

3.1.4 電位差法

電位差法の測定結果を図6に示す。横軸はき裂の実測値で、縦軸は電位差法の測定値である。非常によく相関を示しており、相関係数は0.978である。このことから、録磁探傷法、TOFD 超音波法、電位差法の3つの探傷法を比較すると電位差法が、最も相関がよいことがわかった。ただし、電位差法は μV オーダの測定を行うため、1点の測定に10回以上の測定値の平均を取る必要があること、また、き裂の近傍数カ所の測定が必要であることなど測定に長時間を要する。さらに、試験体に合わせたセンサーを作製する必要があることなど、現場適用には改良が必要である。

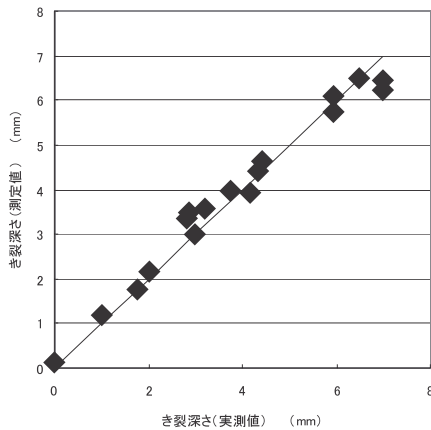


図6 電位差法によるき裂の測定

3.2 き裂深さと破壊強度の評価

3.2.1 疲労限の測定

図7に疲労限の測定結果を示す。横軸はくり返し回数で、縦軸は応力であり、両軸とも対数目盛である。測定は、最大 1.5×10^7 回まで行った。図中白丸は破断しなかったデータである。 1.0×10^7 回を超えて破断しない場合を疲労限と考えてよいので、これより、本実験で用いた炭素鋼板の疲労限は約 $300 N/mm^2$ と考えられる。

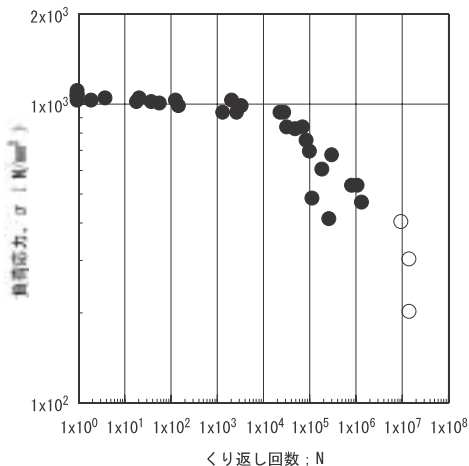


図7 応力とくり返し回数の関係

3.2.2 き裂進展速度の測定

図8にくり返し回数とき裂の進展深さの関係を示す。横軸はくり返し回数で、縦軸はき裂深さである。この曲線の傾きがき裂進展速度 (da/dN) を表している。き裂進展速度は、主として応力拡大係数に支配されるので、き裂進展速度と応力拡大係数との関係から、き裂進展速度の式が求められる。

図9にき裂進展曲線を示す。負荷応力が $120 N/mm^2$ と $100 N/mm^2$ は似た傾向を示しているが、 $80 N/mm^2$ の場合は異なった傾向を示している。これは、 $80 N/mm^2$ の場合は、他に比べ負荷応力が小さいため、同じ応力拡大係数の時を比較すると、き裂深さが大きくなり、き裂先端で塑性変形が生じ、小規模降伏の条件が満たされなかったためと考えられる。

負荷応力が $120 N/mm^2$ の場合の直線部から、き裂進展速度の式を求めると、

$$da/dN = 4.1 \times 10^{-10} (\Delta K)^{1.8}$$

である。

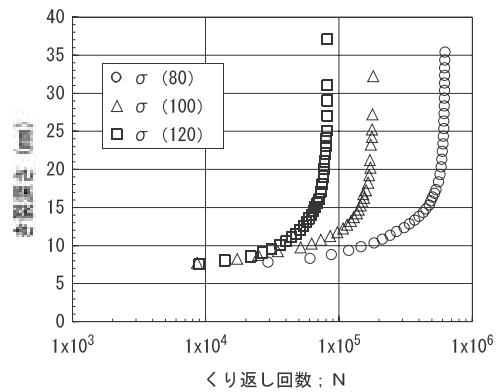


図8 くり返し回数とき裂の進展深さの関係

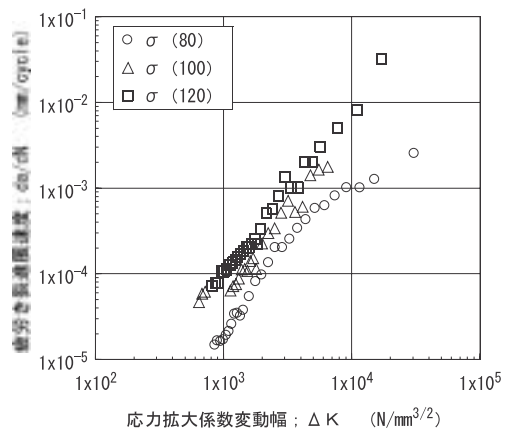


図9 き裂進展曲線

3.2.3 破壊靱性値の測定

図10に破壊靱性値の測定結果を示す。横軸は破断前に導入した疲労き裂深さ(予き裂を含む)で、縦軸は破壊靱性値である。き裂深さが、 $18 mm$ を超えた試験片の場合は、破壊靱性値が上昇しているが、この場合も、き裂深さが大きくな

り小規模降伏の条件が満たされなかったためと考えられる。このことから、本試験で用いた試験片（炭素鋼板）の場合、小規模降伏の条件が満たされるのは、き裂深さが約15mm以下であることがわかる。図より、本試験片の破壊靱性値を求めると、約 $3500\text{N}/\text{mm}^{3/2}$ である。

また、本試験で用いた試験片について、き裂深さと応力拡大係数の関係を図11に示す。横軸はき裂深さで、縦軸は応力拡大係数である。負荷応力は疲労限（ $300\text{N}/\text{mm}^2$ ）で計算したものである。これより、疲労限（ $300\text{N}/\text{mm}^2$ ）の応力が本試験体に加わった場合、き裂深さが約13mmを超えると破壊が生じることがわかった。

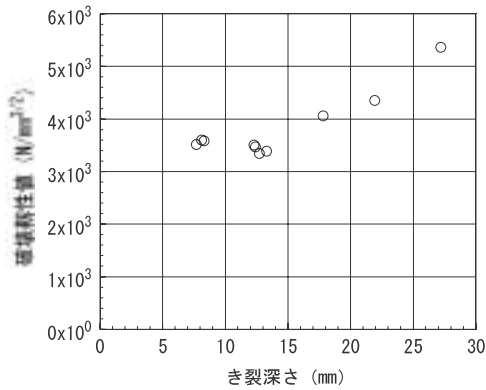


図10 破壊靱性値とき裂深さの関係

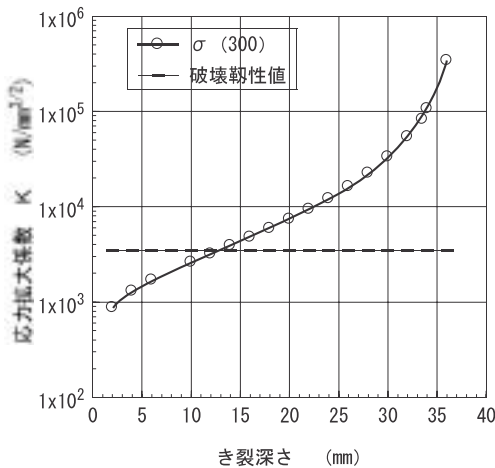


図11 き裂深さと応力拡大係数の関係

4. まとめ

機械構造用炭素鋼板（S45C：圧延材）に半楕円状の疲労き裂を導入し、録磁探傷法、TOFD超音波法、電位差法を用い、き裂の測定を行った。また、S45Cのき裂を有する場合の材料定数を求めた結果、以下のことがわかった。

- 1) 録磁探傷法、TOFD超音波法、電位差法いずれも相関性は良く、中でも電位差法が最も相関が良かった。
- 2) 超音波TOFD法では実際のき裂深さより1mm程度短く

測定された。これはS45Cにおける疲労き裂先端の特徴のためと考えられる。

- 3) S45Cの材料定数を求めた結果、疲労限は約 $300\text{N}/\text{mm}^2$ 、き裂進展速度は $da/dN = 4.1 \times 10^{-10} (\Delta K)^8$ 、破壊靱性値は $3500\text{N}/\text{mm}^{3/2}$ であった。
- 4) 本試験片において、負荷応力が $300\text{N}/\text{mm}^2$ （疲労限）の場合、き裂深さが板厚の30%以下であれば静荷重に対する破壊の防止が可能である。
- 5) 求められたき裂進展速度により、き裂深さおよび負荷応力がわかれば、破壊に対する寿命の推定の指針が得られた。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、TOFD超音波法の測定では、(株)日鋼検査サービスのご協力を、また、電位差法の測定では、東北大学・庄子研究室のご協力を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 岡村弘之：線形破壊力学入門，培風館 226pp，(1983)