

誘導加熱処理の溶接ルートき裂に対する疲労強度向上効果

横河ブリッジホールディングス 正会員 ○加納俊 前田諭志 笹嶋純司 石井博典
名古屋大学 フェロー会員 館石和雄 正会員 判治剛 清水優

1. 研究の目的

鋼橋の旧塗膜剥離で利用される高周波誘導加熱装置を用いて、まわし溶接部周辺を誘導加熱処理（IH 処理）した場合、溶接部に圧縮残留応力が導入され、溶接止端部から発生する疲労き裂に対して、疲労強度が2等級程度向上することが確認されている¹⁾。IH 処理は、グラインダ処理等とは異なり、き裂発生位置を直接処理する必要がないため、他の処理工法では適用が困難な溶接ルートき裂に対しても疲労強度向上効果が得られる可能性がある。本研究では、IH 処理を施した面外ガセット溶接継手を対象とした板曲げ疲労試験を実施し、溶接ルートき裂に対する疲労強度向上効果を明らかにした。さらに、溶接および IH 処理を有限要素解析により再現し、IH 処理後に溶接ルート位置に圧縮残留応力が導入されることを確認した。

2. 試験体

試験体は、図-1に示すように、主板厚19mm、ガセット板厚12mmの面外ガセット溶接継手（鋼種：SM490YB）とした。鋼材および溶接材料の機械的性質を表-1に示す。ルートき裂が発生しやすくなるように、ガセット端部を切削後にまわし溶接を施し、2mmのルートギャップを模擬した。溶接は炭酸ガス半自動アーク溶接とし、電流230A、電圧28V、溶接速度5mm/s程度の条件で実施した。また、のど厚を小さくするために、溶接後にグラインダにより、まわし溶接部全体を整形し、6mm程度の等脚に仕上げた。さらに、溶接止端からのき裂を抑制するために、主板側およびガセット側の溶接止端を処理半径7mm、処理深さ0.4mm程度の形状に仕上げた。なお、試験体形状は、試験体への板曲げ载荷を再現した弾性解析により、溶接サイズと主板厚の比を小さくして、ルートギャップを2mm設けた場合に、板曲げ载荷時に溶接ルート位置の応力が大きくなることを確認したうえで決定した。

3. IH 処理

IH 処理は、図-2、図-3に示すように、まわし溶接部の両脇を対象とし、2回（IH①、IH②）に分けて実施した。試験体と加熱コイル間の距離が4mm程度になるように位置を調整し、8.5kWの出力で処理を施した。IH 処理中は熱電対により温度を計測し、IH 処理部の温度が600℃に到達した時点で処理を終了した。IH 処理後は、試験体を外気温まで自然冷却させた。IH 処理中の温度履歴

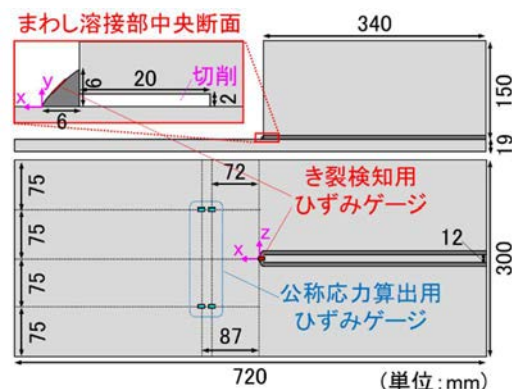


図-1 試験体形状

表-1 機械的性質

	降伏応力 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
主板	404	520	26
ガセット	432	569	24
溶接材料	495	590	26

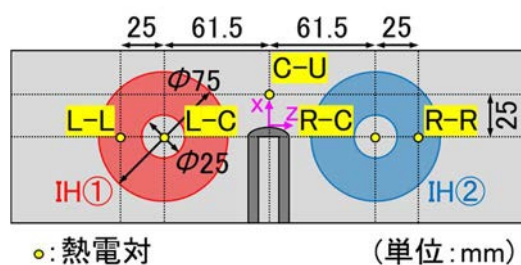


図-2 IH 処理位置および熱電対位置



図-3 IH 処理状況

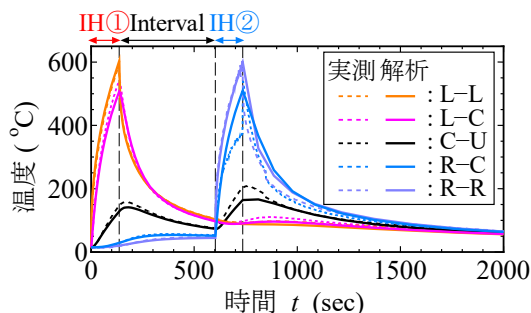


図-4 IH 処理中の温度履歴

キーワード 誘導加熱処理、後熱処理、溶接ルートき裂、疲労強度、残留応力、面外ガセット溶接継手
連絡先 〒261-0002 千葉県千葉市美浜区新港88 (株)横河ブリッジホールディングス TEL:047-247-8411

の例を図-4に示す。図中には、後述する有限要素解析により得られた温度履歴も併記している。

4. 板曲げ疲労試験

板曲げ疲労試験は、応力比 $R=0$ の条件で実施した。疲労試験結果を図-5に示す。横軸の疲労寿命は、まわし溶接部の中央に貼り付けたひずみゲージ（図-1）による応力範囲が、1万回前の計測値と比較して5%減少したときの繰返し数($N_{5\%}$)とした。縦軸は、 $N_{5\%}$ 時点の等価応力範囲であり、公称応力範囲は、図-1に示したひずみゲージにより得られた応力範囲を溶接止端位置まで線形外挿して算出した。試験終了後に、まわし溶接部中央断面を切り出し、磁粉探傷試験を実施した。結果の例を図-6に示す。IH未処理の試験体では、溶接ルートき裂を検出したが、IH処理を施した試験体では、溶接ルートき裂とガセット側の溶接止端き裂を検出した。これらのき裂の発生順序は不明であるが、IH処理を施した試験体は、IH未処理の場合と比較して、疲労強度が向上する傾向がみられた。試験結果の拡充が必要であるが、IH処理は溶接ルートき裂に対しても疲労強度向上効果が得られると考えられる。

5. 有限要素解析

IH処理前後の溶接部周辺の残留応力分布を明らかにするために、溶接およびIH処理を再現した熱弾塑性解析を実施した。解析にはMSC.Marc2022.1を使用した。解析モデルを図-7に示す。モデル全体の形状は図-1を再現し、溶接形状は、6mm×6mmの直角三角形とした。まわし溶接部周辺の要素サイズは1mmとしており、ここでは、ルートギャップへの溶込みは再現していない。材料特性は文献1)を基に決定した。溶接は、まわし溶接部に相当する要素に、溶接条件より算出した物体熱流束を同時に与えることで再現した。IH処理は、図-4に示した温度履歴が実測値に近づくように、表面熱流束を与えることで再現した。溶接およびIH処理後は、モデル全体が初期温度(15°C)になるまで自然冷却させた。溶接およびIH処理後のまわし溶接止端から2mm離れた位置の主板幅に沿った残留応力分布を図-8に示す。また、図-7に示した溶接ルート位置の要素のガセット板厚に沿った残留応力分布を図-9に示す。図-6よりき裂開口方向を仮定し、その方向の応力で整理した。溶接止端および溶接ルート位置に導入されていた引張残留応力がIH処理により圧縮残留応力に変化したことが確認された。

6. まとめ

本研究では、IH処理により溶接ルート位置に圧縮残留応力が導入され、溶接ルートき裂に対する疲労強度が向上することを疲労試験および有限要素解析により明らかにした。

参考文献 1)小原ら：誘導加熱処理による面外ガセット溶接継手の疲労強度向上に関する検討，鋼構造論文集，第28巻，第112号，pp.13-23，2021。

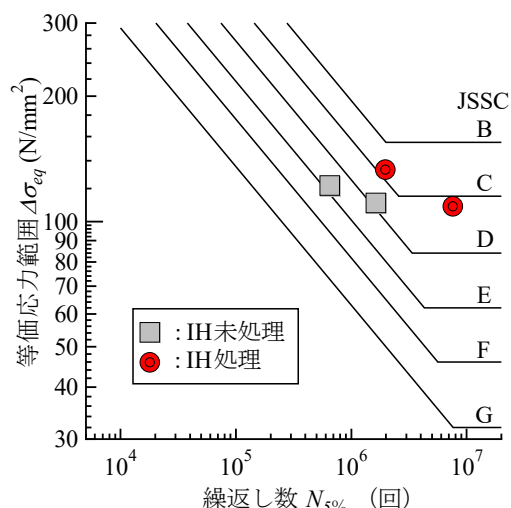
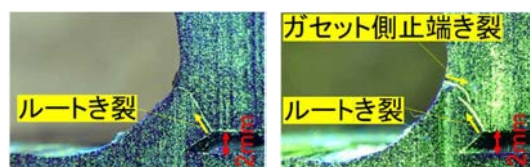


図-5 疲労試験結果



(a) IH未処理 (b) IH処理

図-6 まわし溶接部中央断面での磁粉探傷結果

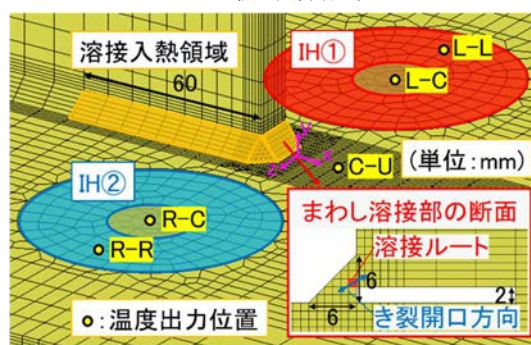


図-7 解析モデル

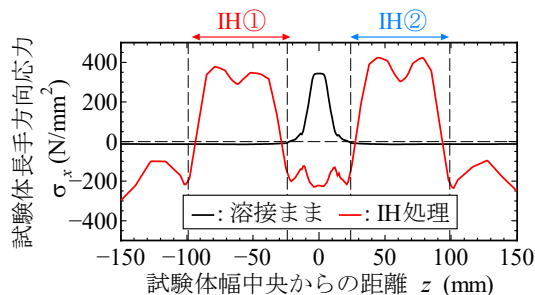


図-8 溶接止端から2mm離れた位置の残留応力分布

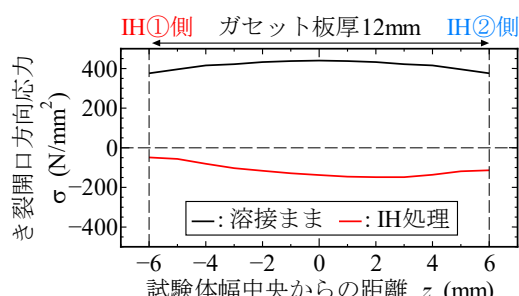


図-9 溶接ルート位置の残留応力分布