

応力逆解析手法によるアルミニウム板の弾塑性応力増分の計測に関する研究

筑波大学大学院 学生員 中瀬早苗* 筑波大学大学院 学生員 齋藤 啓* 筑波大学機能工学系 正会員 亀田敏弘**

1. はじめに

材料の力学的挙動を数値的に予測するためには、構成式が必要である。構成式によって応力からひずみ（あるいはその逆）を計算できる。ここで、構成式とは応力とひずみの関係を数式で表現したものである。しかし未知の材料に対して、構成式を構築するには多くの実験が必要になってくる。構成則を推定する際の既存の実験手法は、供試体に様々な荷重条件を設定して数多くの実験を行うことで、応力とひずみの対応を取得するというものである。しかしこうした実験手法では、載荷力から供試体に作用する応力を求めるため1回の実験で得られる情報は少ない。

本研究において提案する応力逆解析を用いると、境界条件と内部ひずみを計測することにより、非弾性変形下においても計測領域内での局所的なひずみと応力が同時に得られるため、1回の実験によりたくさんの情報を獲得することができる。

また応力増分とひずみ増分の関係を記述した構成則は数式である必要はなく、データベースを用いることが可能である。つまり応力逆解析で得られる応力増分とひずみ増分の関係をデータベース化すれば構成則と同等の目的が達成できる。

よって本研究では、堀らによって提案されているエアリーの応力関数を用いた応力逆解析をレーザを用いた実証実験に適用することを試みる。

2. 応力逆解析

2.1 応力逆解析

式 (1) を満足するような応力関数を $a(x, y)$ をエアリーの応力関数という。

$$\sigma_{11} = a_{,22} \quad \sigma_{22} = a_{,11} \quad \sigma_{12} = -a_{,12} \quad (1)$$

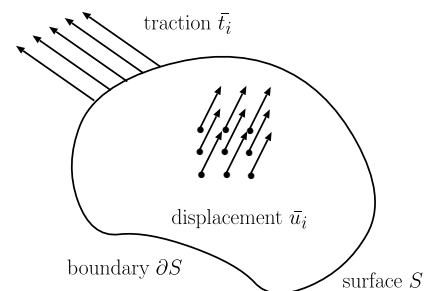
堀ら [1] によって提案されている応力逆解析は、金属材料において平面応力状態を仮定し、塑性ひずみの非圧縮条件を用いることにより、式 (2)、式 (3) のようなポアソン方程式の自然境界値問題として表されている。

$$\begin{aligned} da_{,11} + da_{,22} &= \frac{E}{1-2\nu} (d\varepsilon_{11} + d\varepsilon_{22} + d\varepsilon_{33}) \quad \text{on } S \quad (2) \\ n_1 da_{,1} + n_2 da_{,2} &= -n_1 d\bar{r}_2 + n_2 d\bar{r}_1 \quad \text{along } \partial S \quad (3) \end{aligned}$$

ここで n_i は単位法線ベクトルであり、 $\bar{r}_i = \int t_i dl$ と定義している。

この境界値問題を解くことにより、 $da(x, y)$ を求め、式 (1) から、

$d\sigma_{11}$ 、 $d\sigma_{22}$ 、 $d\sigma_{12}$ を求めることができる。



2.2 実験手法

試験片には工業用純アルミ A1100 を用い、試験片の形状を図 1 に示す。

引張試験装置であるオートグラフ (AGS-H、島津製作所製) により試験片に $10\mu m$ ずつ変位を与える。つまり1ステップ間の変位増分が $10\mu m$ である。オートグラフのロードセルによって得られた1ステップ間の荷重増分を試験片の断面積で割ったものを境界条件に必要な $\bar{t}_i$ として用いる。

図に示す解析範囲の1ステップ間の面全体についての変位増分をレーザーストレインアナライザー (ETTEMEYER 社製) によって測定する。この装置はスペckル干渉法を利用した測定装置であり測定物の面内変位2軸と面外変位1軸を同時に測定することが可能である。取得された面全体の変位増分からひずみ増分を求める。

以上の測定により式 (2)、式 (3) の右辺項を求め、ポアソン方程式を有限要素法によって解くことにより、エアリーの応力関数の増分の分布を取得し、式 (1) より、応力増分分布を得る。

計測範囲を節点数:2664、要素数:2534 に分割し、節点の値を用いて有限要素法を適用する。また単軸引張試験により得られたヤング率 $E = 14.04 GPa$ とポアソン比 $\nu = 0.3$ を用いた。

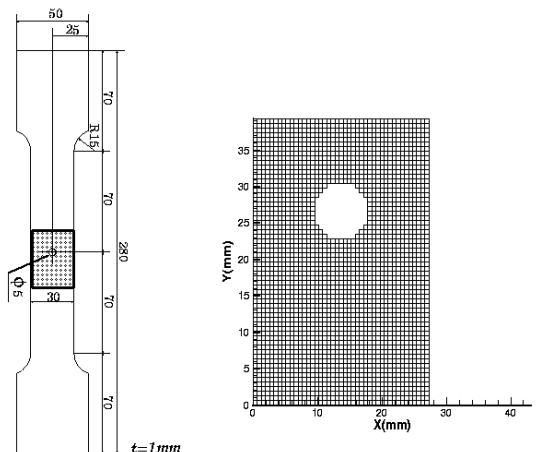


図 1: 試験片形状と計測範囲

キーワード：応力逆解析、構成則、データベース、レーザースペckル法、応力場

* 〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学大学院理工学研究科 TEL : 0298-53-7366

** 〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学機能工学系 TEL : 0298-53-5114

3. 実験結果

図2に示すa、bにおいて、変位増分を $10\mu\text{m}$ 与えた時のレーザーストレインアナライザーによる変位増分の計測結果をそれぞれ図3、図4に示す。aにおいては斜めにすべりが生じていることが見て取れる。またbではくびれが集中している部分のy方向変位増分がもっとも大きくなる破壊直前の現象をとらえている。

a、bにおける変位増分測定結果から応力逆解析を行った結果を図5、図6に示す。

aでの応力逆解析結果の相当応力増分 $d\sigma$ を見ると、すべりが起こっている部分に大きく現れている。このことから、局所的に剪断応力が大きくなりすべりが生じていることがわかる。

bでの応力逆解析結果のx方向応力増分 $d\sigma_x$ を見ると、円孔の左右のくびれを抑える方向に働いていることがわかる。

4. まとめ

応力逆解析により得られた応力増分分布は材料の変形過程に沿ったものが得られた。よって、変位増分がすべて計測可能となれば、応力増分を足し合わせることで最終的な応力を求めることができる。また増分形式で応力とひずみの対応関係が求められるため、構成則データベースの構築が可能となる。

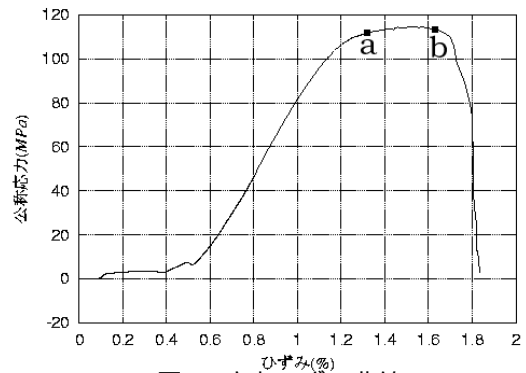


図2: 応力ひずみ曲線

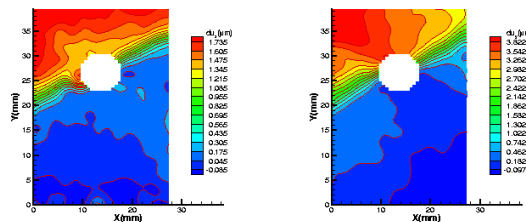


図3: aでの変位増分 (左: x方向 右: y方向)

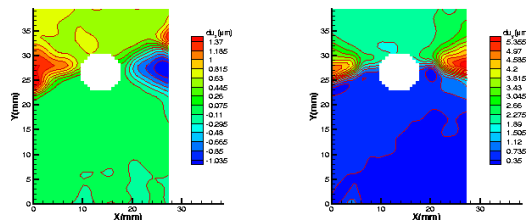


図4: bでの変位増分 (左: x方向 右: y方向)

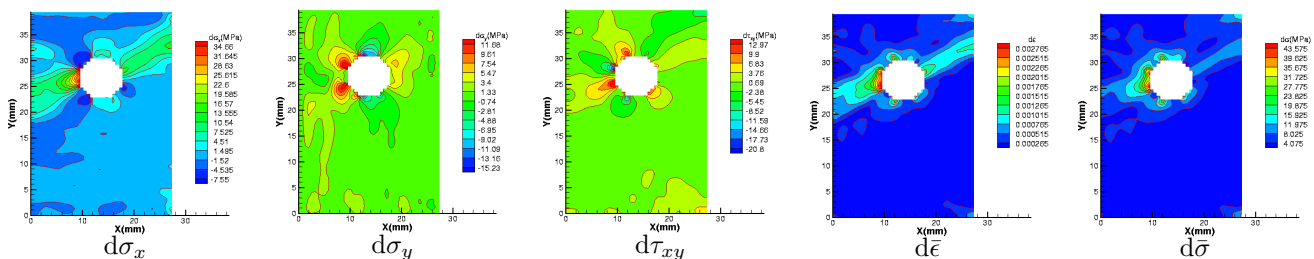


図5: aにおける応力逆解析結果

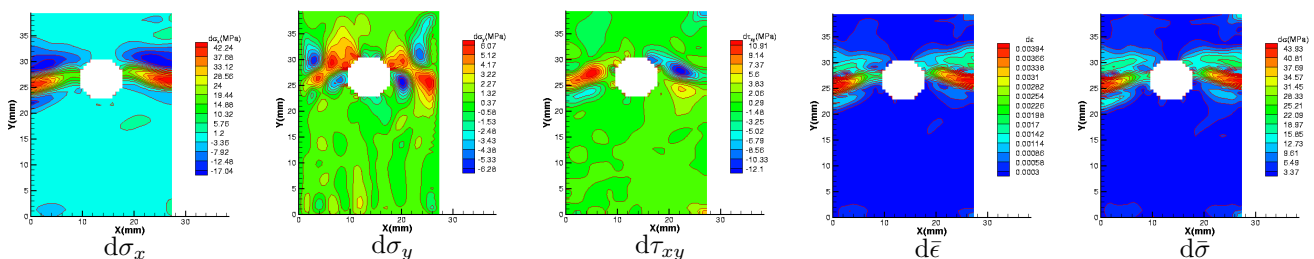


図6: bにおける応力逆解析結果

参考文献

- [1] Muneo Hori, Toshihiro Kameda : Inversion of stress from strain without full knowledge of constitutive relations, 2001, Journal of the Mechanics and Physics of Solid 49 (2001) pp. 1621-1638
- [2] 亀田敏弘、尾崎孝宏 : 構成則データベースに基づく有限要素法に関する研究、応用力学論文集 Vol.3 (2000), pp. 637-644