

4 種類の溶接継手に対する等価構造応力に基づくマスターS-N 線図の適合性

長崎大学大学院 学生会員 ○倉本賢治
長崎大学大学院 学生会員 松本久幸

長崎大学工学部 正 会 員 中村聖三
長崎大学工学部 フェロー 高橋和雄

1. はじめに

様々な溶接構造物において、溶接部の形状が複雑で公称応力の算定が困難な場合、溶接形状やその止端形状などの局所的な形状による応力の乱れを考慮せず、構造的な応力集中のみを考慮した溶接部近傍の応力(ホットスポット応力)を FEM 解析により算出し、この応力を用いて疲労設計が行われる場合がある。しかし、FEM 解析に基づく一般的なホットスポット応力は、メッシュ分割に依存するという問題点がある。それに対して、近年、メッシュ分割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4種類の溶接継手(荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手²⁾、面外ガセット継手²⁾、面内ガセット継手³⁾、カバープレート⁴⁾)を対象に、FEM 解析結果に基づき算出された溶接止端部における等価構造応力のメッシュ分割への依存性、等価構造応力における疲労試験結果のばらつき、および等価構造応力範囲(ΔS_S)に基づく疲労試験結果の様々な溶接構造物の S_S -N データから算出された S-N 曲線(マスターS-N 曲線)への適合性を検証する。

2. 対象継手の概要

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および寸法を図-1に示す。溶接脚長は6mmである。

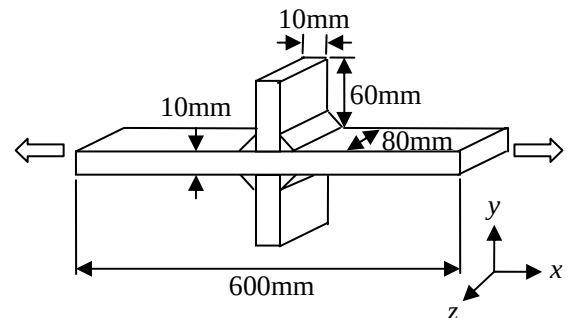


図-1 荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手における形状および寸法

3. 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)を選択した。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(図-2)を作成した。また、等価構造応力のメッシュ分割への依存性を検証するために、疲労試験により破壊が生じた溶接止端部の近傍における要素サイズを表-1に示すように変化させて解析を行った。また、等価構造応力における疲労試験結果のばらつき、およびマスターS-N 曲線の適合性を検証するために、文献2)~4)を参考に、1.で述べた4種類の継手に対して解析を行った。モデルのヤング係数(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。

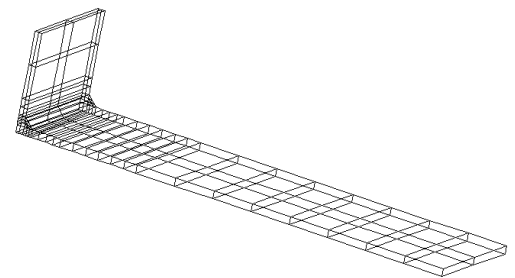


図-2 荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手における FEM モデル

4. 等価構造応力の計算方法¹⁾

溶接止端部の断面に作用する節点力 F_x 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。

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

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

ここに、 t : 主板の板厚、 w : 着目断面の板幅である。

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。

表-1 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

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

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

$I(r) = 0.294r^2 + 0.846r + 24.815$, $m = 3.6$ である.

5. 解析結果と考察

等価構造応力のメッシュ分割への依存性を確かめるために, 表-1 に示す 5 つの Model に対して, 公称応力が $\sigma = 100.0\text{N/mm}^2$ である場合の溶接止端部における最大主応力, 先に述べた算定式より算出された等価構造応力の値を図-3 に示す. 図-3 から等価構造応力は最大主応力 비해, メッシュ分割への依存性が低いことが確認できる. 特に要素サイズの影響が大きくなると考えられる長手方向では, x 軸方向への要素サイズが 1mm (Model 1)の場合と 5mm (Model 3)の場合の最大主応力の相違が 5.5%であったのに対し, 等価構造応力の相違は 0.4%であった.

図-4 は文献 1)で提案されているマスターS-N 曲線と 4 種類の継手の等価構造応力に基づく疲労試験結果を, 図-5 は文献 1)で記されている公称応力に対するマスターS-N 曲線と 4 種類の継手の公称応力に基づく疲労試験結果をともに示したものである. 公称応力では決定係数 $R^2 = 0.6181$ であるのに対し, 等価構造応力では $R^2 = 0.7905$ である. これより, 等価構造応力に基づく疲労試験結果の方がデータのばらつきが小さいことがわかる. また, 対象継手の ΔS_N データにおいて, 全体の 96%が 95%信頼区間に位置し, すべてが 99%信頼区間に位置していることより, 等価構造応力で整理した疲労試験結果は, マスターS-N 曲線への整合性が高いと言える. さらに, 対象継手の ΔS_N データの全てがマスターS-N 曲線の平均より高い疲労強度を示しており, 対象とした試験体の溶接止端部の形状が, マスターS-N 曲線の構築に用いられたものより良好であったことが推察される.

6. 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. また, 対象とした溶接継手の ΔS_N データはマスターS-N 曲線への適合性が高いことが確認できた. 今後, 今回対象とした継手形式に対する他の実験結果を収集し, それらがマスターS-N 曲線に適合するかを検証するとともに, 他形式の溶接継手についても同様の検討を実施する予定である.

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, 村山真, 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) 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.
- 4) 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.

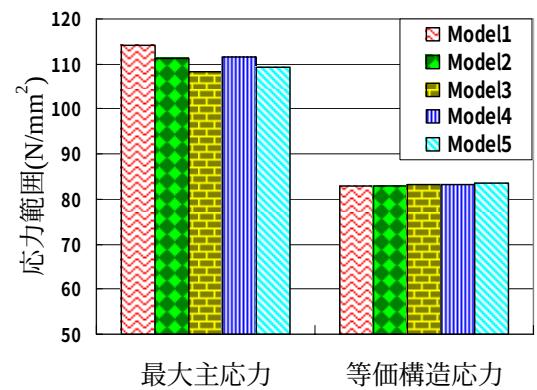


図-3 要素サイズの影響

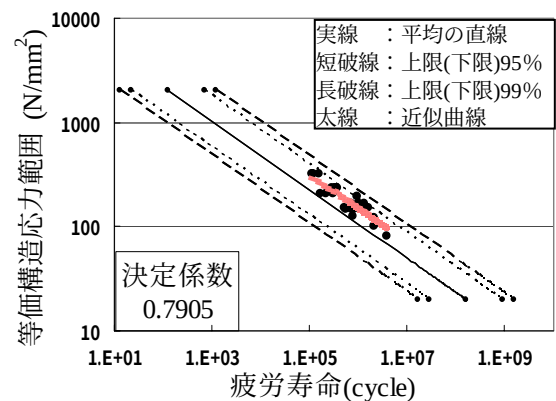


図-4 等価構造応力に基づく疲労試験結果

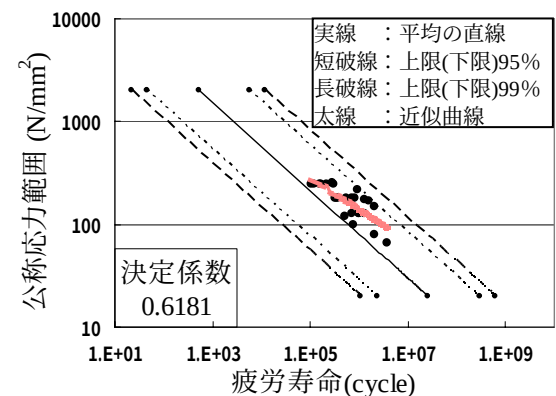


図-5 公称応力に基づく疲労試験結果