

旋削における機械構造の振動と表面粗さの関連について

A Study on the Relation Between Structural Vibration of
Machine Tool and its Surface Finish in Turning

三 井 公 之*・佐 藤 壽 芳*

Kimiyuki MITUI and Hisayoshi SATO

1. ま え が き

工作機械に要求される性能のうち最も重要なものの一つは、精度に関するものである。機械各部の静的な変形や熱的変形等が加工精度に及ぼす影響を評価することと、稼動状態における機械各部の振動と加工精度との関連を定量的に把握することが、機械加工の高速化高精度化を実現する上で重要な課題である。

切削加工中においては、電動機、駆動ベルト、歯車系、主軸系など運動部分や切削力自体が振動源となる強制振動が動的な加工精度の面から問題となり、この強制振動により生ずる工具・被削材間の相対変位が、表面粗さ、真円度、真直度等加工精度の劣下を招きうることの指摘がなされている^{1)~4)}。

このため著者らは旋削加工中における工具・被削材間相対変位を測定し、これを解析した結果、主軸回転数に同期した振動数成分、被削材・主軸系の固有振動数成分がで易いことをすでに報告している⁵⁾。

本研究ではさらに工具・被削材間の相対変位と表面粗さ曲線の両者を解析し、その関連について調べた結果について報告する。

2. 工具・被削材間相対変位ならびに表面粗さの測定法

実験装置としては、

旋盤：大隈実用高速旋盤 LS 450 × 500

データレコーダ：TEAC R-70

変位計：BENTLY NEVADA 微小変位計

使用工具：チップ TX 20, SNPR431, シャンク

E11 R-33

ミニコンピュータ：実時間フーリエ解析装置 (YHP 5451 A)

表面粗さ計：レーザ光点変位式表面粗さ測定装置⁶⁾等を用いている。

変位計は渦電流型で、測定可能周波数域は DC ~ 100 KHz である。これをバイトに取り付けた状態を図 1 に

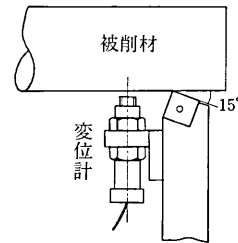


図1 変位計取付部

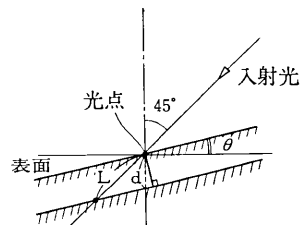


図2 表面変位量と光点移動量の関係

示す。表面粗さはレーザ実時間粗さ計⁶⁾を用いて、切削後被削材を旋盤に取りつけたままの状態で測定した。

図2はレーザ実時間粗さ計による測定時における表面変位量 d と光点変位量 L の関係を示すものである。ここで表面が θ 傾いた場合の両者の関係は

$$L = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right)} d$$

で与えられる。 $\theta = 15^\circ$ とすると光点移動量は $1.93 d$ となり $\theta = 0^\circ$ の面に対する光点移動量 $1.4 d$ より40%程度大となり、より微小な表面変位を測定しうることとなる。本研究では切削面における θ の値が 15° となるよう図1に示す形状のバイトを使用した。

3. 実験結果

表1に実験条件を、表2に加振実験を行なって求めた旋盤構造の固有振動数及び振動モードを示す。また図3、図4に実験1、実験2に対する相対変位ならびに表面粗さ曲線およびそれらのパワースペクトルを示す。なお実験3に対する図の掲載は省略する。表面粗さの測定は切

* 東京大学生産技術研究所 第2部

表 1

実験 番号	相対変位	主軸回転数 (切削速度)	送り量 ($\frac{\text{mm}}{\text{rev}}$)	切込み (mm)	被 削 材 支持方法	被削材・ 主軸系固有振動数	低 域 遮 断 周波数	被削材 材 質	表 面 粗 さ
1	図 3 (a)	420 rpm (93m/分)	26	0.3	チャック及 び心押台	230 Hz	30 Hz	真鍮	図 3 (b)
2	図 4 (a)	420 rpm (62m/分)	36	0.15	チャック の み	190 Hz	—	—	図 4 (b)
3	—	420 rpm (62m/分)	36	0.15	チャック及 び心押台	290 Hz	—	—	—

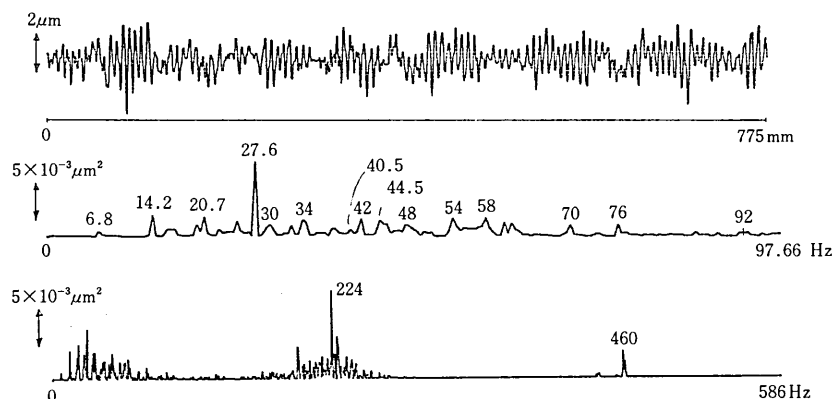


図 3 (a) 相対変位とそのパワースペクトル (実験 1)

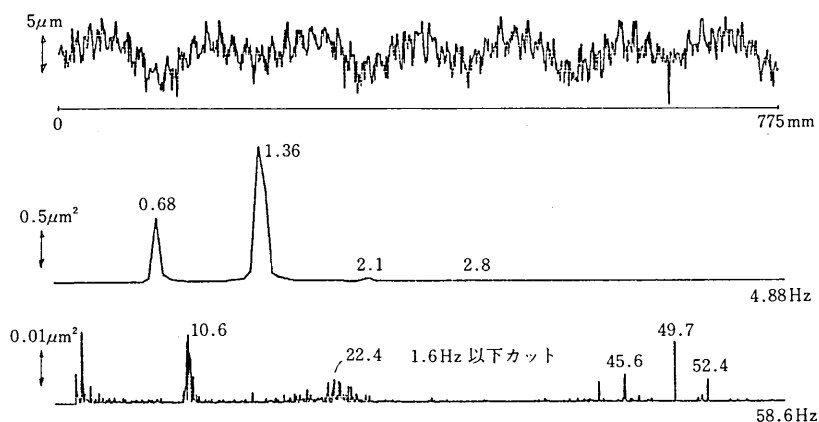


図 3 (b) 表面粗さ曲線とそのパワースペクトル (実験 1)

削時の主軸回転数の1/10である42rpmにて行なった。そのため対応する振動数は相対変位のその1/10となって観察されることとなる。

表3、表4、表5は実験1、2、3の相対変位と表面粗さ曲線のパワースペクトルにおいて比較的パワーの大きい振動数の対応関係をまとめたものである。

表3、表4、表5を通じて主軸回転周期に対応する振動数である7Hz及びその2倍、3倍等が対応していることがわかる。表3の相対変位にあらわれた224Hz、460Hzの成分は、被削材・主軸系の一次、二次固有振動

数に起因するものであり、これが表面粗さに移ることがわかる。また同表表面粗さにおける10.6Hzの成分は、対応する振動数成分が相対変位に見あたらないことから表面粗さ測定時に11Hzの旋盤構造の固有振動数に起因する振動が表面粗さ計と被削材の間に生じ、それを表面粗さ計が測定したものと考えられる。同じく表面粗さのみに現われている49.5Hzの成分は粗さ計架台の固有振動数に一致しており、これも表面粗さ測定時に雑音として重畳した振動に起因するものである。

表4においては、旋盤構造の固有振動数である40Hz、

表2 旋盤構造の主な固有振動数
及び振動モード

固有振動数	振動モード
11 Hz	モタ側 ↓ 心台押側 ↓
32	↑ ↓ ↓ ↓
39	↑ ↓ ↓ ↓
46	↑ ↓ ↓ ↓
116	↑ ↓ ↓ ↓
135	↑ ↓ ↓ ↓

表3 相対変位と表面粗さに含まれる振
動数成分の対応 (実験1)

相 対 変 位 (420 rpm)	表 面 粗 さ
6.8 Hz	0.6 Hz
14.2	1.3
20.7	2.1
27.6	2.8
34.0	3.4
	10.6
224 近辺	22.4 近辺
460	45.7
	49.5

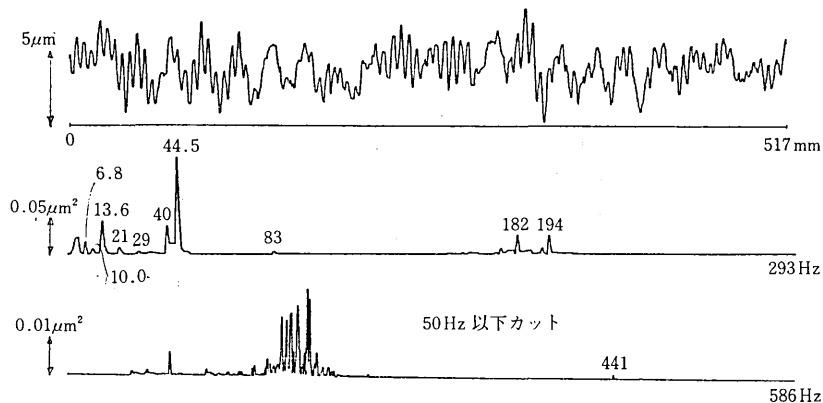


図4(a) 相対変位とそのパワースペクトル (実験2)

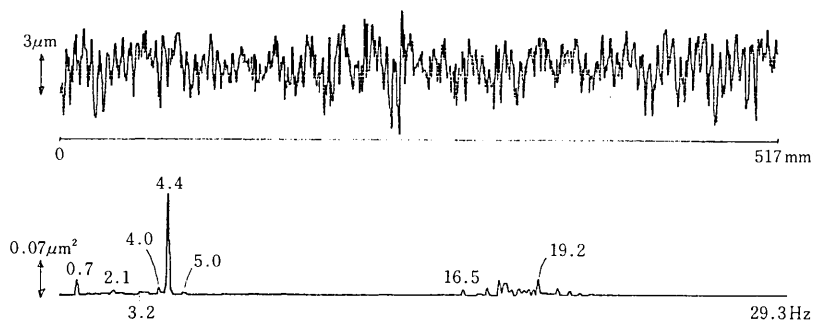


図4(b) 表面粗さ曲線とそのパワースペクトル (実験2)

45 Hzの成分が相対変位と表面粗さの両者にあらわれていることがわかる。また被削材をチャックのみによる片持支持としたため、切込みが小さいにもかかわらず、被削材・主軸系の固有振動数成分の振幅が比較的大きく、これが表面粗さにも移っていることが認められる。

表5では11 Hz, 133.6 Hz なる旋盤構造の固有振動数に起因する振動成分が表面粗さに移っている。また被削材・主軸系の固有振動数成分は振幅が小さく、表面粗さに移っているかどうかを確認するには至っていない。

4. ま と め

本研究では、旋削における機械構造の振動と表面粗さとの関連を明らかにすることを目的として、工具・被削材間相対変位と表面粗さを測定し、両者の振動数成分の対応を試みた。

この結果 (1)相対変位には主軸回転周期に同期した振動数及びその2倍, 3倍等の成分がで易く、これが表面粗さにも表われていること。(2)被削材を片持支持とした場合、あるいは両端支持としても、切込みがある程度

研 究 速 報

表4 相対変位と表面粗さに含まれる振動数成分の対応 (実験2)

相 対 変 位 (420 rpm)	表 面 粗 さ (42 rpm)
6.8 Hz	0.7 Hz
10.0	
13.6	
21.0	2.1
29.0	3.2
40.0	4.0
44.5	4.4
	5.0
83.0	
190 近辺	19.0 近辺

大きい場合には被削材・主軸系の固有振動数成分が表面粗さに移りうること。(3)切削条件により異なるが、旋盤構造の固有振動数成分のうち表面粗さに影響を与えるものが存在すること、特に一般に表面粗さに移りにくいと思われる。ベッドが平行に振動するいわゆるロッキングモードによっても工具・被削材間に相対変位が生じ、それが表面粗さに移りうることを確かめた。

以上のことから、旋削における動的加工精度を高めるためには旋盤構造の剛性を高める必要のあることはもとより、主軸回転系の精度向上に努める必要のあること、さらに被削材・主軸系の固有振動数成分が表面粗さに移りうることから、主軸系、心押台等の剛性を高める必要のあること等の知見を得た。

終りに、本研究に関し協力された佐藤研究室 西田公

表5 相対変位と表面粗さに含まれる振動数成分の対応 (実験3)

相 対 変 位 (420 rpm)	表 面 粗 さ (42 rpm)
6.8 Hz	0.68 Hz
11.2	1.07
14.2	1.37
15.6	1.66
21.0	2.15
27.8	2.83
32.0	3.03
35.2	3.42
40.0	
46.4	
	10.5
133.6	13.4
191	20.8

至助手、駒崎正洋、大堀真敬両技官に感謝する。

(1976年9月2日受理)

参 考 文 献

- (1) Peters, J., Rroc. Int. Res. Prod. Eng. Conf., ASME, (1963), 486.
- (2) H. SATO and N. H. Cook, Material Proc. Lab., Dept. of Mech. Eng. MIT, (1967-7)
- (3) 佐田ほか, 工作機械の剛性および切削性能の向上に関する研究分科会研究成果報告書, 機械学会, (昭49.2) 225.
- (4) 安井ほか, 工作機械振動と仕上面あらさについて, 機械学会 MTV 分科会 G-1 資料, (昭48.3)
- (5) 佐藤ほか, 生産研究, 27-7 (昭50.7), 12.
- (6) 三井, 佐藤, 生産研究, 27-4 (昭50.4), 17.

