159 介在物を有する回転円板におけるき裂先端の実験解析

Experiment Analysis at Crack Tip in Rotation Disk Having Intervention Thing

正 江角 務 (芝浦工大) 準 西村 健太郎 (株) トランストロン

○学 杉村 樹之 (芝浦工大)

Ezumi TUTOMU, Shibaura Institute of Technology

Kentarou NISIMURA, Transtron Co., Ltd

Shigeyuki SUGIMURA, Shibaura Institute of Technology

Key Words : Rotating Disk, Insert, Stress Intensity Factor, Photoelasticity, Caustics Method

1. 緒言

機械が安全に稼動するためには、使用条件や環境、または材料自身の強度などに基づく設計が必要不可欠である。また使用環境は過酷さを増し、今まで以上に高い信頼性が要求される。大型の構造物は、その製造过程中に部材内のき裂の潜在の可能性を大にし、過酷な使用条件での使用となるためき裂の発生頻度を高める結果となる。さらに材料の軽量化または形状の効率化を余儀なくされ、安全性と経済性との調和のとれた設計をしなければならない。

なかでも回転機械の種類は広範囲にわたっており、これら回転体の応力解析や安全性の確保は、ますます重要になってくる。今日では、このようなき裂先端の実験応力解析の報告はいくつかみられる。

機械や構造物の破壊は、介在物による応力集中や破壊が起因になることが多い。介在物とき裂の干渉問題は、材料の破壊現象の研究に対して重要である。この問題についてこれまで多くの解析が行われている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾がシミュレーション解析が主流である。

以上のような状況にかんがみ、本研究では、介在物がき裂先端の応力拡大係数に及ぼす影響を光弾性応力凍結法およびコースティックス法により実験解析を行い検討した。

2. 試験片形状および接着剤

Fig.1 に試験片形状と寸法を示す。供試材はアラルダイト B (CT200) と硬化剤 (HT901) を重量比 100 : 30 で配合した厚さ 6 mm のエポキシ樹脂板である。直径 132 mm のピッチ円周上 (試験片中心から外径までの 60% の位置) に、介在物を挿入する為、直径 20 mm の円孔を 4 箇所空けた。き裂加工には厚さ 0.15 mm の極細目のこ刃を使用し、半径方向に介在物 (円孔) からき裂先端までの距離が 2, 4, 6 mm となるように、中心側と円周側それぞれに挿入した。なお、き裂長さはすべて $2a = 10 \text{ mm}$ 一定とした。介在物にはアラルダイト B (CT200) と硬化剤 (HT901) を重量比 100:20, 100:25, 100:40 のエポキシ樹脂とし、円孔との接着には常温硬化型のエポキシ樹脂 (KR-351 透明, テレコファイン) によるはめ込みを用いた。凍結温度による回転円板の光弾性感度は 3.34 mm/N である。

Fig.1 Shape and dimension of specimen

3. 実験方法

本実験では、Fig.2 に示すようなエポキシ樹脂の応力凍結サイクルに基づき、応力凍結を行った。使用した試験機は、許容回転数 5500rpm までの無段変速回転試験機で、炉外から回転を伝えるようになっている。本実験の回転中の応力凍結は、回転数一定の定常状態における応力凍結である。回転数 1600rpm で炉内温度を最初の 2 時間で常温から 125°C に上げ 4 時間保持し、その後 3°C/h の温度降下により室温まで下げ全体で 36 時間かけて凍結を完了する。

Fig.2 Stress freezing cycle

Fig.3 Schematic illustration equipment for experiment

4. 応力拡大係数の算定

4.1 光弾性法

回転円板の光弾性法による応力拡大係数 K_I は、式(1)で表すことができる。ここで、 N はしま次数、 α は光弾性感度、 t は試験片の厚さである。

$$K_I = \frac{N(2\pi r_m)^{1/2}}{\alpha \sin \theta_m} \quad \dots\dots\dots (1)$$

4.2 コースティックス法

コースティックス法に用いる光学系を Fig.4 に示す。本実験は透過形により発散光を用いたもので、光源に発振出力 5mW の He-Ne ガスレーザーを用いた。コースティックス法による応力拡大係数 K_I は式(2)で与えられる⁽⁴⁾。

$$K_I = (1.671/z_f |c_o|) \times (1/\lambda^{3/2}) \times (D/3.16)^{5/2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Fig.4 Schematic diagram of the experimental setup

5. 実験結果および考察

Fig.5 に応力凍結を行った試験片の等色線しまループおよびコースティック像の一例を示す。Table. 1 に超音波法により求めた試験片および各介在物のヤング率を示す。(a)(b)(c)は介在物からき裂先端までの距離がそれぞれ 2mm, 4mm, 6mm のものである。コースティック像は (a) のようにき裂先端が介在物に近いと、像が介在物本体から発生した像と干渉する為、像がやや鮮明ではないが、すべてのパターンでほぼ真円であった。また等色線しまループもき裂に対して対称にしまが出ていることから、モードII による変形はほとんどないと考えられる。よって本実験では K_I 値のみを求めた。写真は介在物がアラライト B と硬化剤の重量比 100:25 のものであるが、等色線しまループが介在物にまで進展している。これより試験片本体と介在物との接着状態が良好であることが分った。

(a) 2 mm (b) 4 mm (c) 6 mm

Fig.5 Photographs of isochromatic fringe and Caustic image pattern (100:25)

Table1 Young's modulus of Specimen and

Weight ratio	100:20	100:25	100:40	Specimen
Young's modulus (GPa)	3.86	3.93	4.26	3.67

光弾性法により得られたき裂先端から応力拡大係数 K_I と介在物境界からき裂先端までの距離の関係を円周側(OUT)は Fig.6 に、中心側 (IN) は Fig.7 に示した。同様にコースティック法により得られた K_I と距離の関係を Fig.8, 9 に示した。光弾性法とコースティック法を比べると数値に違いがあるもののほぼ同じ傾向を示した。円周側、中心側とも介在物境界からき裂先端までの距離が大きくなるにつれ、全体的に K_I は小さい値を示した。き裂先端から介在物境界までの距離が近い場合、アラライト B と硬化剤の重量比が 100:20, 100:25, 100:40 の順に K_I は大きい値を示したが、離れるとほとんど差

が見られなかった。これはヤング率が高い順に介在物本体に応力集中が大きく、き裂先端の応力が緩和されたのではないかと考えられる。また距離が離れると介在物がき裂先端に与える影響はほとんど無くなると考えられる。円周側、中心側のき裂を比べると中心側のき裂の方が若干 K_I は大きい傾向を示した。これは回転円板の遠心力が介在物境界に影響を及ぼした為と考えられる。

Fig.6 K_I on photoelastic method

Fig.7 K_I on photoelastic method (IN)

Fig.8 K_I on caustic method (OUT)

Fig.9 K_I on caustic method (IN)

6. 結言

本研究では回転円板中の介材物がき裂先端の応力拡大係数 K_I 値に及ぼす影響を、光弾性法とコースティック法により検討した。その結果以下の知見が得られた。

1. 介在物境界からき裂先端までの距離が大きくなるにつれ、き裂先端の応力拡大係数 K_I は小さい値を示した。
2. き裂先端が介在物境界までの距離が近い場合、アラライト B と硬化剤を重量比 100 : 20, 100 : 25, 100 : 40 の順に K_I は大きい値を示した。

7. 参考文献

- (1) 陳玳, だ円介在物とき裂の干渉効果, 機論 (A), 62-593, (1996-1), 49-55.
- (2) 石田誠・野口博司, 円形介在物と任意き裂群を持つ無限体の面内荷重問題, 機論 (A), 49-438, (1983), 1885-1890.
- (3) 藤本浩司・橋本康秀, 円形介在物とき裂の干渉問題の弾性解析, 機論 (A), 61-581, (1995), 20-27.
- (4) 高橋貴・清水紘治, コースティック法の理論と適用例(1), 機械の研究, 37-4, (1985), 485-490.