

UIT による疲労強度改善効果に及ぼす鋼材強度の影響

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。この技術は疲労き裂の起点となり易い溶接止端を超音波振動する適当な曲率を有する金属製ピンで打撃し、溶接止端にピン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低下させ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応力比や鋼材強度によらず継手形式ごとにほぼ一定となることが知られている。これは止端の溶接引張残留応力の影響によるもので、この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。UIT により打撃部に導入される圧縮残留応力も溶接残留応力と同様と考えられることから、高強度鋼の溶接継手ではより止端部の局所的な平均応力を低下させることができ、疲労強度向上効果が高まると期待される。

そこで本研究ではUITを施した橋梁用高強度鋼 SBHS700(降伏応力:753N/mm², 引張強度:810N/mm²)の面外ガセット溶接継手を用いた疲労試験を行い、以前行った SBHS500(降伏応力:572N/mm², 引張強度:661N/mm²)の結果と比較し、UITによる疲労強度向上効果に及ぼす鋼材強度の影響を実験的に明らかにすることを目的とする。

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。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

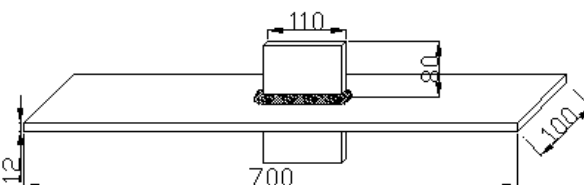


図1 試験片形状と寸法

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程度の領域を行った。

表1に溶接部の脚長の測定結果を示す。UIT試験片では打撃溝も含んで測定しているため1mm程度主板側の脚長が大きくなった。溶接止端半径は溶接まま(AW)で0.25~1.25mm程度で平均は0.5~0.6mm, UITについてはほぼピンの先端形状に倣う形状まで処理した。

溶接止端部付近の残留応力測定結果を図2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(正が引張, 負が圧縮)を示している。残留応力測定はStresstech社のXstress3000を用いてX線残留応力測定法(sin²Ψ法)により行った。コリメーターのサイズは3mmφである。

AWの結果は降伏応力の高いSBHS700では高い引張残留応力が生じていることを示している。一方UIT試験体ではSBHS500に比較して圧縮残留応力の局所化の傾向が見られ、測定できない溶接止端の極近傍ではSBHS700の方が高い残留応力が生じているものと推察される。このことから、UITは高強度鋼で溶接残留応力の緩和と圧縮残留応力導入の効果がより大きいといえよう。

表1 溶接部形状

試験体		脚長	
		主板側	ガセット側
SBHS 700	AW	9.7	9.6
	UIT	11	9.3
SBHS 500	AW	10.7	8.8
	UIT	11.6	9.3

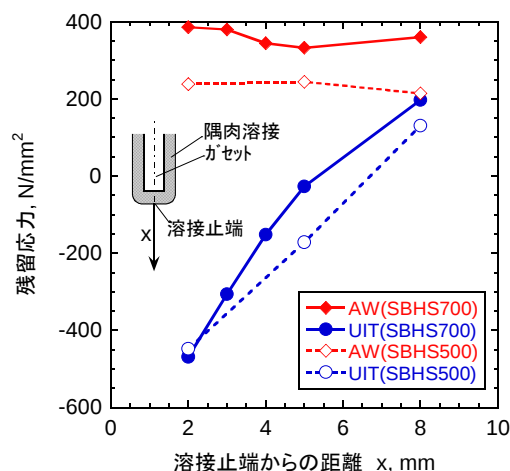


図2 試験片長手方向残留応力分布

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

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試験体は下限応力を8 N/mm²程度つまり応力比 $R \approx 0$ のほぼ片振り、また、UIT試験体は上限応力を300あるいは352 N/mm²とした上限応力一定の疲労試験を行った。上記条件でUIT試験体の応力比 R は0.33~0.72となる。なお、AW試験体では、図2に示したように疲労破壊起点となる溶接止端に高い引張残留応力が生じているため、疲労強度に対する応力比の影響が生じにくいことが既に確かめられている。²⁾

4. 疲労試験結果

AW試験体の疲労試験結果を図3に示す。SBHS700継手の疲労強度はSBHS500継手の疲労強度とほぼ同等であり、溶接のままの状態では疲労強度に対する鋼材強度の差の影響はないと判断される。図中の実線は、SBHS500とSBHS700合わせた最小二乗回帰直線(10^7 回打ち切りを除く)である。

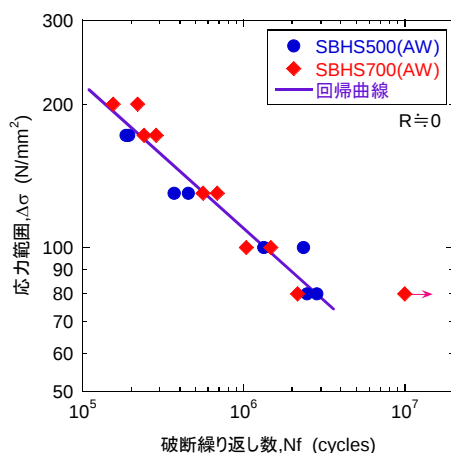


図3 AW試験体の疲労試験結果

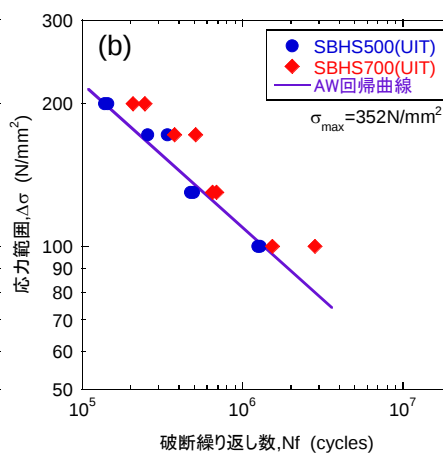
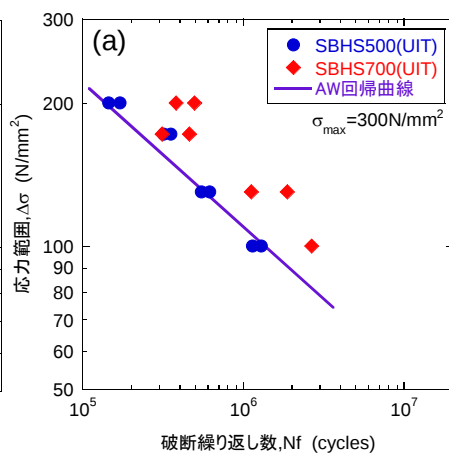


図4 UIT効果に及ぼす最大応力の影響(a) $\sigma_{\max}=300\text{N/mm}^2$, (b) $\sigma_{\max}=352\text{N/mm}^2$

UIT試験体の疲労試験結果に及ぼす最大応力の影響を図4に示す。上限応力の低い(a)の場合には、高強度のSBHS700において全応力領域で明確な疲労強度向上が見られるが、SBHS500では高応力範囲域で疲労強度向上が見られるものの顕著ではない。また、上限応力の高い(b)の場合、上記の傾向が小さくなることが図より明白である。このUIT継手の疲労強度に及ぼす強度の影響のメカニズムを模式的に示したのが図5である。すなわち、(a)のように引張側の繰り返し応力(有効応力範囲)が疲労に寄与する³⁾と考えると、UIT継手では付与した圧縮残留応力が止端部の平均応力を下げ、圧縮となる領域が相対的に増える高応力範囲域(応力振幅大の条件)でUIT効果が顕著になり、上限応力が低いほどこの効果が大きい。特に高強度のSBHS700では止端付近の圧縮残留応力が大きいために、SBHS500よりも大きな効果が得られたと考えられる。

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的に確認し、そのメカニズムを模式化して示した。

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) 例えば、森，島貫，田中：第65回土木学会年次学術講演会，I-099，pp.197-198，2010。
- 3) 例えば、内藤，岡村：日本機械学会論文集(第一部)，Vol.43，No.366，pp.407-415，1977。

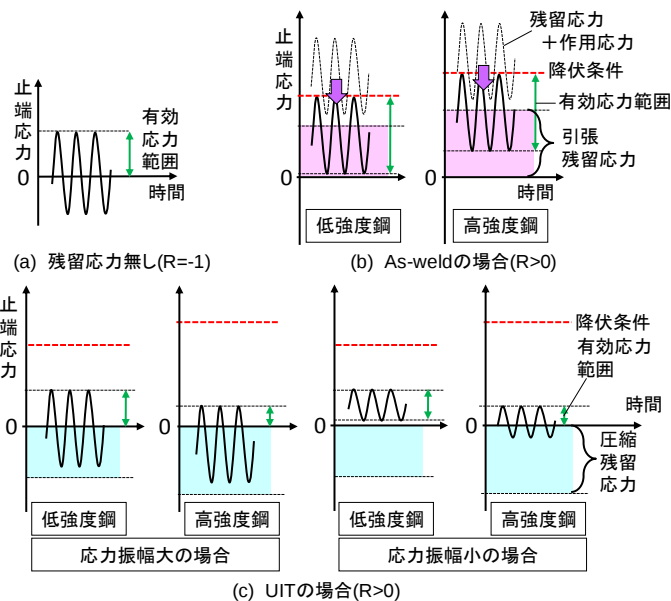


図5 UITによる溶接継手疲労強度向上メカニズムに及ぼす鋼材強度の影響の模式図