

面外ガセット溶接継手の長寿命域における疲労挙動

芝浦工業大学 学生会員 ○伊藤 祐哉
芝浦工業大学 正会員 穴見 健吾

1. はじめに

鋼構造物の疲労損傷の多くは、溶接継手部から発生している。我が国の溶接継手の疲労設計には、例えば日本鋼構造協会が定める疲労設計曲線が用いられる。そこでは、一定振幅荷重に対する打ち切り限界が、荷重の繰返し回数が $10^6 \sim 10^7$ 回で設定され、設計曲線はその位置で水平になっている。しかし、この打ち切り限界が設定された当時では、 $10^7 \sim 10^8$ 回程度の長寿命域における疲労試験データが少なかったという問題がある。一方、国際溶接学会の疲労設計曲線では、明確な打ち切り限界を設定せず、設計曲線の傾きを変化させるなど、我が国の設定とは異なる例もある。

本研究では、面外ガセット溶接継手を対象に、疲労試験を実施し、長寿命域の疲労試験結果の蓄積、および長寿命域における疲労挙動の明確化を目的としている。その中で打ち切り限界に着目し、疲労損傷の有無に影響を及ぼす要因を、実験的、解析的なアプローチから検討を行うこととした。

2. 試験体と試験条件

本試験では、供試鋼材として SM490YB (板厚: 12mm, KH シリーズ) を用いた。試験体寸法とひずみゲージ貼付位置を図-1 に示す。止端形状は歯科印象材を用いて、写真-1 のように約 1mm 厚にスライスし、止端半径 ρ とフランク角 θ を計測した。本試験は、写真-2 に示す板曲げ疲労試験機を用いて、試験体自由端側をコイルばねで押し下げ、予荷重を与え、応力比 $R=0$ の片振試験を行った。なお、き裂長さが 30mm となった時点で試験終了とした。

3. 試験機キャリブレーション

ここでは、通常 (図-1) より多くのひずみゲージを貼付した試験体を用いた載荷試験 (8 パターン: 周波数、おもりの偏心位置、片・両振を変化) を行い、その結果を用いて、試験時の詳細な試験体の挙動を把握できる解析モデルの作成を行った。試験体の支持・載荷条件をパラメータとして解析を行った結果、試験体固定台位置で鉛直水平方向を固定し、試験体端部に分布荷重を載荷する条件が、例として図-2 に示すように解析値と試験値との相関が良いことから、この条件で板曲げ疲労試験の解析を行うこととした。

4. 試験結果

ひずみゲージ②③で計測された応力範囲を、ひずみゲージ②'③'で計測された応力範囲で補正し、等価応力範囲を用いて整理した試験結果を、図-3、表-1 に示す。Nb はき裂が止端部から母材に進展し始めた状態、N30 はき裂長さが 30mm に到達した状態を示している。破断した試験体はどれも 10^7 回までには、き裂長さ 30mm に到達していた。図-3 から見て取れるように、破断した試験体は応力範囲によらず、全て S-N 線図上で傾き 3

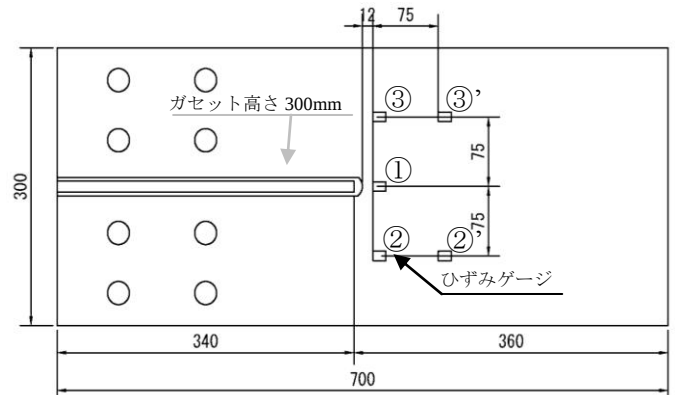


図-1 試験体寸法とひずみゲージ貼付位置 (mm)

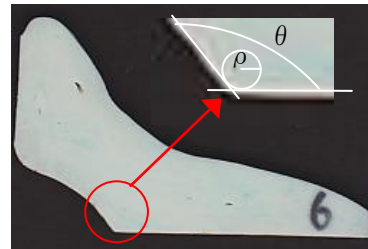


写真-1 止端形状計測



写真-2 疲労試験機

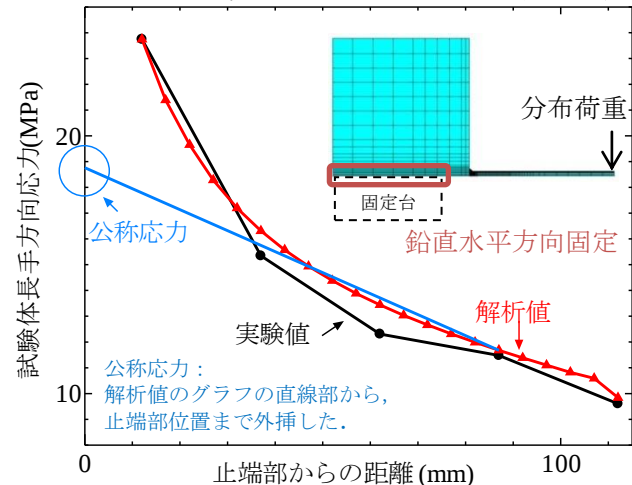


図-2 試験体中央長手方向応力と公称応力

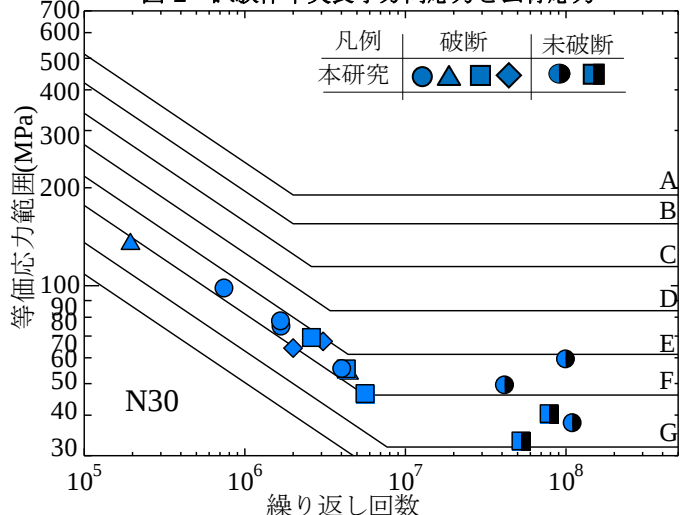


図-3 S-N 線図 (等価応力範囲)

キーワード: 面外ガセット 疲労 長寿命

連絡先: 芝浦工業大学 穴見健吾

東京都江東区豊洲 3-7-5 anami@sic.shibaura-it.ac.jp

の直線上に分布しており、応力範囲が 45MPa 以下では、 10^8 回程度まで载荷しても、き裂の発生は見られなかった。また、試験後に未破断の試験体の止端部を光学顕微鏡で観察したところ、き裂は発見されなかった。

5. 板曲げ試験の公称応力

現在、板曲げ疲労試験の疲労強度は、図-3 で整理したように、一般に止端部から 75mm 位置 (図-1②③) の応力で評価しており、既往の疲労試験の疲労強度と評価している公称応力とは直接比較できない。そこで本研究では、図-2 に示すように試験体中央の解析値を抽出し、ガセットの影響のないグラフの直線部から止端部位置まで外挿したものを公称応力範囲とした。図-4 に示すように、公称応力範囲で整理した板曲げ疲労試験結果は、既往の疲労試験の公称応力範囲とほぼ同程度に位置しており、既往試験と同様に評価できたと考えられる。

6. 疲労き裂発生点の応力

疲労試験を実施した文献から、試験体寸法、止端形状、試験条件などの情報が掲載されているものを参考に、例えば図-5 に示すような 1/8 モデルを作成して、疲労き裂発生点近傍の応力解析を行った。止端部の最大主応力範囲と疲労寿命の関係を図-6 に示す。未破断の試験体が少数ではあるが、き裂発生の有無の境界が、応力範囲 190MPa 付近 (A 等級の打ち切り限界) で見られる。つぎに、止端部から 0.4t および 1.0t (t: 板厚) 離れた点の応力を外挿して求めたホットスポット応力範囲と疲労寿命の関係を図-7 に示す。き裂発生の有無の境界があまり明確に見られない。これは、き裂発生の有無には溶接止端形状による応力集中が大きく関係しているからだと考えられる。

7. まとめ

本研究では、荷重の繰返し回数 $10^7 \sim 10^8$ 回以上の長寿命における疲労試験結果を蓄積することができた。また、板曲げ疲労試験の公称応力を算出し、既往の疲労試験との比較ができた。面外ガセット溶接継手の疲労き裂発生の有無には止端形状が関係し、止端部最大主応力範囲では 190MPa 付近が境界であることがわかった。今後は、引き続き長寿命域における疲労試験を実施し、とくに打ち切り限界以下の応力範囲での試験について検討していく必要がある。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費 (基盤 B, 代表者: 魚本健人) 課題番号 22360174 により実施した。

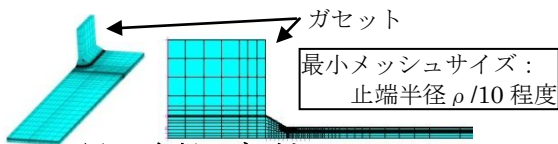


図-5 解析モデル例

表-1 疲労試験結果

試験体	ρ(mm) 平均	θ(°) 平均	公称応力範囲 (MPa)	等価応力範囲 (繰返し回数[万回])			破断状況	S-N線図 凡例
				き裂発生前	Nb	N30		
KH-1	2.01	127	91.17	70.22	70.59 [46.43]	77.71 [167.83]	破断	●
KH-2	1.82	124	65.28	49.38	-	49.38[4170.82]	未破断	●
KH-3	1.82	124	119.19	85.92	87.39 [23.51]	98.63 [74.70]	破断	●
KH-4	1.91	145	47.26	37.78	-	37.78[110000]	未破断	●
KH-5	1.09	120	67.07	50.97	51.57[178.37]	55.44 [403.78]	破断	●
KH-6	1.07	118	89.41	65.33	66.94 [55.84]	74.84 [169.00]	破断	●
KH-7	1.70	133	70.24	59.38	-	59.38[100000]	未破断	●

右はこれまで本学で行った試験結果を表している。

▲ : 主板厚12mm (破断)
 ■ : 主板厚14mm (破断) ■ : 主板厚14mm (未破断)
 ◆ : 主板厚16mm (破断)

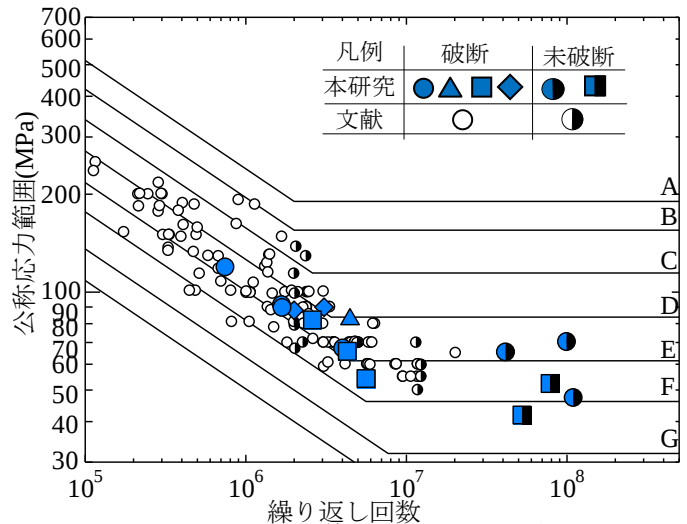


図-4 S-N線図 (公称応力範囲)

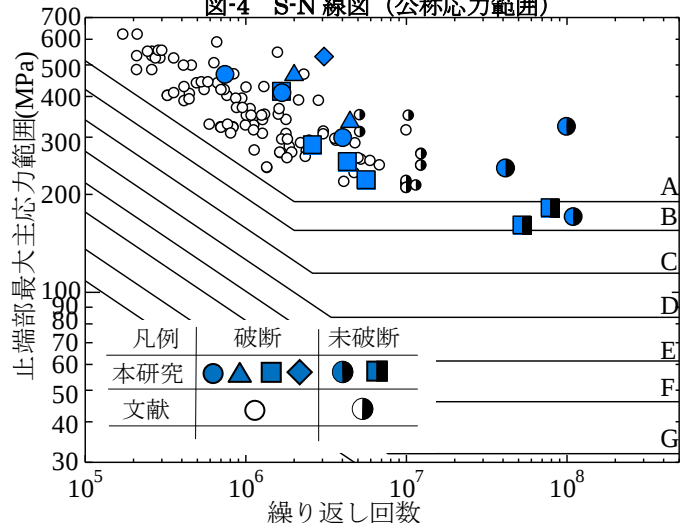


図-6 S-N線図 (止端部最大主応力範囲)

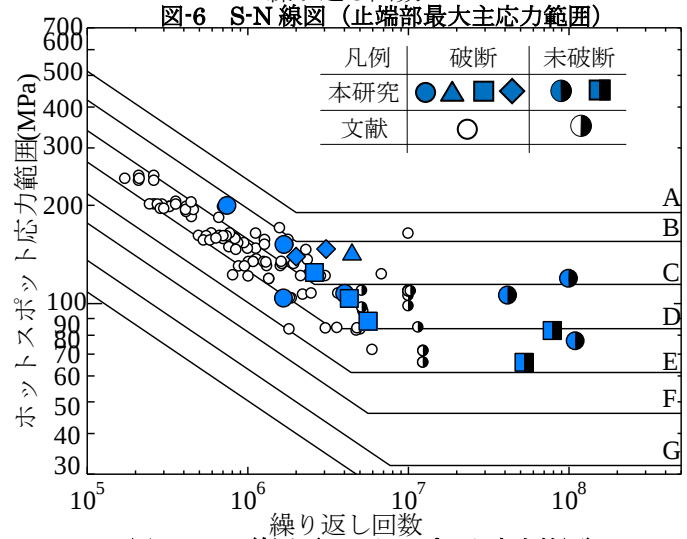


図-7 S-N線図 (ホットスポット応力範囲)