

等価構造応力に基づくマスターS-N 曲線に関する一検討

長崎大学工学部 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、一般的なFEM解析に基づく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。本研究では一般的な荷重非伝達型十字隅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メッシュ分割への依存性、および対象とした継手の等価構造応力範囲(S_s)に基づく疲労試験結果と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)の適合性を検証する。

2. 対象継手の概要

対象継手は文献 2) に示されている荷重非伝達型十字隅肉溶接継手である。その形状・寸法を図 - 1 に示す。鋼材はASTM A588(降伏点 421N/mm^2 , 引張強さ 565N/mm^2)であり、溶接脚長は 6mm である。

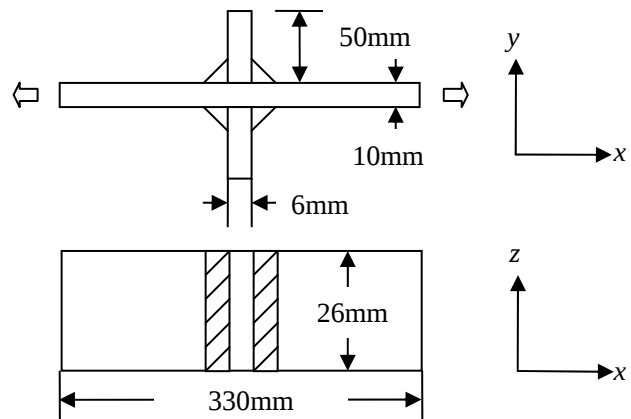


図 - 1 対象継手の形状および寸法

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。対称性を考慮し全体の 1/4 モデルを作成した。文献 2) に基づき、

最小公称応力は $\sigma_{min} = 3.4\text{N/mm}^2$ の一定値とし、最大公称応力を $\sigma_{max} = 147.6\text{N/mm}^2$, 180.0N/mm^2 , 232.5N/mm^2 と変え、これら 4 パターンそれぞれについて解析を行った。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は、 y 軸方向に 1mm, z 軸方向に 2.6mm で一定とし、 x 軸方向には 2mm, 1mm, 0.5mm と変化させた。モデルのヤング係数(E)およびポアソン比(ε)は、それぞれ $E = 2.0 \times 10^5\text{N/mm}^2$, $\varepsilon = 0.3$ とした。

4. 等価構造応力の計算方法¹⁾

溶接止端部から x 軸方向へ任意の距離だけ離れた断面における軸力 $\sigma_x(y)$ およびせん断力 $\tau_{xy}(y)$ 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。

$$\sigma_m = \frac{1}{t} \int_0^t \sigma_x(y) dy \quad (1)$$

$$\sigma_m \frac{t^2}{2} + \sigma_b \frac{t^2}{6} = \int_0^t \sigma_x(y) \cdot y dy + \delta \int_0^t \tau_{xy}(y) dy \quad (2)$$

ここに、 t : 主板の板厚, δ : x 軸方向の要素サイズである。

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)を次式により算出する。

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

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, それぞれのメッシュ分割において, 公称応力が $\sigma = 147.6 \text{ N/mm}^2$ である場合の溶接止端部における最大主応力, Misesの等価応力, 先に述べた算定式により算出された等価

構造応力の値を図 - 2 に示す. 図 - 2

から, 等価構造応力は最大主応力や Misesの等価応力などの他の応力に比べ, メッシュ分割への依存性が低いということが確認できる. 特にz軸方向への要素サイズが 1mmの場合と 0.5mmの

場合のメッシュ分割による等価構造応力の誤差は小さく,

最大主応力とMisesの等価応力のメッシュ分割による応力の誤差がそれぞれ 6.1%, 3.8%であったのに対し, 等価構造応力の誤差は 1.1%であった. z軸方向の要素サイズが 0.5mmの場合について, 各公称応力に対する膜応力(σ_m), 板曲げ応力(σ_b), 構造応力(σ_s), 等価構造応力(S_s)の値を表 - 1 に示し, 等価構造応力範囲に基づく文献 2)の実験結果を表 - 2 に示す. 図 - 3 は文献 1)で提案されているマスター-S-N曲線を表 - 2 の実験結果とともに示したものである. 対象継手の S_s -Nデータは, マスター-S-N曲線の 95%信頼区間内に位置していることがわかる.

6. まとめ

本研究では, 等価構造応力が最大主応力や Mises の等価応力などの他の応力と比べ, メッシュ分割に依存しにくく, 対象とした溶接継手の S_s -N データはマスター-S-N 曲線の許容範囲内に収まるということが確認できた. 今後は同形式継手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, 同様の検討を他形式の溶接継手についても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) K.Yamada, Q.Cao, A.Kondo: Analysis of load interaction effect for welded details under variable amplitude fatigue, 土木学会論文集, 第 1 巻, 2000.7.

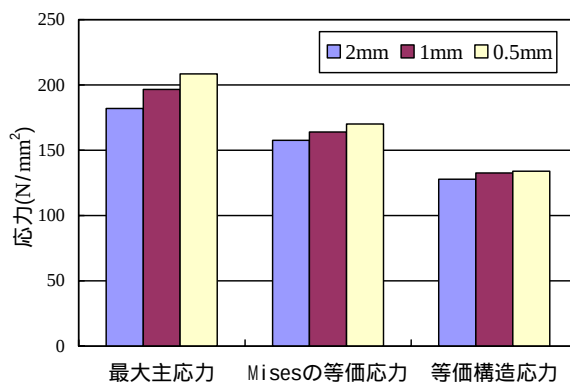


図 - 2 要素サイズの影響

表 - 1 要素サイズが 0.5mm の場合の応力値

公称応力 (N/mm ²)	膜応力 (N/mm ²)	板曲げ応力 (N/mm ²)	構造応力 (N/mm ²)	等価構造応力 (N/mm ²)
3.4	3.41	1.115	4.525	3.085
147.6	148	48.43	196.4	133.9
180	180.5	59.05	239.6	163.4
232.5	233.2	76.28	309.5	210.9

表 - 2 S_s -N 関係

公称応力範囲 (N/mm ²)	等価構造応力範囲 (N/mm ²)	疲労寿命 (cycle)
144.2	130.9	1862000
176.6	160.3	791000
229.1	207.8	317000

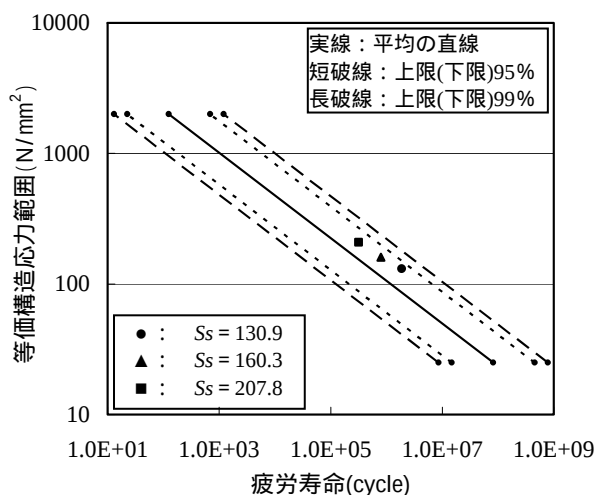


図 - 3 マスター-S-N 曲線