

ステンレス鋼と炭素鋼を突合せ溶接した異材継手の強度特性

(株)建設技術研究所 正会員 ○荒牧 聡 琉球大学 正会員 下里 哲弘
 琉球大学 正会員 田井 政行 日立造船(株) 正会員 松下 裕明
 日鉄ステンレス(株) 正会員 志村 保美

1. はじめに 近年、社会資本においては、ライフサイクルコスト削減に対する要求が高まり、メンテナンスコストの削減が求められている。鋼構造ではメンテナンスコストに対する塗装塗替の割合が最も高いため、耐食性に優れたステンレス鋼橋の開発は有効である。しかしながら、ステンレス鋼は一般的な炭素鋼と比較し高価であり、鋼橋全てをステンレス鋼材とした場合、建設コストが大きく増加する。一方、鋼橋の腐食は桁中央部に比べ、桁端部など特定の部位で進行することが多いため、桁端部のみにステンレス鋼を適用することが防食対策として有効と考えられる(図1)が、ステンレス鋼と炭素鋼を溶接した場合の力学的特性は十分に明らかとなっていない。

そこで、ステンレス鋼と炭素鋼の突合せ溶接した部材を用いて引張試験及び疲労試験を行い、引張強度と疲労強度の特性について評価を行った。

2. ステンレス鋼と炭素鋼の組合せ 鋼橋で主要部材に一般的に用いられる炭素鋼のうち、使用頻度の高い規格としては、SM490Y があげられる。また、桁端部は、応力が支配的となることが少ないため、SM400 を使用することも考えられる。よって、炭素鋼の母材としては、SM400 および SM490Y を選定した。

組み合わせるステンレス鋼は、機械的性質、物理的性質、耐食性、施工性、入手性およびコスト等とともに接合する炭素鋼の耐力を考慮する必要があるが、様々な種類がある。それらのうち、鋼橋に適用可能なものは、オーステナイト系と二相系となるため、SM400 および SM490Y の耐力と同程度の強度を有し、調達性の高いものとして、SM400 に対しては SUS304、SM490Y に対しては SUS821L1 を用いることとした。また、接合する際に用いる溶接材料は、異材溶接の場合、一般に低級側の要求値を満足することと炭素鋼の希釈を受けても耐割れ性が良好となるように配慮して、309 系材料を用いることとした。表1に試験ケース、鋼材組合せと試験数量を示す。

3. 引張強度特性 組合材のうち突合せ溶接継手の引張試験体は、板厚 t は12mmとし、形状はJIS Z 3121に準拠し、1A号試験片として溶接余盛を切除した。また、比較のために母材単一の引張試験体もそれぞれ製作した。試験は2000kNアムスラー万能試験機を用いて変位制御で行ない、試験体に溶接金属を挟んで10mm間隔で12点の標点を設け、破断後に任意の標点間での伸びが計測できるようにするとともに溶接部を跨ぐように伸び計も設置した。

引張試験の結果として、ケース6の破断写真(図2)、公称応力-変位関係(図3)、引張強度と伸び率(表2)を示す。図4は、伸び率を算出した位置を示している。図5は、ケース5、6の炭素鋼側破断位置周辺の伸び率と単一材の伸び率を示したもので、試験前の標点間距離 L は30mmである。図3と表2より、組合せ材では単一材の炭素鋼、ステンレス鋼に比べて変位計の伸び値が小さい値で破断に至ったが、突合せ溶接継手の引張強度は単一材の炭素鋼と同程度となっている。ただし、図5に示すように破断した位置周辺の標点間の伸び率は、単一材の破断後の伸び率と同様となっている。なお、伸び率は破断後の値 L' から初期の標点間距離を L (=30mm)で減じて、初期の標点間距離 L で除したものである。すなわち、組合せ材では炭素鋼側が引張強度に達するまで大きな伸びが生じたが、ステンレス側は降伏強度以下の応力状態であったため大きな伸びが生じず、図3に示すように単一材料と比べて破断時の溶接金属部を挟む両金属の部分を含む区間における伸び量の絶対値が小さくなり、継手部としての破断時の伸び量が減ったといえる。

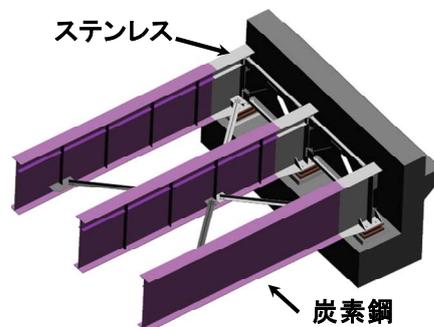


図1 桁端ステンレス橋

表1 試験体の鋼材組合せと試験数量

試験	ケース	鋼材の構成	数量	備考
引張試験	1	SM400 単一材	1	
	2	SM490Y 単一材	1	
	3	SUS304 単一材	1	
	4	SUS821L1 単一材	1	
	5	SM400-SUS304 組合材	1	溶接余盛削除
	6	SM490Y-SUS821L1 組合材	1	溶接余盛削除
疲労試験	7	SM400-SUS304 組合材	3	溶接余盛未削除
	8	SM490Y-SUS821L1 組合材	3	溶接余盛未削除



図2 ケース6の破断位置(引張試験)

キーワード ステンレス鋼, 異材溶接継手, 引張強度, 疲労強度, 溶接形状

連絡先 〒810-0041 福岡県福岡市中央区大名 2-4-14 (株)建設技術研究所 TEL092-714-6226

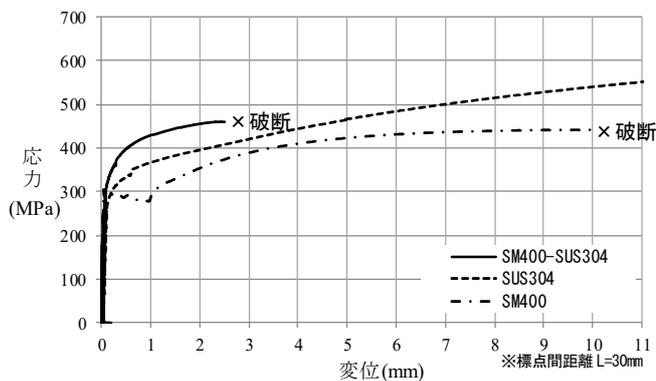


図3 応力-変位曲線

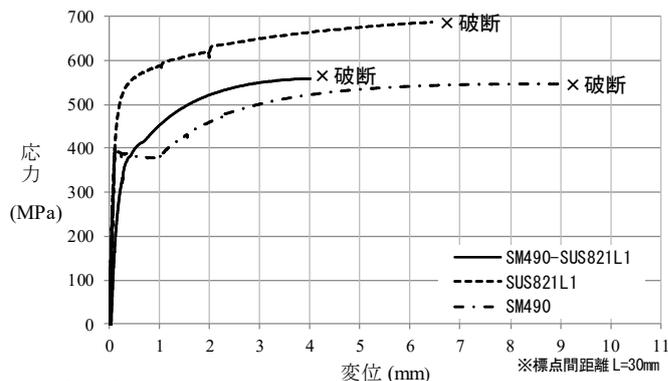


表2 引張強度と溶接部付近の伸び率

試験体	引張強度 (Mpa)	伸び (%)※	
		平行部中央	破断部
SM400単一材	439	42.4	
SM490Y単一材	542	41.6	
SUS304単一材	641	73.6	
SUS821L1単一材	712	50.6	
SM400-SUS304組合法	455	31.8	41
SM490Y-SUS821L1組合法	558	33.1	39

※標点間距離 L=30mm

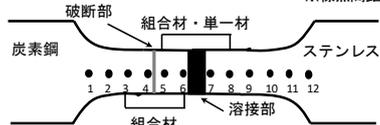


図4 伸び率算出時の標点の取り方

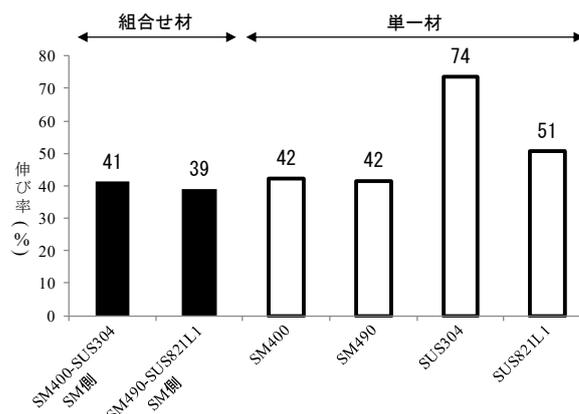


図5 組合法標点3-6間と単一材の伸び率

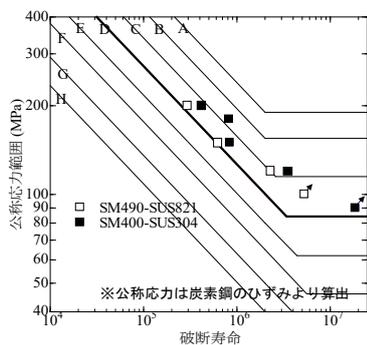


図6 S-N曲線と破断回数

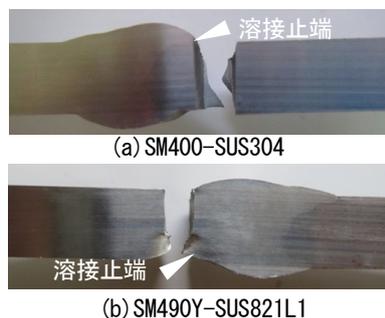


図7 破断位置(疲労試験)

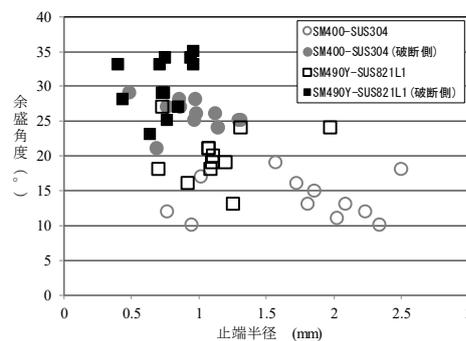


図8 余盛角度と止端半径

4. 疲労強度特性 疲労試験は、鋼橋では一般に溶接余盛がそのまま残されるため切除せず引張試験体と同形状のものを用い、応力範囲を 100-200MPa、繰返速度を 10Hz 程度として実施した。

試験結果を図6に示す。疲労設計指針¹⁾における炭素鋼同士の突合せ溶接継手 D 等級を下回るデータはなかったが、数体の試験結果であるため、さらなるデータの蓄積と検討が必要である。また、き裂は全て溶接止端部から発生した(図7)。き裂発生位置は、応力集中などの影響を受けるため、事前に計測した溶接部の形状を分析した。計測は、溶接部を型取りしたものを1~2mm程度にスライスし、方眼用紙にスタンプしたものをCADデータとして読み込んで止端半径と余盛角度を測った。縦軸が余盛角度、横軸を止端半径とした溶接止端形状の計測結果を図8に示す。これより、各組合法試験体において余盛角度が大きく、止端半径が小さい側で疲労き裂が発生している傾向が見られる。大きな余盛角度で、小さい止端半径側で応力集中が生じ、き裂が発生したものと考えられる。

5. まとめ 本研究では、ステンレス鋼と炭素鋼の異材突合せ溶接継手を鋼橋に適用するにあたり、最も基本的な溶接性、引張強度および疲労強度特性について検討し、以下の知見を得た。

(1) ステンレス鋼と炭素鋼の異材溶接継手は、引張試験においてすべての試験体で溶接部が破断することがなく、引張強度は組み合わせた炭素鋼と同等の値であった。なお、破断側の母材の伸び性能は、単一材料と同程度であった。

(2) ステンレス-炭素鋼の突合せ溶接継手の疲労強度は D 等級を満たしており、炭素鋼同士の溶接継手部と同程度であった。なお、疲労き裂の発生位置は、止端半径が小さく、余盛角度が大きい側で生じる傾向にあった。

参考文献

1) 日本道路協会：鋼構造物の疲労設計指針，2002