

延性金属板材の成形限界線図における限界ひずみの実験的考察

福山, 俊介 / FUKUYAMA, Shunsuke

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

57

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

5

(発行年 / Year)

2016-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00012995>

延性金属板材の成形限界線図における 限界ひずみの実験的考察

EXPERIMENTAL CONSIDERATION OF LIMIT STRAIN IN THE
FORMING LIMIT DIAGRAM OF A DUCTILE METAL SHEET

福山俊介

SHUNSUKE FUKUYAMA

指導教員 大澤泰明

法政大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程

In the research and development in recent years of the vehicle structure weight saving technology is a multi-material reduction is proceeding to use the some of the lightweight material to the right man in the right place. Japan's economy is the weight of the reduction and the structure of the production cost in the production of automobiles and aircraft to be a particularly important area in the future in order to achieve a stable and steady growth has become a common and universal proposition. Forming limit diagram in sheet material processing of press processing performance is inferior aluminum alloy cold compared to the ductile metal sheet, such as mild sheet for automobiles have been sought in various ways experimentally. Various experimental methods and limits distortion definition have been measured and plotted for a long time. However, qualitative enough research results and also consideration has not been obtained in quantitative about the difference of forming limit diagram due to the difference of the experimental method and the limit strain definition and method for measuring. This paper pointed out the difference in the limit strain due to difference in the methods of several conducted an experiment to optimize definition to determine the forming limit strain of the aluminum sheet by using the developed in-plane biaxial test machine.

Key Words : ductile metal sheet, in-plane biaxial test machine, forming limit strain, italic

1. 緒論

エネルギー消費量や, CO_x, NO_x 排出量の削減は人類にとってグローバルな重要課題であり, モノ造りを基礎とする日本にとっても, 経済の安定で着実な成長のためにも, 常に最優先のテーマであり続ける¹⁾. そのために我が国においても, これからも特に重要な分野となる自動車や航空機の製造に当たって, 製造コストの低減と併せて, その構造体の軽量化が一般的, 普遍的な命題となっている。

近年の乗り物の構造体軽量化技術の研究開発分野では, いくつかの軽量素材を適材適所に使う『マルチマテリアル化』が進められている. 鉄鋼材料においても, 薄肉化を達成するために開発された結晶粒制御技術に基づく高強度化に関する研究が, 遠征とのバランスを維持しつつ, 着実に成果を生み出している. 一方, CFRP, 各種アルミニウム合金, マグネシウム, チタン合金板材等の成形加工にも注目が集まり, 加えて『マルチマテリアル化』において際立って重要な, 接合・締結技術の研究開発にも革新的な技術が導入されてきている。

自動車用のごく一般的な軟鋼等の延性金属板材に比べて冷間でのプレス加工性能が劣るアルミニウム, マグネシウム, チタン合金などの板材加工では, 成形限界線図 FLD(Forming Limit Diagram)が実験的に種々の方法で求められ, プレス加工における成形性議論の場で活用されてきた. 古くから実験的な手法として様々な方法が提案され, 限界ひずみ(Limit Strain)の定義もいくつかの異なる考えに基づき測定され作図されてきた. しかしながら, 実験方法と限界ひずみの定義・測定法の相違による FLDの差異については, 量的にも, 質的にも十分な研究結果と考察が得られていないと考えられる。

本研究では, 開発された面内二軸試験機を用いてアルミニウム板材の成形限界ひずみを求める方法の最適化を志向する実験を行い, いくつかの定義の相違による限界ひずみの違いを指摘, 考察する. 『マルチマテリアル化』を進めるうえで基本となる成形限界線図を新しい観点から俯瞰し, 今後の軽量化研究開発の進行に当たって当面速やかに一般化されなければならない技術開発上のコン

セプト形成を目的とするものである。

2. 面内二軸試験

2.1 供試材

供試材には Al 合金 A1100-O を使用した。供試材寸法は、1.0t の A1100-O 薄板から本研究室で面内二軸試験を行う際に用いられる Fig.1 の十字試験片を作成した。

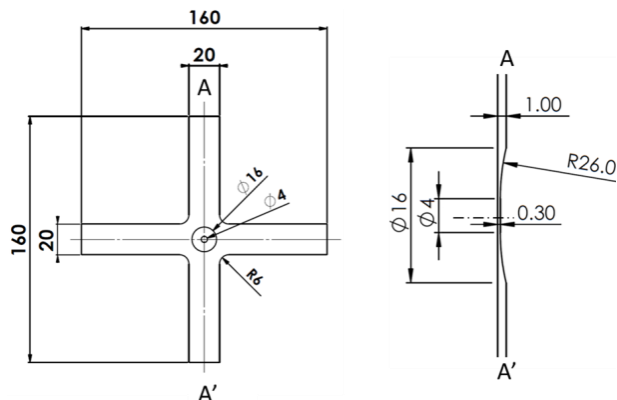


Fig.1 Specimen dimensions

2.1.1 Al 合金 A1100-O の機械的性質

A1100-O は純度 99% 以上のアルミニウムで強度は低めであるがかわりに溶接性や耐食性に優れ、成形性もよい材料である。以下に Al 合金 A1100-O の機械的性質を示す^{5),6)}。

Table.1 Mechanical property of A1100-O

Material	Ultimate Tensile strength [MPa]	Total Elongation [%]	Specific Gravity
A1100-O	90	35	2.7

Table.2 Mechanical properties n value and r value of A1100-O

Material	n value [-]			r value [-]		
	n_0	n_{45}	n_{90}	r_0	r_{45}	r_{90}
A1100-O	0.258	0.276	0.258	0.523	0.551	0.780

3. 実験方法

前述した十字試験片に対し円形パターン(Circle Pattern)、格子パターン(Grid Pattern)のスタンプを押すスクライブドサークルテスト⁴⁾において試験を行った。各試験時の主応力方向を 0° 方向(R.D.)として、単軸引張試験(Uniaxial Tensile test, C.H.S.=5mm/min)、平面ひずみ引張試験(Plane Strain Tensile Test, C.H.S.=5mm/min, 0mm/min)、不等二軸引張(Unequal Biaxial Tensile Test, C.H.S.=5mm/min, 4mm/min)、等二軸引張(Biaxial Tensile Test, C.H.S.=5mm/min, 5mm/min)を行った。それぞれのスクライブドサークルテストのプリントパターンとひずみ測定の際の基準長さ d_0

を Fig.2 に、それぞれの試験方法を Fig.3 に示す。

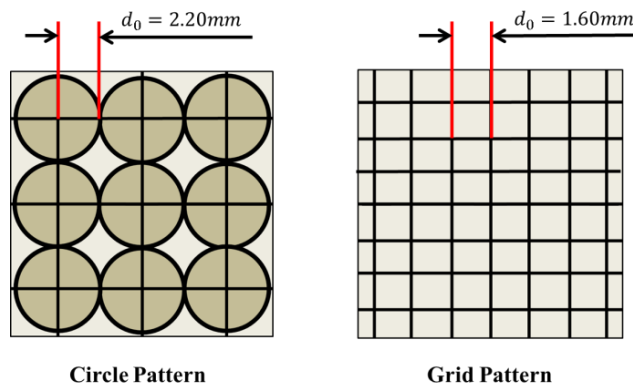


Fig.2 The length of the line to be measured with the scribed circle and grid.

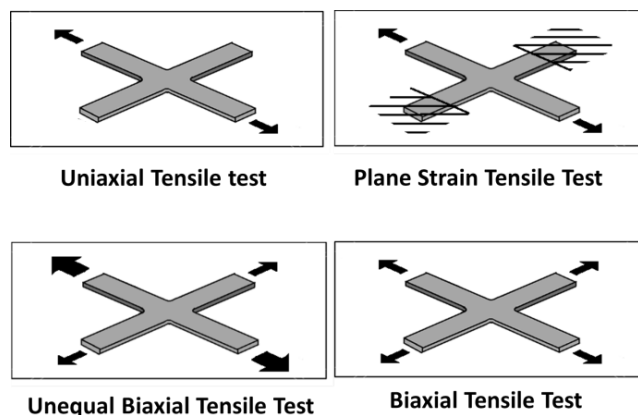


Fig.3 Method of each of the tensile test

4. 成形限界ひずみの評価

成形限界線図は試験後の破断部又は破断部近傍のスクライブドサークルの長さを測定し試験前のスクライブドサークルの長さから限界ひずみを求め、主応力方向のひずみの対数を最大主ひずみ(ϵ_1)、主応力方向に垂直なひずみを最小主ひずみ(ϵ_2)として、最大主ひずみを縦軸に、最小主ひずみを横軸にプロットし作成するものである³⁾。以下に最大主ひずみ及び最小主ひずみの計算方法を示す。

$$\epsilon_1 = \ln \frac{d_1}{d_0} \quad (1)$$

$$\epsilon_2 = \ln \frac{d_2}{d_0} \quad (2)$$

、限界ひずみについては Fig.2 で示したスクライブドパターンをスタンプした試験片に対して Fig.3 の引張試験を行い、破断部測定法、破断部近傍測定法、3 サークル測定法でひずみを測定した。それぞれのひずみの測定方法⁴⁾については Fig.4, Fig.5, Fig.6 に示す。これらの測定方法はスクライブドサークルテストでもよく利用されている。成形限界

線図においてこれらのスクライブドサークルテストのパターンによる限界ひずみの違い及びひずみの測定方法による限界ひずみの違いについてFLDの作成及び限界ひずみのひずみ量の比較を行った。

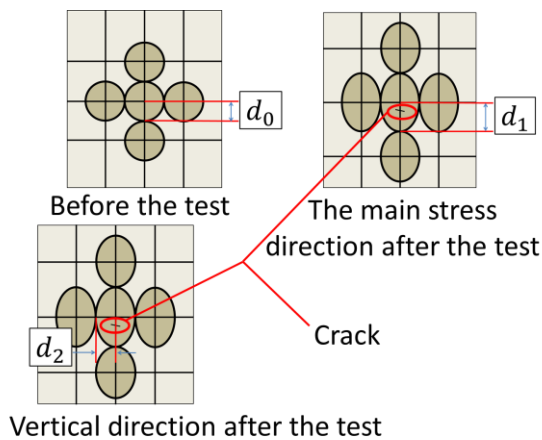


Fig.4 Method of measurement the fracture part

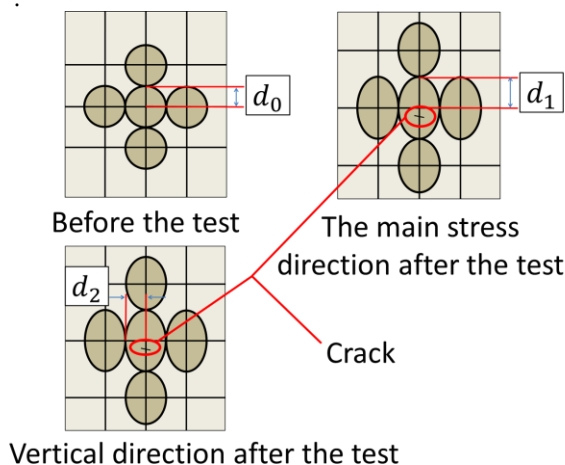


Fig.5 Method of measurement near the fracture part

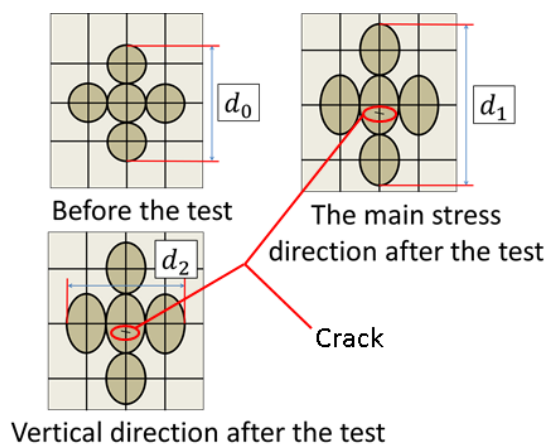


Fig.6 Method of measurement the 3 circle part

5. 実験結果と考察

面内二軸試験機において引張試験を行う際に十字試験

片中央部の薄肉部分で試験片が破断するべきである.しかしながら,Fig.1 で示した十字試験片を用いて二軸試験機により単軸引張試験を行うと十字試験片の中央の薄肉部で破断せず必ず十字試験片の中央部より外側で破断する.破断位置の図を以下に Fig.7 として示す.

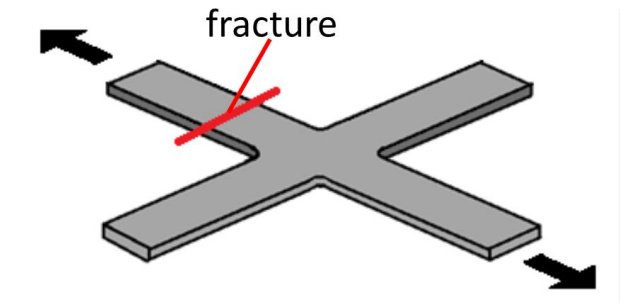


Fig.7 Fracture of uniaxial tensile test piece

これはFig.1の十字試験片の幾何形状が単軸引張試験を行うのに最適でないことを示している.したがって,成形限界線図に対して単軸引張試験の限界ひずみを使用することはできないが,破断時のサークルパターン及びグリッドパターン限界ひずみを以下に示す.

Table.3 Limit strain of circle pattern in uniaxial tensile test

Measurement method	Limit strain in the main stress [-]	Limit strain in the direction perpendicular to the main stress [-]
Fracture part	1.542	0.757
Near the fracture part	1.433	0.845
3 circle part	1.494	0.823

Table.3 Limit strain of grid pattern in uniaxial tensile test

Measurement method	Limit strain in the main stress [-]	Limit strain in the direction perpendicular to the main stress [-]
Fracture part	1.574	0.817
Near the fracture part	1.478	0.865
3 circle part	1.491	0.824

成形限界線図の作成にあたり,スクライブドサークルテストのためにスタンプした円形パターン及び格子パターンにおいて破断部測定法,破断部近傍測定法,3 サークル(グリッド)測定法のひずみ測定法を用い,対数化した最大主ひずみを縦軸に,最小主ひずみを横軸にプロットしFLDを作成した.以下にそれぞれのひずみの測定法ごとにFig.2 に示した円形パターンに対して測定し,その結果をFig.7,Fig.8,Fig.9 に示す.また,同様に試験片表面に Fig.2 に示した格子パターンをスタンプし,それに対してひずみを測定した結果を Fig.10,Fig.11Fig.12 に示す.

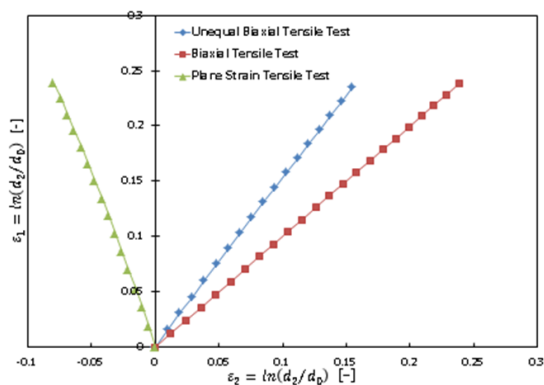


Fig.7 FLD by method of measurement the fracture part in the circle pattern of the scribed circle

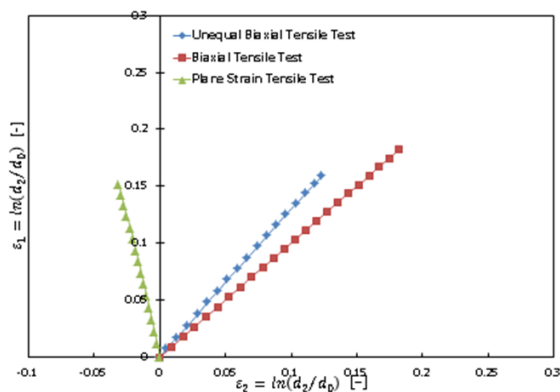


Fig.8 FLD by method of measurement near the fracture part in the circle pattern of the scribed circle

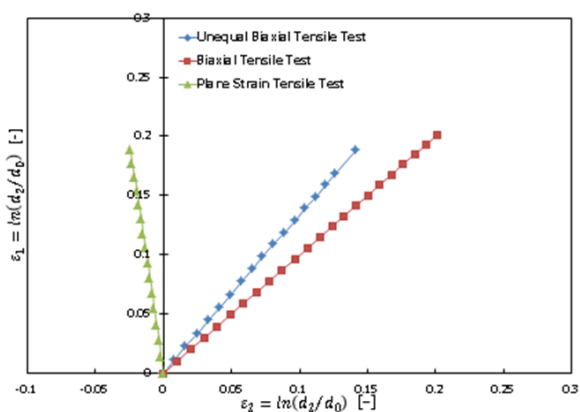


Fig.9 FLD by method of measurement the 3 circle part in the circle pattern of the scribed circle

円形パターンにおける成形限界線図ではひずみの測定方法によって最大主ひずみと最小主ひずみが明らかに違

うことがわかる。破断部近傍測定法, 3 サークル測定法, 破断部測定法の順で最大主ひずみが大きくなっている。

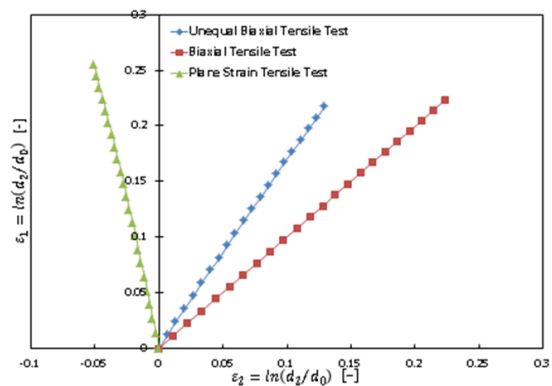


Fig.10 FLD by method of measurement the fracture part in the circle pattern of the scribed grid

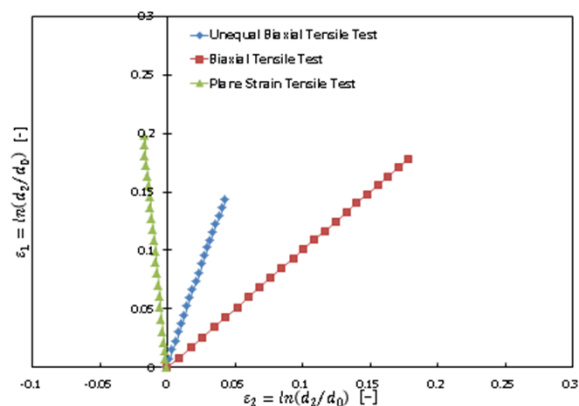


Fig.11 FLD by method of measurement near the fracture part in the circle pattern of the scribed grid

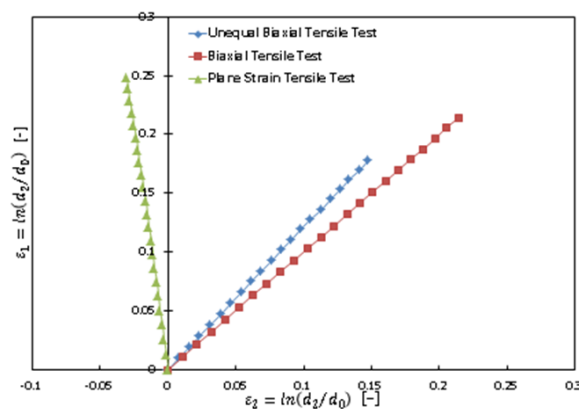


Fig.12 FLD by method of measurement the 3 circle part in the circle pattern of the scribed grid

格子パターンにおける成形限界線図でも同様に破断部近傍測定法, 3 グリッド測定法, 破断部測定法の順で最大主ひずみが大きくなっている。破断部近傍測定法, 3 グリッド測定法, 破断部測定法の順で最大主ひずみが大きくなっている。3 サークル(グリッド)測定法については破断部を跨いでひずみを測定するため試験片のひずみが集中している破断部分と隣接しているグリッドの長さからひずみを求めるので破断部近傍測定法と破断部測定法の間の限界ひずみが測定できると考えられる。また, スクライドサークルテストにおけるサークルパターン及び格子パターンでのひずみの測定法ごとにひずみ量の比較を行ったものを Fig. 13, Fig. 14 に示す。

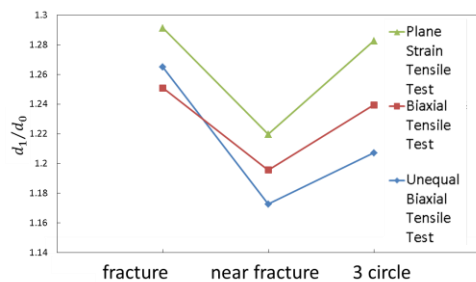


Fig. 13 Strain amount of comparison by the circle pattern

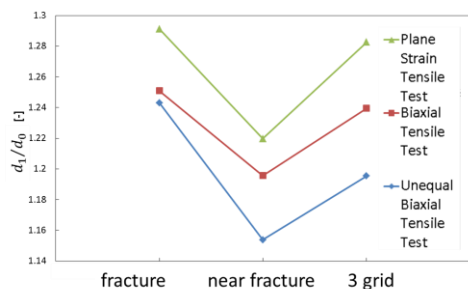


Fig. 14 Strain amount of comparison by the grid pattern

ひずみの測定方法によるひずみ量の比較から破断部で測定したひずみが破断部測定法, 破断部近傍測定法, 3 サークル測定法のうち破断部での測定が最も大きくひずみが測定された。これはスクライドサークルテストにおいて使用したサークルパターン及び格子パターンの両方に見られる傾向で, 試験片のひずみが破断部付近に集中していることを示し, 破断部の近くでひずみを測定することで試験片の限界ひずみをより精度よく計測できると考えられる。

6. 結論

成形限界線図は材料加工において重要な指標である。測定方法ごとの比較の結果から試験片の破断部と破断部近傍を同じプロットとして扱うことは FLD における測定方法ごとの最大主ひずみ最小主ひずみの明らかな違いやひずみ量の大きさの関係から破断部測定法または破断部近傍測定法で最大主ひずみと最小主ひずみを算出することは不適當であるといえる。現在の成形限界線図の多くが破断部または破断部近傍のひずみを使用し成形限界線図とすることは材料加工において正しい意味での成形限界とはいえない。

材料加工における成形限界を示すうえで成形限界線図を作成するにあたりひずみの測定方法は破断部測定法が適當であると今回の研究で明らかになった。材料加工における成形限界線図を用いた比較がマルチマテリアル化に際して活用されていくことは明白である。今後, 成形限界線図を作成する場合は, 破断部測定法を用いてひずみを測定し成形限界線図に用いる試験条件全てに対して同じ測定方法とサークルパターンまたは格子パターンで行うことが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 新構造材料技術研究組合：革新的新構造材料等研究開発「平成 26 年度成果報告会」, 2015
- 2) 熊谷正樹：軽量化に貢献するアルミニウムの接合技術, 第 2 回次世代自動車公開シンポジウム「超軽量化技術の深化をめざして」
- 3) 加工技術データベース：金属プレスデータベース (<http://www.monozukuri.org/db-dmrc/press/text/text06.htm>)
- 4) 群馬県立産業技術センター：新規導入機器利用説明会「薄板金属材料のプレス成形評価セミナー」 (http://www.tec-lab.pref.gunma.jp/info/download/text/press/files/FLD_and_SCT.pdf)
- 5) 日本アルミニウム協会, アルミニウム 第 21 巻 第 89 号, pp.8-11, 2014
- 6) 日本アルミニウム協会, アルミニウム 第 21 巻 第 89 号, pp.18-24, 2014
- 7) 後藤学：金属薄板のプレス加工における破断, 1981
- 8) 後藤学：プレス成形における金属薄板の変形限界ひずみの理論的予測について, 日本機械学会論文集(A 編) 第 56 巻 第 526 号, 1990