

機械製作実習

実施テーマ① CAD/CAM システム

実習日 令和 6 年 4 月 24 日

実習日 令和 6 年 5 月 1 日

実施テーマ② 旋盤作業（軸の製作）

実習日 令和 6 年 5 月 8 日

実習日 令和 6 年 4 月 15 日

実施テーマ③ ボール盤・コンターマシーン

実習日 令和 6 年 5 月 22 日

実習日 令和 6 年 5 月 29 日

実施テーマ④ フライス盤作業・測定作業

実習日 令和 6 年 6 月 5 日

実習日 令和 6 年 6 月 12 日

実施テーマ⑤ 被覆アーク溶接

実習日 令和 6 年 6 月 19 日

実習日 令和 6 年 6 月 26 日

実施テーマ⑥ 測定・組立・評価

実習日 令和 6 年 7 月 3 日

提出日 令和 6 年 7 月 24 日

学籍番号

氏 名

1. はじめに (CAD/CAM)

1.1 CAD とは

従来、設計者の手によって行われていた設計から図面を描く作業が、コンピュータを利用することによって容易に行うことができ、修正や変更などの作業も作成されたデータをもとにして、短時間で効率よくできるようになった。このシステムを CAD(computer aided design ; コンピュータ採用設計)という。2次元あるいは3次元表示で部品や製品の確認あるいは修正ができるため、様々な設計作業に利用され、産業界において重要な役割を担っている。¹⁾

1.2 CAM とは

CAM(computer aided manufacturing)は、コンピュータ援用製造といい、NCデータの作成からNC工作機械による製作までの過程を、コンピュータとCAMソフトを使用して行うシステムである。現在は、設計、CADによる形状モデルの作成、NCプログラムの作成、NC工作機械による加工といった過程を統合して行うCAD/CAMシステムが産業界において広く利用されている。²⁾

2. レポート課題 (CAD/CAM)

2.1 CAD/CAMを導入する前と導入した後で設計・製作がどのように変化をするか述べて。

1.で述べたCADとCAMを組み合わせたものがCAD/CAMである。以前まで、CAD/CAMはそれぞれ独立して発展し、生産現場の中でもCADとCAMは別々の役割をもって利用されてきた。そのため、CADにより製品の図面が作成され、それを元に改めてCAMソフトにより加工が行える形状を作成することによって、加工データを生成してきた。現在、生産現場では、設計から生産までの工程に、CAD/CAMの機能を統合したCAD/CAMシステムが多く利用されている。³⁾ CAD/CAMシステムに製品の力学解析や、シミュレーションの機能(CAE)が加わったCAD/CAMシステムの統合が進められ、設計から生産までの時間の短縮と共に、設計技術や加工精度がさらに進歩する。それによって、CADでの製図を行い、そのまま同じソフト内でCAMを使ってNCプログラムを作成することが可能である。

ここでは、CAD/CAMを導入する前と導入した後で設計・製作がどのように変化をするのかについて述べる。CAD/CAMを導入する前は手書きの図面が主流であり、その手書き図面を見ながら人間が工作機械を実際に操作して加工を行っていた。また、マシニングセンタ等のプログラム可能なものも人間が1から加工方法を考慮してNCプログラムを考えていた。CAD/CAMを導入することによって図面を描き、切削条件等を入力することによって、自動的にNCプログラムデータを生成することが可能である。それによって、人間が今まで行っていた複雑な加工もコンピュータによって、容易に行うことが可能であり、作業効率や加工の正確性も大幅に向上する。特にCAD/CAMを導入することの1番の利点としては、PC上で動作のシミュレーションを行うことができることである。これによって、実際に工作機械で加工をする前に機械の動作や仕上がりを確認することができるため、ミスを大幅に減らせる。このシミュレーションでPC上に出力されたものは、実際の加工と遜色なく、シミュレーションで出力された通りに実際の加工でも全く同じものができる。さらに、PCを使うため、プログラムの保存が可能であり、過去の図面の修正も容易に行える。また加工時間の見通しも立てることが容易であり、会社での顧客納期の調整が容易であることも挙げられる。

これらのように、CAD/CAMを導入することによって、作業効率や精度の向上、ミスの減少等の多くの利点がもたらされ、導入する前に比べて大幅に品質や生産性の向上に繋がると考えられる。

3. 参考文献(CAD/CAM)

- 1) 嵯峨常生 中西祐二, 「新版機械実習 2」, p289, 実教出版株式会社
- 2) 嵯峨常生 中西祐二, 「新版機械実習 2」, p298, 実教出版株式会社
- 3) 嵯峨常生 中西祐二, 「新版機械実習 2」, p299, 実教出版株式会社

4. はじめに（旋盤作業）

4.1 旋盤作業のあらまし

旋盤は、工作機械の中で最も多く使われている。18 世紀の産業革命時代、蒸気機関の発明・発展により工作機械が進歩した頃、イギリス人のモーズレイが発明した。

工作物を固定して回転させ、刃物台に取り付けたバイトに切り込みと送りを与えて切削する。基本的な切削作業は図 1（機械製作実習テキスト p.12 より引用）に示す。図 1 のように、主として断面を円形にするのが目的である¹⁾。特に、外周部や断面部分を加工する作業が多く、工作物の取り付けや切削工具の種類と使い方によって、広範囲の作業が行える。

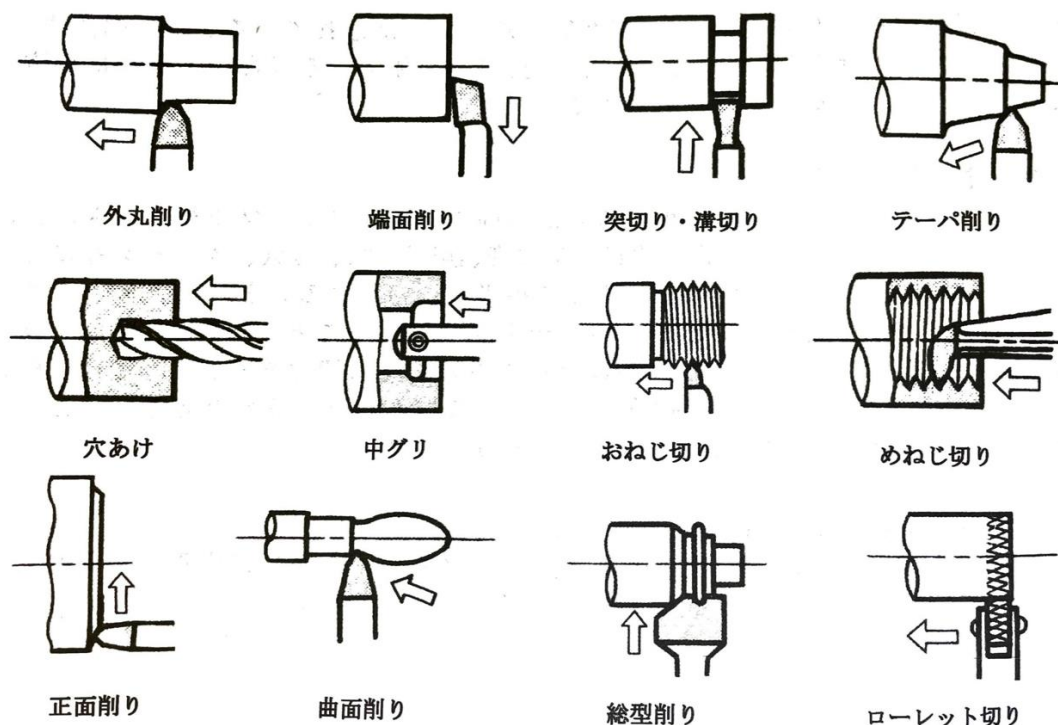


図 1 旋盤の基本的切削作業

旋盤作業は、工作物が高速で回転するため、工作物の取り付けには十分な注意が必要である。そのために、工作物の形状、加工部分、加工工程によって、適切に取り付けが行われるように、各種の工具・付属品あるいは特別な装置などが使用される¹⁾。

4.2 旋盤の主要部構造と機能

旋盤には、作業に応じた構造を持つ多種多様の種類がある。一般的には、旋盤というと普通旋盤のことをいう。普通旋盤は、各種の旋盤の中でも特に作業の領域が広い汎用工作機械で、工作機械の基本構造と機能を持っている。

図 2（新版機械実習 1 P221 より引用）に示すように、旋盤の主要部分は、主軸台・心押台・往復台・送り機構・ベッドと脚に分けられる²⁾。

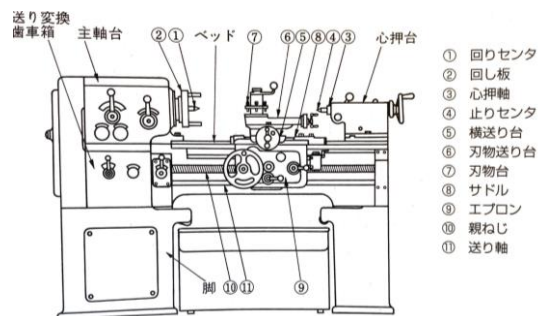


図 2 旋盤の主要部名称

5. 作業工程・注意事項（旋盤作業）

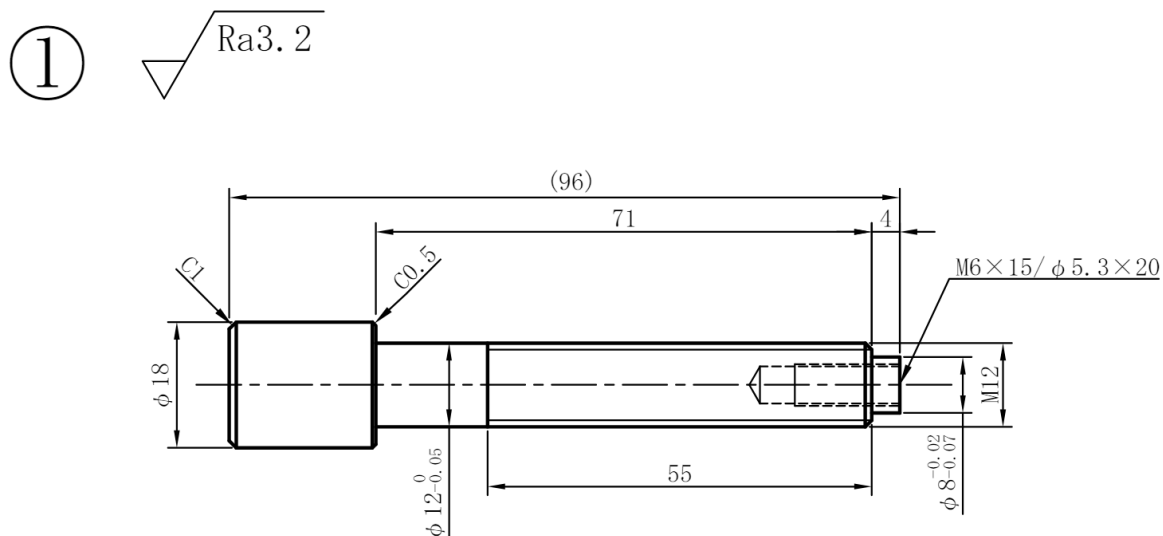


図3 旋盤で加工するための図面

本実習では、上記の図3に示す図面を参考にして、工作物（丸棒）を旋盤を用いて、加工を行った。図3の寸法になるように一つ一つ作業を行っていった。その際のそれぞれの作業手順を以下に示す。

5.1 外丸削り

ここでは、図4（meviyより引用）に示すように外丸削りを行った。

外丸削りは、切削工具を使用して工作物の外側を切削すること³⁾をいい、旋盤加工の一番基本的な加工方法である。 $\phi 18$ の丸棒から $\phi 12$ （狙うは $\phi 11.85$ ）と $\phi 8$ （狙うは $\phi 7.90$ ）になるように削った。



図4 外丸加工

- ① 旋盤の機械操作・取り扱い、安全に操作するための注意事項についての説明を受けた。
- ② 旋盤の主電源を入れた。ここで、切削工具を刃物台に取り付けなければならないが、今回は事前に取り付けられていた。
- ③ 工作物をチャックにしっかり取り付けた。（今回丸棒の加工する端面側を 80mm は出るようにした。）
- ④ 刃物台送りハンドルを旋盤正面から見て、左側に目一杯動かなくなるまで回した。
- ⑤ ⑤の状態、縦送りハンドルをチャックの根元付近までチャックに当たらないギリギリの位置まで回して刃物台を移動させた。
- ⑥ ⑥の状態からチャックに取り付けた丸棒の端面の付近まで、刃物台送りハンドルを使って移動させた。これは刃物でしっかりと今回削るのに必要な寸法以上動かすことができるように、可動域を確保するためである。
- ⑦ 心押台のロックを外し、心押台の先端部分を固定した丸棒の端面の中心部分に当ててロックをし、ハンドル部を少し奥に押した。これは心押台のハンドルが振動によって、動かないようにするためである。
- ⑧ 回転速度を設定するために、ギアを A と E に合わせ、550(rpm)に設定した。
- ⑨ 起動レバーを正回転方向（右側から見て反時計回り方向）に回し、回転させた。

- ⑩ 刃物台送りハンドルと横送りハンドルのつまみを緩めた。
- ⑪ 刃物送り台ハンドルを回し、バイトを丸棒の端面に軽く当て、当たったら横送りハンドルを回して、手前側に逃がして、刃物送りハンドルの基準線に 0 を合わせて、緩めていたつまみを締め、0 点セットを行った。
- ⑫ 横送りハンドルを回し、バイトを軽く丸棒の側面に軽く当て、当たったら、刃物台送りハンドルを回して、正面から見て右に刃物を逃がし、横送りハンドルの基準線に 0 を合わせて、0 点セットを行った。
- ⑬ 0 点セットを行った後、横送りハンドルの目盛りを合わせた 0 点の位置から 1mm に基準線が合うように持って行った。これによって片肉 1mm、つまり計 2mm 削った。最終的に、18mm の直径の丸棒を 11.85mm まで端面切削を行った。
- ⑭ 次に同様の手順で丸棒の先端（図 3 の右端）の位置から 4mm 削り、その 4mm の部分の外径が 7.90mm となるように削った。

5.2 先端の穴あけ加工

ここでは、図 5（meviy より引用）に示すようにに先端の穴あけを行った。穴あけ加工は、回転する材料にドリルを押し当てて穴を開ける方法である。内径加工を行う際には、あらかじめ専用の工具が入る穴を開けておく必要があり、その際に穴あけ加工が用いられる⁴⁾。

穴あけ加工



図 5 穴あけ加工

- ① 旋盤での穴あけについての説明を受けた。
- ② 工作物をチャックに取り付けた。この時、穴をあける側（φ7.9 側）が刃物がある方に来るように、φ18 側の部分とφ12 の段差を利用してチャックの奥に少し落ちる所があるため、その部分に引っかかるようにして取り付けた。
- ③ 心押台のロックを外し、心押台の先端部分（すでにドリルが取り付けられていた）を工作物にある程度近づけた。
- ④ 旋盤の主電源を入れた。
- ⑤ 回転速度を設定するために、ギアを A と D に合わせ、1020(rpm)に設定した。
- ⑥ 起動レバーを正回転方向（右側から見て反時計回り方向）に回し、回転させた。
- ⑦ 心押台のハンドルを手前から見て奥に回し、先端のドリルと丸棒の端面の中心部分に当てた。
- ⑧ ⑦の当たった部分のハンドルの位置を覚え、心押台のハンドル 1 周分が 4mm であるため、5 周分つまり 20mm 分切り込んだ。この時、切りくずが出て、切りくずが詰まって上手く回すことができない可能性を考慮して、1/3 進んでちょっと戻すといった感じで回していった。
- ⑨ 心押台のハンドルを逆（手前）に回して、ドリルを穴から逃がした。
- ⑩ ブレーキを回転が止まるまで踏み、起動レバーを元の位置に戻し、ギアを中立にした。
- ⑪ 旋盤の主電源を切った。
- ⑫ 工作物をチャックから取り外した。

5.3 面取り

ここでは、図 6（株式会社ジーバックテクノロジーより引用）に示すように面取り加工を行った。

面取り加工は、何らかの加工で成形された素材の各部分を除去し、鋭利な部分をなくす加工のこと⁵⁾である。今回のような C0.5 のような C 面取りは、

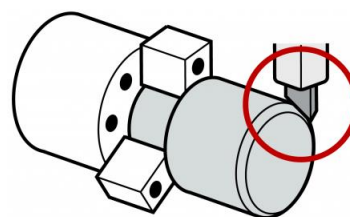


図 6 C 面取り

各部を斜め 45° に落とす加工のことであり、C が面取りを表し、0.5 が 0.5mm ということを表す。

- ① 旋盤での面取りの仕方についての説明を受けた。
- ② 工作物をチャックに取り付けた。この時、先ほどの 2.2 先端の穴あけとは、逆方向に $\phi 18$ 側が刃物側に向くようにし、 $\phi 12$ の部分の真ん中辺りをチャックでつかんで固定した。
- ③ 旋盤の主電源を入れた。
- ④ 回転速度を設定するために、ギアを B と D に合わせ、155(rpm)に設定した。
- ⑤ 面取り専用のバイトを刃物台に固定する必要があるが、今回は事前に取り付けられていた。
- ⑥ 起動レバーを正回転方向（右側から見て反時計回り方向）に回し、回転させた。
- ⑦ 刃物を C0.5 で面取りしたい部分に近づけて当てた。本来ならば、ここで 0 点セットをする必要があったが、今回は面取りに関しては精度が求められていなかったため、横送りハンドルの目盛りを当たった位置を自分で覚えておき、その位置から相対的に 0.5mm 回して C0.5 の面取りを行った。
- ⑧ 刃物を横送りハンドルを用いて逃がした。
- ⑨ ブレーキを回転が止まるまで踏み、起動レバーを元の位置に戻し、ギアを中立にした。
- ⑩ 旋盤の主電源を切った。
- ⑪ 工作物をチャックから取り外した。

5.4 穴のねじ切り（タップ加工）

ここでは図 7（旋盤市場より引用）に示す用にして、穴のねじ切り（タップ加工）を行った。

穴タップ加工とは⁹⁾、穴開け加工などによって開けられた穴（下穴）に雌ねじが入る筋を成形することで、螺旋状の切れ刃が付いているタップというねじ状の工具を使って穿孔されることからタップ加工と称されている。一般的に、タップ加工は材料を垂直に立て、タップを水平に回す方法でやることが多いが、今回は図 7 のようにして行った。

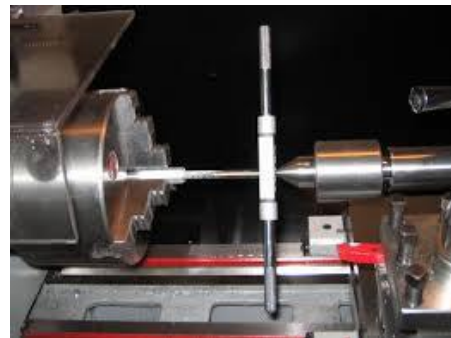


図 7 タップ加工

- ① タップを用いたねじ切りの仕方についての説明を受けた。
- ② 工作物をチャックに取り付けた。この時、2.2 先端の穴あけと同様にして、穴をあける側（ $\phi 7.9$ 側）が刃物がある方に来るように、 $\phi 18$ 側の部分と $\phi 12$ の段差を利用してチャックの奥に少し落ちる所があるため、その部分に引っかかるようにして取り付けた。また動かないようにしっかり締める必要がある。
- ③ ギアを B と E に合わせ、83(rpm)に設定した。この時、この作業では旋盤を回すことはないたため、主電源が切れていることを確認した。83(rpm)にわざわざ設定する理由は、タップを回した時に回し板が回転しないようにするためである。
- ④ 心押台の先端についているドリルを専用の工具で取り外した。
- ⑤ タップのドリルをチャックに固定した工作物の端面の中心に水平となるように当てた。
- ⑥ ④の状態、心押台のロックを外し、心押台のハンドルを回して心押台でタップを抑えるようにして、心押台のロックをした。
- ⑦ タップを奥（時計回り）に 2 周分回して、ねじを切った。この時、タップを回すと同時に心押台のハンドルも軽く回すことでやりやすくなる。
- ⑧ 2 周分回すことができたなら心押台のロックを外し、心押台を元あった位置に逃がした。
- ⑨ 引き続きタップを奥に回して、回すことができなくなる位置まで回した。

- ⑩ 回すことができなくなる位置まで回したら反対の向きに回して、戻しドリルを外した。
- ⑪ 工作物を取り外し、ねじが締まるかどうか確認した。

5.5 $\phi 12$ の部分のねじ切り（ダイス加工）

ここでは図 8（旋盤市場より引用）に示す用にして、外径のねじ切り（ダイス加工）を行った。

ダイスとは、おねじ加工を行うための工具である。ダイス加工は⁷⁾タップ加工と同様に、手動で行う場合は芯を出して加工するのが難しい。特にダイス加工の場合、タップと違いスコヤなどでまっすぐに挿入できているかを確認できないため、特に難しい作業である。またタップ加工に比べ、大きな力が必要である。

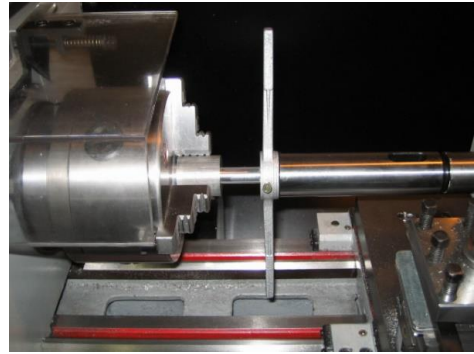


図 8 ダイス加工

- ① ダイスを用いたねじ切りの仕方についての説明を受けた。
- ② 工作物をチャックに取り付けた。この時、 $\phi 18$ 側の部分をすべて掴むような形で固定した。また、動かないように、しっかり締める必要がある。
- ③ ギアを B と E に合わせ、83(rpm)に設定した。この時、この作業では旋盤を回すことはないたため、主電源が切れていることを確認した。83(rpm)にわざわざ設定する理由は、ダイスを回した時に回し板が回転しないようにするためである。
- ④ ダイスの文字が書いている方向をチャック側に向けて工作物の $\phi 12$ の部分の右端に水平になるように当てた。
- ⑤ ④の状態、心押台のロックを外し、心押台のハンドルを回して心押台でダイスを抑えるようにして、心押台のロックをした。
- ⑥ タップを奥（時計回り）に 2 周分回して、ねじを切った。この時、タップを回すと同時に心押台のハンドルも軽く回すことでやりやすくなる。
- ⑦ 2.3 穴のねじ切りと違って、大きな力が必要となり、2.3 の時と同じようにやると回し板が回ってしまうため、ブレーキを踏んだ状態でダイスを回した。
- ⑧ 2 周分回すことができたなら心押台のロックを外し、心押台を元あった位置に逃がした。
- ⑨ 引き続きタップを奥に回して、回すことができなくなる位置まで回した。
- ⑩ 回すことができなくなる位置まで回したら反対の向きに回して、戻しドリルを外した。
- ⑪ 工作物を取り外し、ナットが締まるかどうか確認した。

6. レポート課題（旋盤作業）

6.1 旋盤は工作物（ワーク）を回転させて加工するが、ボール盤やフライス盤では刃物を回転させて加工する。それぞれのメリットとデメリットを述べよ。

一般的に、フライス盤は、刃物（工具）が回転し、工作物が固定される。一方で、旋盤においては、チャックに工作物を取り付けて、工作物を回転させ、刃物を押し当てるという形となっている。刃物が回転するか、工作物が回転するのかで削れるものと仕上がりは大きく変わってくる。これらについて、それぞれのメリット・デメリットを述べていく。

第一に、工作物が回転するメリットとして、刃部が常に工作物の一定の位置に接触するため、切りくずがリングの皮をむいたような形態で排出され、仕上がりが綺麗で高い精度の加工が可能⁸⁾である点が大きなメリットである。さらに送り量、切込み量、回転数等の切削条件を自由に設定することが可能で、使用する材料、工作物の形状に合わせて加工することができる。また、工作物を固定した状態で回転させるため、重心や遠心力による振れをなくすることができる⁸⁾。その反面、旋盤

加工では工作物が回転するため、主に円筒状のものや回転対象になる部品（材料）の加工に限られてしまい、その他の形状（四角い形状や非回転対象等）の加工をするのには不向きである。そして、用途によって、人間の手により工作物の用途ごとに工具を交換しなければならないため、一つの製品を作り上げるのに時間がかかってしまい、大量生産には向かない。そういったことを解決するために、NC 旋盤というプログラムによって自動的に工具交換等を行い加工してくれるものが出てきたようである。さらに、チャックでつかむことのできない大型な工作物になると固定が難しいことに加え、大型なものだと安定して回転させることが困難となってしまうという問題もある。

第二に、刃物が回転し、工作物が固定するフライス加工のメリットとして、平面加工や曲面加工、穴あけや溝削り等の多様な複雑な形状を加工することが可能（旋盤はほとんどが円筒状のものが対象）である。それに加え、工作物を回転させないため大型な形状のものでも加工することが可能であり、工作物の固定の仕方によって、異なる面等の加工も可能で用途によって使い分けることが可能である。さらに、旋盤はバイトと単一の工具に限られるが、フライス盤はエンドミル、フライスカッター、ドリル等の多くの種類の工具の付け替えが可能であり、幅広い加工が可能であるのだ。その反面、加工しにくい形状も存在する。特に、三角形状のものは加工がしにくく、全辺三角形の加工は厳しいようである⁹⁾。また、刃物が高速で回転して、固定している工作物に当てるため、加工する際の騒音や振動が目立つ。

以上のように、旋盤は工作物を回転させることによって高精度な円形加工が可能であり、フライス盤は刃物を回転させることで平面加工や曲面加工、穴あけ、溝削り等の複数の加工ができ、複雑な形状の加工が可能である。どちらを使用するかは、加工する工作物の用途に応じて、それぞれのメリットを生かすことができるように、臨機応変に選択していく必要があると考える。

6.2 下記の事例は実際に発生した事故である。事故の原因を予想し対策を述べよ。

●事例

普通旋盤を使用して部品を製造していた作業員が、チャックに近い部分のバリ取りのため金属板に取り付けたサンドペーパーを押し当てて研磨作業をしていたところ、身体が巻き込まれ死亡した。

この事故の要因としては、まずはサンドペーパーを金属板に取り付けているとはいえ、手に持って高速で回転する加工物に手が触れて巻き込まれる可能性のある作業を行ったこと自体が一番の原因であると考えられる。その際に服装が整っておらず、実習服の上着の部分のボタンが外れており、手に持って作業している部分またはそれ以外の身体の一部が回転している所に引っかかってしまい、実習服ごと巻き込まれたのではないだろうか。普通に旋盤作業をする場合は、チャックの前に覆いかぶさって立ったりすることは非常に危険であるため、チャックからできる限り遠い位置（旋盤を正面から見て右側の縦送りハンドルと横送りハンドル両方が操作しやすい位置¹⁾）に立つことが多いはずである。そのため、今回の事故の事例のように、チャックに近い部分に立って作業しない限りは、このような事故は発生しないのだ。対策として、その会社の旋盤作業における危険性や安全対策についての教育を強化し、作業員があらゆるリスクを認識できるようにするべきである。特に、会社内で実際にあったヒヤリハットの事例や危険であると感じたことについて共有し、二度とそういった事故が発生しないように努めることが重要である。また、そもそも手持ちのサンドペーパーの研磨作業は、非常に危険であるため、手持ちの作業は禁止し、専用の工具や機械を使用するようにしていくべきであると考えられる。どうしても、手持ちのサンドペーパー作業をしなければならない場合は、バリ取りの部分やチャックからなるべく遠ざける位置に固定するようにしたり、機械を停止させていたり、等の工夫や安全対策の徹底（専用マニュアルの作成）が必要である。これらの対策をすることにより、旋盤作業についてはもちろん会社全体の安全な作業環境を確保することができ、事故を防止することが可能であると考えられる。

7. 参考文献（旋盤作業）

- 1) 嵯峨常生 中西祐二, 「新版機械実習 1」, p219, 実教出版株式会社
- 2) 嵯峨常生 中西祐二, 「新版機械実習 1」, p220, 実教出版株式会社
- 3) 自動旋盤加工 コストダウンセンター.com, 「旋盤の加工方法とは？加工の特徴から加工法の種類までまるっと解説！」, <https://ogic-lathe.com/tec-column/2/> (参照日 2024 年 5 月 19 日)
- 4) Misimi meviy, 「旋盤加工（ターニング）の特徴や代表的な加工方法を解説！」, <https://jp.meviy.misumi-ec.com/info/ja/howto/metal-machining/26415/> (参照日 2024 年 5 月 19 日)
- 5) さくさく株式会社, 「面取り加工とは？ 面取り加工の種類や目的をご紹介」, <https://sakusakuec.com/shop/pg/1chamfering/> (参照日 2024 年 5 月 19 日)
- 6) 宮脇鋼管株式会社, 「タップ加工のやり方とは？タップの種類や手順について解説」, <https://www.miyawakikoukan.com/column/1649.html> (参照日 2024 年 5 月 19 日)
- 7) 旋盤市場, 「ダイス加工」, <https://www.senban.jp/target/reference/contents.html?topic=%A5%C0%A5%A4%A5%B9%B2%C3%B9%A9> (参照日 2024 年 5 月 19 日)
- 8) 株式会社 tomakichi, 「tomakichi コラム 旋盤加工とは？特徴とメリット・デメリットについてご紹介」, <https://tomakichi.com/columns/%E6%97%8B%E7%9B%A4%E5%8A%A0%E5%B7%A5%E3%81%A8%E3%81%AF%EF%BC%9F%E7%89%B9%E5%BE%B4%E3%81%A8%E3%83%A1%E3%83%AA%E3%83%83%E3%83%88%E3%83%BB%E3%83%87%E3%83%A1%E3%83%AA%E3%83%83%E3%83%88%E3%81%AB%E3%81%A4> (参照日 2024 年 5 月 19 日)
- 9) 株式会社 tomakichi, 「tomakichi コラム フライス加工とは？特徴とメリット・デメリットについてご紹介」, <https://tomakichi.com/columns/%E3%83%95%E3%83%A9%E3%82%A4%E3%82%B9%E5%8A%A0%E5%B7%A5%E3%81%A8%E3%81%AF%EF%BC%9F%E7%89%B9%E5%BE%B4%E3%81%A8%E3%83%A1%E3%83%AA%E3%83%83%E3%83%88%E3%83%BB%E3%83%87%E3%83%A1%E3%83%AA%E3%83%83%E3%83%88> (参照日 2024 年 5 月 19 日)

8. はじめに（ボール盤）

ボール盤は、主に主軸部分に取り付けたドリルに回転運動と主軸を上下させる送りを与えて、ドリル先端の切れ刃によって工作物を切削しながら穴あけ加工をする工作機械である。ボール盤は使用する工具の種類と使い方によって様々な作業ができる。基本的作業を図 9（機械製作実習テキスト p.17 より引用）に示す。

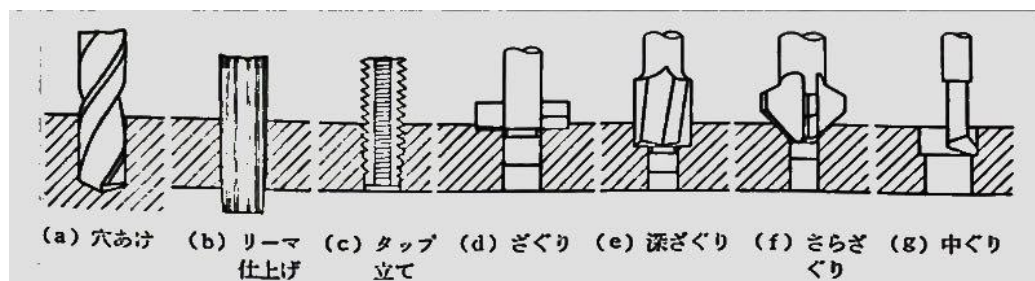


図 9 ボール盤の基本作業

- (a) 穴あけ（きりもみ）
ドリルで穴をあける作業でボール盤の基本作業である。
- (b) リーマ仕上げ
きりもみした穴の内面をリーマで仕上げる作業をいう。ドリルで加工した穴は工作精度がよくないため、リーマ仕上げをして精度と表面粗さを向上させる。
- (c) タップ立て（ねじ立て）
きりもみした穴に、タップを用いてねじを立てる作業をいう。
- (d) 座ぐり
ボルトやナットに接する面を丸く削り取り座面を平らにする作業である。
- (e) 深座ぐり
六角穴付きボルトなどの頭の部分を沈めるときに入り口部分を広げる作業を行う。
- (f) さらに座ぐり
さら小ねじの座面と同じに、円錐形に面取りをする作業である。
- (g) 中ぐり
すでにきりもみした穴を、指定の大きさの穴に大きく広げる作業をいう。

9. レポート課題（ボール盤）

9.1 作業工程の説明

ここでは、SUS304 の板材（ $20 \times 50 \times 70\text{mm}$ ）に実習工場の卓上ボール盤で右の図 11 の通り加工するための作業手順を説明する。

9.1.1 材料のやすりがけ

今回の与えられた板材の材料は SUS304 である。SUS304 は優れた耐食性と強度を持つステンレス鋼であり、加工性に優れていることから、様々な工業用途で利用されている。 $20 \times 50 \times 70\text{mm}$ の材料も元は長い材料（例： $20 \times 50 \times 1000\text{mm}$ ）のものを切断することによって、この寸法となっている。実際に切断した面は角にバリが発生し、測定の誤差やケガ、組み立て時の隙間やズレ等の多くの問題が発生する可能性がある。一般的にこういった手仕上

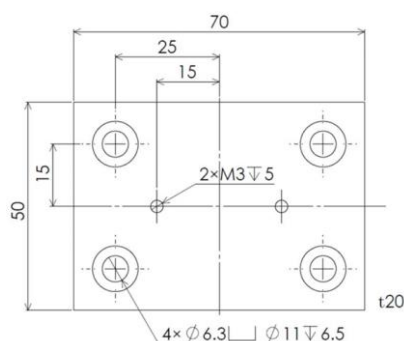


図 10 課題の図面

げは工程としては、最後に行われることが多いが、ここでは作業者の安全性を確保し、後続工程への影響を防ぐために初期段階で面取りを行う必要がある。具体的にはやすりを使って面取りを行っていく。やすりは、鋼製でその表面に小さな突起を作り、これを刃先として工作物を削るものである¹⁾。やすりの材質には、工具鋼やクロム等が使われ、加工する工作物の材質に合わせて選択する必要がある¹⁾。一般的に金属に使われるものは、図 11（新版機械実習 1 p.50 より引用）に示すような鉄工やすりである。

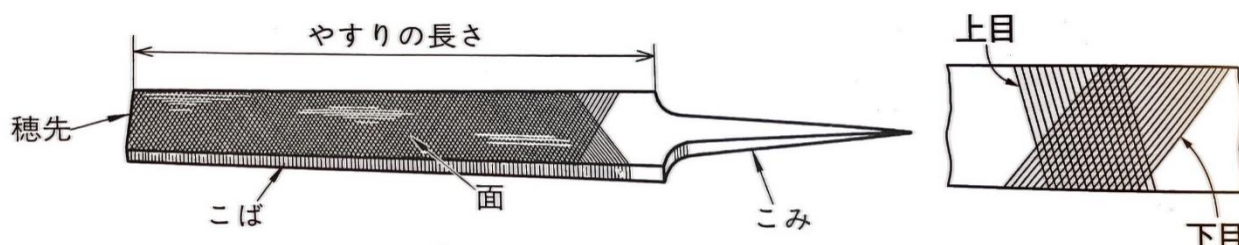


図 11 鉄工やすりの各部の名称

やすりの切れ刃となる突起は、1 つひとつ彫って作り出されるもので、これをやすりの目という²⁾。やすりの目の粗さには目の刻み方の粗い・細かいによって、荒目・中目・細目・油目の 4 種類に分けられ、断面形状には平、角、三角、丸、半丸等の種類がある。これらは工作物の材質や形状、工程に応じて使い分けられる。やすりがけの作業を行うには、万力に工作物をきちんと固定することが大切である。そして、適切な種類のやすりを選択したら（今回は鉄工やすり）、木製の柄にやすりを取り付け、図（左）（新版機械実習 1 p.52 より引用）に示すように、右手の手のひらにやすりの柄の端を当て、親指を穂先に向けて柄を包むようにして握る。左手は親指の付け根をやすりにつけるようにする³⁾。軽い切削の場合は、左手を図（右）（新版機械実習 1 p.52 より引用）に示すように、やすりに押し当てるため、ここでは図（右）のように行う。

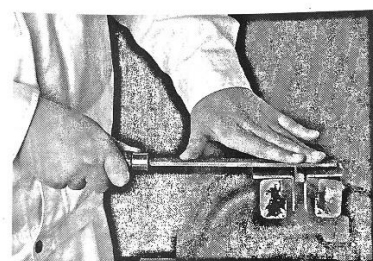
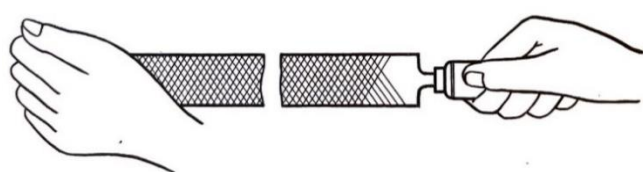


図 12 やすりの一般的な握り方（左） やすりの軽い切削の場合の握り方（右）

基本的に、やすりは前方に押すときに加工を行い、引くときには浮かせて使う。加工面が狭いときは直進法、広いときにはムラが出ないように斜進法で加工をし、やすりの幅全体を使うようにする。ここでは、図 10 の図面の 4 つの側面の面取りを万力に約 45 度傾けて固定し、狭い面は直進法、広い面は斜進法でやすりがけを行い角のバリ取り（面取り）を行う。この時、両手に力を入れすぎずに軽い力で前に押し出すことが大切である。一般的には、3 回程やすり、手で触ったときにバリが取れていれば、十分である。また、やすった後は微小とはいえ、切りくずが付着するため、次の工程で行うハイトゲージによるけがきの際にその分が誤差となって測定精度が悪くなる原因となりうる。そのため、やすりがけが終わった後は必ずブラシやウエス等で付着している切りくずを払う必要がある。

2.1.2 けがき作業

やすりによる面取りを行った後、けがき作業を行う。加工の際、工作物を指定された形状・寸法に作るための目安となる線を引くことを「けがき」という。この時、けがきで入れられた線のことを「けがき線」という。工作物は、けがかれた線や点を基準にして最後まで仕上げていくため、けがき作業は正確に行うことが大切である。一般的に、けがき作業は定盤（水平が取れた面）の上で、先端が硬く焼き入れされたけがき針を、スケールやコンパス、トースカンなどと共に利用して行うことがある。ここでは、図（実習中ボール盤用資料 p. 12 より引用）に示すハイトゲージを用いてけがき作業を行う。

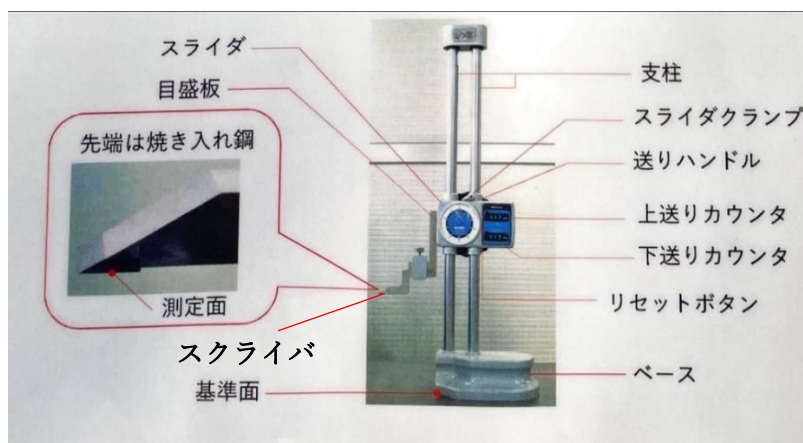


図 13 ハイトゲージ各部名称

ハイトゲージは支柱に沿って、スライダが移動することで、基準の位置から上下（高さ方向）の寸法を策定する測定工具である。ハイトゲージを使用する際は、水平な面でないと、精度良く測定することができなくなるため、必ず水平が取れた定盤の上で使用する。

具体的な一般的な基準の取り方は以下に示す。

- ① 送りハンドルを回し、測定面を基準にしたい面より上にする。（図 14）



図 14 ハイトゲージの基準の取り方①

- ② 送りハンドルを回し、測定面をゆっくり下げて、基準面に当てる。（図 15）



図 15 ハイトゲージの基準の取り方②

- ③ カウンタ横のリセットボタンを押して、カウンタの表示を「0」にする。(図 16)

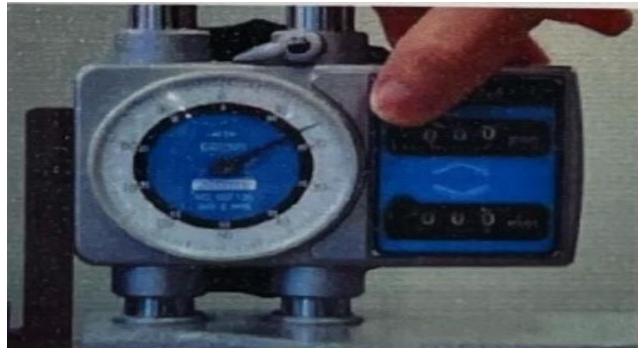


図 16 ハイトゲージの基準の取り方③

- ④ 目盛板を回して、指針の位置を「0」にする。(図 17)



図 17 ハイトゲージの基準の取り方④

上の図～図(実習中ボール盤用資料 p. 14 より引用)に示すように、スクライバの測定面を基準としたい面に合わせて、当たった位置でカウンタと目盛板をそれぞれ「0」に合わせることで基準を取ることができる。この時、当たった位置から必要以上に送りハンドルを回すと、ハイトゲージが浮いてしまうことにより、誤差が発生し、精度よく測定ができなくなってしまうため、注意する。基準を取った位置から上下に動かし、その位置で図 18 の矢印の方向に動かすようにして、けがき線を引くことができる。この時の注意事項は後の今回の図面の寸法に対してけがき線を引く所で説明するため、ここでは省略する。



図 18 けがき線の引き方

また、ハイトゲージの実際の読み方を説明する。図(実習中ボール盤用資料 p. 14 より引用)に示すように、基準面から上に送った場合と基準面から下に送った場合のハイトゲージの読み方をそれぞれ説明する。まず、図左の場合だろ基準面を定盤に取り、ワーク上面までの高さを測定する。この基準の位置から上にあげると、カウンタの上の目盛りが増えるため、カウンタの上の目盛りを読む。指針の向きは、時計回りに動いていく。この位置から測定したい材料の上面の位置に持っていき、スクライバを当てる。そのときのカウンタの上の目盛りをまず読み、この例では 25[mm]である。次に小数点以下の値として目盛板を読み、この例では、0.45[mm]となり、直読ハイトゲージの読みは $25 + 0.45$ で 25.45[mm]となる。図右の場合だと、基準面をワークの上面に取り、定盤までの高さを測定する。この基準の位置から下に下げると、カウンタの下目盛りが増えるため、カウンタの下目盛りを読む。指針の向きは、先ほどと逆で反時計回りに動いていく。この位置から測定したい定盤の位置にいき、スクライバを当てるそのときのカウンタの上目盛りをまず読み、

この例では 15[mm]である．次に小数点以下の値として目盛板を読み，この例では，0.25[mm]となり，直読ハイトゲージの読みは $15 + 0.25$ で 15.25[mm]となる．以上のようにしてハイトゲージを読む．

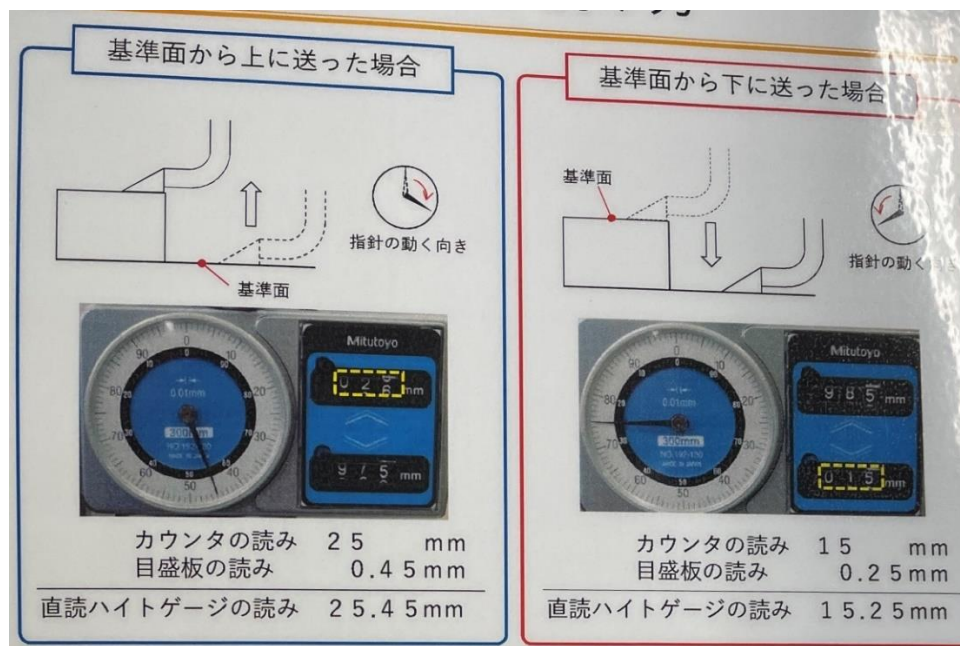


図 19 ハイトゲージの読み方

今回の図 10 の図面の材料の具体的なけがき作業について説明する．まず，図 10 の通り材料を高さが 50 となるように，縦向きに配置する．今回，図 10 の水平方向の中心線も垂直方向の中心線に着目してわかるように，中心を基準に寸法が記載されている．水平方向の中心線は中心から上下に 15mm，垂直方向の中心線は中心から左右に 15[mm], 25mm となっている．けがきする際もこれに合わせて，中心を基準にして線を引く．具体的にはまず図，図と同様にして，送りハンドルを回して測定面を基準にしたい面より上にした後，測定面をゆっくり下げて，基準面である定盤に当てる．この時，上でも述べたが，当たった位置から必要以上に送りハンドルを回すと，ハイトゲージのベースの底面が定盤から浮き上がってしまい，浮き上がった分の誤差が発生し，精度よく測定ができなくなってしまうため，注意する．当たったら，図，図と同様にして，カウンタと目盛板を「0」にセットする．けがきの際は，材料の基準面を必ず底面にする必要があるため，定盤と測定面がぴったり合わさったところを「0」に設定する．(図)

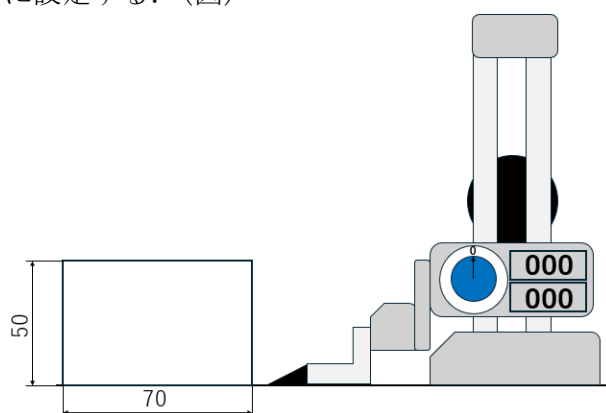


図 20 カウンタと目盛りの 0 点合わせ

ここから，高さ方向に 50 の半分である 25 動かして中心を取ろうとしてしまう場合があるが，これは精度を求めるのであれば，間違いである．実際に寸法は 50 でも製品には寸法公差（実寸法とし

て許容される最大値と最小値の差)が存在する。図面等で 50 と表記されていても、実際の加工で 50.00mm に仕上げることは難しく、ぴったり 50.00mm になることはない。そのため、実寸法を測定して中心を割り出す必要があるのだ。具体的には、「0」に合わせた底面の位置から 50 より高い位置まで送りハンドルを回してスクライバの測定面を上げる。(図)

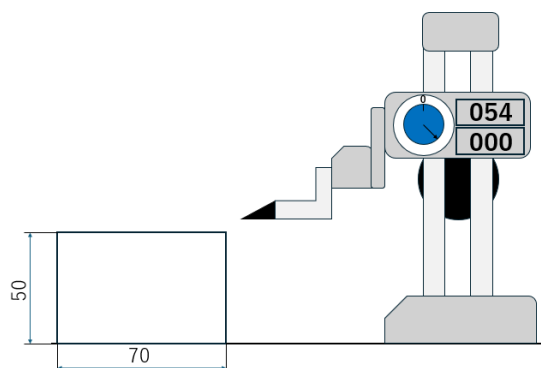


図 21 50 より高い位置にあげたハイトゲージ

次に、図に示すように、その位置から送りハンドルを反対向きに回して、縦向きにおいた上面の面に当てる。その際を目盛りを読み、その値を 2 で割り、実際の中心位置を求める。

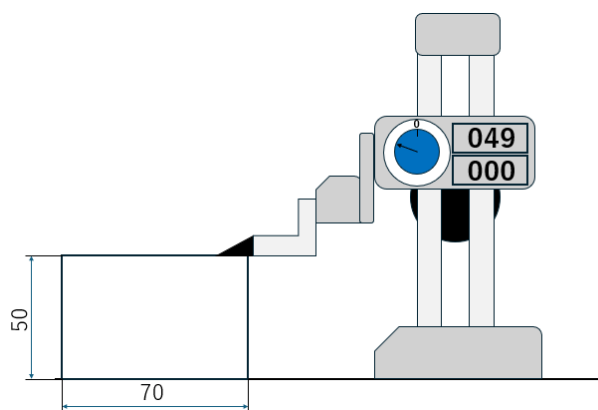
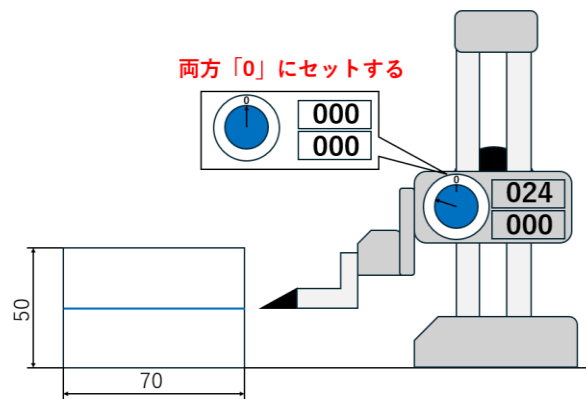


図 22 上面に当てたハイトゲージ (高さ 49.~)

そこから、目盛りの値を 2 で割って、その分送りハンドルを回し、中心の位置にカウンタの値と目盛板の目盛りが合う位置までスクライバを持っていく。例として、ここで測定した位置の目盛りが 49.63mm だとすれば 24.815mm の位置に合わせる。その位置で再びカウンタと目盛板を「0」にセットし、材料を手でしっかり持ち、ハイトゲージによって、水平方向に中心線を引く。(エラー! 参照元が見つかりません。) この時、精度が悪くなるため、支柱は掴まず、必ずベースの部分を持つ。



エラー! 参照元が見つかりません。ハイトゲージでの中心位置のけがき線 (高さ 24. ~)

また、スクライバの先端は鋭利であるため、けがき作業を行う際は材料を支持する手の位置にも注意する。次に中心線の位置を「0」に合わせたため、この「0」の位置から上に 15mm、下に 15mm の位置にそれぞれカウンタの目盛りが合うようにして、線を引く。(図)

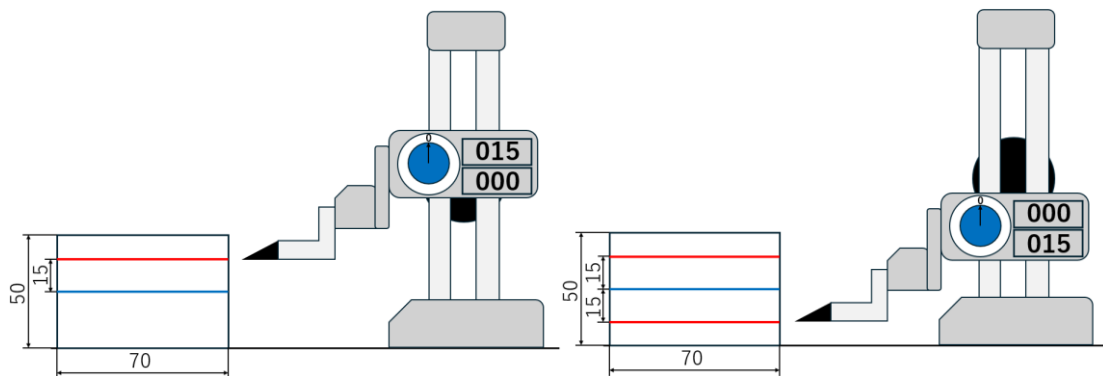


図 24 ハイトゲージを用いたけがき線 (上下 15mm)

これが終わったら、次は図面から見た垂直方向のけがき線を引いていく。同様にして、図面の左側面が底面となるように、材料を配置し、定盤とスクライバの測定面がぴったり合わさったところを「0」にセットする。(図)

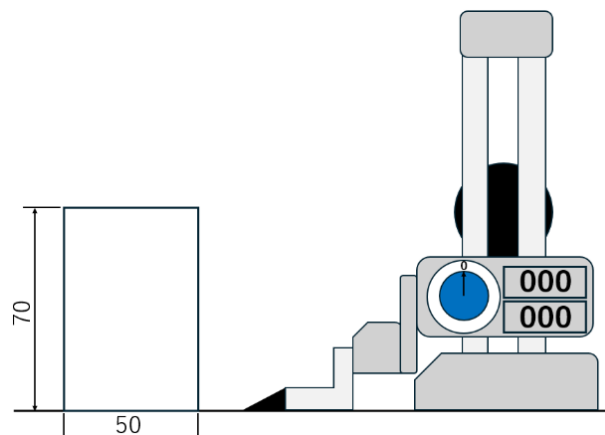


図 25 ハイトゲージを用いた 0 点合わせ②

次に、「0」に合わせた底面の位置から 70 より高い位置まで送りハンドルを回してスクライバの測定面を上げる。(図)

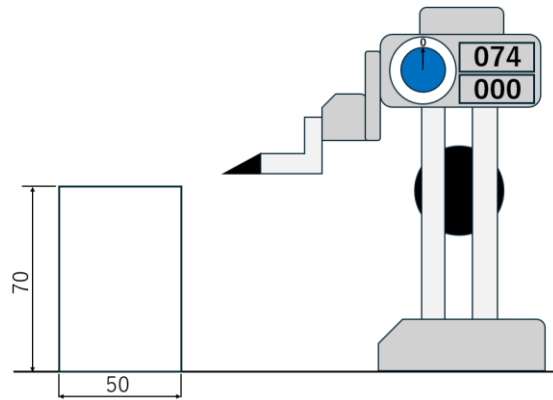


図 26 70 より高い位置にあげたハイトゲージ

次に、図に示すように、その位置から送りハンドルを反対向きに回し、材料の上面に当てる。

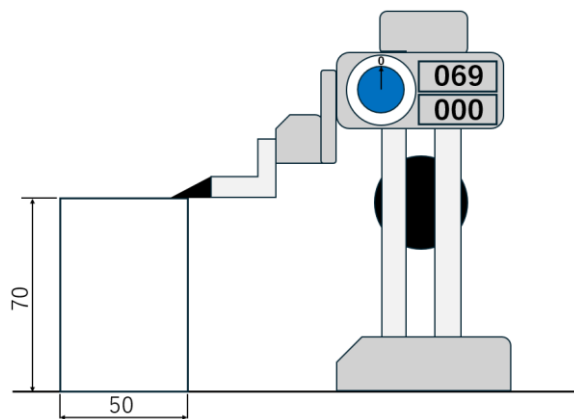


図 27 上面に当てたハイトゲージ（高さ 69. ～）

その際、目盛りを読み、その値を 2 で割り、実際の中心位置を求める。そこから、目盛りの値を 2 で割り、その分送りハンドルを回し、中心の位置までスクライバを持っていく。その位置で再びカウンタと目盛板を「0」にセットし、材料を手でしっかり持ち、ハイトゲージによって、水平方向に中心線を引く。（図）

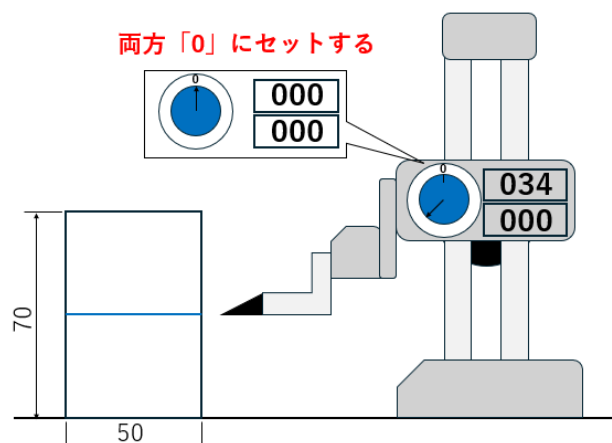


図 28 ハイトゲージでの中心位置のけがき線（高さ 34. ～）

次に中心線の位置を「0」に合わせたため、この位置から上に 15mm、下に 15mm の位置、上に 25mm、下に 25mm の位置にそれぞれカウンタの目盛りが合うようにして、線を引く。（図）

以上のことに考慮して作業を行うことでより精度よく測定できる。

9.1.3 穴の位置決め（ポンチ作業）

けがき作業で必要な線を引くことができれば、次にポンチを用いて、穴をあける時にずれないようにするために、くぼみをつける。くぼみなしで、ドリルだけでいきなり穴あけを行おうとすると、穴位置精度が悪くなるため、ポンチによりくぼみをつけることで、より正確な位置で穴あけすることができる。しかし、もちろんポンチのくぼみの段階で位置がずれていると正しい位置に穴をあけることが困難となるため、以下の図（新版機械実習 2 p.127⁴⁾ より引用）に示すように穴あけ面に垂直に、中心からずれないように正しく打ち込む。図 (b)は中心からずれており、図 (c)はポンチが斜めに打ち込まれており、いずれも正しくない。こういったことを防止するために、今回の実習でも行ったように、初めてこの作業を行う場合は、別の練習用の板材を用意して練習する必要がある。そして、実際に行う際は、ポンチをたたき強さが強すぎると大きなくぼみができ、修正することが困難となるため、最初は軽くたたき、もしずれた場合は、修正したい方向にポンチを傾けてくぼみの位置を修正していくことが大切である。それによって、正確にくぼみをつけることができる。

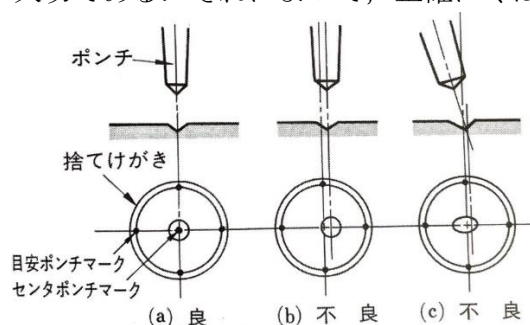


図 31 ポンチの打ち方

9.1.4 ドリルの取り付け・工作物の固定

ここからが、ボール盤を使った作業である。ボール盤とは、1 章でも述べたように、テーブルに対して垂直に立つ主軸にドリル等の工具を取り付け、工具の回転運動を切削、工具の直線運動を送りとして、工作物に穴をあける工作機械である。図 32（実習中ボール盤用資料 p.12 より引用）に今回使用する卓上ボール盤を示す。

今回使用する卓上ボール盤(bench drilling machine)は、図 32 に示すように、電源スイッチ、送りハンドル、主軸、ドリルチャック、テーブル、コラム、ベルトカバー、テーブル上下ハンドルから構成される作業台に据え付けて使用するものである。また上のベルトカバーにはベルトとプーリーがあり、主軸の回転数はプーリーと V ベルトの掛け替えによって調整することが可能である。



図 32 今回使用する実習工場の卓上ボール盤

ここでは、手順 9.1.4 で付けたくぼみ（印）に実際にボール盤を使って、穴あけを行っていく．穴をあけるには、ボール盤のドリルチャックにドリルを取り付ける必要がある．図（新版機械実習 2 p.110 より引用）にドリルを示す．ドリル（キリ）には、図に示すような種類がある．このうち図（a）のような溝が 2 本のねじれドリル（ツイストドリル：twist drill）が最も多く使われる⁵⁾．

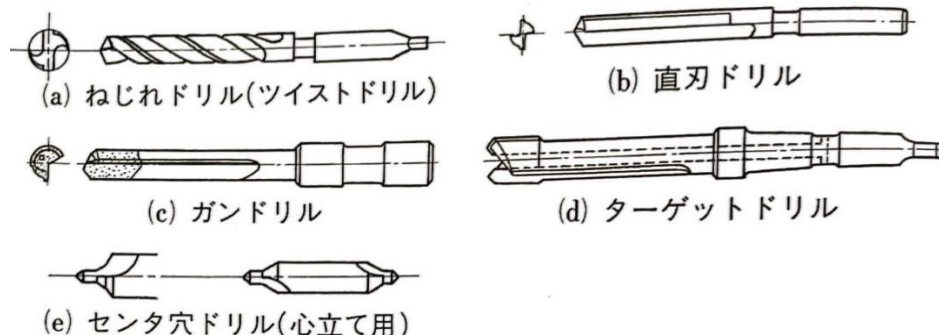


図 33 ドリルの種類

図（新版機械実習 2 p.110 より引用）は、ねじれドリルの形状および各部の名称を示す．ドリルは、切れ刃を備えた本体とシャンクの 2 つの部分から成っている．ドリルの先端は円錐状に尖っており、2 本のねじれ溝がこの円錐面と交わる直線部分が 2 つの切れ刃となっている⁶⁾．

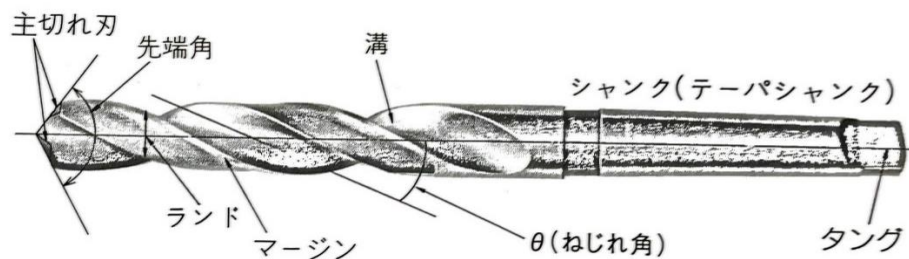


図 34 ドリルの名称（テーパシャンクドリル）

ドリルのシャンクには、図で示したテーパシャンクドリル（モールテーパ）のものと、図（新版機械実習 2 p.110 より引用）に示すストレートシャンクドリル（等径）のものがある⁵⁾．



図 35 ストレートシャンクドリル

図に示したテーパシャンクドリルはドリルの取り付け部分がテーパになっていることからこう称される．テーパシャンクのものは直径 75[mm]までの大きな直径のドリルに用いられる．

ストレートシャンクドリルは取り付け部分（シャンク）がストレート構造となっていることからこう称される．ストレートシャンクは、直径 13[mm]以下の比較的小径のドリルに用いられる⁵⁾．

ドリルの工具材料は、高速度工具鋼を使ったものが最も多く使用されているが、超硬合金を使ったものも使用されている．ねじれを伴いながらの切削が多いことから、適度な硬さと靱性をもった工具材料が一般的に使われている．今回の穴あけ加工では、主に 13[mm]以下の穴を扱うため、ストレートシャンクドリルを用いる．また、ドリルの先端部の切れ刃角度（先端角度）は、標準のドリルで 118° である．工作物の材質に応じて、表 1（新版機械実習 2 p.111 より引用）に示すように、それぞれ適度な角度に作られる．表 1（新版機械実習 1 p.111 より引用）を見てもわかるように一般

的には、柔らかい材料は鋭角、硬い材料は鈍角にすることが多い⁷⁾。

表 1 ドリルの刃部の角[単位 度]

工作物材料	先端角	逃げ角	チゼル角	ねじれ角
標準形ドリル(一般作業・炭素鋼・鋳鋼・鋳鉄など)	118	12～15	125～135	20～32
Mn 鋼	150	10	115～125	20～32
Ni 鋼・窒化鋼	130～150	5～7	115～125	20～32
鋳 鉄	90～118	12～15	125～135	20～32
黄銅・青銅(軟)	118	12～15	125～135	10～30
銅・銅合金	110～130	10～15	125～135	30～40
積層プラスチック	90～118	12～15	125～135	10～20
硬質ゴム	60～90	12～15	125～135	10～20

(日本機械学会編「機械実用便覧 第6版」による)

ドリルの取り付け方について、具体的な作業手順を述べる。まず、まず、図 36 (実習中ボール盤用資料 p. 41 より引用) 左①に示す用に、ドリルのシャンクがギリギリ入らない程度にチャックの爪を締める(図 36 左①)。次にシャンクをチャックに押し当てながら、チャックハンドルを用いて、少しずつチャックの爪を緩めていき、ドリルを入れていく(図 36 左②)。このとき、溝手前までドリルのシャンク部分を入れることに注意する。ドリルが入ったらそのまま、ドリルのシャンクの部分をチャックの爪でつかむように図 36 左③のように締める。このとき、図 36 右に示すように、ドリルチャックを下から見ると 3 つの爪があることがわかり、しっかりとチャックの爪 3 本でドリルをつかんでいることを確認する必要がある。チャックに対してまっすぐドリルが入ってないと 3 本でつかむことができない。また、3 本でつかめていないと、ドリルが大きくぶれて回るため、固定後に軽く回転させることで、中心についているのかを確認する。実際に中心についている状態と中心についていない状態を図 37 (実習中ボール盤用資料 p. 41 より引用) に示す。ここの中心にまっすぐ固定ができていないと、後々穴あけをするときに精度が悪くなる原因ともなりうる。そのため、3 本の爪でまっすぐ取り付けることに注意する。

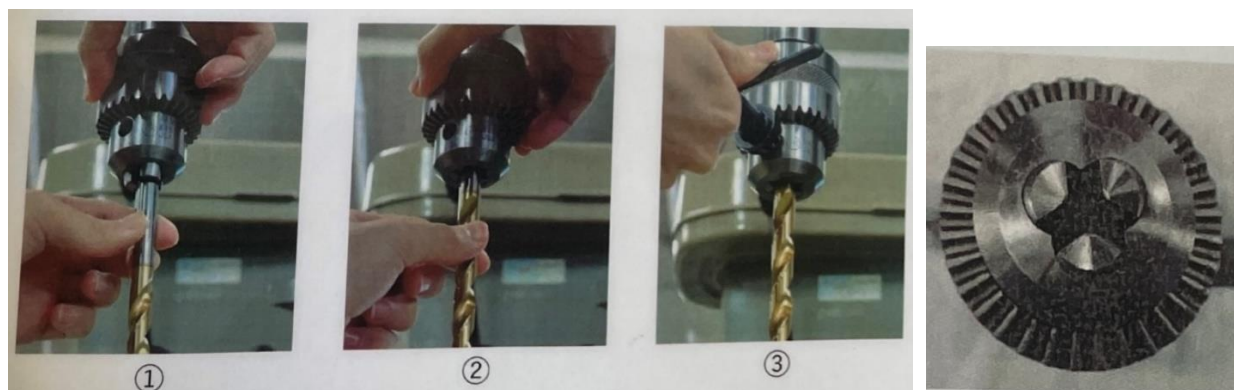


図 36 ドリルのチャックの取り付け手順(左) 下からみたドリルチャック(右)

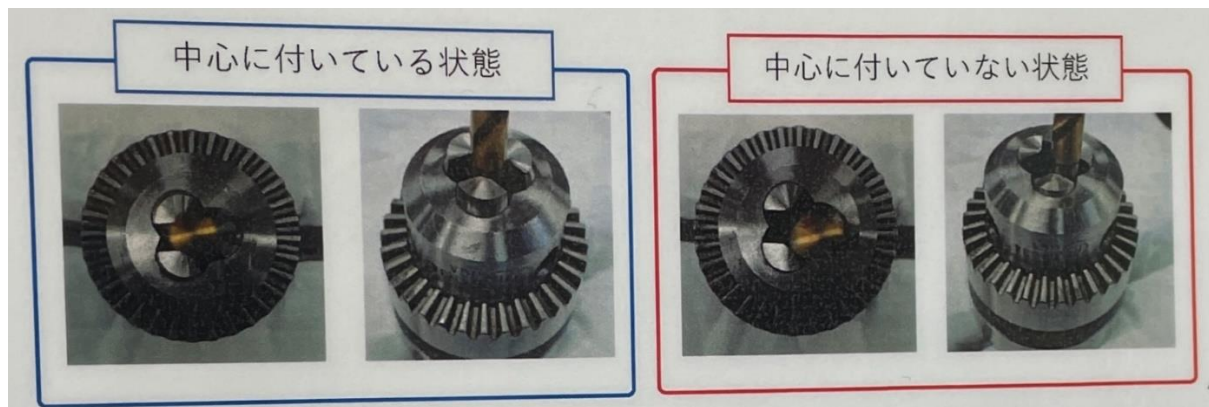


図 37 ドリルチャックの中心に付いている状態（左） 中心に付いていない状態（右）

次に、工作物を万力に固定する．図 38（実習中ボール盤用資料 p. 42 より引用）のようにして、工作物を手で押さえて加工すると加工中に回転しようとする力を抑えきれずに工作物が回転したり、切りくずが接触して手指をケガする危険性がある．そのため、万力に固定できるものは必ず万力で固定する必要がある．また、今回は用いないが、丸い形状のものは V ブロック等を使用して万力に固定する．



図 38 NG な抑え方

材料を万力に固定することができたら、回り止めというものを行う．ドリルでの切削中は、ドリルの回転運動が工作物に伝わる．よって、工作物が回転することで、手に接触したり、テーブルから足の上に落下して足をケガしたりする危険性がある．そのため、図 39（実習中ボール盤用資料 p. 43 より引用）のように時計回りに万力に働くトルクを打ち消すために、テーブルの溝を利用して万力を固定、または万力を支柱に当てて、必ず回り止めを行う必要がある．今回は、図 40（実習中ボール盤用資料 p. 43 より引用）に示す後者の支柱を使って回り止めを行う．



図 39 回転時のトルク



図 40 ボール盤の支柱を使った回り止め

9.1.5 穴あけ加工

ボール盤は旋盤が取り付けた工作物を回転させるのに対してボール盤は、9.1.4 で取り付けたドリル等の工具を回転させるのが特徴である．ドリルと工作物の取り付け、回り止めが終わったら、実際にボール盤を使って穴あけを行う．その際に注意する事項（機械製作実習テキスト P.21，工学部安全衛生ハンドブック p.94 参照）を以下に示す．

- 1) 手袋の着用は厳禁である．（回転している据刃に巻き込まれ、手や指を切断する危険性）
- 2) 回転している手や顔を近づけない．（巻き込まれて手や指の切断、顔をケガする危険性）

- 3) 工作物をボール盤用の万力や固定ジグを用いて、確実に固定・支柱で回り止めをする。
- 4) 保護メガネを着用する。(切断中に発生する切りくずが目に入る可能性がある)
- 5) 無理な姿勢で作業しない。(覗き込んだり、体が前に傾いたりすると、回転部分に接触してケガをする危険性)
- 6) ドリルの取り外しが終わったら、必ずチャックハンドルを取り外す。
- 7) ドリルはチャックの中心に取り付ける。(2.1.3 でも示した)
- 8) 切削中は切りくずがドリルに絡まないように、ステップ加工を心掛ける。
- 9) 切りくずは素手で触らず、ブラシやはらい棒を使用する。

今回の図面によると、ここでは止まり穴と貫通穴とザグリ穴をあける。それぞれの穴あけについての注意事項は順番に説明していく。

まずは電源を入れる前に、図 41 (実習中ボール盤用資料 p. 44 より引用) に示すように、テーブルの高さを調整する。もし、ドリルと工作物が離れすぎていると、加工の途中で送りハンドルを持ち直す等動作が複雑になり、事故の危険性が高まる。そのため、事前に特に図 42 (実習中ボール盤用資料 p. 44 より引用) に示すようにドリルの先端と工作物の上面の高さを 10~20mm 程度に調整する必要がある。



図 41 テーブルの高さ調整



図 42 テーブルの高さ調整 NG (左) 10~20[mm]程度 (右)

次にドリルの先端とセンターポンチの穴位置を合わせる必要がある。図 43 (実習中ボール盤用資料 p. 45 より引用) に示すように位置を合わせる際は、万力を軽く叩いて動かすと細かい修正がしやすくなる。また、注意点として位置合わせの際は、ドリルの先端と材料の上面が当たらない程度まで近づけて確認し、図 44 (実習中ボール盤用資料 p. 45 より引用) に示すように 2 方向から見て合わす必要がある。こうすることによって、穴位置とドリル先端のずれを防ぐことができる。さらに、位置合わせをすることで先ほどの手順でしていた回り止めが微妙に外れる場合があるため、ドリルの位置が決まったら再度、回り止めを確認する必要があるのだ。これらのことができたなら、ボール盤の電源を入れる。次にボ



図 43 万力の微調整



図 44 2 方向位置合わせ

ール盤の電源を入れた後の作業について説明していく。

まず、図 45（実習中ボール盤用資料 p. 47 より引用）①のようにして左手で万力をしっかり押さえる。次に図 45②に示すように右手で上のハンドルを持ち、図 45③の向きにゆっくりと工作物に当てる。この時の注意点としては、下のハンドルを持ってしまうと回した際に体が出で、ドリルに近づくため大変危険であるため、必ず上のハンドルを持つようにしなければならない。次に、ドリルが工作物に当たったら、らせん状に切りくずが出るように送り速度を調整する必要がある。

ここでいう送りとは、ドリルを下ろす速度のことを指す。実際に切りくずが長くなると、ドリルに絡みついて一緒に回転し、手をケガしたり、工作物の表面に傷ができたりする可能性がある。こういったことを防ぐために、ボール盤で穴をあける際は、ステップ加工を用いる。ステップ加工とは、切りくずが出てきたらドリルを上にあげて切りくずを飛ばすという動作を繰り返して穴をあける加工法のことである。具体的には、図 46（実習中ボール盤用資料 p. 48 より引用）のように、切りくずがドリルの 1/3~1/2 程度出てきたらドリルを上にあげて、切りくずを切ってドリルから離す。さらに、このステップ加工で上にあげたタイミングで、図 47（実習中ボール盤用資料 p. 49 より引用）のように刃先部分に注油する必要がある。この作業は 1 人でやると難しいため、初めての場合はもう 1 人誰かに手伝ってもらいながら行う。ボール盤で穴をあける際は、切削時の摩擦が発生し、それによって刃先温度が約 600℃になることがある。もし、刃先温度が高くなると、工具の硬さが低下し、刃が摩耗しやすくなり、加工精度が悪くなる原因ともなりうる。また、切りくずが穴の中で刃の間に詰まるとドリルが折損する危険性がある。こういったことを防ぐために、切りくずの排出性を高める、刃先を冷却、切削時の摩擦を低減といった潤滑・冷却・除去を油によって行う必要がある。

今回あける穴は止まり穴、貫通穴、ザグリ穴である。今回はまずは M3 のねじをはめるための 2.5[mm]のドリルで深さ 5[mm]の中心の小さな止まり穴 2 つをあける。次に直径 6.3[mm]の貫通穴 4 つと直径 11[mm]深さ 6.5[mm]の図に示すようなザグリ穴 4 つをあけることとする。どの穴にも共通する事項として、具体的にそれぞれのドリルの径に応じてドリルの回転速度を決めなければならない。

切削速度は、ドリルの外周速度で表し、送りは 1 回転当たりのドリルが進む長さで表す。これらの値はドリルや工作物の材質、ドリルの直径、ボール盤の能力等によって決まってくる。ドリルの場合は長い穴を加工する作業が多い。そのため、穴の深さが深くなるにつれて切りくずの排出が悪くなり、切削性が悪くなる。その場合は、切削条件を緩やかにし、送りを小さくした方が効果が上がる。ドリルの直径と切削速度が与えられたときは、ドリルの回転速度 N は次の(1)式で算出できる。

$$N = \frac{1000V}{\pi D} [\text{min}^{-1}] \quad (1)$$

ドリルの回転速度 [rpm(min⁻¹)], V : 切削速度[m/min], D : ドリルの直径[mm]

また、送り速度は 1 分間にドリルが進む距離を表し、(1)式により、回転数 N が求まっており、1 回



図 45 ボール盤作業様子



図 46 切りくず(ドリルの 1/3~1/2)



図 47 注油の様子

転あたりの送り量が与えられたときは、送り速度 v_f は次の(2)式で算出できる。

$$v_f = f \times N \quad [\text{mm/min}] \quad (2)$$

f : 1 回転あたりの送り量[mm/rev], N : 回転数[min^{-1}]

切削速度は、工作物の種類によって異なるが、特に今回は $\phi 2.5[\text{mm}]$ と $\phi 6.3[\text{mm}]$ と $\phi 11[\text{mm}]$ のドリルを用いる。今回の与えられている条件として、すべての直径共に切削速度は $10 [\text{m/min}]$, 1 回転あたりの送り量は $0.1[\text{mm/rev}]$ とする。それぞれの直径の場合の回転数と送り速度を求め、表 2⁸⁾より、求めた値に近いものを用いる。今回は、6p の西日本の周波数である 60Hz の方を見て、300, 610, 1070, 1870 の中から選択する。回転数はベルトをかけかえることで調整できる。以下に計算した結果を示す。

表 2 ボール盤の回転数⁸⁾

P	50Hz	380	760	1330	2340
4	60Hz	460	920	1600	2800
P	50Hz	250	500	890	1550
6	60Hz	300	610	1070	1870

○回転数

(1)式より以下のように計算できる。

・ $\phi 2.5[\text{mm}]$ の場合

$$N = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \times 10}{3.14 \times 2.5} = 1273.88 \dots \approx 1870[\text{rpm}]$$

・ $\phi 6.3[\text{mm}]$ の場合

$$N = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \times 10}{3.14 \times 6.3} = 505.51 \dots \approx 610[\text{rpm}]$$

・ $\phi 11[\text{mm}]$ の場合

$$N = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \times 10}{3.14 \times 11} = 289.51 \dots \approx 300[\text{rpm}]$$

○送り速度

・ $\phi 2.5[\text{mm}]$ の場合

$$v_f = f \times N = 0.1 \times 1870 = 187[\text{mm/min}]$$

・ $\phi 6.3[\text{mm}]$ の場合

$$v_f = f \times N = 0.1 \times 610 = 61[\text{mm/min}]$$

・ $\phi 11[\text{mm}]$ の場合

$$v_f = f \times N = 0.1 \times 300 = 30[\text{mm/min}]$$

以上の計算結果を表 3 にまとめたものを以下に示す。

表 4 ドリルの直径 $D[\text{mm}]$ と回転数 $N[\text{rpm}]$ と送り速度 $v_f[\text{mm/min}]$

ドリルの直径 $D[\text{mm}]$	回転数 $N[\text{rpm}]$	送り速度 $v_f[\text{mm/min}]$
$\phi 2.5[\text{mm}]$	1870[rpm]	187[mm/min]
$\phi 6.3[\text{mm}]$	610[rpm]	61[mm/min]
$\phi 11[\text{mm}]$	300[rpm]	30[mm/min]

エラー! 参照元が見つかりません。の計算結果からもわかるように、ドリルの直径が小さい時は、回転数を速くして、トルクを小さくする。一方で、ドリルの直径が大きい時は、回転数を遅くして、トルクを大きくすることが大切である。また、それぞれのドリルの径に応じた回転数を設定することで、切削速度の最適化、工具の寿命延長することが可能である。もし、大きな直径のドリルを高速で回転させると、刃先に過剰な熱や摩擦が生じ、摩耗して工具の寿命を短くする場合が考えられる。そのため、ドリルの直径ごとに適切な回転数を設定することが非常に重要である。さらに、ドリルの直径が小さい場合は、送り速度は速くする。それに対して、ドリルの直径が大きい場合は、送り速度は遅く設定することが大切である。直径が小さいと、断面積が小さいため切削抵抗が少ない。そのため高速で送りを行ってもドリルの負荷が小さいため、効率的に作業できる。直径が大きいと、断面積が大きいため切削抵抗が大きい。そのため、遅い送り速度でないと、ドリルに過剰に負荷がかかり、ドリルが破損する可能性があるのだ。ここから、それぞれのドリル径に応じた穴あけの手順を説明していく。

まずは、M3 のねじをはめるための、2.5[mm]の止まり穴をあける。2.1.4 に説明した通りにここでは、 $\phi 2.5$ [mm]のストレートシャンクドリルを取り付け、試運転してドリルがまっすぐとりついていることを確認する。このときの回転数は、1870[rpm]に設定する。ドリルの取り付けが完了したら、回り止めをし、正面、側面の2方向からドリルの先端とくぼみの位置を合わせる。位置合わせが終わったら、再度回り止めを確認し、ボール盤の主電源を入れ、ドリルを回転させる。ここであける穴は止まり穴であるため、穴の深さ1 (図 48⁹⁾) は、切れ刃の肩(外周位置)が表面に触れた所を起点にして、送りの目盛り(図 49¹⁰⁾)を読み、所定の深さに達したら送りを止める。(図 48 は新版機械実習 2 p.122 より引用) 今回は、ドリルが当たった位置の目盛りから 5[mm]目盛りが動いた位置を確認する。2.1.4 でも述べたように、ステップ加工で2回程削ったら注油をして穴あけを行う。その深さまで穴あけができたなら、ボール盤の電源をオフにして、ブラシで切りくずを掃除してから、図 50 のようにノギスのデプスバー等を用いて深さを測定する。この手順を怠らないことで、より精度の良い深さの止まり穴をあけることができる。

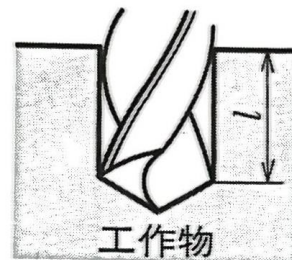


図 48 穴の深さ⁹⁾



図 49 送りの目盛り¹⁰⁾

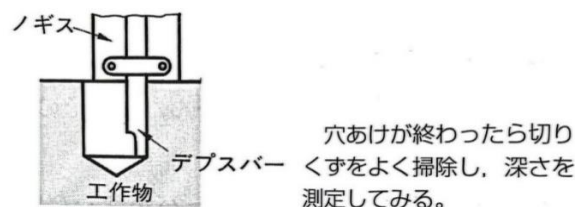


図 50 穴のノギスのデプスバーによる深さの測定⁹⁾

次に、6.3[mm]の貫通穴と直径 11[mm]深さ 6.5[mm]の深ザグリ穴をあける。深ザグリとは、ボルトの頭を隠すようにするためのものである。今回の図面は実習時のものと異なり ϕ で記載されている。実習時の図面は、キリと書かれていたため、ドリルを使って穴あけをしなければならなかった。しかし、今回のこの図面では、 ϕ で表記されているため、何の工具を使って穴あけを行っていい。よって、ドリルも使うが、それに加えてエンドミルをザグリ加工で用いる。ザグリの加工方法は、図 51①～⑦に示すように、ドリルでボルト用の穴をあけた後に、エンドミルで加工するのが一般的

である¹¹⁾。

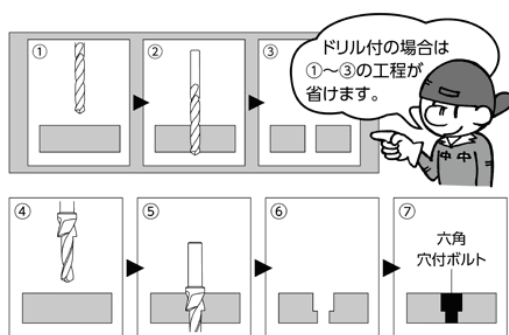


図 51 ザグリ加工の一般的な手順¹¹⁾

ザグリ加工を行うその他の方法として、図 51 に示す専用の切れ刃が 2 段になっている段付きドリル（ザグリドリル/ドリル付き沈めフライス）（図 52¹¹⁾）を用いる方法がある。ザグリドリルは図 51 ④～⑦に示したように、穴あけとザグリ加工を同時に行うことができる。そのため、工具を付け替える手間がかからなくなり、作業工程を削減してより効率よく加工することができる。その反面、ドリル部分とフライス部分が一体化されている分、ザグリの加工寸法に融通が利きにくいといったデメリットもある。



図 52 段付きドリル¹¹⁾

ここでは、深ザグリ穴あけの手順を説明する前に、ドリルとエンドミルの違いについて説明する。ドリルとエンドミルをそれぞれ図 53¹²⁾に示す。

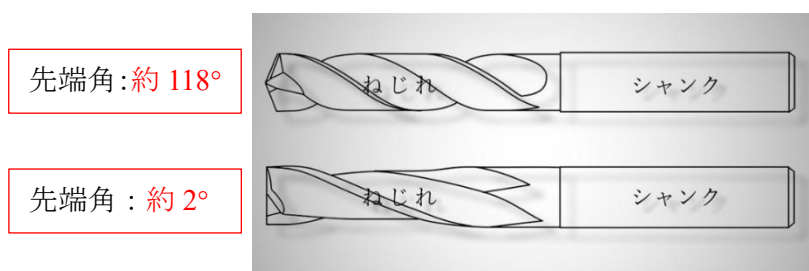


図 53 ドリルとエンドミル¹²⁾

この 2 つの違い¹²⁾は、簡単に言えば使用する場面が異なる。ドリルは、先端の刃を使って穴を掘り突き進むのに対し、エンドミルは、側面の刃で面を削るために横に走らせるのが一般的である。そのため、図 53 にも示した通り、ドリルは先端角が約 118° に尖っており、エンドミルは先端角が約 2° とすかし角となっており、ドリルとは逆方向に凹んだ先端となっている。さらに、この 2 つの違いには、外周刃にもよく表れている。ドリルの外周は逃げ面がなく、円筒状になっているだけであるので切れ刃になっていない。ドリルのこの外周の役目としては、先端であけた穴にさらにドリルが掘り込み、このマージンと呼ばれる円筒状の外周で、穴の側面をすり潰すように均等に整える役割と、さらにブレずに掘り進めるためのガイドとなる。一方で、エンドミルは側面加工を得意とするため、外周には、すくい角（工具の進行方向の前面には切屑が発生し切屑をすくい取るような役割をしている面があり、これをすくい面、その面の垂直面に対する角度）逃がし角（被削物と工具の間に空間をつくるための角度）がついている。本来ならば、エンドミルは、水平方向に動かして削るのが一般的である。ザグリ穴をあける場合は、ドリルと同様にして、エンドミルを垂直方向に動かして工作物に侵入させて、事前にあけた貫通穴をエンドミルの側面の刃で広げていくようにしてザグリ加工を行う。ここから、深ザグリ穴あけの手順を具体的に説明していく。

まず、9.1.4 に説明した通りにここでは、φ6.3[mm]のストレートシャンクドリルを取り付け、試

運転してドリルがまっすぐとりついていることを確認する。このときの回転数は、610[rpm]に設定する。ドリルの取り付けが完了したら、回り止めをし、正面、側面の2方向からドリルの先端とくぼみの位置を合わせる。位置合わせが終わったら、再度回り止めを確認し、ボール盤の主電源を入れ、ドリルを回転させる。ここであける穴は通し穴（貫通穴）である。一般的には、工作物で穴あけをする場合、通し穴をあける作業が多い。

図 54（新版機械実習 2 p.122 より引用⁹⁾）のように、ドリル先端が工作物裏側に抜ける瞬間は、急に切削抵抗が減るため、ドリルの切れ刃が下方に食い込みやすい⁹⁾。このとき、工作物が振り回されたり、ドリルが破損したりする可能性がある。さらに、万力ごと回転する場合もある。これによって、ドリルや工作物が手に当たったり、足の上に落下したりする等、ケガをする危険性が非常に高い。穴あけが貫通する間際は、送りハンドルの手応えや切削音の変化が見られるため、注意深く観察し、貫通する手前で送りを

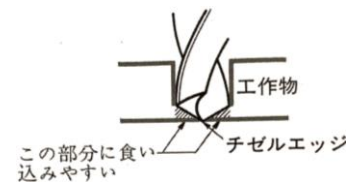


図 54 貫通する瞬間⁹⁾

小さくして、食い込みを防ぐ必要がある。しかし実際には、切削抵抗が変化する瞬間がわかりにくい。そのため、不安な場合は止まり穴をあけると同様にして、事前に送りハンドルの目盛りを確認して、貫通する 1[mm]手前で送りを小さくする等の工夫を施す。さらに、ドリルの先端部分より薄い板の場合は薄板を当てる。そして、1 つ通し穴をあけることができたなら、ボール盤の主電源をオフにし、ブラシで切りくずを掃除する。

通し穴をあけた後は、そのままの位置を保ったまま、ザグリ穴をあけていく。このまま、他の 3 つの通し穴を先にあけない理由としては、通し穴をあけ終わりザグリ穴をあけるために、位置を再度合わせるのは難しく、位置を合わせたまま、ザグリ穴あけを行うことができるためである。よって、1 つ通し穴をあけた後はドリルではなく、直径 11[mm]のエンドミルを用いて加工するのが一般的である。そのため、直径 11[mm]のエンドミルを取り付け、ボール盤の主電源をオンにして、エンドミルがまっすぐ取り付いているかを確認する。このときの回転数は、300[rpm]とする。そして、エンドミルの先端が工作物に当たった瞬間の送りハンドルの目盛りの位置を確認し、そこから 6.5[mm]動いた位置までザグリ穴あけを行い、深さ 6.5[mm]のザグリ穴をあける。このときに注意する点として、通し穴をあけた状態で上から広げる形でザグリ穴あけを行うため、先程の通し穴をあける時の約 1/5 程度の力で行う必要がある。これは、貫通穴が既に存在するため、工作物と工具との接触面積が減少する。そのため、摩擦が減り、小さな力で加工が可能することが可能である。もし、このときの力が強すぎると、工具が工作物に対して正確に進まない可能性がある。これによって、ざぐり穴の位置や形状がずれ、精度が悪くなり、さらには、工具が折れてしまう可能性がある。ザグリ穴をあけることができたなら、止まり穴の時のように、主電源をオフにし、切りくずを掃除し、ノギスのデプスバーでザグリ深さを測定する。これらのように、貫通穴を 1 つあけた後、そのままの位置でドリルをエンドミルに交換し、ザグリ穴をあける。この作業を穴が 4 つ必要となるため、計 4 回行う。これによって、精度よくザグリ穴をあけることができる。以上が穴あけの加工方法である。

9.1.6 穴の面取り

2.1.5 で行ったドリルによる穴あけでは、穴の入り口部分（両側）に図 55 のようにバリが発生する。それによって、入り口部分の穴径が小さくなり、組み立てる際に他の部品に傷が付いたり、人間が触れた際にケガをしたりする危険性がある。そういったことを防ぐために、すべての穴をあけることができたなら、カウンターシンク(図 57)と呼ばれる工具を取り付け、穴の面取りを行う。カウンタシンクは図 56 に示す。カウンタシンクとは、丸



図 55 穴のバリ



図 56 カウンターシンク

穴の面取り，さら座ぐり，溝の面取り等に使われている．カウンターシンク先端部の切れ刃角度は 90 度となっている．また，用途によって先端部の角度を変更し，使用する．カウンターシンクを用いた面取りの具体的に行うべき作業について述べる．

まず，先ほどの穴あけでは，先に回り止めをしてから穴の位置を合わせていたが，ここでは，先にカウンターシンクの先端をあけた穴の中心位置にくるように，正面，側面と 2 方向から確認し，ゆっくり穴の中心にカウンターシンクの先端が合うように穴に入れる．そのまま穴にカウンターシンクを入れた状態で万力を回り止め（支柱に当てる）をする．このようにすることで，正確に中心をとらえることができる．回り止めができたなら，1 度カウンターシンクを上にあげて，ボール盤の電源をオンにする．そして，万力を手でしっかり押さえた状態でゆっくりハンドルを回して穴に当てる．このとき，大きな穴だと強めの力で，小さな穴だと軽く当てるくらいの力で行う．工作物の両面の穴をすべて面取りする．穴の面取りがすべてできたら，ボール盤の電源をオフにし，万力に取り付けた工作物周りの切りくずをブラシを使って払い，工作物を取り外す．さらに，カウンターシンクをドリルチャックを用いて外す．

9.1.7 ねじ立て

ここでは，2.1.6 であけた止まり穴に実際にねじ（めねじ）を立てていく．その際に，図 57（新版機械実習 1 p.67 より引用¹²⁾）に示すタップ回しという工具を用いる．タップ回しとは，ハンドタップの柄の角柱の部分を手柄の四角形の穴に差し込んでタップを保持し，ねじ立てをするものである．四角形の穴は調整ねじで調整できるため，呼びの異なったタップを保持することができる¹²⁾．

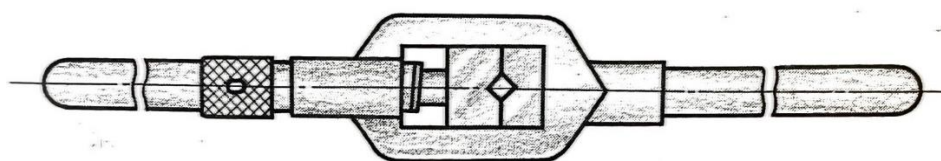


図 57 タップ回し¹²⁾

ここから，このタップを使ったねじ立て（図 58）（新版機械実習 1 p.68 より引用¹³⁾）の方法について説明する．ねじ立ては，ねじ下穴の軸心に対してタップの軸心が一致しているかを確かめて作業を進めることが非常に大切である．まず，わずかにタップを回転してタップの食いつき部を下穴に食い込ませる．これは，実際の作業では，両手でタップを持った状態で体ごと 90° 回転させて，ねじ下穴に軸心に対して，タップの軸心が一致しているかを確かめる．もし，ここですれている場合は，まっすぐにする方向（修正したい方向）と下方向に力を加えながら，もう 90° そこから体ごと回す．ここで，修正する方向以外に下方向に対して力を加えるのは，タップが折れるのを防ぐためである．ここからは，ねじが正しく切れていれば，後は，3/4 回転～1 回転くらい切り進み，中で詰まる切りくずを切るために 1/4 回転くらい戻す．図 59（新版機械実習 1 p.69 より引用）に示すような止



図 58 タップによるねじ立て¹³⁾

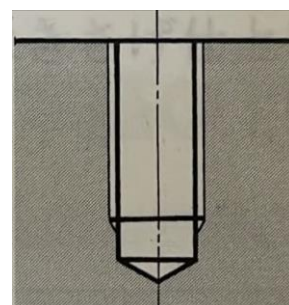


図 59 止まり穴¹³⁾

まり穴の時は、穴の中に切りくずが詰まって、切り進めなくなり、タップが折れたりするため、時々タップを抜いたり、逆転したりする。そのため、今回の図 59 のような止まり穴の場合は特に先ほど示した 1/4 回転戻すという作業は非常に重要となる¹³⁾。

次に、もしタップが折れてしまった場合の折れる原因とその対処方法¹³⁾について、次に示す。

- 1) タップが摩耗して切れなくなっている。
- 2) 下穴が小さすぎたり、曲がっていたりする。
- 3) タップが軸心に対して曲がって入っている。
- 4) 止まり穴の底につかえているのにさらに回してしまう。

等、タップが折れる原因は様々であるが、多くは無理な切削をした場合である。

タップが折れてしまった時は、折れた部分が工作物の上面に出ていた時は、出ている部分をペンチやプライヤ等で挟んで反時計周りの方向へ回すと良い。しかし、上面に折れた部分が出ていない時は、ポンチ等で時計周り方向へ叩いて逆転させ、食い込みを緩めて取り除く。上記の方法で解決できない場合は、ポンチやたがね等を用いてタップをくだき、取り除かなければならない。

2.2 穴の位置精度、真円度、表面粗さ、円筒度を向上させる方法を説明せよ

穴あけ加工は、真っすぐな穴をあける基本的な加工方法である。今回もそうであるが、一般的にド穴あけ加工はドリルを使ったものが多く、ドリルであけた穴は、比較的粗く、真円度、円筒度等が精密でない。そのため、ここでは穴の位置精度、真円度、表面粗さ、円筒度を向上させる方法について述べていく。

穴の位置精度を向上させるためには、上でも説明した通り、適切な回り止めと 2 方向から見て穴の位置を見て合わせる事が重要である。また、けがき線を引いた後にドリルだけでいきなり穴あけを行おうとすると、穴位置精度が悪くなるため、ポンチによりくぼみをつけることで、より正確な位置で穴あけすることができる。しかし、もちろんポンチのくぼみの段階で位置がずれていると正しい位置に穴をあけることが困難となるため、けがき線を引いて交わっている面に垂直に、中心からずれないように正しく打ち込む。そして、実際に行う際は、ポンチをたたき強さが強すぎると大きなくぼみができ、修正することが困難となるため、最初は軽くたたき、もしずれた場合は、修正したい方向にポンチを傾けてくぼみの位置を修正していくことが大切である。その手順で丁寧にポンチ作業を行うことで、正確にくぼみをつけることができ、穴の位置精度がより向上する。

真円度とは¹⁴⁾、指示されている穴や軸部分が、どれくらい正確に丸いかどうか（真円に近い状態で加工されている必要があるのか）を示したものである。綺麗に加工されているように見える穴や軸にも歪みやうねりが存在するそういった歪みやうねりを少なくする。

表面粗さとは¹⁵⁾、部品の加工面の状態（凹凸）を表すものである。特に、高さ、深さ、間隔が異なる山、谷が連続する周期的な形状を粗さ（表面粗さ）と呼ぶ。表面粗さの大きい表面ほど触るとザラザラし、光の反射も鈍くなる。一方で表面粗さが小さい者はツルツルしており、鏡のように光を反射する。製品の質感や手ざわりなどが重要視されるようになり、外観の品質を管理する上で粗さは重要な指標となるのだ。

円筒度とは¹⁶⁾、「まんまる」で「真っすぐさ」を指定するものであり、どれくらい正確な円筒形であるべきか、円筒のゆがみを表す。

真円度・表面粗さ・円筒度を向上させる方法の 1 つとして、リーマ加工がある。ドリルであけた穴は、内径・真円度・真直度・仕上げ面の粗さがあまり良好でない。これらを改善して精密な穴に仕上げるために、リーマ加工を行う。リーマ加工とは、穴の寸法精度や内面を滑らかに仕上げる加工方法のことである。つまり、リーマとは穴の内面を精密に仕上げるのを目的とする穴仕上げ用工具である。リーマには、ハンドリーマと機械リーマがある。機械リーマは、主に旋盤やボール盤に

取り付けて使用するリーマで、ドリルと同じようにシャンクにはストレートシャンクと、テーパシャンクがある。ドリルに使用されるチャック・スリーブ・ソケットは、そのままリーマに使用することができる。図 60（新版機械実習 2 p.115 より引用¹⁷⁾）に機械リーマの一例を示す¹⁷⁾。

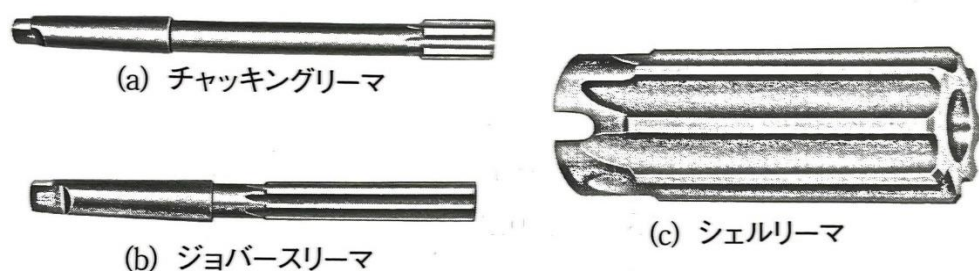


図 60 様々な機械リーマ

リーマ加工の流れを示す¹⁸⁾。

- 1) 仕上げたい穴径のリーマを選定する。（図 61¹⁸⁾）
- 2) リーマで仕上げたい最終穴径よりも小さいドリルで下穴をあける。下穴の最適な径サイズは、リーマ径より 0.2～0.5[mm]ほど小さい下穴になるようにする。
- 3) 実際に以下の通りにリーマ加工を進める。
 - ① 下穴にリーマを接近させる。
 - ② 食いつきと呼ばれる C 面の刃がリーマ代（リーマ代＝リーマ径－下穴径）を切削開始
 - ③ 食いつき刃はそのまま下穴」の径を広め、切削していきながらリーマ外周にあるマージン部によって穴表面をバニッシュ（すり潰すように均す）していく。
 - ④ バニッシュされ、やがてバックテーパーになっているマージン部がガイドの役目になる。
 - ⑤ 完成

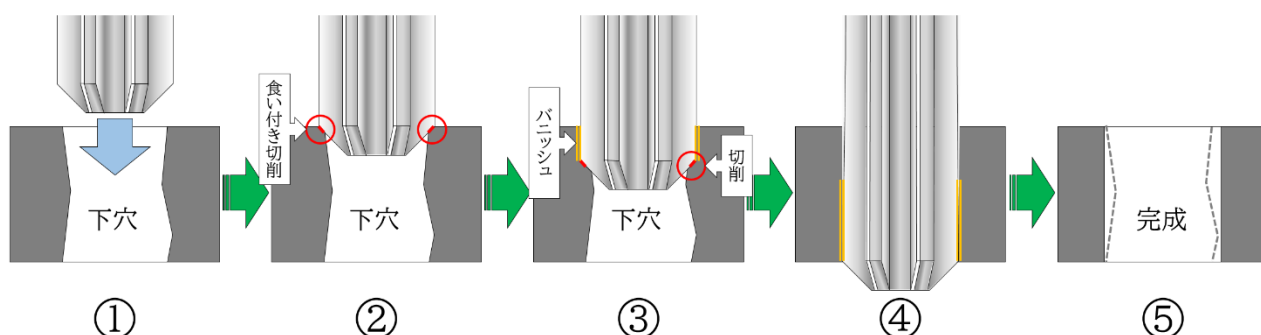


図 61 リーマ加工の流れ¹⁸⁾

以上のようにすることで、穴の位置精度、真円度、表面粗さ、円筒度を向上させることができる。

10. 参考文献

- 1) 嗟峨常生 中西祐二, 「新版機械実習 1」, p50, 実教出版株式会社
- 2) 嗟峨常生 中西祐二, 「新版機械実習 1」, p.51, 実教出版株式会社

- 3) 嵯峨常生 中西祐二, 「新版機械実習 1」, p.52, 実教出版株式会社
- 4) 嵯峨常生 中西祐二, 「新版機械実習 2」, p.127, 実教出版株式会社
- 5) 嵯峨常生 中西祐二, 「新版機械実習 2」, p.110, 実教出版株式会社
- 6) 嵯峨常生 中西祐二, 「新版機械実習 2」, p.109, 実教出版株式会社
- 7) 嵯峨常生 中西祐二, 「新版機械実習 2」, p.111, 実教出版株式会社
- 8) 中古機械情報百貨店, 「芦品鉄工所 卓上ボール盤」,
https://www.jp.usedmachinery.bz/machines/general_view/361881 (参照日 2024 年 6 月 3 日)
- 9) 嵯峨常生 中西祐二, 「新版機械実習 2」, p.122, 実教出版株式会社
- 10) FULL 道具屋無限堂, 「ASHINA/アシナ 19mm 卓上ボール盤 ASD-410」,
<https://r-mugendou.com/o-saka/syobhin/item/heroskin.cgi?table=tool&search=220908103209002&skin=ipn2.html>
(参照日 2024 年 6 月 3 日)
- 11) Mitsuri, 「ザグリの基礎！キリとの違いや関係性、深ザグリについて解説！」,
<https://mitsu-ri.net/articles/countersinking> (参照日 2024 年 6 月 3 日)
再研磨.COM, 「ドリルとエンドミルは何が違うの?」, <https://saikenma.com/service/service-1682/>
(参照日 2024 年 6 月 3 日)
- 12) 嵯峨常生 中西祐二, 「新版機械実習 1」, p67, 実教出版株式会社
- 13) 嵯峨常生 中西祐二, 「新版機械実習 1」, pp.68-69, 実教出版株式会社
- 14) 株式会社エージェンシーアシスト, 「真円度の測定方法は？円筒度との違いも紹介」,
<https://www.agency-assist.co.jp/column/12399/> (参照日 2024 年 6 月 3 日)
- 15) KEYENCE, 「ココが知りたい！表面粗さとは?」,
<https://www.keyence.co.jp/ss/3dprofiler/keijou/roughness/surface/> (参照日 2024 年 6 月 3 日)
- 16) KEYENCE, 「幾何公差の基礎と測定ノウハウ ゼロからわかる幾何公差」,
<https://www.keyence.co.jp/ss/products/measure-sys/gd-and-t/type/form-tolerance.jsp>
(参照日 2024 年 6 月 4 日)
- 17) 嵯峨常生 中西祐二, 「新版機械実習 2」, p115, 実教出版株式会社
- 18) 再研磨.COM, 「リーマ加工の流れと穴径精度を上げる方法とは?」,
<https://saikenma.com/service/service-1547/> (参照日 2024 年 6 月 4 日)

11. はじめに（フライス盤）

フライス盤(milling machine)は、多数の刃をフライス(milling cutter)・エンドミル(end mill)等を回転させ、工作物に送りを与えて、主に平面切削する工作機械である。様々なフライスや付属装置を使って図 62（機械製作実習テキスト p.14 より引用）に示すような作業を行いことができる。一般的には、立方体や箱型等を主とする加工が多い。

また、多数の切れ刃を持ったフライスによる切削は、1つの切れ刃しか持たないバイトによる切削に比べると、単位時間あたりの切削量が大きく能率的である。しかし、バイトに比べて、かなり高価な切削工具であると共に摩耗した時の再研磨の費用が高額になる。近年は、この再研磨を必要としないスローアウェイ工具が多く利用されている。

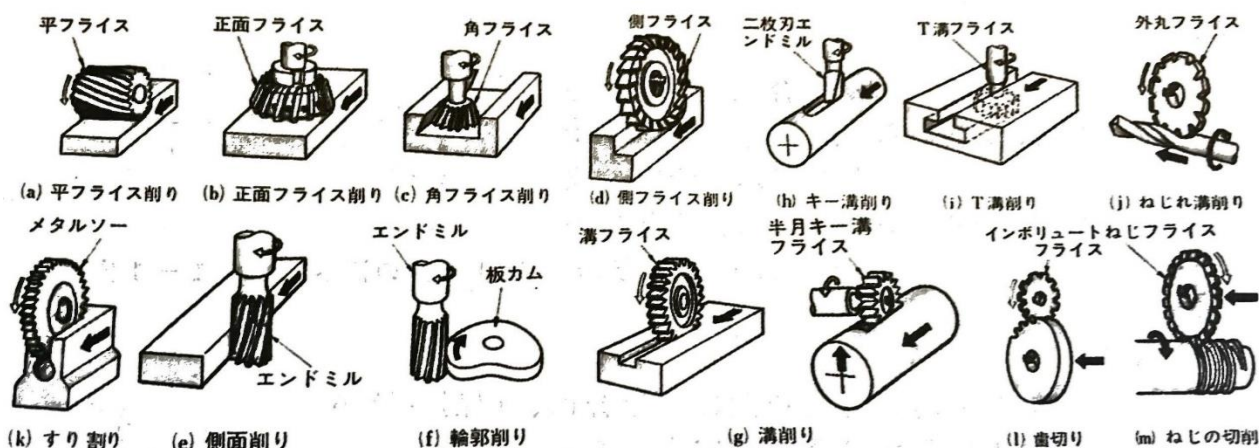


図 62 フライス盤作業

12. フライス盤の構造と機能

フライス盤には、作業の目的によって適した構造のものがある。最も広く使われているものに横フライス盤、万能フライス盤、立てフライス盤の3種類が挙げられる¹⁾。

12.1 横フライス盤

横フライス盤(plain milling machine)は、平フライス・側フライス・メタルソーといった円筒外周部分に多数の切れ刃を持ったフライスを使って加工する機械である。上部の横になったアーバにフライスを取り付け、回転を与える。工作物は、テーブル上面に直接固定したり、機械万力を利用したりして、取り付け加工を行う。テーブル・サドル・ニーによって左右・前後・上下の3方向の運動を与えて切削を行う。送り機構は、安定した機械送りができる構造のものである。手動でも送ることができる構造になっている¹⁾。

横フライス盤を図 63（新版機械実習 2 p.3 より引用¹⁾）に示す。

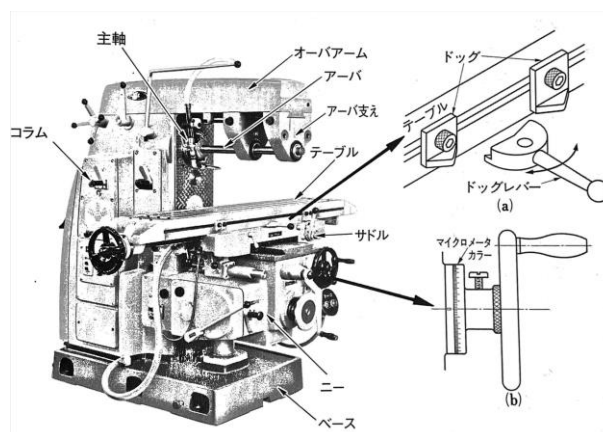


図 63 横フライス盤¹⁾

12.2 万能フライス盤

万能フライス盤(universal milling machine)の主要部分の構造は、ほとんど横フライス盤と同じである(図 64)。(図 64 は新版機械実習 2 p.3 より引用¹⁾) サドルの上に角度目盛りの刻まれた旋回台があり、これにテーブル受けがはまり、テーブルを水平面内で、所定の角度に回転させることができる。これにより、テーブル斜め送りが可能となるため、図 65 (新版機械実習 2 p.5 より引用²⁾) のように、はすば歯車、ドリルのねじれ溝等の加工が可能である。また、万能フライス盤の大きさの表し方は、横フライス盤と同じである²⁾。

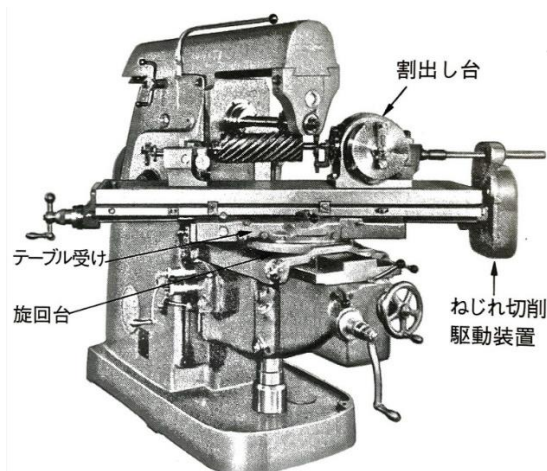


図 64 万能フライス盤²⁾

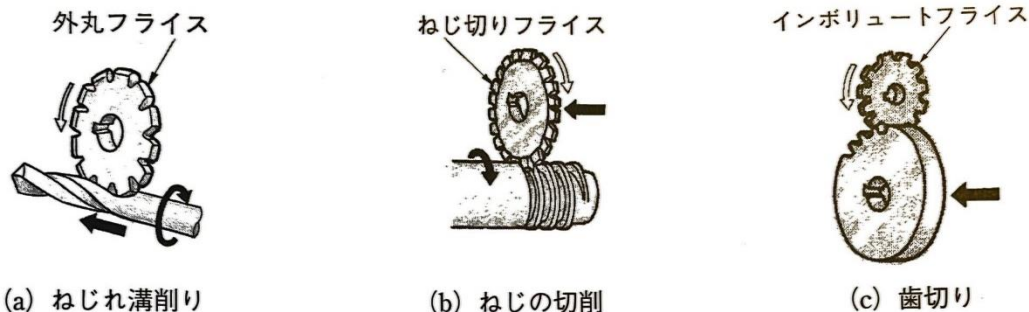


図 65 万能フライス盤による作業例²⁾

12.3 立てフライス盤

立てフライス盤(vertical milling machine)は、図 66 (新版機械実習 2 p.5 より引用²⁾) のように、主に正面フライスやエンドミル等を使って加工する機械である。図 67 (新版機械実習 2 p.6 より引用³⁾) のように、主軸頭が垂直になっている他は、主要部の構造はほぼ横フライス盤と同じである。また、主軸を回転できるものもある。立てフライス盤は、超鋼植刃正面フライスやエンドミルの発達により高精度で能率的な加工が行えるようになり、利用が多くなった²⁾。

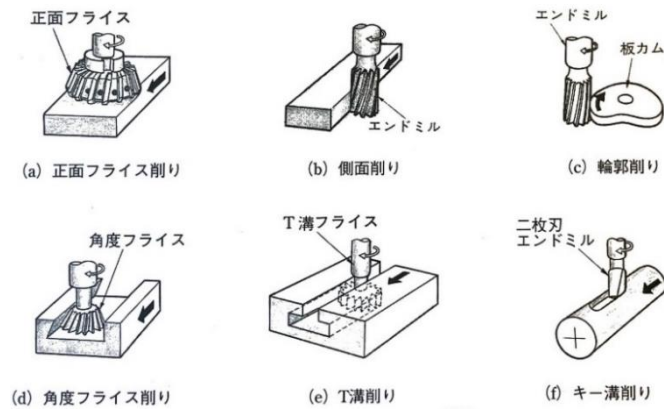


図 66 立てフライス盤による作業例 ²⁾

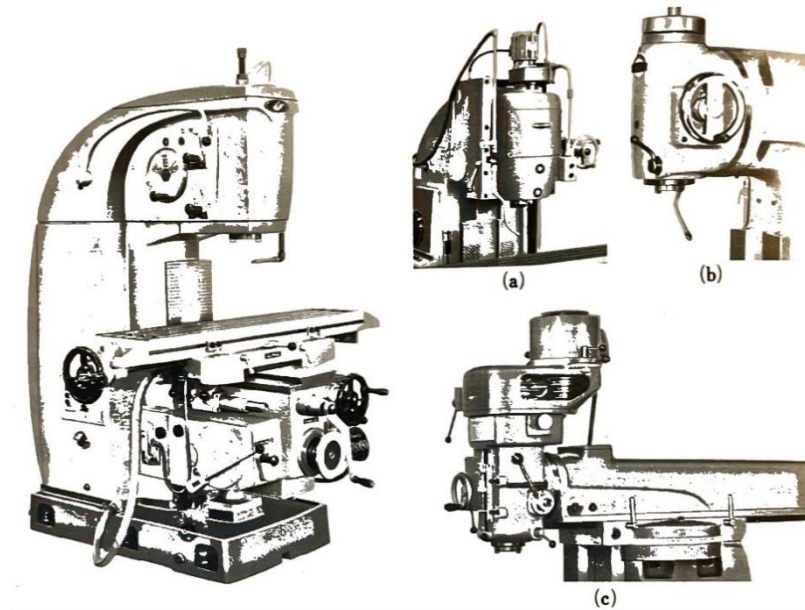


図 67 立てフライス盤 (左) 主軸頭 (右)

立て今回実習で用いたフライス盤も立てフライス盤であり，図 68 に実際に使った立てフライス盤を示す．今回の実習で使ったフライス盤は 2 台あり，その両方が縦フライス盤である．図 68 に示すように，構成されており実際の作業では、X 軸送りハンドル・Y 軸送りハンドル・Z 軸ハンドル，昇降レバー，固定レバー，主軸回転レバーを主に用いる．

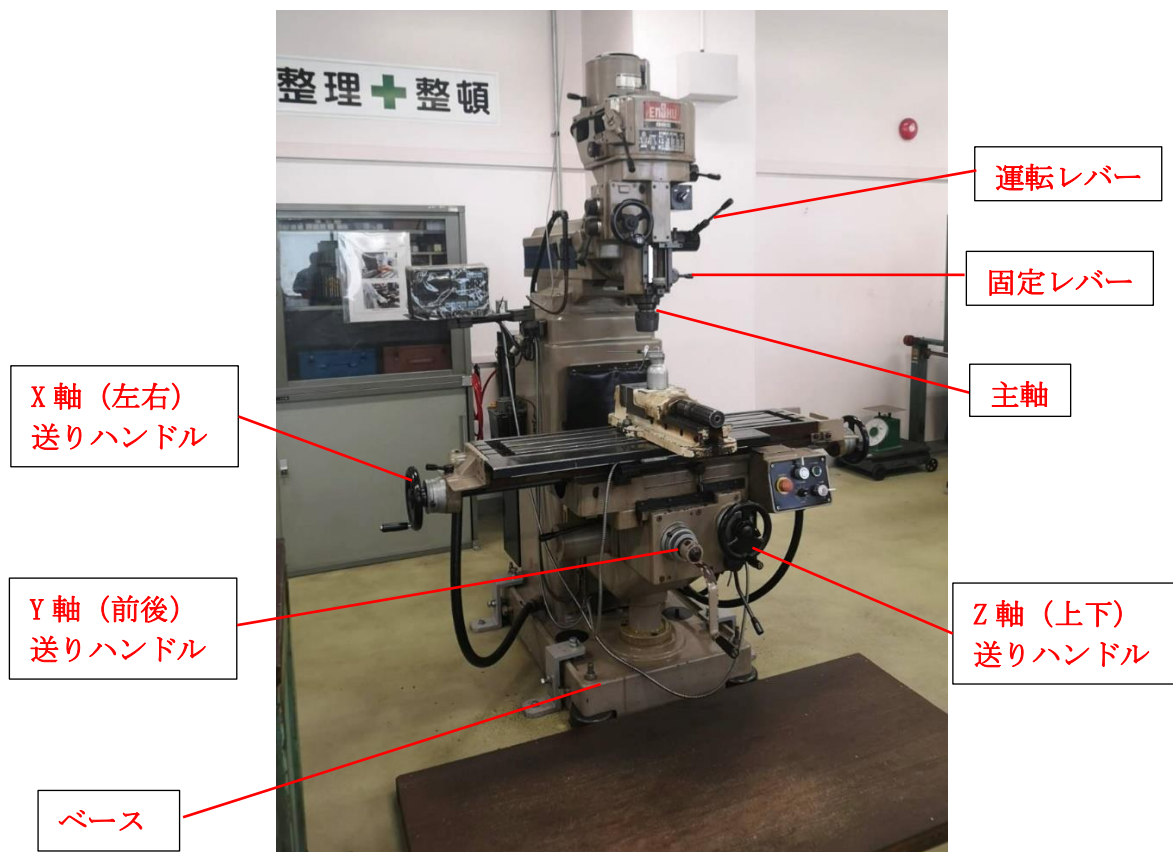


図 68 実習工場の縦フライス盤

13. 作業工程・注意事項（フライス盤作業）

ここでは、図 69 に示す図面の通りに材料を加工するために、本実習で行った作業手順及び測定作業について述べる。

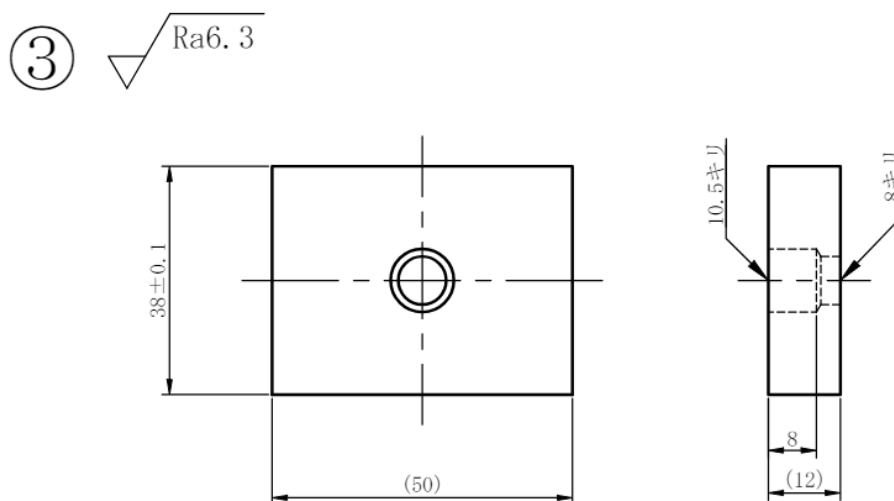


図 69 加工するための手動万力回転軸の図面

13.1 工作物の面取り

今回の与えられた工作物の材質は SS400 である。SS400 は⁴⁾、鉄鋼材料の中では過度な硬さを持つ、流通量が多くコストに優れる、加工性が高いことから、様々な工業用途に利用されている。ボール盤の所でも述べたように、12×50×38mm の材料も元は長い材料（例：12×50×1000mm）のも

のを切断することによって、この寸法となっている。実際に切断した面は角にばりが発生し、測定の誤差やケガ、組み立て時の隙間やズレ等の多くの問題が発生する可能性がある。一般的にこういった手仕上げは工程の順序としては、最後に行われることが多いが、ここでは作業者の安全性を確保し、後続工程への影響を防ぐために初期段階で面取りを行う必要がある。具体的には、やすりを使って面取りを行っていく。本来なら、ボール盤の所で述べたように、万力に固定して行う必要があるが、ここでは、手で工作物とやすりを持って、軽くやする程度で行った。

13.2 平面加工

やすりがけをして、角のばりを取ることができたら、実際にフライス盤を用いて平面加工を行っていく。ここでは、 $38[\text{mm}] \pm 0.1$ の寸法に加工するための手順を説明する。この ± 0.1 とは寸法公差を表している。実際に加工する際は $38[\text{mm}]$ ぴったりに加工することは困難である。そのため、 ± 0.1 と表記し、 ± 0.1 の誤差の範囲内 ($37.90 \sim 38.10[\text{mm}]$) で収まるように加工した。

まず、平面加工を行うために、工作物の取り付けを行った。工作物の取り付けは図 70 (新版機械実習 2 p.70 より引用⁵⁾) に示すように、平行台を 2 つ用意して工作物を安定してしっかり固定するようにする。ここでの万力は、油圧万力を用いたため、回し続けるといくらでも締まってしまうため、1 回締まってから 3 回程回して締めた。そしてこの時の注意点として、工作物をしっかり固定するために、軽く左手で工作物を軽く押さえながら、平行台と材料がぴったり合わさるように固定するようにした。また、ここでは、工具 (正面フライス) を取り付ける必要があったが、既に取り付けられていたため、正面フライスの固定は行わなかった。

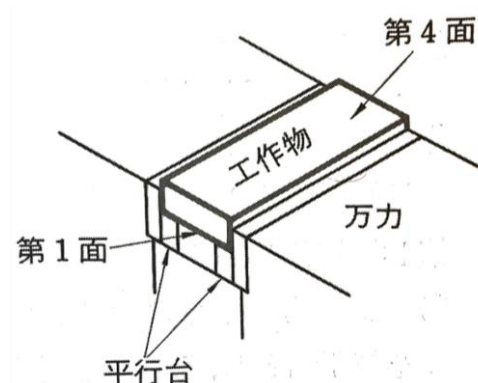


図 70 工作物の万力への固定⁵⁾

工作物の取り付けが完了したら次に、X 軸、Y 軸、Z 軸ハンドルを用いて、工作物と工具の位置を合わせた。まず最初に、X 軸ハンドルを調整して正面から見て、右上角くらいになるように合わせた (図 71)。(図 71 は新版機械実習 2 p.73 より引用⁵⁾) 次に、Z 軸ハンドルを用いて工具を工作物に近づけておき、主軸を回転させた。回転させた状態で Z 軸ハンドルを用いて、工具と工作物が当たる位置まで下げた。この時、目視で確認するのも大事であるが、音を聞いて当たったことを確認した。

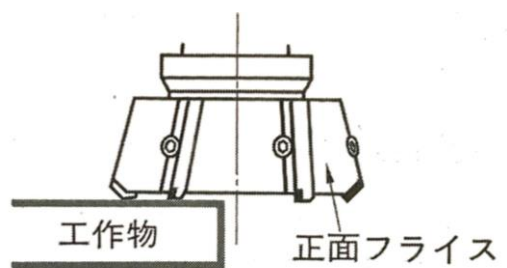


図 71 X 軸ハンドル調整位置 (右上角)⁵⁾

当たったことを確認したら、Z 軸はこの位置のまま、X 軸ハンドルを用いて工具を正面から見て右に逃がした (図 72)。(図 72 は新版機械実習 2 p.73 より引用⁵⁾) そして、ここで Z 軸の目盛りを 0 にセットし、つまみを締めた。逃がしてから 0 セットを行う理由としては、旋盤の所でも述べたように、工具の寿命を減らさないようにするためである。このまま、工作物に工具を当てたまま、0 セットを行うと、接触している時間が長くなり、工具の寿命を減らしてしまうため、この当たってから逃がして 0 セットに合わせるといった工程は非常に重要なことである。次に、0 セットができれば、最初は全員共通で $0.5[\text{mm}]$ 削るた

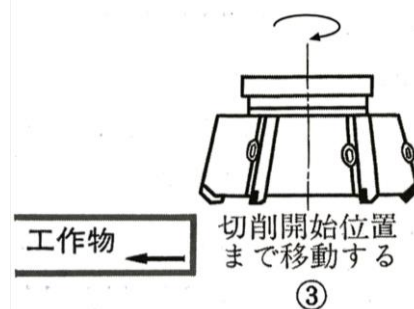


図 72 X 軸ハンドル逃がし (右端)⁵⁾

め、Z 軸の目盛りを 0.5[mm]に合わせた。

これで、すべての準備が整ったため、X 軸ハンドルを先程とは逆に一定の速度で回しながら（手送り）、削った（図 73）。（図 73 は新版機械実習 2 p.73 より引用⁵⁾）正面から見て左端まで削ることができたら、ここで初めてスイッチを切った。スイッチを切ったら、ブラシやウエス等を用いて、万力や工作物に付いている切りくずを払った。このとき、掃除をする理由として、ボール盤の所でも述べたように切りくずが付着するため、次の工程で行うハイトゲージによるけがきの際にその分が誤差となって測定精度が悪くなる原因となるためである。これらの作業が終わった後、後に使い方を説明するが、ノギスを用いて、 $38[\text{mm}] \pm 0.1$ に加工したい部分の寸法を測定した。実際の寸法の数値としては、 $38.55[\text{mm}]$ であったため、 $38[\text{mm}]$ にするために、 $0.55[\text{mm}]$ 削る。よって、先程説明した通り、再度工作物を万力に固定した。ここで再び 0 点に合わす必要はなく、前の手順で $0.5[\text{mm}]$ 削ったためこれに加えて $0.55[\text{mm}]$ 削る。よって、 $1.05[\text{mm}]$ に目盛りを合わせて、同じように X 軸ハンドルを一定速度で回して削った。削り終わったら、掃除をして、万力から工作物を取り外した。そして、再度ノギスを用いて、 $38[\text{mm}] \pm 0.1$ になっているかどうかを測定して確認した。ここまでの、平面加工の手順である。

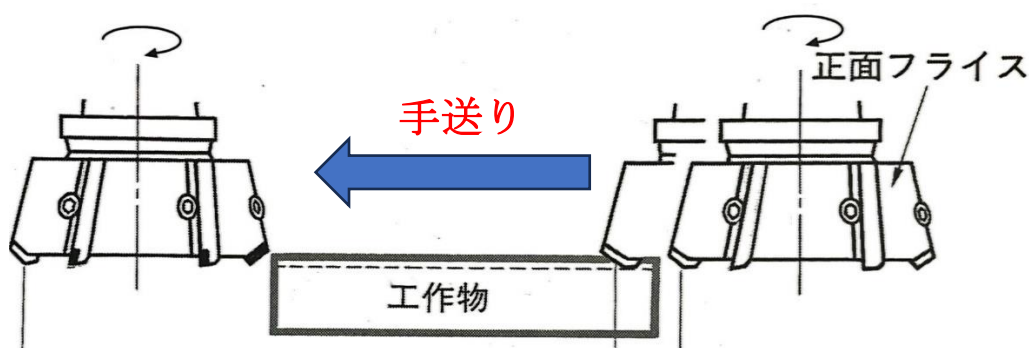


図 73 X 軸の送り

13.3 けがき作業

平面加工によって、 $38[\text{mm}] \pm 0.1$ に加工できたら、ボール盤の所でも行ったように、けがき作業を行った。ボール盤と同じようにハイトゲージを用いて行った。ただ、ボール盤の所と違ったことはデジタルのハイトゲージを用いた。ハイトゲージについては、ボール盤の所で説明したため、ここでは省略する。図 74 に示すように $50[\text{mm}]$ の中心（図 75 赤）と $38[\text{mm}]$ の中心（図 75 青）にそれぞれけがき線を引いた。

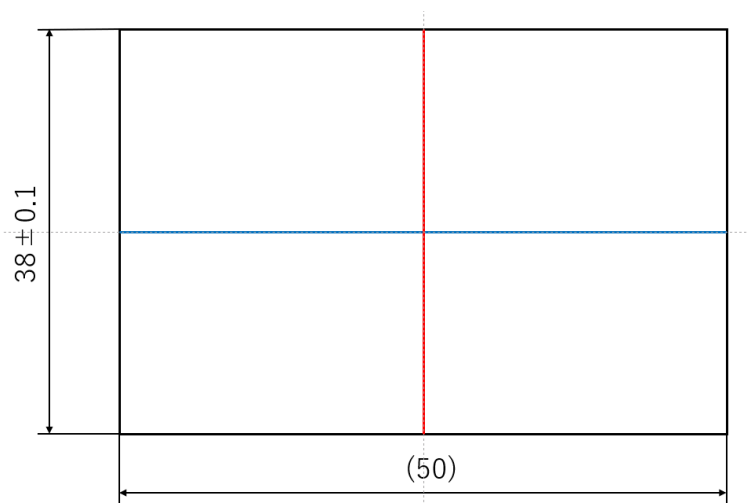


図 74 実際に引いたケガキ線

13.4 穴の位置決め（ポンチ作業）

けがき作業に必要な線を引くことができれば、次にポンチを用いて、穴をあける時にずれないようにするために、くぼみをつけた。今回は、2つのけがき線が交わった中心にポンチでくぼみをつけた。ここもボール盤の部分で詳しい説明を行ったため、ここでは詳しい説明は省略する。

13.5 ドリルの取り付けと取り外し

ここでは、 $\phi 8[\text{mm}]$ の貫通穴と $\phi 10.5[\text{mm}]$ の止まり穴をあけるためのドリルの取り付けを行った。ドリルチャックは正面からみて右向きに回すことによって、締まる。よって、図 75（新版機械実習 2 p.58⁶⁾より引用）に示すように、フックスパナという工具を用いてドリルの取り付けを行った。このとき、実際にはフックスパナを用いる前にドリルを片方の手で抑えながら、もう片方の手でドリルチャックを緩めたり、締めたりする。そして、ボール盤の所でもあったようにドリルが入るか入らないくらいにドリルチャックを広げておき、ドリルチャックを軽く広げながらドリルを取り付けることでまっすぐ取り付いた。

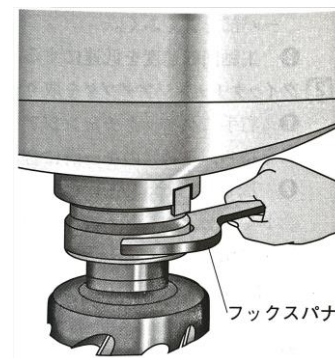


図 75 工具の取り付け（フックスパナ）⁶⁾

手での固定ができれば図 75 の動作に加えて左手を添えながらフックスパナを正面から見て右向きに回すことによって完全に取り付けを行った。これができれば、ボール盤と同じようにしてドリルがまっすぐ取り付いているかどうか試運転で確認することが非常に重要であるため、試運転を行った。また、ここでは $\phi 8[\text{mm}]$ の貫通穴をあけてから、 $\phi 10.5[\text{mm}]$ の止まり穴をあけるため、貫通穴を開け終わったあと、ドリルの取り外しを行わないといけないため、取り外しについても先に説明する。取り外しは先程右向きで回していたものを今度は右手を添えて、左手で押すような感じで左向きに回して緩めた。このときの注意点として、一気に緩めすぎるとドリルが下に落ちてしまうことがあるため、緩めたら少し戻す方法で行った。さらに、このとき最も注意することとして、X 軸ハンドル・Y 軸ハンドルを触らないことである。1 回合わせた状態から X 軸ハンドル・Y 軸ハンドルを触ってしまうと、再度位置合わせをしようとする、困難であるため厳重に注意した。

13.6 穴あけ加工

ここでは 3.4 で付けたくぼみに穴あけを行っていく。そのために、まずは穴位置を合わせた。実際の合わせ方としては、まず X 軸を合わせ、次に Y 軸を合わせるという順で合わせた。このとき、X 軸を合わせるときは正面から見て合わせ、Y 軸を合わせるときは、横方向から見て合わせた。さらに、このときドリルは工作物にぎりぎり当たるか当たらないかくらいの位置で調整すると合わせやすいため、その方法で行った。

次に、 $\phi 8\text{mm}$ のドリルで貫通穴をあける手順について説明する。3.5 で説明した $\phi 8\text{mm}$ のドリルを用いる。まず、フライス盤の電源をオンにして、ドリルを回転させた。ドリルを回転させた後、ドリルを下ろして、穴あけを行っていく。このとき注意する点として、ボール盤の所でもあったように切りくずが出てきたら上げて切りくずを切ることが重要である。そのため、3 回上げて、ドリルを下ろし、レバーを持っていないもう一方の手で油もって油を穴にさす。ここでボール盤と違って、左手で万力を抑えないが、今回のフライス盤では万力が固定されており、抑える必要がなかった。ここであける穴は貫通穴であるため、注意した点を説明する。ドリル先端が工作物裏側に抜ける瞬間は、急に切削抵抗が減るため、ドリルの切れ刃が下方に食い込みやすい。この

とき、工作物が振り回されたり、ドリルが破損したりする可能性がある。穴あけが貫通する間際は、送りハンドルの手応えや切削音の変化が見られるため、注意深く観察し、貫通する手前で送りを小さくして、食い込みを防ぐ必要があるためその方法で今回は行った。しかし実際には、切削抵抗が変化する瞬間がわかりにくい。そのため、不安な場合は止まり穴をあけるのと同様にし、事前に送りハンドルの目盛りを確認して、貫通する 1[mm]手前で送りを小さくする等の工夫を施すとよい。

最後に、 $\phi 10.5$ [mm]のドリルでの穴あけについて説明する。3.5 で先に述べたようにして $\phi 8$ [mm]のドリルを取り外し、 $\phi 10.5$ [mm]のドリルを取り付けた。ここでの穴は止まり穴である。そのため、ドリルが工作物に当たった際を目盛りを確認することが非常に重要である。今回用いたフライス盤の目盛りが mm 表記でなく、cm 表記であったため、注意して目盛りの計算を行った。今回穴の深さは、8[mm]であるため、当たった瞬間の目盛りが今回 2.6[cm]であったため、3.4[cm]の位置まで削った。このとき注意することとして、さっきの貫通穴の時の力の 1/5 程度の力で行うことが重要である。これは、貫通穴が既に存在するため、穴を広げるような感じになり、工作物と工具との接触面積が減少する。そのため、摩擦が減り、小さな力で加工が可能することが可能である。もし、このときの力が強すぎると、工具が工作物に対して正確に進まない可能性がある。これによって、ざぐり穴の位置や形状がずれ、精度が悪くなり、さらには、工具が折れてしまう可能性がある。そのため、ここでの 1/5 程度の力で行うことは非常に重要であるため、特に注意して止まり穴をあけた。すべての穴あけが終わったら、清掃を行い、手で軽く専用の工具を使って、穴の面取りに加え、最後は万力に固定して角のバリ取りを行った。

14. レポート課題（フライス盤）

- 1) 最近の切削工具は、刃先交換式のスローアウェイチップ工具が主流になりつつある。しかし、この度使用した立てフライス盤では、エンドミルという刃物の使用も多い。スローアウェイチップ工具及びエンドミルの特徴をそれぞれ上げ、今回のフライス盤実習での作業にどちらが適していたか、理由をつけて説明せよ。

切削工具として、一般的に使われているバイトとしては、反対に刃先が交換できないロウ付けバイトが使われている。刃先が摩耗した場合や欠けが発生した場合は、ロウ付けバイトは刃先の付け直しや再研磨を行う必要がある。最近では、刃先交換式のスローアウェイチップ工具が主流になりつつある。

まず、スローアウェイチップ工具の特徴について述べる。スローアウェイチップとは、旋盤加工・旋削加工やフライス加工で多く用いられる切削工具であるスローアウェイ工具に使用されるチップのことを言う。一番の特徴として、高い効率性があり、作業効率が向上する点が挙げられる。スローアウェイチップをホルダーにセットし、実際に削る先端部分のみをねじ等によって取付、取り換えられる形式になっている。そのため、摩耗や破損によって切れ味が悪くなった際には、本来の一体型の工具だと、刃先を研磨する必要があるが、スローアウェイチップではその必要がない。よって、チップのみを交換するだけで切れ味の再現性の確保が可能となる。さらに、チップのみを購入すればよいから、工具費を抑制できる点からコスト面でも優れている。

スローアウェイチップに求められる 6 つの性質について以下に示す⁷⁾。

① 硬い

機械加工では金属をはじめ木材やプラスチック等の様々な材料を削るために、チップが削る材料よりも硬いことが必須条件である。

② 粘り強い

主として旋盤加工ではワークが回転し、バイトが直線・曲線運動することによってワークの不要な箇所を削り取る加工法であるため、バイトの刃先とワークは常に接触す

る連続切削と呼ばれている。この接触を繰り返す連続切削では、チップが欠けてしまっ
ては刃物として使用することができないため、粘り強さが必要となる。

③ 熱に強い

連続切削では、摩耗が激しく摩耗熱も高くなる。実際にチップが材料と接触する切削
点では2000~5000[Mpa]以上かつ800~1200[°C]以上の高压・高温になると言われている。
チップは高压・高温の厳しい環境下でも、硬さが低下しない性質が重要となる。

④ 化学的に安定している

高温・高压状態では化学反応しやすい状態である。そのため、チップが削る材料と科
学反応すると、異常摩耗してしまうため、チップのは高温・高压状態でも化学的に安
定しているという性質が求められる。

⑤ 熱伝導率が高い

連続切削で使用されるために、材料を削る際に発生する熱がチップに溜まると、蓄熱
により、チップが一層高温になるため、チップにはすばやく熱を伝達する性質が必要
である。

⑥ 摩擦係数が低い

材料を削った際に発生する切りくずはチップの表面を滑りながら排出されるため、チ
ップの表面が滑らかで摩擦係数が小さいほど、切りくずの流出が円滑になり、切削抵
抗の提言と仕上げ面粗さの向上につながる。

以上がスローアウェイ工具の主な特徴である。

次に、エンドミルの特徴⁸⁾について述べる。図76に示すエンドミルは、外周と端面に切れ刃を持
ち、溝削り・輪郭削り、直角な2面の切削等に使われる。よく似ている工具として、ドリルがある
が、それぞれ加工の目的・方法が異なる。ドリルはボール盤やマシニングセンタ(M/C)に取り付
け、軸(上下)方向の移動のみによって穴あけを行う工具である。一方でエンドミルはM/Cやフ
ライス盤に取り付け、水平面や垂直面・曲面等に3次元方向に移動させることで、様々な加工が行え
る。また、ドリルは先端の切れ刃のみで切削するが、エンドミルは先端だけでなく、側面にも切れ
刃を有しているため、3次元的な動きで切削が行える点もドリルと違う所である。

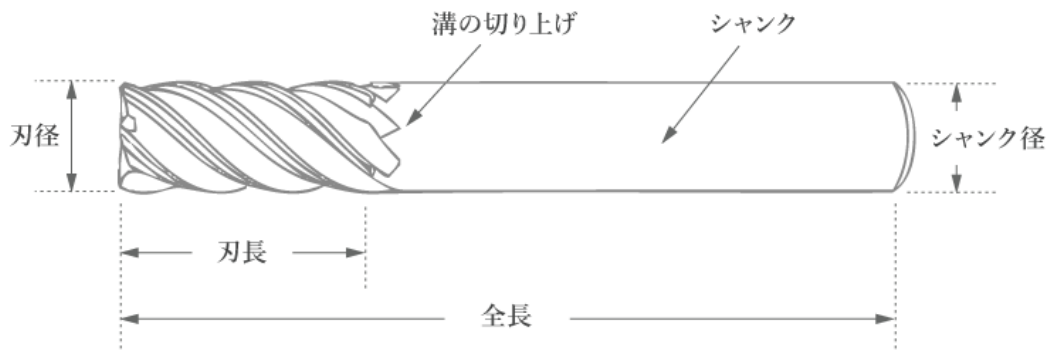


図 76 エンドミル (一般的)⁹⁾

小径のエンドミルにはストレートシャンクが使われ、比較的大型のものにはテーパシャンクが使
われ、さらに、大型なものには刃部とシャンク部とが別になっているシェルエンドミルが使われる。
また、テーパシャンクエンドミルにはタング付きと引きねじ付きがある。また、普通のエンドミル
は中心部にも切れ刃をもち、また切りくずの排出は容易であり、狭い溝等のフライス削りに使われ
る。どちらにも直刃とねじり刃がある。図77(新版機械実習2p.13⁹⁾)にエンドミルの種類を示す。

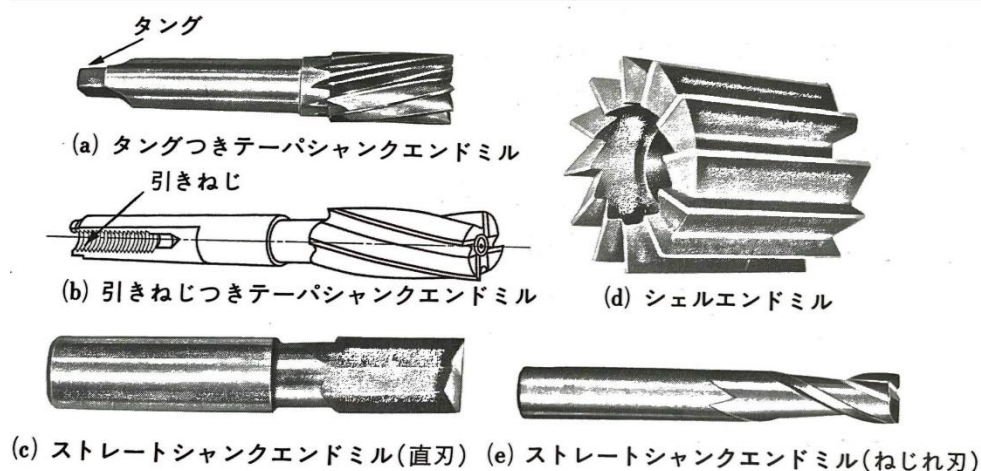


図 77 エンドミルの種類⁹⁾

以上が主なエンドミルの特徴である。

ここからは、ソリッドエンドミルとスローアウェイエンドミルの2つを比べて説明する。スローアウェイエンドミルは、先程説明したスローアウェイチップ（刃先）と工具本体が分かれているエンドミルのことである。一方で、ソリッドエンドミルとは先程エンドミルの所で示した一般的に使われるシャンクと刃先が一体になっているもので、超硬合金から削り出して作られている。ここでは、ソリッドエンドミルと比較した時のスローアウェイエンドミルのメリット・デメリットを示し、今回のフライス盤実習での作業にどちらが適していたのか、理由を付けて説明する。



図 78 ソリッドエンドミル



図 79 スローアウェイエンドミル

ソリッドエンドミルと比較した時のスローアウェイエンドミルのメリットを示す²⁾。

<https://shokunin-tenshoku.com/8413>

① 交換がチップのみのため経済的

スローアウェイエンドミルは、刃先が傷んでもチップのみ交換すれば切削性能は新品に戻る。一方で、ソリッドエンドミルは、刃先が傷むとエンドミル自体を交換しなければならない。また、スローアウェイの交換用チップは、多くが2~3 コーナー使えるものもあり、1 つのチップで複数買い使用が可能である。そのため、経済性が非常に良い。

② 径が大きい加工も可能

例えばφ32 やφ50 の大径のソリッドエンドミルは、大変高価なのであまり使われない。しかし、スローアウェイエンドミルであれば、チップの大きさは径が大きくなっても変わらないため、大径になっても小径の場合とほぼ変わらないコストで加工を行うことができる。そのため、大径のミーリング加工を行いたい場合にはスローアウェイがよく使われる。

③ 刃数が多く、送り速度を上げられる（径による）

商品にもよるが、荒化工のソリッドエンドミルは2枚刃を使うのが、一般的である。しかし、スローアウェイエンドミルは、例えばφ32のエンドミルが3枚刃、φ50のエンドミルが4枚刃と、刃数が2枚よりも多めになっている。そのため、2枚刃エンド

ミルを使うよりも送り速度を上げることができる。

次に、ソリッドエンドミルと比較した時のスローアウェイエンドミルのデメリットを示す²⁾。

- ① 径方向の精度が出ない
スローアウェイエンドミルのチップ脱着時の繰り返し精度が完璧でないため、0.01[mm]台の精度が必要な加工には不向き。そのため、公差の入った箇所の加工においては、0.01[mm]台の精度で加工が必要なソリッドエンドミルの方が優れている。
- ② ハイスが選択できない
スローアウェイエンドミルに使われるチップのほとんどは、超硬や靱性の高いサーメットで、できている。ハイスでは摩耗が大きい上に切削条件が挙げられず、スローアウェイの良さを活かさないため、特定の条件では劣ってしまう。
- ③ それほど切込み量を大きくできない
上の図 79 のスローアウェイエンドミルのように、スローアウェイエンドミルは通常刃物の先端部にしかチップが付いていない。例えば、φ32 のカッターであれば、切込める深さは約 10[mm]程度までである。スローアウェイエンドミルはチップがボルトで固定されており、負荷をかけすぎるとチップが破損し、その衝撃で本体が壊れてしまう。そのため、基本的に切込み量は 3[mm]くらいまでにとどめておくのが無難である（工具径にもよる）。また、軸方向に深く切り込むにしても、径方向は浅くする等負荷が大きくなりすぎない工夫が必要である。
- ④ 溝加工はそれほど得意ではない
チップに負荷がかかり、破損する可能性が出てくるため、スローアウェイエンドミルでは、溝加工は不得意である。また、切粉の噛み込みが起こる可能性も高くなり、負荷の問題からも切削条件を高く設定できない。溝加工では切削条件を落とす必要があり、肩削りの方が得意。
- ⑤ スローアウェイエンドミルのチップには、ノーズ R（刃先 R）がついており、一般的には R0.4 と R0.8 が使われる。難削材の加工やチップ寿命を重視する場合、R0.8 の方が有利であるが、削った角部に R が残り、製品の形状に影響を与えることがある。そのため、必要に応じてノーズ R 部分を除去する工程が必要になってくる。
- ⑥ 壊れた場合の出費が大きい
スローアウェイエンドミルの本体は、ソリッドエンドミルの本体より高価である。そのため、本体を破損させてしまった場合の出費は大きくなってしまう。チップ交換式であるため、壊れにくいと思われがちであるが、実際には壊れやすい。特に、スローアウェイエンドミルは、シートがないためチップが破損すると直接工具がダメージを受けてしまうという欠点もある。

以上がソリッドエンドミルと比較した場合のスローアウェイエンドミルのメリット・デメリットである。これらを踏まえ、今回のフライス盤実習では、ソリッドエンドミルが適していたと考える。ソリッドエンドミルは、シャンクと刃先が一体化しているため、高い繰り返し精度を実現でき、特に寸法公差が厳しい加工に適している。そして、広範囲な溝加工やエッジ加工等幅広い用途で利用できる。さらに、今回の実習でソリッドエンドミルが適していた理由として以下の 3 つが重要となる。

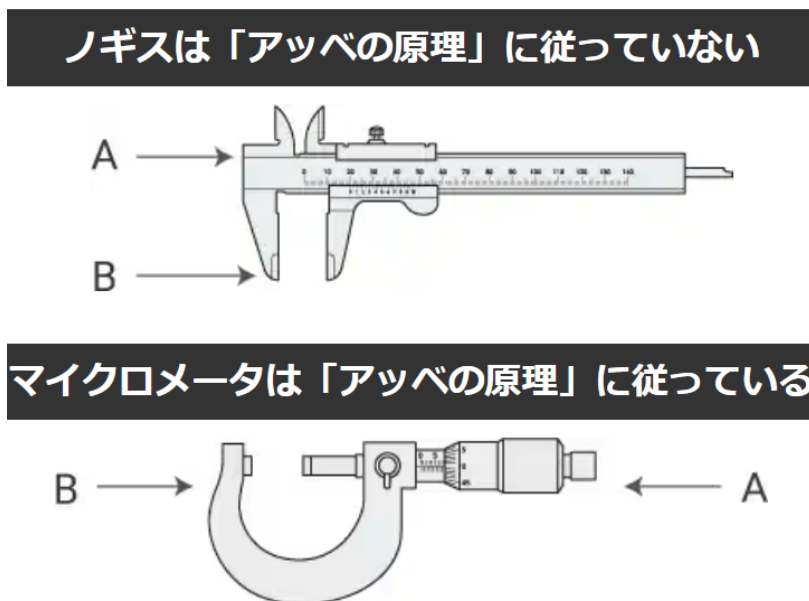
- 1) 高精度な加工：ソリッドエンドミルは、シャンクから刃先までが一体となっているエンドミルであり、高剛性なことから、精度の高い加工が可能である。今回のフライス盤の実習の目的として、フライス盤の機械操作の習得や切削工具の取り扱い等を等の基本的な切削技術の取得や高精度な加工をするための練習である。そのため、ソリッドエンドミルでは、高精度な加工や幅広い加工が可能であるため、今回のような実習の場合は適していると考えられる。
- 2) コスト・交換の手間：用途にもよるが、長期的なコスト効率を重視し、頻繁に刃を交換する必要

がある場合は、スローアウェイ工具が適しているといえる。その一方で、今回の実習のような一回きりの仕様であれば、ソリッドエンドミルのコストの低さや交換の手間の少なさがあるため、コスト面から考えても今回の実習では、ソリッドエンドミルが適していたと考える。以上の理由から、今回のフライス盤実習では、ソリッドエンドミルが最適であると考え。 (実際は、用途によって使い分けることが非常に重要)

- 2) 今回の実習で使用した標準 M 形ノギスは標準マイクロメータと違い、アッベの原理に適合していない構造である。そのため、使用上の注意事項が標準マイクロメータと異なる。標準 M 形ノギス使用の際の注意事項を明記し、この度の実習で起こった誤差について、ノギスの使用方法から考察せよ。

<https://www.keyence.co.jp/ss/products/measure-sys/measurement-selection/basic/abbe-principle.jsp#:~:text=%E3%82%A2%E3%83%83%E3%83%99%E3%81%AE%E5%8E%9F%E7%90%86%E3%81%AF%E3%80%81%E5%AF%B8%E6%B3%95,%E3%81%B0%E3%81%AA%E3%82%89%E3%81%AA%E3%81%84%E3%80%8D%E3%81%A8%E3%81%84%E3%81%86%E3%82%82%E3%81%AE%E3%81%A7%E3%81%99%E3%80%82>

まず、アッベの原理について述べる。アッベの原理は、寸法を測定する際の精度に関わる原理である。また、測定機器を設計する上で重要な指針となる。その原理¹⁰⁾とは、「測定精度を高めるためには、測定対象物と測定器具の目盛を測定方向の同一直線上に配置しなければならない」というものである。これを実際の測定器具に当てはめると、標準マイクロメータの場合、目盛と測定の配置が同一直線上にあるのに対して、標準 M 形ノギスは目盛と測定位置がずれている。つまり、標準 M 形ノギスはアッベの原理に従っているのに対して、標準 M 形ノギスはアッベの原理に従っていない。そのため、測定の精度は標準マイクロメータの方が高いといえる。ノギスとマイクロメータの違い（アッベの原理）について図 80 に示す。



A : 目盛りの位置 B : 測定の位置
図 80 ノギスとマイクロメータの違い（アッベの原理）¹⁰⁾

次に標準 M 型ノギスについて述べる。（新版機械実習 1 p.9 より引用¹¹⁾）ノギス(vernier calipers)は、作業現場で広く用いられている測定工具であり、丸棒の直径や内径、深さ、厚みが測定できる。

標準 M 型ノギスの各部の名称を図 81（新版機械実習 1 pp.9-13 より引用¹¹⁾）に示す。基本構造としては、スケールとパスを組み合わせた測定器であり、本尺目盛とバーニヤ目盛を読み取って、 $1/20[\text{mm}](0.05)$ の長さで測定ができる。

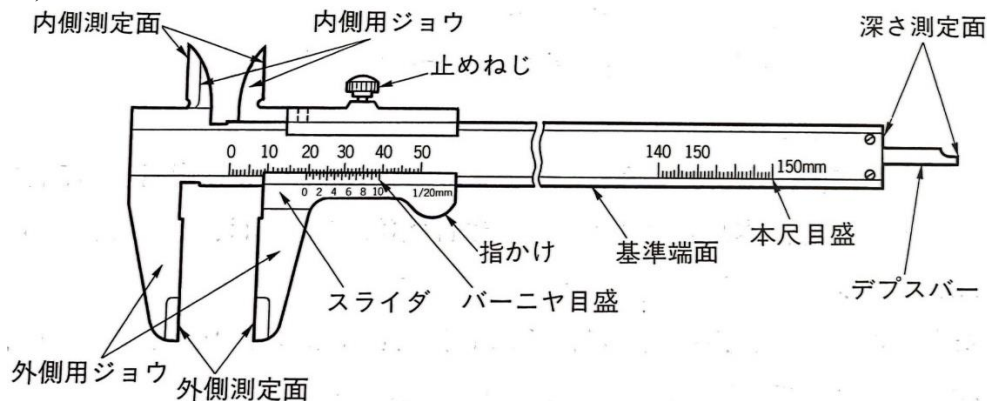


図 81 ノギスの各部の名称¹¹⁾

(1) ノギスの構造

図 82（新版機械実習 1 pp.9-13 より引用¹¹⁾）に示すノギスは、最も広く利用されているもので、本尺に沿ってスライダが滑り動くようになっている。このノギスは、外側用ジョウにより外側の測定、内側ジョウにより内側の測定、デプスバーにより深さの測定ができる。目盛は本尺とスライダに刻まれており、大きな寸法は本尺に刻まれた本尺目盛で読み、本尺目盛の 1 目盛以下すなわち $1[\text{mm}]$ 未満の寸法はスライダに刻まれたバーニヤ目盛で読み取る。

(2) ノギスの読み方

図 82（新版機械実習 1 pp.9-13 より引用¹¹⁾）の(a)のように、本尺目盛 0 とバーニヤ目盛 0 とは一致している。本尺目盛は、 $1[\text{mm}]$ ごとに刻まれており、バーニヤ目盛は、本尺目盛の 19 目盛すなわち $19[\text{mm}]$ を 20 等分していることから、本尺目盛 1 目盛とバーニヤ目盛 1 目盛の差は、次のようになる。

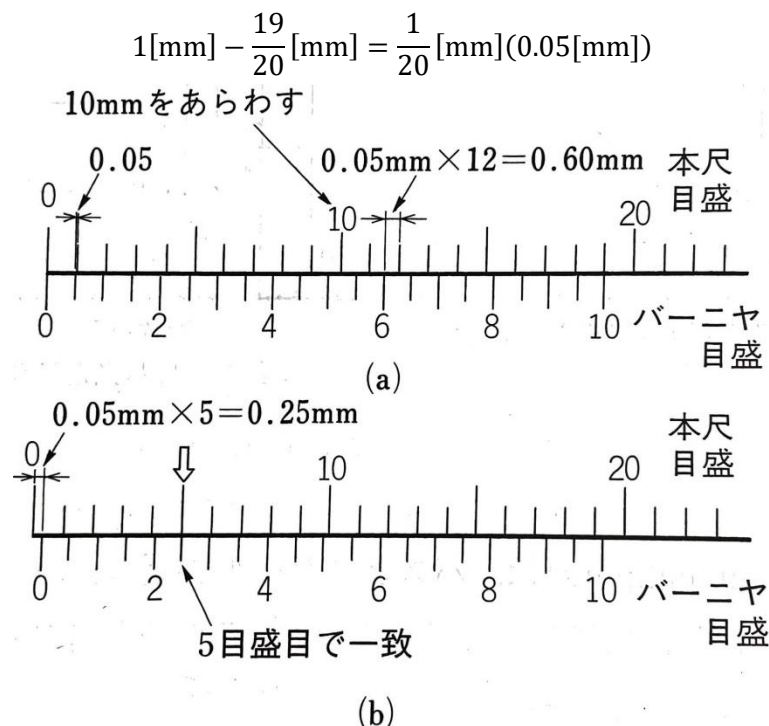


図 82 本尺とバーニヤ目盛¹¹⁾

したがって、図 83（新版機械実習 1 pp.9-13 より引用¹¹⁾）の(b)のように、バーニヤ目盛の 5 目盛

と本尺目盛の 5 目盛と一致したとき、本尺目盛の 5 目盛と一致したとき、本尺目盛 0 とバーニヤ目盛 0 との間隔は以下になる。

$$0.05[\text{mm}] \times 5 = 0.25[\text{mm}]$$

なお、バーニヤ目盛の数値は、それぞれ 0.20[mm], 0.40[mm], 0.60[mm], 0.80[mm]を表している。39[mm]を 20 等分することで、バーニヤ目盛の 1 目盛の間隔を広くし、読みやすさを向上させたロングバーニヤ目盛が、現在では多く利用されている。

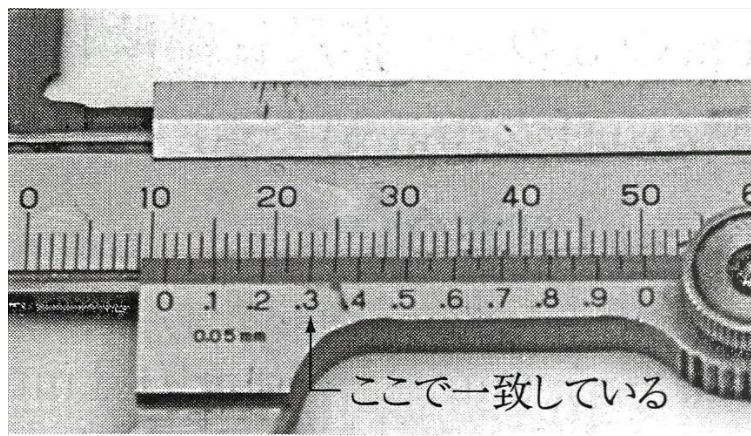


図 83 目盛りの読み方¹⁾

次に、図 83（新版機械実習 1 pp.9-13 より引用¹⁾）に示したノギスの寸法の読み方を考える。

- ① 1[mm]の位までは、バーニヤ目盛 0 が指示する本尺目盛（バーニヤ目盛り 0 の左側で、これに最も近い本尺目盛）から読み取る。

本尺目盛の読み・・・11[mm]

- ② 1[mm]未満の端数は、本尺目盛の目盛線に一致したバーニヤ目盛を読み取る。

バーニヤ目盛の読み・・・0.3[mm]

- ③ 本尺目盛の 11[mm]とバーニヤ目盛から読み取った 0.30[mm]との和が求める寸法である。

求める寸法・・・11[mm]+0.30[mm]=11.30[mm]

(3) バーニヤ目盛の種類

バーニヤ目盛りの種類は、この他に次のようなものがある。

1) 最小読取值 0.1[mm]のもの

本尺目盛りは 1[mm]ごとに目盛り、バーニヤ目盛は本尺目盛の 9 目盛(9[mm])を 10 等分する。すると、本尺目盛りとバーニヤ目盛それぞれ 1 目盛の差は、次のようになる。

$$1[\text{mm}] - \frac{9}{10}[\text{mm}] = \frac{1}{10}[\text{mm}](0.1[\text{mm}])$$

2) 最小読取值 0.02[mm]のもの

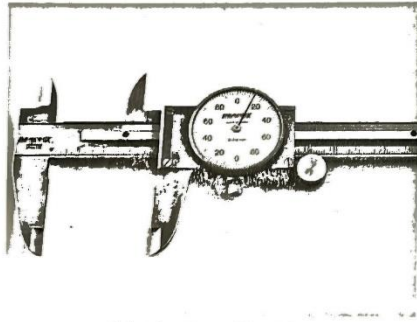
本尺目盛は 1[mm]ごとに目盛り、バーニヤ目盛は本尺目盛の 49 目盛(49[mm])を 50 等分する。すると、本尺目盛とバーニヤ目盛それぞれ 1 目盛の差は、次のようになる。

$$1[\text{mm}] - \frac{49}{50}[\text{mm}] = \frac{1}{50}[\text{mm}](0.02[\text{mm}])$$

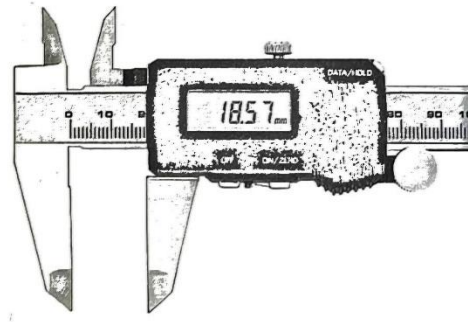
(4) ノギスの種類

基本的な構造は図 81 のノギスと変わらないが、測定値を指針で読み取るダイヤル付ノギス（図 84(a)）やデジタルカウンタで読み取るデジタル式ノギス（図 84(b)）などがある。

（図は新版機械実習 1 pp.9-13 より引用¹⁾）



(a)ダイヤル付ノギス



(b)デジタル式ノギス

図 84 ノギスの種類 ¹⁾

(5) ノギスの使い方

ノギスの検査は、次の順序で進める。

- 1) 測定面・目盛面・しゅう動面（滑り動く面）をきれいにふき取る。
- 2) 外側用ジョウを合わせて閉じたときに、本尺目盛とバーニヤ目盛の 0 点が一致しているかどうかを確認する。
- 3) 外側用ジョウを軽く合わせて、明るい方向にかざし、測定面にすきまなどが無いことを確認する。
- 4) 本尺とスライダの間にがたが無いことを確認する。また、スライダが滑らかに動くことを確認する。

次に、測定上の注意点を示す。

- 1) 外側用ジョウ・内側用ジョウともに、できるだけ本尺に近い部分（根元）を使って測定する。
- 2) ノギスの外側用ジョウの先端は、細かいものの測定に都合のよいように薄く作られているので、他の部分より摩耗しやすい。一般の外側測定には、外側用ジョウの根本付近の厚い測定面を使用する。
- 3) 外側用ジョウ・内側用ジョウ・デプスバーは、図 85 のように測定物に正しく当てて測定する。
- 4) 測定圧は過大、過小にならないように注意する。
- 5) 外側測定（外側用ジョウの使用）と、深さの測定（デプスバーの使用）および段差の測定では、測定値が最小になるように、内側測定（内側用ジョウ使用）では、内径は最大に、溝間隔は最小になるように注意する。
- 6) 測定面の摩耗を防ぐため、測定物をノギスで挟んだまま、ノギスをずらしたり、測定物を引き出してはならない。同じ理由と安全の面から、回転しているものを測定してはならない。
- 7) 目盛を読み取るときは、根差をなくすために、目盛面に対して垂直の方向から正しく読み取る。

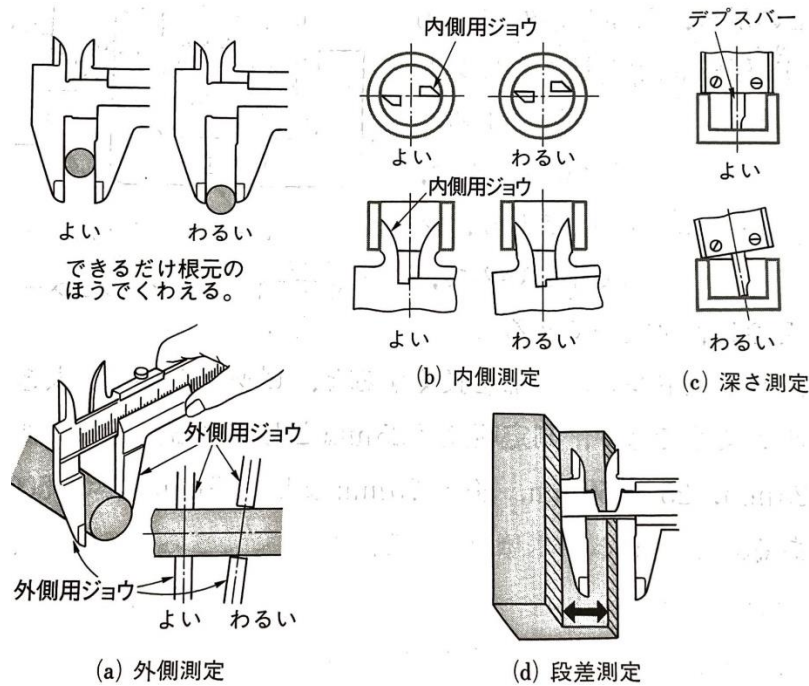


図 85 ノギスの測定例 ¹¹⁾

次に標準マイクロメータについて述べる．図 86（新版機械実習 1 pp.14-17 より引用 ¹²⁾）のマイクロメータ(micrometer)は、ノギスと同様に作業現場や検査測定等に広く用いられている測定器である．マイクロメータの各部ネジの移動量が回転角に比例することを利用して長さを測定する．スリーブとシンブルに刻まれた目盛を読み、1/100~1/1000[mm]の単位で長さの測定ができる．

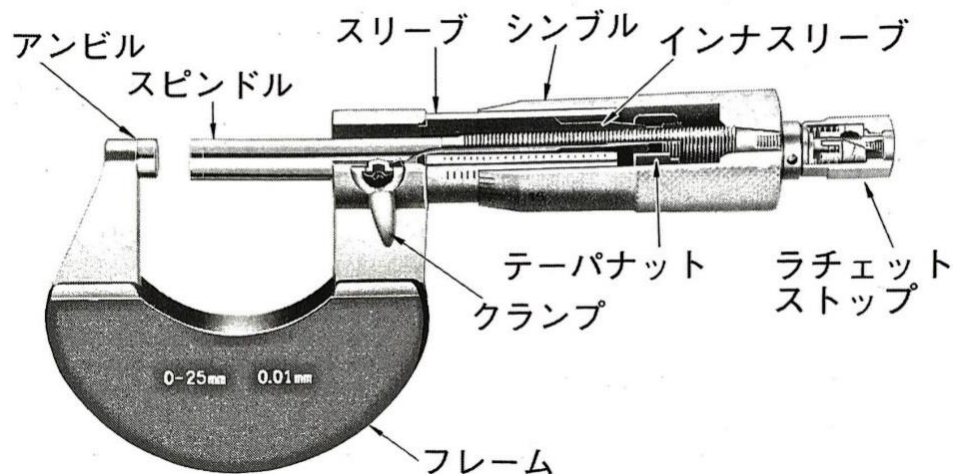


図 86 マイクロメータの各部の名称 ¹²⁾

(1) 外側マイクロメータの構造

図 87（新版機械実習 1 pp.14-17 より引用 ¹²⁾）に示すマイクロメータは、外側測定に用いる．図 87（新版機械実習 1 pp.14-17 より引用 ¹²⁾）に示すように、フレームの一端（アンビル）を基準面とし、他端にめねじを切り、これにスピンドルのおねじをかみ合わせるようになっている．

このねじの 1 回転に進む量（ピッチ）が 0.5[mm]の場合、おねじの外周を 50 等分し、1/50 回転させると、スピンドルは、0.01[mm] (0.5/50[mm]) 移動す

る。このように、標準のマイクロメータは、最小読取り値が0.01[mm]であり、ノギスの0.05[mm]に比べて小さいので、さらに精度の高い測定ができる。

しかし、スピンドルのねじ部を長くすると、ピッチの誤差が大きくなるので、ねじ部は長くできず、測定範囲は25[mm]としている。そこで測定範囲別に、0~25[mm]、25~50[mm]、50~75[mm]など、25[mm]おきに500[mm]までのものがある。

また、測定しようとする工作物にスピンドルを押し付ける力、つまり測定力を一定にして、測定力による誤差が生じないように、ラチェットストップまたはフリクションストップの機能が設けられている。

ラチェットストップは、つまみの回転をばねの力でスピンドルに伝えているので、一定以上の測定力が加わると、ばねが縮んでラチェットが空転し、スピンドルが回らないようになっている。測定範囲が75~100[mm]以下のマイクロメータの測定力は、5~10[N]である。

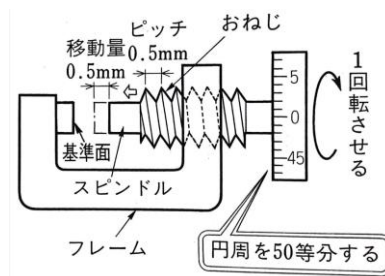


図 87 マイクロメータの原理

(2) マイクロメータの目盛の読み方

マイクロメータの目盛は、図 88（新版機械実習 1 pp.14-17 より引用¹²⁾）のように、スリーブとシンブルの上に刻まれている。スリーブ上の目盛は、基線の上側に1[mm]間隔に0~25[mm]まで刻まれ、下側には1[mm]目盛の中間にそれぞれ0.5[mm]の目盛が刻まれている。

シンブルの目盛は、円周を50等分した0~50までの目盛が刻まれ、この1目盛が刻まれ、この1目盛は0.01[mm]を表している。

図 89（新版機械実習 1 pp.14-17 より引用¹²⁾）に示したマイクロメータの読み方を考える。

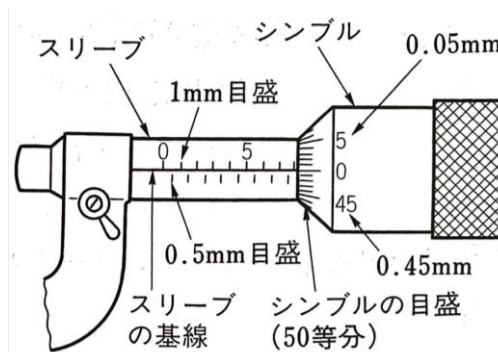


図 88 マイクロメータの目盛り
(測定範囲 0~25[mm])

- ① シンブルの先端がスリーブ上の目盛で何[mm]を示しているのかを読み取る。
スリーブの読み・・・6.5[mm]
- ② 残りの端数は、スリーブ基線と一致しているシンブルの目盛から読み取る。
- ③ スリーブの読みとシンブルの読みの和が求める寸法である。

$$6.5[\text{mm}] + 0.45[\text{mm}] = 6.95[\text{mm}]$$

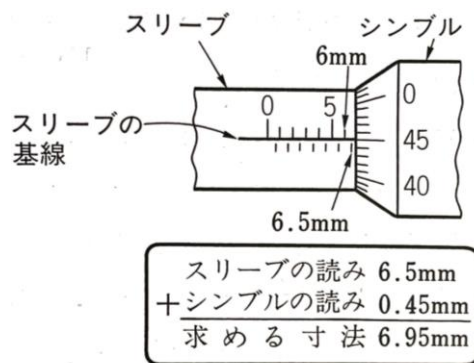


図 89 目盛の読み方

(3) マイクロメータの種類

測定上の注意点¹²⁾を次に示す。

- 1) アンビルとスピンドルを密着させたとき、スリーブの基線とシンブルの0目盛とが一致していることを確認する。一致していない場合は、「マイクロメータの0点の調整法」に従って、0点調整を行う。
- 2) 小さな工作物を測定する場合は、左手で工作物とマイクロメータを一緒に支持し、右手でラ

チェットストップを回して測定してもよい。

- 3) 工作物の支持を安定させ、精度の高い測定をするためには、マイクロメータはマイクロメータスタンドに固定するとよい。

次に取り扱い上の注意点を示す。

- 1) アンビルとスピンドルの測定面全体で工作物を挟む。
- 2) クランプで固定したままスピンドルを回したり、パスがわりに使ったりしない。
- 3) 丁寧に扱い、落としたりして衝撃を与えない。
- 4) 使用後は熱膨張を考慮して、0 点よりも少し開いておく。
- 5) 使用後は、ごみや切りくずなどを取り除き、さび止め油を塗って保管する。

マイクロメータの 0 点の調整法は、次の手順で進める。

- 1) ずれが 1 目盛り($\pm 0.01[\text{mm}]$)以下のとき

クランプでスピンドルを固定し、スリーブの基線の裏側にある穴にかぎスパナを入れて、スリーブを回し、シンプルの 0 目盛線にスリーブの基線を合わせる。(図 90 (1))

- 2) ずれが 1 目盛り以上のとき

クランプでスピンドルを固定し、ラチェット部をかぎスパナで緩める。シンプルの 0 目盛線をスリーブの基線に合わせる(図 90 (2))。再び、ラチェット部を締め付け、シンプルを固定する。なお、1 目盛($\pm 0.01[\text{mm}]$)以下の差が残ったら、1)の操作を再び行う。

(図 90 は、新版機械実習 1 p.17 より引用¹²⁾)



図 90 0 点の調整(1) (2)¹²⁾

以上が、標準 M 型ノギスと標準マイクロメータの特徴と測定の際の注意事項である。

今回は、主に標準 M 形ノギス使用の際の注意事項を参照し、図 91 のような材料を測定して、生じた誤差について、ノギスの使用方法から考察する。

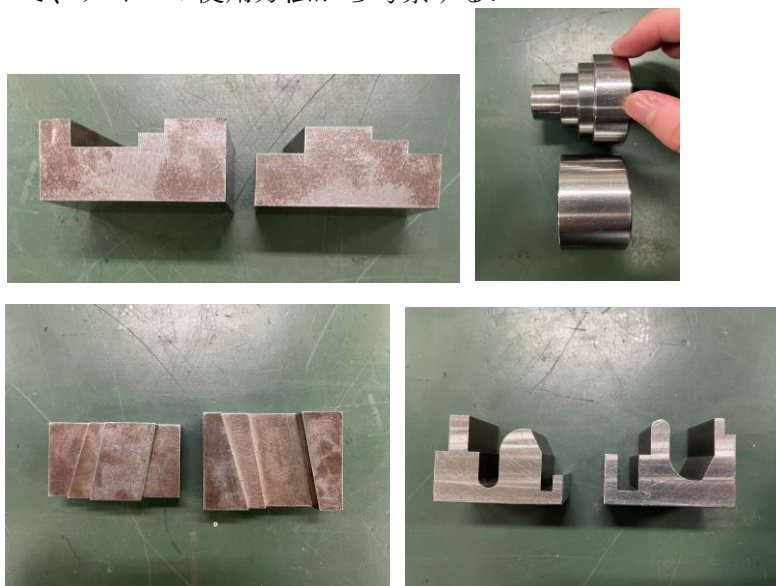


図 91 今回の実習で測定した材料

それぞれ実際に標準 M 形ノギスで測定した値と実際の値とを比べて考察していく。まず、本来 23.00[mm]のところを実際に測定した結果、22.90[mm]と 0.10[mm]の誤差が生じ、また、本来φ 19.85[mm]のところを実際に測定した結果、φ 19.55[mm]と 0.35[mm]での誤差が生じた。さらに、これら以外にも実際に測定した結果、実際の値より小さくなっているものが多かった。この実際の値より小さくなった理由について考察する。これは、主に測定する際にノギスの測定する際に加える圧力が大きかったことが原因であると考ええる。ノギスの注意事項のところでもあったように、4)測定圧が過大、過小にならないように注意するという項目を徹底できておらず、測定した際、ほとんどの測定箇所での測定圧が強くなってしまったため、実際に小さくなったと考える。よって、この測定圧を過大、過小にしすぎるということは、大きく寸法の誤差に影響を与えられられるため、この注意事項は特に徹底する必要がある。また、この測定圧というのは、測定する人によっても変わってくるため、長年の経験で適切な測定圧で測定することができるようになると考える。

他にも今回実際に測定した際には、起こらなかったが実際に標準 M 型ノギスを測定した誤差の要因でよくあげられるものを述べる。それは、まずノギスそのものの不良による要因である。測定部の摩耗や目盛りが摩耗して見にくかったり、測定部に異物が付着している等である。こういったノギスの場合は、このノギスは使わずに新しいノギスを使った方がよい。そのため、ノギスは常に校正を行うように心がけ、実際に測定した際はどのノギスを使った等の管理を徹底することで、ノギスそのものの不良による要因をなくすことができると考える。次に、測定物そのものの不良である。ここでの不良というのは、加工した後に出るバリが残っていたり、測定物に切粉や切削油が付着している等である。これを防ぐために、ボール盤のところでも述べたように、やすりによるバリの除去、ウエスやハケを用いた測定物の掃除を徹底することが非常に重要であると考ええる。

以上のように、一番最初に今回実際測定した際に起こった作業者による要因、先程述べたノギス、測定物の要因のこれらの主な3つの要因を取り除くことによって、精度の高い測定が可能となると考える。

15. 参考文献

- 1) 嵯峨常生 中西祐二,「新版機械実習 2」,p.3, 実教出版株式会社
- 2) 嵯峨常生 中西祐二,「新版機械実習 2」,pp.4-5, 実教出版株式会社
- 3) 嵯峨常生 中西祐二,「新版機械実習 2」,p.6, 実教出版株式会社
- 4) SAKUSAKU,「SS400 ってどんな素材? メリット・デメリットを知って加工に生かそう」,
<https://sakusaku.com/shop/pg/1SS400/> (参照日: 2024 年 7 月 10 日)
- 5) 嵯峨常生 中西祐二,「新版機械実習 2」,pp.70-73, 実教出版株式会社
- 6) 嵯峨常生 中西祐二,「新版機械実習 2」,p.58, 実教出版株式会社
- 7) 特殊精密切削工具.com,「スローアウェイチップとは? 使用材種やその特性についてご紹介」,
<https://special-precision-cutting-tool.com/column/002> (参照日: 2024 年 7 月 10 日)
- 8) SAKUSAKU,「エンドミルとは? エンドミルの使い方や種類、選び方などを解説」,
<https://sakusaku.com/shop/pg/1endmill06/> (参照日: 2024 年 7 月 10 日)
- 9) 嵯峨常生 中西祐二,「新版機械実習 2」,p.13, 実教出版株式会社
- 10) KEYENCE,「寸法測定や測定機器について基礎から学べる測定器ナビ」,
<https://www.keyence.co.jp/ss/products/measure-sys/measurement-selection/basic/abbe-principle.jsp#:~:text=%E3%82%A2%E3%83%83%E3%83%99%E3%81%AE%E5%8E%9F%E7%90%86%E3%81%AF%E3%80%81%E5%AF%B8%E6%B3%95,%E3%81%B0%E3%81%AA%E3%82%89%E3%81%AA%E3%81%84%E3%80%8D%E3%81%A8%E3%81%84%E3%81%86%E3%82%82%E3%81%AE%E3%81%A7%E3%81%99%E3%80%82> (参照日: 2024 年 7 月 10 日)
- 11) 嵯峨常生 中西祐二,「新版機械実習 1」,pp.9-13, 実教出版株式会社
- 12) 嵯峨常生 中西祐二,「新版機械実習 1」,pp.14-17, 実教出版株式会社

16. はじめに（被覆アーク溶接）

2つの金属片を接合する方法には、ボルトやリベットを用いた方法や金属を溶かすかそれに近い状態にして接合する溶接という方法、接着剤による方法などがある。溶接するには、接合箇所を高温にするための熱源が必要だが、熱源にアーク放電を利用するアーク溶接、ガスを燃焼させるガス溶接などがある。前者のうち被覆アーク溶接棒を用いるものを被覆アーク溶接という。

17. 溶接の計画

17.1 溶接法

溶接法を原理・熱源から分類すると図92（新版機械実習1 p.116より引用¹⁾）のようになる。溶接には、各種接合法と比べ、1～4に示すような長所がある。

- 1) 接合部分の強度が高い。
(きちんと溶接できていれば)
- 2) 接合作業の能率が良い。
- 3) ボルト等を使わないため軽量になる。
- 4) 液体や気体漏れない。
このため、ビル、船舶、自転車、パイプ椅子など様々な製品で利用されている。その一方で5～8に示すような短所もある。
- 5) 熱を入れすぎると、加熱により材料が変形しやすい。
- 6) 腕前によって品質に大きな差が出る。
- 7) 直接目で確認できないため、溶接部内部の品質検査が難しい。(超音波や打音)
- 8) 適切に作業しないと命に係わる事故(感電等)や健康被害に繋がる。

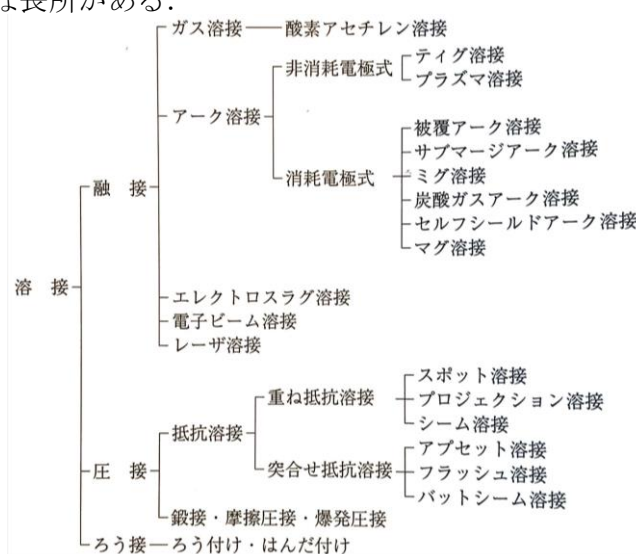


図92 溶接の種類¹⁾

被覆アーク溶接固有の特徴としては、他の溶接法に比べて設備が安価であり手軽に作業が行えること、薄板の溶接には向いていないことなどがある。

17.2 被覆アーク溶接の原理

被覆アーク溶接は、アーク放電の熱で母材と溶接棒を溶かし一体化させる接合方式である。図93（機械製作実習テキスト p.26より引用）のように、溶接機に母材と溶接棒を接続し、両者を接触させてからわずかに話すことで6000℃以上にもなるアークを発生させる。

アーク発生後、溶接をする間はアークを維持しなければならないが、そのためには母材と溶接棒の間隔を適切に保たなければならない。一般的には、使用する溶接棒の心線の直径程度が適切といわれる（本実習では心線直径が2.6[mm]の溶接棒を用いる）。これと同時に、適切な速度で溶接棒を動かさなければならない。目安としては、出来上がったビードの幅が心線直径のおよそ2.5倍（心線直径が2.6[mm]であれば6.5[mm]）になるような速度とする。

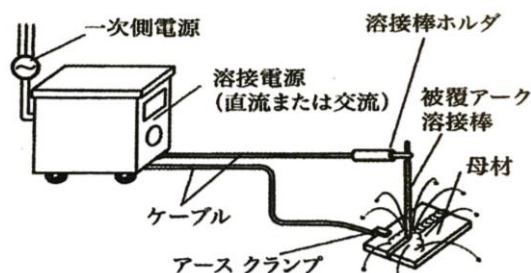


図93 被覆アーク溶接機の構成

17.3 溶接棒

被覆アーク溶接棒は図 94（機械製作実習テキスト p.27 より引用）のように心線とその周りを覆う被覆剤からなる。心線は溶接時に溶けて母材と混ざり合うため母材と同じような材質を選定する。

被覆剤には次のような役割がある。

- 1) アークと溶接金属を大気から守る
- 2) アークをお安定させ、集中させる
- 3) 様々な溶接姿勢での作業を可能にする
- 4) 溶接金属の脱酸・精錬作用
- 5) 溶接金属中に合金元素を添加する

なお、被覆剤は電気を通さないため、通電が必要なホルダーでつかむ部分や母材に当てる先には塗られていない。



図 94 被覆アーク溶接棒の構造（断面図）

17.4 溶接継手と開先

部材を接合する際、図 95（新版機械実習 1 p.117 より引用）のような形状で継ぎ合わせるがこれを溶接継手と呼ぶ。船舶や構造物など特に安全性が求められる場面ではこの強度計算も十分に行う必要がある。

継手を溶接するにあたり、開先溶接、すみ肉溶接、プラグ溶接などいくつかの手法が選択できる。例えば開先溶接の場合、図 96（新版機械実習 1 p.117 より引用²⁾）の破線部のような特定の形状（開先という）を事前に加工しここに溶着金属を加えて接合する。特に板厚が薄い場合は、開先なしでは板厚の一部しか接合されない（奥の方が溶けない）ため開先が必要になる。

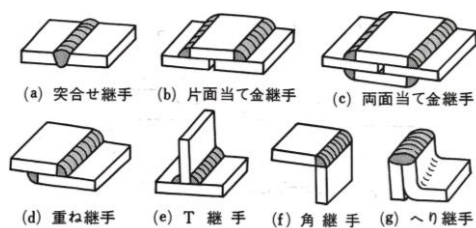


図 95 溶接継手²⁾

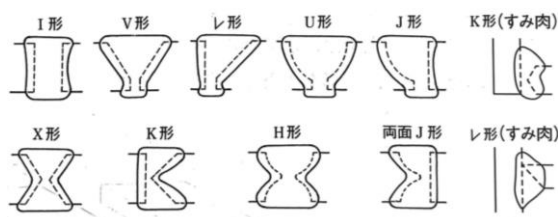


図 96 開先の種類²⁾

2.5 母材への影響

溶接は、母材を急速かつ局所的に高温に加熱するため、膨張収縮によるひずみ（図 97）や残留応力の発生、結晶構造の変化が起これやすく寸法精度や強度に悪影響を及ぼすことがある。これらの影響を抑えるために、あらかじめ母材を予熱することもある。また、ジグでひずみを抑えることもある。（図 97 は新版機械実習 1 p.118 より引用³⁾）

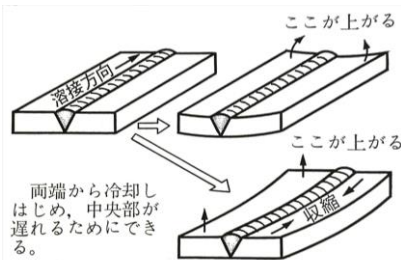


図 97 溶接によるひずみ³⁾

2.6 溶接姿勢

溶接を行う時の向きを溶接姿勢と呼ぶ（図）。溶接姿勢には、図 98（新版機械実習 1 p.119 より引用⁴⁾）のように、下向き(F)・上向き(O)・横向き(H)および立向き(V)の姿勢がある。溶接は母材と溶接棒を溶かしながら行うため重力の影響を受ける。よって、下向きが最も安定して

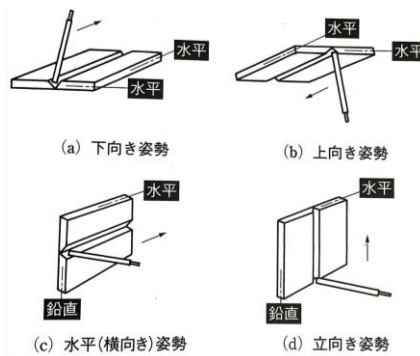


図 98 溶接姿勢⁴⁾

作業でき溶接効果も最良となる。しかし、建築中のビルなど特定の向きでしかできない場合もあるため、このときは適正な溶接条件を選んで行う必要がある。

17.7 溶接棒の動かし方

溶接は1本ずつ溶着金属を乗せていくが、この溶接跡をビードと呼ぶ。溶接部の形状や使用する溶接棒の心線径により溶接棒の動かし方が異なる。

溶接棒を溶接方向に対して直線的に動かす方法をストリングアビードと呼び、溶接方向に対して振幅を与えながら進む方法をウィービングビードと呼ぶ。例えば開先溶接では開先を埋めるために複数回に分けて溶接を行うことがあるが、1層目は溶接幅が狭いため、ストリングアビードで、上層は幅が広くなるためウィービングビードで行う(図99)。(図99は新版機械実習1 p.119より引用⁴⁾)

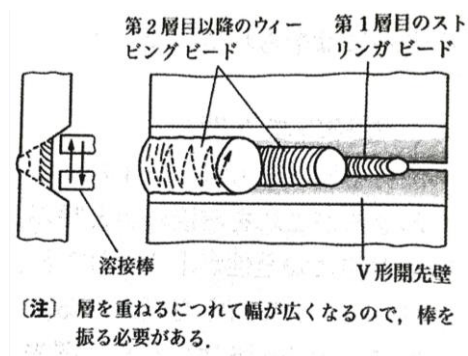


図99 開先でのビードの置き方

17.8 アーク溶接機

(1) アーク溶接機の種類

アーク溶接機には、溶接棒に流れる電流が交流のものと直流のものがある。交流式の方が電撃(感電)の危険性が高いが構造が簡単で取り扱いがしやすく価格も安価である。一方で直流式は、交流式よりもアークが安定していることや母材と溶接棒のどちらをプラス極・マイナス極にするかによって溶接条件を変えられるなどの特徴がある。

被覆アーク溶接では交流式が広く用いられており、今回の実習でも交流式を用いる。

(2) 自動電撃防止装置について

交流アーク溶接機は無負荷電圧(アークが発生していないときの電圧)を一般的に85V付近に設定してあるが、この電圧で感電すると死亡の危険性が高い。自動電撃防止装置はこのリスクを減らす。

動作は図100(機械製作実習テキスト p.28より引用)のようになる。アークを点ける前は出力電圧が安全電圧となっている。ここで溶接棒が母材に接触すると短時間で所定の電圧に上がりアークを点けられるようになる。その後、アークを切るなど電流が流れていない時間が約1秒続くと再び安全電圧に切り替わる。

なお安全電圧であっても、手袋や靴が水や汗でずぶ濡れになっているときや、素手で溶接棒を触るなど悪い条件(抵抗値が低い条件)の場合は感電事故の可能性はある。

(3) 電流値について

母材の板厚によって適切な溶接棒を選定し、またそれに合わせて適切な電流値を溶接棒に設定する必要がある。通常、厚く、太るなど適切な電流値が大きくなる。

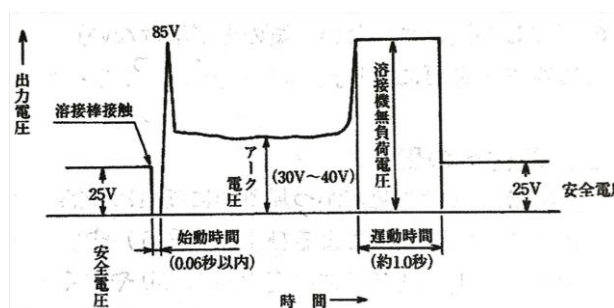


図100 自動電撃防止装置の動作

2.9 アーク溶接機

(1) 危険限

溶接作業では高温の金属や高電圧を取り扱うため作業に危険が伴う。主な危険源について図101(機械製作実習テキスト p.29より引用)に示すが、担当者の指示に従って作業するとともに、自分

自身もこれらの危険源があることをよく認識することが重要である。

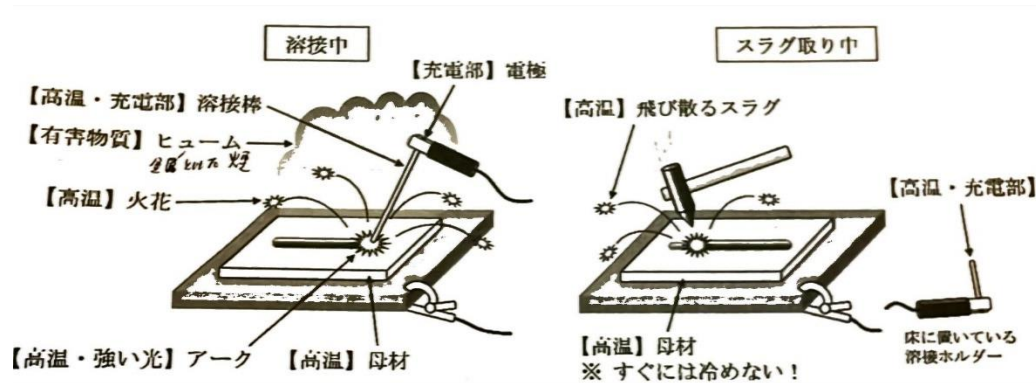


図 101 被覆アーク溶接にかかる主な危険源

(2) リスク低減

先述の危険源に対して次のようなリスク低減策を取る。(機械製作実習テキスト p.29 より引用)

- ・**ハンドシールド**：協力なアークの光（可視，赤外，紫外）を吸収する遮光ガラスを備えた手で持つ面であり、眼や顔面を光線や熱，飛散物から守る。（今回使用したものは，強力なアークの光を感知すると遮光ガラスが降りる仕組みの電池を用いているもの）
- ・**手袋**：感電防止とアークの高熱や飛散物から手を保護する．ただし手袋をしていても，高温の母材などに触るとすぐに熱が伝わってくるため，溶接後の母材や溶接棒などを手で触らないようにすること．
- ・**防じんマスク・局所排気装置**：ヒューム（金属蒸気が冷えて凝固し微粒子となったもの）や粉じんを吸入する量を減らす．
- ・**作業着・作業帽・前かけ・足カバー・保護メガネ**：飛散物から各部位を保護する役割である．開口部を減らすようボタン類はきっちり閉める．
- ・**ヤットコ**：熱い母材などを手で直接触らずに移動させるのに使用する．
- ・**自動電撃防止装置**：アークを点けていないときの電撃の危険を減らす．

18. 作業手順・注意事項

ここでは，実際に実習で行った溶接の作業手順とそのときの注意事項について述べる．

- (ア) 機械製作実習のテキストに沿って，被覆アーク溶接や保護具の使用法についての説明を受けた．その際に，先生の説明手順に従って，保護具の装着を行った．
- (イ) 先生から実技の主な説明が行われた．感電の可能性は絶対に 0 ではないため，感電しないようにするために電気の流れを把握することや，実習中に溶接棒は使わない時は，床に置き，溶接台から遠ざけることや線を踏まないこと等を徹底するようにと特に厳重に説明していただいた．それに加えて，実技の説明をしていただいた．
- (ウ) 図 102（機械製作実習テキスト 参考資料 被覆アーク溶接より引用）に示すブラッシング法によりアークを点ける練習を行った．このとき，アークは一発で点けることは容易ではないため，複数回ブラッシングを行って，アークを点けた．
- (エ) アークを維持する練習を行った．アークを維持する高さは，高すぎても低すぎてもいけないため，適切な高さで行えるように繰り返し練習した．
- (オ) ④の練習で適切な高さでアークを維持できるようになったら，アークを維持したまま，金属板に引かれた目安の線に沿って，適切な速度で溶接棒を動かす．この時，溶接棒の角度は図 103（機械製作実習テキスト 参考資料 被覆アーク溶接より引用）のように $85\sim75^\circ$ を維持した．

- (カ) ビードを覆うスラグをはがし、仕上がりについて担当者からレビューを受けた。スラグは、溶接の際に金属から出てくるカスのことであり、溶接した後は、ハンマを用いて横方向から叩いて、はがし、ワイヤブラシを用いてさらに綺麗に除去した。このとき、ハンドシールドを用いてスラグの飛散によって、火傷等を防止するようにした。
- (キ) 上記の③から⑥を後退しながら行った。

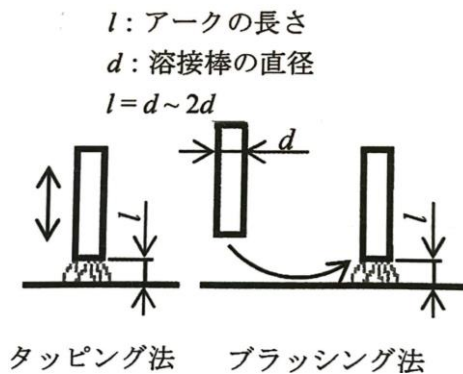


図 102 アーク発生方法

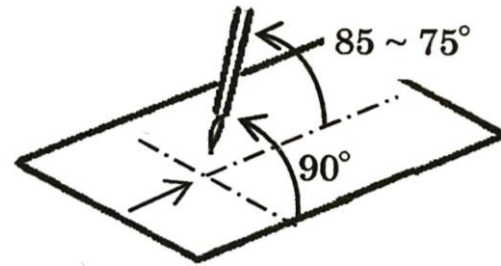


図 103 溶接棒の角度

- (ク) 片付けを行った。

溶接機の電源を切り、床に散らばったスラグ等のごみを掃除した。そして、使用が終わった金属板や短くなった溶接棒を捨てた。最後に、保護具を外し、所定の場所に戻した。

以上が今回行った被覆アーク溶接実習の作業手順・注意事項である。

19. 課題

- 1) 溶接内部の品質を検査するにはどのような手法があるか説明せよ。

アーク溶接時に発生する品質欠陥は、溶接個所の外観や強度、気密性、油蜜性、延性等の性能・品質だけでなく、製品の生産性や効率にも影響を及ぼすため、溶接工程において欠陥を検出・検査することは、非常に重要である⁵⁾。しかし、溶接内部は検査内容が難しい。ここでは、溶接内部の品質を検査するために、どのような手法があるのか説明する。

まず、溶接検査とは、溶接部分の品質が保たれているかを検査することである。そして、一般的に溶接部分の検査は、溶接前、溶接施工中、溶接完了後、溶接構造物稼働後の主に4つの場面で行われる。以下にその4つの場面について詳しく述べる⁶⁾。

(1) 溶接前

溶接検査は、主に溶接前の母材を検査する。検査内容は、開先の形状や寸法、開先面の状態、錆・変色・汚れの有無などである。

(2) 溶接施工中

溶接施工中は、「初層」、「スラグ除去後」の2回検査を行う。さらに、初層で形状や溶け込み状態を、スラグ除去後で形状・割れ・融合不良・溶け込み不良・スラグ巻き込みなど溶接箇所の欠陥を検査する。

(3) 溶接完了後

溶接完了後は、外観・余盛の形状・アンダーカット・ブローホール等を検査する。

(4) 溶接構造物稼働後

溶接構造物が稼働後に行う検査である。溶接部の疲労や応力腐食割れ等を検出が主な目的である。

そしてここからが本題である溶接部の検査手法について述べる。溶接部は、以下の5つの試験と検査がある。

- ・外観検査
- ・磁粉探傷試験（Magnetic Particle Testing, MT）
- ・浸透探傷試験（Penetrant Testing, PT）
- ・放射線透過試験（Radiographic Testing, RT）
- ・超音波探傷試験（Ultrasonic Testing, UT）

これらの検査の特徴や注意点を以下の表 5 にまとめる。

表 5 溶接検査の種類・特徴

検査の種類	外観検査	磁粉探傷試験 (MT)	浸透探傷試験 (PT)	放射線透過試験 (RT)	超音波探傷試験 (UT)
検査タイミング	・溶接前 ・溶接施工(初層) ・溶接完了後 ・溶接構造物稼働後	・溶接施工中（スラグ除去後） ・溶接完了後 ・溶接構造物稼働後	・溶接施工中（スラグ除去後） ・溶接構造物稼働後	・溶接施工中（スラグ除去後） ・溶接完了後	・溶接施工中（スラグ除去後） ・溶接完了後
検査箇所	表面	表面	表面	内部	内部
注意事項	溶接内部の検査不可	・適応は強磁性体のみ ・欠損深さの判定不明	・欠損深さや大きさの判定不可	・放射線への安全策と管理が必要	・形状の傷検出が苦手

この中で主に溶接内部を検査を行うものについて詳しく述べる。主に内部検査を行うものとしては、放射線透過試験（RT）、超音波探傷試験（UT）がある。

放射線透過試験（RT）は、X線やγ線等の放射線が物質を透過する性質と写真フィルムを感光させる性質を持つことを利用する試験法である。それによって、試験体に放射線を透過し、内部の状態を撮影像としてフィルムに記録することで、試験体の内部傷の状態や内部構造を検査する非破壊検査手法である。放射線が試験体を透過する際に、内部傷がある部分や厚さの小さい部分では、健全部や厚さの大きい部分に比べてより多くの放射線が透過し、フィルムより強く感光させる。そのため、フィルムを現像すると、放射線の透過量が多いほどフィルムに黒く写り、濃淡差のある透過写真ができる。この透過写真を観察することで、試験体の内部の傷の状態や内部構造を知ることができる。図 104 に放射線透過試験（RT）の例として溶接の検査の様子を示す。

放射線透過試験の特徴

- ・対象物に放射線を透過し、内部欠陥（状況）を可視化する。
- ・鉄鋼材料、非鉄金属、非金属材料等、材料を問わず撮影可能

また、超音波探傷試験（UT）は、超音波を放射し、溶接内部の傷等から反射した超音波の大きさや強さを計測する試験法である。この原理について述べる。超音波は接触している 2 つの物体 A と B の境界面で透過もしくは反射する。A と B の音響インピーダンス（音速×密度）に差があるほど、超音波が反射する量が増える。この超音波の反射する量がわかれば、傷の大きさが、超音波の送信から受信までの時間がわかれば、音速とかけることにより超音波の進んだ距離がわかる。これらの

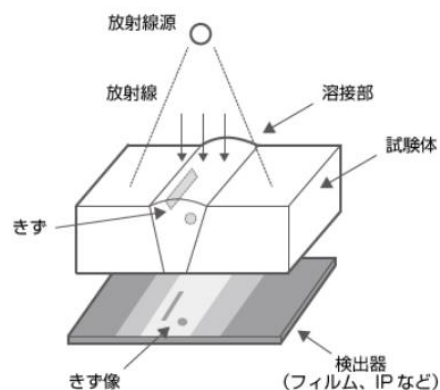


図 104 放射線透過試験例

ことから試験体（金属等）と傷（空洞）では音響インピーダンスの差が大きいため、超音波は反射する。そして、この反射していた超音波から傷の位置や大きさなどを推測することが可能である。

以下に超音波探傷試験（UT）の超音波の入射させる角度や向きによる違いをそれぞれ示す。まずは、図 105 に示す真上から超音波を垂直に入射させる垂直探傷である。これは垂直に超音波を入射させることによって、図 106 に示すように傷がなければ底面からのエコーしか現れず、傷がある場合は底面のエコーの前に傷から反射したエコーが現れる。これは鋼板などの検査に用いる。

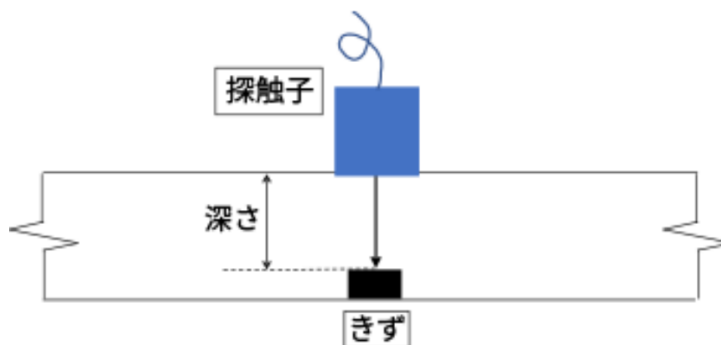


図 105 垂直探傷

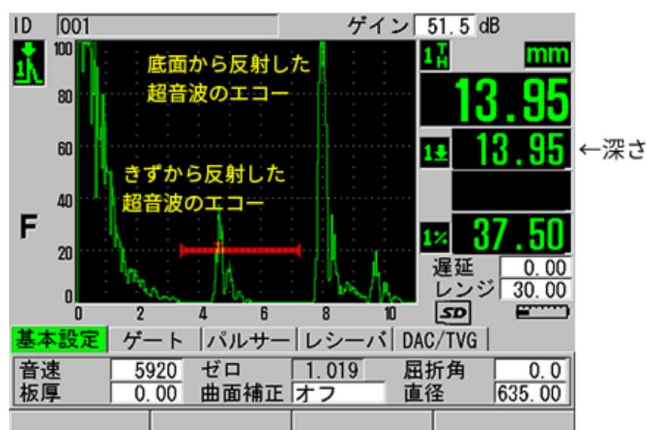


図 106 垂直探傷の場合の出力

次に真上から超音波を入射できない場合、斜めに超音波を入射させる射角探傷について述べる。これは垂直探傷とは異なり、傷など反射源がなければ、超音波は反射しないといった特徴がある。これは主に溶接部の傷の検査などに用いる。射角探傷を図 107 に、射角探傷の場合の出力を図 108 に示す。

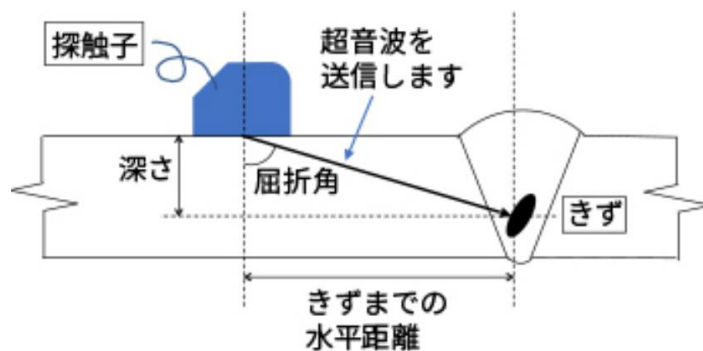


図 107 射角探傷

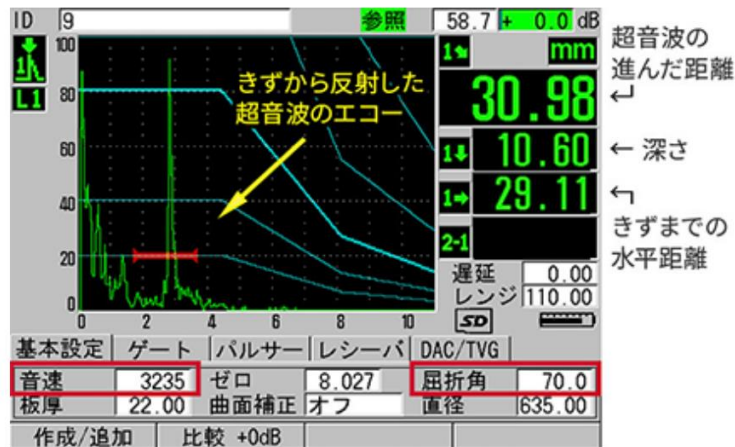


図 108 射角探傷の場合の出力

以上が主に内部検査を行う放射線透過試験（RT）と超音波探傷試験（UT）の詳細である。

2) 実験で使用する 10 リットル程度の直方体の水槽（熱帯魚の水槽のような形状）を自分たちで設計することとなった。何枚かのステンレス板を組み合わせて製作することにしたが、この接合方法として、

- (1) 板と板をねじで固定する。水が漏れないようつなぎ目にはパッキンを入れる。
- (2) 板と板を連続溶接で固定する。連続溶接なのでパッキンは不要である。
- (3) ねじ止めと連続溶接を接合箇所によって使い分ける。

の 3 種類が候補となった。いずれで設計するか選択し、そのように判断した理由を説明せよ。決まった答えがあるわけではないので自由に記述してよい。

ここでの(1)は、ねじで固定し、(2)は溶接によって固定するが、この 2 つを組み合わせ、接合箇所によって使い分ける(3)で設計することとする。まず、ねじ止めと連続溶接のそれぞれのメリット・デメリットを示す。

○ねじ止め

メリット

- ・**取り外しが容易**：ねじ止めは簡単にねじを外すだけで分解が容易にできる。これによって、水槽内を掃除する際に分解することで掃除がしやすく、また部品の交換が必要な際に融通が利きやすい。
- ・**材料に影響が少ない**：溶接は材料に熱を加えるため、材料に与える影響（負荷）が大きい。ねじ止めの場合は穴あけを行って、そこにねじ止めを行うため溶接に比べて材料に与える影響が少ない。
- ・**低コスト**：ねじ止めの材料費や施工費は、溶接より安価である。
- ・**簡単な工程**：ねじ止めは比較的簡単にでき、溶接のように特別な設備や高度な技術を必要としない。

デメリット

- ・**水漏れのリスク**：パッキンが必須であり、パッキンの劣化やねじ止めの際の隙間等によって、水漏れの可能性がある。
- ・**強度の不均一性**：ねじの間隔や配置によって、接合部の強度が不均一になる可能性がある。
- ・**振動に弱い**：溶接と比べてがっちりとは引っ付いていないため、振動や衝撃に弱い。
- ・**定期的なメンテナンス**：ねじやパッキンの劣化していないかどうか等の定期的なメンテナンスが必須

○連続溶接

メリット

- ・ **高い強度**：強固で一体化した構造で、高い強度や耐久性を持つ。
- ・ **高い密閉性（水漏れ心配なし）**：接合部分に隙間がなく、パッキンも不要である。そのため、水漏れのリスクがねじ止めに比べて低い。
- ・ **見栄えの良さ**：ねじのように露出する部分がないため、見た目はきれい（but：溶接した部分は目立つ）

デメリット

- ・ **メンテナンス困難**：溶接によって完全に引っ付けてしまうため、後で分解や修理が容易でない。
- ・ **材料のたわみ**：溶接は熱を加えるため、ステンレス板がたわむ可能性がある。
- ・ **高コスト**：溶接機等の専用の設備や高い人件費がかかるため、コストが高くなる。
- ・ **高度な技術が必要**：溶接作業には、高度な技術と専門知識、経験が必要である。

これらのねじ止めと連続溶接のメリット・デメリットを踏まえた上で(3)のねじ止めと連続溶接を接合箇所によって使い分ける方法で行う。この理由として、各方法の欠点を補うことができるためである。例えば、水槽の底板と側板といった主に水を支える部分には、連続溶接を使用し、水漏れのリスクをなくす。また、それ以外の上部の蓋等のフレーム部分等のあまり強度を必要とせず、メンテナンスが簡単に行えると良い部分には、ねじ止めを用いて、メンテナンス性を向上させることが重要であると考えた。さらに、もし連続溶接だけでも高い強度の水槽を作ることにはできるが、溶接だけだとコストが高くなるため、部分的にねじ止めを用いることによって、全体的なコストも削減可能である。以上のように、(3)は各接合部分の特性に応じて、最適な接合方法を選択することが可能であるため、設計の自由度の幅が広がる。このような理由から（3）ねじ止めと連続溶接を接合箇所によって使い分けるという方法で設計する。

20. 参考文献

- 1) 嵯峨常生 中西祐二,「新版機械実習 1」,p.116,実教出版株式会社
- 2) 嵯峨常生 中西祐二,「新版機械実習 1」,p.117,実教出版株式会社
- 3) 嵯峨常生 中西祐二,「新版機械実習 1」,p.118,実教出版株式会社
- 4) 嵯峨常生 中西祐二,「新版機械実習 1」,p.119,実教出版株式会社
- 5) ケイエルバイ株式会社,「アーク溶接の品質検査とその重要性とは?」,
<https://www.klv.co.jp/university/fiber-optic-sensor/column/arc-welding.html>
- 6) FA Products,「溶接検査とは?検査種類や仕組み・メリット・導入事例を解説」,
https://jss1.jp/column/column_172/
- 7) 神鋼検査サービス株式会社,「非破壊検査 放射線透過試験(RT)」,
<https://www.sisco.kobelco.com/act/nondestructiveness/rt.html#:~:text=%E6%94%BE%E5%B0%84%E7%B7%9A%E9%80%8F%E9%81%8E%E8%A9%A6%E9%A8%93%E3%81%AF%E3%80%81%E3%82%A8%E3%83%83%E3%82%AF%E3%82%B9%E7%B7%9A,%E9%9D%9E%E7%A0%B4%E5%A3%8A%E6%A4%9C%E6%9F%BB%E6%96%B9%E6%B3%95%E3%81%A7%E3%81%99%E3%80%82>
2

21. 測定・組立・評価について

今回、主に旋盤、ボール盤、フライス盤でそれぞれ部品を作成した。そして、それらの部品を用いて、手動万力の作成を行い、その中で測定・組立・評価を行った。

22. 課題（測定・組立・評価）

1) 手動万力の組立・評価で明らかになった技術的な問題点について述べよ。

今回、実際の旋盤、ボール盤、フライス盤でそれぞれ作成した部品を最後に組立てを行った。実際に組立を行った様子を図 109 に示す。図 109 を見てもわかるように、組み立てた結果、ねじを緩めておかなければ取り付けが難しく、斜めにしないと取り付けなかった。ここからわかる技術的な問題点としては、まずボール盤であけた 2 つの $\phi 6.3$ の穴の位置が揃っておらず、これが組立の難しさを引き起こしている。後の 3) で詳しく述べるが、まずけがき線を引いた後、ポンチで印をつけた際にずれが生じていたため、そこに問題があると考える。実際に型枠ゲージを用いて穴の位置がずれているかどうかを確認した様子を図 110 に示す。この図 110 から穴の位置がずれていることが明確であった。

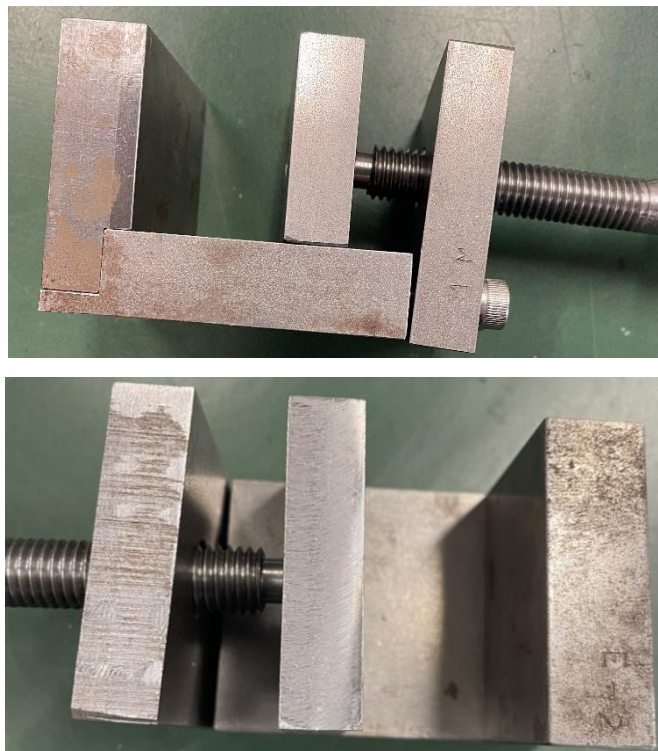


図 109 実際に組み立てた手動万力

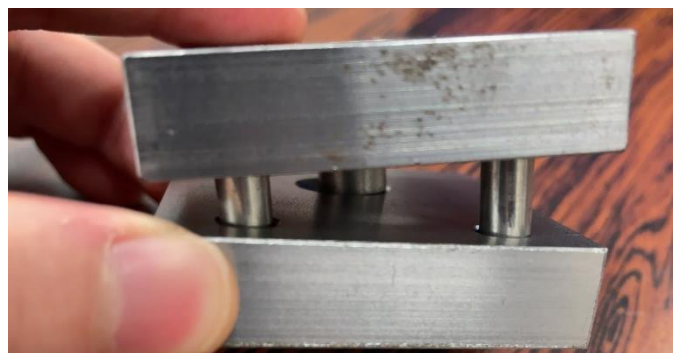


図 110 型枠ゲージを用いた穴の位置精度の確認

また、今回実際に測定・評価を行った結果を表6にまとめる。

表7 工作物の測定・評価表

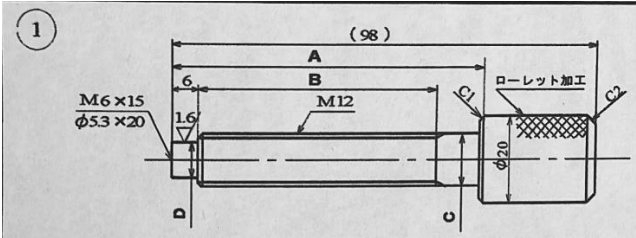
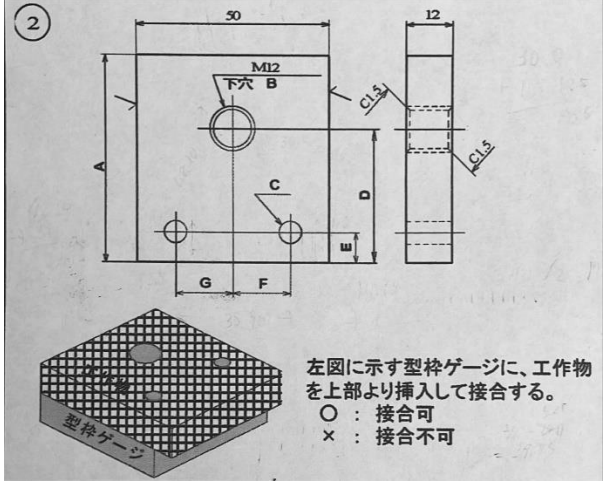
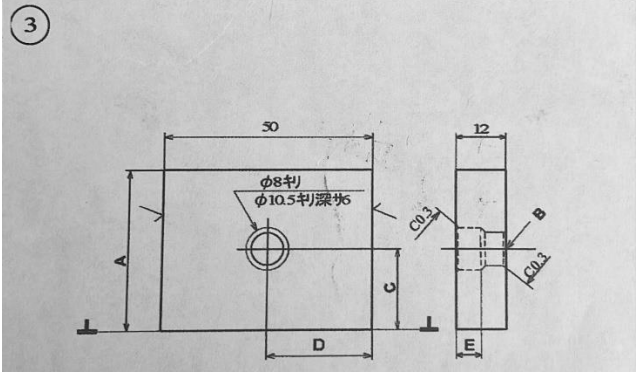
部品図面	項目内容		公称寸法	測定値
① 	A : 長さ測定値		75.00	75.65
	B : 有効ネジ長さ		55.00	58.00
	C : 軸直径値		$\phi 12_{-0.05}^0$	11.95
	D : 軸直径値		$\phi 8_{-0.07}^{-0.02}$	7.90
② 	A : 長さ測定値	右端	54.00	55.75
		左端	54.00	54.30
	B : 下穴直径値		10.50	10.25
	C : 穴直径値	右穴	6.30	6.20
		左穴	6.30	6.20
	D : 長さ試算値		35.00	34.875
	E : 長さ試算値	右穴	8.00	7.90
		左穴	8.00	9.40
	F : 長さ試算値		15.00	14.85
	G : 長さ試算値		15.00	14.85
	型枠ゲージの接合○ ×		○	×
③ 	A : 長さ測定値	右端	38 ± 0.1	38.00
		左端	38 ± 0.1	38.00
	B : 穴直径値		8.00	7.80
	C : 長さ試算値		19.00	18.50
	D : 長さ試算値		25.00	25.00
	E : 穴深さ測定値		7.90	7.90
	下部基準面に対す側面直角度の目視判定 ◎ : 隙間なし ○ : 0.5mm 以下 × : 0.5mm 以上	右側	◎	○
		左側	◎	○

表8を見てもわかるように①、③の部品は、全体的に精度よく加工ができているが、②のボール盤で加工を行った部品は全体的に精度が悪い。先ほど説明した表9の②の側板の底面からの穴の高さEの寸法が公称寸法の値が8.00[mm]に対して、右穴が7.90[mm]、左穴が9.40[mm]とそれぞれ0.10[mm]、1.4[mm]の誤差がある。つまり、右穴の位置が正しく、左穴の位置が大幅にずれていることがわかる。

2) 製作部品の精度や品質向上のために必要なことについて説明せよ。

今回、製作を行った部品の精度を向上させるためには、以下のようなことが必要である。

・**正確なポンチ作業**：ボール盤の所でも述べたように、穴あけを行う際はけがき線を引いただけでは、穴位置精度が悪くなる。そのため、ポンチ作業によってくぼみをあけることで穴位置精度が向上する。実際に行う際は、ポンチをたたく強さが強すぎると大きなくぼみができ、修正することが困難となるため、最初は軽くたたき、もしずれた場合は、修正したい方向にポンチを傾けてくぼみの位置を修正していくことが大切である。それによって、正確にくぼみをつけることができる。

・**細かい定期的な掃除**：これは、すべての工作機械を用いた実習でいえることであるが、一般的に工作機械で切削を行った際は必ず切りくずが出る。この切りくずが実際の工作物や工作物を固定した万力等に付着した状態で作業を進めると、その切りくずによって仕上がりに影響を与え、寸法にも若干のずれが生じ、製品の品質が低下する可能性がある。また、切りくずが機械の内部や稼働部分に入りこむことによって、機械の故障や摩耗を引き起こし、機械の寿命を短くしてしまう場合もある。それを防ぐためにも定期的な掃除がやはり重要である。以上のことから、機械加工をする際は必ず細かな掃除が非常に重要であり、その細かい作業が精度、品質向上にもつながると考える。

・**定期的な寸法測定**：今回の実習でも行ったが、自分が出したい寸法を出すためには、当たり前のことではあるが、加工したらノギスやマイクロメータで測定し、その測定結果を元にして削る量を決める。このように、加工中に頻繁に測定を行って、誤差が発生していないか、自分が削った量分の寸法になっているかを確認することが非常に重要であり、定期的な寸法測定も品質向上、精度に大きく影響する。

・**加工条件の最適化**：旋盤、ボール盤、フライス盤の所でも述べたように、切削速度、送り速度等を加工条件に対して最適に設定することが大切である。特に、切削速度は適切なものを設定することによって、工具の寿命を延ばし、加工面の粗さを低減することができる。切削速度が高すぎると、工具の摩耗が激しくなり、加工面が粗くなる。一方で、切削速度が低すぎると加工時間が長くなり、効率が悪くなる。そのため、加工する条件によって、最適なものを設定することが重要である。

3) 手動万力の製作から測定・組立・評価を終えるまでの作業で成功した点と失敗した点をそれぞれ3つ以上挙げ、失敗した点についてそれぞれ改善策を述べよ。

今回、手動万力の製作を行い、最後の測定・組立・評価を終えるまでの作業で成功した点をそれぞれ3つ以上挙げる。

○成功した点

・旋盤で作成した①の部品の寸法手動万力回転軸の押し口金の寸法が図面通りの寸法精度が出せていた。

・フライス盤で作成した③の手動万力回転軸の側板の寸法の部品が図面通りの寸法精度が出せていた。

・ノギスやマイクロメータで測定する際に正確に測定ができた。

・旋盤、ボール盤、フライス盤のそれぞれの機械の取り扱い方、加工方法を習得できた。

・被覆アーク溶接でアークを点けられるようになり、適切な高さ、速度でビードを生成できるようになった。

○失敗した点と改善策

・ボール盤の所で行ったコンターマシンで工作物の切断を行ったが、図 111 の右端を見てもわかるように斜めに切断を行ってしまった。

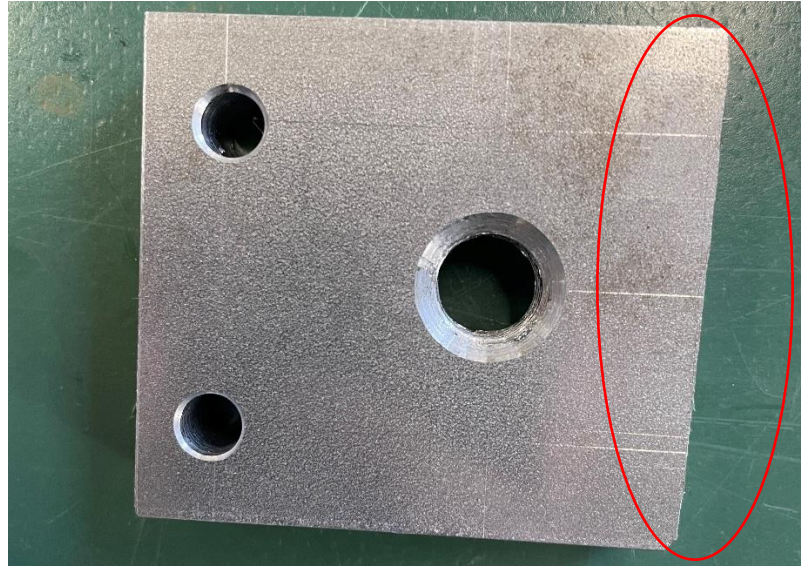


図 111 製作した手動万力回転軸の部品（ボール盤で加工）

改善策：

実際に実習でコンターマシンで工作物の切断を行った際に、斜めになってしまった。この原因として、コンターマシンに工作物を押し当てる際に右手と左手を用いるが、自分がやった際に左手に加える力がコンターマシンの刃に手が当たらないようにと力が弱くなってしまった。そのため、ほとんど右手で工作物を押し当てていたことになり、それによって、斜めになってしまったと考える。そのため、コンターマシンを扱う際は右手と左手を均等な力で工作物を押すことできれいに切断できる。実際のコンターマシンの工作物の送り方を説明する。

実際に工作物を押し当てる際は、図 114（実習中ボール盤用資料 p. 31 より引用）に示すように、必ず刃の直線上には指がこないように注意して、その上で両手で均等な力で押し当てる。工作物を押し当てるためには力を入れて押す必要がある。万が一、指が滑った場合、ケガをする可能性があるため、注意して切断を行う必要がある。もし、手で押し当てるのが難しいと感じた場合は、図 115（実習中ボール盤用資料 p. 31 より引用）に示すように、ハンドホルダーと呼ばれる押し当てるための工具を用いるとよい。



図 112 コンターマシンの工作物の送る様子



図 113 ハンドホルダーを用いた工作物の押し当ての様子

また、コンターマシンの扱う際は、切断終了時に注意する必要がある。図 114（実習中ボール盤用資料 p. 32 より引用）に示すように切断中は、工作物を刃に強く押し当てるため、切削抵抗が発生する。一方で、切断終了時は切削抵抗が無くなり、そのまま強く押し続けていると急に抵抗が無くなって、体が前に出て、刃に接触する可能性がある。そのため、図 115（実習中ボール盤用資料 p. 32 より引用）に示す終了間際（残り 1[mm]程度）になったら、少し力を抜いて滑らかに終了するように注意する。

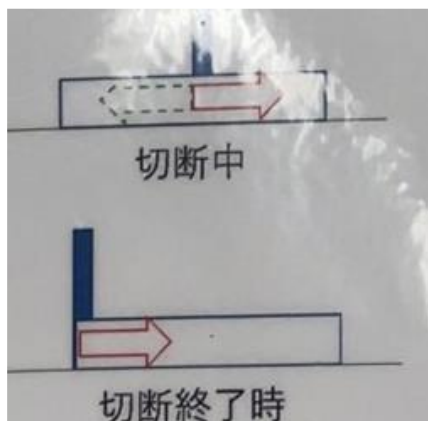


図 114 コンターマシン切削抵抗



図 115 コンターマシンによる切断終了間

・1)でも挙げたが、ボール盤の所であけた 2 つの $\phi 6.3$ の穴の位置が揃っておらず、位置精度が悪く、実際に組み立てた際に斜めにしないと取り付けず、さらに型枠ゲージを用いて穴の位置がずれているかどうかを確認して明確に穴の位置精度が悪いことを確認した。実際に加工した手動万力回転軸の部品を図 116 に示す。を見ても穴の位置がずれていることを確認できる。



図 116 製作した手動万力回転軸の部品（ボール盤で加工）

・側版の M12 のタップが斜めに切られていたため、斜めに M12 のねじが斜めに締まった。
改善策：図 117 に示すように M12 のタップが斜めに切られていたため、ねじも傾いてしまった。



図 117 ねじを締めた様子（傾いている）

これを改善するためには、ボール盤の所でも述べたようにねじ立ては、ねじ下穴の軸心に対してタップの軸心が一致しているかを確かめて作業を進めることが非常に大切である。まず、わずかにタップを回転してタップの食いつき部を下穴に食い込ませる。これは、実際の作業では、両手でタップを持った状態で体ごと 90° 回転させて、ねじ下穴に軸心に対して、タップの軸心が一致しているか確かめる。もし、ここでずれている場合は、まっすぐにする方向（修正したい方向）と下方向に力を加えながら、もう 90° そこから体ごと回す。ここで、修正する方向以外に下方向に対して力を加えるのは、タップが折れるのを防ぐためである。ここからは、ねじが正しく切れていれば、後は、 $3/4$ 回転～1 回転くらい切り進み、中で詰まる切りくずを切るために $1/4$ 回転くらい戻す。図に示すような止まり穴の時は、穴の中に切りくずが詰まって、切り進めなくなり、タップが折れたりするため、時々タップを抜いたり、逆転したりする。そのため、今回のような止まり穴の場合は特に先ほど示した $1/4$ 回転戻すという作業は非常に重要となる。実際にこの作業手順で行ったが、少し斜めになっていたため、 $1/4$ 回転戻した後に、ねじ下穴の軸心に対してタップの軸心が一致しているかを確かめるということが徹底できていなかったため、今回のように少し斜めになってしまっ

たを考える。また、90° 体ごと回す際に最初に斜めっていたものを修正する方向に力を加えるように作業を行ったが、その力が弱すぎた、場合逆に強すぎた場合も考えられる。つまり、1 個 1 個の確認を丁寧に行っていくことが重要であると考えた。よって、1/4 回転戻した後だけでなく、1 つ 1 つの動作もしっかり確認することで今回のように斜めにねじを切ってしまうことを無くすことができると思う。

- ・ノギスによる測定をプライス盤で行った際に、実際の値と比べて測定した結果が小さくなるということがあった。

改善策：

これは、プライス盤の所でも述べたように、主に測定する際にノギスの測定する際に加える圧力が大きかったことが原因であると思う。そのため、このノギスによる正確な測定を行えるようにするためには、経験を積んで自分で適切な測定圧を覚えていく等で適切に測定できるようになると考える。