

PS-15 止端部にピーニング処理を施した溶接継手の疲労強度に及ぼす板厚効果

構造基盤技術系 *岩田知明、丹羽敏男、田中義久、構造安全評価系 安藤孝弘、構造基盤技術系 穴井陽祐

1. はじめに

板厚が厚くなるほど疲労強度が低下することは、板厚効果として知られており、共通構造規則 (CSR) では、溶接構造物に対して一律 1/4 乗則が義務付けられている。溶接構造物の大型化・厚板化が進む中、合理的かつ経済的に溶接構造物を設計製作するため、溶接止端への二次加工処理による疲労強度改善効果を明確にし、この効果を設計基準等へ反映する動きが、活発化している。

しかしながら、溶接止端部の二次加工処理による疲労強度改善効果は、グラインダ処理などの既存技術に関しては船級でも認められているが、高周波処理法などの新技術に関しては、定量的な評価を行うための改善効果の疲労強度データが不十分で、現在各船級で認められていない。また、溶接まま材とは異なり、二次加工処理を施した溶接継手の板厚効果はデータが不十分で明確ではないため、特に造船において使用される厚板鋼板の疲労強度改善効果のデータが必要とされている。対象部位としては、ロンジ貫通部、アッパーデッキとトランスウェブの溶接部、ロアスツールなどが挙げられる。

そこで、本研究では、船体構造主要三継手 (突合継手、荷重非伝達型十字継手、角回し継手) のうち、荷重非伝達型十字継手を対象として、二次加工処理 (グラインダ処理、ショットピーニング処理ならびに超音波ピーニング処理) 効果を考慮した疲労強度に及ぼす板厚効果と経済的かつ工業的メリットを検討し、疲労設計基準へ反映することを目的とする。

2. 供試材及び実験方法

供試材は溶接構造用圧延鋼材 SM490A を使用した。表-1 に、静的強度試験から得られた供試材の機械的特性を、ミルシートの数値並びに規格値と併せて示す。疲労試験片の形状を図-1 に示す。図は板厚 50mm の場合である。溶接は半自動 CO₂ 溶接で、指定溶接脚長は、共通構造規則 CSR F2 とした。F2 は

表-1 供試材の機械的特性

	板厚	耐力	引張強さ	伸び
	mm	MPa	MPa	%
AH36	0-50	355以上	490-620	21以上
SM490A (B)	5-16	325以上	490-610	17以上
ミルシート	10	398	528	26
実験平均値	9.73	374.3	526.5	35.4
SM490A (B)	16-40	315以上	490-610	21以上
ミルシート	22	366	526	28
実験平均値	10φ	317.1	513.9	37.0
SM490A (B)	16-40	315以上	490-610	21以上
ミルシート	40	361	556	28
実験平均値	10φ	365.7	566.9	32.7
SM490A (B)	40-50	295以上	490-610	21以上
ミルシート	50	346	544	33
実験平均値	10φ	337.1	531.3	35.5

強力甲板を除く船側外板などの要件である。供試材・溶接条件・試験体並びに試験片製作方法の詳細は文献1参照。疲労試験は応力比 R=0.05、周波数 1~3Hz の条件で行った。

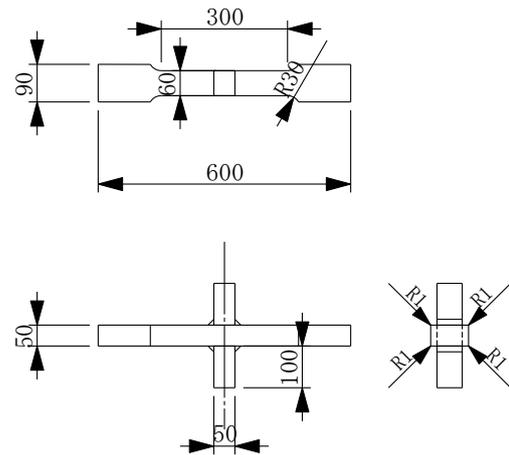


図-1 荷重非伝達型十字継手疲労試験片形状

3. 実験結果

図-2 に応力振幅と破断寿命の関係を示す。変数は最小乗法により決定した。各二次加工処理の板厚毎の実験結果に対して引かれた線は、50%生存確率線である。本来は、50%生存確率線から更に N の常用対数に対して 2 標準偏差減じて算出された 97.5%生存確率線を用いて評価すべきところであるが、本研究では、各二次加工処理の板厚毎にランアウトを除

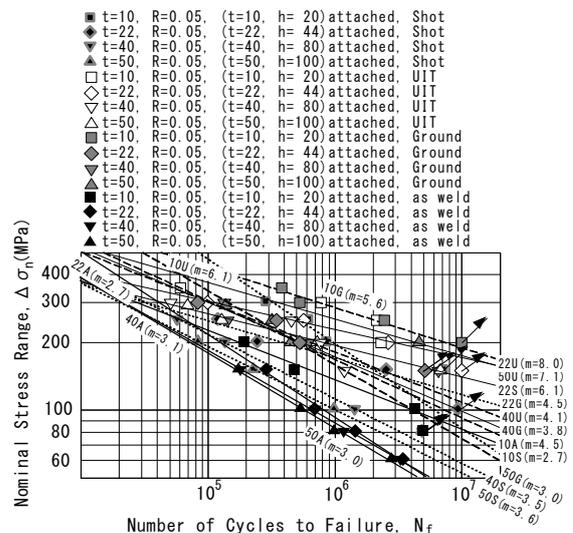


図-2 疲労強度曲線

いて三点しかなく、一部のシリーズの標準偏差の精度は、統計処理を行うためには不十分であった。そこで、今回は、50%生存確率線を用いて評価し、板厚係数を算出することとした。

図-2の50%生存確率線から得られる200万回疲労強度を、公称応力範囲と板厚の関係として図-3に示す。また、疲労強度と指定脚長の関係は明確にされていないが、強力甲板などの要件であるCSR F1 (F2に対して板厚10%の脚長割増)相当の脚長が板厚25mm以上においてIIWで指定され、疲労等級(200万回疲労強度)との関係が明確になっている²⁾。そこで、参考として、図-3中にIIW要件をF1として併せて示す。

超音波ピーニング処理材の疲労強度は溶接まま材の2.0~2.9倍となり、板厚が厚い程疲労強度改善効果は向上したため、溶接まま材より傾きの緩い板厚効果となった。一方、ショットピーニング処理材の疲労強度は溶接まま材の1.3~2.1倍で、板厚が厚い程疲労強度改善効果は低減したため、溶接まま材より傾きの厳しい板厚効果となった。

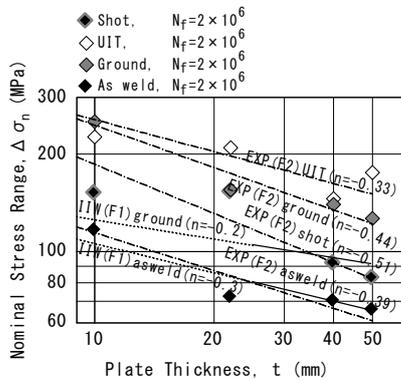


図-3 公称応力範囲と板厚の関係

4. 考察

米軍の航空機用材料規格の手引き書(MIL-HDBK-5)³⁾では、すべての材料のS-N関係を(1)式の等価応力 S_{eq} と寿命Nの関係(2)式で表している。

$$S_{eq} = S_{max} (1-R)^m \quad (1)$$

$$\log S_{eq} = \alpha + \beta \log N \quad (2)$$

ここに、 S_{max} は負荷した最大応力、 $R = S_{min}/S_{max}$ は応力比、 m は S_{eq} -N関係を最適化する指数である。

MIL-HDBK-5は航空機用の材料を対象とするため、取り扱われている溶接継手は、スポット溶接重ね合わせ継手に限られており、MIL-HDBK-5の等価応力には、溶接止端の応力集中や溶接残留応力の影響は含まれていない。

一方、溶接まま突合せ継手やすみ肉溶接継手が多用される船舶等の溶接構造物では、疲労損傷は溶接継手に生じ、溶接止端の応力集中と溶接残留応力の影響を受ける。この溶接止端の応力集中と溶接残留応力の影響を考慮した等価応力で疲労挙動を評価する手法が修正MIL-HDBK-5法である⁴⁾。この方法では、(1)式を書き直して(3)式とし、(4)、(5)式により S_{max} と $S_{max} - S_{min}$ に応力集中と残留応力の影響を考慮す

る。

$$S_{eq} = S_{max}^{1-m} S^m \quad (3)$$

$$S_{max} = *K S_{n,max} + S_r \quad (4)$$

$$S = *K (S_{n,max} - S_{n,min}) \quad (5)$$

ここに、 $S_{n,max}$ は負荷した最大応力、 $S_{n,min}$ は負荷した最小応力である。 $*K$ はき裂発生箇所の代表応力集中係数である。 S_r は溶接止端近傍の溶接残留応力である。 S_{max} に課せられる降伏応力の上限や代表応力集中係数 $*K$ の詳細については文献4に準じて設定した。

図-4に図-2のデータを(3)式の等価応力で整理して示した。実線は50%生存確率、一点鎖線は、実線からNの常用対数に対して2標準偏差減じて算出された97.5%生存確率線である。修正MIL-HDBK-5法の等価応力は応力集中と残留応力の影響が考慮されているため、異なる二次加工処理材に対しても溶接まま材と併せて評価できることが明らかとなった。

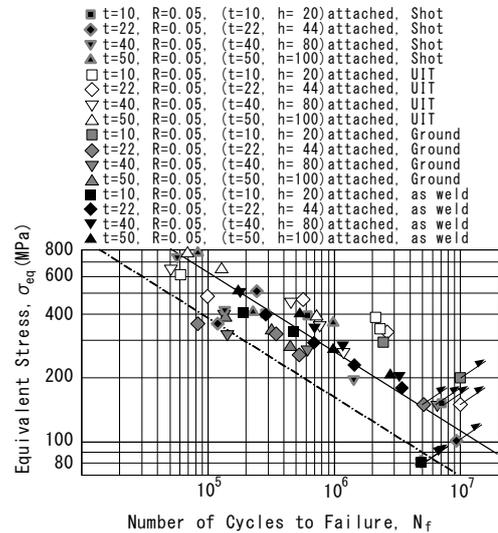


図-4 等価応力と破断寿命の関係

謝辞

本研究は新日鐵住金株式会社との共同研究により実施しました。

参考文献

- 1) 岩田知明、丹羽敏男、田中義久、安藤孝弘、穴井陽祐：二次加工処理効果を考慮した疲労強度に及ぼす板厚効果、第13回海上技術安全研究所発表会講演集、pp. 31-32, (2013)
- 2) 日本海事協会：第3部 鋼船規則 CSR-B 編 ばら積貨物船のための共通構造規則の解説
- 3) US Military Standard, MIL-HDBK-5 J, (2003)
- 4) 松岡一祥、藤井英輔：鋼溶接継手の疲労き裂発生寿命の一評価法、日本造船学会論文集、第178号、pp. 513-522, (1995)