

鋼橋桁端部に対するステンレス鋼適用に関する基礎的研究

構造設計工学研究室 塚本 翼

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っている。そこで、耐久性、耐食性に優れているステンレス鋼を鋼橋に適用した場合を考える。ステンレス鋼は一般的な炭素鋼と比較し高価であり、鋼橋全てにステンレス鋼を適用すれば、建設コストが増加する。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、図1に示すように鋼橋桁端部のみにステンレス鋼を適用することで、コストの増加も抑えられ、耐久性・耐食性に優れた鋼橋が実現できると考えられる。しかしながら、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。

そこで本研究では、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、引張強度特性や疲労強度特性の評価を行った。

2. ステンレス鋼-炭素鋼の組み合わせの選定

炭素鋼は鋼橋の主要部材として一般的に使用されるSM490が挙げられる。また、桁端部では応力が支配的になることが少ないためSM400を使用することも考えられる。ステンレス鋼に関しては、耐食性及び炭素鋼の機械的性質とのマッチングを考慮し、SM400にはSUS304、SM490にはSUS821L1を接合した。なお、溶接ワイヤにはGFL309Lを使用した。表1に各鋼材の機械的特性を示す。

3. 引張強度特性

3.1 引張試験方法

引張試験には、図2に示す突き合わせ溶接部の余盛を除去した試験体を用いた。試験は2000kNアムスラー万能試験機を用いて変位制御で行った。試験体には図3に示すように、10mm間隔で12点の標点を作成し、破断後の標点間の伸びを計測した。さらには溶接部を跨ぐように伸び計も設置し、計測を行った。

3.2 引張試験結果

ここでは、紙面の都合上、SM400-SUS304材の結果のみを示す。引張試験により破断した試験体の写真を図4に示す。これより、溶接部の中央から30mm程度離れた炭素鋼側より破断が生じたことがわかる。

図5に応力-変位曲線の結果を示す。図の横軸は変位計の伸び、縦軸は公称応力を示している。図中には事前に実施したステンレス鋼及び炭素鋼の単一材での試験結果も併せて示す。図に示すように、突合せ溶接継手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。なお、突き合せ溶接継手の引張強度は単一材の炭素鋼と同程度であることが分かる。

伸び率に関して、溶接金属を挟んで6点ずつ計12点標点を作成し、初期の標点間距離をL、破断後の値をL'として式(1)を用いて算出した。

$$\text{伸び率} = (L' - L) / L \quad (1)$$

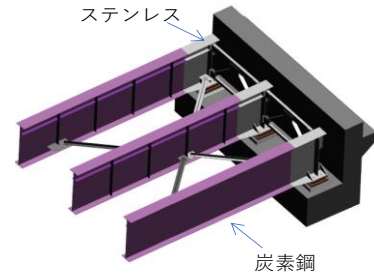


図1. 桁端部へステンレス鋼の適用

表1. 鋼材の機械的特性

| 材料名 | 引張強度(N/mm ²) | 降伏強度(N/mm ²) | 伸び(%) |
|----------|--------------------------|--------------------------|-------|
| SM400 | 400~510 | ≧245 | ≧18 |
| SUS304 | ≧520 | ≧205 | ≧40 |
| SM490 | 490~610 | ≧365 | ≧15 |
| SUS821L1 | ≧600 | ≧400 | ≧25 |
| GFW309L | ≧520 | - | ≧25 |

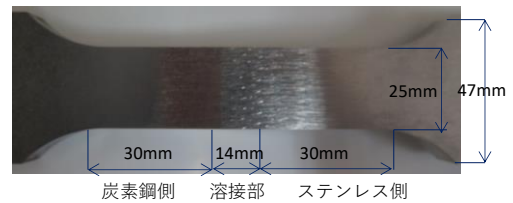


図2. 試験体寸法

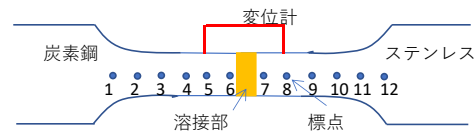


図3. 試験体の様子

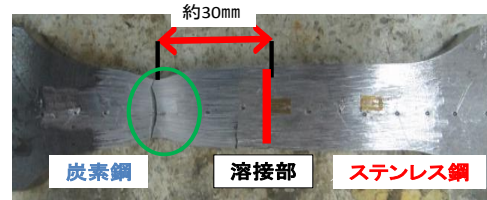


図4. 引張試験体の破断後の様子

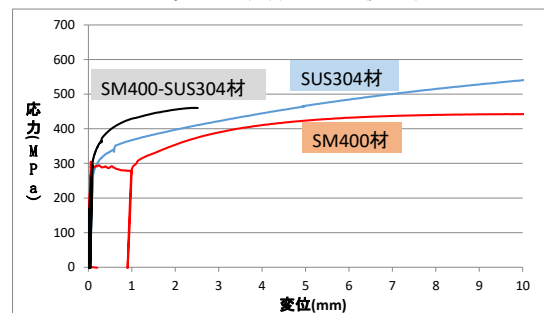


図5. 応力-変位曲線の例 (SM400-SUS304)

図6に突合せ溶接継手における標点間距離の伸び率を示す。縦軸に $(L'-L)/L$ 、横軸に標点位置をとっている。溶接部付近の炭素鋼側が破断後でステンレス側より大きな伸びが生じている。すなわち、本試験体では、炭素鋼側が引張強度に達し、大きな伸びが生じたが、ステンレス側は引張強度以下の応力状態であったため、大きな伸びが生じず、単一材料と比べて破断時変位値が低くなったといえる。しかしながら、炭素鋼側のみでの伸び率の平均値は、単一材料と同程度であり、継手の伸び性能としては問題ないと考えられる。

4. 疲労強度特性

4.1 疲労試験方法

試験体は溶接部の余盛があるものを用いた。寸法は図3と同様である。一軸疲労試験機により応力範囲を100-200MPa、繰返速度を10Hzで疲労試験を行った。

4.2 疲労試験結果

疲労試験結果を図7に、破断状況を図8及び図9にそれぞれ示す。全ての試験結果は溶接止端部からき裂が発生しており、図中には各試験体で疲労き裂が発生した側の鋼種も併せて示す。鋼橋で用いられる炭素鋼同士の突合せ溶接継手は疲労設計指針¹⁾において、D等級に分類されるが、本研究におけるすべての結果でもD等級を満足する結果が得られた。これより、ステンレス鋼-炭素鋼の突合せ溶接継手では、炭素鋼同士の継手と同様の疲労強度を有すると考えられる。

4.3 き裂発生位置の検討

本試験体では、SM400-SUS304材ではSM400側で、SM490-SUS821L1材ではSUS821L1側で疲労き裂が発生した。このき裂発生位置の違いを検討するために、試験前に溶接部の形状を型取りにより計測を行った。計測方法は型取りしたものを1~2mm程度にスライスし、方眼用紙にスタンプする。それを専用のソフトで読み込み、溶接止端形状(止端半径、フランク角)を測定する。計測状況を図10に示す。

溶接止端形状の計測結果を図11に示す。縦軸にフランク角、横軸に止端半径を示している。また、塗りつぶされているものが破断側の鋼材を示す。図に示すように、それぞれの試験体の組み合わせで、フランク角が大きく、止端半径が小さい側で疲労き裂が発生しているといえる。一般的にフランク角が大きく、止端半径が小さいほうが、応力集中が生じやすいため、これがき裂発生位置の違いの主要因であると考えられる。

5. まとめ

- 1) ステンレス-炭素鋼の突合せ溶接継手に引張荷重を与えた場合、溶接部では破断が生じず、引張強度が弱い母材側で破断が生じる。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、フランク角が大きい、応力集中が高い側で生じる傾向にあるといえる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：鋼構造物の疲労設計指針，2002

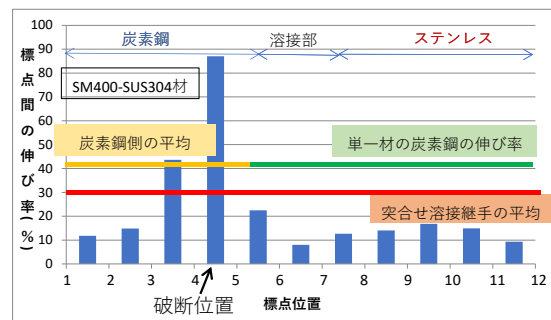


図6. 標点間の伸び率

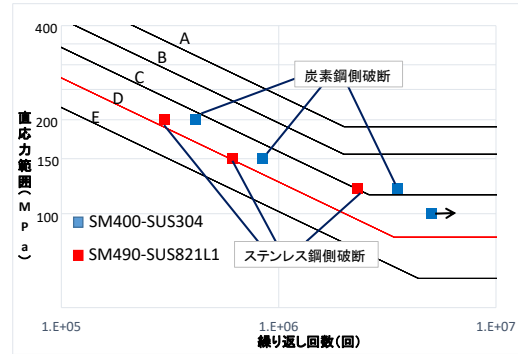


図7. S-N線図

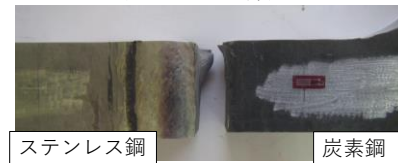


図8. SM400-SUS304材破断後



図9. SM490-SUS821L1材破断後

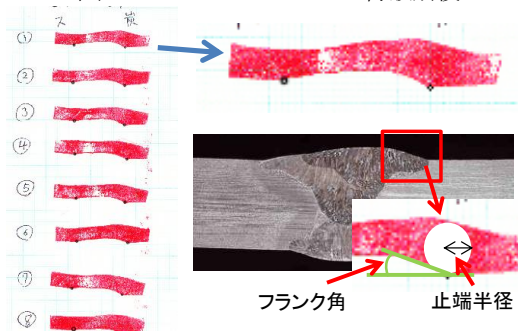


図10. 止端形状計測の様子

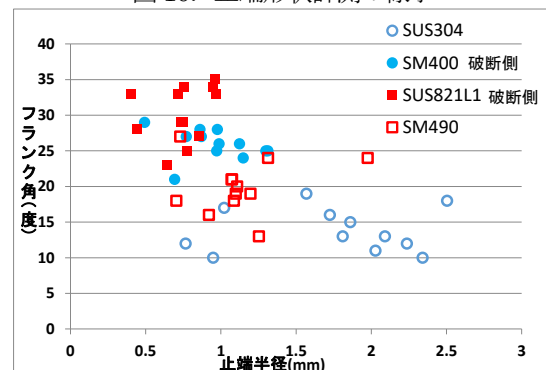


図11. 止端形状計測結果