

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

(株) 横河ブリッジホールディングス 正会員 ○小原礼 前田諭志 笹嶋純司 清川昇悟

1. はじめに

鋼構造物の疲労対策として、誘導加熱 (IH) 処理による溶接部の引張残留応力低減は有効である¹⁾。本研究では、独自に開発した IH 処理装置²⁾ (写真1) の疲労強度向上効果を、熱応力解析および疲労試験により検証した。

2. 残留応力の導入効果

試験体の形状および寸法を図1に示す。面外ガセット溶接継手を対象としている。使用材料の諸元を表1に示す。溶接は下向きの CO₂ 半自動溶接とし、ソリッドワイヤ (Φ1.2 mm) を使用した。溶接条件は電圧 32 V, 電流 200 A, 平均溶接速度 5 mm/s とした。IH 処理条件を図2に示す。加熱領域はまわし溶接部を挟むような位置で2箇所とした。目標とする最大加熱温度は炭素鋼の相変態点温度を踏まえて 600°C に設定し、加熱領域内の熱電対計測値が 600°C に達した時点ですぐに加熱を終了した。

熱応力解析による試験体の残留応力分布の解析結果を図3に示す。解析法・条件は文献1)を参考に設定しており、詳細な条件は文献3)を参照されたい。なお、解析の妥当性は異なる試験片で別途実施した切断法での残留応力測定により確認している。図3より、IH 処理後はまわし溶接部近傍 ($y=0$) で発生した降伏応力 σ_y に近い引張残留応力が低減し、逆に σ_y の7割程度の圧縮残留応力が導入されていることがわかる。

3. 板曲げ振動疲労試験

疲労試験は山田らが開発した板曲げ振動疲労試験⁴⁾により実施した。この試験機は、片持で固定した試験体の先端に振動モータを設置し、モータの偏心錘を回転させることで繰返し振動を与えるものである。試験結果の整理に用いるまわし溶接部の公称応力範囲は、図4に示す

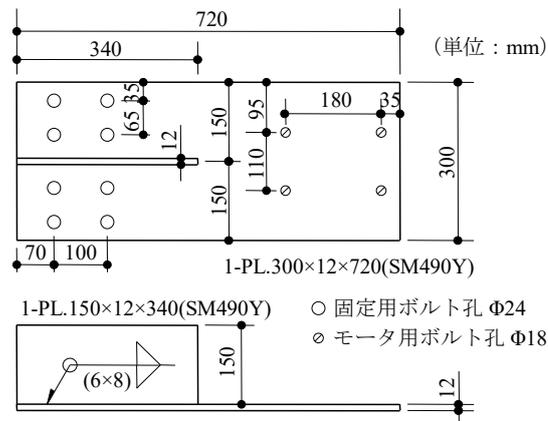


図1 疲労試験体の諸元

表1 使用材料

	鋼種 (規格)	降伏応力 σ_y (ミルシート値, N/mm ²)
鋼板	SM490YA	428
溶接材料	JIS Z 3313 T 49J0 T1-0 C A-U	464

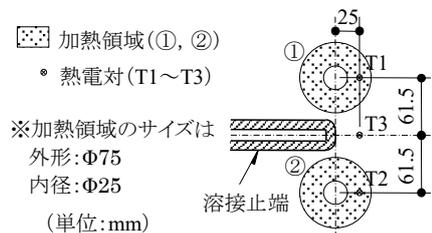


図2 加熱領域と温度管理位置

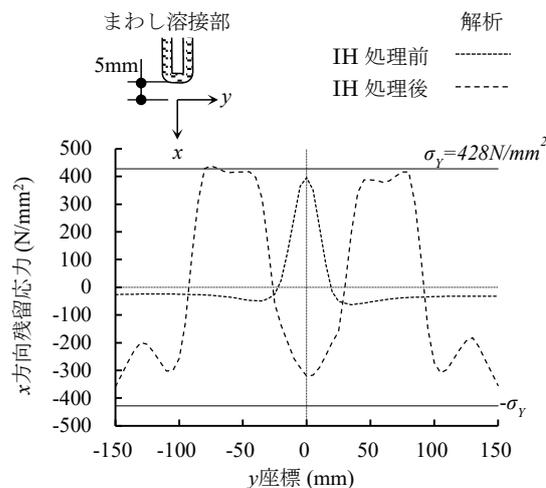


図3 疲労試験体の残留応力分布



写真1 IH 処理装置 (上: 外観, 下: 作業状況)

キーワード 誘導加熱, 残留応力, 疲労強度, 面外ガセット継手

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: 043-247-8411

ひずみゲージ ($\varepsilon_1 \sim \varepsilon_4$) の値を、文献 5) の手法により線形外挿して求めた。また、き裂発生によるひずみ変化を捉えるため止端部近傍にもひずみゲージ (ε_5) を貼付けた。疲労き裂の発生 (N_{toe}) は溶接部近傍に貼付けた線径 0.4 mm の銅線の破断により検知し、き裂の試験体幅方向長さが 30 mm になった時点 (N_{30}) で試験を終了した。

試験ケースを表 2 に示す。パラメータは IH 処理の有無の他、グラインダーによる止端仕上げも含めた。グラインダー仕上げは直径 5 mm の超鋼バーを使用して行った。目標応力範囲は 80~160 N/mm² とし、応力比はすべて $R=0$ とした。

図 5 に N_{30} 時の S-N 線図を示す。溶接ままの試験体に比べ、グラインダー仕上げは約 1 等級、IH 処理は約 2 等級疲労強度が向上している。グラインダー仕上げと IH 処理を併用したケースでは、IH 処理よりもさらに疲労強度が向上した。この結果より、IH 処理の効果はグラインダー処理の有無に影響されず、独立して発揮されることが分かる。

図 6 に止端部近傍のひずみゲージの履歴の例を示す。図より、溶接ままでは疲労き裂の発生後すぐにひずみ振幅が低減しているが、IH 処理ではき裂発生後もすぐにはひずみ振幅が低下していない。周辺に導入された圧縮残留応力によりき裂がすぐには開口せず、これによりき裂の進展が抑制されたと考えられる。

図 7 に破面スケッチの例を示す。溶接ままではまわし溶接部の先端からき裂が発生した。き裂は半楕円形状で進展した後、板の背面からも別のき裂が発生し、両者が合体して板厚貫通き裂となった。一方、IH 処理ではまわし溶接部の先端からすこし離れた左右 2 か所からき裂が発生・進展した。また、き裂深さは溶接ままに比べて小さい傾向にあり、板の背面からの疲労き裂も観察されなかった。以上より、IH 処理による圧縮残留応力の導入効果は板厚の全体に及んでおり、き裂深さ方向への進展抑制に寄与したと想像される。

4. おわりに

本研究では、面外ガセット溶接継手を対象とした板曲げ疲労試験および熱応力解析により、開発した IH 処理装置による疲労強度向上効果を示した。IH 処理の効果は板厚や加熱条件、応力比や鋼種の影響を受けると考えられ、今後はこれらの影響を明らかにし、実構造への適用を目指したいと考えている。

参考文献 1) 廣畑ら: 高周波誘導加熱装置を用いた局所加熱によるすみ肉まわし溶接継手の残留応力低減, 土木学会論文集 A1, Vol.76, No.1, pp.29-40, 2020. 2) 笹嶋ら: 関門橋における塗装剥離工事への誘導加熱式塗膜剥離工法の適用, Structure Painting Vol.46, pp.2-8, 2018. 3) 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 (投稿中). 4) 山田ら: 簡易型振動疲労試験機の開発と適用試験, トピー鉄構技報, No.24, pp.15-22, 2008. 5) 日本鋼構造協会: 鋼橋の強靱化・長寿命化に向けた疲労対策技術資料, JSSC テクニカルレポート No.120, 2020.

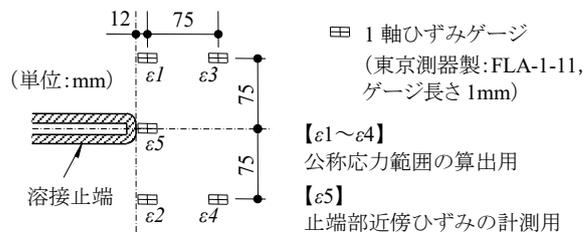


図 4 ひずみゲージ位置

表 2 試験ケース

試験ケース	試験体数	目標応力範囲 (N/mm ²)
溶接まま	3	80,100,120
グラインダー仕上げ	4	80,100,110,120
IH処理	4	95,110,140,150
IH処理+グラインダー仕上げ	4	120,140,150,160

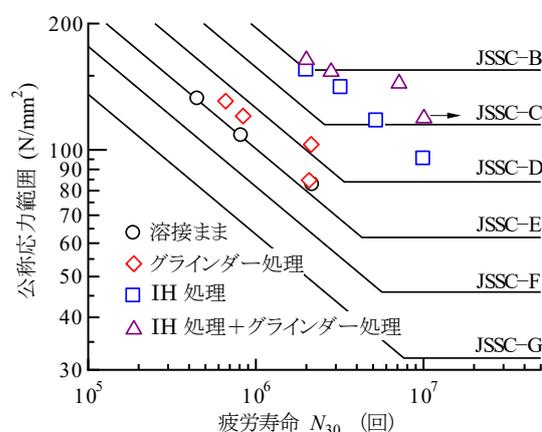


図 5 S-N 線図

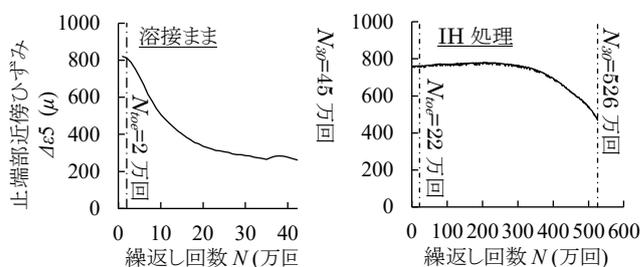


図 6 止端部のひずみ振幅履歴の例

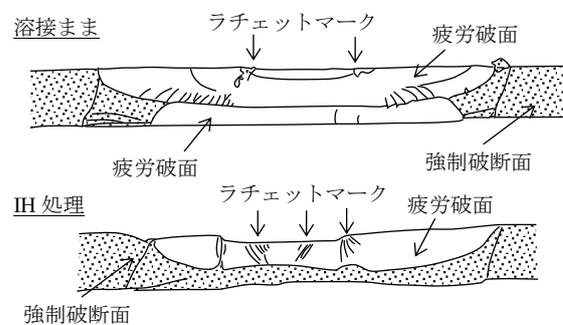


図 7 き裂破面のスケッチ