

## 送電用鋼管鉄塔の I 字プレート継手における溶接部の曲げ疲労強度特性

電力中央研究所 正会員 ○早田 直広

## 1. はじめに

送電用鋼管鉄塔ではカルマン渦などに起因する部材振動を生じる場合があるため、部材端部の継手部において繰返し曲げ応力による疲労き裂の発生が懸念される。しかし、送電用鉄塔に使用される継手の曲げ疲労強度に関する知見は蓄積されていない。また、送電用鉄塔の部材表面には溶融亜鉛めっきが施されるため、これによる疲労強度の変化を明らかにする必要がある。そこで、代表的な継手の一つである I 字プレート継手の溶接部を対象に溶接止端計測、残留応力測定および疲労試験を行い、基本的な曲げ疲労強度特性について検討した。

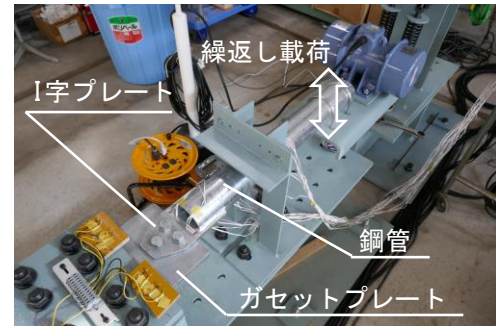


図1 試験体の外観（疲労試験状況）

## 2. 試験体と溶接止端計測

試験体の外観と I 字プレート継手の詳細図をそれぞれ図 1 と図 2 に示す。径 89.1mm、板厚 3.2mm、長さ 700mm の鋼管 (STK400) に板厚 9mm の I 字プレート (SS400) を割り込み溶接し、普通ボルト (M16、締付トルク 45N・m) でガセットプレートと接合したものを試験体とした。ここでは I 字プレートの 4 箇所の回し溶接止端部に着目する。試験体の表面状態は溶融亜鉛めっき (浴温 440±5°C、浸漬時間 3 分半程度、付着量 550g/m<sup>2</sup> 以上) と黒皮の 2 種類とした。溶融亜鉛めっきによる止端形状の変化を把握するため、印象材によって着目溶接部の型をとり、約 1mm 厚にスライスした断面の画像から止端半径  $\rho$  と止端角  $\theta$  を計測した。この結果を図 3 に示す。溶融亜鉛めっきが施された試験体では比較的大きな止端半径となる場合がみられる。

## 3. 残留応力測定

溶融亜鉛めっき施工時の熱影響による溶接残留応力の変化が想定されるため、表面状態の異なる 2 体の試験体の I 字プレート表面において回し溶接部周辺の残留応力を測定した。測定方法は X 線回折による  $\cos \alpha$  法とした<sup>1)</sup>。各試験体の 4 箇所の回し溶接部を対象とし、止端部から長手方向に 2mm 離れた位置の 3 点 (幅方向に 5mm 間隔) を測定点とした。測定点に対して電解研磨 (研磨深さ約 0.15mm) を行い、無負荷の状態で鋼素地表面の長手方向応力を測定した。各試験体の 4 箇所の回し溶接部における測定値の平均・最大・最小を図 4 に示す。溶融亜鉛めっき施工によって残留応力が変化し、高い圧縮残留応力を生じることがわかる。ただし、

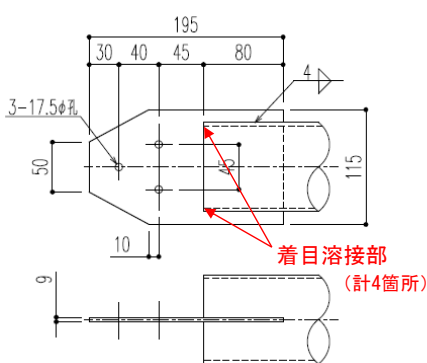


図2 I 字プレート継手の詳細図

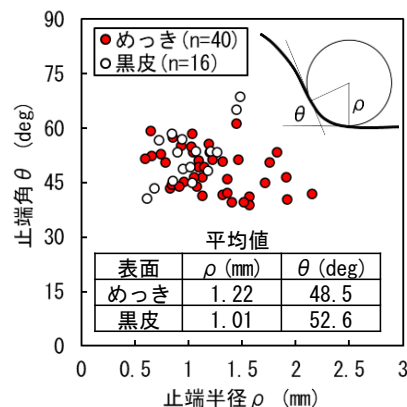


図3 止端計測結果

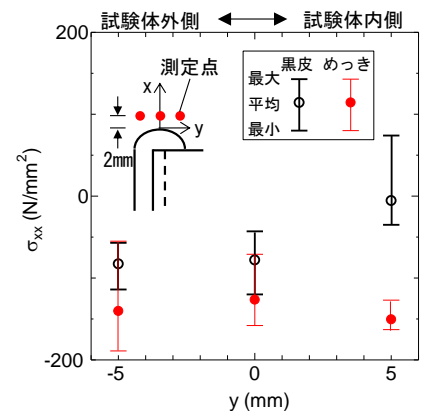


図4 残留応力測定結果

キーワード 部材振動, 疲労き裂, 溶融亜鉛めっき, ホットスポット応力, 溶接残留応力

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (一財) 電力中央研究所 TEL03-3201-6601

黒皮の試験体においても圧縮残留応力が生じており，本試験体の残留応力状態の詳細な分析が必要である。

#### 4. 疲労試験方法

図 1 に示すとおり疲労試験には板曲げ振動疲労試験機<sup>2)</sup>を用いた。試験ケースを表 1 に示す。着目溶接部はボルト継手部と近接しており，ひずみ計測による公称応力の評価が困難なため，回し溶接止端部から 3.5mm

(概ね  $0.4t$ ， $t$  は I 字プレートの板厚) と 9mm (1.0 $t$ ) の位置における鋼材表面のひずみを計測し，2 点法<sup>3)</sup>によって得られるホットスポット応力範囲を試験条件とした。なお，鋼管端部とガセットプレート端部の間隔は 20mm である。同表の  $4/5\Delta\sigma_{HSS}$  は，き裂発生までの各サイクルのホットスポット応力から求めた等価応力範囲に対し，膜応力範囲と曲げ応力範囲の疲労強度の差を補正するための  $4/5$  を乗じた値である<sup>3)</sup>。また，実際に生じる部材振動は，自重によって純粋な両振りの振動とならないため，試験体先端に設置したバネによって予荷重を与え，応力比  $R$  を調整した。回し溶接止端部と I 字プレート側面の縁に径 0.05mm の銅線を貼り，き裂の発生・進展による銅線切断時に試験機を停止させ，き裂を検出した。

#### 5. 疲労試験結果

破断に至った 3 体の試験体はいずれも  $R = 0.1$  の条件であった。き裂は I 字プレートの引張面の止端部のうち一方もしくは両方から発生し，図 5 に示すとおり板幅・板厚方向に進展した。表 1 にはき裂発生までの繰返し数  $N_{toe}$  とき裂先端が I 字プレート側面に到達するまでの繰返し数  $N_{side}$  を示す。また，図 6 には  $4/5\Delta\sigma_{HSS}$  と  $N_{side}$  の関係を示す。黒皮の試験体に比べて溶融亜鉛めっきを施した試験体の疲労強度が高いことがわかる。また，試験体 IG1-3 と IG0-2 の結果から，応力比  $R$  による疲労強度の差異を確認できる。以上の疲労強度特性は，図 4 に示す残留応力の結果と対応しており，溶融亜鉛めっき施工による溶接残留応力の変化が疲労強度に大きく影響すると考えられる。さらに，黒皮の試験体の疲労試験結果は，ホットスポット応力範囲で評価する場合に用いる E 等級の疲労強度曲線<sup>3)</sup>を十分に上回る。

#### 6. まとめ

送電用鋼管鉄塔に使用される I 字プレート継手の溶接止端部の曲げ疲労強度は，ホットスポット応力範囲で評価する場合に E 等級を満足した。また，溶融亜鉛めっきによって疲労強度が向上する可能性が示された。今後はこのメカニズムの分析に加え，風速等の条件からホットスポット応力を推定する手法について検討する。

**謝辞** 疲労試験では (株) セレスの市川英治氏にご協力いただいた。ここに謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 佐々木ほか:2 次元的 X 線検出器イメージングプレートを用いた全平面応力成分の単一入射 X 線応力測定, 材料, Vol.44, No. 504, pp. 1128-1143, 1995.
- 2) 山田ほか: 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, 2008.
- 3) 日本鋼構造協会: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説 2012 年改定版, 2012.

表 1 疲労試験ケースと試験結果

試験体	表面状態	応力比 $R$	$4/5\Delta\sigma_{HSS}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$N_{toe}$ ( $\times 10^3$ 回)	$N_{side}$ ( $\times 10^3$ 回)
IG1-1	めっき	-1	109	>5000	>5000
IG1-2	めっき	-1	115	1864	>8000
IG1-3	めっき	-1	179	>10000	>10000
IG0-1*	めっき	0.1	147	>7207	>7207
IG0-2*	めっき	0.1	183	未検出	2358
IB0-1	黒皮	0.1	104	663	3851
IB0-2	黒皮	0.1	133	389	2713

(\* : き裂未発生試験体に対して応力範囲を上げて再試験を実施した結果)

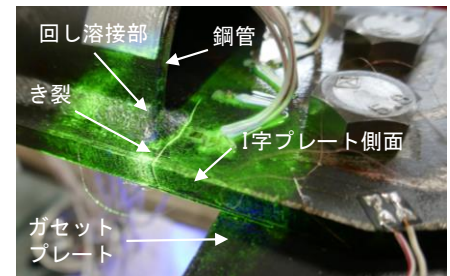


図 5 き裂進展状況の一例 (IB0-2)

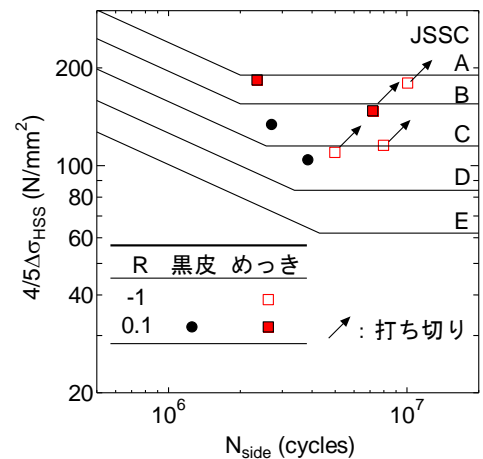


図 6 疲労試験結果