

腐食環境下の破壊力学特性

大同工業大学 正 員 ○事口寿男

大同工業大学 大学院 吉 伯海

【1】まえがき

1950年代にIrwin-Orowan等の研究により、小規模降伏条件を満たした線形弾性破壊力学が発展し、現在では構造物の破壊を防止するための有力な工学的手法として各方面で数多く研究されている。すなわち、き裂の成長の上下限界、および、き裂成長速度を、あらかじめ単純な試験片を用いて実験室的に再現し、適切な破壊力学パラメータで特性づけておけば、実際の欠陥・き裂のパラメータの解析により、寿命などが予測できることになる。海洋構造物は自然の波浪などの繰り返し荷重によって極微小部に腐食ピットが生じ、その後のき裂の進展とともに、構造物全体が供用不能となる厳しい環境下にある。

本研究では、鋼の湿式腐食は材料と環境との境界面で起こる電気化学反応であること、腐食は時間とともに進行する現象であることに着目する。実際の腐食環境を電気化学的にシミュレーションし、疲労き裂進展における $da/dN-\Delta K$ の関係を求め、腐食環境下における鋼の破壊力学特性を調べる。

【2】実験装置

実験装置の概要は腐食環境下でのS-N曲線を求めた文献¹⁻²⁾に示すものと同様である。試験片の力学的および材料特性も、文献¹⁻²⁾で用いたものと同じである。予き裂試験片はき裂の進展に伴い、応力拡大係数が増加する荷重制御で行い、写真-1に示す片側予き裂の帯板を用いた。腐食環境は、温度25°Cの温度制御で3% NaCl水溶液、腐食速度は加速させていない自然腐食速度である。酸素は腐食セル中に入れている。波打ち際の腐食環境を対象としているので、溶液との界面でのアノード反応は $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$ となり、カソード反応は $0.5O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$ が起こる腐食環境を考慮している。き裂進展の測定は、交流ポテンシャル法を用いた。

【3】腐食環境下におけるき裂進展特性

腐食疲労き裂進展における $da/dN-\Delta K$ の関係は環境の影響を受ける。図-1は一例として、環境、および荷重の繰り返し速度を変化させた時の、腐食溶液中におけるき裂進展を測定し、 $da/dN-\Delta K$ の関係を示したものである。 da/dN の整理は、増分多項式で行った。この図からわかるように、大気中の進展速度に比して加速成長している。また、周波数の影響も強く現れている。腐食環境下での下限界 ΔK_{th} はまだ、実験的に求められていない。き裂の成長の上下限界が求められると成長速度・寿命などが予測できることになる。腐食液中のき裂長さは交流ポテンシャル法で測定した。写真-2にき裂状況を示し、また、写真-3に走査電子顕微鏡で、き裂破断後のストライエーション破面を示した。

【4】有効応力拡大係数

腐食疲労の場合、 ΔK_{th} を実験によって確認することは、き

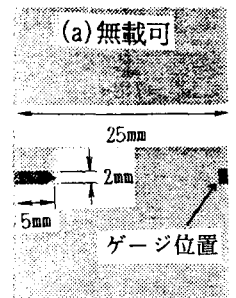
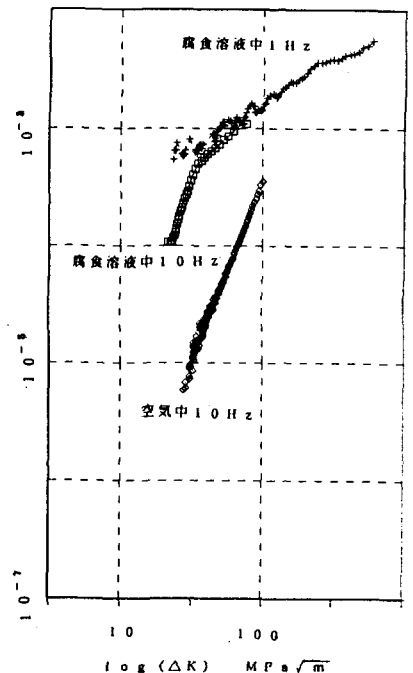


写真-1 試験片

図-1 $da/dN-\Delta K$ 曲線

裂先端付近の開閉口の問題があって困難である。そのため、 ΔK_{eff} でデータを整理した方が良いが、 K_{or} 点を試験中に求める必要がある。図-2は、試験片の側辺にひずみゲージを貼って、 K_{or} 点を見つけた一例である。同時に、その測定値からき裂進展長さを推定するためのデータを得て、これを別途行った有限要素解析の結果と比較するようにした（写真-2、図-3 参照）。

疲労試験およびその後の弾性試験の結果から、き裂進展が小さい場合、疲労試験による応力-ひずみ曲線とその後の弾性試験による結果から、 K_{or} 点までは、疲労試験と弾性試験の結果はよく一致する傾向にあった。しかし、 K_{or} 点以後の疲労試験結果は弾性試験の結果に比べて勾配が厳しくなった。

また、き裂が大きく進展した場合、弾性試験による応力-ひずみ曲線は、疲労試験結果と同様なループを描いた。なお、疲労試験中は、小さな応力レベルでも図-2に示したようなループを呈することを確認している。

あとがき

本研究には、平成3年度～4年度の文部省科学研究費・一般研究(C)の補助を受けたことを付記し、謝意を表します。また、実験・解析を行うにあたっては、大同工業大学・大学院の高木信治君、建設工学科・4回生の川合寿和君、および、同・前田 稔君に、ご協力いただきました。ここに、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Kotoguchi, H et al: Corrosion Fatigue Strength under Sea Water Environment by Electrochemistry, Proc. of Forth International Conference on Fatigue and Fatigue Thresholds, Hawaii, 1990.
- 2) 事口寿男他：土木学会年次学術講演概要集、平成4年9月、I-139.
- 3) ASTM: ASTM Standard, 1979.
- 4) Irwin, G. R.: Handbuch der Physik, Vol. VI, Springer, Berlin, 1958.
- 5) 石田 誠：き裂進展の弾性解析と応力拡大係数、培風館、1977.
- 6) L. M. G. F. : 破壊力学の基礎、(大橋義夫訳)、森北出版、1977.

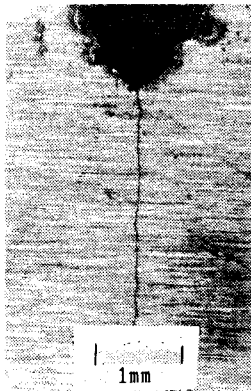


写真-2 き裂状況



写真-3 ストライエーション

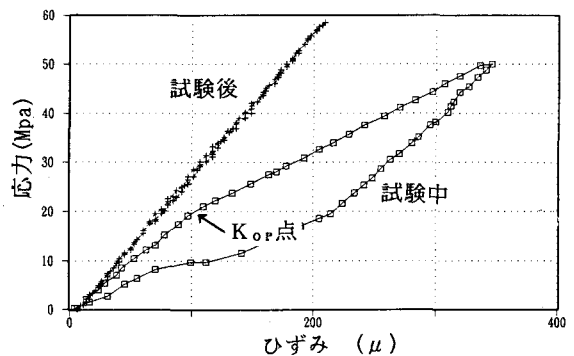


図-2 疲労試験中および試験後の
応力-ひずみ曲線

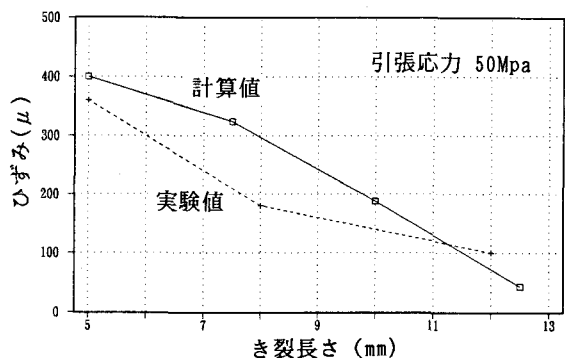


図-3 き裂長さとのひずみ値