609 不規則分布多孔平板の2軸変形下における損傷状態の評価

Damage Evaluation for Randomly Perforated Sheets under Biaxial Deformation

○住吉克俊 (東京農工大院) 正 長岐滋 (東京農工大) 阿部克幸 (東京農工大)

Katsutoshi SUMIYOSHI, Shigeru NAGAKI, Katsuyuki ABE

Tokyo University of Agriculture and Technology, 2-24-16 Naka-cho Koganei-city Tokyo, Japan, 184-8588

In order to evaluate damage state of randomly perforated sheets under biaxial deformation, a new method using the effective equivalent stress derived from the damage tensor, which is obtained by the stereological method, is proposed in this paper. Stress concentration around holes in a perforated sheet is also calculated by the FE analysis and the comparison is made between the effective equivalent stress and the results of the FE analysis

Key Words : Plasticity, Void, Damage, Perforated Sheet, Voronoi Tessellation, Biaxial Deformation

1. 結 言

多孔質材料中の空孔による損傷の分布形態を定量的に表現し、空孔近傍の局所的な変形と巨視的な塑性変形挙動との関係を明らかにすることを目的として、著者らは同一直径の円孔が不規則に分布する平板モデルに対して、ボロノイ領域分割法¹⁾、ステレオロジー²⁾および損傷テンソル³⁾を用いて、モデルの損傷状態を定量的に評価し、その妥当性を単軸引張状態について実験的に検討した⁴⁾。本報告では、円孔が不規則に分布する多孔平板の2軸応力下における損傷状態の評価について検討する。

2. 損傷状態の評価

多孔平板中に円孔が存在することによる損傷量を評価するため、円孔の中心点とそれに隣接する円孔中心点がなす線分の垂直二等分線により得られる凸多角形(ボロノイ多角形¹⁾)を利用する。このボロノイ多角形の形状および方向から、損傷量を決定する。ボロノイ多角形の形状、方向は、多角形を構成する線分のある方向 θ への分布密度によって表す。

空孔による損傷状態を表す量としては、損傷テンソル⁴⁾を用いた。損傷テンソルは、直交する二つの主軸に垂直な面における空孔の面積分率で表される量であり、次式で示される。

$$\Omega = \sum \Omega_i \mathbf{n}_i \otimes \mathbf{n}_i \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{n}_i$ は損傷テンソルの主軸をなす単位ベクトルであり、 Ω_i は主軸に垂直な面における空孔の面積

分率である。

空孔の存在による有効面積の減少から、応力の集中が生じることを考慮した実質応力テンソル S

$$S = \frac{1}{2}(\sigma\Phi + \Phi\sigma) \quad (2)$$

を用いて損傷の評価を行うことを考える。ここで、 σ は応力テンソルであり、 Φ は有効面積を考慮し、次式で定義される損傷効果テンソルと呼ばれる量である。

$$\Phi = (1 - \Omega)^{-1} \quad (3)$$

この実質応力より実質相当応力 S_{eq} を定義する。

$$\left. \begin{aligned} S_{eq}^2 &= \frac{3}{2} S'_{ij} S'_{ij} \\ S'_{ij} &= S_{ij} - \frac{1}{3} S_{kk} \delta_{ij} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

実質相当応力 S_{eq} は、単位セル中の平均的な相当応力を表しており、応力集中の程度を表す尺度と考えることができる。

本研究では、円孔をランダムに分布させた多孔平板モデルを考え、実質相当応力をボロノイ多角形ごとに求め、単軸引張状態と2軸引張状態について有限要素法を用いて解析した応力集中状態と比較する。

3. 解析モデル及び解析方法

解析モデルとして100mm×80mm、板厚1mmの工業用純アルミニウム(ヤング率47GPa, ポアソン比0.33, 初期降伏応力13.5MPa, 加工硬化指数0.3)に円孔を不規則に分布させたものを設定した。円孔の

Fig.1 Equivalent net stress distribution for model A.

Fig.2 Equivalent stress distribution for model A.

Fig.3 Equivalent stress distribution for model A.

Fig.4 Relation between Equivalent stress and Equivalent net stress

直径を全て 2.0mm とし、分布形態の異なるモデル2種類 (モデル A,B) について解析した。解析は平面

応力条件のもとで行い、要素分割には4節点4角形要素を用いた。母材は通常の Mises の降伏条件に従う Prandtl-Reuss 型の弾塑性体とし、有限要素法ソフトウェア MARC を用いて計算を行った。このモデルの短辺と長辺の各端面に強制変位を与えることによって単軸引張状態と2軸引張状態を作り出した。2軸引張状態では x_1 軸方向と x_2 軸方向の巨視的応力に違いを出し、応力集中分布を調べるために巨視的ひずみの比 ($\varepsilon_1 : \varepsilon_2$) が $0.1 : 0.02$, $0.02 : 0.1$, $0.1 : -0.02$, $-0.02 : 0.1$, $0.05 : 0.05$ の5つのケースについて解析した。

4. 解析結果及び考察

モデル A の巨視的な相当応力が 30MPa である等2軸引張状態における実質相当応力の分布と有限要素法で計算した内部の相当応力分布をそれぞれ Fig.1 と Fig.2 に示す。また有限要素法で計算した結果を用いて求めた各ポロノイ多角形内の相当応力の平均を Fig.3 に示す。平均相当応力が大きい部分と実質相当応力が

大きい部分は中央下部や右下部などでほぼ一致している。実質相当応力の分布と有限要素法で計算した平均相当応力の分布はモデル B を含めた他の巨視的ひずみ比のケースにおいてもほぼ一致した。Fig.4 には各ポロノイ多角形における内部の相当応力と実質相当応力の関係を示す。両者の間には強い相関があることがわかる。

以上の結果から、実質相当応力を用いることによって材料の損傷状態を定量的に評価することができると考えられる。

文 献

- (1) F.P.Preparata, M.I.Shamos, (浅野哲夫, 浅野孝夫) 訳, 計算幾何学入門, (1992), 総研出版。
- (2) 金谷健一, 材料科学, 20, (1984), 223.
- (3) 村上澄男, 大野信忠, 機論, A47, 418, (1981), 573.
- (4) 中山恭秀, 長岐 滋, 阿部武治, 機論, A60, 604, (1996), 2777.