

リーン二相系ステンレス鋼と炭素鋼で構成される 鋼構造部材の残留応力分布に関する実験的研究

宮崎 靖大

長岡工業高等専門学校

1 はじめに

第2次大戦後から高度経済成長期に建設されたわが国の多くの橋梁は、供用期間50年を経過し始めている。このように長期間供用され続けている構造物が設計規準類等で規定される要求性能を保持するためには、適切な維持管理が必要不可欠である。また、構造物としての機能低下が懸念される部材等の補修、補強または更新される構造物は、維持管理の観点からも点検等が容易に実施できる構造形式の採用が期待されている。しかしながら、個々の構造物における適切な維持管理方法は異なり、その対策を明確にできないことが課題として挙げられる。

著者ら¹⁾は、ステンレス鋼の中でも高強度かつ高耐食性を示す二相系ステンレス鋼について、従来の二相系ステンレス鋼に比べてNi等の希少元素の含有量を抑制したリーン二相系ステンレス鋼に着目し、これらの材料特性を実験により明らかにしてきた。このようなリーン二相系ステンレス鋼においても、その材料単価は、炭素鋼に比べて高価であることは否めない。そのため、構造物

料としての利用にあたっては、腐食環境の厳しい箇所をステンレス鋼、その他を従来の炭素鋼とした適材適所の材料配置が考えられる。しかしながら、部材強度に影響を及ぼすことが周知である厚板で構成されるステンレス鋼と炭素鋼を溶接接合した際に生じる残留応力の大きさおよび分布形状は、これまでに詳細に調べられていない。そこで、本研究では、リーン二相系ステンレス鋼厚板および炭素鋼厚板で構成されるハイブリッドI形および箱形断面の溶接残留応力の大きさとその分布形状を実験により明らかにする。

2 研究方法

本研究で対象とする供試体断面は、公称板厚6mmのステンレス鋼板および炭素鋼板を溶接組立てして製作する。図1は、対象とする供試体形状の外観を表している。なお、ステンレス鋼と炭素鋼を溶接組立てしたハイブリッド断面供試体については、上フランジを炭素鋼、腹板および下フランジをステンレス鋼としたI形断面のみを対象とする。これら供試体を構成する材料は、リーン二相系ステンレス鋼SUS323Lおよび炭素鋼SM570とする。表1は、本研究で対象とした材料の機械的性質および化学成分をまとめている。また、表2および表3は、本研究で対象とした供試体製作時の溶接条件および供試体の実測寸法値をまとめている。

残留応力の測定は、弛緩法における分割法を採用することとし、図1で示した柱長さ方向70mmの部分より、

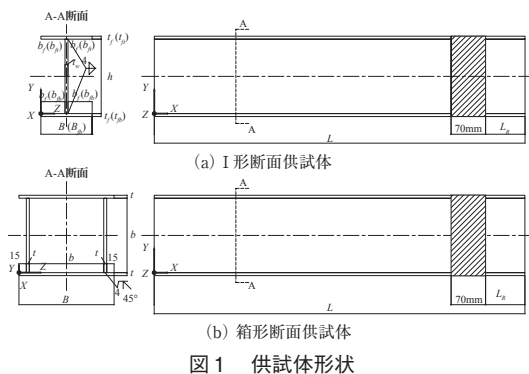


図1 供試体形状

表1 対象材料の機械的性質および化学成分

鋼種	板厚 (mm)	0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ or σ_y (MPa)	引張強さ σ_u (MPa)	伸び (%)	化学成分 (mass%)									
					C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N
SUS323L	6	593	743	34	0.014	0.51	1.55	0.028	0.000	4.00	23.5	0.33	0.18	0.15
SM570	6	579	630	26	0.150	0.27	1.55	0.009	0.002	0.02	0.02	0.00	0.01	-

表2 供試体製作条件 (溶接条件)

製作供試体	溶接材料	ワイヤ径 mm	電流 A	電圧 V	速度 mm/min	シールド ガス流量 l/min	
IHY07 (上フランジと 腹板の溶接)	TS309- FBO	1.2	200	20	630	20	
IHY07 (腹板と下フラ ンジの溶接)	I07, SH07	YS2209	1.2	200	20	630	20

表3 供試体寸法諸元

断面形状 モデル名	I形		箱形 SH07
	IHY07	107	
$\bar{\lambda}_{pf}$ ($\bar{\lambda}_{pb}$)	0.65	0.71	-
$\bar{\lambda}_w$ ($\bar{\lambda}_p$)	0.71	0.71	0.71
$\bar{\lambda}_{pb}$	0.71	-	-
t_f (t_f) [mm]	6.5	6.2	-
t_b [mm]	6.1	-	-
b_f (b_f) [mm]	49.3	49.8	-
b_b [mm]	49.7	-	-
t_w (t) [mm]	6.2	6.1	6.2
h (b) [mm]	152.8	152.5	152.6
B (B_f) [mm]	104.7	105.4	194.4
B_b [mm]	105.2	-	-
L [mm]	752.2	751.4	751.6
L_R [mm]	230.2	229.4	229.6

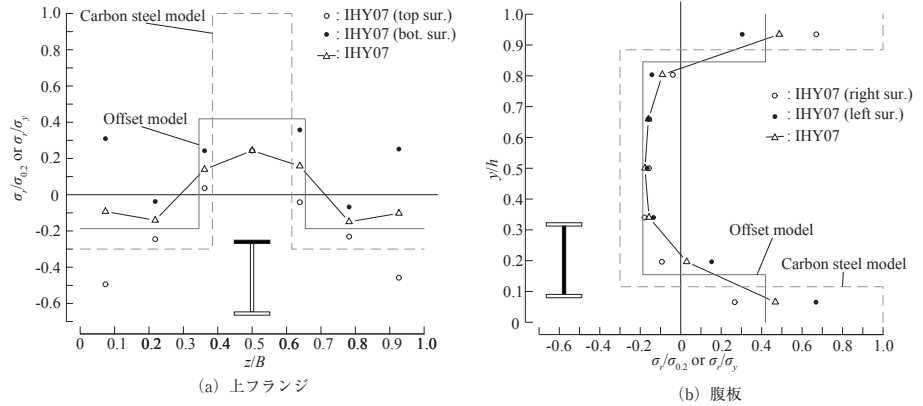


図2 ハイブリッドI形断面供試体のX軸方向残留応力 (IHY07)

供試体断面を幅14~29mm程度の位置にてジグソーおよびバンドソーを用いた機械式切断により行う。そして、残留応力は、切断位置に貼り付けた3軸弾性ひずみゲージ（東京測器研究所製FRA-5-11-3L）より、切断前後のひずみの差に材料のヤング係数 E を乗じて算出する。

3 主な研究成果

図2は、ハイブリッドI形断面供試体より得られたX軸方向の残留応力を示す。同図(a)に示す上フランジでは縦軸が、同図(b)に示す腹板では横軸が、各計測位置で測定した残留応力 σ_r を0.2%耐力または降伏応力で無次元化した残留応力の値を表している。また、これに直交する軸について、同図(a)に示す上フランジでは残留応力計測位置を上フランジの全板幅で、同図(b)に示す腹板では残留応力計測位置を腹板の板幅で、それぞれ除した値を表している。まず、同図の点で示す残留応力測定結果についてみると、ハイブリッドI形断面供試体の残留応力は、溶接部近傍にて、0.2%耐力または降伏応力の最大0.7倍程度の引張残留応力が発生していることがわかる。ここで、ステンレス鋼の応力ひずみ関係はラウンドハウス型を示すため、計測したひずみの値にヤング係数を乗じて残留応力を算出する方法が、理論的でないことが考えられる。しかし、本研究で対象としたSUS323Lは、0.2%耐力の70%程度の応力の大きさであれば、ほぼ比例限界点以下の応力である¹⁾ため、本論文で採用した炭素鋼と同様の残留応力の算出方法は、問題ないと判断する。そして、SUS323LとSM570のハイブリッド断面の残留応力の測定結果は、紙面の都合上割愛するSUS323Lのみの結果とほぼ同等の結果となることを明らかにした。

本研究では、以上の残留応力測定結果を基に、SUS323LとSM570で構成されるハイブリッド断面およびSUS323Lのみの断面が同等の残留応力を示すこととして、その残留応力分布モデルを提案する。これらの提

案する残留応力分布モデルは、図2中にて実線のみで表している。この残留応力分布モデルの決定方法は、供試体断面を構成する各板で自己平衡を保つ矩形分布としている。なお、比較のため、図2中には、炭素鋼の残留応力モデル²⁾を破線のみで示している。本研究で提案した残留応力分布モデルの値は、引張残留応力で0.42 $\sigma_{0.2}$ 、圧縮残留応力で-0.19 $\sigma_{0.2}$ である。この圧縮残留応力の大きさは、溶接組立てした高強度鋼製部材で測定された残留応力の実測値³⁾とほぼ同等である。

今後、これらの残留応力分布モデルの形状と大きさについては、様々な断面形状や溶接条件などより多くの実測データを検証した上で、本研究で提案した内容を更新していくことが望まれる。

4 おわりに

本研究では、リーニ二相系ステンレス鋼SUS323Lおよび炭素鋼SM570を溶接組立てした断面の溶接残留応力を実験により明らかにした。

今後構築される橋梁は、供用期間100年を標準規定とされ、維持管理における高性能化が必要不可欠となってきた。そのためには、従来材料に比べて高耐久性を有する材料の積極的な活用などが十分に見込まれる。その材料の一つとして、本研究で対象としたリーニ二相系ステンレス鋼が挙げられる。今後は、これら材料の利用に向け、接合部における耐疲労性および構造部材とした際の強度特性などを明らかにし、関連する技術分野の発展および開発が期待できる。

参考文献

- 1) 佐藤信輔, 宮寄靖大: 静的引張試験による二相系ステンレス鋼の材料特性, 鋼構造年次論文報告集, 第24巻, pp.297-304, 2016.
- 2) 土木学会鋼構造委員会座屈設計ガイドライン改訂小委員会: 鋼構造シリーズ12 座屈設計ガイドライン 改訂第2版 [2005年改訂版], 土木学会, 2005.
- 3) 小松定夫, 牛尾正之, 北田俊行: 補剛板の溶接残留応力および初期たわみに関する実験的研究, 土木学会論文報告集, No.265, pp.25-35, 1977.