

I - 603

腐食環境下における軟鋼の破壊力学特性

大同工業大学 正 員 ○事口寿男

大同工業大学 正 員 酒造敏廣

大同工業大学 大学院 吉 伯海

【1】まえがき

空气中疲労き裂進展において、応力比 $R = K_{min}/K_{max} > 0$ のときでも、き裂先端後方には、引っ張り塑性ひずみが残留し、荷重が減少して最小荷重 K_{min} になる前に、き裂が閉じて、それ以下の荷重では、き裂進展に寄与しないことがある。一方、腐食溶液中では、腐食生成物によるくさび効果が生じる。これらを解明するには、き裂開口点を K_{op} とすると、有効応力拡大係数幅 $\Delta K_{eff} = K_{max} - K_{op}$ を用いることによって解明できるとされている。

本研究は波打ちぎわの海洋鋼構造物を対象とし、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 $da/dN - \Delta K_{eff}$ 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ようとするものである。

【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、片側予き裂の帯板を用いた。応力比 R は 0.1 以下である。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。

【3】腐食環境下におけるき裂進展の測定

き裂長さの測定には、交流ポテンシャル法を用いた。この出力電圧とき裂長さの関係をj知るために、試験片の側面にひずみゲージを貼り、その測定値からき裂進展長さを推定した。写真-1は、別途行った有限要素解析の結果の一例である。解析では4節点を有する4角形要素を用いている。きり欠き、き裂などの幾何形状を考慮しているため、要素分割を多くとった。要素数は700、節点数は1001である。境界条件は、右端($X=10cm$)の辺で X 方向に等分布荷重、 $1000Kg/cm^2$ を受けている。左端($X=0cm$)

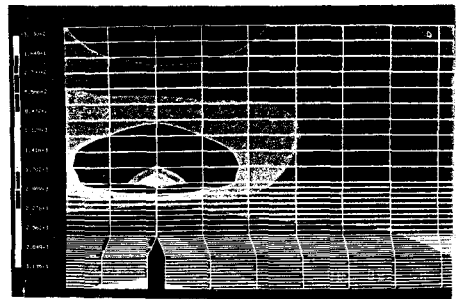


写真-1 有限要素法による軸方向応力値

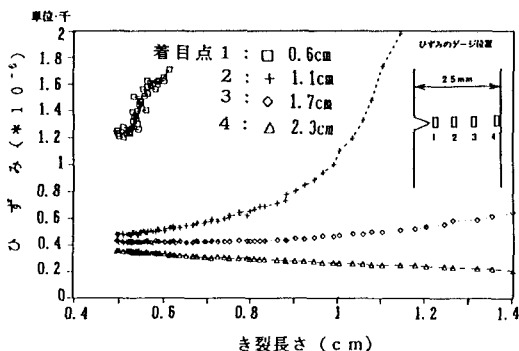


図-1 実験値

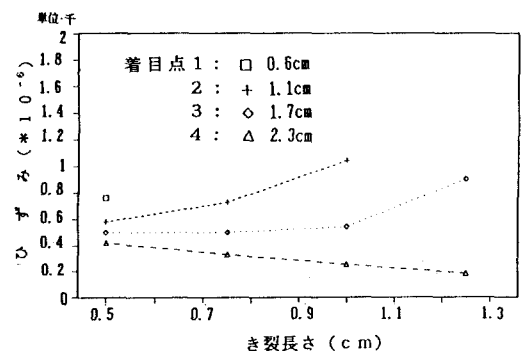
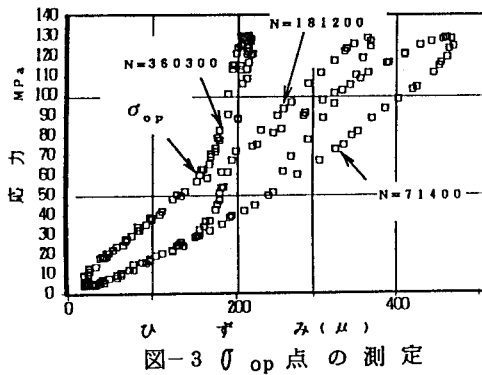


図-2 理論値


図-3 σ_{op} 点の測定

の辺で完全固定である。また、種々検討を行った結果、試験辺が中央で切り欠きを有しているために偏心荷重を受けるので、右端($X=10\text{cm}$)の辺でY方向の変位を拘束している。図-1,2 中の着目点4に見られるように実験値と理論値におけるひずみがよく一致するので、き裂長さの推定に用いた。同時に、顕微鏡を用いたき裂長さの実測値からもキャリブレーションを行った。

【4】有効応力拡大係数

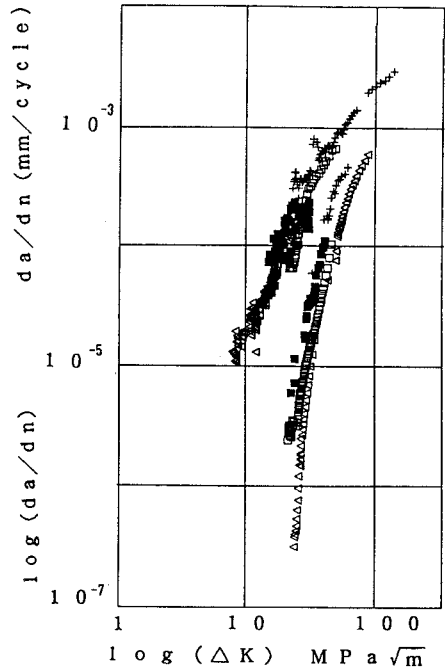
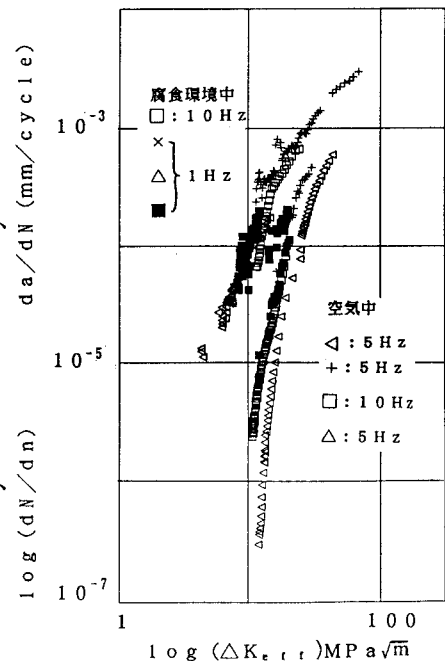
腐食疲労き裂進展における $da/dN-\Delta K$ の関係は環境の影響を受ける。図-4は一例として、環境、および荷重の繰り返し速度を変化させた時の、腐食溶液中におけるき裂進展を測定し、 $da/dN-\Delta K$ の関係を示したものである。 da/dN の整理は、増分多項式で行った。この図からわかるように、大気中の進展速度に比して加速成長している。腐食疲労の場合、 ΔK_{th} を実験によって確認することは、き裂先端付近の開閉の問題があって困難である。そのため、 ΔK_{eff} でデータを整理した方が良いが、 K_{op} 点を試験中に求める必要がある。図-3は、作用応力と試験片の着目点4におけるひずみ値から K_{op} 点を確認した一例である。空气中の場合、開口比 $U = \Delta K_{eff} / \Delta K$ は0.5とほぼ一定であった。一方、腐食溶液中における開口比は、浸漬後の初期段階では、ほぼ0.5であり、その後減少する傾向にあるが、途中でゲージが剥離した。図-5は有効応力拡大係数で整理した結果である。カソード反応によるくさび効果も見あたらなく、また、下限値が存在するようである。

あとがき

本研究には、平成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。

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、1-139.
- 3) ASTM: ASTM Standard, 1979.


図-4 $da/dN-\Delta K$ 曲線

図-5 $da/dN-\Delta K_{eff}$ 曲線