

疲労照査用活荷重に対する既設鋼 I 桁橋の応力推定に関する検討

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 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、落橋に相対的に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、既設橋の再現設計データを基に、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 (荷重分配係数と呼ぶ) の考え方^{4),5)}を参考にして、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)、 y_{wj} : 中立軸から対象とする継手までの距離 (mm)、 L : 支間長 (m)、 h : 桁ウェブ高 (mm)、 d_e : 張出し長 (mm)、 t_s : 床版厚 (mm) である。以下、本文では、 y_{wj} は下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適用する L 荷重と F 荷重の影響度合いが異なり、また、構造的に荷重分配の傾向が異なるため、荷重分配係数 g (外桁 : g_e , 内桁 : g_i) を区分して検討した。

3. 推定式中の各種パラメータの傾向と回帰分析

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。応力範囲に影響を与える構造諸元を網羅できるように、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

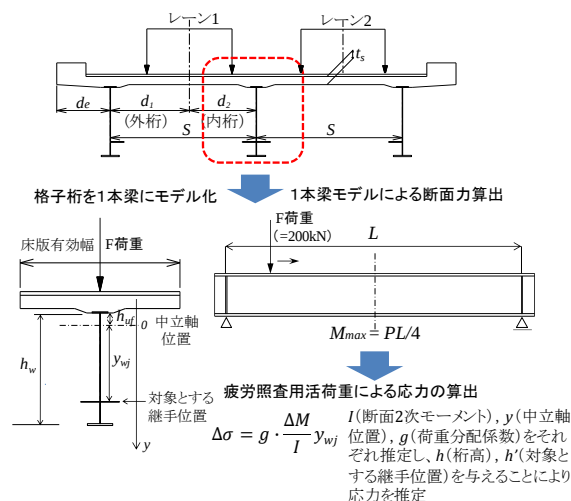


図-1 疲労照査用活荷重応力推定の概要

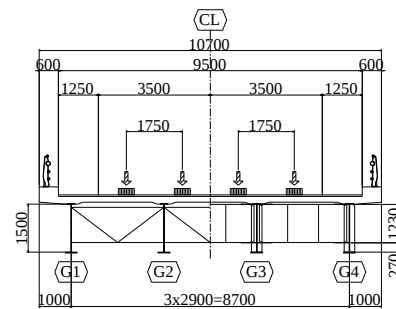


図-2 道路幅員構成と桁配置例

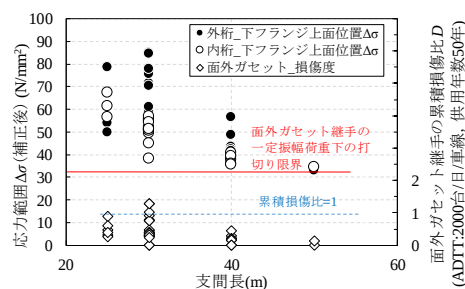


図-3 支間長と応力範囲(補正後)、累積損傷度比の関係

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

荷位置をレーン載荷位置から 20~65cm 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-3 に、再現設計より求めた変動応力補正係数 $\gamma_F^{(2)}$ （以下、補正後と記載）を考慮した応力範囲 $\Delta\sigma$ （補正後）と支間長 L の関係を示す。全ケースの γ_F は 2.63~2.68 である。なお、桁断面内で累積損傷比の大きい横構の取り付く面外ガセット位置（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 の比率である。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、同一の橋で幅員方向載荷位置が異なる 3 ケース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)によりその傾向を表現できると考えられる。一方、内桁で g は 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も種々検討しているが、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)で表すこととした。

応力推定にあたって、式(1)中の断面二次モーメント $I(\text{mm}^4)$ と中立軸の位置（図-1 中の $h_w(\text{cm})$ ）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 $L(\text{m})$ 等による二次式（ $I = a_3 \cdot L^2 + a_4 \cdot L + a_5 \cdot (1/(de + t_s/2)) + a_6$ ）と一次式（ $h_{wf} = a_7 \cdot L + a_8 \cdot (1/(de + t_s/2)) + a_9$ ）で推定することとした。さらに、同推定式を式(1)に反映した上で、式(1)中の荷重分配係数 g の回帰分析を行い、式(2)を求めた。

4. 活荷重応力の推定結果

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 荷重の载荷中心位置）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うかがえる。なお、図中には回帰分析により式を設定した後に、新たに別の実橋 1 橋（外桁、内桁）について推定した結果を△印で示している。同橋は、活荷重合成単純鋼 I 桁（5 主桁、 $L=30\text{m}$ ， $d_f=1225\text{mm}$ ， $S=3500\text{mm}$ ， $h=1600\text{mm}$ ， $d_e=1250\text{mm}$ ， $t_s=200\text{mm}$ ）である。格子解析値を良好に推定できおりパラメータは概ね適切であると考えられる。

既設橋の再現設計のデータを基に、疲労照査用の活荷重応力の推定法の提案を行った。限られた再現設計データに基づく検討結果であるが、少ない構造諸元データより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できることを確認した。引き続き、実橋への適用性について検討していく予定である。

謝辞：本研究の一部は、（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。

参考文献：1) 玉越他：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, pp.39-40, 2009.10. 2) 中村他：「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) 田代他：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.

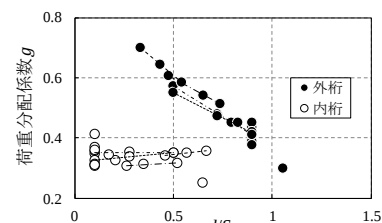


図-4 載荷位置と荷重分配係数の関係

表-1 推定式の係数

	a_3	a_4	a_5	a_6
I_e	11749	-421850	-1384053	9410310
I_i	11788	-432802	-1122523	8276366
	a_7	a_8	a_9	
y_e	-0.3	13.1	-74.8	
y_i	-0.5	11.6	-66.3	

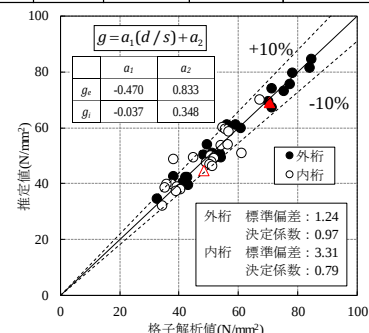


図-5 応力範囲(補正後) $\Delta\sigma$ の格子解析値と推定値の比較

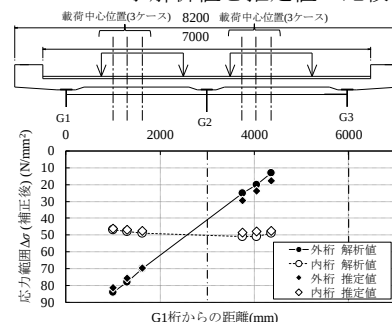


図-6 各桁の荷重載荷位置と応力範囲の関係例