

## 旋削加工誤差に関する研究

(昭和55年9月18日 原稿受付)

機 械 工 学 教 室	池	崎	八	生
機 械 工 学 教 室	坂	本	正	史
機 械 工 学 教 室	竹	内	芳	美
機 械 工 学 教 室(二部)	中	島	克	洋
機 械 工 学 教 室	中	村		平

## Study on Machining Error in Turning

by Yatsuo IKEZAKI  
 Masafumi SAKAMOTO  
 Yoshimi TAKEUCHI  
 Katsuhiko NAKASHIMA  
 Taira NAKAMURA

## Abstract

Recently numerically controlled machine tools have widely been used in various kinds of fields of machine shop. It is well known that the machining accuracy of workpiece is almost dependent on skill and experience of workers, however, in case of using NC machine tools in machining, the machining accuracy of workpiece depends essentially on the accuracy which a machine tool have by itself. Therefore, so as to improve the machining accuracy of NC machine tool it is necessary to analyse factors of error which influence the machining accuracy. In this paper the analysis of machining error is quantitatively dealt with, and a remedy of how to remove it is discussed with regards to NC lathe.

## 1. 緒 言

近年, NC工作機械が著しく普及している。従来, 機械加工において, 作業者の経験と手間により, 加工精度を向上させている面が少なくなかった。しかし, NC工作機械による加工では, NC機械そのものの精度がそのまま加工精度として現れると考えられる。そこで機械加工で生ずる誤差の原因を全て正しく予見することが出来れば, 誤差を除くシステムによって加工精度の向上をはかることができる<sup>1)</sup>。

加工精度を低下させる誤差因子としては, 工具および

被削材の熱変位, 切削抵抗による変位, 工具摩耗, 最少設定単位未満の設定誤差, 測定誤差, 工作機械の幾何学的誤差等が考えられ, これらが組合わされて被削材の加工誤差として現れる。誤差因子がどのように組合わさって加工誤差を形成しているかを解明し, 加工誤差に与える影響の割合を明らかにすることによって, 加工精度を維持, 向上させることができる。旋削加工時の精度解析としては高田らの研究<sup>2)</sup>があり, 切削熱による工具の熱膨張が加工精度低下の大きな原因であると報告している。そこで本報告ではNC旋盤による外丸削りにおける円筒面の直径変化量を加工誤差とし, 加工誤差の大部分を占め

と思われる工具熱膨張変化と幾何学的精度を軸として誤差因子の割合を調べ、さらにその影響を取り除くことができるかどうかについて検討した。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置

本実験では、ベッドの振り540mm, 往復台上の振り300mm, 両センタ間の最大距離1,070mmのNC旋盤を使用し、被削材は構造用炭素鋼 S55C 焼準材, 全長550mm, 加工長さ400mm, 直径60mmの丸棒, 切削工具としてはスローアウェイ型超硬合金 P20 (-5, -5, 5, 5, 30, 0, 0.8) を用いて、支持方法はチャック・センタ支持とした。切削条件は送り0.3mm/rev 切込み量2mm, 切削速度100m/minで行い、湿式切削における切削液は水性エマルジョンタイプ(出光ダフニークールE)のものを毎分5.4ℓの割合でかけた。

2.2 実験方法

往復台運動および工具台運動の直進展は図-1に示すようなベッドに取り付けられているZ軸方向の位置決め原点1から6まで平面鏡を設置した往復台を移動させて、各直進度をオートコリメータによって測定した。テストバーによる取付精度(主軸台と心押台との両心の高さの差)は図-2に示すようなテストバーの1から9までの各測定点を電気マイクロメータを軸方向に移動し、垂直および水平方向変位を測定した。さらにその取付状態で主軸回転数, 送りを切削時と同条件にしてテストバーの垂直, 水平方向変位を測定した。荷重をかけた時の被削材水平方向変位の測定, これは切削抵抗の背分力成分の影響を調べるもので, 図-3のようにロードセルにより水平方向に荷重をかけて背分力成分を想定し, 反対側

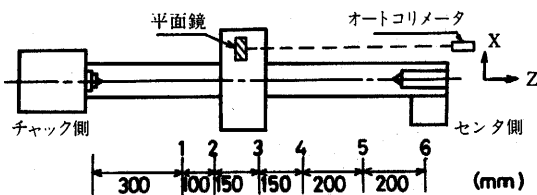


図-1 NC旋盤の位置決め原点

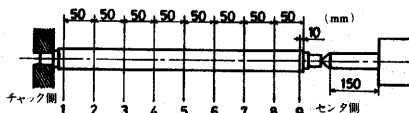


図-2 テストバーと各測定点

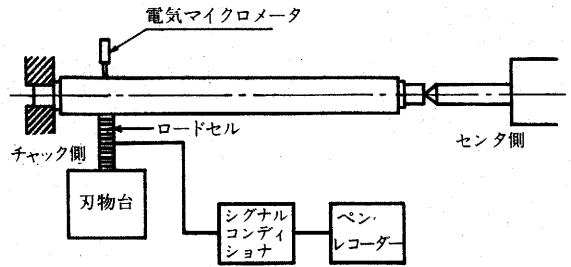


図-3 背分力によるたわみの測定略図

G50X37660Z44660	G50X37660Z44660
G00S01	G00S01
M03	M03
T33	T22
S02	S02
Z51200	Z11200
X6000	X6000
G01X5800F0030	G01X5800F0030
Z11200	Z51200
G00X37660	G00X37660
Z44660	Z44660
S01	S01
T30	T20
M05	M05
M02	M02

表-1 NCテープ命令

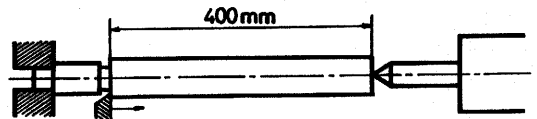


図-4 逆切削方法

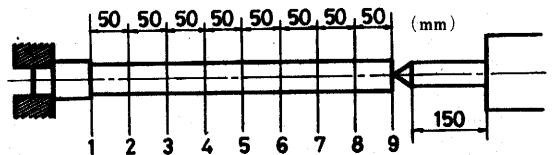


図-5 切削後の被削材と各測定点

の電気マイクロメータで変位量を測定した。本実験では、加工誤差の測定は長手方向の形状精度であるテープ量を測定することとし、表-1に示すNCテープ命令によって切削後、マイクロメータにより測定した。通常切削のほかに図-4に示すようなチャック側よりセンタ側への切削(以後、逆切削と呼ぶ)の場合についても測定した。図-5は切削後の被削材の直径変化量の測定点1から9までを表している。

3. 実験結果とその考察

3.1 使用した旋盤の幾何学的精度

往復台運動の直進度を調べたものを図-6に示す。水平方向の場合は縦軸は工具台側とその向こう側を表し変

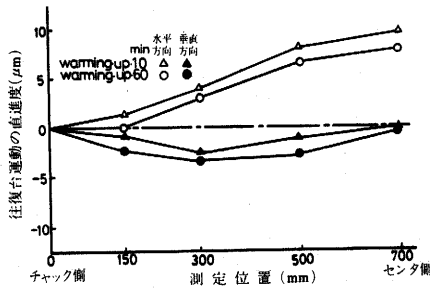


図-6 往復台運動の直進度

化量の2倍が被削材直径変化量となる。垂直方向の場合にはベッド面の上下を表している。垂直面内の直進度が狂えば、工具の刃先が被削材の中心線に対して上下する。工具がymm心高のとき、被削材直径Dmmの変化量 $\Delta D$ mmは次式で表される。

$$\Delta D = 2y^2 / D$$

例えば、 $y = 0.1\text{mm}$ 、 $D = 50\text{mm}$ のとき $\Delta D = 0.4\mu\text{m}$ にすぎず、被削材直径が大きくなる程無視してよい値である。この図で実際に切削が行われる区間は、測定位置300mmの位置までである。したがって水平、垂直面内ともに $2 \sim 4\mu\text{m}$ 以内にあることがわかる。水平面内分は、その2倍が直径変化量に現れるが、垂直面内分は、これを水平面内分に置き換えるとほとんど無視できる量である。ウォーミングアップ前後ではあまり変化は見られずその影響はほとんどないと思われる。

使用したNC旋盤の工具台は油圧駆動であるために、油圧液などの温度上昇により工具台は幾分変位するのではないかと考えられる。そこで、図-7は工具台運動の直進度を調べたものである。これは、往復台運動と工具台そのものの運動を加えたものであるから、図-6と比較した場合、工具台そのものの変化はほとんどないことがわかる。ウォーミングアップ前後を比較してみると、ある程度、ウォーミングアップ後の方が直進度は良くなった。

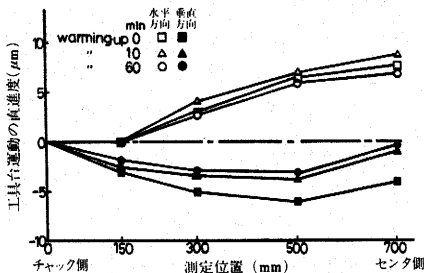


図-7 工具台運動の直進度

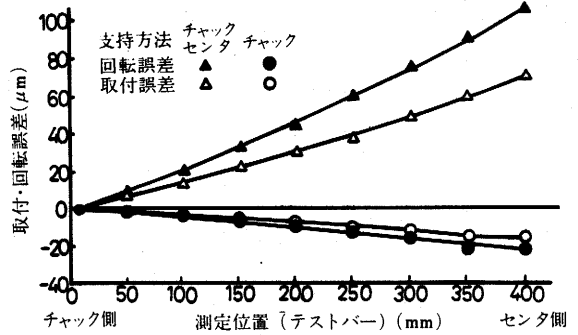


図-8 垂直方向の取付・回転誤差

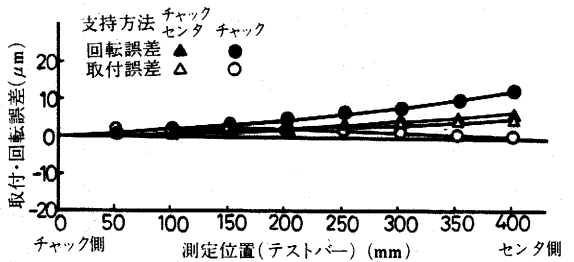


図-9 水平方向の取付・回転誤差

テストバーによる取付精度およびその取付状態で回転させた場合の垂直方向変化、水平方向変化を図-8と図-9に示す。垂直方向において、センタを使用しているためにセンタ側が高くなっている。これは心押台のセンタが主軸に対してわずかながら心高になっているためである。熱影響により主軸台側が先上がり傾向にあるために考慮されたと考えられる。また工具はその分だけ上下するので、被削材のテーパ量にあたる影響が小さいとはいえ、心高すぎるのではないかとと思われる。回転状態では、取付誤差に対して、変位がかなり大きくなっている。これは静止状態において、被削材はセンタが心高になるのを防いでいるが、回転状態においてはその力が弱まってしまうためと考えられる。

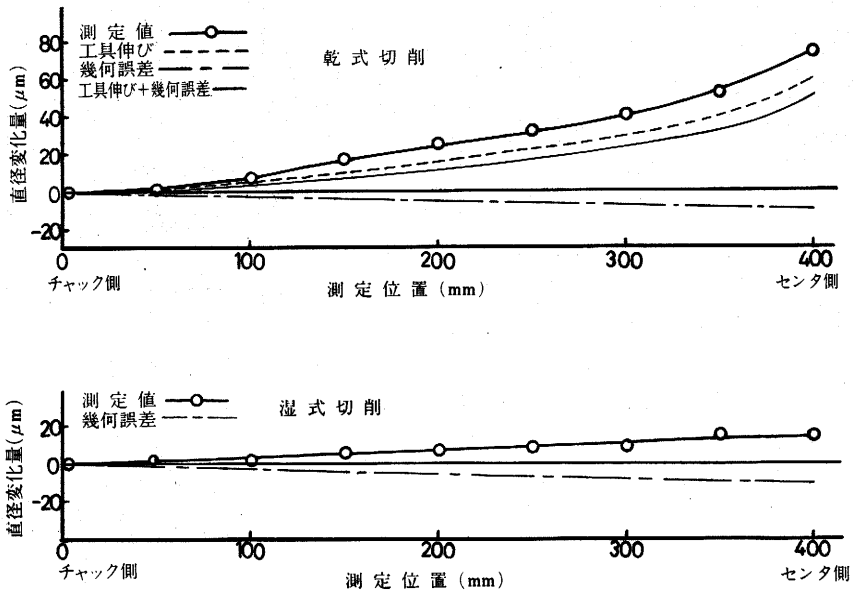
水平方向においては、センタを使用することにより $4 \sim 6\mu\text{m}$ 程、工具台側に変位していることがわかる。取付誤差および回転状態では、ほとんど変化は見られない。

また、工具摩耗の進行は先端切込みの変化分にして、 $2\mu\text{m}$ 以下であった。

以上の事柄を考慮して、直径変化量の誤差要因を検討した。

### 3.2 円筒度と各種誤差

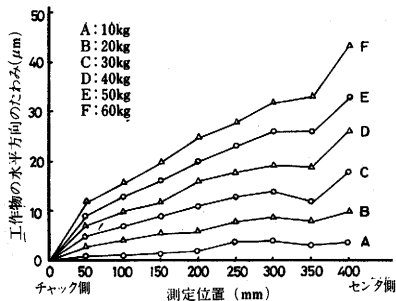
通常切削を行ったときの直径変化量を図-10に示す。



図一10 通常切削時の直径変化量と各種誤差

図において、乾式切削と湿式切削を比較すれば、乾式切削ではセンタ側端で94 $\mu\text{m}$ 程大きくなっているが、湿式切削においては、16 $\mu\text{m}$ 程度に下っている。この差は切削液によって熱の影響が取り除かれたものと考えられる。この改善された直径変化量は工具の伸びによるためであると仮定する。さらに、被削材の幾何学的誤差（一点鎖線）による直径変化量を加え合わせて図中に記入すると、この線と実際の形状誤差曲線の差が背分力による被削材変位分の直径変化量と思われる。湿式切削の場合は幾何学的誤差の線と実際の形状誤差曲線の差が背分力による被削材変位分の直径変化量と考えられる。

図一11は荷重をかけたときの工作物の水平方向変位を示す。工作物の精度は熱変形を除けば、主として切削力の背分力成分によって影響される。背分力成分は工作物軸心から工具を遠ざけるように旋削直径を変化させる



図一11 背分力成分と工作物変位

ばかりではなく、切削中に切削点中心押台側から主軸台側へ移動することによって切削全長にわたって直径変化を起こさせ、その結果、工作物は所要の形状が得られなくなる。本実験における背分力は約25kgでその時の工作物変位量とこの曲線から求められる背分力による直径変化量とはほぼ一致していることがわかった。したがって、切削液をかけることによって改善された直径変化量は工具の伸びによるものと考えてよい。

これらのことから、切削熱による工具の伸びのためにテーパ誤差が現れているので、逆切削を行えば、工具の伸びはテーパ誤差としては、逆に影響するはずである。そこで逆切削を行った結果を図一12に示す。通常切削の場合と同様に、これらの曲線から背分力による被削材のたわみのための誤差を求めると、通常切削の場合と較べて約2倍の直径変化量が現れている。逆切削を行ったために、背分力が増加したり、あるいは切削発熱量が増加したりすることは考えられない。図一13は実際に切削したときの被削材温度とセンタ側への伸びを調べた結果である。逆切削を行う場合、被削材が伸びる方向に即ちセンタ方向に切削して行くので、センタ側を切削するときには被削材はかなり伸びている。本実験に用いた旋盤はかなり心高であったから、この心押台を用いて加工されたセンタ孔とセンタの接触は一部分で当たることになる。そこで、被削材が伸びれば、センタ孔とセンタの隙間の分だけ移動することができる。本実験の例では、セ

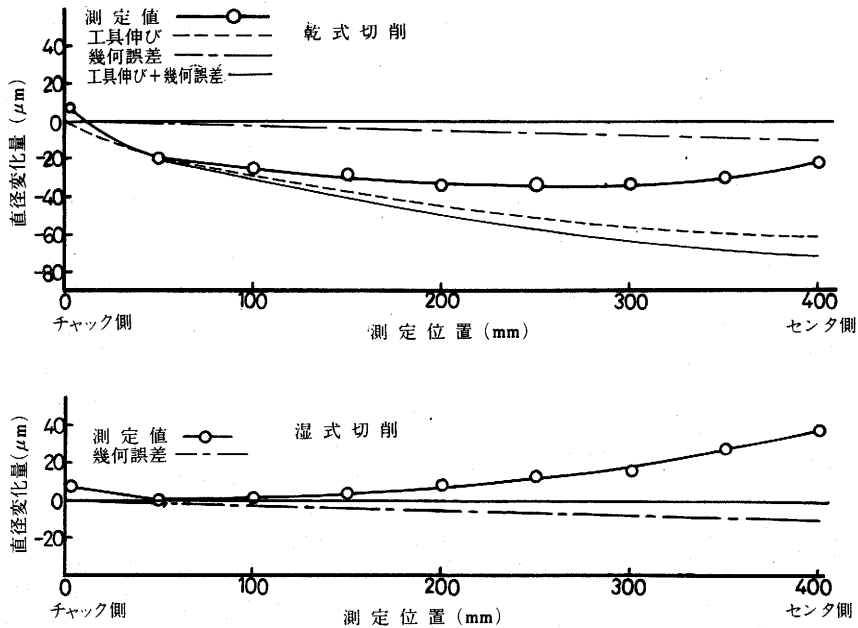


図-12 逆切削時の直径変化量と各種誤差

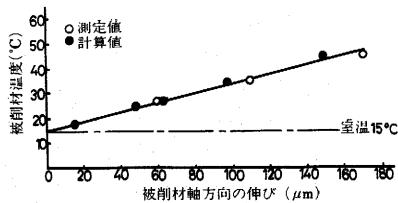


図-13

ンタの中心と主軸回転中心の狂いのために、被削材が持ち上がりと同時に水平方向に移動して、上述の結果になったものとする。これに対して、湿式切削の場合を調べてみると、工作物が逆に縮んでおり、このために工作物センタ孔とセンタの接触部にわずかな隙間ができ、さらに回転センタのころがり軸受の予圧がなくなるために心押台の剛性を低下させてしまい、背分力による影響が直径変化量に強く現れたものと思われる。

通常切削ではセンタ側から切削を行うので軸方向に1回送って仕上げるのであれば、被削材が軸方向に伸縮しても、その影響は加工精度としては現れないが、逆切削においては、最後にセンタ側を切削することになるので、この影響が加工物の精度としてはっきり現れたものと思われる。一般の旋盤のセンタは定圧で押し当てないので、もしこのような状態で同一取付のまま繰返し、切削を行えば、被削材が伸縮して、その影響で本研究と同じ誤差

が生ずるものと思われる。

#### 4. 結 言

本研究で得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1) 全テーパー量から切削抵抗による被削材のたわみ誤差と取付誤差を取り除いたものは乾式切削と湿式切削のテーパー量の差に等しく、これは切削液によって取り除かれた熱の影響による工具の伸びである。
- (2) 切削液を使用しても、工具の伸びは残るとの報告もあるが本実験における切削条件のもとでは、工具の伸びは切削液により取り除くことができた。
- (3) 逆切削においては、工具の伸びが通常切削と逆方向に現れるだけでなく、逆切削独特の誤差因子が現れると思われる。
- (4) センタとセンタ孔の接触剛性は、その使用状態でかなり変化すると思われる。これにより、テーパー誤差がかなり影響を受けるので注意しなければならない。最後に本研究を行うにあたり協力された、昭和53年度卒論生、宮房善喜、光増稔両君に感謝します。

#### 参 考 文 献

- 1) 竹内・坂本・佐田：NC旋盤の工具熱変位補正による加工精度の向上，精密機械 46-11 (1980)。
- 2) 高田・小尾・佐田：旋削加工における加工精度の解析，精密機械 40-8 (1974)。