

汎用の圧縮試験機を用いたコンパクト二軸引張試験装置の開発と試験結果の評価

日大生産工（院） ○永安 達哉 日大生産工 高橋 進

1. 緒言

板材の成形加工において、製品寸法の要求精度と成形難度はますます厳しくなっている。自動車为例にとると、燃費向上による地球環境負担低減のための車体の軽量化の対策として、アルミニウム合金板・高張力鋼板などの活用が急増している。しかし、これらの材料は成形性が低く、割れ、スプリングバックなどの成形不良が生じやすい。そこで、成形シミュレーションを駆使してこれらを事前に予測することが必要となっている。予測の高精度化には材料モデルの高精度化が必須となり板材の面内二軸応力場での塑性変形特性を精度良く計測することが必要である。しかしながら従来の二軸引張試験装置は設置面積やコストが大であるという問題があった。そこで、本研究では、よりコンパクトで安価な二軸引張試験装置を開発し、その装置を用いて二軸応力場での材料特性を測定・評価し、装置の妥当性を検証したので報告する。

2. コンパクト試験装置の開発

2.1 試験装置の構造案検討

装置は以下の条件を基に設計を行った。

- 1) 特殊な動力制御を必要とせず、汎用の試験機に取り付けて二軸引張試験を行うことを可能とする。
- 2) 二軸の引張り量の変更を可能とし、異なるひずみ比での材料特性評価を可能とする。
- 3) 試験前後で試験片と装置の引張りの中心軸が一致している。
- 4) 2～3人で持ち運べる総重量(60kg以下)とする。
- 5) 加工しやすい構造とすることで安価に製作可能とする。

以上を考慮して3つの設計案を考案し検討を行った。装置の比較表をTable1に示す。検討結果より、試験の安定性及び装置の剛性等を考慮し、試験の再現性も高いc¹⁾の構造案を基本構造とすることを決定した。

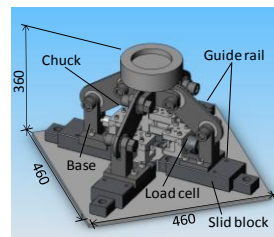
Table 1 Evaluation of proposed experimental apparatus

Proposed experimental apparatus	Testing machine rigidity	Stability of tensile force direction	Elongation controllability	Testing machine weight	Cost	Evaluation
a	△	△	△	○	○	△
b	△	△	○	○	○	△
c	○	○	○	△	△	○

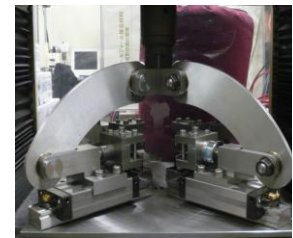
2.2 試験装置の具体的な設計・製作

Table1 cの構造案をベースとし設計・製作を行った。

c案はa・b案とは異なり、上下に圧縮荷重を加えることで中央チャック部が広がり二軸の引張力を発生させる機構となっている。これをより軽量化し簡素化するために上半分のみの構造とした。圧力作用時にチャック部を円滑にスライドさせるために平板上にガイドレール(THK製NRS45-LR)を用い、その上に試験片チャック部のベースを設置した。各軸に作用する荷重を計測するためにチャック部とベースの間に引張圧縮両用小型ロードセル(共和電業製LUX-A-20KN)を取り付けた。Fig.1(a)に設計した装置の概要を示す。しかし、この機構で問題となるのが圧縮荷重を加えた時にスライドブロックに作用する曲げモーメントである。そこで腕部のベースをL字型に設計変更することで発生する曲げモーメント20%以上抑制することができた。またベースをL型にしたことにより腕部の下降によるベース部との接触が早まるため、腕部を湾曲型にすることによってその問題を解消し、さらに装置の最大ストローク量を伸ばすことができた。また、中心軸の固定は汎用試験機の圧縮ジグとテーブルで位置決めする構造とした。以上を踏まえCOSMOS Worksによる静解析を行い、各部の安全率6以上となるように設計・製作した装置の外観をFig.1(b)に示す。



(a) Apparatus design in an early development stage



(b) Compact biaxial tensile testing apparatus

Fig.1 Early development stage and developed apparatus

3. 実験

3.1 試験片形状及び供試材

試験片は桑原ら²⁾の十字型試験片の形状を用いた。供試材には板厚1.2mmの非時効性深絞り用冷間圧延鋼板SPCENを用いた。各試験片の寸法と材料の機械的性質をFig.2及びTable2に示す。

Table2 Mechanical properties of SPCEN

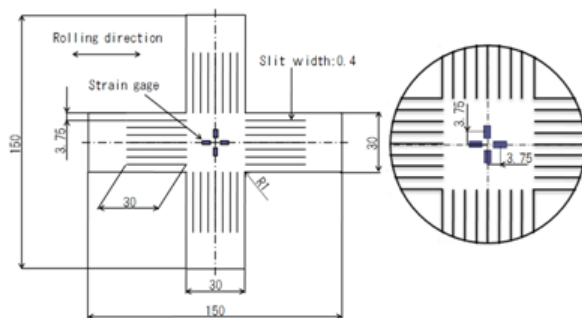
Tensile direction	$\sigma_{0.2}$ /MPa	C* /MPa	n*	ϵ_0^*	r**
0°	136	607	0.347	0.011	2.02
45°	150	629	0.340	0.013	1.56
90°	146	632	0.376	0.018	2.34

*Approximated using $\sigma = C(\epsilon_0 + \epsilon^p)^n$, $\epsilon^p = 0.001 \sim 0.8$

**Measured at uniaxial plastic strain $\epsilon^p = 0.1$

Development of compact biaxial tensile testing apparatus using conventional compression testing machine and evaluation of the test results

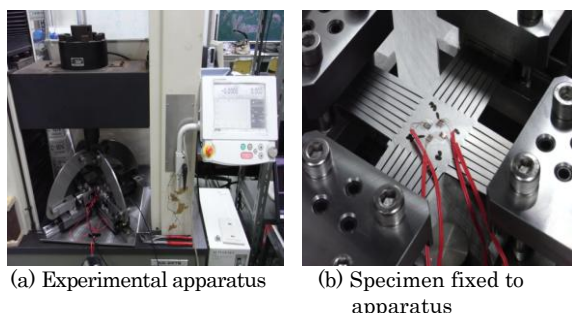
Tatsuya NAGAYASU and Susumu TAKAHASHI



(a) Dimension of specimen (b) Location of strain gage
Fig.2 Cruciform specimen for biaxial tensile test

3.2 実験方法

試験は 25t のオートグラフ (SHIMADZU 製 AG25-TB) に開発した Fig. 1 (b) の装置を取付けて実験を行った。装置に圧縮荷重を加えることで Fig. 2 に示す十字型試験片に二軸の引張り荷重を作用させ、測定部である中心部分に発生するひずみを測定した。降下速度は 1mm/min とし、ひずみゲージ (共和電業製 KFG-02-120-C1-11) は中心から圧延方向と圧延直角方向にそれぞれ 3.75mm 間隔に 2 枚、計 4 枚を貼付けた。圧延方向と圧延直角方向にひずみ比 1:1 で引張られるように設定し、チャック部とベースとの間に取付けた 2 つのロードセルによってそれぞれの荷重の測定を行った。Fig. 3 に装置及び試験片の取付け状態を示す。



(a) Experimental apparatus (b) Specimen fixed to apparatus
Fig.3 Developed biaxial tensile apparatus during testing

4. 実験結果

実験を行った結果、圧延方向と圧延直角方向で測定した荷重・時間の関係に差はほとんど見られなかった。また、Fig. 4(a) (b) に示す試験途中及び試験後の試験片の観察から二軸ともに均一に引張られていることが確認でき、腕部の破断部分も腕部の軸に対して垂直に破断していた。また、桑原ら²⁾の油圧サーボ制御二軸引張試験機を用いた実験結果と比較を行った。試験はそれぞれ 2 回行った。Fig. 5 に示す両者の真応力-真ひずみの変化はほぼ一致した挙動を示すことが確認できた。また、真応力 - 対数塑性ひずみ曲線よりひずみ比 $\epsilon_x : \epsilon_y = 1 : 1$ における二軸引張試験状態での塑性仕事量を算出し、等塑性仕事を導き同じく比較を行った結果を Fig. 6 に示す。この結果からも両者は近い値を示しており、誤差の最大は $\epsilon_p = 0.005$ の時の約 2.6% であった。以上の実験結果より、ひずみ比 $\epsilon_x : \epsilon_y = 1 : 1$ において、今回開発を行った小型二軸引張試験装置は油圧サーボ制御二軸引張試験機と同精度の試験が可能である事が確認された。



(a) The middle of test (b) After a test
Fig.4 Specimen in the middle and after test

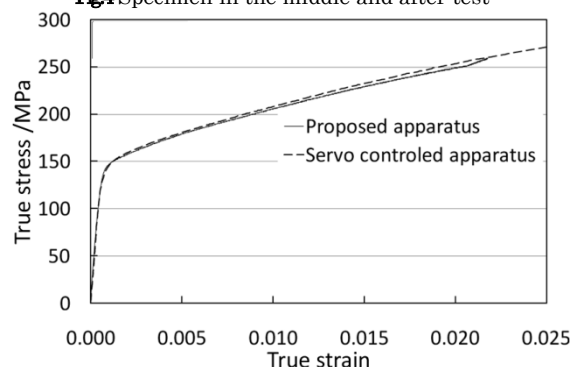


Fig.5 True stress-true strain curves

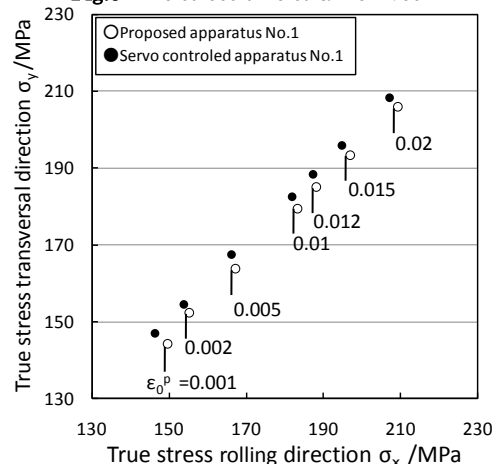


Fig.6 Plastic work with different apparatus

5. 結言

- 汎用の圧縮試験機に取付け二軸引張試験を行えるコンパクトな試験装置を開発した。
- 二軸引張試験を行なった結果、試験片が均一に伸ばされていることから圧延方向・圧延直角方向共に均一に引張られていることが確認でき、装置の機構の安定性が確認できた。
- 油圧サーボ制御二軸引張試験機を用いた結果と比較を行いひずみ比 1:1 において小型二軸引張試験装置で同精度の試験が可能であることが確認できた。

謝辞

本研究を進めるにあたり、貴重な御助言等を賜った東京農工大学桑原利彦教授に謝意を表します。本報告は (財) 大阪科学技術センターが (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託を受けて実施した「輸送機器の軽量化板材の 2 軸応力試験方法に関する標準化調査研究」の成果の 1 部である。

「参考文献」

- Ferron and Makinde, J. Test. Eval, 16(1988), 253
- 桑原利彦・池田聡, 塑性と加工, 40:457(1999-2), 61.