

リーニ二相系ステンレス鋼 SUS821L1 突合せ溶接継手の疲労強度

京都大学大学院 学生会員 ○堀澤英太郎
 京都大学大学院 正会員 杉浦邦征
 京都大学大学院 正会員 北根安雄
 京都大学大学院 正会員 五井良直

1. 目的

リーニ二相系ステンレス鋼は希少元素である Ni を削減することで、材料費用や価格安定性に優れるステンレス鋼である。また、汎用ステンレス鋼であるオーステナイト系と比較して、約 2 倍の設計耐力および同等の耐食性を有する。このようなリーニ二相系ステンレス鋼を対象とした研究は多くなく、設計基準類の整備には材料試験データの蓄積が求められる。本研究では、リーニ二相系ステンレス鋼(SUS821L1)を用いた突合せ溶接継手の一軸引張疲労試験を行い、その疲労耐久性を明らかにする。

2. 疲労試験方法

本研究の対象鋼種は、リーニ二相系ステンレス鋼(SUS821L1)および比較用のオーステナイト系ステンレス鋼(SUS304)である。表 1 および図 1 に、引張試験により得られた圧延方向における機械的性質および応力-ひずみ関係を示す。表中の記号は、 E が弾性係数を、 $\sigma_{0.01}$ が 0.01% 耐力を、 $\sigma_{0.2}$ が 0.2% 耐力を、 σ_t が引張強度を、 ν がポアソン比をそれぞれ示す。同表より、SUS821L1 の $\sigma_{0.01}$ および $\sigma_{0.2}$ は、SUS304 の 1.65 倍および 1.57 倍の大きさとなる。また、これらのステンレス鋼の応力-ひずみ関係は、いずれの鋼種も明確な降伏棚を示さない。

図 2 は、疲労試験に用いた突合せ溶接継手試験片の形状および寸法を示す。試験片は、厚さ 9 mm の板材を用いて製作した。鋼板の接合は V 形開先の両面溶接とし、表面を 4 パス溶接後、機械加工による裏はつりを行い、裏面を 3 パス溶接とした。また、溶接は Ar シールドガス TIG 溶接であり、電流が 200 または 250 A、電圧が 200 V、溶接速度が 80 または 120 mm/min の溶接条件とした。そして、溶接材料は TG329J3L ($\phi 3.2$ mm) および TGS-308 ($\phi 2.4$ または 3.2 mm) である。以上の試験片を各鋼種 15 体製作し、その内 5 体は溶接による余盛部をグラインダにより削除した。

疲労試験は、最大荷重 500 kN の油圧式疲労試験機を用いて、試験機付属のロードセルによる荷重制御で行った。荷重波形は正弦波、荷重速度は 3 から 10 Hz、応力比 R は 0 または 0.3 とした。ここで $R=0$ の試験では、最小応力を 10 MPa としており、厳密には応力比 0 ではない。また、 $R=0.3$ とした試験片は、SUS821L1 試験片の 5 体のみである。载荷中の計測項目は荷重および変位であり、動ひずみ測定器を用いて定期的に 10 秒間の計測を行った。試験片の破断または 200 万サイクルを超過した場合には载荷を停止させ、最終サイクル数を記録した。

表 1 ステンレス鋼の機械的性質

鋼種	E (GPa)	$\sigma_{0.01}$ (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_t (MPa)	ν
SUS821L1	195	313	484	693	0.23
SUS304	196	190	308	642	0.28

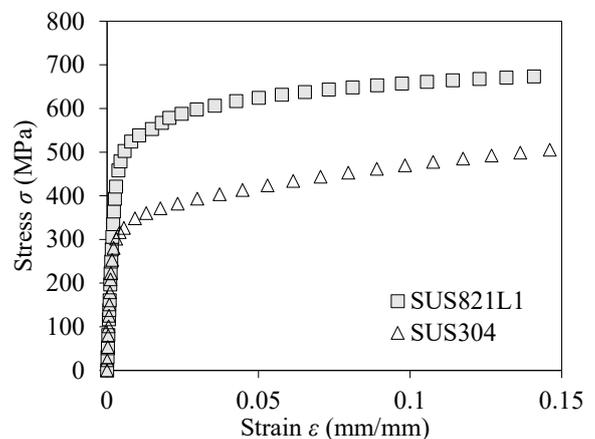


図 1 ステンレス鋼の応力-ひずみ関係

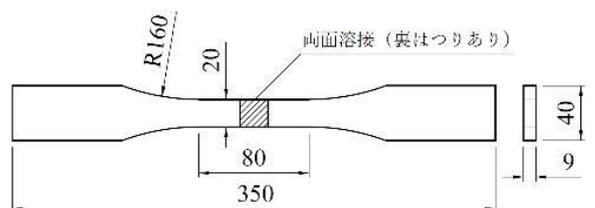


図 2 試験片の形状寸法 (寸法単位: mm)

キーワード ステンレス鋼, SUS821L1, 突合せ溶接継手, 疲労強度, 応力比

連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 C1-3-257 Tel. 075-383-3164

3. 疲労試験結果

図3は、疲労試験により得られた SUS821L1 突合せ溶接継手の応力範囲と最終サイクル数の関係を示す。ここで応力範囲は、計測した最大、最小荷重を断面積で除して平均した値から求めた。図中には、日本鋼構造協会(JSSC)による本研究で対象とした継手形式に対応する疲労設計曲線¹⁾を記載している。同図(a)より、SUS821L1におけるR=0.3の試験結果は、R=0に比べてわずかに長寿命な傾向を示すことが確認できる。また、SUS821L1の試験結果は、SUS304に比べて全体的に大きい応力範囲側に位置する。一方、近い応力範囲の最終サイクル数を比較すると、鋼種による違いは見られない。そして、溶接部非仕上げ試験片の全試験データは、JSSCによる疲労設計曲線のD等級によって安全側に評価されることが確認できる。同図(b)をみると、SUS821L1の余盛削除試験片の試験結果は、SUS304に比べて大きい応力範囲に位置しており、同図(a)の非仕上げ試験片と比較しても高い疲労強度を有することがわかる。JSSCの疲労設計曲線と比較すると、SUS821L1は余盛削除試験片に対応するB等級を満足するものの、SUS304の高い応力範囲側の試験データはB等級を下回る。また、余盛削除試験片の試験データは、疲労設計曲線に比べて緩やかな勾配で分布している。すなわち、平滑母材と同様な傾向であるものの、母材と比べて疲労強度は小さいことがわかる²⁾。

図4は、破断した試験片の破断面の一例を示す。同図(a)に示すように、全ての溶接部非仕上げ試験片は溶接止端から疲労き裂が発生、進展して破断した。一方、同図(b)の余盛削除試験片は、溶接部側面から疲労き裂が発生しており、溶接止端の応力集中が緩和されていることがわかる。

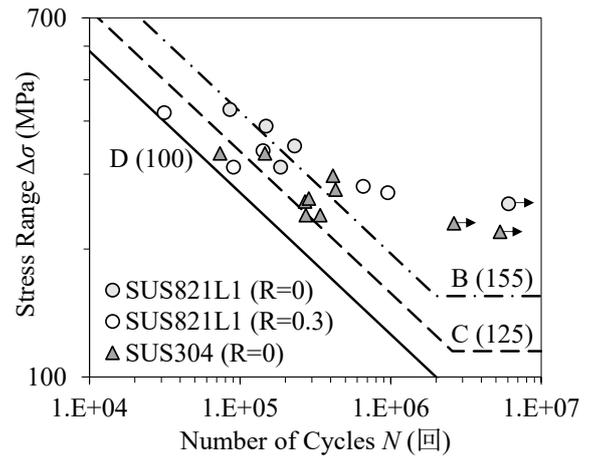
4. おわりに

本研究では、リーニ二相系ステンレス鋼(SUS821L1)の突合せ溶接継手の疲労強度を実験的に検証した。その結果、溶接部非仕上げ試験片はSUS304と同様な傾向を示し、余盛削除試験片はSUS304より高い疲労強度を示すことがわかった。

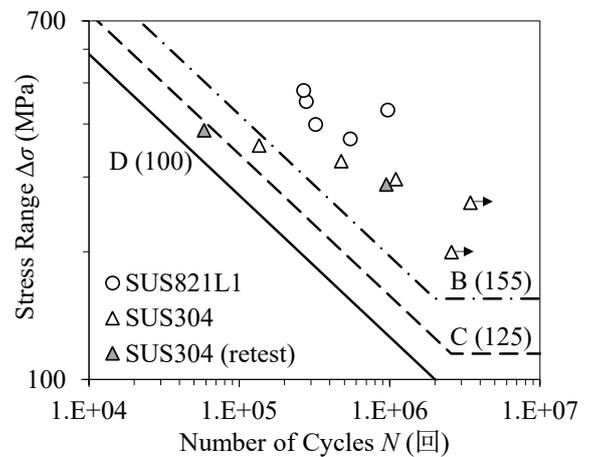
謝辞: 本研究は、愛知製鋼(株)ステンレス鋼事業部ステンレス鋼 M&E 室より鋼材提供を受けて実施したものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説（2012年改訂版）、技報堂出版、2012。
- 2) 堀澤英太郎、杉浦邦征、北根安雄：オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 平滑母材の疲労強度特性、材料シンポジウム 若手学生研究発表会、RM2-15、2020。



(a) 非仕上げ試験片



(b) 余盛削除試験片

図3 応力範囲と最終サイクル数の関係



(a) 非仕上げ, $\Delta\sigma=390$ MPa



(b) 余盛削除, $\Delta\sigma=369$ MPa

図4 SUS821L1 試験片の破断面