

129 ねじりによるモードⅢ疲労き裂伝播に関する研究

新潟工科大学【院】○大滝秀治 新潟工科大学 山崎泰広 布村成具
鋼管計測（株） 秋山俊弥

1. 緒言

この研究は、金属材料のモードⅢ疲労挙動の解明を目的とし、併せてねじりによるモードⅢ疲労試験法の確立、汎用化を目指すものである。

長期間に渡る安全性が要求される構造物においては構成要素の疲労特性が重要な位置を占める場合が多い。近年、モードⅢ疲労データの必要性が認識され、その収集が始められている。

これまで、モードⅢ変動負荷に対する構造物の設計は、疲労を考慮する場合でも既存のモードⅠ疲労のデータに依存してきた。しかし、モードⅢ疲労のデータをモードⅠ疲労のデータで代替できる根拠はない。従って、モードⅢ負荷状態下にある部材に対しては、モードⅢ疲労の解明が必要である。ここではモードⅢ疲労挙動とき裂伝播速度について検討する。

2. 実験方法

2-1. 供試材及び試験片 試験片の方位が異なる（SFL：軸方向が圧延方向と一致する方向、SFT：垂直な方向）一般構造用圧延鋼材SS400鋼（表1、表2）を対象として、ねじり試験装置（アクチュエータの往復運動をクランクにより回転運動に変換）を用いて、疲労試験を実施した。本研究で用いる試験片は、軸方向の応力が最大になる位置を限定するために、偏心的に砂時計状にした。使用した偏心ねじり試験片を図1に示す。

Table.1 Chemical composition of the SS400 (wt%)

C	Si	Mn	P	S
0.16	0.15	0.53	0.020	0.016

Table.2 Mechanical properties of the SS400

σ_s	σ_B	δ
284 MPa	440 MPa	30 %

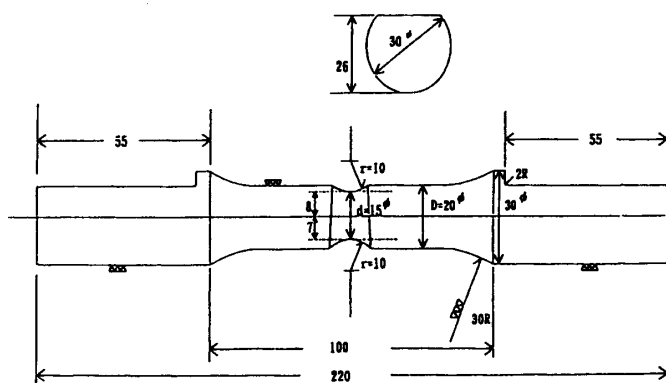


Fig.1 An axial excentric specimen

2-2. モードⅢ疲労き裂伝播速度 このねじり試験法においてのモードⅢ繰返し負荷による疲労き裂伝播は、試験片軸方向に内部進行していく。しかし、この内部伝播挙動をき裂進展速度を求めることが可能な状態で観察すること（X線等で内部を観察しながら疲労試験を行うなど）は困難で、研究室の域を出ることは難しく、この試験法の汎用化は計れない。本研究では、内部に進展するき裂（モードⅢ疲労き裂）と表面に現れるき裂の関係を明らかにして、表面の観察からモードⅢ疲労き裂伝播速度の推測を試みた。モードⅠ疲労の表面き裂は実験的にはほぼ半円形状に進展している。ねじり試験においての表面のき裂は、ねじり軸に平行な場合も垂直な場合もモードⅡ疲労き裂であり、 K_{II} 値が与えられていてもその形状は単純には想定できない。しかし、 K_{II} と K_{III} は共に負荷トルクに比例しているので、ある範囲では表面き裂の伸びの計測から、補正項を用いて推定が可能であると考えられる。

表面き裂の記録観察用カメラ（CCDカメラ）は、あらかじめき裂が入るであろうと予測される位置（最大偏心位置）に高性能カメラ1台を設置し、別に側面、裏面も監視するために、カメラ2台を設置した。また、照明は試験片観察部位（砂時計状の部分）を均一に照らすことができるように、ドーナツ型の蛍光灯を用いた。

試験中のき裂観察は、タイムラプスビデオ（録画する一コマの間隔を設定できるビデオ）で長時間の連続撮影・記録を行い、試験中の挙動を24時間中観察を可能とした。

き裂挙動を撮影した画像をPCに取り込み、プリントアウトしてき裂伸びを測定した。この画像には、き裂挙動と共に日時が秒単位で記録されており、それを基にき裂の発生から進展過程を調べることで、繰返し数を算出し、き裂進展速度を求めた。

2-3. 疲労き裂立体模型 き裂形状についてワイヤフレームモデルを用いて立体的に表わせるプログラムを作成した。ねじり疲労試験を行ったき裂の入った試験片を、試験片軸方向に垂直に0.1～0.2 mmづつスライス（研削・研磨）した。その断面を腐食液によりエッチングし、き裂の観察を容易とした。この画像をPCに取り込み、2-2と同様の方法で試験片断面中に伸びているき裂を座標点として計測した。その内部き裂の座標点を積重ね、ディスプレイに立体的なき裂形状を表示した。このき裂を任意の立体角で回転して、き裂形状を求めた。

2-4. モードⅠ疲労き裂伝播速度 モードⅢ疲労き裂伝播速度との比較のために、SS400鋼におけるモードⅠ疲労試験を行った。CT試験片を用い、ASTM⁽¹⁾ 基準に基づいてき裂進展速度を求めた。き裂長さの計測には電位差法を用いた。

3. 結果

3-1. モードⅠとモードⅢのS-N曲線 S-N関係について図2に示す。ねじり疲労試験により得られたモードⅢ疲労のS-N関係を、SFLを●印及び破線で、SFTを▲印及び点線で表わした。また、■印及び実線は、前に求めたSS400鋼のモードⅠ疲労の試験結果である。

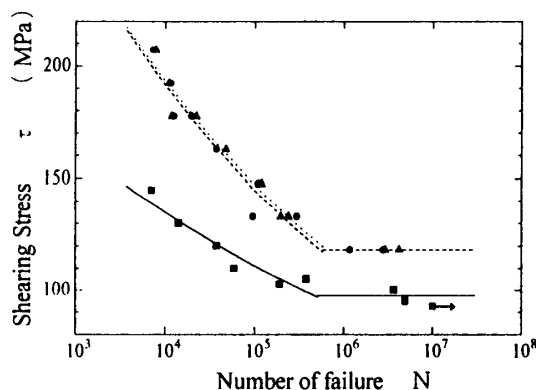


Fig.2 Mode I and ModeⅢ S - N relations in SS400 steel

3-2. モードⅠとモードⅢの疲労き裂進展速度

$da/dN - \Delta K$ 関係を図3に示す。得られた $da/dN - \Delta K$ 関係にはばらつきがあったため、最小二乗法により整理し、これを、SFL (●印) は波線、SFT (▲印) は点線で示した。実線及び□印は、CT試験片を用いたモードⅠ疲労の結果である。

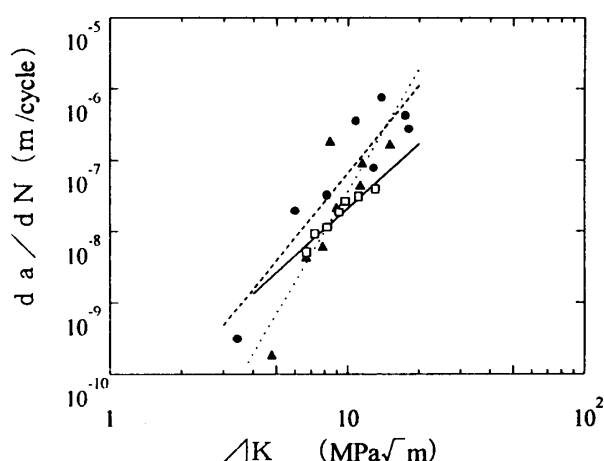


Fig.3 Mode I and ModeⅢ Fatigue crack propagation rates in SS400 steel

3-3. 試験片断面に見られるき裂とPSB

試験片をスライスした断面を図4に示す。断面には、固執すべ

り帯 (PSB) が見られる。試験片に生じたき裂の大部分は、すべり帯の存在領域にあり、すべり帯にほぼ平行に進展している。図4の円範囲内にある線がき裂である。矢印で示した筋がPSBである。

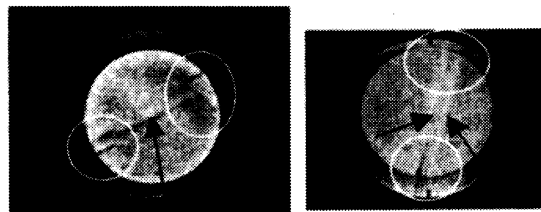


Fig.4 Profiles of cracks on the cross section

3-4. き裂の立体的観察 き裂形状の一例を図5に示す。ワイヤフレームモデルにより試験片観察部を表示してある。

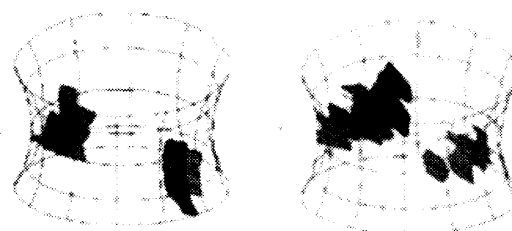


Fig.5 3D crack models

4. 結言

- ・SS400鋼において、試験片の方位が異なっても、有意な差は見られなかった。
- ・モードⅢ変動負荷状態下の部材に対しての、モードⅠ疲労データによる構造物の設計は、S-N曲線においては安全側にあるといえた。
- ・モードⅠ疲労とモードⅢ疲労とのき裂進展速度の比較を行った。両者に有意な差は認められなかった。
- ・ねじり疲労試験においても、モードⅠ疲労と同様に、PSBがき裂発生に深く関わっていた。
- ・き裂の内部進行 (モードⅢ疲労き裂) は爪状の形で進行しているのが確認できた。きれいな半円形を描かない原因は、試験片軸中央部に近づく程に与えられるせん断応力が低くなっているためと思われる。
- ・現在の処理プログラムは、断面で計測されるき裂を拡大出力して手動で座標点群に変換して入力している。より詳細な検討と省力化のため、画像処理による座標点化及び表面での観察との整合を行えるよう開発中である。

文献

- 1) Annual Book of ASTM Standard, E647-81