## ステンレス鋼溶接における変形推定方法及び残留応力の検討

日立造船	正会員	中谷光良	日立造船	谷	和彦	日立造船		大澤守彦
日立造船	正会員	松下裕明	琉球大学 フェロー	矢吹	r哲哉	琉球大学	正会員	有住康則

1. 緒言

高度の耐食性が要求される鋼橋のライフサイクルコスト低減策として,耐食性確保と低コスト化の見地から内構補剛材 を炭素鋼としたステンレス鋼製橋梁を提案する.溶接構造としてステンレス鋼製橋梁を考えた場合,主要部材を構成する オーステナイト系ステンレス鋼は炭素鋼に比べて熱伝導性が悪く,線膨張が大きく,降伏点が明確でないことなどから, 溶接変形及び溶接残留応力分布が特有のものになる.溶接変形及び溶接残留応力は製作性だけでなく強度特性などの橋梁 の性能にも影響を及ぼすため,溶接変形及び残留応力特性を正しく把握する必要がある.そこで,本研究ではステンレス 鋼材を炭酸ガスアーク溶接で施工した場合の溶接変形推定方法及び溶接残留応力分布特性について検討した. 2. 溶接変形推定方法の検討

溶接変形は被溶接材に投与された入熱に影響される<sup>1)</sup>.材料に投与される入熱(真の溶接入熱 *Q<sub>net</sub>*)は,溶接電流,アーク 電圧,溶接速度から算出される溶接入熱 *Q*(J/mm)に熱効率 を乗じた値 *Q* である<sup>2)</sup>.ステンレス鋼の炭酸ガスアーク溶 接における熱効率を検討された例は少ない.そこで,平均温度上昇から熱効率を求める方法<sup>3)</sup>を用いて実験した結果,熱 効率は75.9%となった.以下,熱効率は75.9%とする.

熱伝導的に定常状態になった溶接の変形を検討するため,溶接部始終端にタブ板を取付けた2種類の板厚(6,9mm)の試験体(200×200mm)に対し,溶接条件を変化させ,ビード溶接を行った.変形は,溶接前後で板表裏面に対してコンタクトタイプの歪計(標点距離:100mm)を用いて計測した.図1に示すように横収縮Sは表裏面の収縮量の平均,角変形 は表

裏面の収縮量の差から算出した.結果を図2及び図3に示す.図中にはSUS310材及 び炭素鋼の結果<sup>1)</sup>もあわせて示している.今回の実験はSUS304 材及びSUS304N2A 材に対して実施したが,SUS310 材のデータと大きな差がないことが分かる.また, ステンレス鋼溶接による横収縮は,炭素鋼の1.2~1.5倍,角変形は炭素鋼の約3倍と なっている.これらの基礎実験結果からSUS304系材料の溶接変形予測式として入熱 パラメータ Ometh<sup>2</sup>(h:板厚)を用いて以下の実験式を作成した.



-----(2)

<横収縮> 
$$S=3.6 \times 10^{-3} \times Q_{net}/h$$
 (mm)  
<角変形>  $=4.3 \times 10^{-3} \times Q_{net}/h^2$  (radian)  
 $=-1.24 \times 10^{-3} Q_{net}/h^2 + 0.044$ 

 $(Q_{net}/h^2 \leq 7.94 \text{ J/mm}^3)$ (7.94 J/mm<sup>3</sup>  $< Q_{net}/h^2$ )

3. 溶接残留応力の測定

パネルに SUS304N2A 材を用いた図4 に示す寸法の両側すみ肉溶接試験体を5 種類(表1)製作し,作成した溶接変形予 測式を用いたステンレス鋼すみ肉溶接継手の変形量予測の妥当性を確認するとともに溶接線方向の残留応力を計測した. 補剛材は道路橋示方書に定められている必要強度を満足する断面とし,補剛材とパネルとの溶接脚長を4mmとした.試 験体に用いた材料の降伏強度とヤング率を表2に示す.ここで,ステンレス鋼の降伏強度は0.1%耐力とした.

溶接は,補剛材の片側の溶接終了後,十分冷えた状態で反対側を施工し,溶接方向は同じにした.溶接材料は表3に示す2種類で,ステンレス鋼の溶接には専用のもの,ステンレス鋼の溶接には異材継手用のものを用いた.溶接条



キーワード:補剛板、ステンレス鋼、ミニマムメンテナンス橋、溶接変形、残留応力 〒551-0022 大阪市大正区船町 2-2-11 TEL 06-6551-9684 FAX 06-6551-9915



各試験体の溶接前後の面外変形を図5に示す.変形推定式から計算された逆歪 eを設定した試験体(M1~M4)については溶接後,面外変形が1°以内になっており,作成した推定方法でステンレス鋼すみ肉溶接継手の変形量が精度良く予測できていることが分かる.

残留応力の測定は,板表裏面に歪ゲージを貼付けた試験体を切断する 応力弛緩法を用いた.溶接による引張残留応力が存在すると考えられる 溶接部近傍(補剛材中心から 36.5mm の位置)を切断,応力を開放して求 めたパネル中央部(x=0)の溶接線方向の平均圧縮残留応力を表1にあわ せて示す.表中の負の値は圧縮を示す.パネルの板厚が6mmで0.19 y 程度,9mmで0.14 y程度の圧縮残留応力となっており,補剛材の材質 及び逆歪の影響をほとんど受けていない.

パネル及び補剛材に炭素鋼(SS400)を用いて M1 試験体と同じ寸法の 試験体を製作し,応力弛緩法で溶接線方向の残留応力分布を計測した結 果を図6及び図7に示す パネル材圧縮部の平均残留応力は0.20 yで, 圧縮残留応力の降伏強度に対する比率は同板厚パネル(板厚 6mm)のス テンレス鋼試験体とほぼ同じ値をとなった.なお,溶接部の引張残留応 力は,降伏強度と同程度の値(316N/mm<sup>2</sup>,303N/mm<sup>2</sup>)が測定された. 4. 結言

ステンレス鋼材の溶接変形基礎実験により,SUS304 系鋼材のビード溶接における横収縮が炭素鋼の 1.2~1.5 倍,角変 形が約3倍となることが分かった.実験データを基に溶接変形予測式を作成し,ステンレス鋼すみ肉溶接継手の変形量を 精度良く予測できることを確認した.ステンレス鋼モデル試験体パネル部の溶接線方向の圧縮残留応力を計測し,0.14~ 0.21 yを得た.パネル板厚 6mmの炭素鋼モデル試験体により母材部圧縮残留応力0.20 yが測定され,圧縮残留応力の 降伏強度に対する比率が同板厚のステンレス鋼試験体とほぼ同じであることが分かった.今後,実用化へのステップとし て,まずステンレス鋼溶接モデル試験体の溶接部近傍の残留応力計測などデータを蓄積し,解析手法も用いて実構造物を 対象とした溶接変形,残留応力を定量的に把握する予定である.

試験体 No.	hp	リブ材質	Br	δe	残留応力	$\sigma/\sigma_y$
					$\sigma$ N/mm <sup>2</sup>	
M1	6mm	SUS304N2A	60mm	10mm	-72.1	-0.19
M2	9mm	SUS304N2A	70mm	5mm	-56.7	-0.14
M3	6mm	SM490Y	60mm	10mm	-81.0	-0.21
M4	9mm	SM490Y	70mm	5mm	-54.7	-0.14
M5	6mm	SUS304N2A	60mm	0mm	-67.4	-0.17

表1 試験体一覧



図 7 補剛材溶接線方向残留応力(x=0)

表 2 材料引張試験結果

材質	板厚	降伏強度	ヤング率		
	mm	$\sigma y N/mm^2$	N/mm <sup>2</sup>		
SUS304N2A	6	389	203933		
SUS304N2A	9	399	200133		
SM490Y	9	378	212000		
SS400	6	316	200000		
SS400	9	303	200000		

表3 実験に用いた溶接材料

	化学組成(%)								引張強さ	伸び	継手タイプ
銘柄	С	Si	Mn	Р	S	Ni	Cr	Ν	$(N/mm^2)$	(%)	
GFW308N2	0.072	0.42	1.40	0.023	0.007	9.48	22.59	0.11	705	38.2	SUS 用
GFW309L	0.021	0.61	1.23	0.016	0.011	12.23	23.64	-	591	34	異材用

考参文献

1) 佐藤, 寺崎:構造用材料の溶接変形に及ぼす溶接諸条件の影響, 溶接学会誌, 45(1976), 302-308

2) 渡辺,佐藤,溶接力学とその応用,朝倉書店(1965),274

3) 野本, 寺崎, 前田: 溶接変形による座屈変形の整理パラメータに関する研究, 日本機械学会論文集(A 編), 63(1997), 1063-1068

I-677