第I部門

継手疲労強度に対する板厚影響に関する検討

	大阪大学	接合科学研究所	〇大門	岳
--	------	---------	-----	---

大阪大学 接合科学研究所 堤 成一郎

大阪大学 接合科学研究所 FINCATO Riccardo

1. 緒言

溶接構造を対象とした疲労試験の結果として整理される S-N 関係(S:公称応力,N:疲労寿命)において,同 一の溶接継手形式でも板厚の増加や板厚の組み合わせによって疲労強度が低下する現象は,板厚効果<sup>1-3)</sup>として知 られている.板厚効果の要因に関しては,疲労き裂発生位置の応力集中や応力勾配,また残留応力や溶接変形の 差異が影響すると思われる.これまで実験および解析的な検討が進められているが,溶接継手を対象とする場合, それら影響因子を明確に区別することは困難であり,板厚効果に関して十分な理解が進んでいるとは言い難いの が現状であろう.

一方,近年の解析手法の発展や計算機性能の向上によって,溶接継手の疲労き裂発生および伝播寿命特性を推定する解析的手法が飛躍的に進んでおり,これまでに著者らやも溶接継手 HAZ 材料の繰返し弾塑性特性を考慮した FEM 解析および疲労き裂発生寿命に関する材料データベースを活用した疲労き裂発生寿命予測手法を提案している.

そこで本研究では、溶接に伴う角変形や残留応力の影響を排除した先行研究<sup>1)</sup>の実験的な検討結果を対象として、材料の繰返し弾塑性特性を考慮した FE 解析によって疲労試験を模擬したシミュレーションを実施するとともに、実験結果との比較を通じて、板厚効果に関して考察を行った.

## 2. 解析モデル概要

先の実験的研究<sup>1)</sup>に採用された十字継手を模擬した切り出し試験体の主板厚  $t_p \ge 12/22/40/80mm$ の4段階に変更した Series A,付加板厚  $t_a$ を同様の4段階に変更した Series B,相似形状でその両板厚を同様の4段階に変更した Series C の計 3 Series,合計 9 つのモデルを作成した(Table1). FEM モデルには、8節点1次アイソパラメトリック要素,最小メッシュ寸法 0.05mm(溶接止端部)を採用した.材料モデルおよび解析ソルバーは、それ ぞれ疲労 SS モデル<sup>4</sup>および Abaqus を使用した.

Fig.1 に示す境界条件で公称応力 F=180MPa を載荷する弾性解析を行った.各モデルに対して得られた応力集中 係数 K<sub>t</sub>を Table1 に合わせて示している.これより,主板厚のみを変更した Series A では顕著な板厚影響は見られ ないが,付加板厚を変更した Series B および両板厚を変更した Series C では,板厚の増加に伴い応力集中係数が 顕著に増加することがわかる.

## 3. 疲労き裂発生寿命・伝播寿命評価

疲労き裂発生寿命評価を目的として,疲労試験を模擬した応力比 R=0 の繰返し応力を載荷した.なお,繰返し 回数 N は弾塑性応答がほぼ定常状態となる 20 回とした.次に疲労き裂発生寿命評価とき裂伝播寿命評価の流れ を示す.き裂発生位置の要素としては,弾塑性解析における累積相当塑性ひずみが最大の要素とした.その要素 に対して以下の疲労き裂発生寿命 Nc と疲労き裂伝播寿命 Np の算出を行った.まず,弾塑性解析で得られた N=20



Gaku DAIMON, Seiichiro TSUTSUMI, Riccardo FINCATO tsutsumi@jwri.osaka-u.ac.jp



時点の軸ひずみ範囲を,実験データベースから得られる式<sup>2)</sup>を基に材料特性を考慮して作成した式(1)に適用する ことで疲労き裂発生寿命 Nc を算出した.

 $\Delta \varepsilon / 2 = 0.510 N_c^{-0.606} + 0.00507 N_c^{-0.115}$  (1)

$$\frac{da / dN = C(\Delta K^{n} - \Delta K^{n}_{ih})}{1/(a/b)^{n} = 1/\{f(x)\}^{n} + 1/\{g(x)\}^{n}}$$
(2)  
(3)

 $g(x) = hx / b_0 w \tag{4}$ 

また,この式で求まる Nc はき裂形状を半楕円形と仮定 した場合,き裂深さが 0.05mm の時の繰返し数とする. 一方,先行実験ではき裂深さ 1.0mm の時の繰返し数を Nc / Exp と定義しているため解析によって算出された Nc の定義と異なる.そのためき裂深さが 1.0mm に達す るまでの疲労き裂伝播寿 Np を Nc に足し合わせること で実験と解析における Nc の定義を一致させた.Np の 算出には JSSC が採用する式(2)で与えられる Paris 則<sup>3)</sup> を使用した.



ΔKの算出には同じく JSSC の応力拡大係数の計算式 <sup>3)</sup>を用いた.また,先行研究 <sup>5)</sup>の疲労き裂形状変化推定法(式 (3,4))によって形状(き裂深さ a /き裂幅 b)の変化を考慮した.

f(x)はき裂深さ方向の応力勾配の影響を与える関数であり,g(x)は初期き裂幅 b₀の影響を与える関数である.

Test01のNc+Npとして得られる S-N 関係を Fig.2 に示す. 概ね実験結果を再現できており, 他の形状のモデル でも同様であった.

次に,弾性解析で板厚影響が大きかった Series C の結果を Fig.3 に示す. Test 01,08,06 および 09 と板厚が大きく なるにつれて疲労寿命が短くなっており,板厚影響が見て取れる. また, Series A および B についても同様に板厚 影響が確認できた.

次に局所応力で整理した結果を Fig.4 に示す.バンド幅が減少しており,応力集中の差異が板厚効果の大きな要因であることが確認された.

## 4. 結言

本研究では、継手形状を模擬した切出し板に対して実施された実験的検討を対象として、板厚および板厚の組 み合わせが異なる模擬継手の寿命評価を実施した.その結果、実験で観測される板厚効果を再現することができ た.また、応力集中が板厚影響の大きな要因であることが確認された.今後、対象材料の材料特性を取得すると ともに、疲労き裂発生寿命および伝播寿命評価手法の高度化を進める予定である.

## 参考文献

- 1) Yamamoto, et.al.: Analytical and Experimental Study on the Thickness Effect to Fatigue Strength, 日本船舶海洋工 学講演会論文集(15), 151-154, 2012-11
- 2) 日本材料学会: 疲労設計便覧 日本材料学会編, 1995
- 3) 日本鋼構造協会:鋼構造物の疲労設計指針・同解説,2012
- 4) 堤ほか:ピーニングにより導入された残留応力の疲労荷重による緩和挙動,構造工学論文集,64A,627-635,2018
- 5) 穴井陽祐:応力集中場に存在する疲労表面亀裂の形状変化推定法の提案とその疲労寿命評価手法への適用, 九州大学 博士学位論文,2015