第Ⅰ部門

突合せ溶接継手の軸及び曲げ疲労性能統一評価手法

大阪大学大学院 工学研究科　学生員　○柴山 颯良
大阪大学大学院 工学研究科　学生員　野田 雄也
小松製作所 生産技術開発センタ　非会員　宮本 佳苗
小松製作所 生産技術開発センタ　非会員　田中 宏徳
大阪大学大学院 工学研究科　正会員　堤 成一郎

1. 緒言

鋼橋などの溶接構造物には軸力と曲げが重畳する複合荷重が作用するが，一般に曲げ条件下の疲労特性は軸力に対して高寿命となる．この疲労強度差を補正するため，日本鋼構造協会（JSSC）疲労設計指針では曲げ補正係数（γ）を定数 0.8 と定めている．しかし，この一律の値は設計基準に対して過度に安全側な評価となることが指摘されている．

これに対して，継手形状の影響を考慮した曲げ補正係数が複数提案されているが，いずれも溶接部や板厚の影響のみに着目しており，角変形および目違いなどの継手全体の形状が曲げ補正係数に与える影響は十分に考慮されていない．また，いずれの手法も評価応力として公称応力を採用しており，溶接部の局所形状が疲労性能に及ぼす影響の考慮が十分になされているとは言えない．

そこで本研究では，突合せ溶接継手の軸および曲げ疲労性能の統一評価手法を提案することを目的とする．具体的には，継手形状の影響を考慮した新たな曲げ補正係数を提案するとともに，著者ら [1)2)]が提案する自動多断面形状分析に基づき算出した局所応力範囲による疲労性能評価を行い，提案手法の妥当性を検証する．

2. 評価対象継手および自動多断面形状分析結果

板厚 16mm の SS400 鋼板を供試材とする突合せ溶接継手を Metal Active Gas（MAG）溶接により製作し，軸引張疲労試験および 4 点曲げ疲労試験をそれぞれ実施した．それぞれの試験結果について，公称応力範囲に基づき作成した S-N 曲線を**図-1(a)**に示す．ここで，曲げ試験の公称応力範囲に曲げ補正係数として定数 0.8 を乗じている．この図より，試験結果のばらつきを示す標準偏差は 0.410 であり，定数 0.8 による補正後も，軸および曲げ疲労性能のばらつきが依然として大きく，設計基準に対して曲げが過度に安全側に評価されていることを確認した．

全ての試験片に対して，3D スキャナを用いて形状計測を実施した．また，3D 点群データから 2 次元断面データを取得し，自動多断面形状分析を実施した結果，得られた関数形状と実形状データが高精度で一致することを確認した．

3. 軸および曲げ疲労性能の統一評価

(1) 疲労性能評価の提案手法

本研究では，評価応力を公称応力から局所応力へ拡張した統一評価手法を提案する．局所応力範囲は，いずれも自動多断面形状分析により得られる応力集中係数（K_t）および角変形・目違いの影響係数（K_m）に公称応力範囲を乗じて算出する．

また，曲げ補正係数に関して，従来用いられている定数（γ_1=0.8），大沢ら [3)]が提案した軸力および曲げ作用下のK_tの比（γ_2）（**式(1)**参照），および本研究で提案するγ_2に軸力および曲げ作用下のK_mの比を乗じた曲げ補正係数（γ_3）（**式(2)**参照）の 3 種類を用いて比較検討を行う．

$$\gamma_2 = K_{t_b}/K_{t_a} \quad (1)$$

$$\gamma_3 = \gamma_2 \cdot (K_{m_b}/K_{m_a}) \quad (2)$$

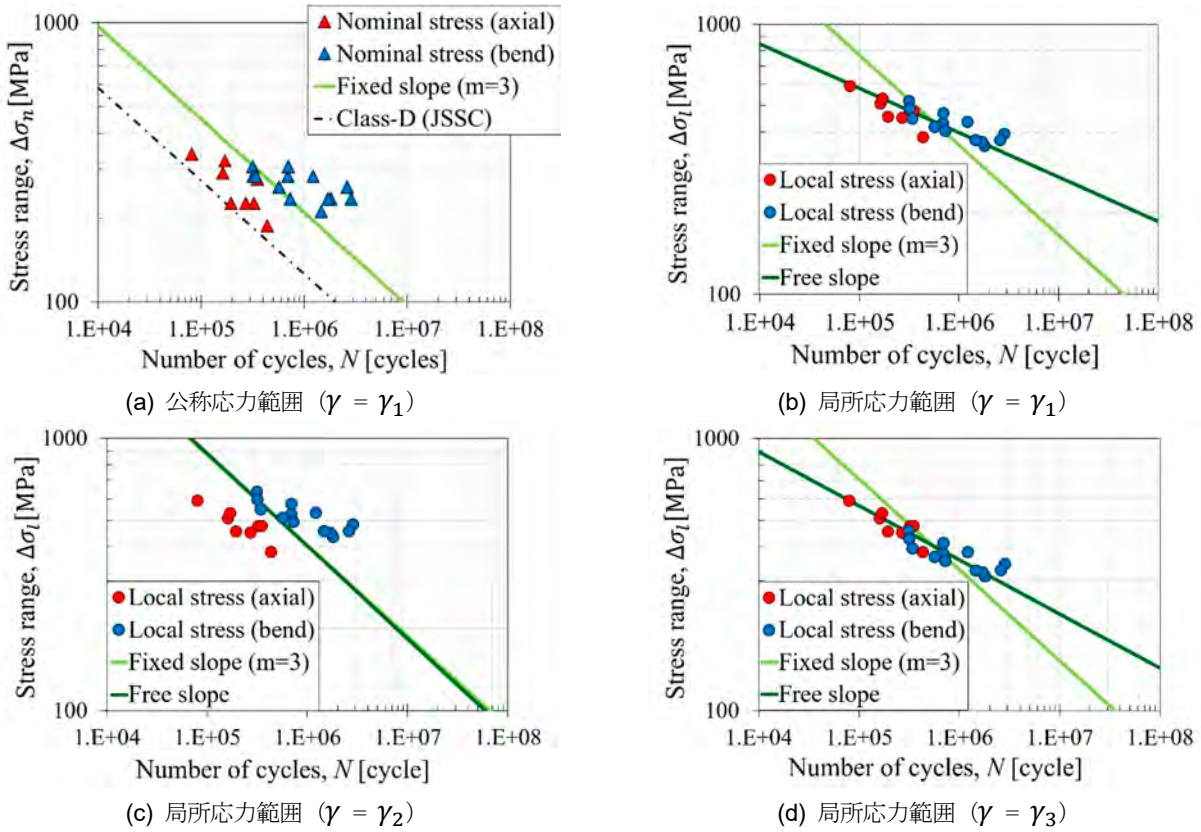
ここに，K_{t_a}，K_{t_b}はそれぞれ軸力および曲げ作用下のK_t，K_{m_a}，K_{m_b}は軸力作用下のK_mを表す．K_{t_a}およびK_{t_b}は Lawrence らが提案したK_t簡易推定式を採用し，K_{m_a}は IIW が推奨するK_m式を採用した．

なお，曲げ条件下において，角変形および目違いの影響は十分小さいと考えられるため，本研究では，曲げ作用下において，$K_{m_b} = 1$と仮定し，局所応力範囲および曲げ補正係数γ_3を算出した．

(2) 疲労性能評価結果

曲げ試験の局所応力範囲を曲げ補正係数γ_1，γ_2，γ_3によってそれぞれ補正した S-N 曲線を**図-1(b)-(d)**に示す．また，公称応力範囲および局所応力範囲による S-N 曲線の標準偏差を**表-1** に示す．これらより，評価応力として，形状の影響を反映した局所応力範囲を採用することで，本研究で採用した曲げ補正係数（γ_1，γ_2，γ_3）の種類を問わず，従来の公称応力範囲に基づく S-N 曲線と比較してばらつきが大幅に低減した．

また，提案手法である曲げ補正係数γ_3で補正した局所応力範囲に基づく S-N 曲線の標準偏差は 0.167 へと大幅に低下し，3 種類の曲げ補正係数の中で最小となった．以上の結果から，局所応力範囲にγ_3を適用することで、軸力および曲げ作用下の疲労試験結果を統一して 1 本の S-N 曲線で高精度に整理可能であること，また，設計基準に対する曲げの過度な安全側の評価が是正される



(a) 公称応力範囲（$\gamma = \gamma_1$）　(b) 局所応力範囲（$\gamma = \gamma_1$）

(c) 局所応力範囲（$\gamma = \gamma_2$）　(d) 局所応力範囲（$\gamma = \gamma_3$）

図-1　S-N 曲線

表-1　各種応力範囲の S-N 曲線に対する標準偏差

	曲げ補正係数 γ		
	γ_1	γ_2	γ_3
公称応力範囲（m = 3）	0.386	0.499	0.322
局所応力範囲（m = free）	0.218	0.394	0.167

ことが明らかとなった．なお，既存の複数のK_t式およびK_m式を適用した場合も同様の傾向が得られた．

4.　結言

以下に，実施した軸および曲げ疲労性能の統一評価手法とそれらの結果から得られた知見をまとめる．

1) 評価応力としてK_tおよびK_mを用いた局所応力範囲を用いることで，本研究で採用したいずれの曲げ補正係数の種類によらず，従来の公称応力範囲に基づく S-N 曲線と比較してばらつきが低減した．
2) 3 種類の曲げ補正係数を適用した局所応力範囲に基づく評価において，本研究で提案するγ_3を適用した S-N 曲線のばらつきが最小であった．

以上の検討を通じて，提案手法により疲労性能が大きく異なる軸および曲げの疲労試験結果を統一して 1 本の S-N 曲線で整理でき，従来手法のような設計基準に対する曲げの過度な安全側の評価が是正されることを明らかにした．このことから，提案手法における軸および曲げ疲労性能の統一評価の可能性が示された．

参考文献

1) 小川 太希, Luo Pengjun, 堤 成一郎：溶接継手の多断面形状分析に基づく疲労性能支配因子評価技術の確立，土木学会論文集, 81, 15, 24-15025, 2025.
2) 野田 雄也, 小川 太希, 濱田 柔久, 松尾 祐希, 田中 宏徳, 堤 成一郎：自動多断面形状分析に基づく突合せ溶接継手の曲げ疲労性能影響因子の分離評価，土木学会論文集, 82, 15, 25-15034, 2026.
3) Toru Shiratsuchi, Naoki Osawa: Investigation of thickness and bead profile effects on fatigue strength of welded joints based on relative stress gradient, Int. J. Fatigue, 134, 105520, 2020.

Sora SHIBAYAMA, Yuya NODA, Kanae MIYAMOTO, Hironori TANAKA and Seiichiro TSUTSUMI
s.shibayama@civil.eng.osaka-u.ac.jp