

非接触三次元測定装置を用いたアルミニウム合金の引張特性の評価

機械電子科 岩澤 秀 長津義之 針幸達也 渥美博安

Evaluating tensile properties of aluminum alloys using a 3D scanner

IWASAWA Shigeru, NAGATSU Yoshiyuki, HARIKOH Tatsuya and ATSUMI Hiroyasu

These days, the DIC method has proven very useful for evaluating the strain and deformation behavior of various materials and structural components under thermal and mechanical loading conditions. We investigated the effect of the parallel length (L) on the tensile properties for A6061-T6 and AC4C-F alloys. We also discussed the relationship between the results obtained and the dimensions of the tensile specimen described in JIS. The parallel length of specimens had little effect on the strength properties, but the elongation decreased as the parallel length increased. This is due to an increase in the ratio of local elongation to total elongation, and the elongation reached a nearly constant value at a certain parallel length. In the relationship between the elongation and the JIS's proportional specimen shape factor, $L_0/\sqrt{S_0}$ (L_0 : gage length, S_0 : cross sectional area), decreasing $L_0/\sqrt{S_0}$ led to an increase in elongation; however, the change became smaller when $L_0/\sqrt{S_0} > 6$ was approximately 6 or more indicating that the results obtained by the DIC were in good agreement with those in JIS. It was also confirmed that the parallel length should be longer than $L_0 + 1.5\sqrt{S_0}$ to avoid constraining the elongation at the shoulder of the specimen. In order to obtain accurate and stable tensile property values, it is necessary to make a specimen according to JIS.

キーワード：非接触三次元形状測定、デジタル画像相関法 (DIC)、引張試験片寸法、アルミニウム合金

1 はじめに

金属材料等の強度特性評価、構造部材の熱的・機械的負荷時における歪・変形挙動を評価する手法としてデジタル画像相関法 (Digital image correlation: DIC) がパワフルツールとして用いられてきている¹⁾。DIC は、CCD カメラなどで撮影したデジタル画像を数値解析することにより、微小領域から比較的広範囲までの歪・変形挙動を高精度に測定することができる。当支援センターでは、DIC による歪・変形測定が可能な非接触三次元形状測定装置 (3D スキャナ) を導入し、研究活動及び企業への支援を実施している。

従来、金属材料の引張試験において、特に伸びの測定には、歪ゲージ、光学的・電気的変位計、破断した試験片の突き合せなどが主に用いられてきた。DIC は、簡便、測定範囲の自由度の高さ、情報量の多さ等の特徴を有しており、引張試験における歪・変形測定にとっても有効な手法であると考えている²⁾。

ところで、引張試験において得られる引張強さ、耐力及び伸びを正確に求めるためには、用いる試験片形状の影響をできるだけ小さくする必要がある。しかしながら、実体部品からの切出した試験片を用いる場合な

ど、JIS に準拠できない試験片の使用を余儀なくされることもある。その場合、試験片形状が引張特性にどのように影響するか、不明なことも多い³⁾。

本研究では、様々な平行部長さを有する板形状のアルミニウム合金を用いて引張試験を行い、引張特性に及ぼす平行部長さの影響を調べるとともに JIS Z 2241 に記載されている比例試験片形状と対比、検討を加えた。

2 試験方法

2.1 供試材及び引張試験

引張試験には 6061-T6 及び AC4C-F アルミニウム合金を用いた。引張試験片は、JIS Z 2241 14B 号比例試験片をもとに種々の平行部長さ L を有する厚さ t4mm、幅 W10mm、肩部 R10mm の板状引張試験片を用意した (写真 1)。引張試験は、オートグラフ (株島津製作所製 AG-250kNplus) を用いて、引張速度 0.017mm/s、室温で行った。伸びの測定には、3D スキャナ (GOM 社製 ATOS-Core185) を用いた。

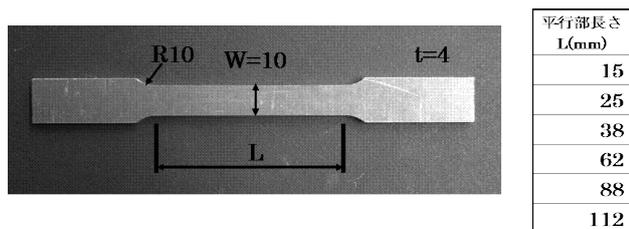


写真1 引張試験片の外観写真

2.2 3D スキャナによる伸びの測定

伸びは、3D スキャナを用いて引張試験片表面につけたマーキングを引張変形中撮影し、デジタル画像相関法 (DIC) を用いて測定した。マーキングは、試験片表面に水性白スプレーを塗布して乾燥後、水性黒スプレーをランダムドット状に吹付けた (写真2)。DIC では、ファセットサイズとポイント距離を任意に設定し、変形前後の画像の相関関係から 3D 座標を算出した (写真3)。DIC には、付属ソフトウェア ARAMIS Professional を使用した。このソフトウェアは、引張試験中の試験片の変形に対して、試験片上に任意の長さ、位置に伸び計を設定することができる。この伸び計を使うことで、引張試験時の試験片の歪・変形を測定し、伸びを求めた。

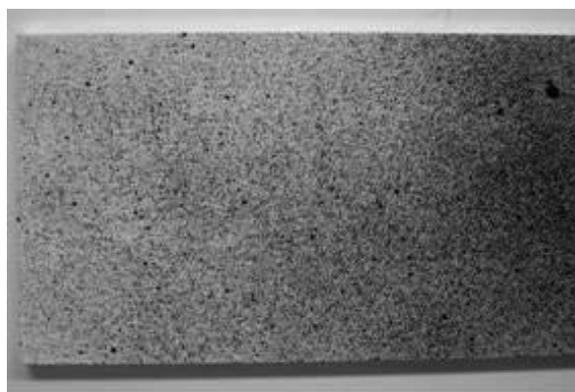


写真2 ランダムドットパターン

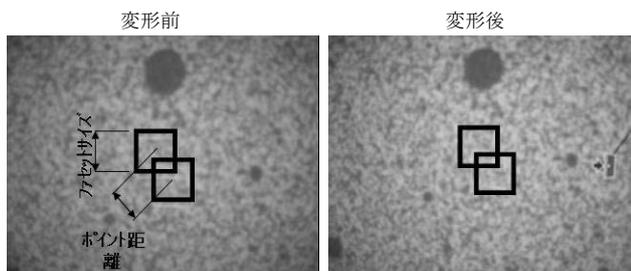


写真3 変形前後の試験片表面

3 結果と考察

図1に両合金の引張特性を示す。伸びは、それぞれの試験片において、破断位置を中心にして、標点距離 L_0 を平行部長さ L の 80% として伸び計を設定し、引張変形前と破断直前の標点距離の差とした。両合金ともに引張強さ及び 0.2% 耐力は、平行部長さの影響はほとんど受けないが、伸びは平行部長さが短いほど大きくなる。JISZ2241 では、比例試験片の形状を決める際、標点距離 L_0 と平行部長さ L は、試験片断面積 S_0 とすると、 L_0 は $5.65x\sqrt{S_0}$ 以上、 L は $L_0+1.5\sqrt{S_0}$ 以上となっている。本試験で用いた試験片にあてはめると、 L_0 及び L はそれぞれ約 36mm 及び約 45mm となる。つまり、本試験で用いた試験片形状において 38mm 以下の平行部長さは不適切であり、それは、図1で見られるように平行部長さ L が約 40mm を境に平行部長さに対する伸びの変化率が大きくなる部位と一致している。このように、引張試験における伸びは、試験片の平行部長さに影響をうけるため、試験片形状に注意を払う必要がある。

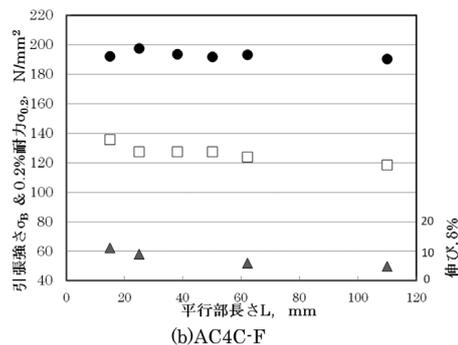
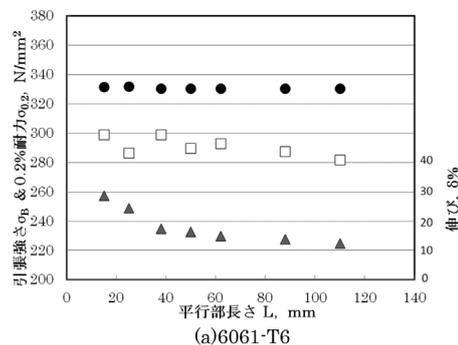


図1 引張試験結果

●引張強さ □0.2%耐力 ▲伸び

図2には、平行部長さ $L=112$ mm の 6061-T6 材を用いて引張試験した破断直前の試験片の伸びの分布を示すコンター図 (a) と標点距離 L_0 を 25mm、50mm 及び

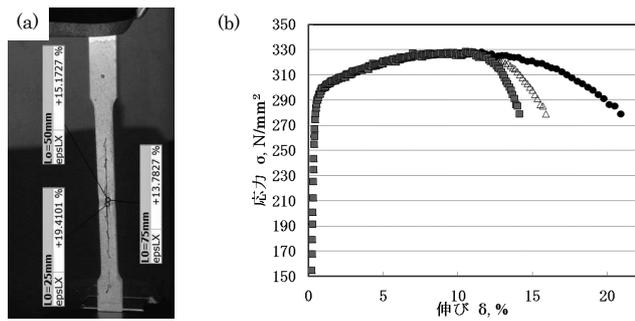


図2 破断直前の伸び分布(a)及び応力-伸び曲線(b)
● $L_0=25\text{mm}$ 、△ $L_0=50\text{mm}$ 、■ $L_0=75\text{mm}$

75mmとして測定した応力と伸びの関係(b)を示している。破断直前の伸びの分布では、破断部近傍(この場合、試験片中央)で色合いが偏っており、この付近の伸びが高いことを示している。いずれの応力-伸び曲線は、最大応力付近までほとんど同じであるのに対して、最大応力に達した以降では、標点距離の短い試験片ほど、大きな伸びを示している。図3に両合金の平行部長さ $L=62\text{mm}$ 試験片の破断直前の試験片中央

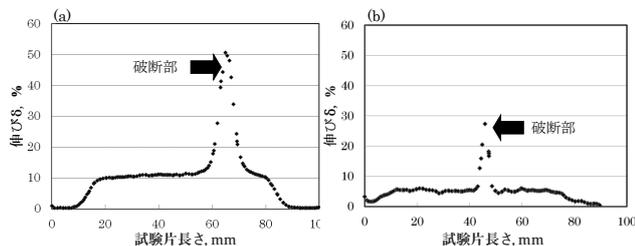


図3 破断直前の伸び分布(a)6061-T6、(b)AC4C-F

部の伸び分布を示す。いずれの合金においても、一定の伸びを示す領域と破断部近傍では急激に高い伸びを示す領域が確認できる。一般に金属材料の伸びは、最大応力近傍までは、試験片全体が均一に伸びる一様伸びとそれ以降において局部的な絞りを示す局部伸びを示し、それらの合算が破断伸びとして表わされる。破断直前の伸びは、試験片全体に一様では無く、破断部近傍で大きな伸びをしている。短い標点距離の方が大きな伸び(この場合破断伸び)を示したのは、破断伸びに対する局部伸びの割合が大きかったことによる。

図4には、異なる平行部長さ L の試験片について、それぞれ標点距離 L_0 を変えて伸びを測定した結果を示す。いずれの平行部長さの時も標点距離が短いほど高い伸びを示しており、 L_0/L が大きくなるにつれて一定

の伸びを示すようになる。伸びの変動は、平行部長さが短いほど顕著である。AC4C-Fに比べて6061-T6の方が、標点距離に対する伸びの変化が大きく現れるのは、図3にも示すように破断伸び、とくに局部伸びが大きいためである。

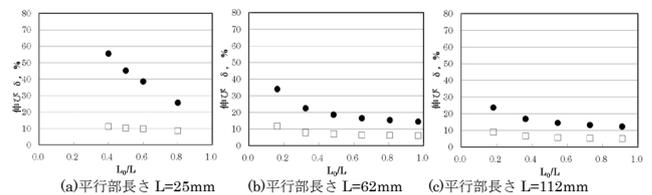


図4 L_0/L と伸びの関係
● 6061-T6、□ AC4C-F

図5は、全試験片について、比例試験片として表わされる $L_0=k\sqrt{S_0}$ (k :定数、 S_0 :平行部の断面積)の式を用いて作成した $L_0/\sqrt{S_0}(=k)$ と伸びの関係を表している⁴⁾。伸びは、 $L_0/\sqrt{S_0}$ が小さい場合、大きく出現し、 $L_0/\sqrt{S_0}$ の増加に伴い漸近する。 $L_0/\sqrt{S_0}$ を大きく取る方が、試験片の形状寸法が伸びの変動に与える影響は小さくなることがわかる。JISZ2241では、 $L_0/\sqrt{S_0}$ を5.65以上(上述の定数 k)と記述してある。図5から $k=5.65$ は、ほぼ一定の $L_0/\sqrt{S_0}$ を示す曲線部分に位置している。このことは、今回の試験において試験片平行部の長さが変わっても、 $L_0/\sqrt{S_0}$ を一定にすることで同じような伸びが得られることを示している。

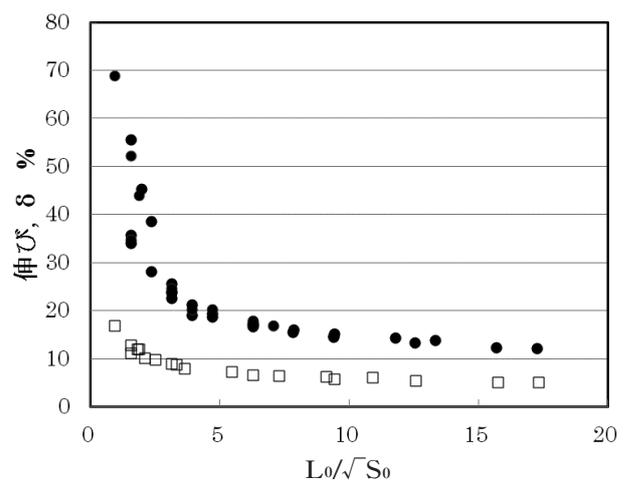


図5 $L_0/\sqrt{S_0}$ と伸びの関係
● 6061-T6、□ AC4C-F

【報告】

試験片の R 部は、平行部末端付近の自由な変形が拘束される。図 6 に 6061-T6 を用いた引張試験において、異なる平行部長さにおける破断直前の R 部付根付近の伸びの分布を調べた結果を示す。R 部は試験片両端部のうち片方のみを示す。平行部長さが 25mm 以下の試験片では、R 部付根から急激に伸びが上昇し、試験片平行部において一定の伸びを示す領域がほとんど無い。これに対して平行部長さが長くなるほど、一定伸びを示す平行部領域が長くなる。このことは、安定した伸び値を得るためには、ある程度以上の平行部長さにする必要がある。

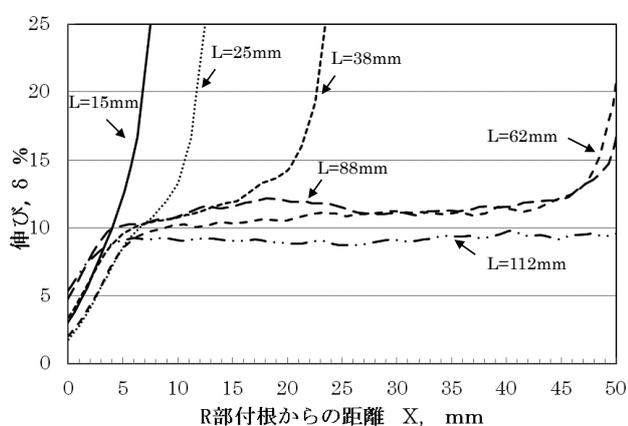


図6 試験片 R 付根からの距離と伸びの関係

— L=15mm、····· L=25mm、····· L=38mm、
- - - L=62mm、— — L=88mm、— · · L=112mm

JIS14B 号試験片では、平行部長さ L を $L_0 + 1.5 \sqrt{S_0}$ ³⁾ 以上と記述されており、これらの式から平行部長さ L を算出すると、本試験において試験片平行部は、標点

距離よりも 9.5mm 長くする必要がある。図 5 に示したように一定の伸びが得られる $L_0 / \sqrt{S_0}$ ($k=5.65$ 以上) から標点距離を算出し、上記式を用いると、安定した伸び値を得るためには、本試験で用いた試験片 (試験片厚さ $t:4\text{mm}$ 、試験片幅 $W:10\text{mm}$) の平行部長さは約 45mm 以上必要となる。

今回、DIC を用いて引張試験中の変形挙動を調べることによって、引張特性、特に伸びの変動が試験片平行部及び標点距離の長さによって大きく影響されることがわかった。

4. まとめ

- (1) 3D スキャナ及び DIC により、引張変形中における材料変形量を容易に調べることができた。
- (2) 試験片の平行部長さは、引張強度特性にはあまり影響しないが、伸びに大きな変動をもたらすことが明らかとなった。
- (3) 試験片形状によらず、安定した引張特性を得るためには、JIS に準拠することが重要であることを再認識した。

参考文献

- 1) 米山聡他：DIC (デジタル画像相関法) の基礎と応用. 一般社団法人日本機械学会講習会テキスト (No.19-49), 1-27(2019).
- 2) 小野勇一他：デジタル画像相関法を用いた A6061 アルミニウム合金 FSW 継手接合部の引張特性の評価. 軽金属溶接, 55(11), 435-442(2017).
- 3) 佐藤四郎：引張試験片の寸法と形状について. 軽金属, 24 (11), 508-521(1974).