

UIT を施した面外ガセット溶接継手の疲労強度に対する 施工時応力レベルと応力比の影響

法政大学大学院 学生会員 ○宇佐美 龍一

法政大学 正会員 森 猛

新日本製鐵株式会社 鉄鋼研究所 接合研究センター 野瀬 哲郎

新日本製鐵株式会社 厚板営業部 田中 睦人

1. はじめに

現在注目を集めている疲労強度改善技術として、UIT (Ultrasonic Impact Treatment) がある。UIT による高い疲労強度改善効果はいくつかの実験的研究により確かめられているが、それらは無負荷の状態で UIT を行い、下限応力をほぼ 0 とした条件で疲労試験が行われている。昨年度は UIT 処理時の応力レベルを変え、また応力比を変えた疲労試験を行い、UIT の疲労強度改善効果について検討した。本年度は、応力範囲を 172N/mm^2 の 1 種類から 100, 130, 172, 200N/mm^2 の 4 種類として、疲労試験を行った結果を報告する。また、UIT の止端形状改善による疲労強度改善効果を明らかにする目的で、ソリッド要素を用いた 3 次元弾性有限要素応力解析を行った結果も報告する。その際、UIT 仕上げ部の形状はレーザー変位計で測定したものをそのまま用いている。

2. 疲労試験

(1) 試験体

供試鋼材は、板厚 12mm の橋梁用高性能鋼材 BHS500 (降伏応力: 575N/mm^2 , 引張強度: 665N/mm^2) である。試験体の形状・寸法を図 1 に、溶接部の外観を図 2 に示す。母材とガセットの接合は、すみ肉溶接と完全溶け込み溶接とし、 CO_2 溶接で行った。UIT の施工には、ESONIX UIT 装置を使用した。メディアに用いたピンの直径は 3mm である。試験体は、すみ肉溶接で作成した溶接のままの試験体 (F-AW), その試験体の溶接止端部を UIT 処理した試験体 (F-UIT), 開先を施して完全溶け込み溶接で作成した溶接のままの試験体 (G-AW), そして G-AW を UIT 処理した試験体 (G-UIT) の 4 種類である。これらの試験体の溶接脚長、そして溶接止端の曲率半径とフランク角の測定結果 (平均値) を表 1 に示す。

表 1 溶接部形状の測定結果 (平均値)

試験体	脚長(mm)		曲率半径(mm)		フランク角(°)
	主板側	ガセット側	主板側	ガセット側	
F-AW	10.8	8.2	0.8	2.1	139.3
G-AW	11.2	9.3	0.5	1.9	144.4
F-UIT	12.5	8.2	2.1	2.1	139.3
G-UIT	11.5	9.3	1.6	1.9	144.4

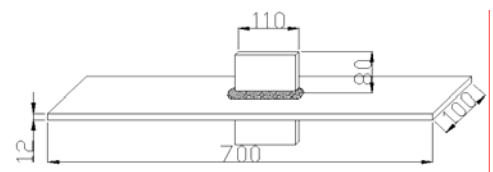


図 1 試験体寸法



AW UIT

図 2 溶接形状

(2) 試験方法

疲労試験は動的能力 $\pm 500\text{kN}$ 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。応力範囲 $\Delta\sigma$ は 100, 130, 172, 200N/mm^2 の 4 種類、応力比 R は 0 と 0.5 の 2 種類としている。応力比 R とは、繰返し応力 $\sigma_{\min}$ と上限応力 $\sigma_{\max}$ の比であり、例えば $R=0.5$ とすれば、 $\Delta\sigma = 100\text{N/mm}^2$ では、 $\sigma_{\min}=100\text{N/mm}^2$, $\sigma_{\max}=200\text{N/mm}^2$ となる。UIT 処理は荷重 0、繰返し荷重の上限 $P_{\max}$ 、下限 $P_{\min}$ の 3 つの荷重レベルで実施した。応力波形は正弦波、繰返し速度は 6 ~ 12Hz とした。

(3) 試験結果

AW 試験体の疲労試験結果を図 4 に示す。AW 試験体では、溶接方法によらず、また応力比によらずほぼ同じ疲労強度となっている。これは表 1 に示したように、F-AW 試験体と G-AW 試験体で溶接形状 (脚長、止端曲率半径・開き角) がほぼ同じである、また溶接止端に高い引張残留応力が生じていたためと考えられ
キーワード 疲労強度改善, 圧縮残留応力, UIT, 応力比, 応力レベル

連絡先 〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学 TEL 042-387-6287

る。UIT 試験体の疲労試験結果 ($R = 0.5$) を図 5 に示す。図中の実線は、AW 試験体の疲労試験結果より求めた、応力範囲 - 疲労寿命関係の回帰直線である。また、図中の凡例の数字(1)(2)(3)は、それぞれ無負荷、下限荷重、上限荷重で UIT 処理を行ったことを意味している。無負荷で UIT 処理を施した試験体(1)が高い応力比の繰り返し応力を受ける場合は、AW 試験体に比べて若干疲労強度が高いようにも判断できるが、その差は小さい。上限荷重で UIT 処理を施した試験体(3)の疲労強度は AW 試験体の 2 倍以上と高い補修効果が得られている。下限荷重で UIT を行った場合(2)の疲労強度は、(1)と(3)の間となっている。

3. 応力解析

試験体の対称性から、図 2 に示すように板厚 12mm、板幅 50mm、ガセット高 80mm、ガセット長 110mm の 1/8 モデルを、有限要素法解析プリポスト FEMAP を用いて作成した。解析モデルは、表 1 に示した形状を対象とした AW モデルと UIT モデル A (止端曲率半径を 1.9mm で一定)、そしてレーザー変位計で測定した UIT 処理部の形状をそのままモデル化した UIT モデル B (4 モデル) である(図 6)。応力解析には、汎用解析プログラム CAFEM を用いた。その際、鋼材のヤング率は $2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、ポアソン比は 0.3、溶接止端近傍の要素寸法は 0.1mm としている。

解析より求めた各モデルの応力集中係数を表 2 に示す。疲労強度が応力集中係数に反比例すると考えれば、AW モデルに比べて UIT モデル A の疲労寿命は 3.7 倍程度となる。しかし、実験ではこのような高い疲労寿命改善効果は得られていない。同様に、UIT モデル B では 1.23~1.5 倍程度となる。この結果は、疲労試験結果と対応している。このことは、図 2 に示したように、止端部が円を重ねたような形状となるため、UIT による止端形状改善が応力集中係数低減、そして疲労強度改善に及ぼす効果は希薄であることを意味している。

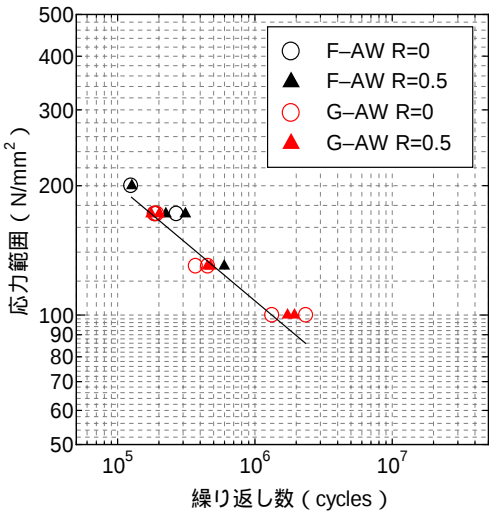


図 4 AW 試験体の疲労試験結果

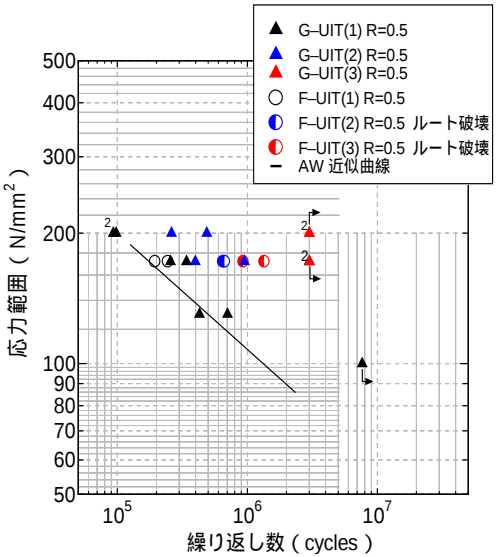


図 5 UIT 処理時荷重の影響

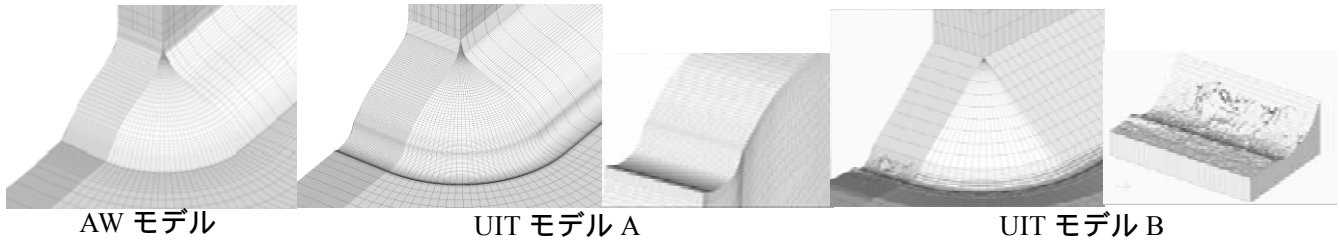


図 6 溶接止端部のモデル

4. まとめ

- (1) 新設構造物の製作段階で UIT を施す場合、高い疲労強度改善効果は期待できない場合がある。
- (2) 既設構造物については UIT による高い疲労強度改善効果を期待できる。
- (3) UIT による止端部形状改良による疲労強度改善効果は、圧縮残留応力の効果に比べて希薄である。

表 1 FEM 解析結果

解析モデル	応力集中係数	疲労寿命改善度
AWモデル	4.35	1.00
UITモデルA	2.81	3.72
UITモデルB	3.83	1.23 ~ 1.48