

機械実習 I からの報告 (引張試験) - 学生実験・実習で心がけていること -

Report of tensile test in mechanical engineering practical training I - Guidance for student experiment and training -

平賀 保博 ・ 鈴木 賢治
Yasuhiro HIRAGA and Kenji SUZUKI

Key words : lathe machining, heat treatment, tensile test, group working

1. はじめに

新潟大学教育学部技術科では、学部2年生を対象に、必修科目として「機械実習 I」を開講している。実習を通して材料の性質への認識を深め、また、実際の機械の挙動を解析し機械を支配する力学を学ぶことをねらいとする¹⁾。学習指導要領では、「A材料と加工に関する技術」の内容が示されており²⁾、そのため、材料の特徴を理解し、それを基礎として授業実践する能力を養わなければならない。

学生は構造材料(力を受け持つ材料)について高校で学ぶ機会はなく、技術科教育専修の2年次ではじめて学習する。また、材料についての学習の機会は、この2年次前期の半年しかなく、貴重な学習と位置づけている。炭素鋼の熱処理とその引張試験を実際に体験することは大学でしかできないし、学校現場に行っても学ぶことはできない。教員養成段階でしか習得できないことと、学校現場で習得できることを明確に区別し、教員養成段階でしかできないことをしっかり学習することが大切である。

本稿では、機械実習について長年の教育実践を重ね、改善してきた機械実習の引張試験に関する実習内容と指導について報告する。

2. 試験片の作成

実習の第1週は、炭素鋼S45C(炭素0.45%含有)の引張試験用試験片を3本作成する。図1に試験片製作図を示す³⁾。

試験片の作成は旋盤とボール盤を使用して行う。多くの学生は高等学校普通科を卒業した学生である。工作機械を見るのも触れるのも初めての学生も多い。これらの機械は大きな動力により動いており、操作を間違えれば事故につながる。したがって、安全に対する意識を持たせるために、作業の前に安全に関する指導と機械操作の説明を行う。作業に適した服装の確認と、やってはいけない危険な行為についての説明をする。安全の心得が理解できたところで、実際にレバーやハンドルを操作させ、操作方法を体で理解させる。危険であることを知らないことが最も危険であり、機械の仕組みと操作を正しく知らなければ、安全な作業は期待できない。

学生の体調についても配慮しておかなければならない。もし、作業中の学生が貧血を起こし、高速で

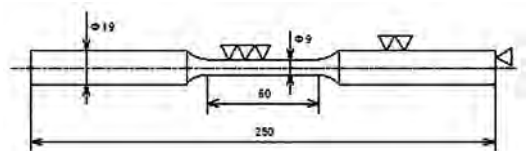


図1：試験片製作図



図2：試験片の作成作業

動く機械の上に倒れてしまうなら、大事故につながる。夜更かしによる寝不足や、朝食をとらない等、私生活が乱れた学生も見られる。作業開始時の体調の確認だけでなく、実習中の学生の体調変化についても注意を払うように心がけている。

作業の段階では次の点を指導する。1) 全ての機械の操作は必ず作業者のみが行う。2) 作業者が誤った操作を行う時は、作業を行わない周りの者が誤りを指摘する。3) 機械の運転中は作業に専念する。旋盤の自動送りを使用するときは、自動送り操作レバーから手を離さない。

作業者以外の機械への関与は、不意に作業者が機械を起動した時に危険である。そのため、機械の操作は作業者が責任を持って行わなければならない。また、作業者が誤った操作を行おうとしているならば、即座にその誤りを指摘できるように、作業者以外の者は目で作業に参加していなければならない。全員が作業に専念し、トラブルを未然に防ぐように意識させている。

学生の作業の実際は、初めての経験ということもあり、腰が引けている学生がほとんどである。レバーやハンドルの基本操作についての理解をしても、そこに加工がともなうと、混乱する学生もいる。混乱を起こすこれらの学生は、同時に複数のレバーやハンドルを両手で触る傾向がある。そのような学生には、1つのレバーやハンドルのみを、両手で触れて操作するように指導する。複数のハンドルを同時に操作させないことにより、バイトを動かす方向を1方向に限定し、バイトの動きに集中させる。

旋盤加工で重要なことは、適切な切削条件を決めることである。切削条件とは、主軸（工作物）の回転数、バイトの送り（移動）量、切り込み量（バイトの工作物への切り込み深さ）の3つであるが、こ



図3：完成した試験片

れら3つの条件を適切に決めなければ、正しい加工ができなればかりか、作業中の危険も増すことになる。正しい加工ができなければ、作業時間のロスをまねき、実習時間内に全ての作業が終わらない。教員を目指す学生は、全ての作業は授業時間内に終わらせる、そういう意識を学生のうちから身につけてほしいと願う。慣れないレバーやハンドルの操作に頭がいっぱいの学生に、いかにこの事を意識させながら作業を行わせるかが難しい。図2に試験片作成の様子を、図3に完成した試験片を示す。

3. 試験片の熱処理

実習第2週は、完成した3本の試験片について、それぞれ、焼鈍、焼入れ、焼戻しの3種類の熱処理を行う。温度の変化により、固体の中の結晶の形状が変化することを理解し、その結晶形状の変化により、同じ材料であっても、熱処理次第で材料の性質が変化することを学ぶ。

焼入れ材と焼戻し材用の2本の試験片を焼入れする。焼入れをするためには、オーステナイトの状態まで加熱して急冷しなければならない。S45C材の場合、必要な加熱温度は800℃を超える。火傷には注意する。試験片を金属製の細棒で吊り下げ、酸素-アセチレンバーナーを用いて加熱する。加熱される部分の温度の状態は、色により判断する。鉄は温度によって発する色が異なる。わずかに赤色が判る状態が約600℃であり、800℃-850℃では、明るい赤色となる。試験片を所定の温度まで加熱後、素早く水に潜らせ水焼入れの処理を行う。水焼入れは、必ず焼割れが生じるが、それも学習の一部である。また、焼割れを避けるには、油焼き入れが適切である。その場合は、高温の試験片を油に投入するため、火災には厳重な注意を要する。図4に焼入れ作業の様子を示す。



図4：試験片の熱処理作業

焼入れした試験片を再加熱することにより焼き戻しを行う。焼入れにより得られたマルテンサイト組織は硬くてもろい。焼き戻しをすることにより、硬さは低下するが粘さが増す。炉の中で500℃の温度を5分間保持し、炉から取り出し空冷する。

焼鈍は、加工により歪んだ結晶組織を再び結晶化し、均質な結晶組織に戻す。800℃の温度を15分間保持し、試験片を炉の中に入れてそのまま、炉の電源をOFFにする。炉が冷却する速度と同じ速度で炉冷する。

焼鈍材と焼き戻し材の熱処理は、電気炉で行う。炉の中に試験片を出し入れし、時間と温度の管理を行う。高温の炉の中への試験片の出し入れは、火傷の危険を伴う。炉から取り出す試験片も高温である。したがって、火傷について注意する。トラブルを起こさぬよう、事前に作業手順を理解させ、確認させる。

具体的には、作業前に各自の役割を明確に決める。炉の扉の開閉、試験片の出し入れ、時間の管理、温度の確認、記録担当、これらの担当を誰が行うのか明確にする。担当が決まれば、各自の作業を検討する。例えば、試験片の出し入れを担当する学生は、試験片を安定して掴み具で掴むには、どの部分を掴めば良いのか。炉に対してどの位置に、体の向きをどの向きに立てば、スムーズに試験片を誘導できるのかを検討する。不安定な掴みをし、肘や肩を捻りながら作業を行うならば、その姿には危険しか見当たらない。

一連の作業は、各担当の連携が不可欠であり、息を合わせた作業が求められる。全員で作業のシミュレーションを行い、手違いが無いかを確認しあう。入念な準備は、作業に対する不安を軽減し、効率的な作業を可能とする。確認を密にすることにより、

トラブルが起きないように心がけている。

4. 引張試験機

引張試験は、材料試験機(高津製作所製 オートグラフ AG-10TB)を用いて行う。本試験機は1989年に購入され、制御部のパソコンは5インチフロッピーディスク・ドライブを備えたPC-9801VMであった。OSはフロッピーディスクから起動するN88-DISK-BASICであった。2006年にフロッピーディスク・ドライブの故障により、システムの起動が困難となった。このため、OSにMS-DOSを採用し、シリコンディスク起動のシステムに更新した⁴⁾。さらに、2015年、制御部のチャート式記録計の故障により、荷重と変位の記録ができなくなった。現在は外部XYプロッターを調達し、学生実験を行っている。図5に現在の試験機システムを示す。クロスヘッドの上部にロードセル(荷重検出器)が固定されている。さらにその下部には試験片を掴むチャックが連結されていて、試験片の上部を固定する。試験片下部もチャックに固定する。試験機本体の左右のボールネジによりクロスヘッドを上下させ、試験片は荷重される。試験片にかかる荷重は、ロードセルにより検出し、試験機制御部に送られる。試験片の変位は、クロスヘッド上部に取り付けられた変位計から動ひずみ計へと送られる。これらの測定データは、XYプロッターに送られて、X軸にクロスヘッドの変位を、Y軸に荷重を入力することにより、実験結果(荷重-伸び曲線)が連続的に表示される。

コンピュータがすべて処理してディスプレイに表示するより、前述のように荷重と変位をそれぞれ実際に測定してプロッターで記録するアナログ方式の方が、学生には理解しやすい。フルオートの計測は、学生の理解につながらない。

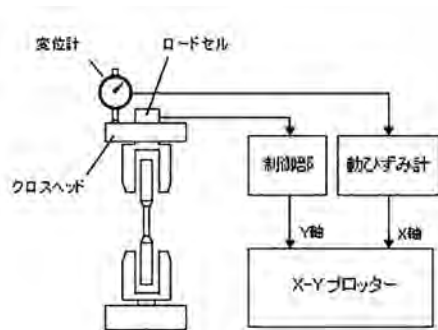


図5：現在の試験機システム

5. 引張試験

実習の第3週は、引張試験を行う。熱処理により得られた3種類の試験片（焼鈍材、焼入れ材、焼戻し材）について引張試験を行い、降伏点、引張強さ、伸び、断面縮率を測定する。それぞれの材料により、機械的性質や破断に至るまでの過程に違いがある。破断後の破面の形状にも違いがある。これらの違いについて実験によって確かめる。

実験は、事前の準備（予習）が大切であり、実験の良し悪しは事前の準備によって決まる。学生は、実験前に実験の理解度について教員のチェックを受ける。学生の中には、準備が不十分なため、実習中にもかかわらず、書を求めて慌てて図書館に走る者もいる。これでは実験は行えない。実験の準備が整うまでは、翌週、翌々週へと延期される班もある。

教員によるチェックは、実験の理解度の確認だけではない。班のメンバー全員が、実験の理解をしているかも試される。1人の学生に準備を任せきりの班もある。班活動における共同作業は、仕事を分散することではないし、また、誰かに丸投げするためにあるのではない。班のメンバーに、実験内容の理解ができていない学生がいるならば、皆でその学生の理解の助けにならなければならない。班の全てのメンバーが準備をして実験に臨むことが求められる。

一方、教員と職員の準備は力仕事である。実習の前日に、引張試験機の荷重検定と、XYプロッターをセットして翌日に備える。荷重検定は、専用治具に重さ10kgの重錘を1つずつ載せていく。試験機が、正しく荷重を検知することが確認できるまで、重錘の載せ降ろしを繰り返す。実験本番で、試験片

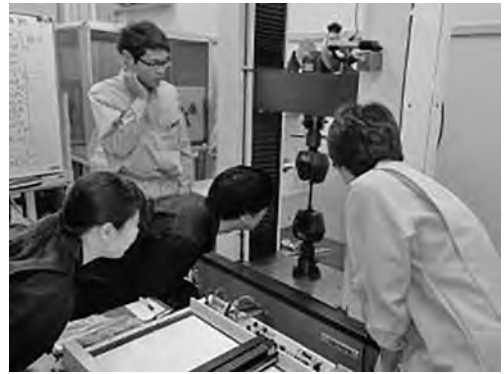


図6：試験片の引張試験

に正しい荷重をかけるために行う大事な作業である。試験機の準備が整わなければ、実験の準備をしてきた学生に申し訳が立たない。力仕事は大変であるが、慎重に行う。

実験は、学生が準備した実験データを基に、引張速度、最大荷重、試験時間の条件を試験機にセットして開始する。試験片の破断後は、得られたデータを整理する。データに間違いが無いことを確認するまでは、次の試験片の引張試験は開始しない。教員による実験データのチェックを受けてから、次の試験片の引張試験に進む。計算ミスをする者や、単位の変換に苦戦する班もある。間違いが無い事を確認し、確認が取れたら次に進むということを心がけている。

学生と教職員の準備により、引張試験を行うことができた。引張試験の様子を図6に示し、図7に破断した試験片を示す。図7(b), (c)に示すように、焼入れ、焼戻し材は水焼入れの際に焼割れが生じる。焼割れが生じるメカニズムを考えることで、変態に



(a) 焼鈍材



(b) 焼入れ材



(c) 焼戻し材

図7：破断した試験片の破断面

よる体積変化を知ることができ、その変態の位置と時間の差により焼割れが生じることを学習する。しかし、焼戻し材では、焼割れが原因で本来の強度を示す前に破断してしまう。そのため、図(c)の破断面をみるは、あたかも焼入れ材のような様相を呈している。熱処理の実習では、焼戻し材の急冷には油を使用することが、熱処理として理想的と考えられる。また、熱処理の教育のためには、油焼入れの作業も経験しておくことも大切である。ただし、高温に加熱された試験片を油に投入することは、火災発生の防止と安全に十分に配慮する必要がある。

6. まとめ

機械実習 I 材料強度試験の様子を紹介し、実習で心がけていることについてを述べた。

実習を行う主体者は学生である。学生による予習と事前の準備により、実習を安全に行うことができた。良い仕事のためには、事前の準備が重要であることを学生が理解したと考える。是非、教育実習や他の実験・実習においても、事前の準備に力をいれて臨んでいただきたい。

実習を安全に実施することは大前提である。安全への第一歩は確認であり、本実習では、確認を密にすることにより安全を保つことができた。幸いにも、今までに本実習では事故は起きていない。今後も継続していかなくてはならない。

謝 辞

本稿を成すにあたり、機械実習 I に取り組む学生諸君に協力いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 新潟大学2016年度シラバス, 機械実習 I
- 2) 文部科学省, 中学校学習指導要領, p. 85, (2010).
- 3) <http://kikai.ed.niigata-u.ac.jp/text/tensile.pdf>
- 4) 鈴木賢治, 平賀保博, “経年化した装置制御部の再生手法”, 新潟大学教育学部研究紀要, 自然科学編, Vol. 1, No.1, pp. 45-50 (2008-10).