

腐食環境下の鋼のき裂伝播機構と破壊力学特性

大同工業大学 正会員 事口寿男

大同工業大学 大学院生 吉 伯海

大同工業大学 大学院生 ○井藤忠幸

【1】まえがき

金属材料の疲労過程は、き裂の発生とその後のき裂進展というかなり異なった2つの過程に大別できる。リダンタンシーの高い鋼構造物の材料は、なんらかの原因でき裂が発生すると、そのき裂は徐々に安定成長し最終的に破壊に至るが、その寿命の大部分はき裂安定成長に費やされる。このことから初期き裂の発生が生じやすい溶接継手部の設計に破壊力学の手法を取り入れた研究が数多くある。

本研究は、腐食環境中における片側予き裂を与えた試験片を用いて、き裂進展速度と有効応力拡大係数との関係を明らかにすることを目的とする。その際、任意形状の予き裂を持つ部材に対する応力拡大係数の算定にJ積分法が有効であることを示す。き裂進展速度と有効応力拡大係数との関係式から得られた疲労寿命強度を示し、別途行った平滑材のS-N曲線と比較する。最後に、マイクロハイスコープ1000倍光学顕微鏡を用いて、き裂の観察を行い、ストライエーションき裂の伝播機構を明らかにしようとするものである。

【2】応力拡大係数の算定

実験に用いた切り欠き試験片の応力拡大係数の算定を明らかにするために、FEM解析とJ積分法による数値解析を行った。図-1は実験に用いた試験片の境界条件、荷重状態、およびJ積分法のメッシュ分割について示したものである。このメッシュ分割は対称性を利用しており、8節点平面応力要素を用いて解析した。

図-2にき裂進展が生じた時のき裂先端付近の応力拡大係数の解析値、FEMによる値、およびJ積分法による値を示した。この図から上に述べた3種類の計算結果はよく一致した傾向を示している。特に、き裂先端付近の応力拡大係数の値はよく一致している。J積分法によると、任意の初期き裂形状を有する部材の応力拡大係数の値を求めることができる。

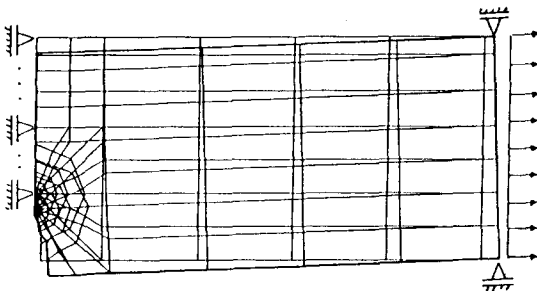
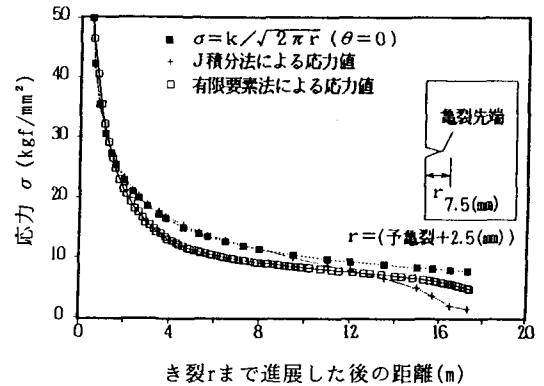


図-1 境界条件とJ積分法によるメッシュ分割



き裂rまで進展した後の距離(m)

図-2 き裂先端付近の応力

【3】き裂進展速度と応力拡大係数

腐食疲労き裂進展における鋼の $da/dN-\Delta K$ の関係は環境の影響を受ける。図-3は、腐食環境を一定（空気を飽和させた3%NaCl水溶液を環境とし、実験中の溶液温度は温度コントローラで25℃とした）にし、荷重の繰り返し速度を変化させた時のき裂進展速度—応力拡大係数の関係を図示したものである。き裂進展長さは交流ポテンシャル器を用いた。 $da/dN-\Delta K$ の関係中の da/dN は増分多項式で整理した。この図から、腐食溶液中のき裂進展速度は、大気中の進展速度に比例して加速成長することが判る。腐食溶液中におけるき裂先端付近の開閉口比は、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った。図-4は、腐食疲労の開閉口比を0.5と仮定し、有効応力拡大係数で整理した結果である。

図-4から da/dn と ΔK_{eff} との関係を以下のように求めた。

①腐食疲労の場合

$$da/dn = 3.17 \times 10^{-8} \times (\Delta K_{eff})^{2.94} \dots (1)$$

②空气中疲労の場合

$$da/dn = 1.36 \times 10^{-11} \times (\Delta K_{eff})^5 \dots (2)$$

【4】腐食環境下におけるS-N曲線

図-5は、腐食中および空気中の場合の疲労寿命曲線であり、式(1)～(2)から求めたものである。図中には、予き裂のない平滑材の試験片を使って、大気中における疲労実験および自然腐食電流密度（加速電流：0mA, 20mA）状態における腐食疲労実験結果も併記した。平滑材の腐食疲労実験においては、腐食環境は予き裂を入れた環境と同一である。平滑材の場合の図中の20mAは自然腐食速度の約15倍腐食を加速させた環境に相当する。この環境では、応力レベルが40MPaで約2000万回で破断している。

図-5より、腐食疲労の場合、式(1)の破壊力学手法より各作用応力値における疲労寿命は実験値より小さくなるが低応力状態まで疲労特性を把握することができた。

【5】き裂進展機構

写真-1は、腐食環境下におけるストライエーションのき裂断面の一例を示したものである。引張過程においては、その断面は二つのすべり面におけるすべりにより先端の開口が起り、圧縮過程においては鈍化が起こる鋸歯状型をした凹凸部どうしが対応していると考えられる。発表当日、この種の詳細について述べる。

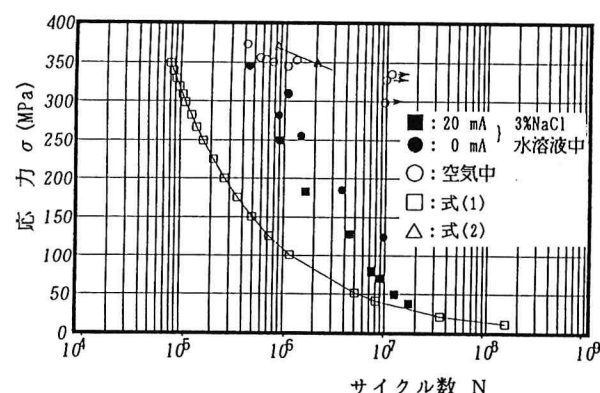


図-5 S-N曲線の推定値と実験値

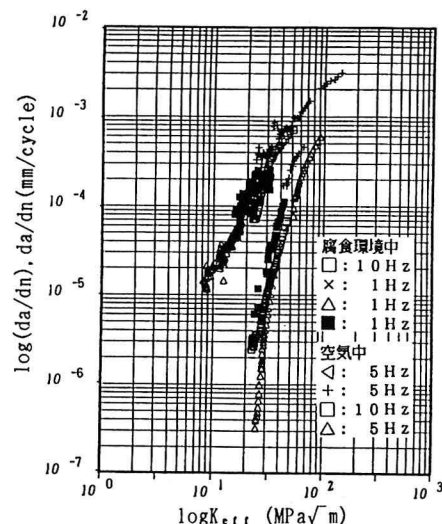


図-3 き裂進展速度と応力拡大係数

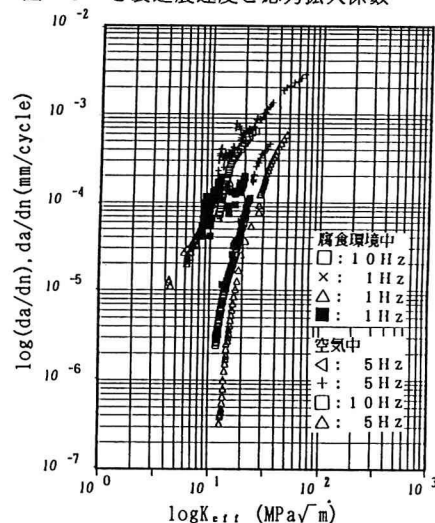


図-4 き裂進展速度と有効応力拡大係数

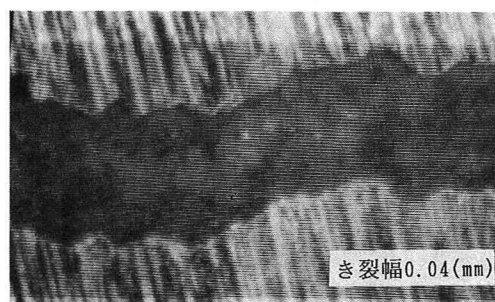


写真-1 き裂状況

あとがき 本研究は、平成5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) 事口寿男他：変動張力下における海洋ケーブルの電気化学的手法による腐食疲労強度に関する研究。平成4年度科研成果報告書(課題番号03650388) 2) 矢川元基編：破壊力学の基礎—理論・解析から工学的応用まで、培風館、1988年6月 3) Nippon MARC K-4：非線形構造解析FEMプログラム(株)日本マーク、1992年1月。