

グラインダ仕上げの程度が面外ガセット溶接継手の疲労強度に及ぼす影響

三井造船(株) 正会員 ○内田 大介
法政大学 正会員 森 猛
法政大学 下島 良輔

1. 目的

面外ガセット溶接継手の廻し溶接部の溶接止端部は、高い応力集中が生じるために疲労強度上の弱点とされている。その疲労強度の向上策として、グラインダを用いて溶接止端部の形状を滑らかとして応力集中を軽減させることが多い。日本鋼構造協会の鋼構造物の疲労設計指針・同解説（以降JSSC指針）や日本道路協会の鋼道路橋設計指針でも、完全溶け込み溶接を行った面外ガセット溶接継手部にグラインダ仕上げを施すことにより設計上の疲労強度等級を上げることが認められている。しかし、これらの基準には溶接止端部におけるどの範囲を、どの程度仕上げれば良いかが明記されていないため、過剰な仕上げが行われている可能性もある。また、完全溶け込み溶接の要求は、仕上げにより溶接止端部の疲労強度が向上した結果、形状の管理が難しく亀裂が発生した場合も検出が容易ではない溶接ルート部からの疲労破壊を避けるためだと考えられるが、部分溶け込み溶接でも溶接ルート部からの疲労破壊防止に有効であったという報告もある¹⁾。したがって、効率的な施工を行うためにはグラインダ仕上げを施した面外ガセット溶接継手の疲労強度や破壊起点について仕上げ範囲、仕上げの程度、溶け込み量の相互関係に着目し、溶接止端部の仕上げの効果を最大限に活かせる適切な仕上げ方法と溶接溶け込み量を把握することが重要と考えられる。

本研究では、完全溶け込み溶接、あるいは、部分溶け込み溶接を行った面外ガセット溶接継手を、グラインダの一種である超硬バーで仕上げた試験体を用い、疲労強度に対する溶接止端半径と溶接仕上げ範囲、溶接溶け込み量と疲労破壊起点について、疲労試験とFEM解析をおこなうことにより検討した。

2. 試験体

供試鋼材は板厚 10mmのSM 490YAである。試験体の形状と寸法を図1に示す。ガセット板と主板の接合にはCO₂溶接法を用いている。試験体は、AW試験体、FP3R試験体、FP5R試験体、PPs試験体、PPw試験体の5種類製作した。AW試験体は（仕上げを行っていない）溶接のままの試験体であり、ガセット板は完全溶け込み溶接で接合している。AW試験体の溶接止端部の曲率半径とフランク角の平均値は 0.8mmと 135 度である。FP3R試験体、FP5R試験体は、溶接止端部の曲率半径Rが疲労強度に与える影響を確認する目的で、AW試験体の溶接止端部を曲率半径Rがそれぞれ 3mmと 5mmとなるように溶接部全周に渡って仕上げた試験体である。PPs試験体、PPw試験体は、FP5R試験体との比較により、廻し溶接部の溶接溶け込み量が疲労破壊起点に与える影響と間接的ではあるが仕上げ範囲が疲労強度に与える影響を確認する目的の試験体である。PPs試験体は角部コバ面のみを 7mmの 45°開先（図2）、PPw試験体は角部コバ面の 7mmの 45°開先に加えて、長手方向に 50mm の開先角度 45°、ルートフェイス 2mmのレ形開先（図3）を取り、部分溶け込み溶接を施した試験体である。両試験体とも溶接止端部の廻し溶接部のみをグラインダを用いて 5Rに仕上げている。

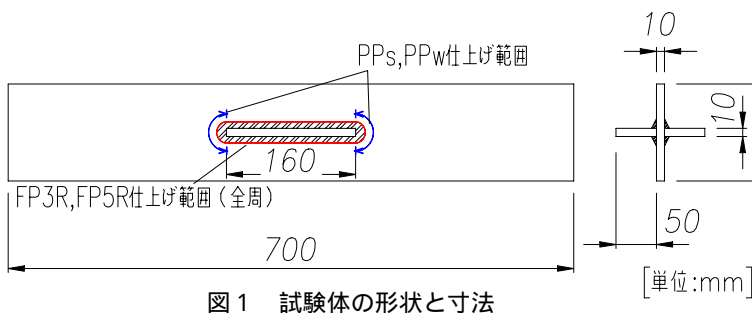


図1 試験体の形状と寸法

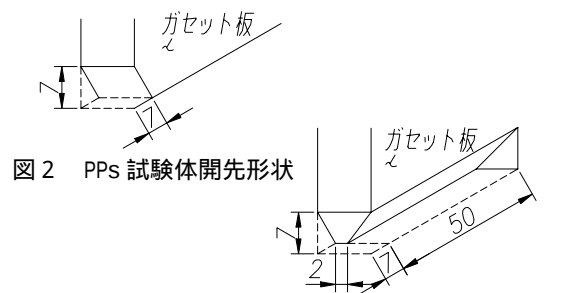


図2 PPs 試験体開先形状

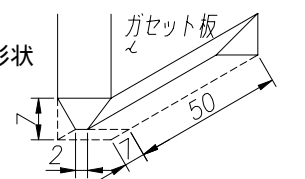


図3 PPw 試験体開先形状

キーワード 面外ガセット溶接継手，グラインダ仕上げ，疲労強度

連絡先 〒104-8439 東京都中央区築地 5-6-4 三井造船(株) 鉄構・物流事業本部 管理部 TEL03-3544-3687

3．疲労試験

疲労試験は、動的能力±500kN の電気油圧サーボ式多目的大型材料試験装置を用いて、軸引張荷重下で行った。疲労試験結果を図 4 に、疲労試験結果の回帰直線から求めた 200 万回疲労強度の一覧を表 1 に示す。図 4 中には JSSC 指針に示されている強度等級 A ～ G の設計 σ -N 関係も示している。なお、PPs 試験体と PPw 試験体の結果は破壊起点により記号を変えているが 200 万回疲労強度を算出する際は破壊起点によらず、全ての試験結果を用いている。

図 4 をみると AW 試験体は F 等級、その他の試験体は D 等級を満たしている。200 万回疲労強度は FP5R 試験体、FP3R 試験体、AW 試験体の順で疲労強度が高く、曲率半径 R の増加は疲労強度の向上に効果があることがわかる。疲労破壊起点は、AW 試験体、FP3R 試験体、FP5R 試験体は溶接止端部であったが、PPs 試験体は 9 体中 6 体、PPw 試験体は 9 体中 5 体が写真 1 に示すように溶接ルート部の未用着部であった。溶接ルート部から破断した試験体は溶接止端部から破壊した試験体と比べて長寿命側の領域に多いようにも見えるが、溶接止端部の仕上げ効果を最大限に活かすという観点からみると、これらの試験体の溶接溶け込み量は十分ではなかったと考えられる。また、FP5R 試験体、PPs 試験体、PPw 試験体の疲労強度はほぼ同じであり、廻し溶接部のみ仕上げれば溶接部全周を仕上げた場合と同等の効果が見られると考えられる。

4．応力解析

ここで用いた 5 種類の試験体を対象として、3 次元 FEM 応力解析を行った。用いた要素は、8 節点または 6 節点固体要素で、鋼材のヤング率は $2.06 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$ 、ポアソン比は 0.3 とした。要素分割図の一例を図 5 に示す。着目部の要素寸法は 0.2mm である。各試験体の溶接止端部と溶接ルート部の最大主応力を公称応力で除した応力集中係数の一覧を表 2 に示す。溶接止端部の応力集中係数は AW 試験体、FP3R 試験体、FP5R 試験体の順に大きく、PPs 試験体、PPw 試験体では FP5R 試験体とほぼ同じである。一方、PPs 試験体、PPw 試験体の溶接ルート部の応力集中係数は溶接止端部よりも小さく、疲労試験で溶接ルート部から亀裂が発生した事実と対応しないが、その理由としては解析では溶接残留応力の影響が考慮されていないことや、溶接ルート部の形状を詳細にモデル化することが困難であること等が挙げられる。

参考文献

1) 例えば、平山繁幸，森猛，猪股俊哉：面外ガセット溶接継手の疲労強度に対するグラインダ仕上げ方法の影響，鋼構造論文集，第 12 巻，第 45 号，pp.111-121，2005。

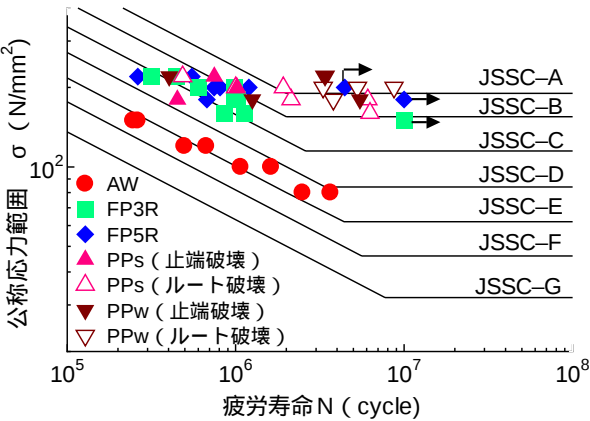


図 4 疲労試験結果

表 1 200 万回疲労強度一覧

試験体名称	200万回疲労強度 (N/mm ²)
AW	89.6
FP3R	166.8
FP5R	191.9
PPs	189.5
PPw	200.5



写真 1 ルート部から破断した試験体の一例

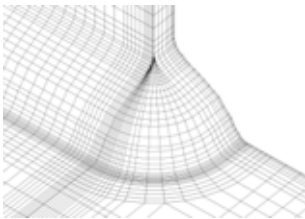


図 5 溶接部近傍の要素分割図の一例

表 2 応力集中係数一覧（解析結果）

試験体名称	応力集中係数	
	止端部	ルート部
AW	3.15	-
FP3R	2.52	-
FP5R	1.90	-
PPs	1.89	1.78
PPw	1.90	1.13