

面外ガセットスカラップ部の疲労強度に関する解析的検討

日本車輛製造 正会員 ○吉嶺 建史

1. はじめに

鋼橋で用いられる溶接継手の一つに面外ガセットがある。JSSC の疲労設計指針¹⁾ (以下、指針) では、その形状や、仕上げの有無等によって、面外ガセットの疲労強度を E～G 等級に区分している。実橋では、主桁ウェブの垂直補剛材を避けるため、面外ガセットにスカラップが設けられる場合があるが、スカラップ部の疲労強度について指針では触れられていない。面外ガセットを E 等級とする必要が生じた場合、図-1 に示す始末端部にはフィレットを設けることで、E 等級を満足させることができる。一方、スカラップ部にはフィレットを設けられず、完全溶け込み溶接し、止端仕上げをしても、E 等級は満たさないと考えられる。森ら²⁾は、80R のスカラップをモデル化した FEM 解析及び疲労き裂進展寿命解析を実施し、スカラップ部の疲労強度は、始末端部のそれと同程度であるとしているが、スカラップ形状等によっては疲労強度が異なることが予想される。そこで、面外ガセットスカラップ部の疲労強度に影響を与える要因について、解析的に検討した。

2. FEM 解析

スカラップ部の応力状態を把握するため、3次元 FEM 解析を行った。対象とした試験体の形状を図-2 に示す。応力分布に影響を与えると考えられる要因として、表-1 に示すパラメータを設定した。要素分割例を図-3 に示す。応力集中係数を算出するまわし溶接近傍の要素サイズは、0.1mm とした。また、対称性を考慮し、1/4 モデルとした。解析結果を図-4 に示す。図は $tw-tv-b$ が 11-10-35 の場合に、縦軸に応力集中係数、横軸にスカラップからの距離をとり、主板の板幅中心での応力分布を整理したものである。スカラップからの距離は、図中に示すように、スカラップと主桁ウェブの交点を原点にとった。応力のピークが 3箇所で見られるが、それぞれ図の左から始末端部、スカラップ部、垂直補剛材部となる。図より、スカラップ部のまわし溶接止端の応力集中係数は、ガセットの始末端におけるそれよりも大きいことが分かる。これは主板が全体的にはガセットのない側に面外変形するが、スカラップ部では、逆にガセット側に変形することが関係していると考えられる。また、垂直補剛材からガセットまでの離れ b が大きい方が応力集中係数は小さいことが分かる。 b が十分広くなれば、スカラップ部は始末端部の応力分布に近づくことが予想される。なお、始末端部については、スカラップ形状によらず、応力集中係数はほぼ一定であった。他の解析ケースについては図-5 に、横軸に垂直補剛材の板厚 tv を取り、スカラップ部の応力集中係数の最大値のみを整理した。図中の 2本の破線は、それぞれ $tv10mm$ で tw が 11mm、25mm の場合の、始末端部での応力集中係数の最大値である。 tw に着目すると 11mm から 25mm に厚くなることで応力集中係数も大きくなり、板厚効果が認められる。また、 tv に着目すると、垂直補剛材の断面が大きくなると応力集中係数が大きくなるが、これは、垂直補剛材による主

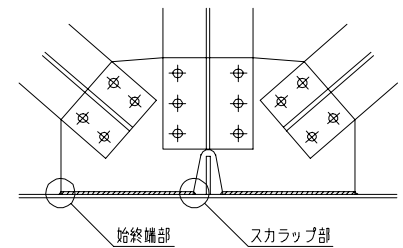


図-1 面外ガセット

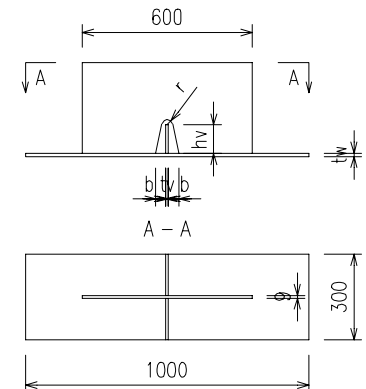


図-2 試験体形状

表-1 解析パラメータ

tw (mm)	11, 25
$hw \times tv$ (mm)	100×10, 150×15, 250×25
b (mm)	35, 50
r (mm)	20 ($tv=10, 15$), 25 ($tv=25$)

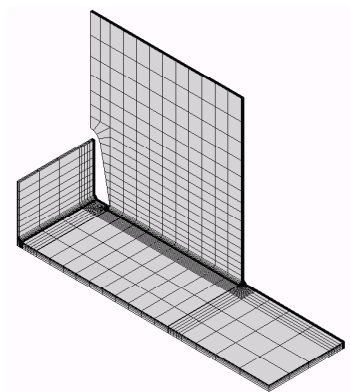


図-3 FEM モデル

キーワード 面外ガセット, スカラップ, 疲労強度, FEM 解析, 疲労き裂進展寿命解析

連絡先 〒475-0831 愛知県半田市11号地20番地 日本車輛製造(株) TEL 0569-22-7603

板の拘束状態、スカラップの高さ、幅のいずれが影響しているか、さらに検討が必要であると考えている。

次に、今回の解析ケースでスカラップ部の応力集中係数の最大値が最も大きいケースと最も小さいケースについて、溶接止端部の止端半径を考慮した FEM 解析を行った。止端半径は、2R, 5R とし、始末端部、スカラップ部ともにモデル化した。tw が 11mm のケースについては、10R の場合も実施した。2R は溶接まま、5R, 10R は止端仕上げを想定している。解析結果を図-6 に示す。図は、始末端部、スカラップ部の板厚方向の応力分布を示したものである。止端半径による応力分布の差は認められるが、主板表面近傍において、始末端部とスカラップ部で応力分布に大きな違い認められなかった。

3. 疲労き裂進展寿命解析

FEM 解析より、破壊力学の手法を用いた疲労き裂進展寿命解析を行った。解析は、2 で溶接止端部の止端半径を考慮したケースで、スカラップ部と始末端部について行った。設計曲線としては、指針の最安全設計曲線を用い、応力拡大係数範囲 ΔK (MPa $\sqrt{m}$) は、 $F_g \cdot F_e \cdot F_s \cdot F_t \cdot \Delta \sigma \sqrt{\pi a}$ で算出した。その際、き裂形状は半楕円と仮定し、板厚方向と板幅方向のき裂長の比は、1/3 とした。また、主板の板厚方向の初期き裂長を 0.1mm, 限界き裂長を主板の板厚 $\times 0.8$ とした。解析結果を図-7 に示す。図は、それぞれのケースについて 200 万回疲労強度を整理したものである。図中の破線は、指針の E, F, G 等級の 200 万回疲労強度である。図に示すように、始末端部とスカラップ部の疲労強度はほぼ同程度であった。

4. まとめ

(1) 面外ガセットのスカラップ部の応力集中係数は、垂直補剛材からガセットまでの離れを大きくすることで低くすることができる。また、垂直補剛材の断面が大きくなると、応力集中係数も大きくなる。

(2) 面外ガセットのスカラップ部の疲労強度は、溶接止端部の仕上げを考慮しても、始末端部よりは高くすることはできない。したがって、E 等級を要求される場合には、主桁の板厚を厚くして発生応力を低減させるなどして、F 等級で照査を満足させる必要がある。

(3) 今回は疲労強度について解析的に検討したが、本解析モデルと実橋での挙動との整合性の確認や、疲労試験による疲労強度の確認を行う必要がある。また、実橋での当該箇所からの疲労き裂の発生は、横構により引き起こされるスカラップ部の面外変形³⁾も要因であることから、横構の挙動を考慮した 2 軸応力下での検討も必要であると考えている。

参考文献

- (1) (社) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，1993。
- (2) 森猛，下平憲史：溶接スカラップ部の応力・疲労強度解析，土木学会第 49 回年次学術講演会講演概要集，I-238，1994。
- (3) 木ノ本剛，平林泰明：鋼 I 桁橋の横構ガセットスカラップ部に発生した疲労損傷の原因分析，土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集，I-037，2007。

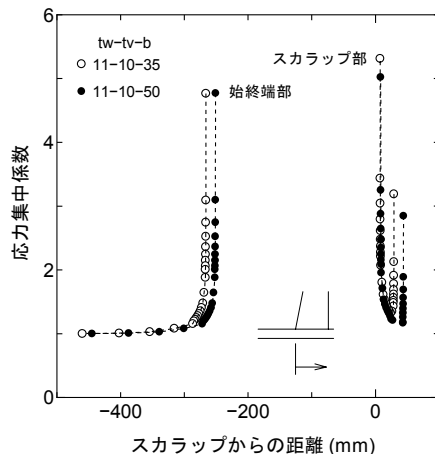


図-4 板幅中心での応力分布

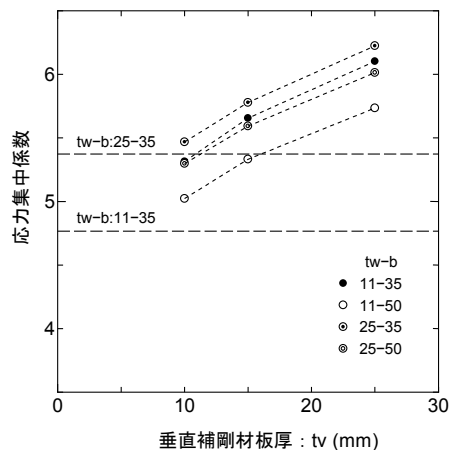


図-5 各ケースの応力集中係数の最大値

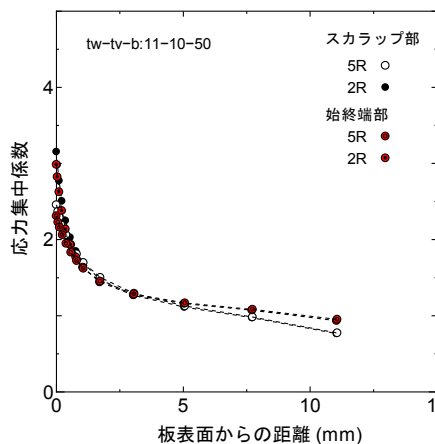


図-6 板厚方向の応力分布

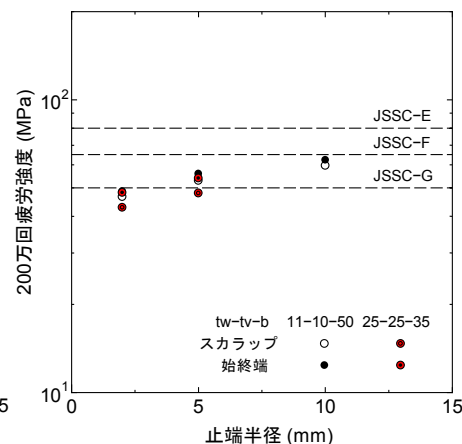


図-7 200 万回疲労強度