

十字隅肉溶接継手の等価構造応力に関するシェル要素を用いた解析的検討

長崎大学大学院 学生会員 ○孫書楠

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、一般的な FEM 解析に基づく構造応力は、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¹⁾が提案されている。本研究では、一般的な十字隅肉溶接継手を対象に、シェル要素を用いた 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、板厚効果の影響、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。

2. 解析概要

対象継手の一例として、文献³⁾に示されている十字隅肉溶接継手の形状および寸法を図 1 に示す。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双 1 次厚肉シェル要素(要素 No.75)を選択し、対称性を考慮して全体の 1/4 モデルを作成した。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。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。境界条件は、主板を y 軸変位拘束、付加板を x 軸変位拘束とし、主板端部 x 軸方向に載荷した。

等価構造応力を算出するため、まず、溶接止端部の断面に作用する節点力 F と節点モーメント M 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。

$$\sigma_m \cdot w \cdot t = \sum_{i=1}^n F_{xi} \quad (1) \quad \sigma_b = \frac{\sum_{i=1}^n M_{zi}}{I} \cdot \frac{t}{2} \quad (2)$$

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。

$$S_s = \frac{\sigma_s}{t^{\frac{2-m}{2m}} \cdot I(r)^{\frac{1}{m}}} \quad (3) \quad \text{ここに, } \sigma_s: \text{構造応力}(=\sigma_m +$$

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

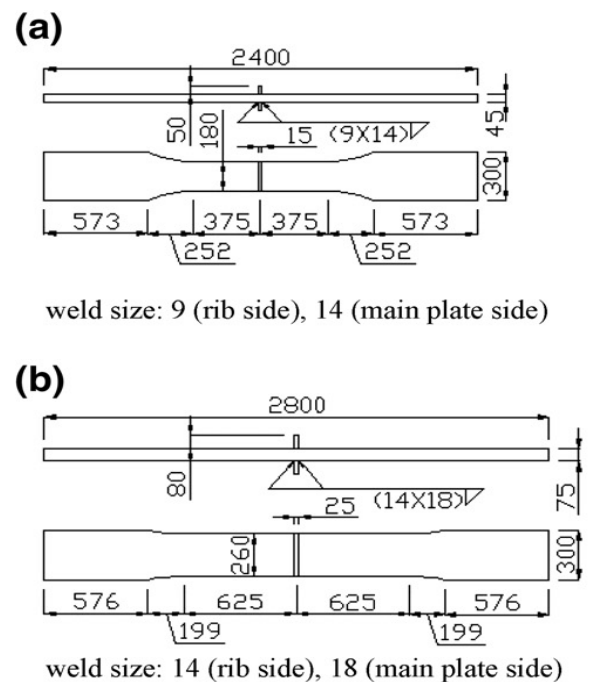


図 1 解析対象溶接継手

表 1 溶接止端部近傍の要素サイズ

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
x 軸	3mm	5mm	10mm	25mm
z 軸	30mm	30mm	30mm	30mm

3. 解析結果と考察

3.1 板厚効果の影響

文献³⁾に記されている板厚が異なる十字溶接継手を解析対象として算出された等価構造応力に基づく疲労試験結果を図2に示す。図2からAとBの等価構造応力に基づく疲労試験結果は同じくマスターS-N線図の95%信頼区間に位置することが分かる。この結果から十字溶接継手においては板厚が疲労強度に与える影響は極めて少ない。

3.2 メッシュ分割への依存性

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4個のModelに対して、主板の溶接止端部近傍の公称応力が 78N/mm^2 である場合について、溶接止端部における最大主応力、等価構造応力の値を図3に示す。等価構造応力、最大主応力よりも、メッシュサイズによる値の変化は小さいことがわかる。

3.3 疲労試験結果のばらつき

文献³⁾⁻⁶⁾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を図4、図5に示す。図中赤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る。両者を比較すると、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、データのばらつきが小さいことがわかる。

3.4 マスターS-N線図への適合性

図5に赤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は、文献¹⁾に示された平均マスターS-N線図とほぼ一致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、疲労強度向上策が施された試験体に対しては、平均マスターS-N線図は疲労強度を過小評価する可能性が高いことがわかった。

4. 結論

本研究では、シェル要素を用いたFEM解析に基づく等価構造応力は、メッシュ分割に依存しにくく、公称応力に基づく疲労試験結果に比べ、ばらつきが小さいということが確認できた。また、研削加工やピーニング等、疲労強度を向上させるための処理が施された場合には、等価構造応力に基づく疲労試験結果がマスターS-N曲線の上部に位置し、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。図2から、十字溶接継手において板厚効果は疲労強度に影響を与えたとはいえない。今回文献³⁾に記されている疲労データの数で十字溶接継手の疲労強度に対する板厚効果の影響を評価するのはまだ不十分と思われる。今後は、今形式と他形式の溶接継手においてもシェル要素を用いた解析に基づく等価構造応力の疲労試験結果に対する板厚効果の影響を検討する予定である。

【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) 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) Wooryong Park, Chitoshi Miki : Fatigue assessment of large-size welded joints based on the effective notch stress approach
- 4) 国広哲男, 藤原稔, 武田亘弘 : 鋼床版隅肉溶接部の疲労試験結果, 土木技術資料 16-2(1974)
- 5) 日本鋼構造協会, 疲労小委員会 : 溶接継手の止端研削による疲れ強さ向上法, JSSC VOL.12, '76 6
- 6) 太田省三郎, 工藤松一, 江口保平, 三浦数男 : リブ十字形前面隅肉溶接継手の疲れ強さ(その2)

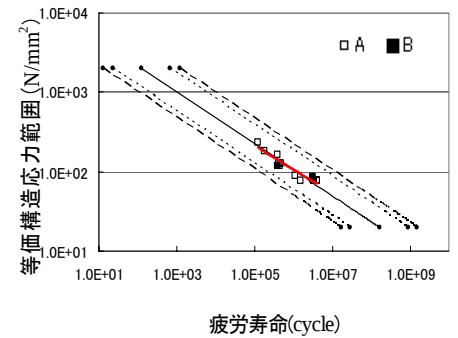


図2 板厚効果の影響

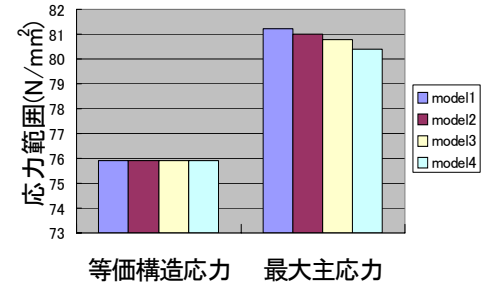


図3 要素サイズの影響

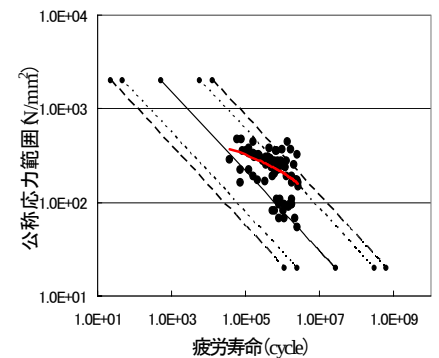


図4 公称応力

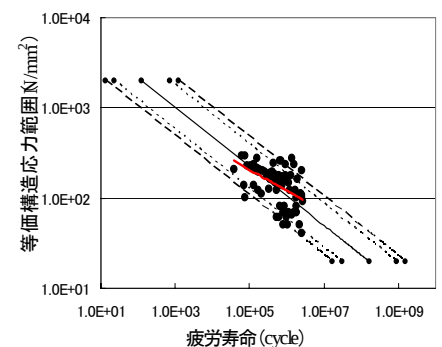


図5 等価構造応力