

十字すみ肉溶接継手の疲労き裂起点に及ぼす UIT の影響

新日鐵住金 正会員 ○米澤 隆行, 新日鐵住金 正会員 島貫 広志
法政大学 フェロー会員 森 猛

1. 緒言

荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手の疲労破壊起点は、応力集中の高い止端部となることが一般的である。この溶接止端に UIT (Ultrasonic Impact Treatment) を施すと、止端の疲労強度が大幅に改善されるが、溶接ルート部の疲労特性には影響を及ぼさないため、疲労き裂の起点がルート部になることがある⁽¹⁾⁽²⁾。しかしながら、UIT 継手のルート部起点の破壊事例の詳細な報告は少なく、ルート破壊が生じる条件や疲労強度の目安は明確になっていない。そこで、本研究では前報⁽²⁾に引き続き、荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手を用いて UIT 後の疲労破壊起点に及ぼす溶接脚長の影響を調査するとともに、有効切欠き応力に基づく検討を行った。

2. 試験体と試験条件

本研究では図 1 に示す形状・寸法の荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手を用いた。試験片作製に使用した鋼材は、板厚 12mm の橋梁用高降伏点鋼板 SBHS500 (YS:565MPa, TS:660MPa) である。溶接は CO₂ 溶接 (溶接材料: 590MPa 級用フラックスコートワイヤ SF-60) によるすみ肉溶接とし、溶接部の脚長は 5mm, 10mm, 13mm 狙いの 3 種類とした。UIT は、ESONIX[®]27 UIS (UIT は米国 PRS 社の技術) 装置を用い、溶接止端部の止端線が消失するまで行った。打撃ピンは直径 3mm, 先端曲率半径 3mm のものを使用し、処理後の止端部の凹みが 0.2~0.3mm となるよう処理した。疲労試験は 500kN 油圧サーボ式試験機を用いて、試験速度 3~6Hz, 応力比 0 の条件で実施した。また、各試験体形状における有効切欠き応力は FEM (ソルバ: Abaqus v6.14) を用いた弾性解析により計算した。

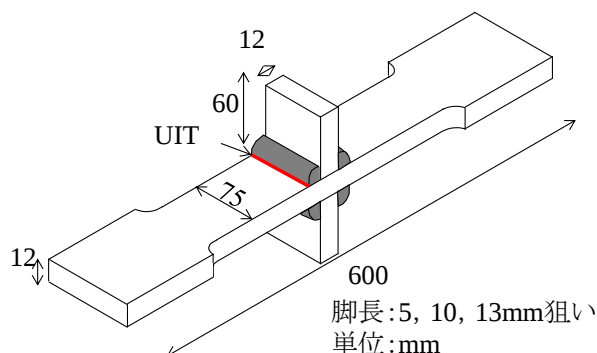


図1 供試試験体形状

3. 疲労試験結果

脚長 5mm(代符:L5), 10mm(同:L10), ならびに 13mm(同:L13)の十字溶接継手の疲労試験結果を図 2 に示す。なお、凡例の AW は溶接まま, UIT は UIT 施工後の疲労試験結果を示している。L5~L13 の AW は、従来知見と同様に脚長に依らず溶接止端から疲労き裂が発生した。UIT を施した L5-UIT, L10-UIT では、前報で述べたように UIT による疲労改善効果が顕著となる長寿命域でルート部を起点に疲労き裂が発生した。一方、脚長が最も長い L13-UIT では、すべての試験条件で止端 UIT 部を起点に疲労破壊した。したがって、本試験体形状の場合、ルート部起点と止端 UIT 部起点に分かれる臨界脚長は 10~13mm といえる。ただし、疲労き裂の起点に関係なく UIT により疲労強度は大きく改善している。

試験体形状を模擬し、ルート部に半径 1mm の円を設置した FEM モデル (二次元 1/4 対称モデル, 図 3) を用いて脚

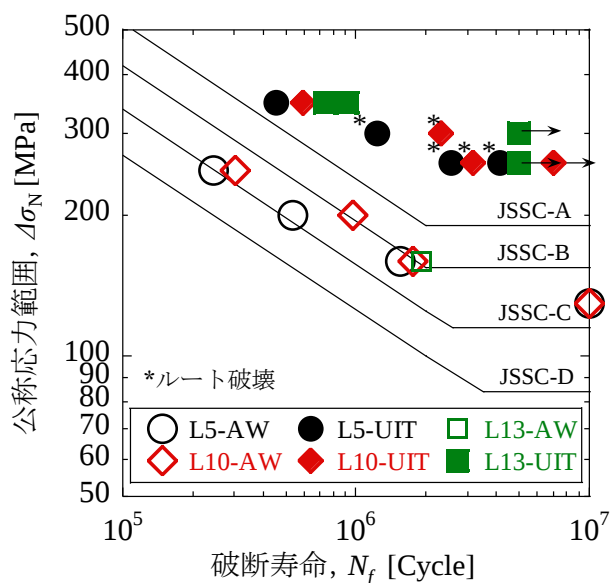


図2 十字溶接継手の疲労試験結果

キーワード 十字溶接継手, 疲労強度, 超音波衝撃処理, ルート破壊, 有効切欠き応力
連絡先 〒293-8511 千葉県富津市新富 20-1 新日鐵住金(株)鉄鋼研究所 厚板・形鋼研究部

長 5, 7, 10, 13, 20mm におけるルート部と止端 UIT 部の有効切欠き応力を計算した. そして有効切欠き応力と公称応力の比, を応力集中係数とした. なお, UIT を施した溶接止端は, その測定結果に基づき, 図 3 に示すように模擬した. 脚長/主板厚を横軸にルート部と止端 UIT 部の応力集中係数を整理した結果を図 4 に示す. 参照する応力や残留応力が異なるため, ルート部と止端 UIT 部の応力集中係数の絶対値を比較することはできないが, 脚長の増大に伴いルート部の応力集中は低下, 止端 UIT 部は増加する傾向を示した. すなわち, 図 5 に示すように, 脚長が長くなると止端 UIT 部に発生する応力がルート部より大きくなり, その差が UIT で導入された圧縮残留応力を超えた時, 疲労き裂起点が止端 UIT 部に变化したものと考えられる. 一方, 図 4 に主板厚 50mm の場合の解析結果を併記するが, 主板厚が厚くなると相対的に UIT 止端の曲率半径が小さくなるため脚長/主板厚が同じでも止端 UIT 部の応力集中のみが高くなった. また, UIT によって導入される圧縮残留応力は鋼材の強度に依存し, 疲労試験中に緩和も生じることが確認されている⁽³⁾. したがって, き裂発生起点やルート破壊しない臨界脚長を予測するには, これらの影響を考慮する必要があるといえる.

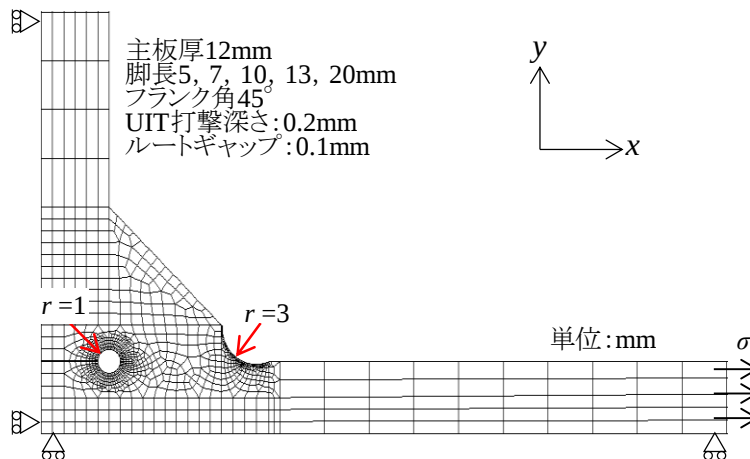


図3 有効切欠き応力, 応力集中計算モデル例(脚長13mm)

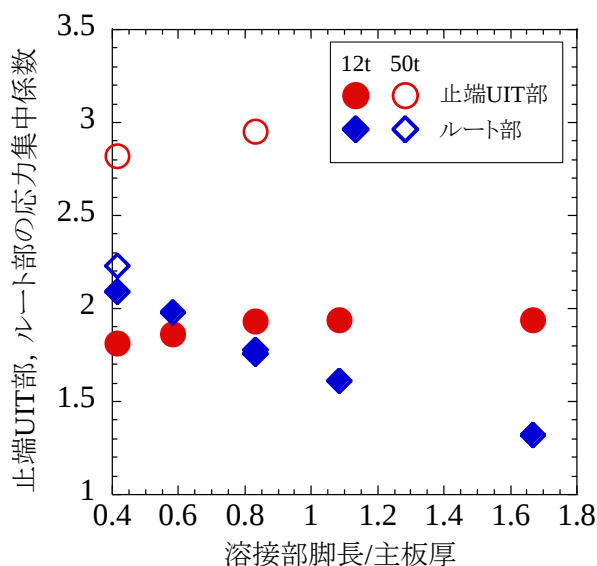


図4 応力集中係数と溶接部脚長の関係

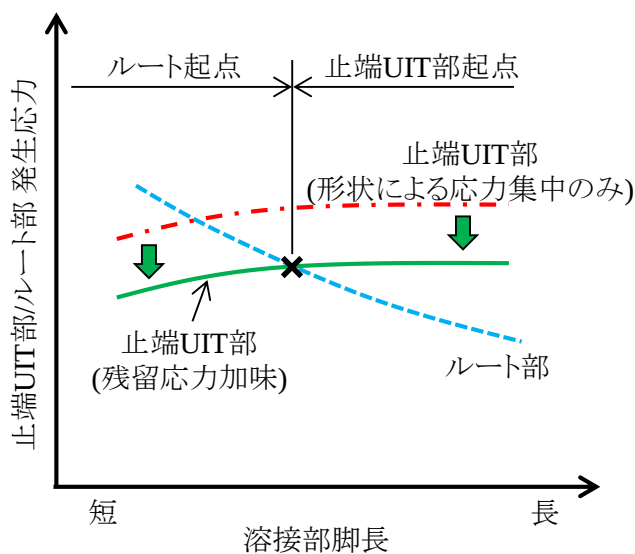


図5 止端UIT部とルート部の発生応力による疲労き裂起点分岐のイメージ図

5. 結言

本研究では, UIT を施した十字すみ肉溶接継手を対象に疲労特性や疲労き裂の発生起点に及ぼす脚長の影響を疲労試験および FEM により評価した. そして, 本試験体形状 (主板厚: 12mm) では, 脚長 13mm でルート破壊が予防できること, 止端起点 UIT 部起点とルート部起点の疲労強度差が 10%程度であること, 脚長が長くなると相対的に止端 UIT 部の応力集中が大きくなること, を確認した. 今後は, き裂発生起点に及ぼす主板厚や残留応力の影響について検討を進めていく.

参考文献

- (1) T. Iwata, T. NIWA, Y. Tanaka, T. Ando, Y. Anai, IIW Doc. XIII-2604-15, 2015.
- (2) 米澤隆行, 島貫広志, 田中睦人, 森 猛, 平成 29 年度土木学会全国大会第 72 回年次学術講演会, I-267
- (3) 米澤隆行, 島貫広志, 田中睦人, 森猛, 溶接構造シンポジウム 2017 講演論文集, pp.395-402.