

既設鋼桁橋の疲労損傷度評価法に関する検討

独立行政法人土木研究所 正会員 ○次村英毅
独立行政法人土木研究所 正会員 村越 潤
独立行政法人土木研究所 正会員 麓興一郎

1. はじめに

既設鋼橋の疲労損傷に対しては、目視点検により亀裂を出来る限り初期段階で発見し早期に適切な対策を講じることが実務的かつ最も有効な手段と言える。一方、予防保全的な観点から考えると、膨大な数の橋梁を維持管理していく上で、長期供用された活荷重条件の厳しい橋梁や構造的に活荷重（T荷重）応力が大きいと想定される橋梁について、疲労ダメージの蓄積を踏まえた上で点検の質（例えば、点検間隔、優先度等）を橋梁毎に重み付けしていくことも一つの方法と考えられる。本文では、既設鋼橋の大部分を占める鋼 I 桁橋（単純桁）の溶接継手を対象とし、過去に測定された鋼 I 桁橋の応力頻度測定結果を基に、橋梁毎の交通条件や構造条件を考慮して疲労耐久性の相違を概略評価する方法について検討を行ったので概要を報告する。

2. 評価方法の概要

既設橋の疲労損傷度（主桁ウェブガセット継手を対象）を概略評価することを目的として、道路管理データベース（MICHI）、設計図面等の既存資料により使用可能な情報に応じて以下の方法を考えてみた。より詳細に評価を行う場合には、一般的に行われている応力頻度測定によることになる。

方法1：大型車交通量のみを考慮した評価方法¹⁾

対象橋梁の日大型車交通量を基に、既存の鋼 I 桁橋応力測定結果から推定した大型車交通量～疲労損傷度関係を用いて、疲労損傷度を推定する方法である。

方法2：大型車交通量と橋梁の構造条件を考慮した評価方法

鋼 I 桁橋に対して、その都度格子解析等により応力を算出するのは労力・費用の負担が大きいことから、主要な構造諸元を用いて T 荷重載荷時の主桁曲げ応力（以下、 σ_T ）を算出する。この応力と日大型車交通量を基に、既存の鋼 I 桁橋応力測定結果から推定した大型車交通量・ σ_T ～疲労損傷度の関係を用いて、疲労損傷度を簡易に求める方法である。

方法1については既に文献1)に一部紹介しているので、以下、主に方法2について述べるとともに、ある直轄工事事務所管内の鋼 I 桁橋に適用した場合の評価結果について考察する。

既存の応力測定データは、主に文献2)に報告されている鋼 I 桁橋 53 橋（33 橋：合成単純桁、20 橋：非合成単純桁）における主桁支間中央下フランジの 24 時間応力頻度計測結果である。このうち、30 橋では荷重車（20tonf ダンプトラック）の静的載荷試験を実施しており、各レーンの支間中央載荷時の各主桁の応力測定を行っている。

3. 評価方法に関する検討結果

3.1 方法1（大型車交通量のみを考慮した評価）¹⁾

図-1 に各橋梁の最大応力発生桁について、24 時間応力頻度分布を基に、ウェブガセット継手の 50 年間の疲労損傷度 D と日大型車交通量の関係を示す。継手の疲労強度にはガセット継手の G 等級（200 万回疲労強度 50MPa）⁵⁾を用いた。また、継手部の応力は取付け位置を考慮し、下フランジ応力の 0.9 倍と仮定した。図中のプロットは変動応力振幅に対する打ち切り限界は考慮せずに疲労損傷度を算出している。図中の凡例中の記号は静的載荷試験を実施した橋梁について荷重車載荷時の実応力（各主桁の $\sigma_{T-20(l-y)}$ の最大値）により分類している。ここで、 $\sigma_{T-20(l-y)}$ とは、着目桁に近い車線（ $l-y$ ）に荷重車を載荷した場合の応力度であり、隣接車線に荷重車を載荷した場合の応力度を $\sigma_{T-20(l-y-2)}$ とした。▲は応力頻度測定のみを実施している橋梁である。

荷重車載荷時の応力 $\sigma_{T-20(l-y)}$ が大きいほど疲労損傷度が大きくなる傾向が見られるが、概ね疲労損傷度と日大型車交通量の相関があることから、方法1では以下の式(1)により疲労損傷度を計算するものである。

$$D = 1.2 \times 10^3 \times Q^{0.84} \times N / 50 \quad (N: \text{供用年数}) \quad \cdots \text{式(1)}$$

なお、図-2 は活荷重載荷シミュレーション³⁾により算出した疲労損傷度と図-1 中にプロットした疲労損傷度を比較したものである。一般国道 357 号有明（昭和 59 年計測、大型車の総重量の 3 乗平均値は 19.2tonf）計測データを基にした活荷重モデルを用いるとともに、各橋梁の支間長、荷重車載荷時の各レーンの応力を計算に反映した。衝撃係数には文献5)の値を用いている。

概ね両者の傾向は一致しているが、活荷重載荷条件の違いと推測されるばらつきが見られており、今後、路線の活荷重特性が把握できれば、方法1,2

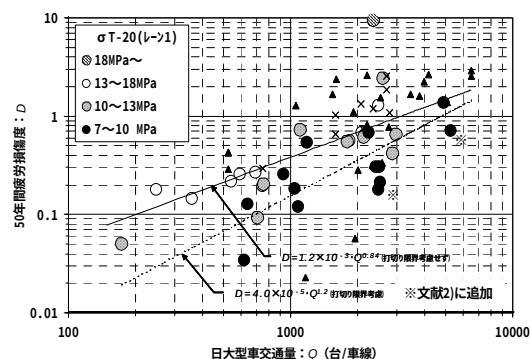


図-1 疲労損傷度と日大型車交通量の関係

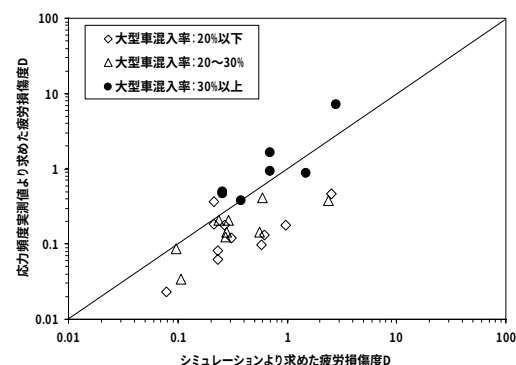


図-2 活荷重シミュレーションによる疲労損傷度と疲労損傷度実測値の比較

キーワード：既設橋、応力頻度、疲労損傷度、荷重分配係数(Distribution Factor)、橋梁点検

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6 TEL:029-879-6793 FAX:029-879-6739

ともにより精度の高い推定につなげられるものと考えられる。

3.2 方法2 (大型車交通量と構造条件を考慮した評価)

継手部疲労設計を行う場合には T 荷重載荷時の応力が必要となるが、「鋼道路橋の疲労設計指針（道路協会、H14.3）⁵⁾」適用以前の既設橋では改めて格子解析により応力を算出する必要がある。一方、格子解析による計算値については実測値とのずれも指摘されており、ここでは、格子解析を行わずに簡易に応力を算定する方法を考えることとした。図-3に前述の静的載荷試験による支間中央下フランジ応力に対する、格子解析及び簡易算定式による計算値を示している。

なお、図中のプロットデータは、前述の 30 橋の内の 10 橋のレーン 1 とレーン 2 の全桁（全データ数：66データ）を使用した。

簡易算定式は AASHTO LRFD コード中⁵⁾の荷重分配係数の評価式 (Distribution Factor, 以下 DF) を参考に、載荷位置中心と対象主桁間の距離 d 及び主桁間隔 s 、支間長 L 、床版張出長 de によるパラメータを導入し、前述の静的載荷試験結果と一致するように回帰したものであり、次式(2)で表される。

$$DF(\text{内桁}) = 0.308 - 0.087(d/s) \cdot (s/677900)^{0.4} \times (s/L)^{0.3} \cdots \text{式(2)-1}$$

$$DF(\text{外桁}) = DF(\text{内桁}) \times (0.78 + de/2790) \cdots \text{式(2)-2}$$

式(2)は、図-4に示すように T 荷重を一本梁モデルに載荷した時の断面力に乗じる値として与えるものである。この式により求めた応力と格子解析と比較しても概ね推定可能なことがわかる。上記の結果から、 σ_T を利用して、疲労損傷度の算定式を以下のように仮定した。

$$D = \{1.05 \times (\sigma_{T(l-1)})^3 + \sigma_{T(l-2)}^3\} \times Q \times 365 \times N / C \cdots \text{式(3)}$$

ここで、

$\sigma_{T(l-1)}$ 、 $\sigma_{T(l-2)}$ ：それぞれ着目桁に近い車線(レーン 1)と隣接車線(レーン 2)に T 荷重を載荷した場合の応力度、 Q ：日大型車交通量(台/車線)、 N ：供用年数

3.3 実橋に対する適用結果

上記の評価方法を用いて、ある直轄工事事務所管内の鋼橋 59 橋を対象に疲労損傷度（主桁支間中央位置のウェブガセット継手：G 等級を想定）の試算を行った。橋梁点検結果によれば、ここで対象とする主桁溶接継手の疲労亀裂は報告されていない。方法 1 については鋼橋 59 橋の路線の大型車交通量（MICHII データベースによる）を用いて評価を行い、方法 2 については 59 橋のうち構造条件（主桁断面、床版厚、車線位置等）の資料が収集できた 15 橋について評価を行った。

なお、方法 2 では主桁毎に評価されるが、ここでは各橋梁につき主桁各 1 本のみ対象とし、その桁の応力を $\sigma_{T(l-1)}$ とした。 $\sigma_{T(l-2)}$ については、 σ_T が大きい場合には車線応力比 $(\sigma_{T(l-2)} / \sigma_{T(l-1)})$ は 0.5 以下であることから、本検討では $\sigma_{T(l-2)}$ を $\sigma_{T(l-1)} \times 0.5$ と仮定し計算を行った。

図-5に 59 橋の供用年数の日大型車交通量の関係と方法 1(式(1))による疲労損傷度を、図-6にうち 15 橋の方法 2 による評価結果を示す。また、図-5 中には、ウェブガセット継手の疲労強度の平均値曲線⁹⁾より推定した損傷度曲線と、方法 2 の評価を行った橋梁（●印）を示している。仮に疲労損傷度 1.0 を目安値とすると、方法 1 の照査では 3 橋、方法 2 の照査では 5 橋（6 主桁）において応力(σ_{T20})の高い橋梁（主桁）で 1.0 を越える橋梁が確認された。

損傷度絶対値そのものは決して信頼度の高い値ではないが、疲労損傷に対して点検段階での多少の重み付け、例えば、日大型車交通量を基に疲労の影響の厳しい橋梁の絞り込み、点検の優先順位付け等の判断材料等への活用は可能と考えられる。

【参考文献】

- 1) 次村林越範, 高木：応力頻度測定結果を基にした既設橋の疲労損傷度の評価に関する検討, 土木学会第 58 回年次講演会, 平成 15 年 9 月
- 2) 建設省土木研究所：既設橋梁の耐久性評価向上技術に関する調査研究 II・III, 土木研究所資料, 第 2615 号, 第 2682 号
- 3) 三木杉本, 宮崎森：鋼道路橋の疲労照査のための荷重に関する研究, 土木学会構造工学論文集 Vol.36A, 平成 2 年 3 月
- 4) AASHTO LRFD Bridge Design Specification Second Edition 1998
- 5) (社)日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針, 丸善出版, 平成 14 年 3 月
- 6) (社)日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 平成 5 年 4 月

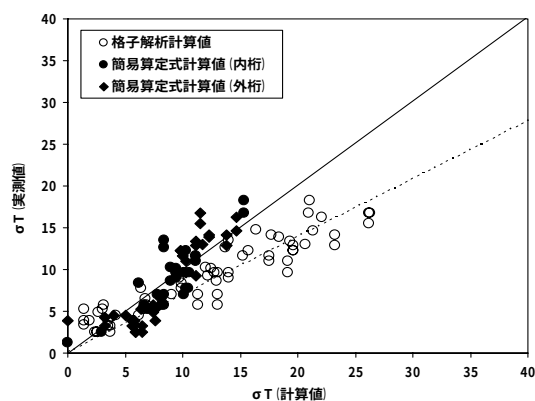


図-3 格子解析及び簡易式による σ_{T20} 計算値

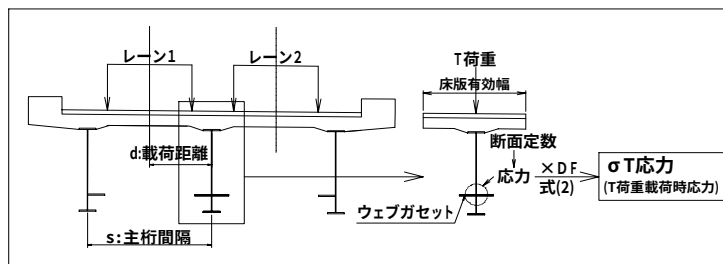


図-4 T 荷重載荷時応力の算出手順

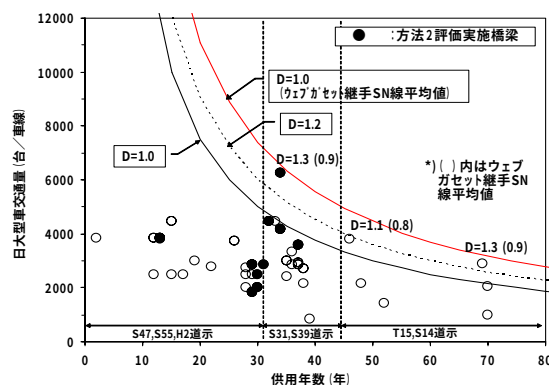


図-5 方法 1 による疲労損傷度照査結果

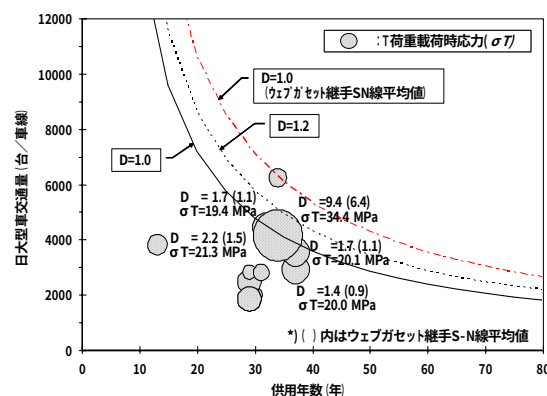


図-6 方法 2 による疲労損傷度照査結果