

腐食鋼板の表面性状と疲労強度について

広島工業大学 正員 ○村中 昭典
 広島工業大学 正員 皆田 理

1. はじめに 既往の研究では、腐食鋼板の力学的挙動に対する鋼板表面不整の影響について未だ不明な点が多いように思われる。鋼構造物の健全度評価の観点からすれば、この点を明確にしておくことは大変意義あることと考えられる。

本研究は腐食鋼板の静的引張試験、並びに疲労試験の結果に基づき、表面形状と力学的性質との関係、応力評価法などについて検討を加え、鋼構造物の維持・管理法確立のための基礎資料を提供するものである。

2. 試験片 試験片は15年間供用後撤去されたフェリー渡橋、及び40年間供用後撤去されたダム洪水吐ゲートより採取した採取した鋼板の表面は塗装剝離剤を用いて表層の塗装（3層）を除去した後、図-1に示すように4mm 間隔で引いた9本の横測線（荷重軸方向）と51本の縦測線（荷重軸直角方向）との交点、計459点の板厚を、また、同様に洪水吐ゲートより採取した試験片については2mm 間隔で引いた横測線19本、縦測線101本の交点、計1919点の板厚をマイクロメーターで測定した。

3. 静的引張試験結果、及び考察

図-2は伸び率と変動係数との関係を示したものである。ここで用いた板厚変動係数は全測点に対する値を用いた。図に示すように腐食鋼板の伸び率は板厚変動係数が約5%以上になるとJIS規格¹⁾（伸び $\geq 18\%$ ）を大きく下回る。この事実は鋼構造物の終局限界状態を考えるうえで腐食の進展が無視できないことを示す。そこで、腐食鋼板の最大荷重時での標点間の伸び（ δ ）と両面平滑材の降伏荷重時での標点間の伸び（ δ_y ）との比 δ/δ_y を塑性変形能力と定義し、変動係数との関係を図示したものが図-3である。図中破線は森脇ら²⁾によって求められた両側 notch を有する鋼板（SM400）の応力集中率と塑性変形能力との関係を外挿併記してある。図に見られるように腐食鋼板の塑性変形能力は鋼板の表面形状を表す板厚変動係数の上昇に伴って低下する。これは、鋼板の表面形状不整が大きくなると局部的にひずみ集中を生じた孔食部でくびれを起し破壊に至るためである。また、塑性変形能力の変動係数に対する低下傾向は両側 notch を有する平滑鋼板の塑性変形能力と応力集中率との関係に類似したものとなる。この事実より、腐食鋼板の板厚変動係数は鋼板表面の見かけ上の応力集中率とみなすことができる。

4. 疲労試験結果、及び考察 腐食によって生じた表面不整が疲労寿命に及ぼす影響を見るため、縦軸に各試験片の平均板厚より算定した応力範囲 S_{mr} をとり、横軸に疲労亀裂が約5mm進展したときの繰返し回数 N を取って図示したものが図-4である。図より、変動係数領域 $0 < V \leq 0.10$ 、 $0.10 < V \leq 0.150$ 、及び $0.150 < V \leq 0.210$ の 2×10^6 回疲労強度は平滑材の疲労強度に対してそれぞれ約46、51、及び58%程度低下する。この結果より、腐食による鋼板表面の凹凸が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。一般に切欠きが存在すると応力集中のため疲労強度は低下する。この低下の程度は疲労強度減少係数 K_t によって表される。また、切欠きの鋭さは切欠きによる理論弾性係数応力集中係数（形状係数） K_t によって表される。飯田ら³⁾は肉眼亀裂発

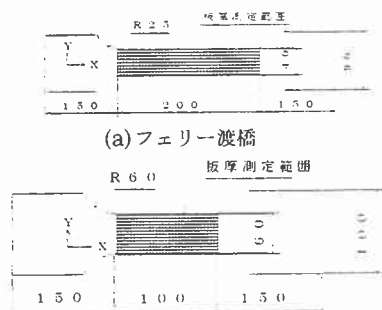


図-1 試験片の形状、及び寸法

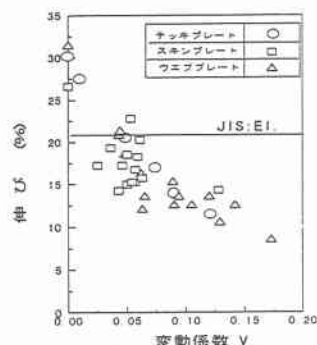


図-2 伸び率と変動係数の関係

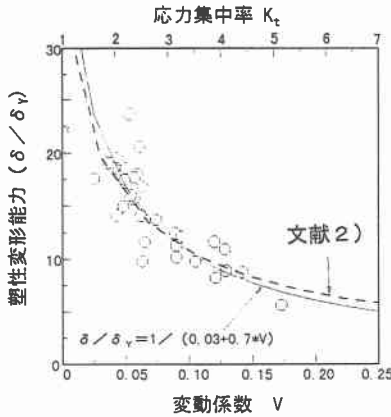


図-3 塑性変形能力と変動係数との関係

寿命 N_c レベルでの $K_t - K_f$ 関係として次式を提案した。

$$K_f = 1 + (K_t - 1) / \{1 + mE(S_{mr})^{(1-n)/n}\} \quad (1)$$

ここで、 S_{mr} は同一寿命における平滑材の時間強度（公称応

力範囲）、 m と n は平滑材の $\varepsilon = (\sigma/E) + (\sigma)^{1/n}$

における定数である。本研究では試験結果より、 $m=1.54 \times 10^{-13}$ 、 $n=0.173$ となる。図-5は図-4に示す $S-N$ 関係の傾きがそれぞれの実験点に適用し得るものと仮定し、それぞれの実験点に対応する 2×10^6 回疲労強度から (1) 式によって K_t を求め、 V と K_t との関係を示したものである。図中の破線は K_t 曲線の $K_t \pm \sigma$ (σ : 標準偏差) を示す。図-6は図-4に示した個々の $S_{mr} - N_c$ 関係を図-5に示す $K_t - V$ 関係で補正して描いた $S-N$ 関係である。これは、腐食によって表面形状不整を生じた鋼板面の局部応力を基準とした $S-N$ 曲線と言え得るものである。図に示すように各腐食鋼板の疲労データはほぼ一本の $S-N$ 曲線廻りに分布しているといえよう。腐食鋼板の疲労寿命は鋼板表面の凹凸状態、すなわち、板厚変動係数を測定することによって、図-6より推定可能となる。

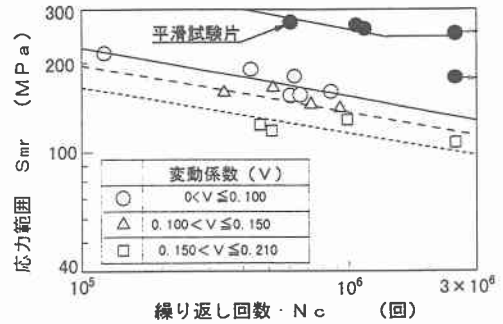
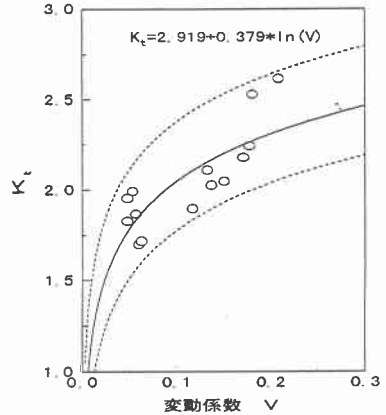
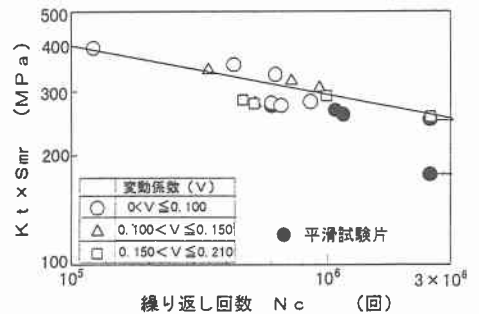
5. まとめ 本研究で得られた主な結論を挙げると次のとおりである。

- (1) 腐食材の塑性変形性能 δ / δ_y は板厚変動係数 V を用いて、次式により算定することができる。

$$\delta / \delta_y = 1 / (0.03 + 0.7 \times V)$$

- (2) 腐食鋼板の $S-N$ 関係は鋼板面の板厚変動係数 V から推定した K_t を用い、応力範囲 $S = K_t \times S_{mr}$ として算定すれば腐食状態にかかわらずほぼ一本の $S-N$ 関係で整理し得る。

参考文献：1) 日本工業規格、JIS G 3101, 1976. 2) 森脇他：切欠き材の塑性変形能力について、鋼構造論文集、第2巻、第8号、pp. 1~12, 1995. 3) 飯田他：ヒステリシスエネルギーに基づいた疲労強度減少係数の一考察、日本造船学会論文集、第134号、pp. 341~350, 1973.

図-4 $S_{mr} - N_c$ 関係図-5 K_t と V との関係図-6 $K_t \times S_{mr} - N_c$ 関係