \theta_d)$ による応力の推定式(回帰式)をそれぞれ作成し、推定値(回帰分析による計算値)と解析値の比較を行った。図-5中に得られた推定式を示す。

3.2 幅員方向の荷重位置と変形パラメータの関係

図-4にCase 1を対象に、幅員方向の荷重位置(G1桁位置をゼロ)に対する、膜・曲げ応力 σ_m 、 σ_b と変形パラメータ θ_d と θ_w の関係を示す。ここで、横軸の荷重位置とは荷重車の左右の輪荷重の中心位置に対応する。G3-G4桁間の輪荷重荷重に対して、膜・曲げ応力 σ_m 、 σ_b は、回転角の差 $(\theta_d - \theta_w)$ が大きくなるほど、すなわち補剛材上端が押し込まれる変形状態になるほど、応力が大きくなっている。図-5に、Case 1~4における膜・曲げ応力 σ_m 、 σ_b と、 $(\theta_d - \theta_w)$ による推定式による推定値との関係を示す。図中のCase 1とCase 4の結果はほぼ同じ値であり、プロットが重なっている。推定式はCase 1の解析値を基に求めているが、Case 2~4の解析値に対してもCase 2を除き良く一致している。横拘束を緩和して橋全体系の荷重伝達を変えたCase 2では推定値が小さいが、主たる応力である膜応力 σ_m の発生傾向は一致している。すなわち、2つの回転角により、構造条件が変わる場合でも局部応力性状を推定できる可能性があることが確認された。

4. まとめ

橋全体系のFEMモデルを用いた疲労着目部の局部応力解析を行い、局部応力と全体系挙動を表現する変形パラメータの関係を分析した。その結果、構造要因としての床版たわみや、主桁間の相対変位を表現するパラメータである主桁ウェブと床版の回転角差 $(\theta_w - \theta_d)$ と局部応力との関係性を明らかにするとともに、構造条件が異なる場合でも同一の推定式で局部応力を推定できることを確認した。今後、 θ_d と θ_w を比較的簡便な構造解析モデルによる変形パラメータと関連付けることにより、局部応力の発生傾向を概略把握する方法について検討する予定である。

本検討は、土木研究所・施工技術総合研究所・名古屋大学との共同研究「鋼橋の疲労耐久性向上技術に関する共同研究」の一環として実施したものであり、関係各位に謝意を表す。

参考文献 1) 日本道路協会：鋼道路橋疲労設計便覧，2020.9.，2) 大倉一郎，指吸政男，平野浩：プレートガーダー橋の横桁連結部の局部応力と橋の3次元挙動の関係，構造工学論文集，Vol.33A，1987.3.

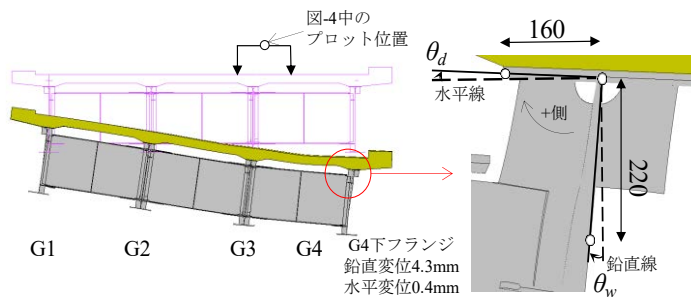


図-3 回転角 θ_d と θ_w の定義(変形倍率:500倍)

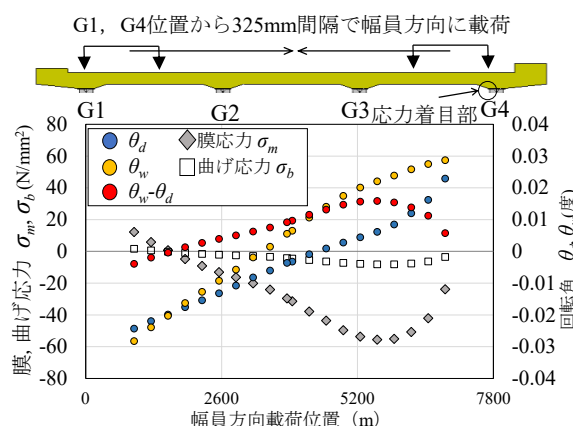


図-4 着目部の応力と変形パラメータの関係

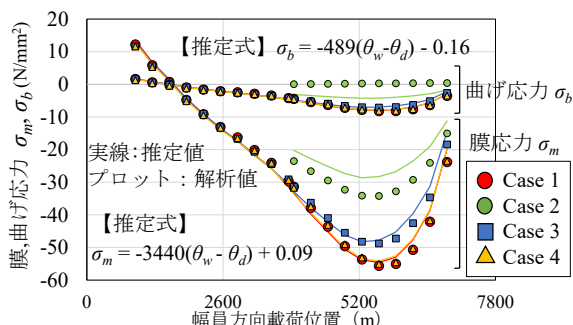


図-5 着目部の応力と推定値の関係