

荷重非伝達型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、一般的な荷重非伝達型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をソリッド要素を用いた場合と比較するとともに、そ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、およびマスターS-N 線図へ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²⁾に示されている荷重非伝達型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 $E=2.0\times10^5\text{N/mm}^2$, $\nu=0.3$ 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 軸方向に载荷した。

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。

$$\sigma_m \cdot w \cdot t = \sum_{i=1}^n F_{xi} \quad (1) \quad \sigma_b = \frac{\sum_{i=1}^n M_{zi}}{I} \cdot \frac{t}{2} \quad (2) \quad \text{ここに、} t: \text{主板の板厚, } w: \text{着目断面の板幅である。}$$

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。

$$S_s = \frac{\sigma_s}{t^{\frac{2-m}{2m}} \cdot I(r)^{\frac{1}{m}}} \quad (3) \quad \text{ここに、} \sigma_s: \text{構造応力}(=\sigma_m + \sigma_b), r = \frac{\sigma_b}{\sigma_m + \sigma_b}, I(r) = 0.294r^2 + 0.846r + 24.815,$$

$m=3.6$ である。

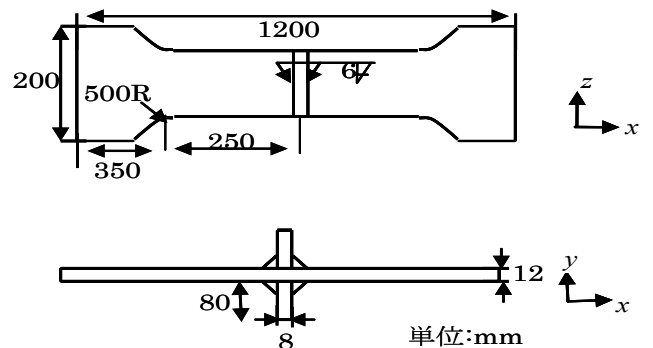


図1 解析対象溶接継手

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	1.5mm	3mm	3mm	6mm
z 軸	40mm	40mm	80mm	40mm
	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8
x 軸	6mm	24mm	24mm	12mm
z 軸	80mm	80mm	40mm	80mm

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、疲労、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 Tel: 095-819-2613 Fax: 095-819-2627

3. 解析結果と考察

3.1 ソリッドモデルとの比較

図1の対象継手に対して、各モデルの溶接止端部近傍における膜応力、曲げ応力と等価構造応力の値を表2に示す。表2からシェルモデルとソリッドモデルの膜応力の解析結果は完全に一致することがわかる。しかし、板曲げ応力の解析結果は両モデルの間に差が生じている。これは、溶接部のモデル化の違いが一因として考えられる。

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8個のModelに対して、主板の溶接止端部近傍の公称応力が 245N/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2に示す。等価構造応力、最大主応力ともに、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)-5)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3、図4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、やや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4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、研削加工やピーニングといった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もソリッド要素を用いた場合と同様、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。こうした場合には別途マスターS-N線図を構築する必要があると考えられる。今後は、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要素サイズへの依存性、S-N線図(マスターS-N線図)への適合性を検証し、ソリッド要素を用いた場合との相違を明確にする予定である。

【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
- 3) 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)
- 4) 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
- 5) 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)

表2 各モデルの結果(単位: N/mm^2)

	σ_m	σ_b	S_s
シェルモデル	245	59.2	183.2
ソリッドモデル	245	97.8	206.3

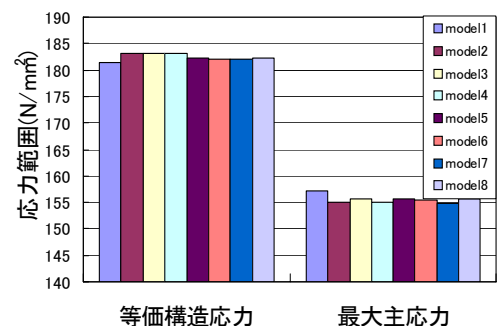


図2 要素サイズの影響

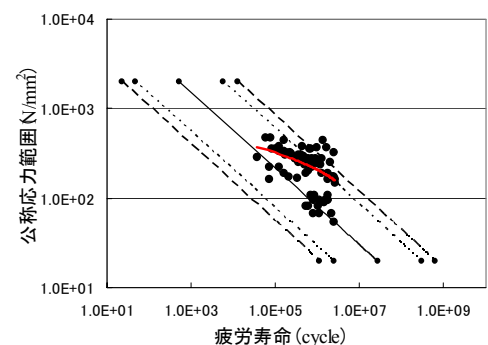


図3 公称応力

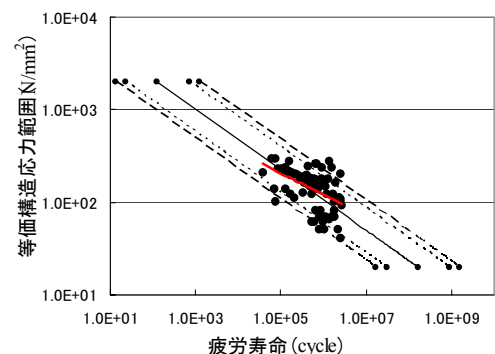


図4 等価構造応力