

腐食環境下における微視き裂挙動に関する考察

大同工業大学

正会員

事口壽男

大同工業大学

学生会員

○岡本英明

1. まえがき

近年建設される構造物は、様々な過酷な複雑環境条件下で酷使され疲労している。その中でも特に海洋構造物は海水による腐食疲労が著しい。そこで、本研究は腐食環境下（NaCl 3%水溶液, 温度25℃, 空気循環）で、切り欠き予き裂のある軟鋼試験片の繰返し荷重下における微視き裂を結晶粒スケールで観察し、き裂進展速度と応力拡大係数および、き裂長さの関係を微視き裂領域に着目し、同応力条件での空気中の疲労試験との影響を比較し考察することを目的としている。

2. 実験概要

実験に使用した鋼材は、SS400材である。機械加工によって得た予き裂形状を図-1に示す。機械的性質、化学的性質は文献³⁾と同様である。試験片は、結晶粒スケールで観察するために、アルミ液で鏡面仕上げをし、ナイールで表面処理を施した。実験装置は最大容量250KNの油圧式サーボ疲労試験機を用い、負荷状態は片振り正弦波を使用した。また、サイクルは10Hzである。今回腐食環境下を試験片に持たせるためにアクリル樹脂製の腐食セルboxを製作した。boxは横120mm、縦35mm、奥行き50mm

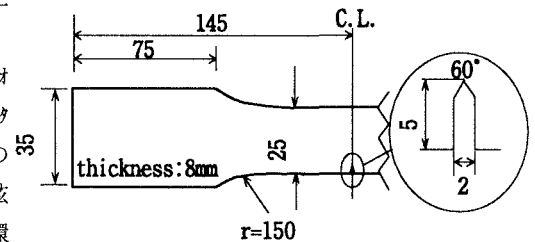


図-1 試験片の形状 (unit:mm)

のサイズで3%NaCl溶液が腐食セルbox中に常時115600mm³ (115cc) 循環貯留されている。また腐食環境としては、海水表面付近の酸素の多く含まれた部所を想定した。腐食環境維持の為に空気ポンプで常に空気を貯水槽（容量10リットル）内の3%NaCl水溶液を、100cc/minの速度で薬液注入ポンプを使用して腐食セルに循環させセル内に腐食生成物が残留しないようにした。また3%NaCl水溶液の温度はHeat Machineによって常に25℃に設定されている。ひずみを測定するにあたってはNaCl溶液中でもひずみゲージ使用可能にする保護waxを添付し測定を行った。次に微視き裂進展挙動の動的観察には、腐食セルboxにNotch (ノッチ) 先から10mm²の観察窓を設けて、その窓より倍率1000倍のマイクロハイスコープを使用し、ビデオに収録した。また、き裂発生に伴い、き裂部からの漏水を防ぐ為に試験片と腐食セルの間にBiodenフィルムを貼り腐食環境下での微視き裂の動的観察を可能にした。

3. 実験結果

3.1 応力拡大係数 ΔK とき裂進展速度 da/dN の関係

図-2は、腐食環境（3%NaCl, Temperature 25℃）で、空気中（常温）の応力拡大係数 ΔK に対するき裂進展速度 da/dN の実験結果の関係を示す。実験結果より腐食環境下中のき裂進展速度（ da/dN ）は明らかに空気中のき裂進展速度より大きい値となっている。また ΔK で考えたときのき裂進展の下限界値は空気中においてのそれよりも低下している。腐食中の下限界値は $1.8\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ 、空気中では $2.4\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ である。これらの3%NaClとTemperature 25℃腐食環境の影響があるため、腐食環境中における da/dN が大きい値を示した。

3.2 き裂進展長さ a とき裂進展速度 da/dN の関係

図-3は、腐食環境中（3%NaCl, Temperature 25℃）と空気中でのき裂長さ a (mm)とき裂進展速度 da/dN の関係の実験結果を示す。実験は腐食中、空気中ともに応力93.8MPa、応力比0.1で行った。両環境下とも

に、き裂発生初期段階で da/dN が小さくその後き裂長さの増加に伴い da/dN の上昇が確認できた。また腐食中の da/dN は、空気中のそれよりも高い数値結果を示している。微視き裂においては腐食中の da/dN が空気中のそれよりも若干高い値を呈している。このことは安定き裂同様腐食環境の影響を受けた為に現れるものと思われる。

3. 3 き裂進展挙動におけるき裂先端写真

写真-1はき裂進展挙動の先端の様子をマイクロハイスコープ（1000倍）で深度的（3次元的）に撮影したものであり、写真中央左から右へとき裂進展挙動が確認できる。き裂進展後の粒界塑性とき裂進展前状態の結晶粒との違いが明確に現れている。またき裂周りの塑性領域範囲は、き裂進展方向に対して垂直方向に幅約0.25mmの帯状に残留塑性領域の存在が確認できる。また、き裂先端においては 45° 、 135° 方向に関して双葉状の塑性域の存在が確認された。

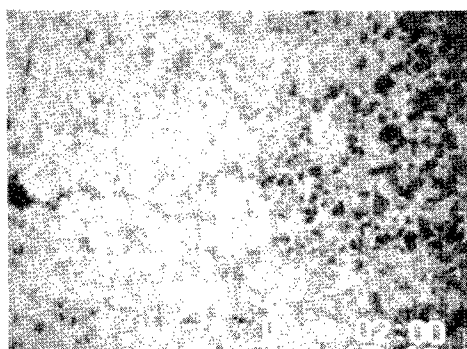


写真-1 き裂進展挙動におけるき裂先端写真

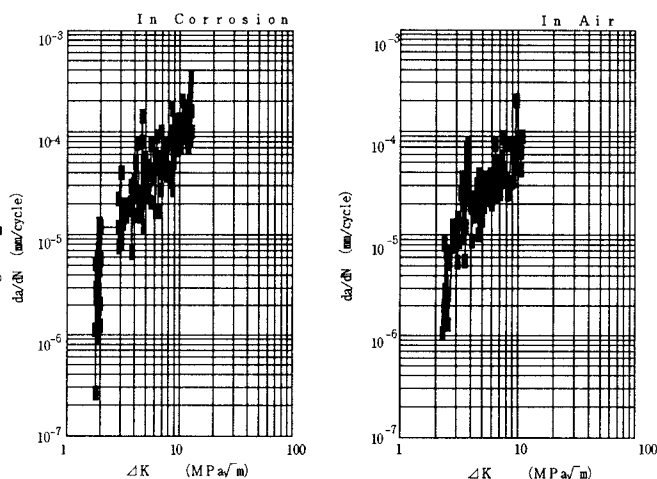


図-2 腐食中と空気中の応力拡大係数とき裂進展速度

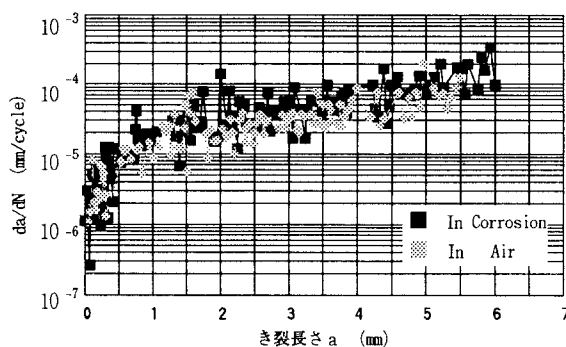


図-3 腐食中と空気中のき裂長さとき裂進展速度の関係

4. 結論

- 1) 腐食環境中(3%NaCl水溶液、Temperature 25°C)と空気中(常温)での同応力疲労試験においては、腐食環境の影響を受けるために、空気中より腐食中の方がき裂進展速度 da/dN が大きい値となる。
- 2) 腐食環境中での下限値は、空気中の下限値よりも低下する。
- 3) 腐食環境下のき裂長さに対するき裂進展速度は、空気中のき裂進展速度よりも大きくなる。
- 4) 軟鋼の疲労き裂には、腐食環境下の影響が、き裂進展速度に関与することが分かる。
- 5) 今後本実験に使用した腐食セルboxに腐食時間を自然界腐食時間に近づけるために、電気化学的電極を装着することにより、より現実の海洋構造物の腐食疲労に関する近いデータが収集出来るものと考ええる。

参考文献

- 1) 事口寿男、水澤富作他：海中環境下での腐食疲労に関する実験的研究、第9回海洋工学シンポジウム文集、日本造船学会、1989年、pp.273-279。
- 2) 矢川元基：破壊力学（理論解析から工学的応用まで）倍風館、1990。
- 3) Hisao KTOGUCHI, Tadayuki ITO, Hideaki OKAMOTO and Tetsuo YAMAMORI: Experimental study on Microcrack Behavior of mild Steel, 4th Pacific Structural Steel Conference, 1995。