

授業「材料加工学」補完実習4年間の取り組み

福森 勉^{*1}, 千田進幸^{*1}, 中木村雅史^{*1}, 皆川 清^{*1}, 佐藤一雄^{*2}

^{*1}名古屋大学 全学技術センター工学系技術支援室, ^{*2}名古屋大学工学研究科マイクロ工学専攻,

1. はじめに

名古屋大学工学部では、授業「材料加工学」を履修する学生を対象に補完実習を実施している。この実習は、近年、大学に入学する学生（機械工学系志望）の多くが、大学入学までの間に金属材料を加工した経験がないため、身近にある金属材料の種類やそれらの性質の違いを知らない。一方、大学の教科書¹⁾や教材などではすでに周知の基本的な前提事項として取り扱われている。これでは「材料加工学」などの加工系の授業に興味や関心を持たせ、知識を定着させることは難しい。このような状況のもと、授業担当教員からの要請により、授業とリンクする形式で金属加工の体験を行う実習を技術職員が企画・実施している。前身となる、メタルクラフト実習²⁾を平成14年度から5年間実施した。平成19年より内容を一新し、授業で取り扱う内容に踏み込んだ補完実習を企画・実施している。特徴として、体験することを重視しており高度な実験装置を使用せず、創造工学センターにある機具や測定器を用いている。試験片や装置の一部（治具）は技術職員が既存の工具を改造したりして製作している。実習内容も、毎年終了後に教員と反省点や問題点について協議し、次年度の実習に改善を加えながら実施している。近年、授業と間をおかずに実験・実習で検証し教育効果を高める試みは、レクチャー・ラボ³⁾などの名称で他大学⁴⁾においても行なわれている。本稿では、京都大学総合技術研究会発表⁵⁾につづき、4年間を経てようやく確立された補完実習の取り組み、修正箇所、成果をまとめて紹介する。

2. 実習方法

本実習では、授業の前半で学習する「弾塑性変形」、「加工硬化」、「塑性加工熱」の3項目について理解を深め、次の操作、現象の確認ができることを期待した。(a)公称応力-公称ひずみ線図、真応力-真ひずみ線図が描ける。(b)加工硬化指数(n値)が導ける。(c)真応力-真ひずみ線図を使えば引張・圧縮特性が同じ線図で描ける。(d)塑性変形に要した外部仕事は、加工熱に変換される。以下に実習内容を説明する。

(1) アルミニウムのO材とH材の弾塑性変形特性を比較する

バイスロ金を改造した専用治具を取り付け、A1070材の硬質材(H材)とおよび軟質材(O材)試験片(最小断面の厚み:2mm 幅:5mm 長さ:30mm)の2種類について引張試験を行う。引張力はバイスハンドルにばねばかりを取り付けて回転トルクを計測し、この値からネジの摩擦が無いものとして計算した。伸びはデジタルノギスで計測し、荷重-伸びのデータを採る。なお、試験片は自作で、熱処理は、電気炉により430℃で90分加熱後、炉冷(除冷)した。

(2) 手動油圧プレス機を使った圧縮試験と加工硬化の検証

手動油圧プレス機を用いて、円柱試験片(直径:10mm 高さ:10mm)の圧縮試験を行い、荷重、試験片高さ、外形のデータを採る。このデータから、公称ひずみ、公称応力、真ひずみ、および真応力を計算し、真応力-真ひずみ線図を描き加工硬化指数(n値)を求める。本実習の試験材は、初年度は銅材で行なったが平成20年度の見直しにより(1)の実習と整合性をはかるためアルミニウム材(A1070)のO材、H材に変更した。本実習の注意点として、試験片と工具面の摩擦力を低減し、均一な伸び性を得るために二硫化モリブデンプレーを塗布して行なっている。

次に、加工硬化を検証するため、前記で圧縮した試験片と非圧縮試験片にそれぞれ直径3mmの硬球を等荷重押し込み実験を行い、マイクロスコープを用いて圧痕径の大きさの比較し、硬さの違いを確認する。

(3) 弾塑性変形および加工熱の検証



図 1. 弾塑性変形の検証



図 2. 圧縮試験と加工硬化

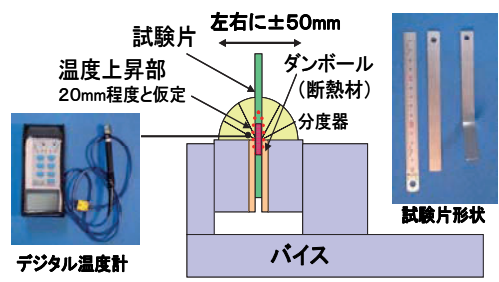


図 3. 弾塑性変形と加工熱

バイスに固定した SUS304 (厚み: 2mm 幅: 15mm 長さ: 150mm) の帯板の曲げ角度の戻り量から弾性・塑性変形の違いを認識させる。曲げか角度は分度器の描かれたポードを用いて、一方、曲げ力はばねばかりを用いて計測する。帯板を手で繰り返し曲げて、帯板曲がり部分の温度上昇を熱伝対を用いて計測する。手で行った仕事すべて熱に変換されたものと仮定して、その温度上昇を計算し、理論値と比較考察させる。この実験の注意点として、試験片は熱伝導性の低い材料を (SUS 板) 用いること。バイス口金と試験片の帯板との間には断熱材を挟むこと、および短時間で素早く行うことが必要である。

3. データの整理とレポート

計測誤差が大きい実験であるため、実習終了後に、データ整理とグラフ化について、その手順を詳しく説明している。「データを表にまとめる」「データを使って計算から、公称応力・公称ひずみ、真応力・真ひずみ、加工熱など各値を求める」「グラフ化する」「現象から法則性を考察する」「理論値との違いを考察する」という一連のプロセスをたどってレポートにまとめさせる。提出させたレポートは教員と技術職員が内容を確認し、それぞれコメントを添えて返却している。

4. 各年度の見直し箇所と実験手法の変更

平成 19 年度から平成 20 年度への見直し箇所は、(2)圧縮試験の試験片材質を(1)引張試験との整合性をはかるため、銅材からアルミ材に変更した。これによりデータ処理に真応力-真ひずみ線図を加え引張試験と圧縮試験の両方から n 値を求め比較してもらうことにした。(3)塑性加工熱の実験では、温度センサプローブを熱容量の小さいタイプに変更することで、加工中連続して計測し温度変化を確認できるようにした。平成 21 年度の見直しでは、各実習グループ間で最も測定データにバラつきが大きかった、(1)引張試験の荷重計測を、ばねばかりによる方法からバイス口金部に取り付けたロードセルと動ひずみ計による電気的計測に変更した。これにより、手動による体感部分を残しながら、データのバラつきを大きく改善することができた。

表 1. 3 年間の実施結果と見直し箇所

		平成19年度	平成20年度	平成21年度/22年度
(1) 引張試験	材料	Al (A1070) の H 材, O 材		
	力計測法	ばねばかりによるトルク計算		ロードセルによる直接測定
	実習項目	荷重-伸び線図 真応力-公称ひずみ線図	荷重-伸び線図 真応力-公称ひずみ線図	真応力-公称ひずみ線図 真応力-真ひずみ線図→n値の計算(圧縮と比較)
(2) 圧縮試験 加工硬化	材料	Cu丸棒(φ10×10 mm)	Al (A1070) の H 材, O 材 (φ10×10 mm)	
	実習項目	荷重-変位線図 真応力-真ひずみ→n値	荷重-変位線図 真応力-公称ひずみ線図 真応力-真ひずみ線図→n値の計算(引張と比較)	
	観察法	圧痕観察 マイクロスコープ		顕微鏡/マイクロスコープ(平成 21 / 22年度)
(3) 塑性加工熱	材料	SUS 304 帯板 (2×150×20 mm)		
	実習項目	加工後センサをあてて測定	加工中に連続測定 (熱容量の小さい高感度温度センサ)	
受講者・評価	受講者レポート	17 名/約95名 (事前有り, 終了後回収率100%)	25 名 / 約95名 (事前無し, 終了後回収率56%)	28 名 (申込者32名) / 36名 / 約95名 (事前無し, 終了後回収率 89% / 81%)
	期末試験	平均点とヒストグラムの比較, レポート内容	実習関連問題と非関連問題で効果を確認 平均点と分布図, レポート内容	

表1は、4年間の実施結果と見直し箇所を表にまとめたものである。(平成22年度については、21年度と同じ内容で実施した。)本実習は希望者を対象に企画しており、毎年、授業履修95名程度に対して40名の募集枠で準備している。平成19年度の受講者数は17名であった。予定数より少なかった理由としては、実習参加の条件として、実習方法を考えるという事前レポートを課したことが考えられる。平成20年度より事前レポートを廃止して募集を行っている。平成20年度は25名の受講者、平成21年度は28名(申込者32名)、と増えてきている。平成21年度の場合、申込者数と受講者数に違いがあるのは、実習会場の案内に不備があり、当日受講できなかった者がいるためである。平成22年度については36名が受講し、毎年着実に参加者が増加しており見直しの成果によるものと考えている。

5. 受講者の期末試験結果の分析と補完実習の成果

平成19年度は、総合得点ヒストグラムと平均点について、補完実習受講者と未受講者間の比較を行ったが顕著な差がなかったことから、さらに詳細に実習の効果を分析する必要があると考え、実習内容に関連する問題と非関連問題間に分けて得点結果を比較することとした。なお、試験は記述式で、「慣用ひずみ ϵ と真ひずみ ϵ の定義」、「材料試験で得られる n 値についての定義と物理的意味」などを問う問題を関連事項として出題した。図4は、平成20年度期末試験における補完実習受講者と未受講者の得点分散図および平均点を示している。縦軸に実習関連問題30点、横軸に非関連問題70点の合わせて100点とし、一人ひとりの得点をプロットしたものである。グラフ上の直線は、受講者と未受講者の近似直線であり、破線の交点が平均点である。楕円は、分布の特徴を比較しやすくするため、各平均点を中心に縦軸(関連問題)方向に ± 8 点、横軸(非関連問題)方向に ± 20 点を結び各近似直線の傾きに合わせたものである。(関連問題と非関連問題出題の比を考慮した)この結果から、受講者の分布が未受講者の分布の上側(縦軸方向)にあることがわかる。したがって関連問題については補完実習の効果が出ていることが判る。また、前年同様に受講者は成績が普通レベルの者が多いこと、成績が特に優秀な者は未受講者に多く、補完実習を受けなくても高得点を得ていることがわかった。図5は、平成21年度期末試験の受講者と未受講者の得点分散図および平均点結果である。期末試験における関連問題の出題比率が平成21年度より38点/100点高くなったため、受講者の関連問題についての平均点の差は平成20年度より大きく、非関連問題においても高くなっている。

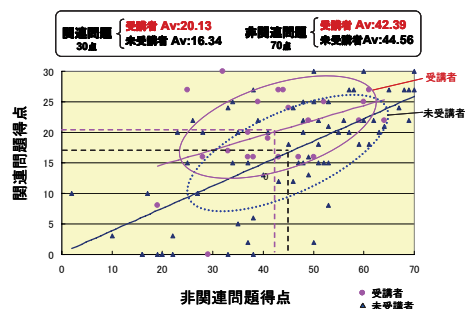


図4. 平成20年度期末試験結果

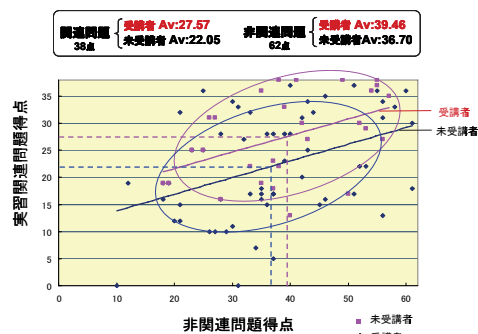
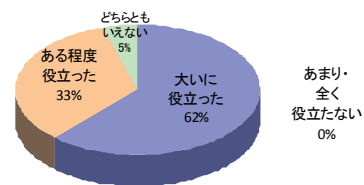


図5. 平成21年度期末試験結果

実習が授業の理解に役立ちましたか？



実習で理解が深まった用語は何か？

- 弾性10%
- 塑性14%
- 一様伸び 0%
- 最大荷重24%
- n 値76%
- くびれ43%
- 塑性仕事 0%
- (塑性エネルギー)
- 真ひずみ43%
- 真応力52%
- ボイド 0%
- 相当ひずみ 5%
- 相当応力 5%
- O材81%
- H材81%

6. アンケート結果とまとめ

図6は、平成21年度の実習終了後のアンケート結果を示している。補完実習が「授業の理解役立ったか？」の問いに、「大いに役立った」62%、「ある程度役立った」33%、「どちらともいえない」5%、「あまり役立たない」「全く役立たない」は0%と否定的な意見はなく、4年間を通して大きな変化はみられなかった。

図6. アンケート結果 (平成21年度)

次に、この実習で「理解が深まった技術用語は何か？」について訊ねたところ、「O材」、「H材」、「 n 値」という

回答が多かった。平成 22 年度は、前年度 0% の回答であった「一様伸び」、「塑性仕事」、「ボイド」の用語について、実習中および終了後の解説で重点的に説明したところ「一様伸び」9%、「塑性仕事」30%、「ボイド」76%と大きく改善がみられた。（平成 22 年度アンケート結果は現在集計途中である。）

コメントとしては、「同じに見えるアルミ O 材と H 材でも降伏応力に大きな違いがあること」、「手で変形させて金属に加えた仕事で温度上昇することなど体感できた」と答えており、本実習が目的とする、実際に金属材料に触れて体感してもらうという意図は伝わったものと考えられる。

本実習の目的のひとつは、金属加工の経験のない学生に体感的に金属材料の特性を理解させ授業に興味を持ってもらうことにある。実習終了後のアンケート結果は 4 年間を通じて受講者のほぼ全員が、程度の差はあるが授業の理解に役立ったと回答している。理解の深まった技術用語の意味として「O 材」「H 材」「n 値」「対数ひずみ」を挙げている。また、コメントから「授業では文字とスライドによる説明のためよく理解できなかったが、実際に見たり触ったりしたことで理解し易くなった」「測定データをもとにグラフを描いたり、値を出すことは大変であったがその分、理解が深まった」などの意見が多くあった。以上の結果からこの補完実習内容が学生に受け入れられ授業への関心・意欲向上の一端となっているものと考えられる。

期末試験の結果は、関連問題と非関連問題を比較することで教育的成果を検証することができた。実習の受講者は、関連問題の得点では高いが、非関連問題の得点では低い。実習で取り扱わなかった事項にも興味や関心を持たせ、教科全体として総合的な理解力の向上につながるような指導方法をめざす必要がある。さらに、この実習の間接的な目的として考えている、実験、データの収集、データの処理、グラフ化、および規則性・法則性の確認などの一連の作業体験が、今後の卒業研究や大学院での研究活動に活かされることを期待している。

7. あとがき

補完実習は、教員と技術職員の連携のもと試行錯誤しながら改良を加え行なってきた。見直しを繰り返しながら、4 年目を向かえようやく実習手法も確立し、実習の進行も円滑に行なえるようになった。指導や説明にも慣れ、学生との意思疎通がはかれるようになってきた。この実習が学生にとってより有意義なものとなるようにさらに進化・改善させていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 吉田総仁, 篠崎賢二, 京極秀樹, 山根八洲男: 機械技術者のための材料加工学入門, 共立出版社
- 2) 千田進幸, 松浦英雄, 福森 勉, 松室昭仁: 大学 1, 2 年生のための感性・創造実習やじろべ製作, 工学教育 Vo153, no. 1 pp53-56 (2005)
- 3) 岩附信行, (東京工業大学) : レクチャー・ラボ統合型授業に基づく機械工学カリキュラム, 平成 20 年度工学教育 連合講演会講演予稿集, pp11-23 (2008)
- 4) 石川明克, 杉本十太郎, (東京大学) : 学部 2 年生対象「材料の変形と破壊」実験, 平成 19 年度実験・実習技術研究会報告集, pp41-46 2008.3 徳島大学
- 5) 福森 勉, 千田進幸, 中木村雅史, 佐藤一雄: 授業「材料加工学」とリンクした補完実習の企画と実践, 平成 20 年度 京都大学総合技術研究会 報告集第 II 分冊, pp178-179
- 6) 福森 勉, 千田進幸, 中木村雅史, 佐藤一雄: 体験実習付き授業プログラムの構築と実践, 平成 21 年度工学・工学教育研究講演会 講演論文集, pp184-185 2009.8