

孔食をモデル化した鋼板の疲労亀裂進展速度に関する研究

高知工科大学 学生会員 ○細川善史

高知工科大学 正会員 穴見健吾

1.はじめに

鋼橋の耐久性において疲労亀裂の発生と腐食の問題がある。疲労亀裂を放置すると構造物の崩壊につながる可能性がある。更に腐食環境下にある鋼橋などは、鋼部材の腐食が疲労を引き起したり、疲労亀裂の進展挙動に影響を与えると考えられる。特に本研究で対象とする局部腐食のように、局部的に断面減少が大きいような場合の亀裂の進展挙動はあまり分かっていない。そこで本研究では、局部腐食した鋼板中の疲労亀裂の進展挙動を調べる第一ステップとして、溶接構造用鋼材(SM490)に孔食をモデル化した孔をあけて疲労試験を行い、亀裂進展速度を調べた。また、亀裂進展速度を支配するパラメータである応力拡大係数に与える孔食の影響を解析的に検討した。

2.疲労試験

亀裂進展速度を比較するために表裏に深さ 2mm、直径 6mm(D6)と 3mm(D3)の孔を 10箇所ずつあけた試験体を作製し、疲労試験を行った。試験体の寸法及び、孔をあけた状況を図-1、図-2に示す。孔の中心位置は両試験体同じである。また、比較用に孔の無い試験体を D0 とした。試験体中

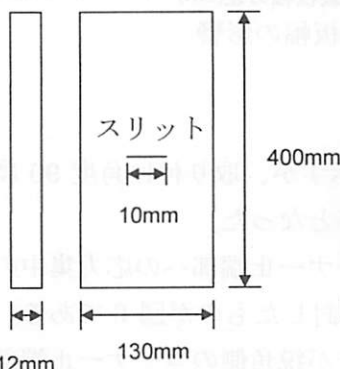


図-1 試験体寸法

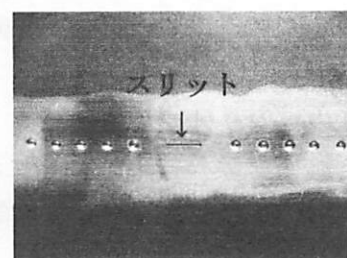


図-2 孔食をモデル化した孔 (D3 試験体)

央には亀裂発生位置を特定するため、放電加工による長さ 10mm のスリットを設けた。全ての疲労試験において荷重範囲は 10~140kN とした。D6、D3 試験体で発生した亀裂は孔の中心を進展していた。亀裂進展速度は光学顕微鏡($\times 10$)とビーチマーク試験により観察した。

3.亀裂進展速度

試験体 D6、D3、D0 で観察した亀裂進展速度と亀裂長さの関係を図-3 に示す。D6、D3 の亀裂進展速度を見ると、孔の中では亀裂進展速度が小さくなる傾向が見られた。また、孔の無い試験体より、孔を設けた試験体の方が若干、亀裂進展速度が大きい、孔の中心付近では孔の有無に関らず全ての試験体の亀裂進展速度がほぼ等しくなっている。より詳細な亀裂進展速度や板厚内部での進展状況を調べるためにビーチマーク試験を行った。図-4 に示す D6 の破面のビーチマークをスケッチしたものを図-5 に示す。孔を設けた位置でのビーチマーク形状は、孔の下り斜面では表面と内部の亀裂長さがあまり変わらない直線に近い形状になり、上り斜面では再び内部が長い放物線に近い形状となっている。また、ビーチマークで測定した D6 の亀裂進展速度を、表面と板厚中心にわけて図-6 に示す。孔の下り斜面では内部より表面の進展速度が大きく、上り斜面では表面より内部の進展速度が大きい結果となった。

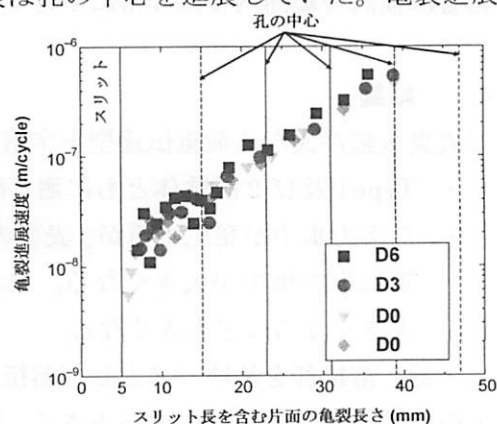


図-3 亀裂進展速度の比較

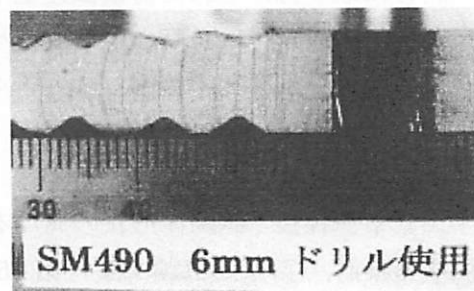


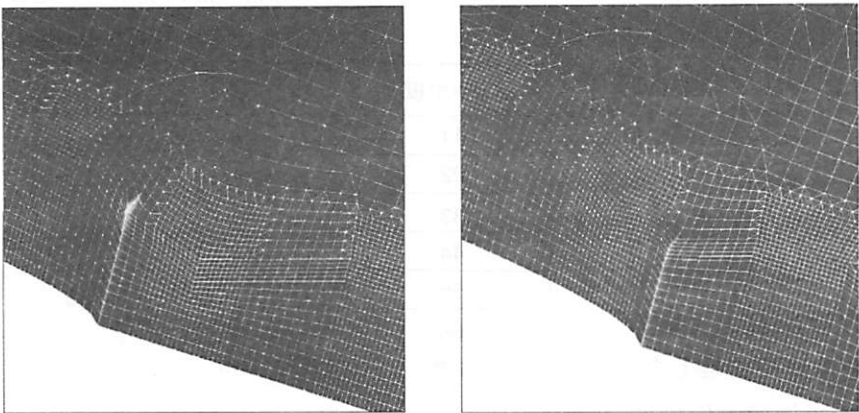
図-4 疲労破面 (D6)

4.解析的検討

亀裂進展の挙動を理解するため、円孔部の応力分布及び応力拡大係数に注目し、有限要素法プログラム MARC を用いて解析を行った。解析ケースは、D6、D3、D0 及び、比較用の深さ 2mm、幅 6mm の板幅方向貫通切欠きを有する溝食モデルとした。応力拡大係数の計算にはエネルギー法を用いた。1 ステップの亀裂の進展量は 0.1~0.2mm である。但し、実際には応力拡大係数は板厚方向で分布しており、ここで求めている値は平均的な値であると考えられる。

4-1.応力分布の比較

亀裂先端が孔の下り斜面と上り斜面にあるときの長手方向の応力分布を変形図と併せて図-7 に示す。また、図-7 に示す亀裂先端位置での長手方向応力の板厚方向分布を図-8 に示す。亀裂先端が上り斜面にある場合より下り斜面にある場合の方が表面の応力が大きくなっている。これは亀裂先端が孔の下り斜面にある場合、応力集中源となる孔が亀裂先端の前面にあるが、亀裂先端が上り斜面にある場合には孔のほとんどの領域が応力の小さい背面にあるという、亀裂先端と孔の相対的な位置関係の違いによるものと考えられる。



(a) 亀裂先端が孔の下り斜面 (b) 亀裂先端が孔の上り斜面
図-7 長手方向の応力分布と変形図 (D6 モデル)

4-2.応力拡大係数の比較

図-9 に D6、D0 及び、溝食モデルの応力拡大係数を示す。D6 モデルの応力拡大係数は亀裂先端が孔の下り斜面にある場合は急激に大きくなり、溝食モデルの値に近づき、上り斜面に亀裂先端がある場合は応力拡大係数は下がり、D0 モデルの値に近づく。

5.まとめ

亀裂先端が孔食をモデル化した孔内部にある場合、表面の亀裂進展速度は下り斜面では大きく、上り斜面では小さくなる。亀裂進展に伴うこの挙動を応力分布及び応力拡大係数の変化から説明することができた。

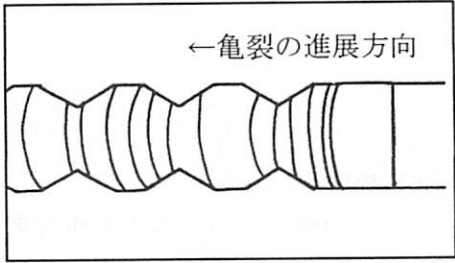


図-5 ビーチマークスケッチ図

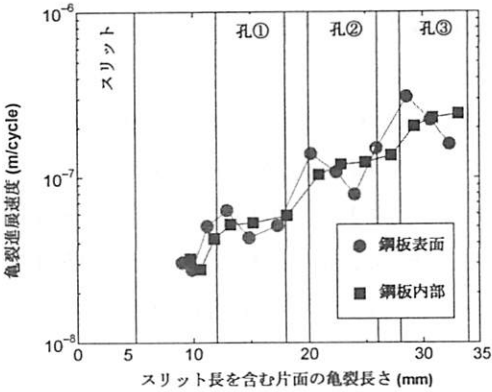


図-6 鋼板表面と内部の亀裂進展速度の比較 (D6)

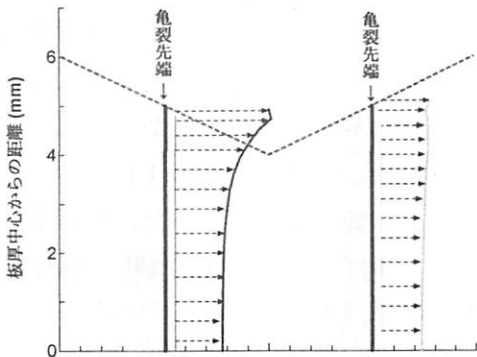


図-8 長手方向の応力分布の比較

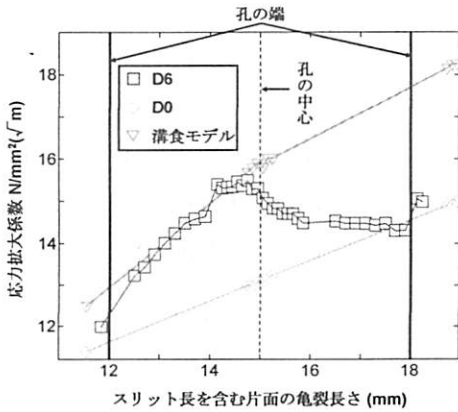


図-9 応力拡大係数の比較