

溶接止端を仕上げた面外ガセット継手の疲労強度に対する削り込み深さの影響 (その2)

三井造船(株) 正会員 ○内田 大介 法政大学 正会員 森 猛
三井造船鉄構エンジニアリング(株) 吉田佳太郎 (株)横河技術情報 佐々木雄一

1. はじめに 面外ガセット溶接継手の疲労強度は低く、その疲労強度を向上させる最も一般的な方法はグラインダー処理である。この方法はバーグラインダーを用いて疲労破壊の起点となる溶接止端部の形状を滑らかとして応力集中の低減を図るものであり、日本鋼構造協会の疲労設計指針(以下、JSSC 指針)では止端部の曲率半径を 3mm 以上とすることにより疲労強度等級を 1 等級向上できるとされている。この際の主板の削り込み量について、JSSC 指針では 0.5mm 以下が望ましいとされている。また、IIW(国際溶接学会)では目に見えるアンダーカットよりも 0.5mm 深く、母板厚の 0.07 倍または 2.0mm を超えないことという記述があり、推奨値は 1.0mm 程度としているが、これらについては明確な根拠が示されていない。図 1 は直径 3mm と 5mm のバーを用いて仕上げを行った場合の溶接部止端角と削り込み深さの関係について、3 種類の方法毎に整理した結果である。③の方法は主板の削り込みはないが、溶接部を削るため、必要など厚を確保できない可能性がある。実際には、バーをあてる方向は作業性の良い①の方法を主体として 3 種類が混在し、バーの先端形状も様々であると思われるが、条件によっては止端半径 3mm 以上を達成するために主板を 0.5mm 以上、削り込む必要があることがわかる。著者らは既報¹⁾にて主板厚 16mm の面外ガセット溶接継手試験体で、グラインダーを用いて止端半径を 3mm と 5mm、削り込み深さを 0.1mm あるいは 0.5mm 程度として疲労試験を行ったが疲労強度に対する削り込み深さの顕著な影響は認められなかった。また、板厚を変化させた FEM 解析では削り込み深さが増加するに伴い溶接止端部の応力集中が増加すること、その増加量は主板厚によって異なることも示した。本研究では、既報と同じ試験体で削り込み深さを 1.5mm とした疲労試験を実施するとともに、FEM 解析ケースを一部追加し、これらの結果を踏まえて削り込み深さの許容値を提案する。

2. 試験体 試験体の形状と寸法を図 2 に示す。供試鋼材は板厚 16mm の溶接構造用鋼材 SM490YA である。試験体は、溶接のままの AW 試験体と溶接止端部の曲率半径を 3mm あるいは 5mm を目標としてグラインダ仕上げを行ったもので、溶接止端部の削り込み深さは 0.1mm(S)、0.5mm(D)、1.5mm(DD)を目標とした 3 種類である。表 1 に各試験体の曲率半径と削り込み深さの平均値を示す。

3. 疲労試験 疲労試験は、一軸引張荷重下で実施した。下限荷重は試験体の種類によらず 10kN とした。図 3(a),(b)は疲労試験により得られた公称応力範囲と疲労寿命の関係を示す。止端半径毎に整理した結果である。図中の直線群はそれぞれの種類の試験体で得られた疲労寿命に対する応力範囲の回帰直線である。これらの回帰直線から求めた各試験体の 100 万回疲労強度と 200 万回疲労強度を表 2 に示す。止端半径 3mm の結果を見ると削り込みが深い 3RDD 試験体で疲労強度が低いものがあり、削り込みが深くなるにつれ、徐々に疲労

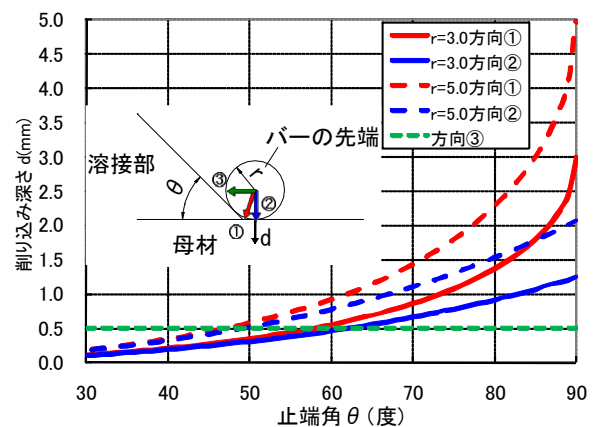


図 1 バーの向きと削り込み深さ

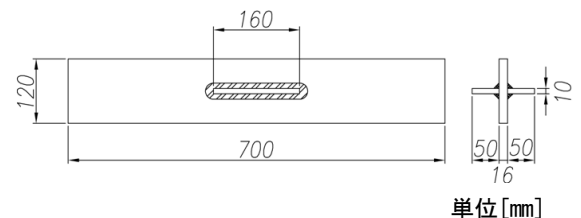


図 2 面外ガセット試験体形状

表 1 溶接止端形状

試験体	止端半径 (mm)	削り込み深さ (mm)
AW	1.1	-
3RS	3.4	0.15
3RD	3.9	0.48
3RDD	3.3	1.55
5RS	5.2	0.14
5RD	5.2	0.49
5RDD	5.2	1.44

強度が低下しているが、その低下の割合は小さい。止端半径 5mm の結果では、5RD、5RDD 試験体の疲労強度が、5RS 試験体よりも高くなっている。5RS 試験体の疲労強度低下は作業性が悪く、ビード整形が不十分な試験体が含まれていたことにも起因するが、疲労強度に対する削り込み深さの明確な影響は認められない。

4. 残留応力計測 削り込み深さが大きくなっても疲労強度が低下しない要因の一つを検証する目的で、AW 試験体と 3 種類の 5R 試験体の各一体を対象として、4 箇所の回し溶接部について、止端部近傍の溶接残留応力を計測した。計測には X 線回折応力測定法を用い、コリメーターのサイズは 2mmφ とした。計測結果の一覧を表 3 に示す。AW 試験体は溶接止端部表面、5R 試験体は削り込みの最深部で安定した結果が得られた 300μm 電解研磨後の試験体長手方向の応力を示している。5R 試験体についてはグラインダー加工に起因する表面の複雑な応力状態を除去した状態の計測ではあるが、5RDD 試験体の引張残留応力の減少は疲労寿命が低下しないことに寄与していると推察される。一方で、このような引張残留応力の低減は、その効果を定量的に評価することは困難であり、使用される応力状態によっては疲労強度低下の防止を期待できない可能性がある。

5. FEM 解析 FEM 解析は溶接止端部近傍のメッシュサイズを 0.1mm 程度とした線形弾性解析である。図 4(a),(b)は止端半径 3mm あるいは 5mm に対し、板厚 (9~48mm) と削り込み深さ (0.1~2mm) を変化させた解析結果より得られた回し溶接部先端の応力集中係数を、同じ板厚の AW モデル (止端半径 1mm) の応力集中係数で除した応力集中係数比で整理したものである。板厚が 24mm 以上では応力集中係数比と削り込み深さの関係がほぼ同じとなっているのに対し、それよりも板が薄い場合には、削り込み深さに伴う応力集中係数比の変化が大きくなっている。

6. まとめ 以上の結果をふまえ、止端半径を 3mm 以上に仕上げる場合の削り込み深さの許容値として以下を提案する。

$t \leq 12.5\text{mm} : d \leq 0.5\text{mm}, 12.5\text{mm} < t \leq 25\text{mm} : d = 0.04t, t \geq 25\text{mm} : d \leq 1.0\text{mm}$

t : 主板厚, d : 削り込み深さ

参考文献 1)佐々木雄一, 森猛, 内田大介: 溶接止端を仕上げた面外ガセット継手の疲労強度に対する削りこみ深さの影響, 土木学会第 66 回年次学術講演会, I -140, pp. 279-280, 2011.9.

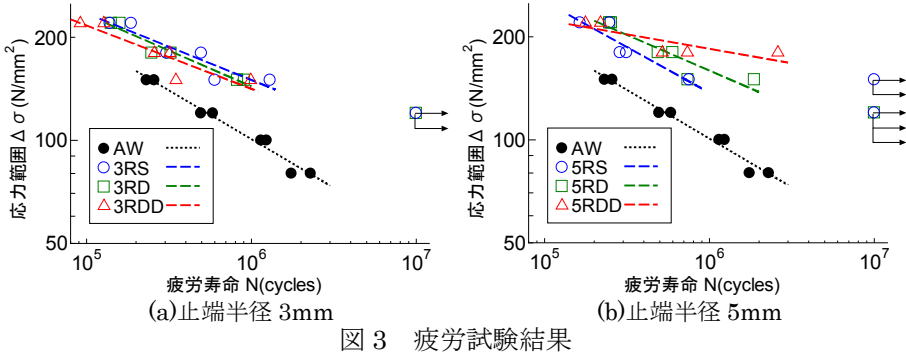


表 2 疲労強度一覧

試験体	100万回疲労強度(N/mm ²)	200万回疲労強度(N/mm ²)
AW	101	83
3RS	150	131
3RD	144	124
3RDD	141	124
5RS	137	114
5RD	159	138
5RDD	192	174

表 3 残留応力計測結果

試験体	残留応力(N/mm ²)				
	止端1	止端2	止端3	止端4	平均
AW	171	352	215	226	241
5RS	287	142	356	93	220
5RD	265	303	132	274	243
5RDD	133	159	125	151	142

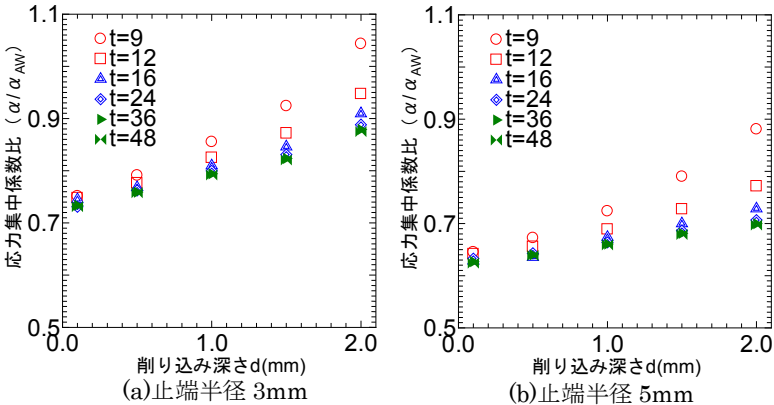


図 4 応力集中係数比と削り込み深さ