

東京都立大学 ○秋田 貢一  
 東京都立大学(学) 袴田 武広  
 東京都立大学 三沢 啓志  
 湘南工科大学 児玉 昭太郎

### 1. 緒言

定量的な事故破壊解析技術として有力なX線フラクトグラフィを、適用例のないねじり疲労破面に適用した。破面の残留応力から負荷トルク推定の可能性を検討した。

### 2. 供試材及び実験方法

供試材は、機械構造用炭素鋼 S53C とほぼ同等の化学成分のものである。機械的性質をTable Iに示す。試験片は、平行部の長さが195mm、直径が42mmの平滑丸棒試験片であり、表面に高周波焼入れを施してある。

疲労試験は、荷重制御による完全両振りで行った。最大ねじりトルク $T_{max}$ は5880, 6370, 7350 N・mの3種類(以下, No.1, No.2, No.3)である。

破面上の残留応力分布は、X線応力測定装置を用いて標準的な条件<sup>1)</sup>で測定した。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 破面観察

ねじり疲労破面の巨視的破壊形態は、荷重条件によらず同様でありその代表例をFig.1に示す。いずれの破面においても、疲労き裂の起点は表面に存在しており、せん断型き裂が発生している。表面近傍には軸に対して約45°方向、すなわち引張主応力方向に垂直で幅約10mmの平坦部が、起点から左右に約50mmの範囲に存在している。これは、き裂開口形(モードI)によってき裂が進展したことを示すものと考えられる。この破面にX線フラクトグラフィを適用する場合、これまでのモードI破面における研究成果を参考にできること、また、測定表面が平坦なほどX線応力測定精度が高いことなどから、モードIで疲労き裂が進展したと考えられる表面近傍の平坦な破面において検討することにした。

#### 3.2 破面の残留応力分布

測定に際し、幅約10mmの平坦な破面のき裂起点に原点をとり、試験片の表面に沿った方向をa軸、内部への方向をb軸とする。破面残留応力はa方向、b方向の分布を、X線照射域をそれぞれ $2 \times 2 \text{ mm}^2$ ,  $1 \times 1 \text{ mm}^2$ として測定した。破面残留応力のa方向及びb方向分布をそれぞれFig.2, Fig.3に示す。両方向で、残留応力は圧縮応力であり、き裂の進展とともに減少している。また、

き裂起点近傍では負荷トルクが高いほど残留応力が高くなっている。この2つの傾向から、K値が高いほど残留応力が低くなると考えられ、K値により残留応力が整理できる可能性がある。

Table I Mechanical properties.

Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
524	867	19	38



Fig.1 Macro photograph of fractured surface.

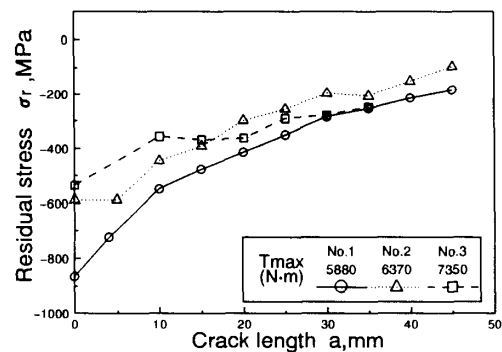


Fig.2 Residual stress distribution in direction "a".

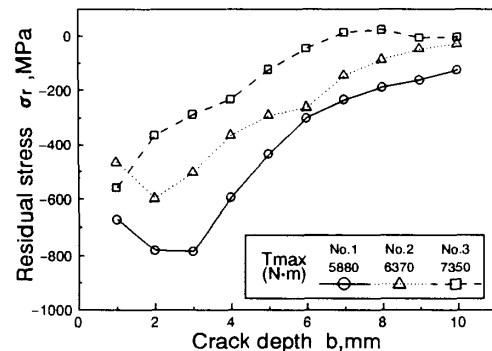


Fig.3 Residual stress distribution in direction "b".

### 3.3 応力拡大係数Kの計算

丸棒がねじり負荷を受け、モードIによる疲労き裂が進展した場合のK値は、これまでのところまだ求められていないようである。そこで、本研究で対象とするき裂のK値は、有限寸法平板中に生じた半楕円表面き裂が、分布荷重を受ける際のK値と近似的に等しいものとした。これを、Fig.4 (a) に示す。さらに、この場合のK値は、Fig.4 (b) に示す一様な引張応力が作用した場合のK値 ( $K_T$ ) と、Fig.4 (c) に示す曲げが作用した場合のK値 ( $K_B$ ) の重ね合わせによって求められると考えられる。Fig.4 (b), (c) のK値は、Newmanら<sup>2)</sup>の式を用いて求めた。

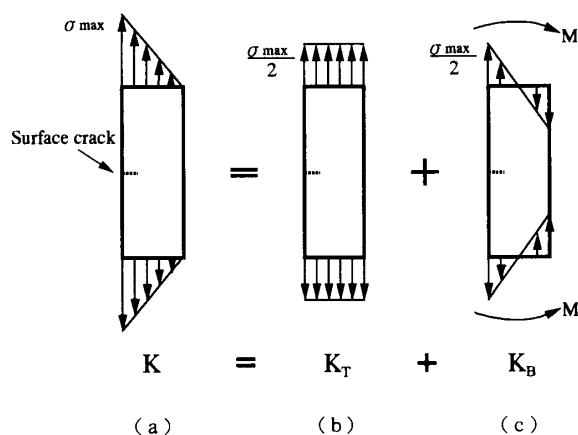


Fig.4 Proposed method of K calculation.

### 3.4 破面残留応力と応力拡大係数Kの関係

以上の考え方により最大応力拡大係数 $K_{max}$ を計算する場合、アスペクト比 ( $b/a$ ) が必要であるが、無特徴破面のため、破面形態による  $b/a$  の推定は不可能である。ところで、Fig.2に示した a 方向の残留応力分布では、き裂長さ a が約 15mm の位置までは、負荷トルクの大きい順に残留応力が高くなっている。従って、a が 15mm 以下の領域では、K による残留応力の整理が可能で、15mm 以上ではそれが不可能と考えられる。a が 15mm 以上の領域では、試験片内部でのモードIIき裂の進展などが原因で残留応力の大きさに負荷トルク依存性が無くなるものと考えられる。以上から、 $a = 15\text{mm}$  まで半楕円表面き裂が進展したと仮定する。また、a が 15mm に達したとき、b が破面平坦部の最深部、すなわち  $b = 10\text{mm}$  にき裂前縁が達したとすると、このときの  $b/a$  は約 0.67 となる。き裂進展が、 $b/a = 0.67$  で一定であったと仮定し、その場合の  $K_{max}$  で、a 方向の残留応力分布を整理したものを Fig.5 に、また、b 方向の残留応力分布を整理したものを Fig.6 に示す。a 方向、

b 方向ともに、荷重条件によらず、データは良くまとまっており、X線フラクトグラフィの適用が可能であることが分かる。

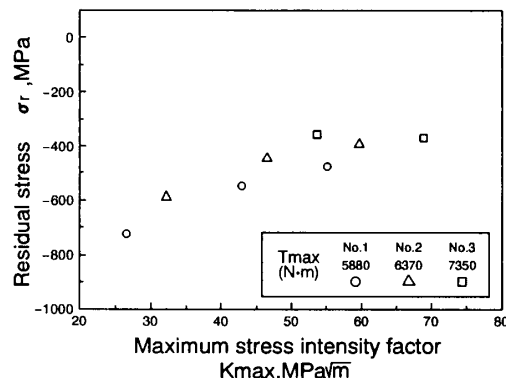


Fig.5 Residual stress distribution in direction "a" plotted against  $K_{max}$  ( $b/a=0.67$ ).

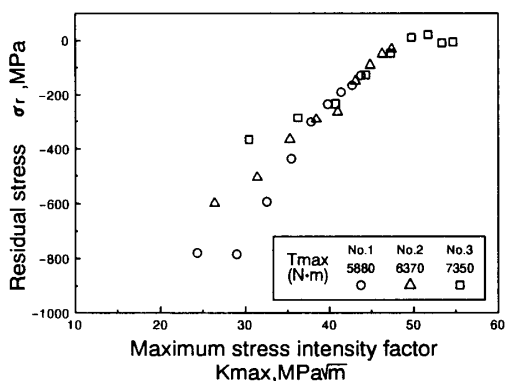


Fig.6 Residual stress distribution in direction "b" plotted against  $K_{max}$  ( $b/a=0.67$ ).

## 4. まとめ

これまでに適用例のない、ねじり疲労破面にX線フラクトグラフィを適用した。その結果、き裂起点近傍のモードIき裂が進展したと考えられる領域では、半楕円表面き裂がアスペクト比一定で進展したと仮定し、近似的に求めた  $K_{max}$  で破面残留応力を整理すると、負荷トルクによらずデータは良く一致した。K値の求め方、アスペクト比の推定法などに課題はあるが、ねじり破面においてもX線フラクトグラフィによる定量的破壊解析が可能であると考えられる。

終わりに、試験片をご提供頂いた東洋運搬機(株)の関係各位に謝意を表す。

### 参考文献

- 1) X線応力測定法標準, 日本材料学会, X線材料強度部門委員会(1982)
- 2) STRESS INTENSITY FACTORS HANDBOOK, vol.2 p.p.712-724, Edited by Y. Murakami, et.al. Pergamon Press (1987)