1805 せん断負荷下における円孔平板の疲労評価 Fatigue Evaluation of the Circular Notched Plate With Shear Loading

○学 熊谷 拓甫 (筑波大院)

正 渡部 修 (筑波大)

Takuho KUMAGAI, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8573, Japan

Osamu WARANABE, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8573, Japan

This report shows fatigue evaluation of the circular notched plate under the interlaminar shear loading at elevated temperature. Test specimen made of SUS304 were prepared to added double notch to circular notched plate. FEM analysis of a specimen made to distribution of stress under the interlaminar shear loading. Fatigue tests were conducted, and compared with results of analysis. The results, stress distribution of the circular notched plate under the interlaminar shear loading shows unique compared to the plate under the interlaminar shear loading, or the circular notched plate under the tensile loading. And also consistent with experimental results.

Key Words: shear loading, the circular notched plate, fatigue evaluation, elevated temperature

1. 諸言

原子力発電などのプラント機器にはステンレス鋼が多用されている。高温で用いられる機器には温度の変化による熱応力の繰り返し負荷に起因する破損が考えられるため、高温における疲労強度の計測が必要である。

疲労強度は引張負荷により論じられるのが一般的である。しかし、キー構造などは面内のせん断応力成分が主であると考えられる。しかしながら面内せん断負荷の研究は少なく、特に円孔欠陥を有する試験片を用いた研究は稀である。

本研究では、円孔を有するキー構造の応力分布を構造解析を用いて明らかにし、同様の応力分布を形成する試験片を SUS304 を用いて作成した。試験片の疲労試験を行い、構造解析による結果との比較を行った。

2. 構造解析

2.1 解析条件

本研究では、Fig.1 に示す有孔平板モデルを、キー構造を模した解析条件のもとで構造解析を行った。解析モデルは四角形八節点アイソパラメトリック要素を用いてメッシュ分割をし、ミーゼス相当応力を求めた。拘束条件は Fig.1 に示すように左半面上下端部を Y 方向固定、右半面上端に Y 方向両振り荷重を与えた。

Fig.1 FEM model with a hole

2.2 解析結果

解析により求めた応力分布(Fig.2)を確認すると、固定部境界付近から円孔端部 0°付近に回り込むように応力の流れが生じていることが確認できる。この時、特に固定部境界および円孔端の応力の流れに対して接円する角度に強い応力集中が生じており、これらからき裂が発生し繋がっていくものと考えられる。

Fig.2 Results of FEM

3. 実験方法

3.1 試験片

本研究では、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 を材料とする試験片(Fig.3)を使用した。試験片は中心に $\phi 2\text{mm}$ の円孔欠陥を有し、キー構造を模した応力分布が得られるように加工を施した。

Fig.3 Test specimen with shear stress

3.2 構造解析

試験片の円孔付近にキー構造と同様の応力分布が得られるか構造解析を用いて確認した。解析モデルは四角形八節点アイソパラメトリック要素を用いて作成し、拘束条件として下端にY方向固定、上端にY方向両振り荷重を与えた。構造解析の結果より、キー構造と同様の応力分布(Fig.4)が得られていることが確認できる。

3.3 実験方法

試験片は、表面観察のため#2000 のサンドペーパーで研磨した。疲労試験には油圧サーボ式材料試験機を用い、実験条件をひずみ速度 0.1%/s、周波数 0.05Hz とし、電気炉により試験温度 550℃と設定した。その際、昇温時間を 2 時間、均熱時間を 16 時間とした。変位計に取り付けられた石英ガラス棒間を標点間(標点間距離 20.0mm)とし、Fig.5 に示す三角波を軸変位制御により出力した。試験中、CCD カメラにより円孔付近の画像を撮影し、き裂進展の観察に用いた。各サイクルにおける引張および圧縮荷重のピーク値のいずれかが試験を通してのそれぞれの最大値の 75%に達した時点を破損と判断し、計測を終了した⁽¹⁾。

Fig.5 Loading condition

3.4 実験結果

Fig.6～8 に疲労試験の結果を示す。変位制御で実験を行っているため、Fig.6 に示すヒステリシスループより荷重の低下が確認できる。また、ループは原点对称ではなく、圧縮方向に対し強い負荷が生じており、き裂進展は圧縮荷重が支配的となり進行していくと考えられる。

Fig.7 に試験後の試験片の写真を示す。Fig.6 から円孔端部にき裂が発生していることが確認でき、これは構造解析の結果と一致している。

Fig.8 に公称ひずみ範囲に対する破損繰り返し数を示す。平滑版の最適疲労曲線(BEF)に対して実験結果が factor of 2 の範囲内に収まっていることがわかる。円孔板の場合、応力集中の影響でこの範囲内に収まらない場合があるが、今回は応力集中部が分散していることにより集中部の影響が通常に比べ減衰したため、範囲内にあると考えられる。

4. 結言

本研究の結果、以下の結論が得られた。

- (1)層間せん断負荷を受ける円孔板の応力分布は、平滑材や円孔板の引張負荷時に比べて、特異な応力分布を示す。
- (2)疲労試験の結果より、応力集中の強い部位に損傷が見られ、構造解析の結果にある程度の信頼性が確認できた。

参考文献

- (1)JIS Z2279；金属材料の高温低サイクル疲労試験方法，日本工業規格（2008）。

Fig.4 Stress distribution by FEM

Fig.6 Hysteresis loop

Fig.7 Picture of broken test specimen

Fig.8 Nf v.s. $\Delta\epsilon$