

SBHS700 桁疲労試験体から切出した面外ガセット溶接継手の継続疲労試験

岐阜大学 学生会員 ○小野友暉 Griffith University Sean Ceballos 岐阜大学 正会員 木下幸治

1. はじめに

橋梁用高降伏点鋼板 SBHS は、降伏点が高いほか、溶接性、加工性に優れた高性能鋼材であり、SBHS の適用により鋼桁の鋼重低減が見込まれる。しかし、SBHS700 の適用に伴い、断面の薄肉化による応力範囲増大が懸念にされることから、SBHS700 を適用した溶接継手部の疲労強度を把握した上で、高疲労強度化が必要になる。このような観点より、判治ら¹⁾は、SBHS700 を用いた大型桁疲労試験により、面外ガセット溶接継手の疲労強度と圧縮残留応力導入工法による疲労強度向上効果について検討を行ったが、圧縮残留応力導入工法を施した溶接部では、疲労強度向上効果は確認できたものの、き裂発生が確認できないまま試験を終了した。このため、SBHS700 を用いた溶接部に対する疲労強度向上効果を定量的に示すには至っていない。そこで本研究では、SBHS700 を用いた溶接部への圧縮残留応力導入工法による疲労強度向上効果の解明を試みた判治ら¹⁾の疲労試験結果に対して継続的な検討を加えることを目的とし、疲労試験を終了した桁疲労試験体から面外ガセット溶接継手を切り取り、小型試験体に成形し直すことで疲労試験を継続することを試みた。ここでは、成形後の小型試験体に圧縮残留応力が残されているか X 線残留応力測定により確認した上で疲労試験を実施した。

2. 試験体と疲労試験条件

図-1 に SBHS700 桁疲労試験体の寸法を示す。ただし、この図は切り取った面外ガセット溶接継手部周辺の寸法のみを示しており、その他の寸法は省力している。本検討では、UIT (Ultrasonic Impact Treatment), ICR 法を準用したピーニング (以後、Peening) を溶接止端部に施した面外ガセット計 4 体を対象にする。図-2 に小型試験体の形状および寸法を示す。試験体はガス溶断により桁疲労試験体から切り出した後、ワイヤ放電加工機により製作した。既往の研究²⁾によると、試験体の鋼材は、SBHS700 (引張強度: 846MPa, 降伏強度: 823MPa) であり、溶接は CO₂ 溶接、溶接材料は YM-80C (JIS X 3312) である。小型試験体の疲労試験には、200kN の材料疲労試験機を用いた。荷重载荷は一軸引張下で行い、载荷繰返し速度は 10Hz、荷重波形は正弦波とした。応力測定には、各止端処理部より 2mm, 30mm の位置にひずみゲージを貼付し、30mm の位置を公称応力とした。疲労試験は、既往研究²⁾と同様の公称応力範囲 100MPa から始め、200 万回の繰返しによりき裂が発生しない場合、150MPa, 180MPa, 200MPa と増加させた。応力比は約 0.1 とした。

3. 残留応力測定結果

残留応力測定には、PULSTEC のポータブル型 X 線残留応力測定

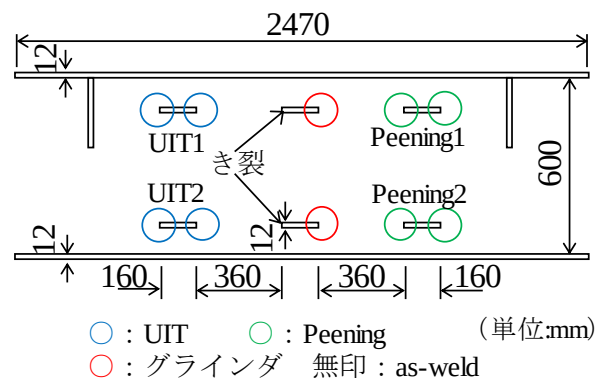


図-1 SBHS700 桁試験体¹⁾

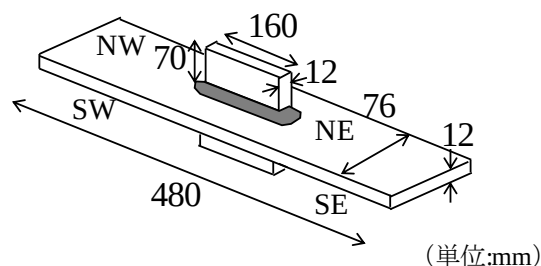
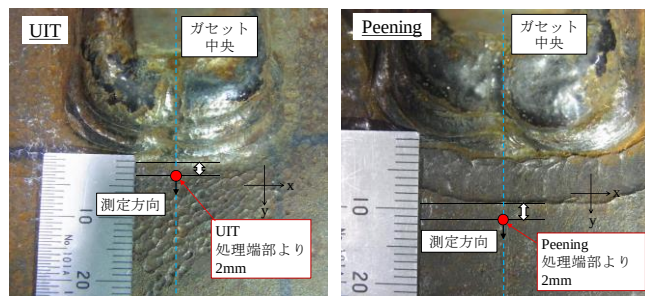


図-2 小型試験体の形状および寸法



(a) UIT

(b) Peening

図-3 残留応力測定の位置および方向

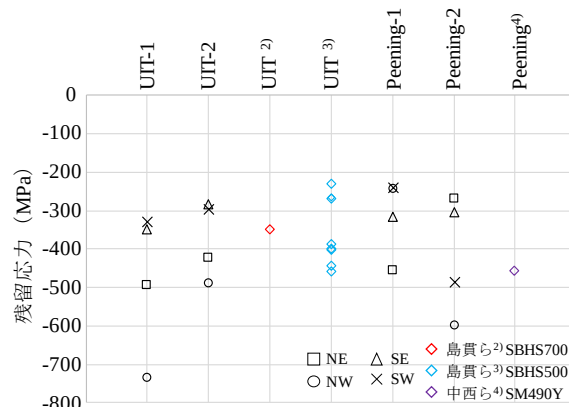


図-4 残留応力測定結果

装置 μ -X360s ($\cos\alpha$ 法) を用いた。図-3 (a), (b) に UIT および Peening の測定位置と方向を示す。図-4 に残留応力測定結果を示す。ここでは、切出したことによる圧縮残留応力の開放が懸念されるため、既往データ²⁾³⁾⁴⁾との比較より検討する。UIT においては、島貫

ら²³⁾と同程度の圧縮残留応力が残っていることが伺える。Peeningにおいては、中西ら⁴⁾との比較から、40%程度低い値に分布するものもあるが、UIT³⁾とほぼ同程度といえる。以上より、小型試験体に成形後も既往研究²³⁾⁴⁾と同程度の圧縮残留応力を確認した。

4. 疲労試験結果と疲労限推定

図-5に疲労試験結果を示す。疲労試験は、UIT1及びPeening1試験体が終了している。UIT1及びPeening1試験体では、公称応力範囲を100MPaから、150MPa、180MPa、200MPaまで増加させたが(ただし、各応力範囲で繰返し回数200万回実施)、き裂発生には至らなかった。現行のJSSC疲労強度等級において、面外ガセット溶接継手(非仕上げ)は、G等級に分類されるが、両者ともにA等級程度までの向上となっている。桁疲労試験体As-weld¹⁾のE~F等級と比較しても、高い疲労強度であることが分かる。これより、桁疲労試験結果よりも高い疲労強度向上効果が確認できたといえる。次に、小型試験体であってもき裂発生が確認できなかったことから、ここでは島貫ら⁵⁾の修正グッドマン線図を溶接止端部に適用した最大公称応力 σ_{max} と最小公称応力 σ_{min} の関係で表される式(1)を用いた疲労限推定方法を用いて、UIT1試験体の疲労限を推定した。なお、式(1)はUITを対象に提案されている。

$$\sigma_{Nmax} = \{2(\sigma_B - \sigma_{RS}) + K_t \cdot (\alpha - 1) \cdot \sigma_{Nmin}\} / \{K_t \cdot (\alpha + 1)\} \quad \text{式(1)}$$

ここで、 σ_B は鋼材の引張強度、 σ_{RS} は残留応力、 K_t は止端応力集中係数、 α は鋼材の疲労限に対する引張強度の割合である。止端応力集中係数 K_t は森ら⁹⁾を参考に2.81(UIT)、4.3(AW)としている。図-6に止端半径計測結果を示す。計測結果にはばらつきが認められるが、UITは、As-weldと比較して止端半径が大きく、止端形状の改善が認められるため、止端応力集中係数はAWよりも低い。一方、PeeningではAs-weldとほぼ同程度であり、止端形状の改善は小さいことが認められた。また、 σ_{RS} は繰返し負荷による変化はないものとし、-500~-200MPa(UIT)、400MPa(AW)とした。また、疲労試験中に定期的に静的試験を実施し、止端部から2mmの位置に貼付したひずみゲージからは局所的な塑性化による圧縮残留応力の再分配は確認されなかった。図-7にUIT1の疲労限推定結果を示す。なお、図中には公称応力範囲ごとに止端部4か所の疲労試験結果をプロットしている。図-7より、UIT1のプロットは応力範囲100MPa、150MPa、180MPaでは疲労限以下、200MPaでは σ_{RS} -300MPaの疲労限付近であり、図-4よりUIT1の圧縮残留応力は300MPa以上であることから、き裂発生に至る可能性は低い。よって式(1)によって妥当な疲労試験結果であると評価できた。

<参考文献> 1)判治ら：橋梁用高降伏点鋼板(SBHS)を用いた溶接継手の疲労特性，構造工学論文集，2014.3. 2)島貫ら：UITによる高張力鋼溶接継手

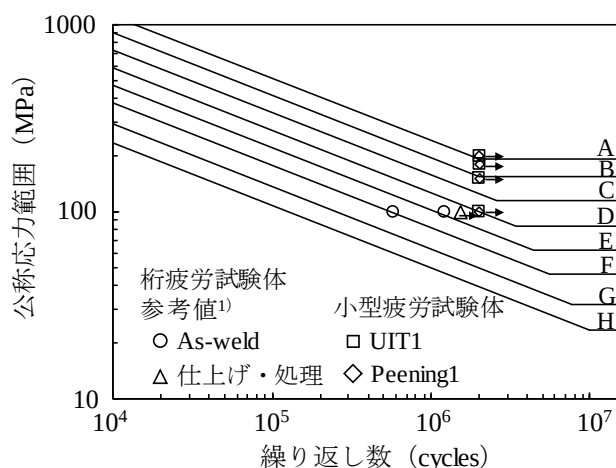


図-5 疲労試験結果

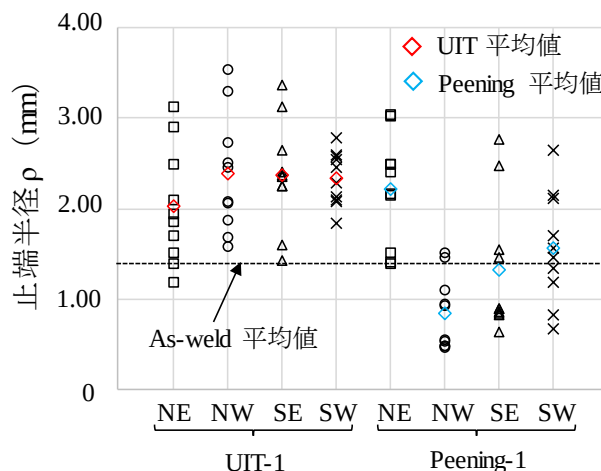


図-6 止端半径測定結果

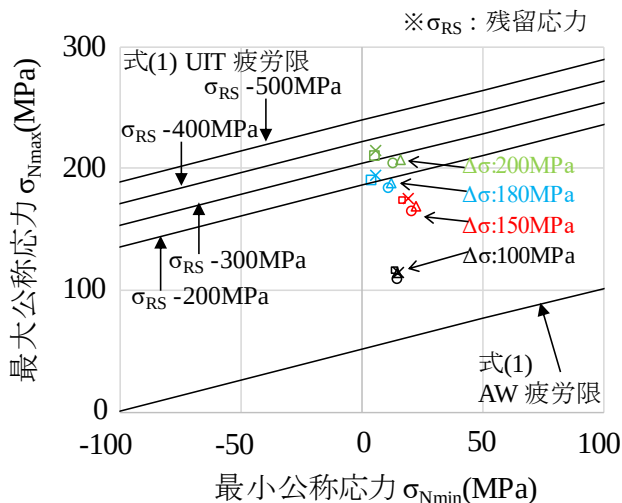


図-7 UIT1の疲労限推定結果

の疲労強度改善効果と止端部残留応力の検討，第67回学術講演会，2012.9.

3)島貫ら：UITによる溶接継手の疲労強度改善効果の推定方法の検討 その3，第70回学術講演会，2015.9. 4)中西ら：母材打撃ハンマーピーニングによる溶接継手の疲労強度向上方法に関する研究，土木学会論文集 A1，2015.

5)島貫ら：UITによる溶接継手の疲労強度改善効果の推定方法の検討，第68回学術講演，2013.9. 6)森ら：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 A1，2011.