## 疲労き裂の進展に伴う面外ガセット溶接継手の残留応力再配分に関する解析的検討

名古屋大学 ○益田 裕太 学生会員 正会員 判治 到门 和雄 フェロー会員 舘石 正会員 清水 優

溶接継手から生じた疲労き裂が溶接残留応力場を進展 1. 研究の背景と目的 する際,き裂の進展に伴い残留応力は再配分され,残留応力場は変化する.既往の 研究 <sup>1)-3)</sup>では、CT および CCT 試験片や T 字溶接継手により、貫通き裂の進展に伴 う残留応力の再配分挙動が検討されており、き裂起点の初期残留応力がき裂先端 に再配分されながら進展する様子が示されている. 一方, 鋼橋に生じた疲労き裂 のほとんどは表面き裂であり、表面き裂が進展する際の断面内の残留応力再配分 に関する検討事例はほとんどない、本研究では、面外ガセット溶接継手のまわし

12 340 12<sup>th</sup> 300 -200 360

図-1 試験体の寸法 (単位: mm)

溶接止端に生じた表面き裂を対象とし,その進展による残留応 力場の変化を解析により検討した.

2. 疲労試験概要 試験体は図-1 に示す面外ガセット溶接 継手 4)である. 主板と付加板には SBHS400 を, 溶材には SF-1 を用い、炭酸ガス半自動アーク溶接により製作した. 供試材料 の機械的性質を表-1に,溶接条件を表-2に示す.なお,付加板 と主板はまわし溶接部より 50mm の区間を完全溶込み溶接に て接合しており、まわし溶接部の脚長は約15mmである.

図-2 に示す位置の残留応力の測定結果 4を図-3 に示す. な

表-1 供試鋼材の機械的性質

	降伏点 (N/mm²)	引張強さ (N/mm²)	伸び (%)
主板・ 付加板	522	578	22
溶材	524	604	25

表-2 溶接条件

電流	電圧	速度	入熱量	溶接姿勢	
(A)	(V)	(cm/min)	(kJ/cm)		
260	31	52	9.3	下向き	

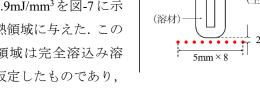
お、後述の解析で得られた結果も併記している。本論文では座標軸および試験対象の寸法を図-4 のように定義し、 対象とする残留応力はx軸方向の残留応力 $\sigma_x$ である. 図-3 の縦軸は残留応力を主板の降伏応力 $\sigma_y$ で除したもの, 横 軸は試験体中央からの距離zを板幅Wで除したものである.まわし溶接部近傍で高い引張残留応力を確認できる.

面外ガセット溶接継手に生じる疲労き裂の進展性状を把握するために、板曲げ振動疲労試験機による疲労試験を 実施した.公称応力範囲は 100N/mm², 応力比は-1 とした.定期的にビーチマーク載荷を行い, き裂形状を記録し た. 得られたビーチマークを図-5に、それより計測したき裂寸法を表-3にまとめる.

3. 解析方法 ABAQUS Ver.6.14 による熱弾塑性解析を行い、図-6 に示す解析対象における溶接部近傍の残留応 力を求めた. 溶接止端位置における断面図を図-7に示す. 境界条件として, モデルが剛体運動しないように端部の 変位を拘束している. 鋼材の材料特性には文献 5)を参考に図-8 に示す温度依存性を設定した.表-2 の溶接条件を基

に, 入熱効率を 0.7 として 計算した物体熱流束 12704.9mJ/mm<sup>3</sup>を図-7に示 す入熱領域に与えた. この 入熱領域は完全溶込み溶 接を仮定したものであり,

解析モデルの溶接線全域



(付加板) (主板)

既往の研究 本研究の解析結果 -0.5 0.5 z/W

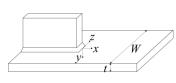


図-2 残留応力測定位置

図-3 残留応力測定結果

図-4 設定した座標軸



図-5 破面に記録されたビーチマーク

	表-3 ビーチマークの寸法							
Ī		1	2	3	4	(5)		
ſ	き裂深さ(mm)	4.2	6.1	7.8	8.6	9.5		
Ī	き裂長さ(mm)	22	42	62	74	88		

キーワード 面外ガセット溶接継手, 残留応力, 再配分, 疲労き裂

〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 名古屋大学工学部 9 号館 626 号室 TEL: 052-789-4620 連絡先

に一様に入熱した. 入熱してから 5000 秒間自然冷却した後, き裂に相当する要素 (厚さ 0.1mm) を削除することによりき裂進展を模擬した. き裂はまわし溶接止 端から発生し、板厚および板幅方向に同一平面内を進展すると仮定した、き裂形 状は図-5に示すビーチマークを参考に5パターンとした.

初期残留応力の分布を図-3 中に示している. まわし溶接部を直 4. 解析結果 線でモデル化したため、溶接部近傍の分布形状には差がみられるが、最大値はお おむね一致している. き裂が進展する断面における残留応力 $\sigma_{r}$ のコンターを各き 裂時に分けて図-9 に示す. また, 幅中央の止端位置を原点にとり, き裂進展に伴

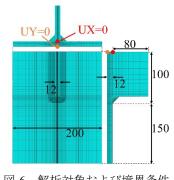
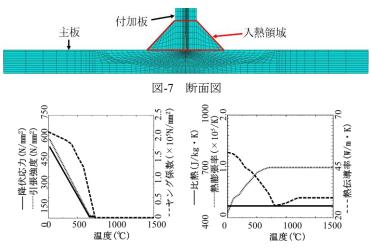


図-6 解析対象および境界条件

う板厚方向(y方向)および板幅方向(z方向)の残 留応力分布の変化を図-10 に示す. 残留応力はき裂 先端に位置する節点応力である. 図中には初期の分 布と,各き裂時の分布を示している.板厚方向,板 幅方向ともに、き裂が進展しても、き裂先端で高い 引張の残留応力が維持されるように残留応力が再 配分されていることがわかる. また板幅方向の分布 より, 初期の圧縮残留応力場にき裂先端が達した場 合でも,残留応力の再配分により,き裂先端には引 張の残留応力が生じていることがわかる.

5. まとめ 本研究では,面外ガセット溶接継手 のまわし溶接止端から発生した疲労き裂を対象に,

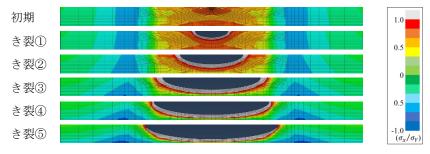


解析に用いた材料の温度依存性

その進展に伴う残留応力の再配分挙動を解析により検討した.その結果,板厚および板幅方向のいずれにおいても, き裂先端付近には高い引張残留応力が再配分されながらき裂が進展することが確認された.

謝辞 本研究は科学研究費補助金(18H01520、代表:判治剛)によるものである.ここに謝意を表します.

参考文献 1) 向井ら:溶接学会論文集, Vol.5, p.280-284, 1987. 2) 三木ら:土木学会論文集 A, Vol.66, pp.836-849, 2010. 3) 益田ら: 土木学会第 74 回年次学術講演会, I-338, 2019. 4) 判治ら: 構造工学論文集 A, Vol.63, pp.646-658, 2017. 5) 上田ら:溶接学会論文集, Vol.2, pp.97-104, 1984.



き裂進展に伴う残留応力分布の変化

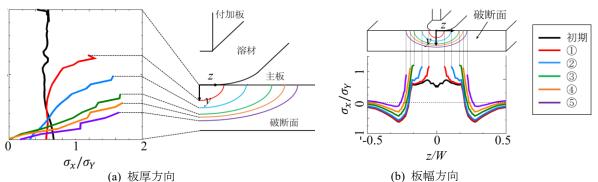


図-10 残留応力の再配分の様子