

腐食した鋼構造部材の表面性状と疲労強度

広島工業大学 正 員 村中 昭典

広島工業大学 正 員 皆田 理

1. まえがき 一般に、鋼構造物の腐食状態は均一腐食となることは希であり、局部的に深い孔食を有する場合が多いため繰返し応力を受ける鋼構造物では疲労問題に対する配慮が極めて重要となる。

近年、鋼材料、溶接継手などの環境強度試験が各所で実施され、それらの資料が多数報告されている。しかしながら、実環境下に置かれる鋼構造物の場合、応力・腐食環境が多様多様に異なるため、設計、並びに健全度評価に対してただちに適用できる腐食部材強度に関する資料は非常に少ない。

そこで、本研究は渡橋より採取した腐食鋼板、並びに溶接継手の疲労強度を実験的に明かにし、それに対し若干の検討を加えたものである。

2. 試験片および試験要領 供試体はフル乗降専用の鋼床版2主桁橋形式の可動橋である。すみ肉溶接継手は、デッキプレートと縦梁との接合部で、大型車の後輪通常通過位置と後輪無荷重位置

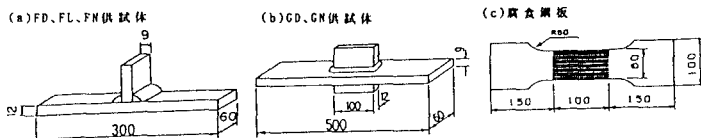


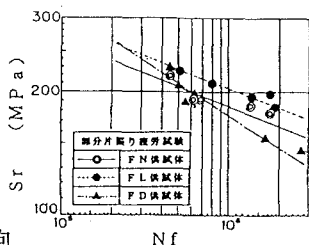
図1 供試体形状、及び寸法(図中寸法は公称板厚)

表1 すみ肉溶接、及びガセット継手の止端半径

	すみ肉溶接継手		ガセット継手	
	F	N	G	N
ρ mean	3.03	3.76	1.41	4.48

とから採取した(以下、FD供試体、及びFL供試体と略称)。またガセット継手は17°部縦げた腹板と横げた下フランジとの接合部より採取した(以下、GD供試体と略称)。すみ肉溶接継手、及びガセット継手の新材供試体(FN、及びGN供試体と略称)は渡橋製作時の溶接施工法に準じ別途製作した。腐食鋼板は、疲労試験に先立ち4mmピッチで引いた14本の横測線(荷重軸方向)と26本の縦測線(荷重軸垂直方向)との交点計364点の板厚をマイクロメーターで測定した。供試体の形状、及び寸法を図1に示す。疲労試験は部分片振り疲労試験で実施した。繰返し速度は10Hzである。なお、デッキプレートの機械的性質は $\sigma_y=253\text{MPa}$ 、 $\sigma_B=394\text{MPa}$ 、 $EI.=30.4\%$ である。

3. 試験結果、及び考察 (1)溶接継手の疲労強度 表1は、溶接止端形状の測定結果である。同表より、止端半径 ρ は発錆によって大きくなり、その傾向はガセット継手の場合に顕著なものとなる。図2は、すみ肉溶接継手のS-N_r関係を示したものである。

図2 すみ肉溶接継手のS-N_r関係

2×10⁶回疲労強度に着目すると、FN供試体に比してFL供試体は約10%上昇し、FD供試体は約11%低下する。FL供試体の疲労強度がFN供試体のそれより高い強度となるのは、表1に示すように、止端半径 ρ の増大により、止端部における応力集中率が低下したことによるものと考えられる。図3は輪荷重通過位置周辺のデッキプレートから作製したCT試験片を用いて亀裂伝播試験を実施して得た結果である。同図より、デッキプレートの亀裂伝播速度は最安全設計曲線¹⁾に比して、約10倍程度となる。図4は継手母材表面から板厚方向に0.5mm入った位置における溶接止端部周辺の硬さの分布を示したものである。同図より、FD供試体止端部近傍の硬さはFL供試体に比して約20%程度軟化の傾向にある。図3、及び図4より、輪荷重通過位置にあるすみ肉溶接継手(FD供試体)は、供用下において局部的に高い応力履歴を受け²⁾、この影響によって疲労強度が低下したものと推定される。図5は、ガセット継手のS-N_r関係を示したものである。GD供試体の2×10⁶回疲労強度はGN供試体のそれに比して約56%程度の強度上昇となり、腐食効果が顕著に現れている。図6は、すみ肉溶接継手止端部で測定して得た局部ひずみ($\Delta \epsilon_t$)とN_rとの関係を示したものである。同図より、すみ肉溶接継手の $\Delta \epsilon_t$ -N_r関係は腐食、応力履歴の大小に関わらずほぼ1本の直線で表すことができる。

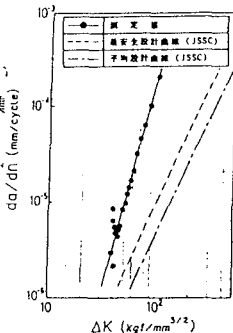


図3 疲労亀裂伝播曲線

(2)腐食鋼板の疲労強度 図7は腐食鋼板の疲労試験結果に基づき、公称板厚(12mm)を用いて算定した応力全振幅 $\bar{S}_r$ と疲労亀裂が約5mm進展したときの繰返し回数 N_c との関係を、疲労亀裂周辺の平均腐食量($\bar{\delta}$)で分類して描いたものである。同図より、鋼板表面に生じた孔食が疲

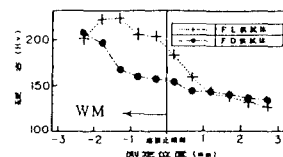


図4 硬さ試験結果

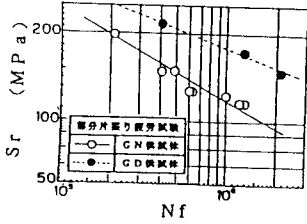
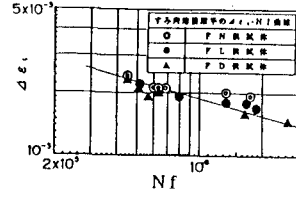


図5 ガセット継手のS-N関係


図6 すみ肉溶接継手の $\Delta \epsilon_i$ -Nf関係

疲労寿命に対して極めて高い切欠き感受性を有していることがわかる。因に、 $0.6 < \bar{\delta} < 2\text{mm}$ 、 $2 < \bar{\delta} < 4\text{mm}$ 、及び $4 < \bar{\delta} < 6\text{mm}$ の鋼板の 2×10^6 回疲労強度は、テフロンを機械仕上げした両面平滑供試体の疲労強度(250MPa)に対してそれぞれ約54、66、及び73%程度低下する。図8は疲労試験に用いた腐食鋼板の表面形状、並びに疲労亀裂発生位置を、また、図9は各横測線上の板厚変動係数の変化を例示したものである。両図より、疲労亀裂は最大腐食位置あるいは最小断面で必ずしも生じず、主として鋼板表面の凹凸の激しい変動係数の高い測線上で発生していることがわかる。この事実は、鋼板表面孔食部の応力集中の高い位置が疲労亀裂発生の起点となることを示すものである。そこで、図10は、腐食鋼板の有効板厚 t_e が $t_e = t_s \cdot v_{\epsilon} - 1.0 \sigma$ (t_s : 腐食鋼板の平均板厚、 σ : 破断面の板厚標準偏差) にて評価し得ることを考慮し³⁾、縦軸に $S_{re} = K \cdot S_{avg}$ 、 $K = 1/(1-V)$ を取って S_r - N_c 関係を再整理したものである。ここで、 S_{avg} 、及び V はそれぞれ亀裂発生位置横測線上の平均板厚、及び亀裂発生位置横測線上の板厚変動係数である。同図より、各鋼板の疲労データはほぼ1本の S_{re} - N_c 曲線廻りに分布している。従って、 K は鋼板表面の凹凸状態に起因する見かけ上の応力集中率と考えることができる。図11は、図7に示す腐食領域での S_r - N_f 関係に基づいて得られた 2×10^6 回疲労強度を縦軸に取り、横軸に平均腐食量($\bar{\delta}$)と公称板厚(t_s)との比 $\bar{\delta}/t_s$ を取って図示したものである。同図より、 $\bar{\delta}/t_s$ が約0.06以上になると疲労破壊は溶接継手止端部から離れた継手母材で生ずるようである。

4. まとめ 本研究で、得られた主な結論を以下にまとめる。① 輪荷重通過位置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、新材のそれに比して低下する。一方、輪荷重が直接載荷されない主桁近傍のすみ肉溶接継手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。同様に、ガセット継手の場合も止端部の腐食によって高い強度上昇を示した。② $\Delta \epsilon_i$ - N_f 曲線は、すみ肉溶接継手、及びガセット継手ともに腐食、並びに応力履歴の大小にかかわらずそれぞれ1本の直線で表される。③ 腐食鋼板の疲労亀裂の発生は荷重軸方向(横測線)の変動係数が高い位置で生じ、そのS-N関係は作用応力 S を $S_{re} = K \cdot S_{avg}$ として算定すれば、腐食状態にかかわらずほぼ1本のS-N関係で整理し得る。④ すみ肉溶接継手母材の $\bar{\delta}/t_s$ が約0.06以上になると溶接止端部から離れた母材より疲労破壊を生ずる。

5. 参考文献 1) (社)日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説。2) 村中、皆田、吉光、梶本：福山港渡橋における応力頻度測定、土木学会第47回年次学術講演会、I-503、平成4年9月。3) 大村、皆田、藤井、村中：腐食環境下の鋼部材の残存耐荷力、土木学会中四国支部研究発表会講演概要集、平成6年5月。

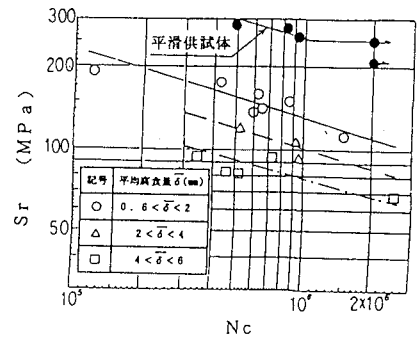
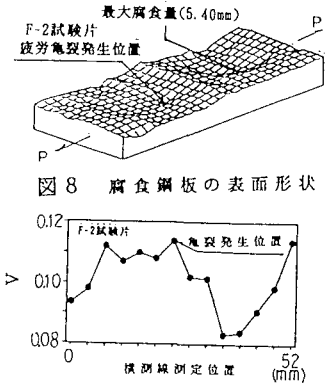

図7 平均腐食量で分類した S_r - N_c 関係


図8 腐食鋼板の表面形状

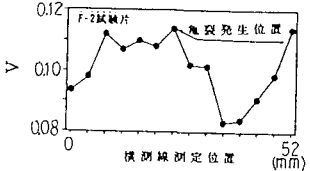
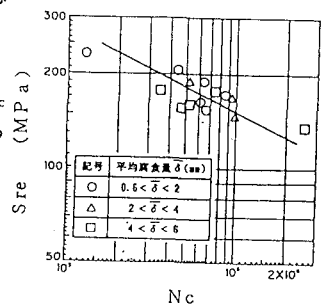
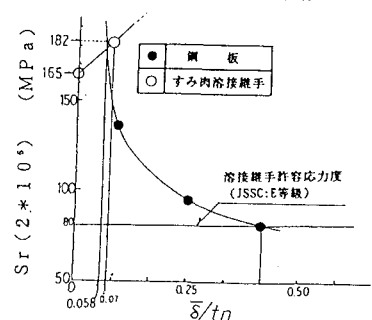


図9 板厚変動係数と疲労亀裂発生位置


図10 S_{re} によるS-Nc関係

図11 腐食鋼板の疲労強度と $\bar{\delta}/t_s$ との関係