

## 旋削時の工作物支持剛性が工作物の真円度に及ぼす影響について

日本大学 ○山本稔真, 鈴木誠人, 金徳宇 内田元, ◎李和樹, 山田高三 三浦浩一

### 要 旨

旋盤による加工時、心押台の支持力によっては工作物の形状にも変化が生じる。本研究では三点法を用いて旋盤で加工した工作物を測定し、その形状や真円度、ラジアル振れを求め、心押し台の支持力が工作物に及ぼす影響について検討した。その結果、旋盤のチャック側と心押台側とで工作物とラジアル振れとの関係に違いが見られ、その原因は加工時の背分力およびそれに伴う心押台側の偏心であるとわかった。

### 1. 結 言

旋盤や研削盤で円筒状の工作物を加工するとき、主軸のチャックなどに工作物を取り付けて加工する。この際、工作物が主軸方向に長く、自重などでたわむ場合は、心押台で工作物を支えることで、工作物の長手方向の加工を安定させることができる。しかし、工作物を支える支持力によっては、加工精度に影響を及ぼすことが考えられる。心押し台の支持力の影響で工作物の形状がどのような変化をするかがわかれば、適切な工作物の加工方法を提案することができる。

本研究では、三点法<sup>2)</sup>を用いて工作物の断面形状と主軸ラジアル振れを同時に測定し、心押台の支持力を変化させたときに旋盤のラジアル振れが工作物の形状に与える影響を明らかにすることを目的としている。

### 2. 三点法

三点法とは、3つのセンサから被削材形状および主軸ラジアル振れを求める方法である。図1に三点法の概略図を示す。3つのセンサA、B、Cを用い、それぞれの中心線の交点を点Oとする。また、センサAとB、センサAとCがなす角をそれぞれ $\phi$ 、 $\tau$ とする。点Oを通る直行座標系X-Yを設定し、X軸からの任意の角を $\theta$ とする。このときのセンサA、B、Cから得たデータから方程式を作成し、それを解くことで、被削材形状やX、Y方向の主軸ラジアル振れを算出することができる。

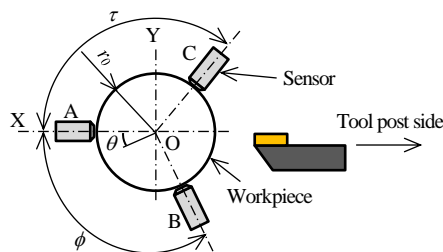


Fig.1 Schematic drawing of three points method

被削材形状 $r(\theta)$ は式(1)により表される。ここで、 $r_0$ は被削材平均半径、 $A_k$ 、 $B_k$ は被削材形状 $r(\theta)$ のフーリエ級数を示す。また、主軸のX方向とY方向のラジアル振れは式(2)、(3)で表される。センサA、B、Cと被削材間の距離 $S_A$ 、 $S_B$ 、 $S_C$ を測定する。式(1)のフーリエ展開から被削材形状 $r(\theta)$ を求め、これとセンサ出力を式(2)、(3)に代入することで、主軸のラジアル振れ $x(\theta)$ 、 $y(\theta)$ を求めることができる。

$$r(\theta) = r_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (A_k \cos k\theta + B_k \sin k\theta) \quad (1)$$

$$x(\theta) = -r(\theta) - S_A(\theta) \quad (2)$$

$$y(\theta) = \left\{ \begin{aligned} & [S_B(\theta) + r(\theta - \phi)] \cos \tau \\ & - [S_C(\theta) + r(\theta + \phi)] \cos \phi \end{aligned} \right\} / \sin(\phi + \tau) \quad (3)$$

### 3. 実験方法

旋盤のラジアル振れと被削材形状の関係を明らかにするため、旋盤で被削材を旋削し、三点法測定装置で測定を行った。測定は心押台の支持力が強い場合と弱い場合の2通りで行った。被削材にはS45Cの丸棒を

用いた。加工条件を表1に示す。旋削後、三点法測定装置を用いて被削材形状 $r(\theta)$ とラジアル振れ $x(\theta)$ を求めた。センサは静電容量型変位計を用い、測定点は図2の基準Aから10mmチャック側に移動した点と、基準Aから170mmチャック側に移動した2点とした。

また、三点法の測定結果を確認するために、真円度測定機で被削材形状を測定した。測定は三点法と同じ箇所を測定した。なお、三点法測定で用いたセンサの測定部の直径は $\phi 3\text{mm}$ であるが、真円度測定機の測定端子は点接触となる。測定面積が面と点で異なり、測定結果に違いが生じる。そこで、真円度測定機による測定では被削材軸方向3mm幅を0.05mm間隔で61回測定し、その平均値を三点法測定の結果と比較した。

なお、登壇者はこの実験のうち、三点法測定装置の設計および真円度測定機による測定、およびそのデータ整理を担当した。

Table 1 Processing condition

Depth of cut	0.05 mm	Rotational speed	1800 min <sup>-1</sup>
Feed per revolution	0.13mm/rev	Approach angle	-1 deg
Nose radius	0.8mm	Cutting speed	296m/min

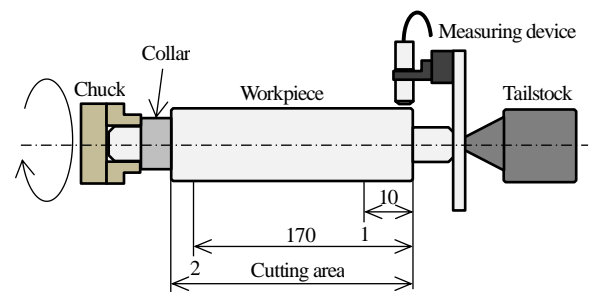


Fig.2 Measuring point of three point method

### 4. 実験結果

#### 4. 1 三点法測定と真円度測定機による測定結果の比較

三点法による測定結果が信頼できるものか確認するために、三点法と真円度測定機による被削材形状 $r(\theta)$ の測定結果の比較を図3に示す。図3より双方の被削材形状 $r(\theta)$ の測定結果はほぼ一致していることから、三点法による測定は信頼できる結果だと確認できた。

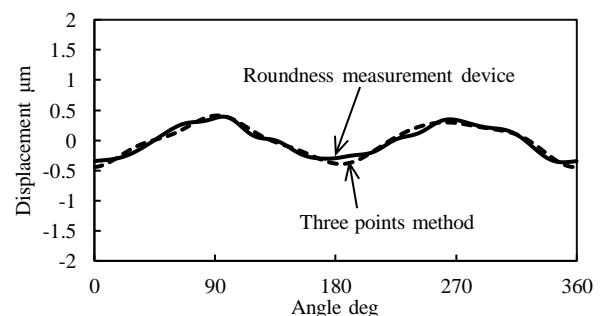


Fig.3 Roundness about three points method and roundness measurement device

#### 4. 2 三点法測定による被削材の真円度測定結果

次に、被削材断面形状について、支持力が強い場合のチャック側の結果を図4に、心押台側の結果を図5に示す。また、支持力が弱い場合のチャック側の結果を図6に、心押台側の結果を図7に示す。図4~7より、真円度は支持力が弱い場合の方が悪くなった。これは、支持力を弱くしたことで、回転時の振り回りが大きくなったためと考えられる。また、チャック側はどちらも心押台側よりも真円度が小さくなっている。これは、心押台支持力の影響が小さいからためと考えられる。心押台支持力を強くした方が、被削材の真円度が良くなることがわかった。

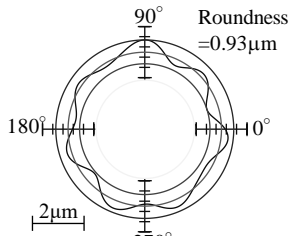


Fig.4 Roundness under strongly supported, chuck side

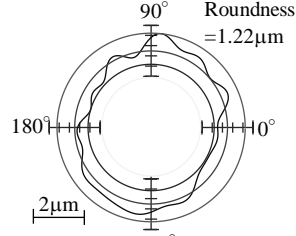


Fig.5 Roundness under strongly supported, tailstock side

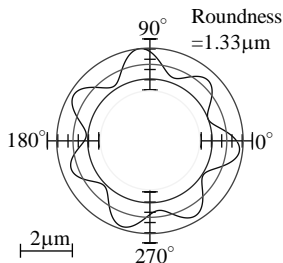


Fig.6 Roundness under weakly supported, chuck side

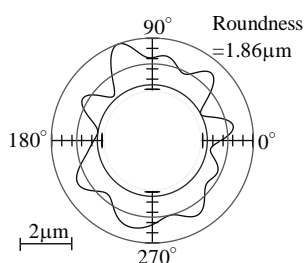


Fig.7 Roundness under weakly supported, tailstock side

#### 4. 3 被削材形状 $r(\theta)$ とラジアル振れ $x(\theta)$ の比較

被削材形状  $r(\theta)$  とラジアル振れ  $x(\theta)$  を比較した。支持力が強い場合のチャック側の結果を図8に、心押台側の結果を図9に示す。また、支持力が弱い場合のチャック側の結果を図10に、心押台側の結果を図11に示す。なお、被削材形状  $r(\theta)$  は、加工点と図1のセンサAの位置との位相が  $180^\circ$  ずれているので、測定結果より  $180^\circ$  位相をずらし、位相を合わせた状態としている。まず、支持力による違いに着目する。図8, 9と比較して支持力の弱い図10, 11は1周期の波形成分が出ている。これは、加工時に生じた背分力により被削材が偏心したためと考えられる。支持力が弱いと背分力の影響で被削材が最初に保持したセンタ位置から移動してしまい、偏心してしまうと考えられる。いっぽう、支持力が強い場合は背分力の影響が小さくなり、偏心しにくくなる考えられる。

次に、測定位置による違いに着目する。チャック側の図8, 10と心押台側の図9, 11を比較すると、前述と同様に支持力の弱い図9, 11の方が、背分力の影響により被削材形状  $r(\theta)$  とラジアル振れ  $x(\theta)$  で1周期成分の波形が異なっている。これに対してチャック側では心押台側よりも波形は一致しているが、特に図8では高い周期成分で振れが生じている。これは、チャック側は三爪により拘束力が強く、背分力の影響が小さいため波形が一致したいっぽう、主軸構造上の運動精度が高い周期成分として表れているものと考えられる。

以上のように、旋削後の工作物から三点法により被削材形状  $r(\theta)$  とラジアル振れ  $x(\theta)$  を測定し、これらを比較すると、例えば1周期成分が大きい場合には旋盤の剛性や保持剛性が不足している、あるいは高周波成分で振れがある場合には旋盤の構造上の影響などと、旋盤の運動精度の低さの要因を区別して把握することができる。

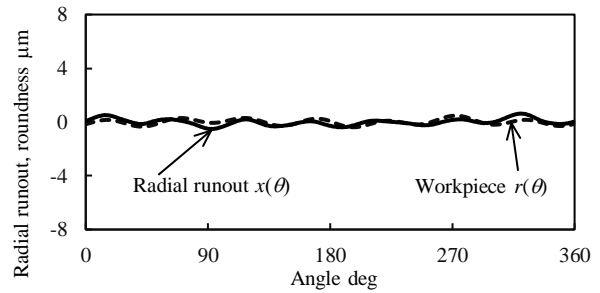


Fig.8 Relationship between radial runout and workpiece on the chuck side when the supporting force is strong

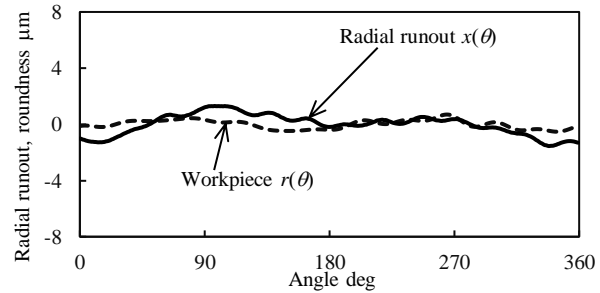


Fig.9 Relationship between radial runout and workpiece on the tailstock side when the supporting force is strong

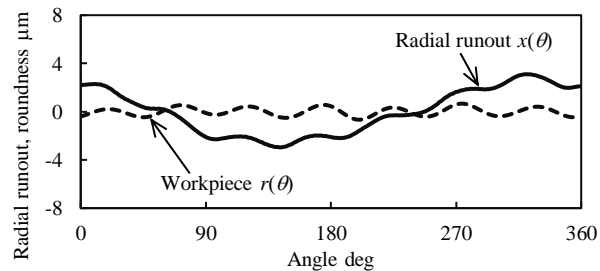


Fig.10 Relationship between radial runout and workpiece on the chuck side when the supporting force is weak

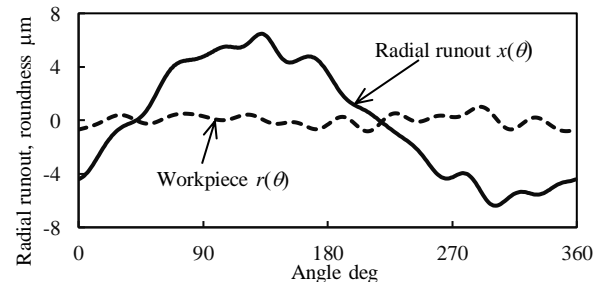


Fig.11 Relationship between radial runout and workpiece on the tailstock side when the supporting force is weak

#### 5. 結 言

三点法測定装置を試作し、これを用いて被削材形状  $r(\theta)$  とラジアル振れ  $x(\theta)$  を測定した。心押台の支持力を変化させて測定した結果、以下のようなことがわかった。

- ・心押台の支持力によって被削材の真円度が大きく影響されることがわかった。
- ・チャック側、心押台側とで、背分力による被削材形状  $r(\theta)$  とラジアル振れ  $x(\theta)$  への影響に差があることがわかった。
- ・被削材形状  $r(\theta)$  とラジアル振れ  $x(\theta)$  から、旋盤運動を推測できた。

#### 参考文献

- 1) 清水伸二：新版 初歩から学ぶ工作機械，大河出版，(2011)28.
- 2) 三井公之：精度診断技術の研究，日本機械学会論文集(C 編)48, 425(1982)115.