

UIT による高張力鋼溶接継手の疲労強度改善効果と止端部残留応力の検討

新日本製鐵	正会員	○島貫 広志
法政大学	正会員	森 猛
新日本製鐵	正会員	田中 睦人

1. 背景と目的

鋼橋や造船分野を中心に溶接部の疲労強度改善技術として超音波衝撃処理(Ultrasonic Impact Treatment:UIT)¹⁾の活用が進んでいる。この技術は超音波振動を活用して溶接止端を先端に曲率を持つ金属製ピンで打撃し、溶接止端にピンの先端形状を転写させ、応力集中を低下させると共に、溶接引張残留応力を圧縮に反転させ、溶接止端部の局所的な平均応力を下げ疲労強度を向上させるものである。

一般に溶接継手の疲労強度は鋼材強度によらず継手形式ごとにほぼ一定であり、また、溶接残留応力の大きさは、鋼材の降伏強度と正の相関があると考えられる。高張力鋼では UIT により止端に導入される圧縮残留応力も溶接残留応力と同様に大きくなり、その溶接継手では止端の平均応力をより大きく下げることができ、疲労強度向上効果が高強度鋼ほど高まることが期待される。

そこで、前報では UIT を施した橋梁用高強度鋼 SBHS700, SBHS500 の面外ガセット溶接継手の最大応力一定疲労試験で SBHS700 の方がより高い最大応力での疲労試験まで UIT による疲労強度改善効果が見られることを示した。

本研究では昨年報告した面外ガセット溶接継手の疲労試験データを拡充し、UIT による疲労強度向上効果に及ぼす鋼材強度の影響をより明確にすると共に、より詳細な止端残留応力の測定結果などからこの影響をについて考察することを目的とした。

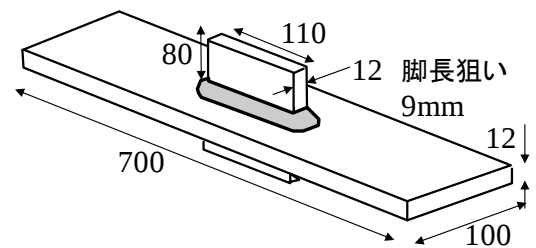


図1 試験片形状と寸法 (単位 mm)

2. 試験体

試験体は図1に示す形状・寸法を持つ面外ガセット溶接継手である。供試鋼材は橋梁用高強度鋼 SBHS700 (降伏応力:753N/mm², 引張強度:810N/mm²) 及び SBHS500 (降伏応力:572N/mm², 引張強度:661N/mm²)。溶接は CO2 溶接による完全溶け込み溶接で、溶接材料には 780N/mm² 級高張力鋼用ソリッドワイヤーYM-80C(AWS A5.28 ER110S-G)を用いた。なお、SBHS500 については 590N/mm² 級用のフラックスコアードワイヤーSF-60(JIS Z 3313 YFW-C60FR)を用いた。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 程度の領域をほぼピンの先端形状に倣う形状まで行った。

3. 疲労試験

疲労試験は軸引張荷重下で行った。応力波形は正弦波、繰り返し速度は 5~14Hz である。AW 試験体は応力比 $R=0$ のほぼ片振り、また、UIT 試験体は様々な応力比での試験(上限応力一定の試験)を行った。

図2, 図3に UIT 処理継手の疲労試験結果を示す。図2は SBHS500, 図3は SBHS700 であり、図2, 3の(a)は最大応力, (b)は応力比で整理した結果である。(a)最大応力の影響については、最大応力がある応力以下になると図中に実線で示した AW の S-N 曲線に対して、平行に長寿命側にシフトする傾向が見られ、強度の高い SBHS700 の方がより高い最大応力条件(352MPa)まで疲労強度向上効果が見られた。また、(b)応力比の影響については、応力比の低下に伴い、UIT 継手の疲労限が上昇し、S-N 曲線の傾きは AW より小さく低寿命側で AW の結果に漸近していく傾向が見られた。また、一部の試験片でき裂開閉口を測定するために溶接止端の UIT 打撃痕の縁から 2mm の位置にひずみゲージ(GL=1mm)を貼付し、試験中の歪の変化を観察した。この結果、UIT による疲労強度向上が見られた試験片(例えば SBHS700 の最大応力 268MPa, 応力範囲 172MPa, 応力比 0.36)では閉口によると思われる歪変化が見られ、UIT による圧縮残留応力の寄与が確認された。

4. 負荷荷重による UIT 圧縮残留応力への影響

UIT を施した部位は過大な繰り返し負荷を与えた場合、再降伏のために導入した残留応力が減少することがある。

キーワード 高張力鋼, 疲労き裂, 応力比, 超音波衝撃処理, 残留応力

連絡先 〒293-8511 千葉県富津市新富 20-1 新日本製鐵(株)鉄鋼研究所 厚板・鋼管・形鋼研究部

そこで, SBHS700 試験片に実験で行った場合と同じ最大荷重を段階的に負荷して, その負荷による溶接止端部付近の残留応力変化を測定した. この結果を図 4, 図 5 に示す. 測定した残留応力の方向は試験体長手方向であり, 試験体幅中央の止端から同方向 (x 方向) への残留応力分布 (正: 引張, 負: 圧縮) を示している. 残留応力測定は X 線残留応力測定法 ($\sin^2\psi$ 法, コリメータサイズ: 3mm ϕ) により行った. AW の結果は負荷応力の上昇に伴い引張残留応力が減少した. 一方 UIT 試験体では負荷応力が 200MPa 超で僅かに止端部圧縮残留応力が減少, 352MPa 以上では明瞭に減少し, この応力は疲労強度改善効果の見られた限界とほぼ合致した.

著者らが以前 UIT 打撃痕の形状 (一様に 3mmR) に基づいて FEM 解析により求めた溶接止端部の応力集中係数 K_t は 2.81²⁾であった. また, 今回測定 of UIT ままの止端圧縮残留応力は約 600MPa であることから, 公称最大応力が 481MPa の場合に UIT 溶接止端部の降伏する. しかし, 止端圧縮残留応力の低下開始はこの応力以下であることから, 理想的な UIT 溝形状と実際の形状との応力集中の差の影響の他,

UIT 処理した溝の底以外の場所からの塑性化の進行のため考えられる. この圧縮残留応力緩和には止端形状要因以外に主板の板厚, ガセット寸法, 材料強度の影響も大きいと考えられ, これらの影響の検討は今後の課題である.

5. まとめ

高強度鋼の溶接継手では UIT による疲労強度向上効果が高まることを実験で明確にした. また UIT 処理後の負荷応力が UIT 処理止端部の残留応力に及ぼす影響について調査し, 疲労強度向上限界応力について考察した.

参考文献

- 1) 例えば, 野瀬: 溶接学会誌, 第 77 巻, 第 3 号, pp.4-7, 2008.
- 2) 森, 島貫, 田中: 第 65 回土木学会年次学術講演会, I-099, pp197-198, 2010.
- 3) 島貫, 森, 田中: 第 66 回土木学会年次学術講演会, I-144, pp287-288, 2011.

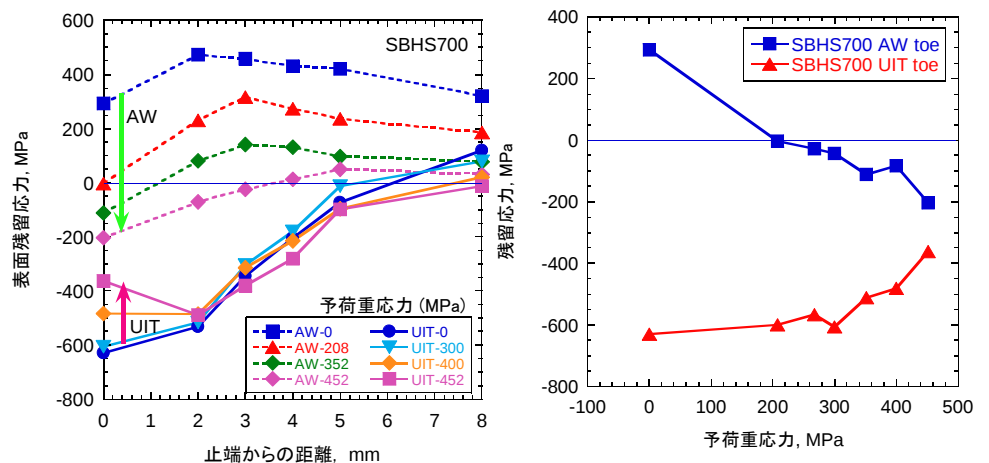
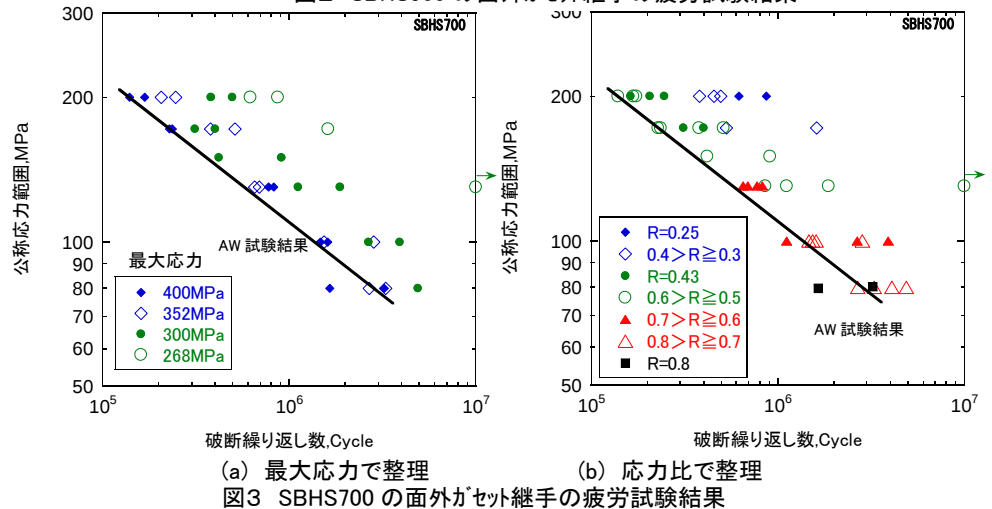
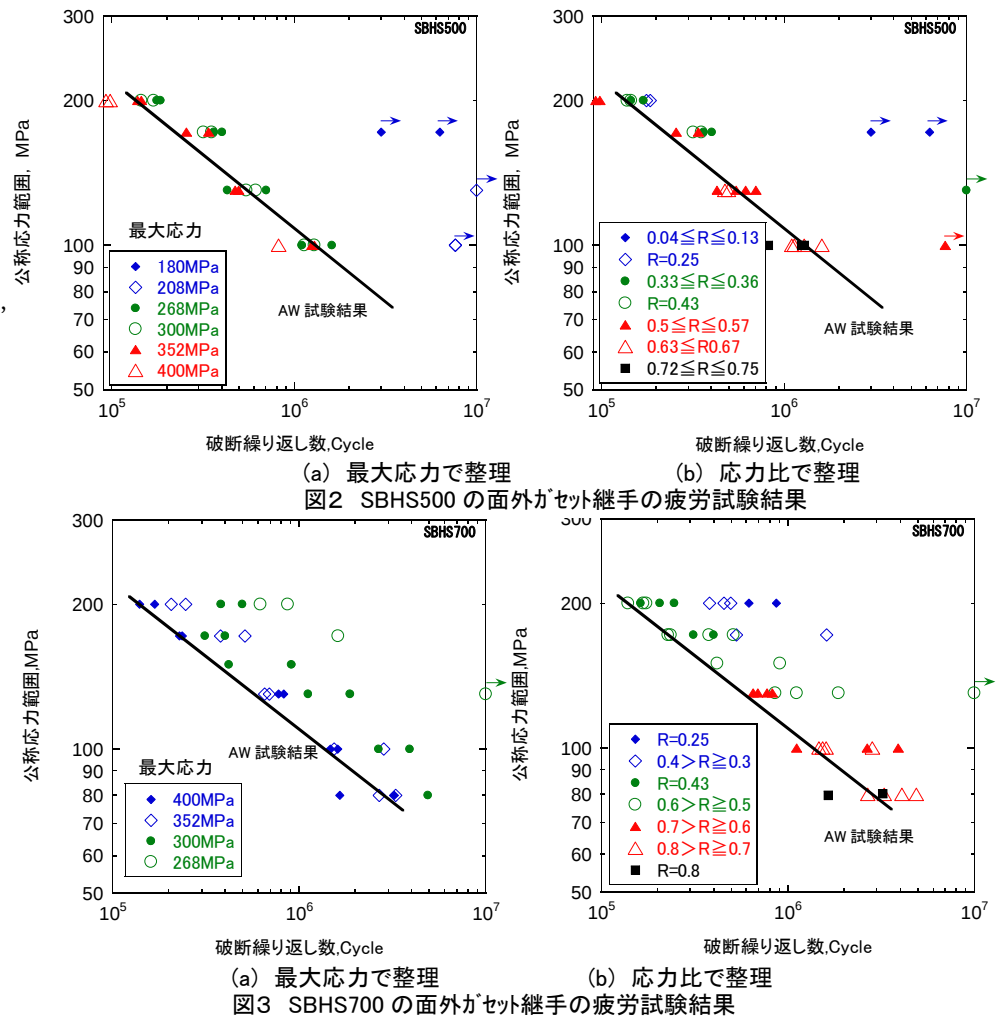


図4 試験片長手方向残留応力分布 図5 止端残留応力に及ぼす予荷重応力の影響

