

超音波ピーニングを用いた面外ガセット継手の疲労強度向上についての検討

(株) 駒井ハルテック 正会員 ○中本啓介* (株) 駒井ハルテック 正会員 林 裕也*
 (株) 駒井ハルテック 岡 修 新日鐵住金 (株) 正会員 島貫広志**

1. はじめに

近年、橋梁を構成する溶接継手に圧縮残留応力を導入して疲労強度を向上させる超音波ピーニング技術¹⁾ (以下, UIT) が着目されている. UIT とは, 溶接部を打撃により塑性変形させ, 止端形状を改善するとともに圧縮残留応力を導入することで, 疲労強度の向上を図るものである. 従来のグラインダー仕上げと比較して, 簡便かつ高速で処理ができ, 作業性がよいことが特徴としてあげられる. しかし, 作用荷重, 適用部位の条件によっては, 効果が小さくなることが報告²⁾³⁾されている. そのため, 適用部位の応力範囲などの条件を明確にすることが重要となる. そこで, 本論では UIT 処理を新設橋梁に導入するための検討として疲労強度向上効果が発揮される応力範囲に着目した試験について報告する.

2. 性能確認試験

UIT による疲労強度向上効果を検証するために, 図-1 に示す面外ガセット形式の継手を対象に疲労試験を実施した. 供した鋼材は, 板厚 10mm とし材質は JIS G3106 SM490YA 材, SM570 材の 2 種類とした. 溶接は, 半自動 CO₂ 溶接により行った. 各試験体の溶接脚長は 1 箇所の継手で 7.3~8.0mm であった. 試験体は, 着目する溶接止端線の仕上げを溶接のまま (以下, AW) と UIT 処理した 2 種類とした. UIT 処理は, 新設橋梁を想定し予荷重を考慮しない試験体製作時に施した. 処理装置は ESONIX® 27 UIS を使用している. 図-2 には処理別の止端部形状を示す. 疲労試験は, 1300kN の油圧サーボ試験機を用いて軸引張荷重で実施した. 試験時の繰返し荷重は, 鋼材の作用応力が許容応力度 (SM490Y: 210N/mm², SM570: 255N/mm²) を上限値とする片振りの一定振幅荷重で行った. 応力比 R は固定し最大応力を変化させた試験を 13 種類実施した. 応力比 R は, 活荷重振幅を載荷荷重として再現できるよう 0.4 を設定した. 疲労試験での応力波形は正弦波とし荷重速度は 6~9Hz としている.

3. 試験結果

1) 静的荷重による止端部ひずみの確認

疲労試験に先立ち同じ形状, 材質の試験体を用いて静的荷重により止端部近傍のひずみ性状を確認した. 試験体は片側の両面ガセット止端部を AW, 残りの片側両面ガセット止端部については UIT 処理を施し, 鋼材の作用応力度が降伏点に到達するまで単調荷重した. ひずみは, 止端部より 5mm 離れた箇所に一軸ひずみゲージを貼り付け確認した. 代表的な結果として, 材質を SM570 とする試験体止端部近傍の荷重-ひずみ関係を図-4 に示す. UIT 処理側でのひずみ履歴は 210kN 程度, AW 側では 110kN 程度まで直線性を保持し, その後, 荷重増加に伴い勾配が変化し塑性変形が進展した. ガセット端における応力集中部のひずみである

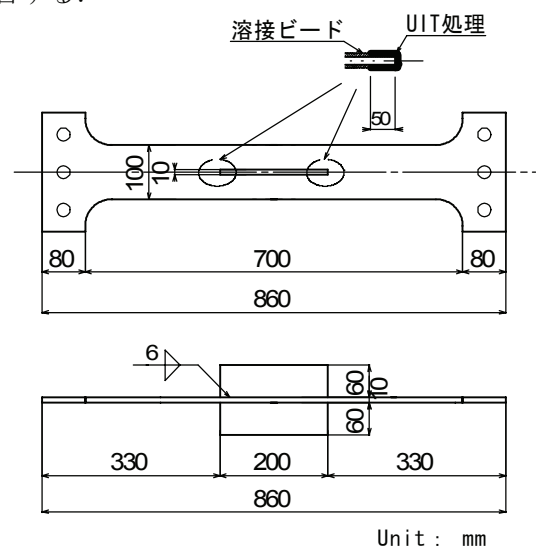


図-1 試験体形状

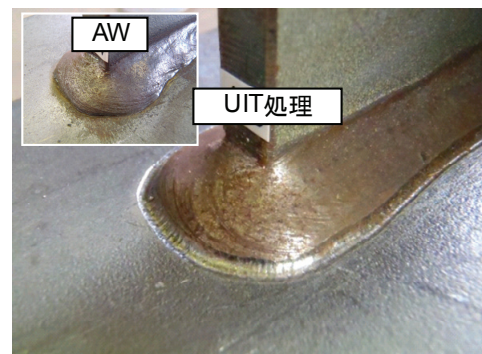


図-2 止端形状

キーワード: 残留応力, 疲労設計, 応力比, 超音波衝撃処理

* 〒293-0011 千葉県富津市新富 33-10 (株) 駒井ハルテック 技術研究室 TEL 0439-87-7405

** 〒293-8511 千葉県富津市新富 20-1 新日鐵住金(株) 鉄鋼研究所 TEL 0439-80-3094

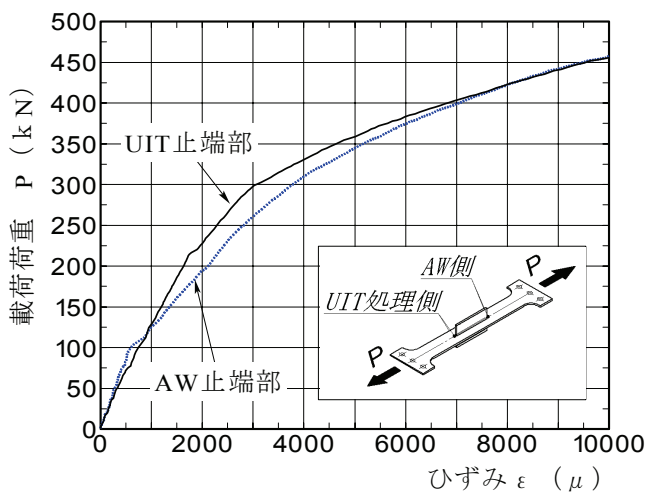


図-3 止端部近傍の荷重-ひずみ関係

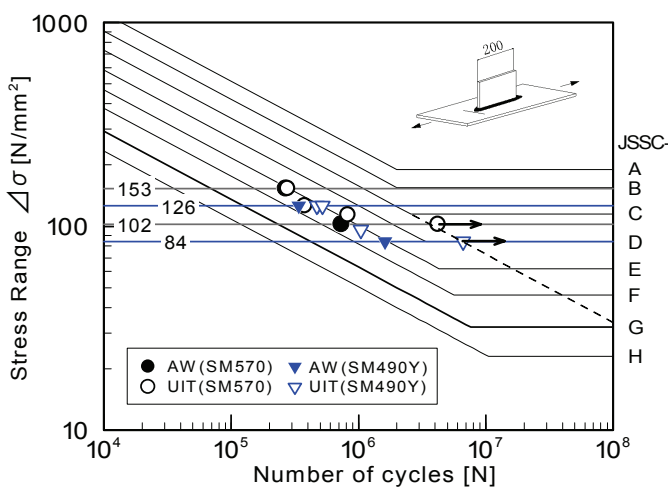


図-4 疲労試験結果

表-1 疲労試験結果と強度等級

材質	処理	試験体No	応力範囲 $\Delta\sigma$ N/mm ²	最大応力 σ_{max} N/mm ²	載荷回数 (万回)	JSSCに よる等級	回数に よる等級	破壊箇所
SM570	AW	1	153	255	26.8	G	F	止端部
		2	102	170	73.2	G	F	止端部
	UIT	1	153	255	27.7	—	F	止端部
		2	126	210	37.8	—	F	止端部
		3	114	190	82.8	—	E	止端部
		4	102	170	420.3	—	over D	None
SM490YA	AW	1	126	210	48.4	G	F	止端部
		2	126	210	34.0	G	F	止端部
		3	84	140	161.0	G	F	止端部
	UIT	1	126	210	47.1	—	F	止端部
		2	126	210	52.0	—	F	止端部
		3	96	160	104.3	—	F	止端部
		4	84	140	660.0	—	over D	None

こと、試験体数によるばらつきを考慮すると定量評価は困難であるがUITとAWのひずみ履歴の差よりUITにより圧縮残留応力が導入されていることが間接的に確認できる。止端部におけるひずみが塑性変形しない応力範囲内での応力振幅であればUITにより導入された圧縮残留応力により、疲労強度が向上するものと考ええる。最大応力の大きさによりUIT処理の疲労強度向上効果は文献 2)で示されるように異なると推測できる。

2) 疲労試験によるUITの効果

疲労試験による繰返し載荷回数を、JSSCの疲労強度曲線⁴⁾をもとに強度等級について整理した結果を表-1、図-4に示す。UIT処理した試験体の結果は、両材質ともに最大応力を鋼材の許容応力度とした応力範囲では、AWの結果と強度等級は変わらない結果となった。前節で示したようにUIT処理により継手部に導入される圧縮残留応力と応力集中による塑性変形が疲労強度に関係しており、高い応力負荷によりUITによる圧縮残留応力導入が減少したためと考える。つぎに、最大応力を変化させ各材質の許容応力度の70%程度まで応力範囲を低減したケースではAWのF等級の載荷回数の結果に対しUIT処理した試験体ではD等級以上となり2ランク強度が向上する結果となった。また、材質により疲労強度が向上する応力範囲に差があることよりUITの効果は材料強度の影響を受けることが分かる。UITを効果的に適用するためには対象とする構造についての応力状態、使用する材料強度の把握が重要であると考ええる。

4. おわりに

新設橋梁にUITを適用するための検討として面外ガセット継手を対象にした疲労試験結果について示した。UITは処理時の荷重レベルの影響や実構造物で想定される高い応力比での疲労強度を十分に考慮した上で採用することが望まれる。適用性については、研究が進められており²⁾、今後有効な条件がより明確になってくると考えられ、施工性の簡易さにより使用範囲は広がっていくものと考ええる。

参考文献

1)例えば、野瀬：溶接学会誌，第77回，第3号，pp.4-7，2008. 2) 森，島貫，田中，宇佐：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，土木学会論文集A1(構造・地震工学)，Vol.67，No.2，421-429，2011. 3) K.Nakamoto,K.kazuo,H.Shimanuki: Development of the fatigue durability improvement technology of a welding part, On development of bridge and road construction technology in VIET NAN,pp478-486.2012. 4) (社)日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，2012.