

既設鋼 I 桁橋における疲労耐久性評価のための活荷重応力推定

首都大学東京 学生会員 ○石川 諒太郎 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り付け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、既設鋼 I 桁橋の疲労耐久性を概略評価することを目的として、疲労照査用活荷重 (F 荷重³⁾) に対する応力範囲を推定する方法について検討した結果を報告する。

2. 疲労照査用活荷重応力の推定方法

F 荷重応力の推定にあたって、ここでは設計時の平面格子解析による構造計算を行わずに、橋梁台帳等の保存・記録書類から引き出せる構造諸元情報を基に、同応力を概略推定する手法を考えることにした。推定方法の概要を図-1 に示す。具体的には、図中に示す L, S, d_1, d_2 の 4 つの値から推定を試みた。対象橋梁に F 荷重を載荷した際の着目桁の支間中央断面に生じる応力を、荷重分配効果を表現するための係数 g (荷重分配係数^{4),5)} を用いて、式(1)で表す。 g は図-1 に示す 1 本梁モデルと格子解析による、着目桁に生じる曲げによる直応力の比率を意味する。

$$\Delta\sigma = g \cdot \frac{\Delta M}{I} y_{wj} \cdots (1) \quad g = a_1 \times \left(\frac{d}{S} \right) + a_2 \cdots (2)$$

ここに、 $\Delta\sigma$: F 荷重応力範囲(N/mm²)、 ΔM : 梁モデルに F 荷重を載荷した時の最大曲げモーメント範囲(N・mm)、 I : 断面 2 次モーメント(mm⁴)、 h : 桁ウェブ高(mm)、 y_{wj} : 中立軸から対象とする継手までの距離 (mm)である。以下、本文では、 y_{wj} はフランジ上面位置の応力範囲として説明する。荷重分配係数 g については、3.で述べるが、式(2)のとおり仮定した。ここに、 d : F 荷重の載荷中心位置から着目桁までの距離(mm)、 S : 主桁間隔(mm)、 a_1, a_2 : 回帰分析により設定する係数である。なお、外桁と内桁では、幅員構成と桁配置の関係により主桁設計に考慮する L 活荷重と F 荷重の影響度合いが異なり、また、構造的にも荷重分配の影響が異なるため、区分して荷重分配係数を検討した。

3. 推定式中の各種パラメータの回帰分析

式(1)に関して、F 荷重載荷時の応力範囲(格子解析値) $\Delta\sigma$ を目的変数として、 g に式(2)のとおり 2 変数を導入し、回帰分析を行い、 a_1, a_2 を求め推定式の検討を行った。応力範囲等のデータは、既設橋の再現設計により算出した。再現設計では、活荷重応力が大きい傾向にある昭和 39 年道路橋示方書で設計された道路橋(単純桁、直橋)を主な対象(一部、昭和 55 年道示を含む)とし、当時の標準設計等による設計方法を反映した。支間長(25~50m、有効幅員)、有効幅員(7~9.5m)、主桁本数(3~4 本)、歩道の有無等の異なる、全 14 橋の再現設計を実施した。また、14 橋のうち、4 橋については、それぞれ F 荷重の幅員方向の載荷位置をずらした計 3 ケースについて応力範囲を算出し、全 22 ケースの外桁・内桁の応力範囲データを得た。図-2 に基本とした桁断面(着目桁:G1,G2)を示す。支間中央断面の使用鋼材は、昭和 39 年道示では SM50 (許容応力度 $\sigma_a=190\text{N/mm}^2$)、昭和 55 年道示では SM50Y ($\sigma_a=210\text{N/mm}^2$) である。

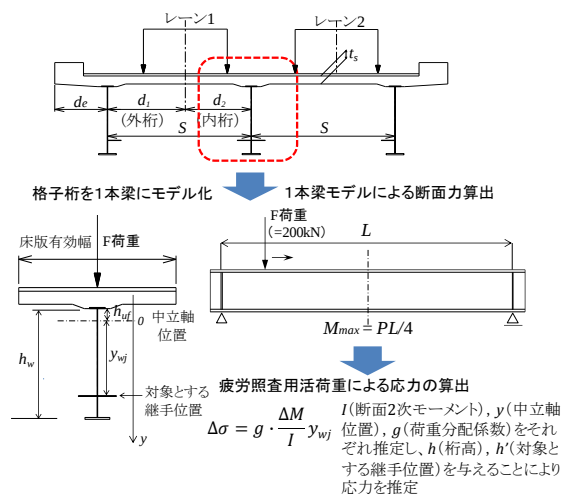


図-1 疲労照査用活荷重応力推定の概要

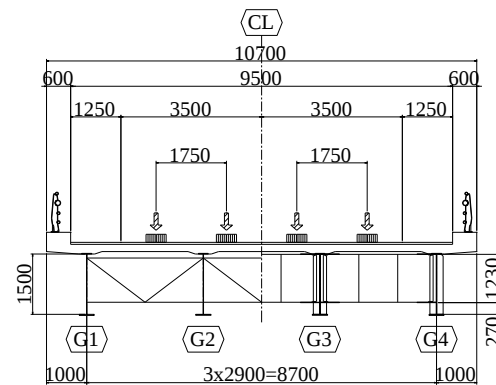


図-2 道路幅員構成と桁配置例

キーワード 既設橋、鋼 I 桁橋、維持管理、疲労照査、応力推定

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 TEL 042-677-2782 E-mail : ishikawa-ryotarol@ed.tmu.ac.jp

図-3 に再現設計より求めた、変動応力補正係数 $\gamma_F^{(2)}$ を考慮した応力範囲(補正後) $\Delta\sigma$ と支間長 L の関係を示す。全ケースの γ_F は2.63~2.68 となっている。なお、疲労上クリティカルとなる横構の取り付け面外ガセット位置(ウェブ下端から270mm 位置)での応力範囲は、図中の下フランジ位置の応力範囲に対して0.76~0.86 の値である。応力範囲は、桁断面力に占める死活荷重比率の影響により短支間ほど大きい傾向にある。右軸には同応力範囲に対して、面外ガセット継手(G 等級)を想定した場合の累積損傷比 D を示している。構造条件によっては累積損傷比が相対的に大きくなることが示唆される。

図-4 に格子解析により算出した荷重分配係数 g と d/S の関係を示す。図中の線種の異なる線は、同一構造諸元の橋で幅員方向載荷位置が異なる場合の結果を結んでいる。特に外桁では g と d/S と概ね線形関係にあり、式(2)はその傾向を表現できると考えられる。一方、内桁は g と d/S に対してほとんど変化しておらず、推定精度を向上させるためには他のパラメータを推定式中に考慮する必要があると考えられる。式(2)以外の式形や変数については検討中であるが、これまでの各種の説明変数を用いた検討では推定精度は大きく変わらないため、両者ともに単純かつ精度も確保される式(2)を考えることとした。

また、応力推定の際の、式(1)中の断面二次モーメント I と中立軸の位置(図-1 中の h_{wf})については、再現設計の結果を基に回帰分析を行い、それぞれ支間長 $L(m)$ の二次式と一次式で表すこととした。

4. 応力度の推定結果

図-5 に応力範囲(補正後)に関して、格子解析値と推定値の関係を示す。また、図-6 に1 橋を例に、幅員方向載荷位置(F 荷重の荷重中心位置)と外桁(G1)及び内桁(G2)の応力範囲の関係を示す。図-5 より外桁・内桁ともに再現設計による格子解析値を良好に推定できている。また、図-6 より載荷位置による荷重分配効果も適切に推定できていることが伺える。以上、限られた構造諸元の既設橋の再現設計に基づく検討結果であるが、構造諸元データに基づく単純桁における疲労照査対象部位のF 荷重応力度の概略推定は可能と考えられる。なお、回帰分析に使用していない実橋数橋の格子解析結果に対して推定式を適用したところ、必ずしも同程度の精度が確保できていない結果も得られており、その原因と推定式について引き続き検討していく予定である。本研究は、(一社)日本鉄鋼連盟「鋼構造研究・教育助成事業」の助成を受けて実施した。ここに、記して謝意を表す。

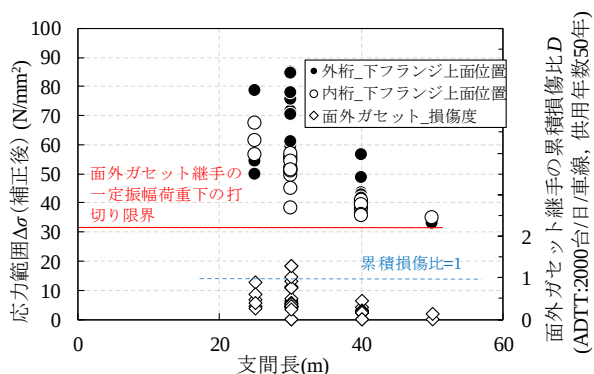


図-3 支間長と応力範囲(補正後)、累積損傷度比の関係

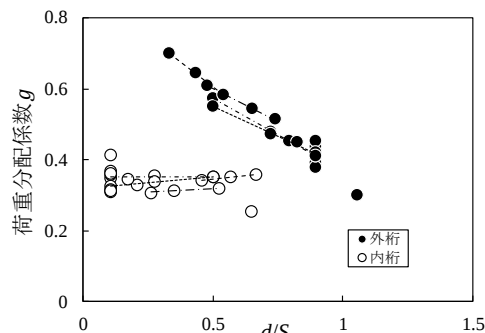


図-4 荷重分配係数と d/S の関係

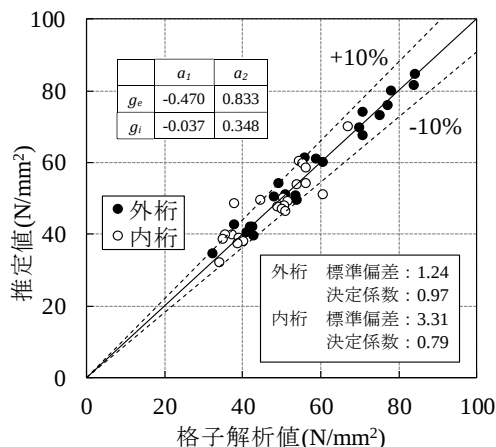


図-5 応力範囲(補正後) $\Delta\sigma$ の格子解析値と推定値の比較

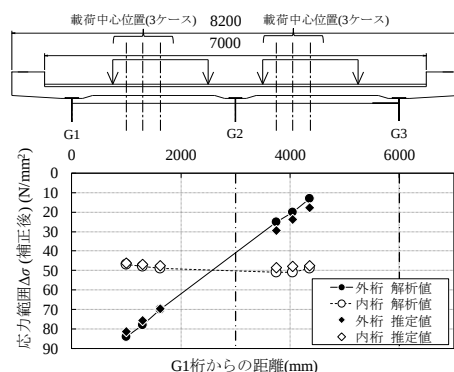


図-6 各桁の応力範囲と d/S の関係例

参考文献：1) 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 Vol.51, No.10, 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) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋・鋼部材編, 2017.11. 4) AASHTO：AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 8th Edition, 2017. 5) 田代, 村越：既設鋼 I 桁橋における疲労照査用活荷重応力度の推定に関する検討, 土木学会第 69 回年次学術講演会概要集, I-485, pp.969-970, 2014.9.