

ステンレス鋼と炭素鋼の異材溶接部を有する I 形断面部材の溶接残留応力

(株) 横河ブリッジホールディングス 正会員 ○加藤健太郎 石井 博典
(株) 横河ブリッジ 正会員 清川 昇悟
(株) 檜崎製作所 西村 公利

1. はじめに

ステンレス鋼は、従来の構造用炭素鋼に比べて優れた耐食性を有するものの材料価格が高いため、土木鋼構造物に活用する場合には腐食環境の厳しい部材またはその一部に部分的に適用することが経済的である。このような形でステンレス鋼を活用するためには、異材接合された鋼構造物部材の耐荷性能をはじめとした諸特性を把握しておく必要がある。溶接組立部材に着目すれば、鋼部材製作時には初期不整が生じ、部材の耐荷力に影響を及ぼすことが知られており、異材溶接組立部材も同様であるといえる。

本研究では、初期不整のひとつである溶接残留応力を調べるため、ステンレス鋼と炭素鋼の異材溶接板を用いて溶接組立した I 形断面部材の残留応力を計測した。

2. 試験方法

表 1 には、対象とするリーニ二相系ステンレス鋼 SUS821L1 および炭素鋼 SM490Y の機械的性質を示す。これら材料の異材溶接に用いた溶接材料は、SF-309L (TS309L) とした。表 2 には後述する試験体に用いた異材溶接板材の溶接条件を示す。なお、同材溶接部の溶接材料は、SUS821L1 が SF-2120、SM490Y が YM-26 (YGW11) とした。

表 3 には試験体の形状、材料配置および残留応力計測位置を示す。試験体形状は実構造部材を想定し、フランジ (板厚 $t=25\text{mm}$) とウェブ (板厚 $t=9\text{mm}$) を溶接組立した I 形断面部材とした。異材溶接部材の試験ケースは表 3 に示す Case1 と Case2、比較ケースは同材溶接部材の Case3 と Case4 とした。Case1 は桁端部に、Case2 は桁下部にステンレス鋼を適用することを想定したケースである。残留応力は X 線回折法により、表 3 中に丸印で示す点を基本の計測点として、部材長さ方向 (X 軸方向) および直角方向 (フランジ: Z 軸方向, ウェブ: Y 軸方向) に計測した。計測には $\cos\alpha$ 法¹⁾に基づく測定装置²⁾を用い、計測点は電解研磨した。

3. 試験結果

図 1 には Case1 および Case2 の異材溶接線方向の残留応力を示す。同図の残留応力の大きさは、計測した残留応力を表 1 に示す降伏応力または 0.2%耐力で除した値を表す。また、同図(a)および(b)の横軸または同図(c)の縦軸は、計測位置を部材長さ L ($=950\text{mm}$) またはウェブ高さ h_w ($=1300\text{mm}$) で除した値を表す。なお、図中の黒色プロットは、計測

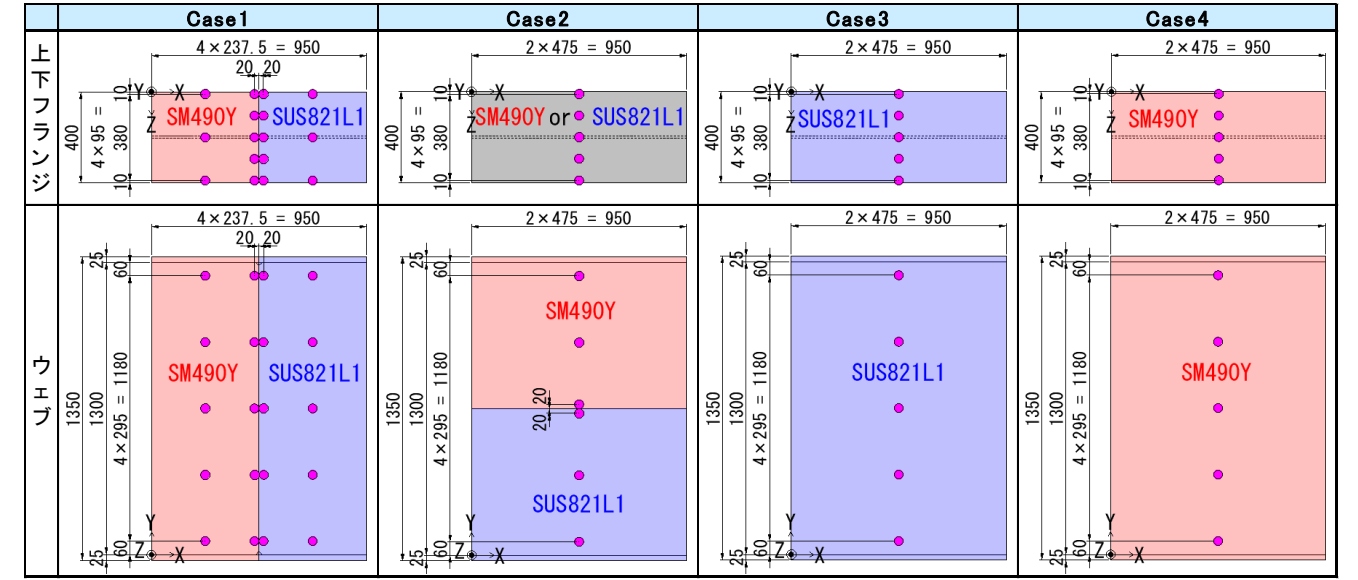
表 1 対象材料の機械的性質 (ミルシート値)

鋼種	板厚 t[mm]	0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ [MPa]	降伏応力 σ_y [MPa]	引張強度 σ_b [MPa]	伸び [%]
SUS821L1	9	546	—	715	38
	25	541	—	711	40
SM490Y	9	—	436	537	24
	25	—	439	552	27

表 2 異材溶接板材の溶接条件

継手形状	開先形状	溶接方法		溶接姿勢
突合せ溶接 (開先溶接)	V形($t=9$) X形($t=25$)	100%CO2炭酸ガス シールドアーク溶接		下向き
溶接長	ガス流量	パス間温度	平均入熱量	予熱
950, 1300mm($t=9$) 400mm($t=25$)	25L/min	150℃以下	12.4kJ/cm	なし
平均電流	平均電圧	平均溶接速度	パス数	備考
194A	29.1V	34.4cm/min	表3裏3($t=9$) 表4裏4($t=25$)	裏はつりあり

表 3 試験体の概要および残留応力計測位置 (単位: mm)



キーワード ステンレス鋼, SUS821L1, 異材溶接, 溶接残留応力, 残留応力分布
連絡先 〒261-0002 千葉県千葉市美浜区新港 8 8 (株) 横河ブリッジホールディングス TEL 043-247-8411

値の標準偏差が 50MPa を超えた信頼性の低い値である。図 1(a)および(b)より、引張残留応力は降伏応力または 0.2%耐力の 0.5 倍程度の大きさであり、SM490Y 側から SUS821L1 側に向かって圧縮残留応力に推移する傾向がみられる。Case1 については、異材溶接線がフランジとウェブの溶接線に直行しており、製作精度を確保するための加熱矯正も行っているため、それらの影響を含む応力状態であると想定される。一方、図 1(c)より、Case2 のウェブは異材溶接線近傍にて、材料によらず降伏応力または 0.2%耐力の 0.5 倍程度の引張残留応力が生じ、フランジ側に向かって圧縮応力から引張応力に推移する傾向がみられた。これは、溶接線近傍が引張残留応力となる一般的な残留応力分布と同様の傾向といえる。

図 2(a)および(b)には、材料ごとの部材長さ方向 (X 軸方向) の残留応力を示す。同図にプロットで示す残留応力は、異材溶接線近傍および信頼性の低い計測値を除く、フランジまたはウェブの同計測位置の平均値を表す。例えば、SUS821L1 のフランジであれば、Case1 の $X=712.5\text{mm}$ 位置、Case2 の下フランジおよび Case3 の計測値を採用して平均した。また、図 2(a)の横軸は計測位置をフランジ幅 B_f ($=400\text{mm}$) で除した値を表す。同図には、既往の研究³⁾で提案されたステンレス鋼の残留応力分布および炭素鋼の残留応力分布を矩形モデルで示した。同図より、引張残留応力の最大値は SUS821L1 で 0.2%耐力の約 0.4 倍、SM490Y で降伏応力の約 0.83 倍であり、おおむね既往の残留応力分布モデルで評価できることがわかる。また、図 2(c)には Case1 のフランジの異材溶接線近傍における部材長さ方向 (X 軸方向) の残留応力を示す。この残留応力についても、図 2(a)および(b)と同様に、上下フランジの同計測位置の平均値で表している。これより、異材溶接線近傍であっても、フランジとウェブの溶接線近傍が引張残留応力となり、図 2(a)と同様な残留応力分布となることがわかる。また、SUS821L1 のその大きさは、SM490Y の同等以下である。

4. おわりに

本研究では、ステンレス鋼と炭素鋼の異材溶接部を有する I 形断面部材の溶接残留応力を計測し、その大きさと分布を調べた。異材溶接線近傍の残留応力は、同材溶接部と同様に引張残留応力となる傾向を示し、その大きさは既往の研究で提案される分布モデルで評価できることがわかった。

謝辞 本研究の実施にあたり、日鉄ステンレス (株)、日鉄溶接工業 (株) の関係者の皆様には試験片材料の提供および溶接施工へのご助言など、多大なご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献 1)日本材料学会: cos α 法による X 線応力測定法標準—フェライト系鉄鋼編— (JSMS-SD-14-20), 2020. 2)野末秀和, 山口真: 残留応力測定の活用方法, 表面技術, Vol.67, No.1, pp.27-29, 2016. 3)宮寄靖大: SUS323L および SM570 製溶接組立部材断面の残留応力分布, 鋼構造年次論文報告集, 第 25 巻, pp.397-403, 2017.

