

UIT による溶接継手の疲労強度改善効果の推定方法の検討 その3

新日鐵住金 正会員 ○島貫 広志, 新日鐵住金 非会員 米澤 隆行
 新日鐵住金 正会員 田中 睦人, 法政大学 フェロー会員 森 猛

1. 背景と目的

溶接部の疲労対策処理として一般化している超音波衝撃処理(UIT)¹⁾等の HFMI 処理は, 従来から行われている溶接止端形状の改善に加えて, 溶接止端部へ圧縮残留応力導入を行い, 局所的な平均応力を下げることによって疲労強度改善を実現している. この為, 過大な荷重を受けるなどして処理した溶接部が塑性変形するような条件では, 導入した圧縮残留応力が緩和され, 疲労強度改善効果が減少する可能性がある. また, 明らかに塑性変形するほどではなくても, 繰り返し荷重により徐々に残留応力が減少することが考えられる. これまでの著者らの実験結果^{2,3,4)}でも, 疲労試験時の最大応力が高い場合には, 応力振幅が小さくても疲労強度向上効果が小さいという結果が得られている. この傾向は, 通常の応力比を0とした疲労試験で得られる S-N 曲線の傾きが, UIT 継手では通常の溶接部よりも小さいこととも対応している.

そこで本研究では, UIT を施した溶接継手を用いて, 応力範囲や最大荷重を変化させた繰り返し荷重を行い, 止端部の残留応力の変化を測定し, 残留応力の変化に及ぼす荷重条件の影響について検討した. また, 既報^{5,6)}で提案した UIT 継手の S-N 曲線を推定する方法に残留応力変化の影響を加味した推定方法を示し, その妥当性について考察した.

2. 試験体と試験条件

本研究では図 1 に示す形状・寸法の面外ガセット溶接継手試験体を用いた. 試験片作製に使用した鋼材は, SBHS500(YS: $\sigma_Y=575\text{N/mm}^2$, TS: $\sigma_B=665\text{N/mm}^2$)である. 溶接は CO₂溶接による完全溶け込み溶接で, 溶接材料には 590N/mm²級用のフラックスコートワイヤー SF-60(JIS Z 3313 YFW-C60FR)を用いた. 試験体の溶接後に UIT を施した. UIT の施工は ESONIX[®]27 UIS を使用し, 打撃ピンには直径 3mm, 先端曲率半径 3mm のものを用い, 面外ガセットの回し溶接部の先端部から 50mm 程度の領域を行った. この処理によってできる止端部の凹みは 0.2~0.3mm を目標とした.

疲労試験前の UIT ままの残留応力の測定は, 試験体を疲労試験機に取り付ける前に, 疲労亀裂の発生する回し溶接部の止端について行った. 測定した止端は1本の試験片の4か所の止端の内, 2か所を選択した. 残留応力測定位置を図 2 に示す. この後, 試験片を試験機の油圧チャックに取り付け所定の荷重条件, 繰り返し数の荷重を与えたのちに取り外し, 止端部付近の残留応力をあらためて測定し, また, 試験体を試験機に取り付けるという作業を繰り返し行った.

繰り返し荷重には容量が 500kN の油圧サーボ式疲労試験機を用いた. 残留応力測定はパルテック社の μ -360 を用い, X 線残留応力測定法 (cos α 法) により, 試験体長手方向に生じている表面の残留応力のみ測定した. 測定に用いたコメータのサイズは 1mm ϕ である. なお, 試験体の表面は測定へのスケール等の影響を避けるため残留応力を測定する前に数十 μ m 程度, 電解研磨により除去した. 止端部の準備状況を写真 1 に示す. 写真のように, 残留応力測定部は電解研磨を施し, その横にはひずみゲージ (UIT 溝底中央から 5mm 位置, G.L.=3mm) を添付した. 繰り返し荷重条件は, 表 1 に示すようにこれまでの実験結果から 10 万~100 万回で疲労破壊する応力比と最大応力を組み合わせた 4 条件とし, 残留応力はそれぞれ 0 から 1 万回までの繰り返し後に測定した.

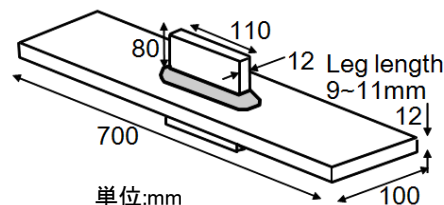


図1 残留応力測定に用いた面外ガセット溶接継手疲労試験体

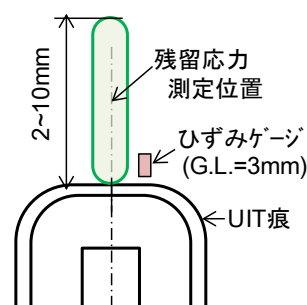


図2 残留応力測定位置

表1 繰り返し荷重条件

No.	最大応力 MPa	応力比
RSR1	248	0.03
RSR2	248	0.5
RSR3	352	0.23
RSR4	352	0.65

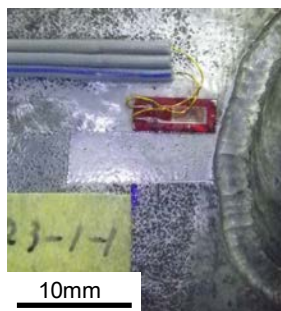
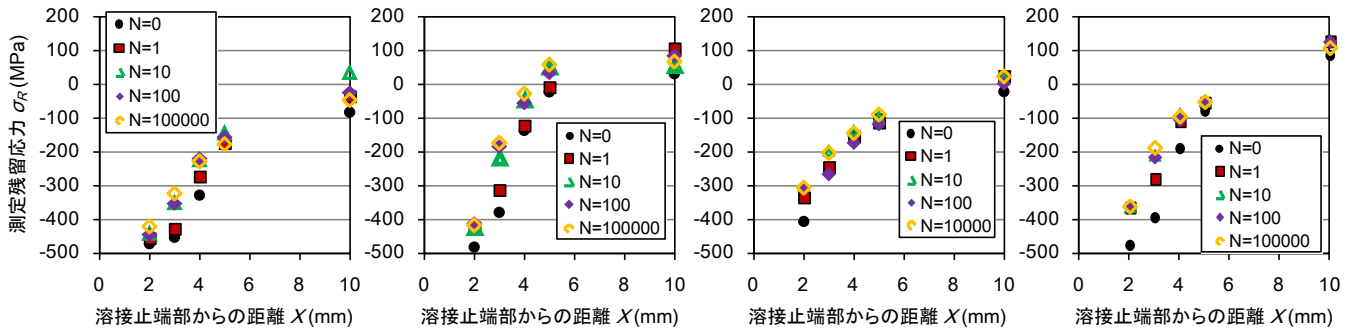


写真1 測定部周辺状況

3. 止端部の残留応力測定結果

繰り返し負荷回数(n)ごとの溶接止端部付近の残留応力を図 3(a)~(d)に示す. 繰り返し負荷前の測定結果に既にばら



(a) 最大応力 248MPa, R=0.03 (b) 最大応力 248MPa, R=0.5 (c) 最大応力 352MPa, R=0.23 (d) 最大応力 352MPa, R=0.65

図 3 SBHS500 の面外ガット継手溶接止端部の繰り返し負荷による残留応力変化

つきがあるため, 図 4 に UIT ままの測定結果を重ねて表示した. また, 特に疲労特性に影響する溶接止端から 2mm, 3mm の位置で条件ごとにばらつきを調べた結果を図 5 に示す. 止端部圧縮残留応力の減少は初回負荷での減少が大きく, 10 回目までの負荷で $10^4 \sim 10^5$ 回での残留応力変化の 80%程度が生じている.

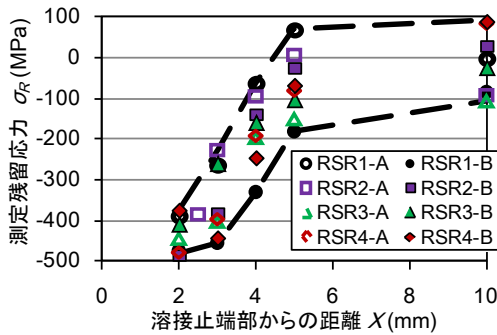


図 4 UIT 処理後繰り返し負荷前の止端部残留応力分布

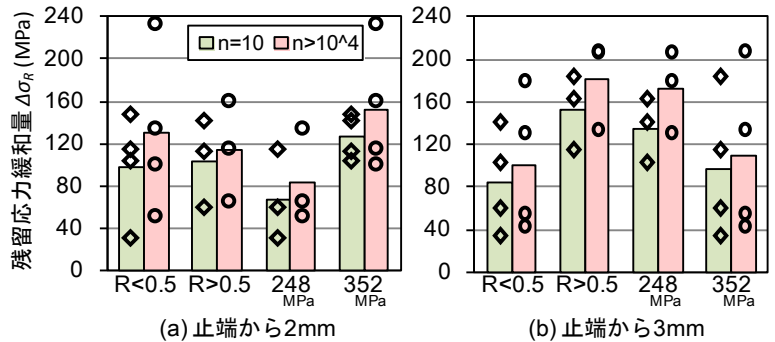


図 5 溶接止端近傍の残留応力変化 (プロット: 個々, 棒グラフ: 平均)

4. 疲労試験結果の推定への応用

著者らが既報^{5,6)}で提案した UIT 継手の S-N 曲線を推定する方法に, 本報で得られた残留応力の緩和効果を加味して UIT 継手の S-N 曲線を推定し, これまで得られている疲労試験結果⁷⁾と比較した結果を図 6 に示す. 推定結果は疲労試験結果をよく表している. なお, この方法の主要な条件式は止端部の疲労限条件として修正グッドマン線図を溶接止端部の局所的な部分に適用した式(1)と止端の降伏条件式(2)であり, ここでは止端部の圧縮残留応力として図 4, 図 5 の結果から, 440MPa から 140MPa 緩和され 300MPa とした場合の値を用いた.

$$\sigma_{Nmax} = \{2(\sigma_B - \sigma_{RS}^*) + K_t \cdot (\alpha - 1) \cdot \sigma_{Nmin}\} / \{K_t \cdot (\alpha + 1)\} \dots (1)$$

$$\sigma_Y = |K_t \cdot \sigma_{Nmax \text{ or } min} + \sigma_{RS}^*| \dots (2)$$

σ_Y : 降伏応力, σ_B : 引張強さ, σ_W : 疲労限(= σ_B / α), $\alpha=3$

K_t : 止端応力集中係数, $\sigma_{Nmax \text{ or } min}$: 公称応力の最大又は最小,

σ_{RS}^* : 繰り返し後の止端部残留応力

5. まとめ

UIT 継手止端部への繰り返し負荷による残留応力変化を測定し, 残留応力が繰り返し負荷初期で安定化することを確認した. また, その結果を用いて, 著者らが既報で提案した UIT 継手の S-N カーブ推定方法を用いて疲労試験結果を推定した. この結果, 妥当な推定結果が得られ, 提案した方法の妥当性が確認できた.

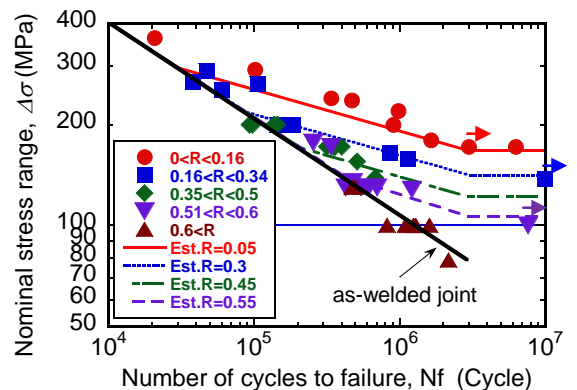


図 6 疲労試験結果と S-N カーブの推定結果の比較

参考文献

- 1) 例えば野瀬: 溶接学会誌, Vol.77, No.3, pp.4-7, 2008. 2) 島貫ら: 第 65 回 JSCE 年講, I-100, 2010. 3) 島貫ら: 第 67 回 JSCE 年講, I-260, 2012. 4) 町田ら: 第 68 回 JSCE 年講 I-542, 2013. 5) H.Shimanuki, et.al: Doc. IIW, XIII- 2495-13, 2013. 6) 島貫ら: 第 68 回 JSCE 年講, I-543, 2013. 7) 島貫, 米澤, 森, 田中: 溶接構造シンポジウム 2014.