

荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手における等価構造応力に基づくマスターS-N曲線の検証

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

近年、構造不連続部の形状が複雑で公称応力の算定が困難な場合に用いられる、構造的な応力集中のみを考慮した溶接部近傍の一般的なホットスポット応力よりも、FEM 解析における要素サイズに依存しにくく、公称応力を用いた場合に比べ統一性の高い疲労試験結果を得ることができると思われる等価構造応力による疲労強度評価法が提案¹⁾されている。本研究ではいくつかの一般的な荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手を対象に、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要素サイズへの依存性、および等価構造応力に基づく疲労試験結果のばらつきを検証するとともに、対象とした各継手の等価構造応力に基づく疲労試験結果と、文献 1)で提案されている等価構造応力に基づく S-N 曲線(マスターS-N 曲線)の適合性を検証する。

2. 解析概要

対象継手の一例として、文献 3)に記されている継手の形状および寸法を図-2.1 に示す。解析には汎用有限要素解析ソフトウェア MARC²⁾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。モデルの対称性を考慮して全体の 1/4 モデルを作成し、溶接止端部近傍に各文献の実験データに記されている公称応力が生じるように、主板の x 軸方向に引張応力を作用させた。文献 3)のデータをもとにした解析モデルにおいては、等価構造応力の要素サイズの依存性の検証を行うため、表-2.1 に示したように溶接止端部の近傍における要素サイズを x 軸方向および y 軸方向に変化させた Model 1 から Model 5 までの 5 パターンについて解析を行った。なお、それ以外のモデルの要素サイズは、x 軸方向 0.5mm, y 軸方向 1mm とした。また、すべてのモデルにおいてヤング係数(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。

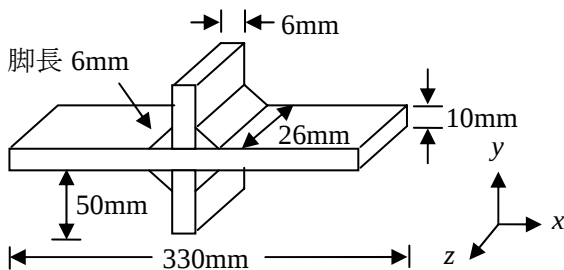


図-2.1 継手の形状

表-2.1 要素サイズ

	Model1	Model2	Model3	Model4	Model5
x 軸方向	2mm	1mm	0.5mm	1mm	1mm
y 軸方向	1mm	1mm	1mm	5/3mm	0.5mm

3. 等価構造応力の計算方法¹⁾

溶接止端部から x 軸方向へ 1 要素分だけ離れた断面での各節点における軸応力 $\sigma_x(y)$ およびせん断応力 $\tau_{xy}(y)$ から、溶接止端部の断面における膜応力(σ_m)、板曲げ応力(σ_b)、および等価構造応力(S_s)はそれぞれ式(1)、式(2)、および式(3)により算出できる。

$$\sigma_m = \frac{1}{t} \int_0^t \sigma_x(y) dy \quad (1) \quad \sigma_m \frac{t^2}{2} + \sigma_b \frac{t^2}{6} = \int_0^t \sigma_x(y) \cdot y dy + \delta \int_0^t \tau_{xy}(y) dy \quad (2) \quad S_s = \frac{\sigma_s}{t^{\frac{2-m}{2m}} \cdot I(r)^{\frac{1}{m}}} \quad (3)$$

ここに、 t : 主板の板厚、 δ : x 軸方向の要素サイズ、 σ_s : 構造応力($=\sigma_m + \sigma_b$)

$r = \frac{\sigma_b}{\sigma_m + \sigma_b}$, $I(r) = 0.294r^2 + 0.846r + 25.815$, $m = 3.6$ である。

キーワード: 荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手, 等価構造応力, 要素サイズ, マスターS-N 曲線, 有限要素解析

連絡先: 〒852-8521 長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部社会開発工学科 Tel: 095-819-2610 Fax: 095-819-2627

4. 解析結果と考察

4.1 各種応力のメッシュ分割依存性

Model 1, Model 2, Model 3 および Model 2, Model 4, Model 5 の各応力値を比較することにより, 溶接止端部近傍の x 軸方向および y 軸方向の要素サイズ依存性を検証した. それぞれのモデルの溶接止端部近傍における最大主応力, Mises の等価応力, 等価構造応力の値をグラフ化したものを図-4.1 および図-4.2 に示す. これらの図から, 等価構造応力は他の応力に比べ要素サイズに依存しにくいということがわかる.

4.2 ΔS_N - N データのばらつき

文献 3) から文献 9) より入手した疲労試験結果を, 公称応力および解析により算出された等価構造応力により整理した結果を図-4.3, 図-4.4 に示す. 図中の実線は, 文献 1) に記されている様々な溶接継手の公称応力, および等価構造応力に基づく疲労試験結果の平均直線を, 短破線および長波線はそれぞれ 95% および 99% 信頼区間を表す. 決定係数の値から, 等価構造応力を用いた場合は, 公称応力を用いた場合に比べ, ややデータのばらつきが小さいことがわかる.

4.3 マスター-S-N 曲線の適合性の検証

図-4.4 に薄い色の直線で示した本研究で用いた文献のデータに対する近似直線から, 等価構造応力に基づく疲労試験結果は, マスター-S-N 曲線の比較的上部に位置していることがわかる. これらのデータを試験体の試験条件別に比較したところ, 止端仕上げを行った試験体, および大気暴露により溶接部の止端半径が大きくなった試験体のデータが高い疲労強度を示していた. そこで, 溶接止端半径が記載されていた試験体に対して, $\rho=0\text{mm}$ とした場合と測定された止端半径である $\rho=1.1\text{mm}$ とした場合の解析を行ったが, 溶接止端半径を考慮したモデルの等価構造応力のほうが 5% 程度低い応力値を示す程度にとどまった.

5. 結論

本研究では, 等価構造応力が最大主応力や Mises の等価応力など他の応力と比べ, メッシュ分割に依存しにくいこと, 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, ややばらつきが小さいことが確認できた. また, 止端仕上げ等, 何らかの原因で局所的な応力集中が緩和される場合には, 等価構造応力に基づく疲労試験結果がマスター-S-N 曲線の上に位置し, 平均値曲線の適合性が低下することもあり得ることを明らかにした. 今後は, 他形式の溶接継手においても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実験結果のばらつきやマスター-S-N 曲線への適合性を検証する予定である.

参考文献

- 1) P.Dong *et al.*: Master S-N curve method for fatigue evaluation of welded components, WRC Bulletin 474, 2002.8
- 2) エムエスシーソフトウェア株式会社: MSC.Marc2000 日本語オンラインマニュアル, 2000
- 3) 山田健太郎: 変動応力を受ける溶接継手の荷重相互干渉効果の解析, 土木学会論文集, 第 1 巻, 2000.7
- 4) 日本鋼構造協会: 止端加工による疲労強度向上法, JSSC レポート, No.6, 1987.11
- 5) 山田健太郎: 耐候性鋼無塗装橋梁部材の疲れ強さ, 土木学会論文報告集, 第 338 号, 1983.10
- 6) 森猛ら: リブ十字のすみ肉溶接形状と疲労強度, 鋼構造年次論文報告集, 第 11 巻, 2003.11
- 7) 稲葉紀昭ら: SM58 およびステンレス鋼の疲労特性, 構造物設計資料, No.49, 1997.3
- 8) 山田健太郎: 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
- 9) 近藤明雅ら: 10 年大気暴露した耐候性鋼と普通鋼溶接継手の疲労挙動, 土木学会論文集, 第 489 号, I-27, 1994.4

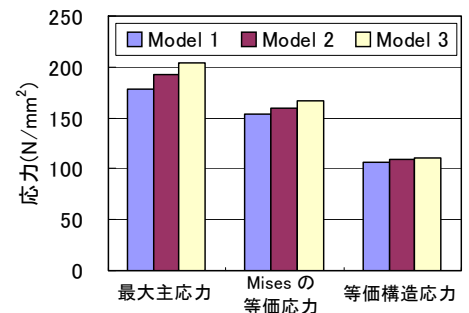


図-4.1 x 軸方向の要素サイズの影響

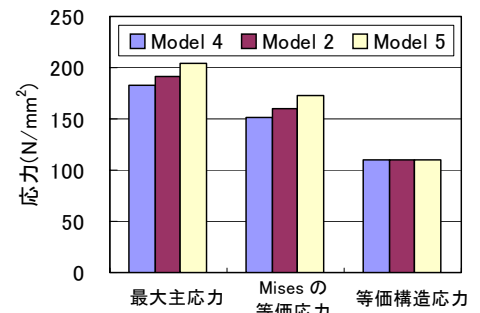


図-4.2 y 軸方向の要素サイズの影響

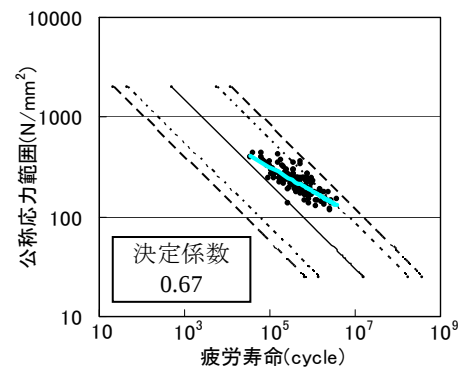


図-4.3 公称応力

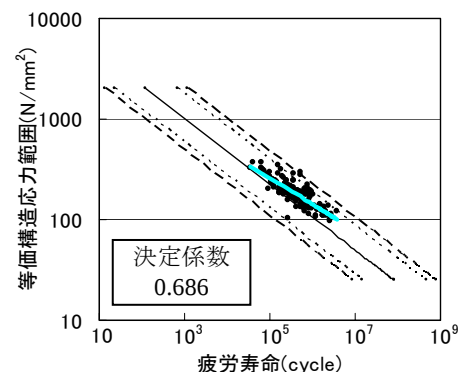


図-4.4 等価構造応力