

UIT を施した面外ガセット溶接継手の疲労強度に対する鋼材静的強度の影響

法政大学 学生会員 ○町田 正信 法政大学 正会員 森 猛
新日鐵住金(株) 正会員 島貫 広志 田中 睦人

1. はじめに

超音波を利用したピーニング法の一つである UIT (Ultrasonic Impact Treatment) による高い疲労強度改善はいくつかの実験的研究により確かめられており、その主因は圧縮残留応力の導入にあることが知られている。書者らは、橋梁用高降伏点鋼材 SBHS500 で製作した面外ガセット溶接継手試験体に UIT を施して疲労試験を行い、高い最大応力の繰り返し応力を受けた場合には圧縮残留応力の効果が減少あるいは消失するという結果を示している。また、静的強度の高い SBHS700 鋼材を用いた継手の疲労試験も行っており、これにより高い圧縮残留応力が導入され、UIT の疲労強度改善効果がさらに高くなるという結果も示している。

本研究では、SBHS700, SBHS500 鋼材に加えて、SBHS400 鋼材を用いた面外ガセット溶接継手の疲労試験を行い、UIT を施した継手の疲労強度に対する鋼材静的強度の影響について検討する。

2. 試験体

供試鋼材には SBHS400 (降伏応力: 456 N/mm^2 , 引張強度: 555 N/mm^2), SBHS500 (572 N/mm^2 , 661 N/mm^2) と SBHS700 (753 N/mm^2 , 810 N/mm^2) を用いた。試験体は図 1 に示す形状・寸法の面外ガセット溶接継手である。母材とガセットの接合は、 CO_2 溶接法を用いた完全溶け込み溶接で行った。UIT の施工には ESONIX®27 UIS を使用し、溶接止端の打撃には直径 3mm のピンを用いた。試験体は、UIT を施したものに溶接のままの試験体 (AW) も用いている。溶接部の外観を図 2 に示す。AW 試験体と UIT 試験体の溶接残留応力を X 線残留応力測定法 ($\sin \phi^2$ 法) により計測した。AW 試験体の溶接止端の残留応力は、SBHS400 鋼材で 240 N/mm^2 , SBHS500 鋼材で 230, SBHS700 鋼材で 390 程度であった。一方、UIT を施した試験体では、SBHS400 鋼材で -600 N/mm^2 , SBHS500 鋼材で -630 , SBHS700 鋼材で -780 程度であり、鋼材静的強度が高いほど溶接止端に導入される圧縮残留応力も高くなっていた。

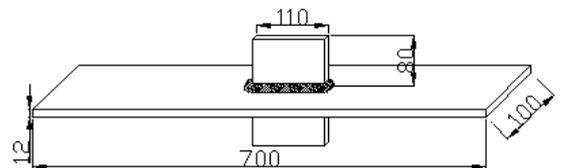


図 1 試験体の形状・寸法 (単位: mm)

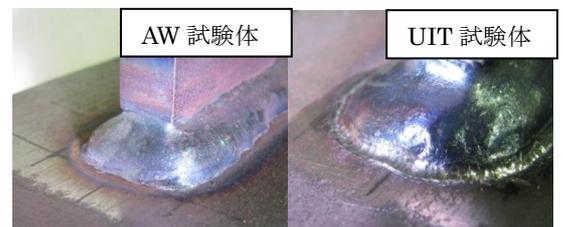


図 2 廻し溶接部の外観

3. 疲労試験

疲労試験は、動的能力 500kN の電気油圧サーボ式材料試験装置を用いて、軸引張荷重下で行った。応力波形は正弦波、繰返し速度は 2~13Hz である。試験は下限応力を 8 N/mm^2 としたもの (応力比 $R \approx 0$) と、最大応力を 300, 268, 208, 180, 138, 108 N/mm^2 , 応力範囲を $\Delta \sigma = 100, 130, 172, 200, 260, 292 \text{ N/mm}^2$ とした条件で行った。なお、SBHS500 と SBHS700 鋼材を用いた試験体の疲労試験の多くは、既に発表済みである。

AW 試験体の疲労試験結果を図 3 に示す。SBHS400 鋼材, SBHS500 鋼材と SBHS700 鋼材の疲労強度はほぼ同じであり、溶接のままの状態では疲労強度に対する鋼材静的強度レベルの影響はないと判断される。図中の実線は、最小 2 乗法により求めた疲労寿命に対する応力範囲の回帰直線である。図 4 に SBHS400・500・700 鋼材で応力比 $R \approx 0$ とした疲労試験の結果を示す。いずれの鋼材を用いた試験体においても、UIT により疲労強度が高くなっており、その程度は寿命が長いほど、また鋼材の静的強度レベルが高いほど顕著となっている。上限

キーワード UIT, 面外ガセット, き裂開閉口挙動

連絡先 〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33 法政大学デザイン工学部 TEL 03-5228-1429

応力 $\sigma_{max} = 268 \text{ N/mm}^2$ とした疲労試験の結果を図 5 に示す. SBHS400 試験体の疲労強度は AW 試験体とほぼ同じとなっている. SBHS500 試験体の疲労強度は, 高い応力範囲で多少改善効果が認められるものの, 低い応力範囲では認められない. SBHS700 試験体では, すべての応力範囲で疲労強度改善効果が認められる. このような傾向は, 前述の鋼材静的強度と UIT により導入される圧縮残留応力の大きさと対応している.

4. き裂開口比の測定とそれを用いた疲労試験結果の整理

いくつかの試験体については, き裂開閉口荷重の測定を行った. 測定は, 溶接止端 (UIT による凹部端) から 2mm の位置にひずみゲージを貼付し, 荷重とひずみの関係を求めることにより行った. また, 荷重繰り返しに伴うひずみ範囲の変化も測定した. このひずみ範囲減少率と荷重繰り返し数の関係と, FE 解析で求めたき裂深さとひずみ減少率の関係から, き裂深さと荷重繰り返し数の関係を求めた. その結果の例を図 6 に示す. き裂深さが 1mm 以上で, 3 種類の試験体の進展性状はほぼ同じであるが, 1mm 以下の領域で顕著な違いが認められる. このことは, UIT による圧縮残留応力の効果は, き裂深さ 1mm 以下の領域で生じるということを意味している.

図 6 に示した 3 体の試験体で得られたき裂深さ 1mm 程度の時の荷重-ひずみ関係を図 7 に示す. ただし, この図は除荷弾性コンプライアンス法で補正している. き裂開閉口荷重の位置は SBHS500・700・400 の順で高い. き裂が開いている間の有効応力範囲で試験結果を整理した疲労試験を図 8 に示す. UIT 試験体の有効応力範囲 - 疲労寿命関係は, き裂閉口が生じない AW 試験体の関係とほぼ一致している.

5. まとめ

鋼材の静的強度が高いほど, UIT により導入できる圧縮残留応力が高くなり, 疲労強度改善効果は高くなる.

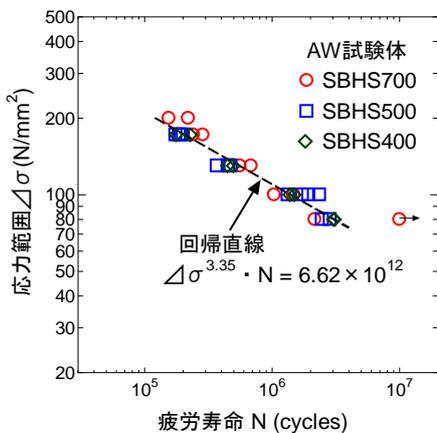


図 3 疲労試験結果 (AW 試験体)

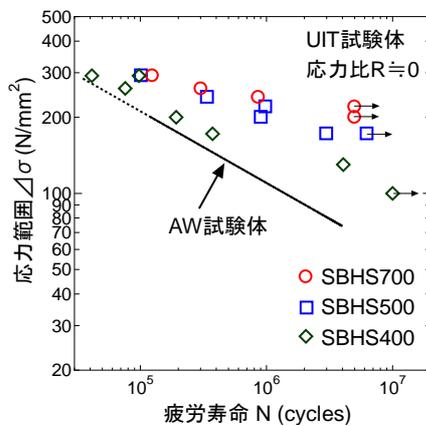


図 4 疲労試験結果 (R=0)

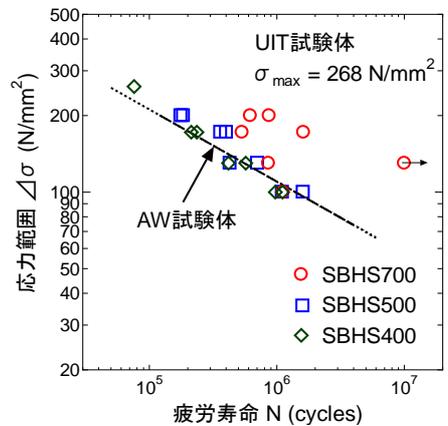


図 5 疲労試験結果 ($\sigma_{max} = 268 \text{ N/mm}^2$)

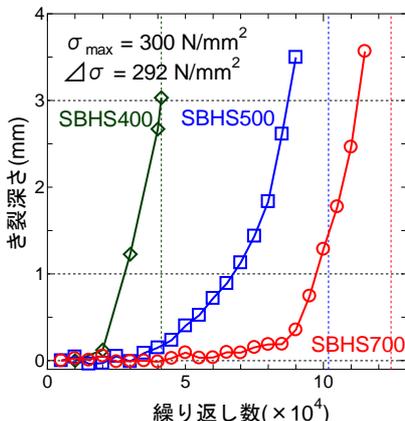


図 6 き裂深さと繰り返し数の関係

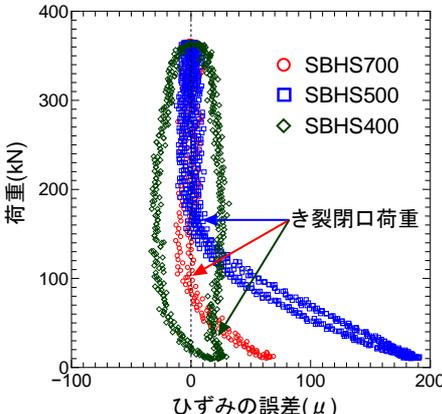


図 7 除荷弾性曲線

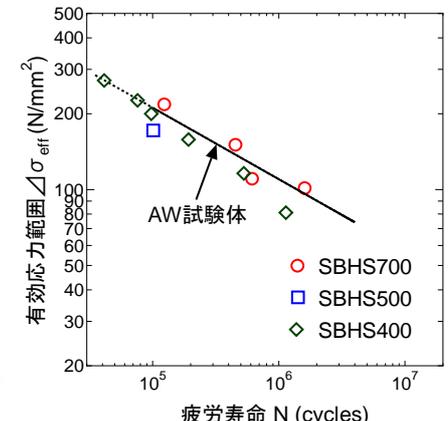


図 8 有効応力範囲で整理した疲労試験結果