

長年の応力腐食を受けた溶接継手の 疲労強度

広島工業大学○学生員 栗林 利樹 広島工業大学 正 員 皆田 理
 広島工業大学 正 員 村中 昭典 中電技術C. 正 員 石丸 勝

1. まえがき

腐食環境下で供用される鋼構造物の維持・管理法を確立する上で、鋼構造物材の腐食進展挙動、並びに強度の劣化程度を正確に把握しておくことは極めて重要である。本研究は、供用開始後15年を経過した鋼橋（フェリー渡橋）から採取したすみ肉溶接継手の腐食進展挙動、並びに同継手の疲労性状、加えて、内部欠陥（融合不良）を有する腐食した突合せ溶接継手の疲労性状を実験的に明らかにし、腐食環境を考慮した鋼構造物の設計、並びに維持・管理法を確立するための基礎的資料を得ようとするものである。

2. 供試体、及び試験要領

供試体を採取した渡橋は、フェリー乗降専用の可動橋で、舗装を持たない鋼床版2主桁橋であり、その概略図、及び供試体採取位置を図1に示す。供試体は、大型車の後輪通常通過位置直下の溶接継手部（応力履歴（大））と後輪が載荷されない位置（応力履歴（小））から採取した（以下、それぞれSL供試体、及びSS供試体と略称）。供試体の形状、及び寸法を図2に示す。疲労試験に先立ち、鋼板の強度を明確にするために、デッキプレートから採取した供試体を用いて静的引張試験を行った。その結果、降伏点、引張強さ、及び伸び率は、それぞれ253MPa、394MPa、及び30.4%であった。疲労試験は、部分片振り疲労試験と最大応力基準疲労試験の2種類で実施した。繰返し速度は10Hzである。

3. 試験結果、及び考察

（1）すみ肉溶接継手の腐食状態：表1は、海水の影響を大きく受けている支承・第一横桁近傍、及び供試体採取領域におけるデッキプレート約60×50mmの範囲の腐食深さを4mm間隔で測定して得たものである。同表より、作用応力度が大きい継手ほど腐食進展速度が高いことを顕著に表している。また、表2は、図2に示すすみ肉溶接止端半径 ρ を測定し、新材のそれと比較したものである。ただし、新材のデータは渡橋製作時の溶接施工法（グラビティ溶接）によって別途作製した供試体より得たものである。同表より、止端半径 ρ は発錆によって大となることを示している。この事実は、止端部の応力集中率を低下させるものであり、結果的に疲労強度の向上に寄与することが予想される。なお、支承・第一横桁周辺から採取した溶接継手に疲労破壊は生じなかった。

（2）すみ肉溶接継手の疲労試験：試験結果を図3、4に示す。両図中に併記している作用応力度は、供試体採取領域の橋軸中心左右対称位置に、設計荷重20tfの後輪荷重が1台載荷されたときのデッキプレート下面の応力値を示している。図3より、応力履歴の疲労強度に及ぼす影響が顕著に表れている。例えば、 $N=2 \times 10^6$ 回における疲労強度に注目すると、新材（N供試体）に比してSS供試体は4%上昇、SL供試体では21%低下する。SS供試体の疲労強度がN供試体のそれより高い強度を示しているのは、腐食材の止端半径 ρ がN供試体の ρ より大きく、そのために止端部に置ける応力集中率が低下したことによるものと考えられ、応力履歴の影響

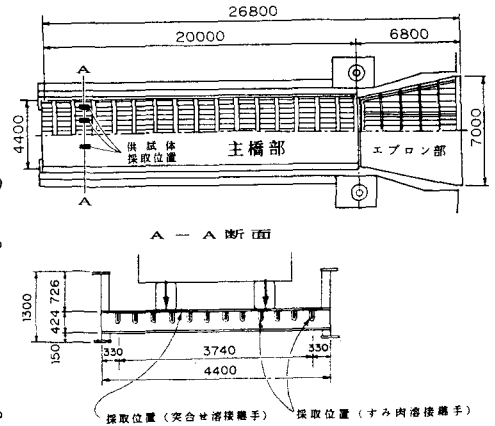


図1 渡橋構造概略図

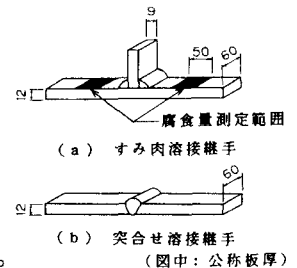


図2 供試体形状及び寸法

表1 腐食量測定結果

		応力履歴(小)	応力履歴(大)
デッキプレートの腐食量 (mm)	δ_{max}	2.61 (0.28)*	5.40 (0.61)*
	δ_{mean}	0.85	3.02

*: 溶接継手採取部の腐食深さを示す。

表2 すみ肉溶接止端部形状

		新材	腐食材
止端半径	ρ (mm)	3.03	3.76 (9.92)*
	σ_p (mm)	1.40	1.52 (4.31)*

*: 支承・第一横桁周辺の ρ を示す。

響はほとんど無いものと推定される。一方、図4は、SL、及びSS供試体の疲労試験を最大応力基準疲労試験法によって実施し得られたS-Nf関係である。図中には、部分片振り疲労試験法によって得られたSL供試体のS-Nf関係も併記してある。同図より、3種類の供試体のS-Nf関係は、ほぼ一定の傾き ($m \approx 0.30$) となっていることが認められる。この事実より、輪荷重直下のすみ肉溶接継手は供用下において局部的に鋼板降伏点を越える高い応力履歴を受けていたことが推定される。しかしながら、SL供試体の $N=2 \times 10^6$ 回疲労強度は、約130MPa程度であり、現行疲労設計基準 (JSSC疲労設計指針案, E 等級) に対して、なお高い疲労強度を有していることがわかる。

(3) 突合せ溶接継手の疲労試験：疲労試験に先立ち、突合せ溶接継手の超音波探傷試験を実施した。その結果、突合せ溶接部には融合不良が認められた。図5は、融合不良を有する突合せ溶接継手の疲労試験結果を示す。同図中には、内部割れを有する余盛り削除突合せ溶接継手のS-Nf関係を併記している¹⁾。図に示すように、本試験から得られた内部欠陥を有する突合せ溶接継手のS-Nf関係は、文献1) から得られたそれに比して極めて低い。これは、供試体採取位置が輪荷重通行位置近傍であり、すみ肉溶接継手 (SL供試体) と同様応力履歴の影響が大きいこと、また、供試体母材 (デッキプレート) が腐食し、融合不良部が鋼板表面に開口、またはそれに近い状態にあることなどによるものと思われる。

4. あとがき

本研究の範囲で、次の諸点が明らかになった。①輪荷重が直接載荷されない主桁近傍のすみ肉溶接継手では、疲労寿命に対して応力履歴の影響より、溶接止端周辺の腐食の影響の方が大きく、疲労寿命は新材のそれより長くなる。一方、輪荷重直下から採取したすみ肉溶接継手の疲労寿命は、腐食効果より応力履歴の影響の方が大きく、新材のそれに対して大きく低下する。②溶接部に融合不良を有する突合せ溶接継手の疲労寿命は、融合不良部が腐食効果によって継手表面に開口するため、同一欠陥率の継手であっても内部欠陥の継手に比して大きく低下する。

本研究は、「構造物の維持・補修技術研究会、略称RAMS」の調査活動の一環として、実施したものである。関係各位に深謝申し上げます。

5. 参考文献

- 1) 石井 勇五郎：非破壊検査工学，pp. 257～263，産報

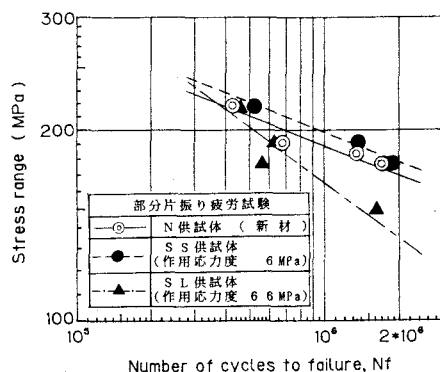


図3 S-Nf曲線

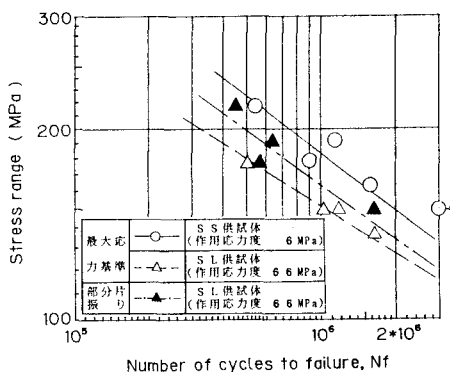


図4 S-Nf曲線

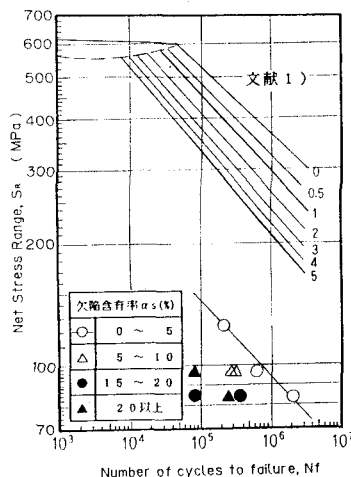


図5 内部欠陥を有する突合せ溶接継手のS-Nf関係