

既設鋼 I 桁橋における F 荷重載荷時の応力推定に関する検討

東京都立大学 学生会員 ○石川 諒太郎 東京都立大学 正会員 村越 潤 岸 祐介

1. はじめに

疲労設計導入前に建設された鋼 I 桁橋において、主桁と横桁の交差部や横構取付け部等の疲労強度の低い溶接継手に、桁破断につながりかねない重大な疲労き裂が報告されている^{1),2)}。これらの疲労損傷を未然に防ぐためには、定期点検に加えて、き裂発生前から戦略的に対策を講じていくことも手段として重要と考えられる。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、道路橋示方書（以下、道示）に規定される疲労照査用の活荷重（F 荷重³⁾）載荷時の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. F 荷重応力の推定式

F 荷重応力の推定にあたって、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。図-1 に推定方法の概要を示す。図中に示す $L, S, d(d_1, d_2), d_e, t_s$ の諸元から、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範囲 $\Delta\sigma_F$ の推定を試みた。具体的には活荷重を載荷した際の、各桁への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）を導入し、既往研究等^{4),5)}を参考に式(1)で表す。

$$\Delta\sigma_F = g \cdot \Delta M \cdot y_w / I \quad (1)$$

ここに、 $\Delta\sigma_F$: F 荷重応力範囲(N/mm²)、 ΔM : 1 本梁モデルに F 荷重を載荷した時の最大曲げモーメント範囲(N・mm)、 I : 断面二次モーメント(mm⁴)、 y_w : 中立軸から対象とする継手までの距離(mm)である。以下、 $\Delta\sigma_F$ については、主桁の応力状態の代表値として、支間中央を対象とし、下フランジ上面位置の応力範囲とする。 $\Delta\sigma_F$ の格子解析値に対して、 g, I, y_w を目的変数として、諸元情報を説明変数として次式により与えた。

$$I: \text{外桁: } I_e = a_1 L^2 + a_2 L + a_3(1/A_c) + a_4 \quad (2a), \quad \text{内桁: } I_i = a_5 L^2 + a_6 L + a_7(1/A_c) + a_8 \quad (2b)$$

$$y_w: \text{外桁: } y_{we} = b_1 L + b_2(1/A_c) + b_3 \quad (3a), \quad \text{内桁: } y_{wi} = b_4 L + b_5(1/A_c) + b_6 \quad (3b)$$

$$g: \text{外桁: } g_e = c_1(d/S) + c_2 \quad (4a), \quad \text{内桁: } g_i = c_3(d/S) + c_4(L/S) + c_5 \quad (4b)$$

ここに、 L : 支間長(mm)、 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)、 d_e : 床版張出し長(mm)、 t_s : 床版厚(mm)、 a_i, b_i, c_i : 回帰分析により設定する係数(表-1)である。 A_c は床版の有効断面積であり、外・内桁ではそれぞれ $(d_e + S/2) \cdot t_s$ 、 $S \cdot t_s$ とした。 g は図-1に示す1本梁モデルと平面格子解析による、着目桁に生じる曲げによる直応力の比率を意味する。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 荷重に対する F 荷重の影響度合いが異なり、構造的にも荷重分配の傾向が異なるため、推定式を分けて検討した。

推定式の設定にあたって、まず、 I, y_w の推定式の回帰係数 a_i, b_i を設定し、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(4)中の回帰係数 c_i を求めた。式(1)中の断面二次モーメント I と中立軸の位置 y_w については、それぞれ支間長 L (m)を主とした2次式と1次式で推定した。なお、本検討では道示の疲労照査と同等の照査

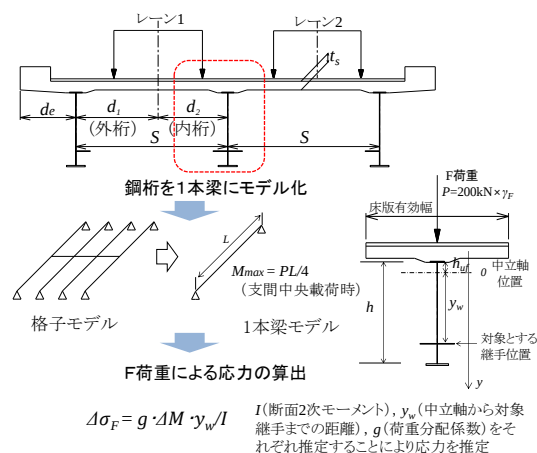


図-1 F 荷重応力の推定方法の概要

表-1 g, I, y の推定式の回帰係数

(a) 断面二次モーメント I

	a_1	a_2	a_3	a_4
I_e	117.5	-4.2×10^6	-1.38×10^{16}	9.4×10^{10}
	a_5	a_6	a_7	a_8
I_i	122.8	-4.6×10^6	-1.11×10^{16}	8.6×10^{10}

(b) 中立軸位置 y_w

	b_1	b_2	b_3
y_{we}	2.6×10^{-2}	-1.8×10^8	900.7
	b_4	b_5	b_6
y_{wi}	2.8×10^{-2}	-1.5×10^8	833.4

(c) 荷重分配係数 g

	c_1	c_2	
g_e	-0.50	0.86	
	c_3	c_4	c_5
g_i	-5.6×10^{-3}	-1.3×10^{-3}	0.35

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 東京都立大学 TEL 042-677-2782 E-mail: ishikawa-ryotaro1@ed.tmu.ac.jp

を行うために格子解析値を推定しており、実応力との相違は計算応力補正係数 ($\gamma_a = 0.8$)³⁾により考慮することとしている。

3. 回帰分析に用いた再現設計データ

応力範囲 $\Delta\sigma_F$ 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、F 荷重応力が大きい傾向にある昭和 39 年道示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(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 橋では、それぞれ幅員方向の荷重載荷位置をレーン位置から 20~65cm ずらした計 3 ケースの応力範囲を算出し、全 22 ケースの外桁・内桁のデータを得た。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。再現設計より求めた変動応力補正係数 γ_F ³⁾(以下、補正後と記載)を考慮した支間中央下フランジ位置の応力範囲 $\Delta\sigma_F$ (補正後)は、28.2~84.5N/mm²、 γ_F は 2.63~2.68 である。なお、横構の取り付く面外ガセット位置(ウェブ下端から 270mm 位置と仮定)での応力範囲は、下フランジ位置に対して 0.76~0.86 の比率である。

図-2 に格子解析より算出された諸量を基に、式(1)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のみを変えた 3 ケースの結果を結んでいる。特に外桁では g と d/S は概ね線形関係にあり、式(4a)によりその傾向を表現できると考えられる。一方、内桁では、 g は d/S に対してほとんど変化せず外桁ほど明確な関係はみられない。式(4a)とは異なる式形や変数についても種々検討したが、推定精度は大きく変わらないため、式(4b)で表すこととした。表-1 に求めた回帰係数を示す。

4. 検討結果

図-3 に応力範囲(補正後)に関して、再現設計データに対する格子解析値と推定値の関係(図中の丸印記号)を示す。また、図-4 に幅員方向に載荷位置を変えた 4 橋について、載荷位置(F 荷重の載荷中心位置)と外桁(G1)及び内桁(G2)の応力範囲の関係を示す。図-4 中の線種の異なる線は、図-2 と同様に、同一の橋で載荷位置のみを変えた 3 ケースの結果を結んでいる。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おり(図-3)、載荷位置による荷重分配効果も適切に推定できている(図-4)ことがうかがえる。

また、図-3 中には、回帰分析により推定式を設定した後に、新たに別の実橋 5 橋(外桁、内桁)について推定した結果(図中の三角印記号)も示している。5 橋は、活荷重合成単純鋼 I 桁(4-6 主桁、 $L=28.9\text{--}40.1\text{m}$ 、 $d_f=1225\text{--}2225\text{mm}$ 、 $S=2900\text{--}3500\text{mm}$ 、 $h=1600\text{--}1900\text{mm}$ 、 $d_e=1000\text{--}1250\text{mm}$ 、 $t_s=180\text{--}210\text{mm}$)であるが、解析値を概ね推定できている。

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、(一財)首都高速道路技術センターの研究助成を受けて実施した。ここに、記して謝意を表する。

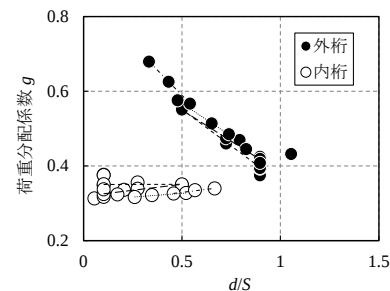


図-2 荷重分配係数と d/S の関係

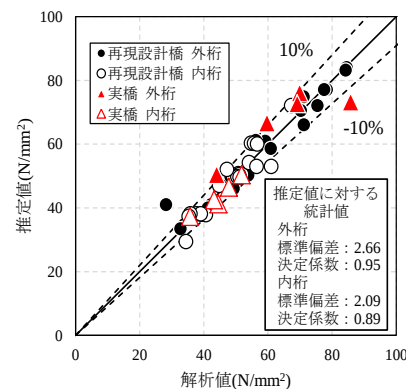


図-3 解析値と推定値の比較

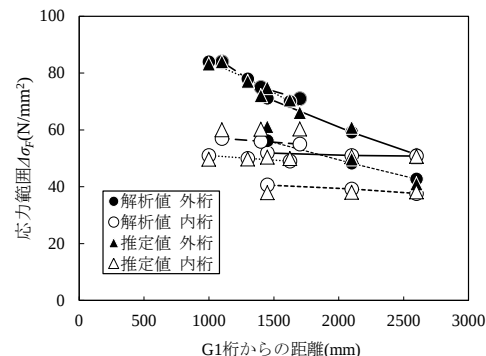


図-4 荷重載荷位置と各桁の応力範囲の関係

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, 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, 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, 2014.9.