

鋼橋ソールプレート溶接部の疲労照査に用いる1点代表応力に関する考察

西日本旅客鉄道(株) 正会員 ○丹羽 雄一郎 京橋ブリッジ(株) 正会員 公門 和樹
(株) レールテック 正会員 七村 和明

1. はじめに

鋼構造物の疲労照査において、継手の形状が複雑な場合や面外曲げにより局部的に応力が発生する場合などのように、公称応力が明確に定義できない場合は、ホットスポット応力を用いた疲労照査を行うことができる。ホットスポット応力の求め方には1点代表法、2点外挿法、3点外挿法などがあるが、JSSC指針¹⁾では国際溶接学会(IIW)の基準と同様に、溶接止端から $0.4t$ 、 $1.0t$ (t :板厚)による2点外挿法を取り入れている。しかし、既設構造物において溶接止端近傍2点の実測値からホットスポット応力を求めようとする場合、狭隘部位の継手では作業性が悪いことが多く、ひずみゲージ貼付位置のずれが生じる可能性が高い。そのため、鉄道橋では国鉄時代より、公称応力が定義できない場合においては、作業性向上と計測位置標準化のため、溶接止端から10mm位置の応力を1点代表応力として疲労照査が行われることが多かったが²⁾、その妥当性等に関する報告は見当たらず、これまであまり議論されていないように思われる。そこで本稿では、公称応力が定義できない代表的な部位である鋼橋ソールプレート溶接部の止端破壊を対象に、列車載荷時の応力計測結果から疲労照査に用いる1点代表応力について考察する。

2. 計測対象と計測方法

計測対象は支間35.0m~50.2mの箱断面単純合成桁8連の内24支承とした。支承形式は各橋とも図-1に示すBP-A支承で、ソールプレートは全周すみ肉溶接(脚長8mm)で取り付けられている。支承部下フランジの板厚は13mmもしくは15mmで鋼種はSM50(SM490)、ソールプレートの板厚は28mmで鋼種はSM41(SM400)もしくはSS41(SS400)である。計測方法は図-2に示すように、ソールプレート溶接部前面の下フランジ側止端から4mm、7mm、10mm、13mm、16mm位置の下フランジ下面の橋軸方向応力(測点s1~s5)を応力集中ゲージ(ゲージ長2mm、ゲージピッチ3mm)で計測した。同30mm、45mm位置の橋軸方向応力(測点s6、s7)を単軸ゲージ(ゲージ長5mm)で計測した。また、ソールプレート前端直上のウェブ・下フランジ溶接部のウェブ側止端から10mm位置のウェブ外面の鉛直方向応力(測点s8)を単軸ゲージ(ゲージ長5mm)で計測した。図-3に測点s1~s7のひずみゲージ設置状況例を示す。

3. 計測結果

図-4に計測結果の一例(1連4支承)を示す。図に示す応力度は、測点s1がピーク時の測点s1~s7の応力度である。また、計測値から求めた溶接止端位置におけるホットスポット応力(HSS)も併せて示す。ホットスポット応力は前記のIIWの2点外挿法で求めた。 $0.4t$ 、 $1.0t$ 位置の応力は、それぞれ近傍2点の計測値から線形補間で求めた。各支承ともソールプレート溶接部前面止端に近くにつれ圧縮応力が高まっている。これは既報³⁾のように、支承の可動不良を一因として、ソールプレート溶接部前面近傍の下フランジに圧縮軸力と局部的な面外曲げが生じるためである。次に、図-5に全計測対象支承における測点s3と測点s8の応力度ピーク値の関係を示す。両者には明確な相関が認められる。



図-1 支承部の状況

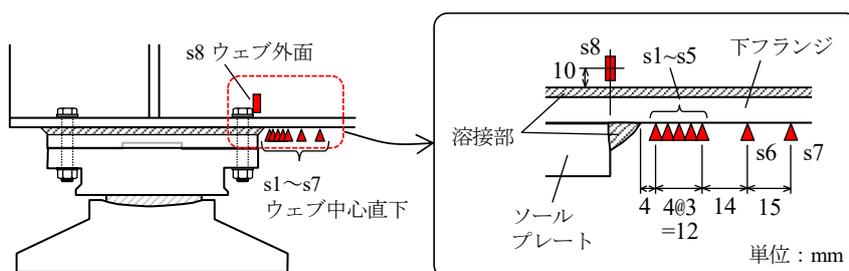


図-2 計測位置 (■,▲: ひずみゲージ)



図-3 ひずみゲージ設置状況例

キーワード 鋼鉄道橋, 疲労照査, ホットスポット応力, 1点代表法, ソールプレート溶接部

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島5-4-20 中央ビル2階 西日本旅客鉄道(株) 構造技術室 TEL 06-6305-6958

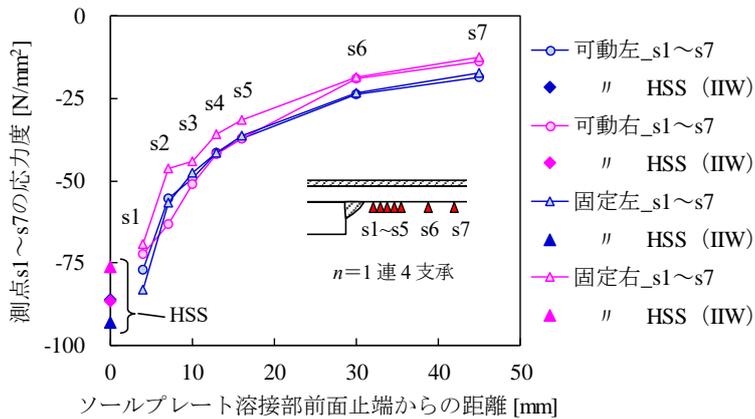


図-4 計測結果例 (1連4支成分の測点s1~s7&HSS)

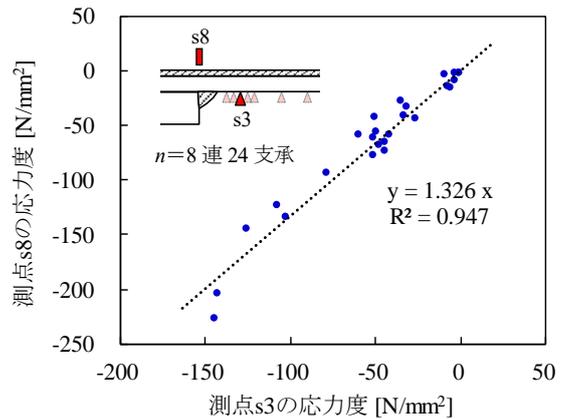


図-5 測点s3と測点s8の応力度の関係

4. 疲労照査に用いる1点代表応力に関する考察

ここでは、ソールプレート溶接部止端破壊の疲労照査に用いる1点代表応力について考える。全計測対象支承について、測点s1~s7の各応力度のホットスポット応力に対する割合を求め、その平均値 ($\sigma_i / \sigma_{HS-Av}$) と標準偏差および変動係数を図-6に示す。標準偏差は応力参照位置10mm~45mmの各位置において0.1前後で概ね同等となっているが、変動係数は10mm位置において最小となっておりばらつきが最も小さいといえる。ソールプレート溶接部の継手種類を、カバープレートをすみ肉溶接で取り付け付けた継手(非仕上げ, $L > 300\text{mm}$, L : 付加板の軸方向長さ)と考えると、疲労強度等級はG等級(200万回基本疲労強度 $\Delta\sigma_{FG} = 50\text{N/mm}^2$)である。ホットスポット応力に対する疲労強度等級はE等級(200万回基本疲労強度 $\Delta\sigma_{FE} = 80\text{N/mm}^2$)であり、 $\Delta\sigma_{FG} / \Delta\sigma_{FE}$ は $50\text{N/mm}^2 / 80\text{N/mm}^2 = 0.625$ である。一方、 $\sigma_i / \sigma_{HS-Av}$ のばらつきが最も小さかった10mm位置の $\sigma_{10} / \sigma_{HS-Av}$ は0.581である。これは10mm位置の応力を1点代表応力としてG等級で疲労照査した場合、ホットスポット応力による疲労照査より1.24倍($= (0.625 / 0.581)^3$)長い疲労寿命を与えることを意味するが、既設構造物の維持管理における対策実施優先度の検討や要注意箇所抽出といった1次スクリーニングにおいては、実務上許容しうる程度の差異と考える。以上より、今回計測対象とした下フランジ板厚 ($t = 13\text{mm}$, 15mm) 程度におけるソールプレート溶接部止端破壊については、疲労照査に用いる1点代表応力の位置を溶接止端から10mm位置とすることは概ね妥当と考える。なお、溶接止端から7mm, 10mm, 13mm位置の応力勾配は概ね線形に近いので、計測に用いるひずみゲージは汎用的なゲージ長5mmのものでよいと考えられる。

また、図-5に示したように、測点s3と測点s8の応力度に明確な相関があることから、ソールプレート溶接部前面へのひずみゲージ貼付が困難な場合においては、貼付作業が比較的容易な測点s8の応力度をソールプレート溶接部止端破壊の疲労照査の参照応力とすることも可能と考えられる。 $\sigma_{10} / \sigma_{HS-Av}$ のばらつきと $\sigma_3 - \sigma_8$ 関係のばらつきが重畳するため精緻な疲労照査には向かないが、前述のように1次スクリーニングにおいては有用な方法と考える。

5. まとめ

- (1) 公称応力が定義できない代表的な部位である鋼橋ソールプレート溶接部の止端破壊を対象に、疲労照査に用いる1点代表応力について実橋計測により検討した結果、今回計測対象とした下フランジ板厚 ($t = 13\text{mm}$, 15mm) 程度においては、過去から用いられることの多かった溶接止端から10mm位置の1点代表応力は妥当と考える。
- (2) ソールプレート溶接部前面へのひずみゲージ貼付が困難な場合においては、ソールプレート前端直上のウェブ面の鉛直方向応力を、ソールプレート溶接部止端破壊の疲労照査の参照応力とすることも可能と考えられる。

参考文献

- 1) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説-付・設計例-2012年改定版，技報堂出版，2012。
- 2) 小芝明弘，堀口哲夫，杉本一朗，阿部允，贄田秀世，館石和雄：ホットスポット応力の考え方を利用した実橋計測におけるゲージ位置，土木学会第47回年次学術講演会，I-491，pp.1156-1157，1992。
- 3) 丹羽雄一郎，松本健太郎，矢島秀治，小林裕介：鉄道合成桁ソールプレート溶接部の疲労対策，構造工学論文集，Vol.58A，pp.611-621，2012。

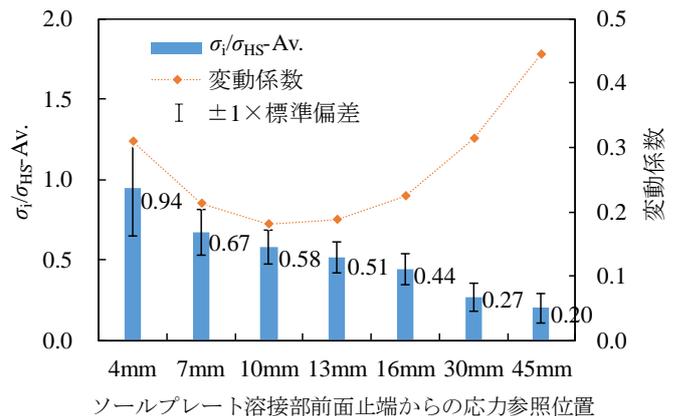


図-6 各測点応力度のHSSに対する割合