

等価構造応力に基づく疲労試験結果のばらつきとマスター-S-N 線図への適合性

長崎大学大学院 学生会員 倉本賢治 長崎大学工学部 正 会 員 中村聖三
長崎大学大学院 学生会員 松本久幸 長崎大学工学部 フェロー 高橋和雄

1. 序論

公称応力の算定が困難な様々な溶接構造物の疲労照査に用いられる一般的な構造応力は、要素サイズに依存しやすいという問題がある。これに対して、近年、要素サイズに依存しにくい等価構造応力を用いる方法が提案¹⁾されている。本研究では、軸方向引張荷重される荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手^{2), 3)}、面外ガセット継手^{2), 3)}、面内ガセット継手⁴⁾、カバープレート³⁾および曲げ荷重されるリブ T 字溶接継手⁵⁾を対象に、等価構造応力の要素サイズへの依存性、等価構造応力に基づく疲労試験結果のばらつきや Dong ら¹⁾により提案された S-N 線図(マスター-S-N 線図)への適合性を検証した。

2. 検討概要

2.1 解析対象

対象継手は、1. で述べた 5 種類の溶接継手である。対象継手の一例として、文献 2) に示されている荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手の形状・寸法を図 - 1 に示す。

2.2 解析概要

解析には汎用有限要素解析ソフトウェア MARC を用い、その要素ライブラリから使用要素タイプとして 8 節点立体要素(要素 7)を全ての溶接継手に対して選択した。ただし、面外ガセット継手とカバープレートに関しては、まわし溶接部に 3 次元 4 節点 4 面体要素(要素 134)を用いた。荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手については、対称性を考慮し全体の 1/4 モデルを作成した。それ以外の溶接継手は全体モデルを作成した。図 - 1 の供試体に対応する FEM モデルを図 - 2 に示す。使用材料のヤング係数(E)およびポアソン比(ν)は、それぞれ $E = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、 $\nu = 0.3$ とした。

2.3 等価構造応力の算出方法¹⁾

溶接止端部の断面に作用する節点力 F_{xi} を FEM 解析により求め、溶接止端部の断面における膜応力(σ_m)および板曲げ応力(σ_b)をそれぞれ式(1)および(2)により算出する。

$$\sigma_m \cdot w \cdot t = \sum_{i=1}^n F_{xi} \quad (1)$$

$$\sigma_b \cdot w \cdot \frac{t^2}{6} = \sum_{i=1}^n F_{xi} \cdot y_i \quad (2)$$

次に、算出された膜応力(σ_m)および板曲げ応力(σ_b)を用い、等価構造応力(S_s)を次式より算出する。

$$S_s = \frac{\sigma_s}{t^{(2-m)/2m} \cdot I(r)^{1/m}} \quad (3)$$

ここに、 σ_s : 構造応力($= \sigma_m + \sigma_b$)、 $r = \frac{\sigma_b}{\sigma_m + \sigma_b}$ 、

$$I(r) = 0.294r^2 + 0.846r + 24.815, \quad m = 3.6 \text{ である。}$$

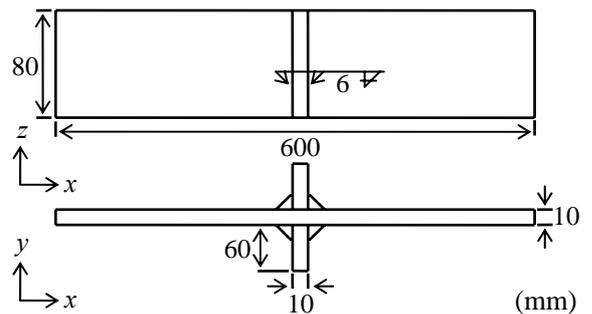


図 - 1 荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手の形状・寸法

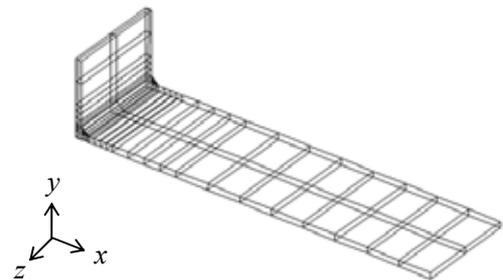


図 - 2 荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手の FEM モデル

表 - 1 荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手における溶接止端部近傍の要素サイズ

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
x 軸	1mm	2.5mm	5mm	5mm	5mm
y 軸	5mm	5mm	5mm	2.5mm	5mm
z 軸	40mm	40mm	40mm	40mm	20mm

ここに、 t : 主板の板厚、 w : 着目断面の板幅である。

3. 検討結果

3.1 メッシュ分割依存性

荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手を対象とし、表 - 1 に示すように要素サイズを変化させた 5 つのモデルに対して、溶接止端部に公称応力範囲 $\Delta\sigma = 100.0\text{N/mm}^2$ が生じるよう、主板の長手方向に引張応力を作用させた解析を行った。その結果得られた各モデルの溶接止端部近傍における最大主応力、等価構造応力の値をグラフ化したものを図 - 3 に示す。

図 - 3 より、荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手における最大主応力は要素サイズが変化するとその値が変化するのに対し、等価構造応力は要素サイズが変化してもほぼ同値を示すことが確認できる。よって、等価構造応力はメッシュ分割への依存性がきわめて低いと言える。

3.2 等価構造応力に基づく疲労試験結果のばらつき

本研究で対象とした 5 種類の溶接継手に対して、等価構造応力に基づく疲労試験結果のばらつきを検証した。用いた指標は、S-N データにおける決定係数と標準偏差である。文献より入手した公称応力に基づく疲労試験結果および解析により算出された等価構造応力に基づく疲労試験結果の決定係数および標準偏差を表 - 2 に示す。

表 - 2 における決定係数および標準偏差の値から、等価構造応力に基づく疲労試験結果は公称応力に基づく疲労試験結果に比べ、ばらつきが小さいことがわかる。

3.3 マスター-S-N 線図への適合性

対象とした 5 種類の溶接継手に対して、解析により算出された等価構造応力に基づく疲労試験結果を、文献 1) に示されているマスター-S-N 線図とともに図 - 4 に示す。図中太線で示したのはこれらのデータから得られた近似曲線であり、図上部にはその式を示している。また、細い実線は、文献 1) に示されている様々な溶接継手の疲労試験結果を等価構造応力で整理した場合の平均直線を、短破線および長破線はそれぞれ 95% および 99% 信頼区間を表している。破断した試験体 38 本中 28 本(73.7%)の疲労試験データがマスター-S-N 線図の 95% 信頼区間内に位置し、38 本中 31 本(81.6%)のデータが 99% 信頼区間内に位置している。各信頼区間内に位置するデータの割合から、今回用いた疲労試験データには必ずしもマスター-S-N 線図への適合性があるとはいえないことがわかる。

4. まとめ

本研究では、等価構造応力が最大主応力に比べ、メッシュ分割に依存しにくいことが確認できた。しかし、対象とした溶接継手の等価構造応力に基づく疲労試験結果はマスター-S-N 曲線への適合性があるとは必ずしもいえなかった。今後は、本研究で対象とした継手形式以外の溶接継手を含めた新たな疲労試験データを用いて同様の検討を行う予定である。

【参考文献】

- 1) P.Dong, J.K.Hong, D.A.Osage, M.Prager: Master S-N curve method for fatigue evaluation of welded components, WRC Bulletin 474, 2002.8
- 2) 山田健太郎, 村山 眞, 近藤明雅, 菊池洋一: 大気暴露された無塗装の耐候性鋼および普通鋼溶接継手の疲れ強さ, 土木学会論文報告集, 第 337 号, 1983.9
- 3) 稲葉紀昭, 阪本謙二: SM58 およびステンレス鋼の疲労特性, 構造物設計資料, No.49, 1977.3
- 4) 森 猛, 西尾一徹, 内田大介: ボルト締めストップホール法で補修した面内ガセット溶接継手の疲労強度評価式の提案, 鋼構造論文集, 第 9 巻第 33 号, 2002.3
- 5) Chitoshi MIKI, Takeshi MORI, Satoshi TUDA, Kenji SAKAMOTO: RETROFITTING FATIGUE-CRACKED JOINTS BY TIG ARC REMELTING, 土木学会論文報告書, No.380, 1987.4

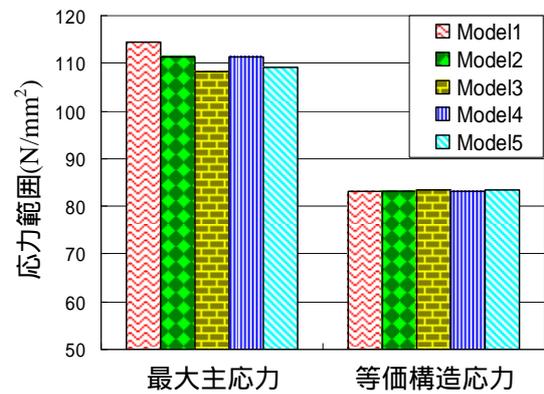


図 - 3 荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手における要素サイズの影響

表 - 2 決定係数および標準偏差の結果

	決定係数	標準偏差(N/mm ²)
公称応力	0.1708	69.6
等価構造応力	0.4408	39.1

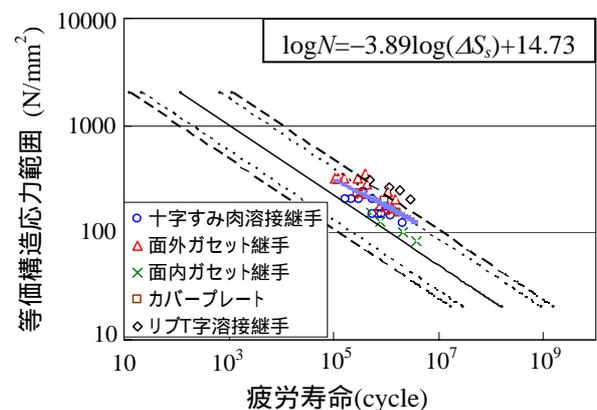


図 - 4 等価構造応力に基づく疲労試験結果