

ワックス素材を用いた塑性加工学生実験の試み

山中 昇

New Approach of Experiment for Plastic Working Using Wax Material

Noboru YAMANAKA

(平成24年10月1日受理)

あらまし 卒業生が配属される職種の中で最も多い生産技術者を育成するためには本校が教育理念に掲げている実践的技術者を育成することが重要である。さらに、機械工学科では実践的技術者の育成に欠くことのできない科目の1つである実験の充実をはかることが重要である。本研究では著者が担当している4年生の工学実験で圧縮実験と押し出し実験の2つの塑性加工の実験についてその改善策を検討した。まず、ワックスの溶解と試験片作製の方法を検討し、圧縮と押し出し試験片を作製した。また、ワックスを利用する圧縮実験用の圧縮ダイスと押し出し実験用のダイスを作製し、それぞれ実験を行った。試験片作製では用いるワックスが卒業研究で使用された材料を再利用するため試験片の管理をロット単位で行うことが必要である。圧縮実験と押し出し実験の検討からこれまで行っていた前方押し出しに加え後方押し出しを実施でき、また、別の特殊な押し出し加工を実施できる可能性を示した。アルミニウム合金を用いたこれまでの実験に替えてワックスを用いた実験にすることで、目に見える形で実験・観察できるようになり、また、簡単な構造にでき、これまでに実施できなかった新しい実験ができるなどよりよい教育効果を期待できる。

キーワード [工学教育、工学実験、塑性加工、変形抵抗、押し出し]

1 はじめに

本校は教育理念にあるように実践的技術者を育成することを使命としている。事実、2004年に実施された本校卒業生に対するアンケート¹⁾の中で卒業生が配属される職種は、生産技術が最も多く、製造、設計、研究・開発の順になっている。このような実践的技術者の育成に欠くことのできない科目の1つとして機械工学科では3年生から実施している工学実験が挙げられよう。また、実践的技術者の育成には実験を通してすでにある手持ちの手法や技術を組み合わせ、新たな実験手法を確立し、あの手この手で科学的真実を露礁させていく力²⁾を身につけさせることが重要であると考え。さらに、様々な実験を経験することでそのものを活かすことができ、さらに経験した実験の新たな使い方を見出す力を身につけることに結びつくもの

と考える。

武田らは実験で配慮すべきことの1つとして綿密な計画と多大の労力が払われるべきとしている³⁾。また、深尾は実験の手法などをより分かりやすく書いたテキストを作ることが必ずしも良いことではないとしながらも実験を充実させる必要がある⁴⁾と指摘している。

そこで、本研究では実験の充実をはかるために著者が担当している実験の一つについてその改善策を検討した。本稿ではその概要について述べる。

2 テーマの選定

表1に著者が担当している実験テーマと概要を示す。これまでもよりよい実験を目指して改善に取り組んでいる。ここ数年で改善に取り組んだ実験には、本科

3学年で実施している、I 切削抵抗の測定でPBLの導入による改善⁵⁾と、II 切削と表面粗さで卒業研究のテーマとして粗さの計測方法をメカトロ技術による粗さ計自動走行による方法がある⁶⁾。

本研究では、本科4学年で行っている塑性加工に関する実験の改善を目標にして

- 1) 目に見える形で実験・観察できるようにする
 - 2) 簡単な構造にする
 - 3) 簡便に実験できる
 - 4) 精度の良い計測器で計測する
- などの方法を検討する。

本研究で対象とする実験は表1の本科4学年の工学実験のIII変形抵抗の測定とIV押し実験である。これらの実験は塑性加工に関する実験である。塑性加工実験の流れを図1⁷⁾に示す。III変形抵抗の測定では円柱状材料の圧縮実験より真応力と真ひずみを求め累乗関数により定数、指数を求めることを課題としている。また、IV押し実験では変形抵抗の測定で求めた関数を利用して押し力の理論的見積と実験結果の比較

検討を行う。これまでの実験では供試材料として市販の純アルミニウム(A1050)を用いている⁷⁾。アルミニウムを用いた圧縮実験では円柱試験片の圧縮荷重は最大で約20kNで押し実験では押し力の最大値が約280kNとなる。現有のロードセルの定格荷重は500kNで20kNの荷重に対するその出力は20/500=0.04で4%にしか過ぎず誤差の影響が大きくなる。

本研究ではワックスを用いることで荷重が小さくなり工具にプラスチックを使用でき、また、様々な種類の工具を簡便に作製でき、色々な加工法を提示できるなどの利点が期待できる。ワックスを用いた実験を行っている著者以外の研究に桑原田ら⁸⁾などの例がある。従来用いられていたプラスティンを利用した実験の例として木原らの例⁹⁾などがあるもののプラスティンは近年製造が中止され、その代用としてワックスの利用が期待される。

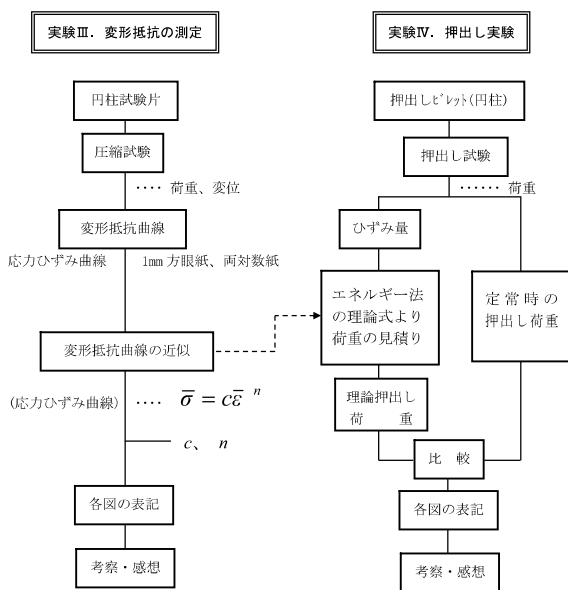
そこで、本研究では変形抵抗の測定、押し実験の2つの実験についてワックスを用いた実験方法と解析手法を検討したので、以下にその過程を示す。

表1 著者の担当する実験のテーマ

クラス	科目名	実験テーマ名	実験概要(目的など)
本科3学年	基礎実験	I 切削抵抗の測定	旋盤による鋼材の外丸削りを種々の条件で行い、切削抵抗の測定原理・技術を習得し、切削条件と切削抵抗との関係を理解する
		II 切削と表面粗さ	旋盤による鋼材の外丸削りを種々の条件で行い、表面粗さの測定技術を習得し、切削条件と仕上げ面粗さとの関係を理解する
本科4学年	工学実験	III 変形抵抗の測定	純アルミニウム円柱試験片の圧縮実験を行い、変形抵抗(真応力-真ひずみ)曲線を求め、ひずみの変形抵抗に及ぼす影響について検討する
		IV 押し実験	押し実験で荷重を求め、上記実験で求めた変形抵抗を用いた理論的押し荷重と比較検討し、解析手法と実験手法を理解する

表2 実験方法の検討に用いた装置

	実験装置名	規格
圧縮及び押し素材作製・評価	ワックス材	ワックス複合材 (JHW製, 基材:Filia, 分散材:カオリン)
	ワックス溶解炉	小型調理器 (グリル鍋) (松木技研, YGP-SP1)
		マントルヒータ (大科, GB-10)
	温度調節器	デジタルファインサーモ (八光電機, DG2-100)
	真空デシケータ	真空ポリカデシケータ (サンブラテック, PC-250KG)
	パソコン	Win PC (セネージュ)
データロガー	多チャンネルロガー (グラフテック, GL200)	
比重計	電子比重計 (ミラージュ貿易, ED-120T)	
圧縮及び押し実験	材料強度試験機	縦型電動計測スタンド (イマダ, MX-1000N)
	パソコン	Win PC (セネージュ)
	荷重計	フォースゲージ (イマダ, ZP-1000N)
	ビデオ撮影機	ビデオカメラ (ビクター, GZ-MG40-S)



実験III、IVの流れ図

図1 塑性加工実験の流れ

3 円柱圧縮実験内容の検討

3.1 ワックス素材作製

3.1.1 ワックスの溶解

ワックス素材は表2に示す装置を用いて溶解し、調理器中のアルミニウム合金管に溶かし込む。表3に溶

表3 溶解・凝固条件

項目	条件
溶解設定温度 (°C)	170
凝固時圧力	1. 大気中 2. 真空中 (-80kPa)
ワックス質量 (g)	1600
ワックス溶解炉	1. 小型調理器 2. マントルヒータ、温度調節器



図2 ワックス小片を小型調理器に入れた状態

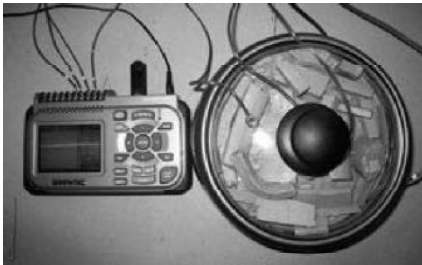


図3 小型調理器のみでのワックス溶解と計測装置

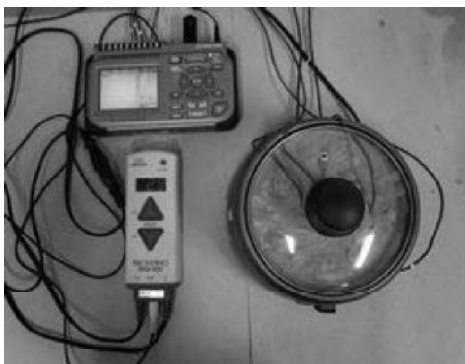


図4 小型調理器と温度調節器によるワックス溶解と計測装置

解・凝固条件を示す。使用した機器の詳しい仕様は表2に記載している。ここでは溶解・凝固の条件の表記を、ワックスを大気中溶解後そのまま凝固させるものを「大気凝固」、大気中溶解後凝固するまで真空デシケータに入れるものを「真空凝固」とする。なお、本研究ではワックス作製を大気凝固で1回、真空凝固で2回の例について検討した。調理器にワックス素材を入れた状態の写真を図2に示す。鍋の直径は約φ200mmである。温度制御の精度を調べるために小型調理器のみで溶解する場合と調理器の温度制御を別の温度調節器で行う場合を比較した。小型調理器のみでワックス溶解する装置写真と調理器に温度調節器を付加して溶解する装置写真をそれぞれ図3および図4に示す。

ワックスを小型調理器のみで溶解した時の各部の温度測定結果を図5に示す。図5より小型調理器に備わっている温度調節機能では温度制御の範囲は約100°Cであった。また、別に温度調節器を用いた場合の温度測定結果を図6に示す。図6より温度制御の範囲は約20°Cであり、温度調節器を用いた場合の精度が5倍良いことが分かる。したがって、ワックスのより厳密な溶解温度管理のためにワックス溶解は小型調理器・温度調節器により行う。

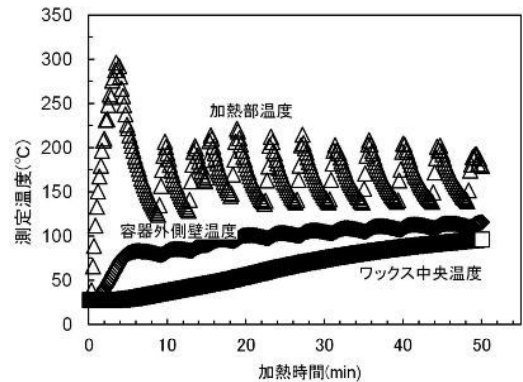


図5 小型調理器のみによるワックス溶解時の温度測定結果

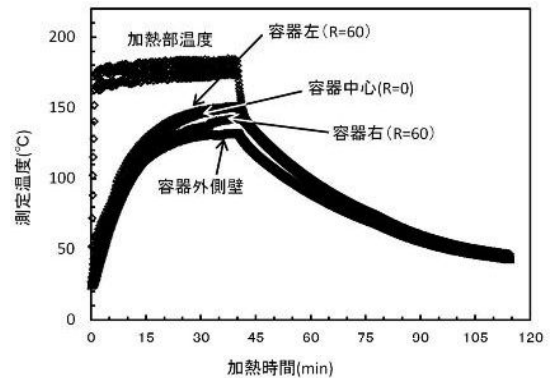


図6 小型調理器・温度調節器によるワックス溶解時の温度測定結果

溶解・凝固後のワックス写真を大気凝固と真空凝固の場合の写真を図7及び図8にそれぞれ示す。図7より大気中溶解・凝固したワックスの表面には気泡の影響と思われる小穴が多数見られる。一方、図8より大気中溶解・真空凝固したワックスの表面には小穴は肉眼では見られない。凝固したワックスの管位置における特性差を調べるために管それぞれの位置に図9のような番号を付した。

管からワックスを取り出すジグを作製し、図7、8に示す管からワックスを取り出し試験片とした。取り出し時の押し荷重と押し変位の関係を図10に示す。図10より押し当初は400~500Nの大きな荷重となり、押し変位5mmまで急激に減少しその後緩やかに直線的に減少する。当初の大きな荷重はワックスが

管に密着しているのを剥がすための力で、その後の直線的減少はワックスが管内を滑り押し出された分だけ接触面積が減少するため押しにより摩擦力が減少する。その減少の割合は押し速度が一定であるために直線的になる。

取り出した試験片の密度の測定結果を図11に示す。なお、図11の大気凝固の試験片番号1には熱電対を挿入した際にできた空隙があり、密度が1.630g/cm³で他の試験片と比較して極端に小さかったため図から除いた。図11より大気凝固と真空凝固1の密度はほぼ1.633~1.639g/cm³の範囲にあり、密度の平均値は共に1.636 g/cm³であった。また、真空凝固2の密度はほぼ1.624~1.628g/cm³の範囲にあり、平均値は1.626 g/cm³であった。これらの結果から試験片位置による密度への影響はほとんどないようである。

大気凝固・真空凝固1と真空凝固2の密度に差があることの理由について考える。本実験に用いるワックスは市販のワックスであり卒業研究で使用したものを再利用している。このワックスは基材がFiliaであり、Filiaにカオリンを混入させて硬度を変えた複合材料である。Filia及びカオリン割合による複合材料の密度は過去の卒業研究¹⁰⁾よりFilia 100%の密度は1.563



図7 大気中溶解・凝固後のワックス写真

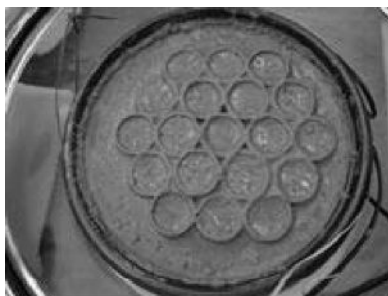


図8 大気中溶解・真空凝固後のワックス写真

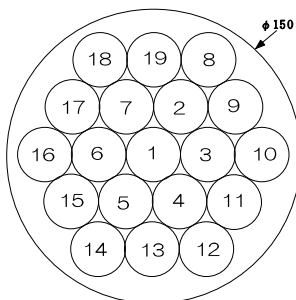


図9 調理器内の管位置による試験片番号

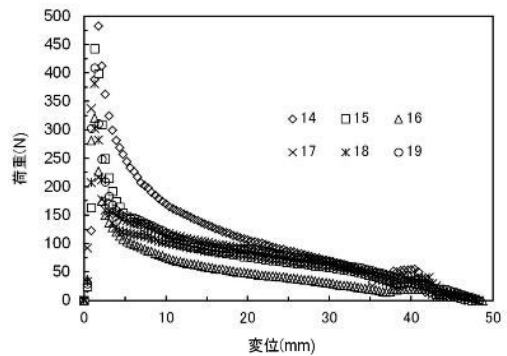


図10 管からワックスを抜き取る時の押し荷重 (大気凝固試験片No. 14~19の結果)

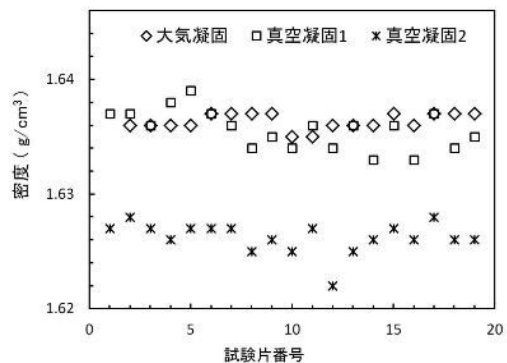


図11 計測したワックス密度の結果

g/cm³、最大のカオリン含有率16.5mass%の複合材料では1.679 g/cm³である。本研究で用いたワックスの密度はこの範囲にあり、測定値は正しいものとする。真空凝固1の材料は大気凝固で使った材料を再度溶解して作製した試験片であるため密度の測定値が大気凝固の値と同じになった。また、真空凝固2は別の使用済みワックスを用いたため真空凝固2の密度と大気凝固・真空凝固1の密度が異なったものとする。したがって、試験片管理にはロット管理が重要である。

3.1.2 ワックス試験片の作製

前項で作製したワックスを圧縮実験及び押し出し実験用の試験片に加工した。直径は前節で示した試験片取り出し時に取り出しと同時に成形し、長さはジグを作製してφ0.2mm黄銅線により切断した。それぞれの基準の形状は圧縮試験片で直径×高さがφ24.3×40.0mmであり、押し出し試験片で直径×高さがφ24.3×20.0mmである。

3.2 圧縮実験方法の検討

3.2.1 圧縮実験

塑性力学の基礎として欠かせない塑性範囲の応力-ひずみ関係(変形抵抗)は材料の変形特性を表すものとして重要である。ここでは変形抵抗曲線を3.1節で作製した円柱の圧縮実験より求める。

実験条件として、材質：ワックス、形状：外径×高さ=φ24.3×40mm、圧縮速度：1mm/s及び潤滑剤：台所用中性洗剤¹¹⁾などを用いた。

本研究で作製し用いた圧縮ダイスの写真を部品名称と併せ図12に示す。また、実験手順の概略を以下に示す。

- (1) 試験片及び圧縮ダイスに潤滑剤をつけ試験片をセットする。
- (2) 圧縮ダイスを材料強度試験機にセットする。
- (3) パソコンの荷重計測プログラムを実行した後圧縮を開始する。
- (4) 約26mm圧縮した後加工を終了し、プログラムを終了する。

3.2.2 解析の手順

初期高さ h_0 、断面積 A_0 の試験片を高さ h 、断面積 A に圧縮したときの真ひずみ $\bar{\epsilon}$ 及び真応力 $\bar{\sigma}$ は、荷重を P とすると

$$\bar{\sigma} = \frac{Ph}{A_0 h_0}, \quad \bar{\epsilon} = \ln \frac{h_0}{h} \quad (1)$$

で表される。上式に圧縮実験で得られた $P(N)$ と $h(mm)$ の測定値を代入することで変形抵抗曲線を求めることができる。ここで、 $\bar{\sigma}$ の単位はMPa、 $\bar{\epsilon}$ は単位無しで

ある。

3.2.3 変形抵抗曲線の近似

変形抵抗に対するひずみの影響は加工硬化として現われる。そこで、加工硬化を表わすため

$$\bar{\sigma} = c\bar{\epsilon}^n \quad (2)$$

と置くことが多い¹²⁾。ここで、 n は加工硬化指数、 c は塑性係数、式(2)は n 乗硬化則と呼ばれる。

3.2.4 圧縮実験結果

圧縮実験後の試験片の写真の例として真空凝固2の写真を図13に示す。図13の試験片端面に記載の番号は図9の試験片番号である。図より円柱は樽型変形をしており円柱側面に割れが生じた。図14(a)~(c)に大気凝固、真空凝固1及び真空凝固2における変位-荷重曲線を、図15(a)~(c)に変形抵抗曲線及び図16(a)~(c)に両対数表示による変形抵抗曲線の実験結果をそれぞれ示す。

図14(a)~(c)より荷重-変位の関係は荷重が図のように変位と共に変わっていくのは一般的な円柱すえ込み(円柱圧縮に同じ)加工のそれと同一の現象である¹³⁾。また、試験片No.3、6、10及び16における荷重と変位の関係には差がほとんど無いとわかる。このことから調理器内の管位置における材料特性に差は生じないと考えられる。大気凝固と真空凝固1の荷

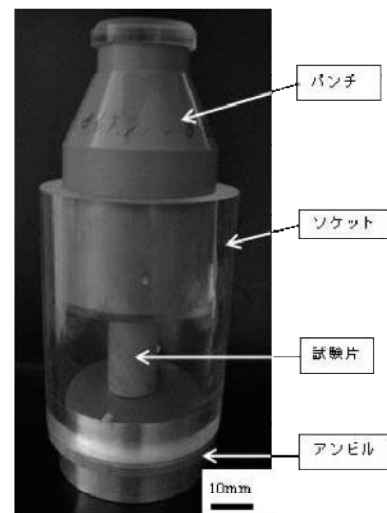


図 12 圧縮ダイスの写真と部品名称

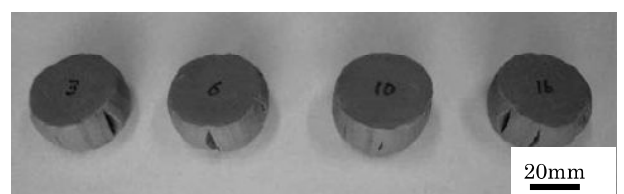


図 13 圧縮試験後の試験片の写真

重はほぼ同じ値となるが、真空凝固2の最大値はそれらの値より約100N小さい。これは密度の測定結果より明らかなように大気凝固と真空凝固1より真空凝固2の値が小さく材質が異なっているものと考えられる。したがって、学生実験を行う場合は圧縮実験と押し実験で使用するワックスは同じロットの試験片を使用しなければならない。

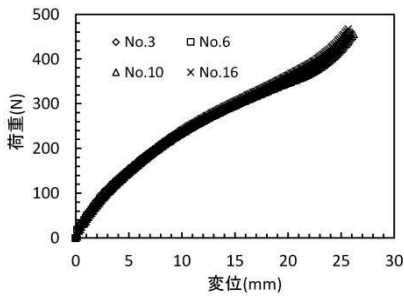
図15(a)～(c)の変形抵抗曲線の図より真応力と真ひずみの関係は一般的な金属の変形抵抗曲線¹²⁾と異なり真ひずみ0.4付近から真応力が減少する傾向にある。これは円柱の圧縮時のビデオ観察から円柱側面に割れが生じることが原因のようである。割れは円柱側面の樽型変形により側面の引張り応力が大きくなることで生じ、金属の場合は引張りによる破断力が大きいためこの現象が起きにくいものとする。したがって、ワックスを用いた実験では割れが発生する前までの変形抵抗曲線を使用するなどの工夫が必要である。

式(2)の関係が真応力と真ひずみの関係を両対数表

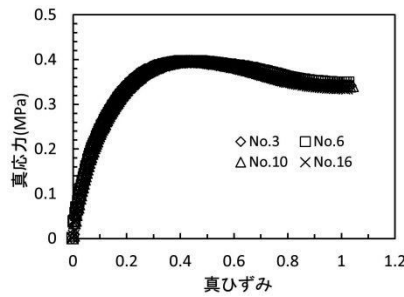
示すると直線関係になることを利用して図16(a)～(c)に示すように両対数表示を行い、変形抵抗曲線の近似を行う。前述のように円柱側面の割れと変形初期の誤差を減ずる観点からここでは真ひずみが約0.05～0.2での変形について真応力と真ひずみの関係を累乗近似した。図内に近似式及びR-2乗値を記入した。大気凝固、真空凝固1及び真空凝固2の塑性係数はそれぞれ0.59、0.65及び0.64であり、それぞれのn値として0.38、0.63及び0.51が得られた。

4 押し実験方法の検討

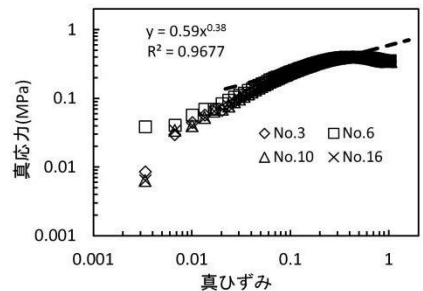
押し加工とは塑性加工の一種で金型に入れた素材に高い圧力を加え、製品断面形状をしたダイスから押し出すことで所望の形状に成形する加工法である。製品例としてはアルミサッシやアルミニウム型材など身の回りの多くの製品が製造されている。工学実験では、圧縮実験で求めた変形抵抗を用いて理論的押し



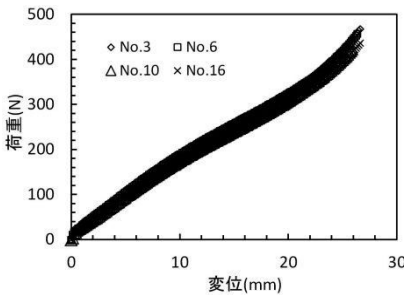
(a) 大気凝固



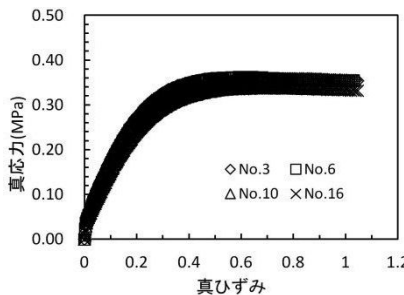
(a) 大気凝固



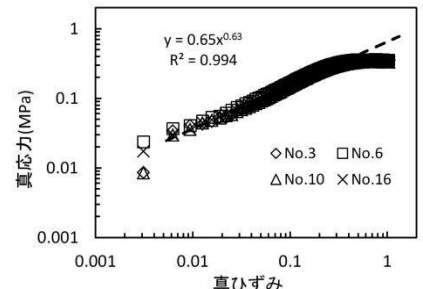
(a) 大気凝固



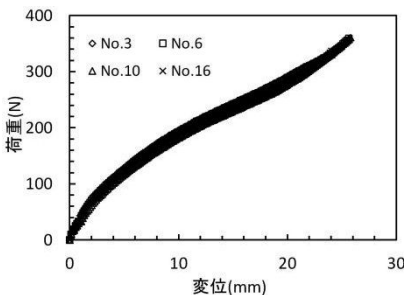
(b) 真空凝固1



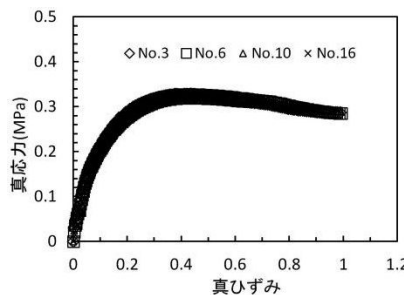
(b) 真空凝固1



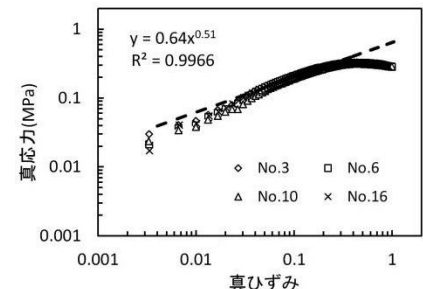
(b) 真空凝固1



(c) 真空凝固2



(c) 真空凝固2



(c) 真空凝固2

図14 押し荷重-変位の結果

図15 変形抵抗曲線

図16 変形抵抗曲線(両対数表示)

荷重を求め、押し出しの実験結果と比較検討し、簡単な押し出し加工における解析手法と押し出し実験手法を理解することを目的としている。

4.1 理論押し出し荷重

工学実験の理論解析では塑性仕事はすべて塑性加工に費やされるとして解析するエネルギー法を n 剰硬化塑性材料に適用する。その際、材料の変形を均一であると理想化し、平均的な降伏応力を降伏点とする完全塑性体と考え、かつ平均的なひずみを用いる。ここでは、実験で用いる理論式を解析手順に従って記す。

(1) 押し出し比 R を求める。

ビレットの直径及び断面積を D_0, A_0 、押し出し後の製品直径及び断面積を D, A とする。

$$R = A_0 / A = (D_0 / D)^2 \tag{3}$$

(2) 平均相当ひずみ $\bar{\epsilon}_m$ を求める。

平均的なひずみを平均相当ひずみ $\bar{\epsilon}_m$ として

$$\bar{\epsilon}_m = 1.5 \ln(A_0 / A) + 0.8 \tag{4}$$

と置く¹⁴⁾。

(3) 平均相当応力 $\bar{\sigma}_m$ を求める。

降伏応力に対応する平均相当応力 $\bar{\sigma}_m$ を用い、 $\bar{\sigma}_m$ を一定と仮定しアルミニウムなどの硬化性材料と同様な式を用いる。

$$\bar{\sigma}_m = c \bar{\epsilon}_m^n / (1+n) \tag{5}$$

(4) 平均押し出し圧力 p_{ave} を求める¹⁵⁾。

定数 a は $a > 1$ であり、製品断面形状やビレットと工具間の摩擦により変わる。

$$p_{ave} = a \bar{\sigma}_m \ln R \tag{6}$$

(5) 理論押し出し荷重 P_{th} を求める。

$$P_{th} = p_{ave} A_0 \tag{7}$$

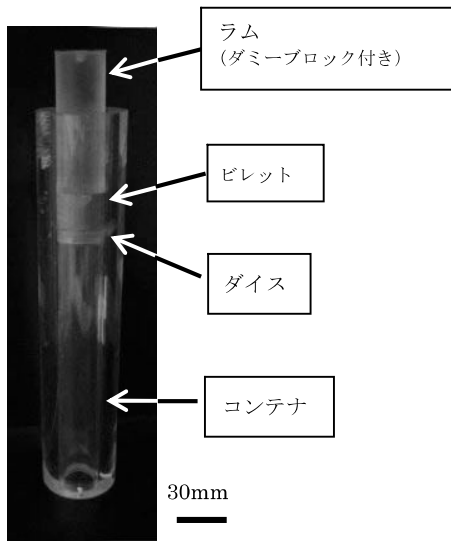


図 17 押し出しダイスの写真及び名称

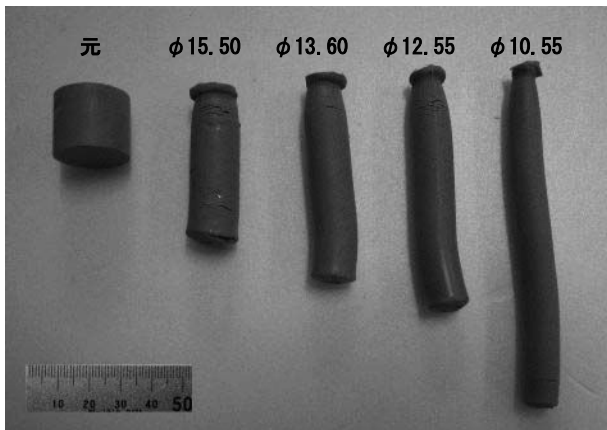
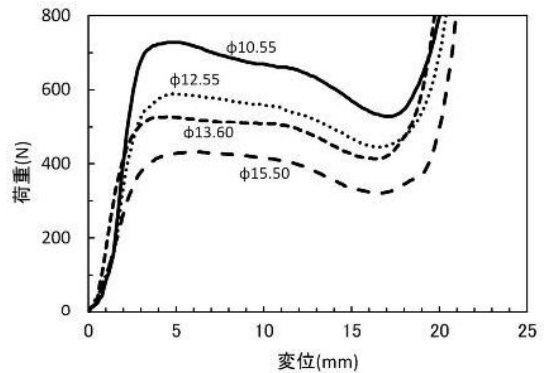
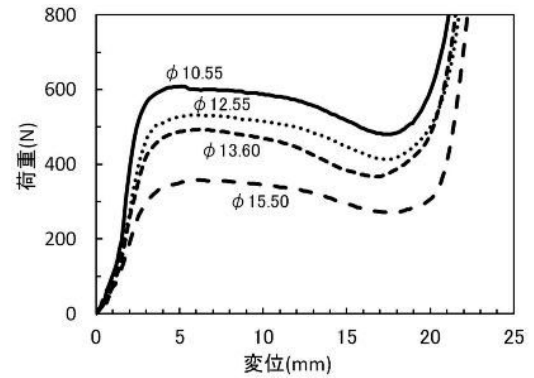


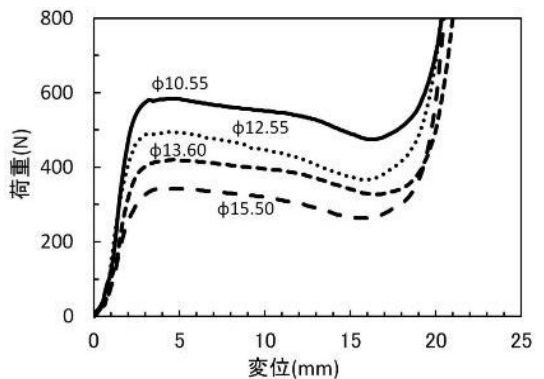
図 18 押し出し前後のビレット・製品の例



(a) 大気凝固



(b) 真空凝固1



(c) 真空凝固2

図19 押し出し荷重-変位曲線

4.2 押し出し実験

用いた押し出しダイスの組立写真を部品名称と併せ図17に示す。検討したダイス出口形状は円形であり、実験毎にダイスを換えて押し出す。実験条件は、ビレット材質はワックスで、ビレット形状を外径×高さ=φ24.3×20mmとし、コンテナ内径φ24.5、ダイス半角90°で、ダイス出口径はφ15.50、13.60、12.55及び10.55mmの4種類とした。潤滑剤は台所用中性洗剤である。実験の手順は押し出しダイスを用いること以外は圧縮実験と同様であるので記述を省く。

図18に押し出し前のビレットと押し出し製品の写真の例を示す。また、図19(a)~(c)に大気凝固、真空凝固1及び真空凝固2における押し出し荷重-変位曲線をそれぞれ示す。ダイス出口径が小さくなると押し出し荷重が大きくなり、一般的な知見と同じである。

4.3 理論押し出し荷重と実験結果の比較

本節では真空凝固2における理論押し出し荷重と実験結果の比較を行う。真空凝固2の変形抵抗の定数は図16(c)より $c=0.64$ 、 $n=0.51$ を用いた。押し出し荷重計算の結果、実験結果及び押し出し荷重の理論と実験結果の差をそれぞれ表4に示す。なお、表4における計算では平均押し出し圧力を求める式(6)で $a=1.18$ を用いた。表4に示す押し出し荷重の理論と実験結果を比較すると押し出し比の大きい実験結果と小さい実験結果では押し出し荷重の値が大きくなる傾向にあり、その値は約±16%の範囲になった。

表4 理論計算及び実験結果の比較

項目	ダイス径 (mm)				
	10.55	12.55	13.60	15.50	
押し出し比 R	5.07	3.59	3.10	2.37	
平均相当ひずみ $\bar{\epsilon}_m$	3.24	2.72	2.50	2.09	
平均相当応力 $\bar{\sigma}_m$ (MPa)	0.77	0.71	0.68	0.62	
平均押し出し圧力 p_{ave} (MPa)	1.48	1.07	0.90	0.63	
押し出し荷重	理論 P_{th} (N)	685	494	418	291
	実験 P_{exp} (N)	579	490	416	343
	差 (%)	118.3	100.8	100.4	84.8

5 本実験のメリット

これまでの実験・解析はアルミニウムを用いて行ってきた。本実験で用いているビレットはワックスであるので、前述のように押し出し荷重は小さくなる。このことからダイス材料としてアクリル樹脂を用いた。内

海らは実験用の小型クランクプレス機械の開発で流動が見えることの教育効果の大きいことを示している¹⁶⁾。ここではその他のワックスを利用するメリットについて検討する。

本研究で作製した後方押し出しダイスの写真を部品名称と併せ図20に示す。ラム、コンテナはアクリルパイプを切断して作製している。また、ダイスは前方押し出しダイスと同じ物を用いることができる。このダイスを用いて行った実験結果の真空凝固2の例を図21に示す。図19(a)~(c)に示す前方押し出しと図21に示す後方押し出しの押し出し荷重-変位曲線を比較すると前方押し出しでは押し出し後約3mmで押し出し荷重が最大値を示しその後緩やかに減少し、押し出し終了間近で急激に減少した後急激に増加する。一方後方押し出しの曲線では押し出し後約3mmで押し出し荷重が定常値になりその後もほぼ一定の押し出し荷重で加工が進み、押し出し終了間近で急激に減少した後急激に増加する。前方押し出しと後方押し出しで共通している押し出し終了間近で急激に減少した後急激に増加する理由は、押し出し終了間近で押し出しカスを押し出すために減少し、押し出し終了でラムとダイスが接触したことにより荷重が増加したためである。また、前方押し出しで押し出し開始後荷重が最大に

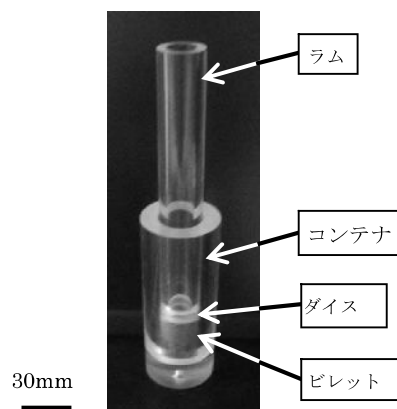


図20 作製した後方押し出しダイス

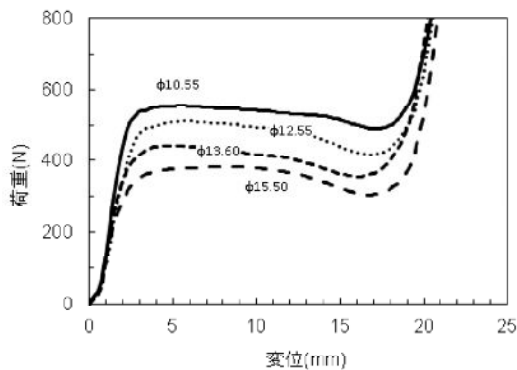


図21 真空凝固2の後方押し出し荷重-変位曲線

なりその後緩やかに減少するのはコンテナとピレットの摩擦力が押出し変位と比例関係にあるためであり、後方押出しではその摩擦力が発生しないためである¹⁷⁾。

図21より求めた押出し荷重と解析結果を比較した結果を表5に示す。なお、表5における計算では $a=1.24$ を用いた。前方押出しと同様に押出し比の大きいものと小さい物では大きくずれる傾向になったが、後方押出しの実験が可能であり、押出し方法を変えることができた。

また、特殊な押出し加工法の実験が可能である。本実験で行った方法はダイス形状からソリッドダイスと言われるが、加工容易なアクリルを用いることからブリッジダイスやポートホールダイス¹⁸⁾の実験が可能になると考える。このようなダイスの加工には現有の3次元プロッタ(ローランドディージー製MDX-15)が使用できるので、今後検討したい。

表5 後方押出し理論計算及び実験結果の比較

項目		ダイス径 (mm)			
		10.55	12.55	13.60	15.50
平均押出し圧力 p_{ave} (MPa)		1.55	1.12	0.95	0.66
押出し荷重	理論 P_{th} (N)	720	519	439	306
	実験 P_{exp} (N)	553	510	442	380
	差 (%)	130.2	101.7	99.3	80.4

6 むすび

実践的技術者の育成に欠くことのできない機械工学科の科目の1つである実験の充実をはかるために4年生で実施している工学実験の改善を検討した。ここでは、圧縮実験と押出し実験の2つの塑性加工の実験についてワックスを用いた実験の手法を検討した。その結果、圧縮実験や押出し実験で使用する工具にアクリル樹脂を用いて実験できたこと、それらの工具により変形流動を観察できるようになったこと、これまで実施してきた前方押出しに加え後方押出しを実施できるようになったこと、さらに、特殊な押出し加工の実験が可能になることなど多くのメリットを確認でき、よりよい教育効果を期待できることが分かった。

本研究で目標としていた精度の良い計測器で計測する方法については予算を伴うこともあり、今後の課題とする。また、今後作成したテキストを用いた学生実験を行い、その結果を参考にしてさらに改善していく予定である。

参考文献

- 1) 2004年に都城工業高等専門学校が実施した教育評価アンケートの集計結果 (手持ち資料)
- 2) 池谷祐二, 糸井重里: 海馬, 新潮文庫, 309, 2009
- 3) 武田邦彦, 中島江梨香: 工学教育における実験・実習の今日的意味と新しい概念, 工学教育, 59巻1号, pp. 40-47, 2011
- 4) 深尾正: 電気工学学生実験改革への取組, 工学教育, 59巻1号, pp. 20-23, 2011
- 5) 山中昇, 立山義浩: PBLによる工作実験の新しい試み—テーマの選定とテキストの検討—, 都城工業高等専門学校研究報告, 41, pp. 93-100, 2007
- 6) 徳留将人: 工作実験方法の改善—切削仕上げ面粗さの測定—, 都城工業高等専門学校機械工学科平成22年度卒業論文, 2011
- 7) 都城工業高等専門学校機械工学科: 機械工学実験, 第9号(2010年度版), pp. 2-11-2-18, 2010
- 8) 桑原田聡, 中西賢二, 牟禮雄二, 松本泰道: 金属成形加工実験シミュレーション用モデル材料の開発, 塑性と加工, 51-593, pp. 582-586, 2010
- 9) 木原茂文, 三好峻佑, 白石光信, 新川真人: ダイス傾斜押出し加工法による湾曲棒の成形解析, 塑性と加工, 48-552, pp. 36-40, 2007
- 10) 橋本將哉: ワックスを用いたFGMモデルの作製とその変形特性, 都城工業高等専門学校機械工学科平成17年度卒業論文, 31, 2005
- 11) 海蔵類太, 重信亮太: ワックスを用いたFGMモデル製作の検討, 都城工業高等専門学校機械工学科平成16年度卒業論文, 21, 2004
- 12) 例えば, 阿部邦雄: 塑性加工, 朝倉書店, 21, 1984
- 13) 伊藤祐光, 加賀廣, 高橋裕男: 機械製作法(Ⅲ), 森北出版, 3, 1974
- 14) 加藤健三: 金属塑性加工学, 丸善, 212, 1971
- 15) 日本塑性加工学会: 塑性加工入門, コロナ社, 49, 2007
- 16) 内海能重, 吉田昌史: 塑性加工を学ぶ教材としての小型プレス機械の開発, 工学教育, 60巻4号, pp. 109-113, 2012
- 17) 文献14のP208
- 18) 日本塑性加工学会: 塑性加工入門, コロナ社, 51, 2007