

特集3

UDC 621.9.015

工具・被削材間の相対変位と表面あらさの関連に関する基礎実験

Basic Experiment on the Effect of Relative Displacement Between Tool
and Work of Machine Tool on Surface Finish

佐藤 壽芳*・三井 公之**・近藤 禎孝**

Hisayoshi SATO, Kimiyuki MITSUI, Yoshitaka KONDO

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な変形等が加工精度に及ぼす影響を評価することとならんで、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、高精度化にともなって重要となっている。

工作機械の振動現象としては自励振動と強制振動を挙げるができる。一般の加工状態では自励振動の発生するような加工条件をさけていることもあり、精度の面からは強制振動の影響を評価することが重要と思われる。強制振動では、電動機、駆動ベルト、歯車系、主軸系などの機械内部の運動部分や切削力自体が振動源となる。その結果、機械構造が励振されて、工具・被削材間の相対変位が生じ、表面あらさ、真円度、真直度等の加工精度の劣下を招きうる^{1)~3)}ことが指摘されている。

そのため以下では表面あらさ、真円度等と密接な関連をもつと考えられる工具・被削材間の相対変位を測定し、解析した。ここで工具・被削材間の相対変位が表面あらさに及ぼす影響を定量的に評価するためには、相対変位と表面あらさを同時に測定する必要があると考えられ、この目的のために開発したレーザ光による表面あらさの実時間測定装置^{4) 5)}を用いて旋削における周方向表面あらさの測定をおこなった結果についてのべる。

2. 工具・被削材間相対変位の測定装置と測定例

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

変位形：BENTLY NEVADA 微小変位計

使用工具：スローアウェイ工具 TX20, TNPR 321

ミニコンピュータ…実時間フーリエ解析装置 (YHP5451A)

表面あらさ計…レーザ光点変位式表面あらさ実時

間測定装置、等を用いている。

2・1 測定装置

変位計は渦電流タイプで、プローブとプロキシミッターと呼ばれるアンプ部とから構成されており、測定可能な周波数の上限は100KHzである。プローブをパイロシャンクに取り付けた状態を図1に示す。

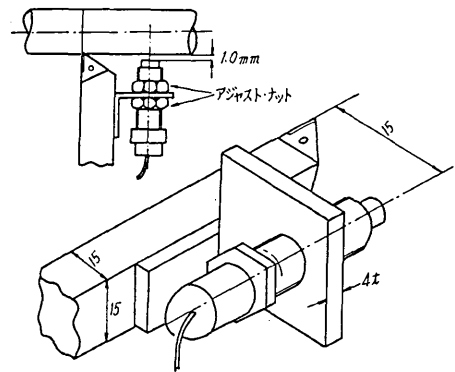


図1 変位計取付部

ここでプロキシミッターの出力はプローブ先端と被削材の間隔に対応する直流分を含むこと、また被削材の偏心などによる相対変位の低い成分の変動が比較的大きいことにより、これらを低域遮断フィルターで落してから増巾した。また高域遮断フィルターでプロキシミッターの出力に含まれる搬送波ノイズを遮断している。被削材の偏心による相対変位の成分は低域遮断フィルターで取り除くことが可能であるが、一方、被削材の表面あらさ等の影響を変位計が拾う可能性もある。そのため被削材をあらかじめ研削仕上して極力その影響を小さくしておくことが考えられるが、ここでは変位計がなぞる表面は切削したままの表面とし、表面あらさ等の影響があれば、被削材の回転数に対応して相対変位の周波数成分が変化する現象となって表われ、その効果を把握しようものと考えた。

実験は、図2のように被削材を長さ200mmのチャックのみによる片持として行ない、端面から50mmのところを切削開始点としている。被削材の偏心を極力小さくすること、表面状態も極力一様にするためのため、切込 $50\mu\text{m}$ 、送り $50\mu\text{m}/\text{rev}$ 、300rpmの回転数による軽切

* 東京大学生産技術研究所 第2部
** 東京大学大学院

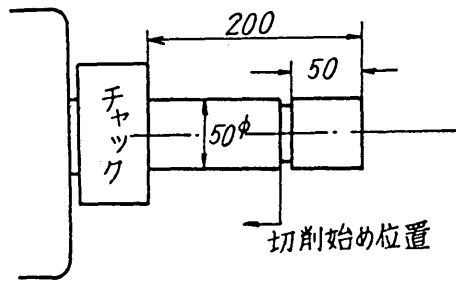


図2 切削始め位置

削を事前におこなっている。なおバイトのオーバーハングは50mmとし、実験に使用した工具は刃の条件を一定とするためにスローアウェイトタイプとし、切削実験を1回行なうごとに新しい刃を用いた。

2.2 測定例

非切削状態及び切削状態における工具・被削材間相対変位測定実験の切削条件を表1に、相対変位波形を図3、図5に、それらの波形のパワースペクトル曲線

実験		回転数	送り	切込み
1	非切削	600rpm	—	—
2	切削	600rpm	0.1mm/rev	1.0mm

表1 切削条件

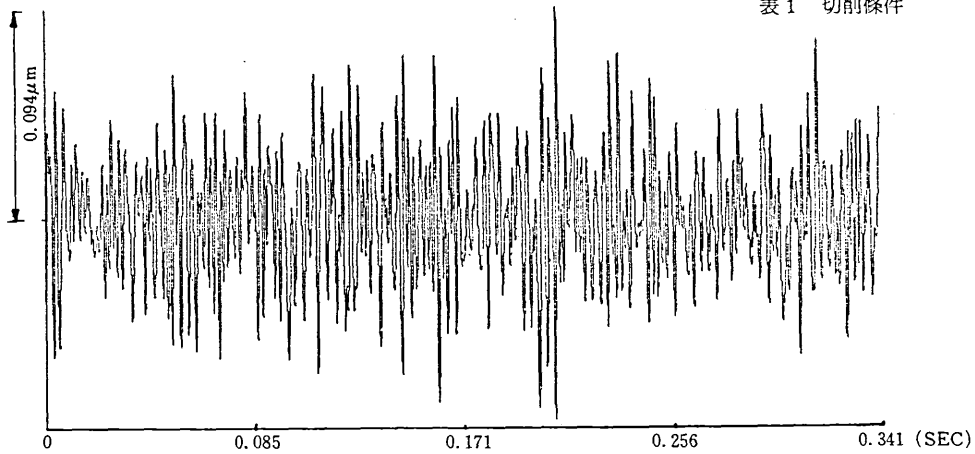


図3 実験1 相対変位波形

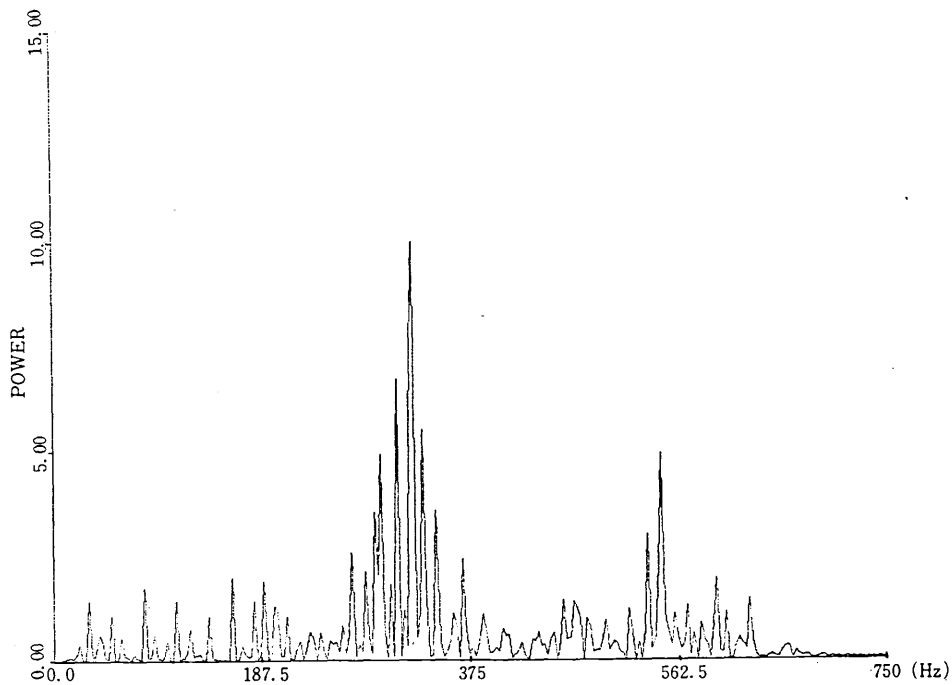


図4 実験1 相対変位のパワースペクトル

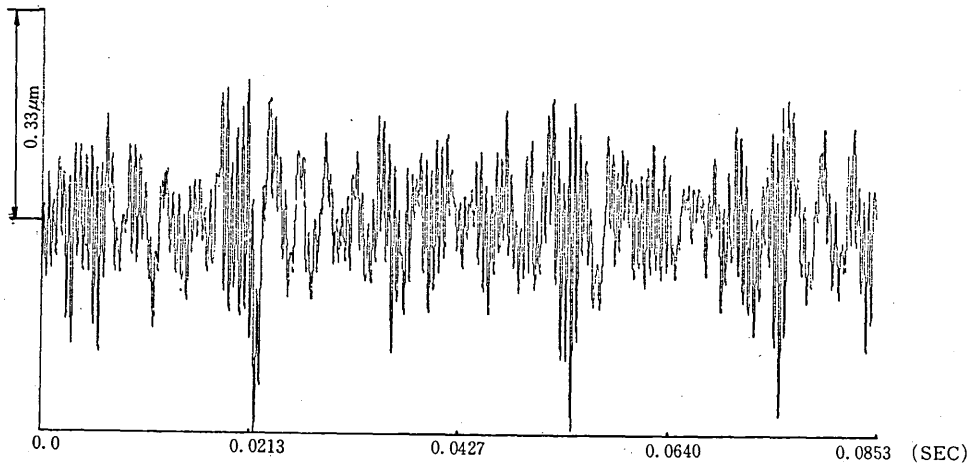


図5 実験2 相対変位波形

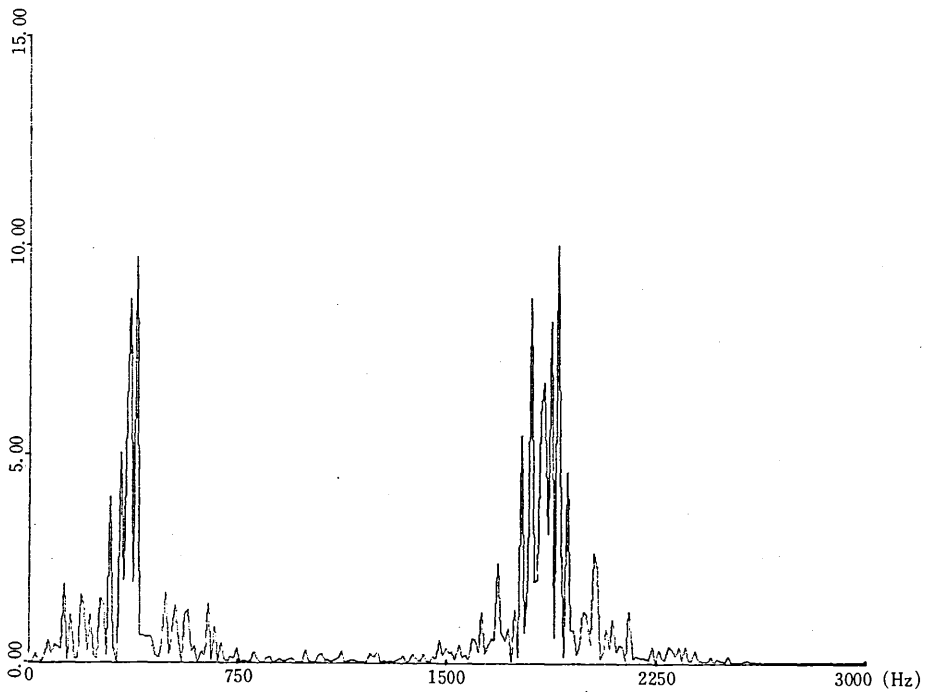


図6 実験2 相対変位のパワースペクトル

を図4, 図6に示した。被削材はS45Cの丸棒 (50φ) を用いている。これらの結果は、片持ちという条件下であるが、被削材・主軸系の固有振動数として測定される289, 336Hz近傍の振動数の卓越が顕著であり、特に切削時にこの傾向が強まることを示している。切削時に1900Hz付近に強い成分がみられるが、変位計取付部の剛性が充分でなかったことによっている。被削材の回転数に同期した振動数を別にすれば、機械構造の固有振動数の影響もでることが予期しえたが、³⁾ 上記のように、主軸系の影響が最もで易いものと言ってよいであろう。

3. 工具・被削材間の相対変位及び表面あらしの測定

工具・被削材間の相対変位が表面あらしに及ぼす影響を定量的に評価するための一つの方法として、相対変位と表面あらしを同時に実時間測定し、それらの間の相互相関関数、クロススペクトルを求めてみることを考えられる。これを実現することを意図して、著者らはレーザ光を用いた表面あらしの実時間測定装置を開発したが、ここでは相対変位と表面あらしを同時測定するための予備実験として、切削中における相対変位を測定した後、上述のレーザあらし計を用いて別に表面あらしを測定し、それぞれの結果を比較することを試みた。

3・1 レーザ光点変位式表面あらし実時間測定装置

図7に本測定装置の原理図を示す。レーザ光をレンズ系を用いて細く絞り、物体表面に照射する。表面の移動に伴い、表面上の光点は直線OA上を移動する。光点の移動量は微小であるが、これを顕微鏡で拡大し

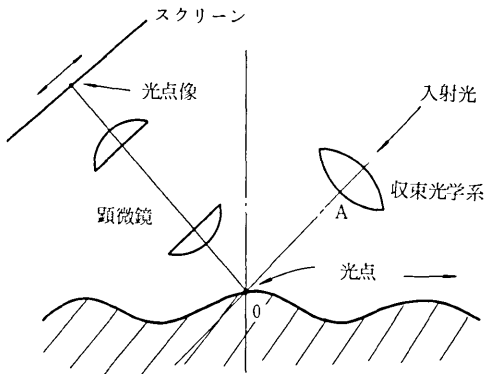


図7 測定原理

てスクリーン上に結像させ、像点の変位を観測すれば、表面波形を測定することができる。以下に表面あらしの測定結果を示す。

図8, 図9はこの装置による測定例である。まず図8は送り50μmとしてダイヤモンドバイトで真鍮丸棒を切削した結果について送り方向に表面あらしを測定したものである。これをスペクトル解析してみると、50μmの送りマーク成分が認められた。なお顕微鏡対物レンズの倍率は20倍を使用している。また、レーザ光を光源として用いた場合に生ずるスペックリングノイズをさけるため、この実験に限り水銀灯を光源として用いた。図9は真鍮丸棒をスローアウェイ工具で切削する際に生じたびびりマークを、装置、被削材を旋盤にとりつけたまま測定速度924mm/sで円周方向に測定したものである。スペクトル解析の結果びびりマーク

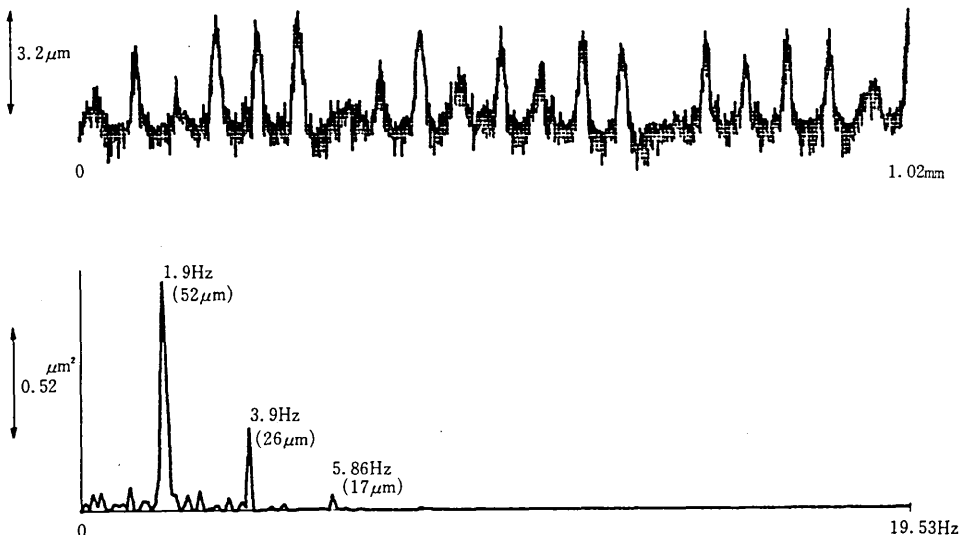


図8 送り方向表面あらし (ダイヤモンドバイト) 光源是水銀灯を使用.

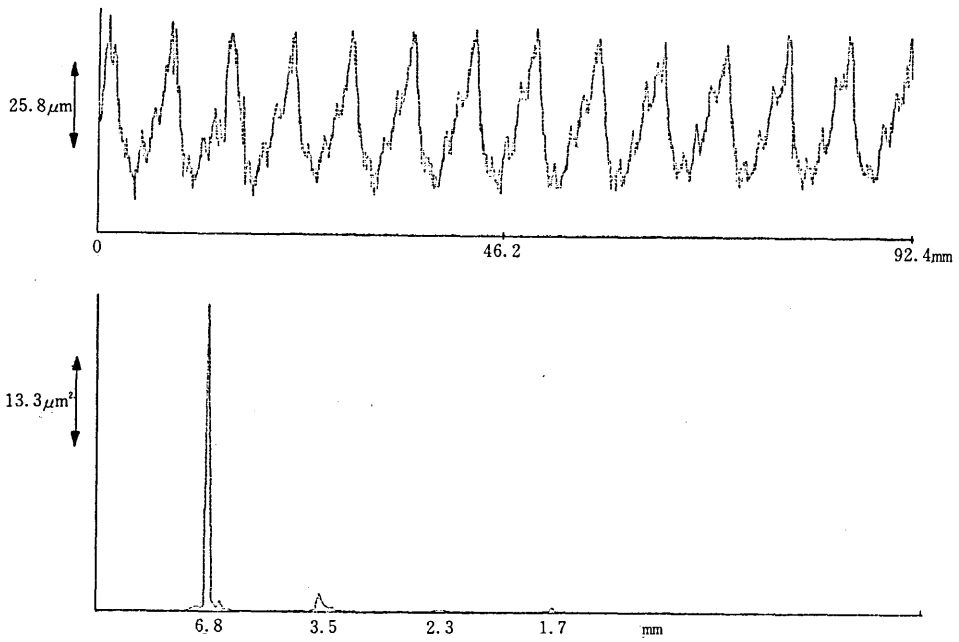


図9 レーザあらし計によるびびりマーク測定結果 (測定速度 924mm/s)

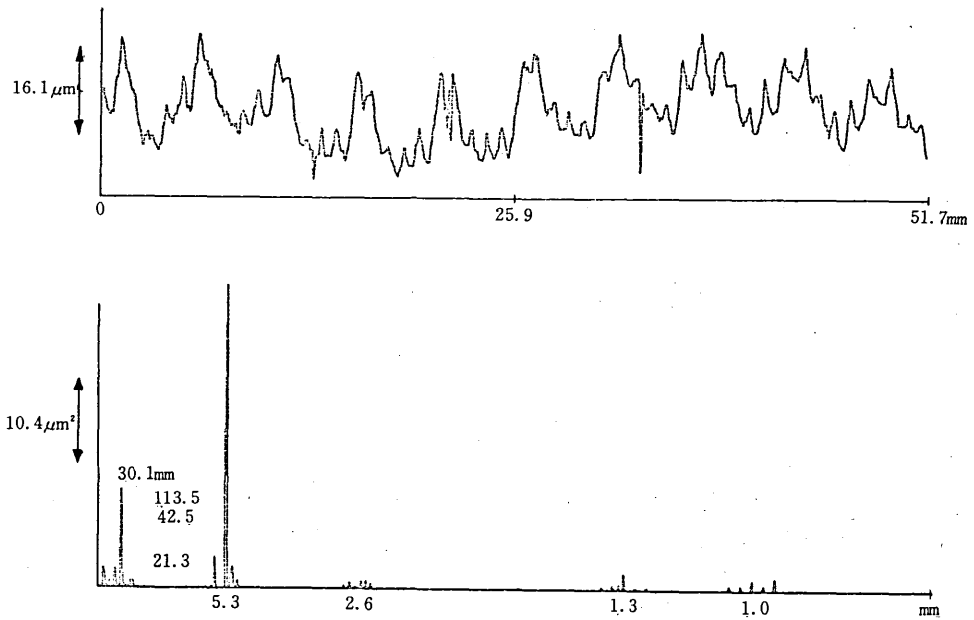


図10 レーザあらし計による測定結果 実験(a)

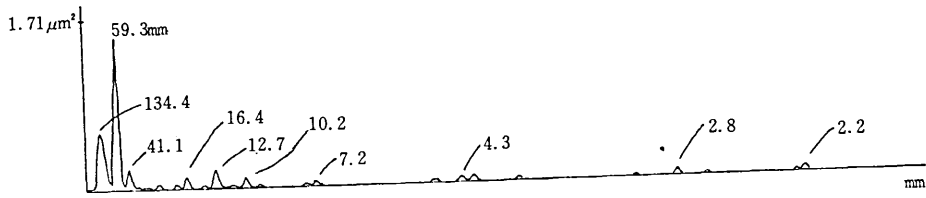
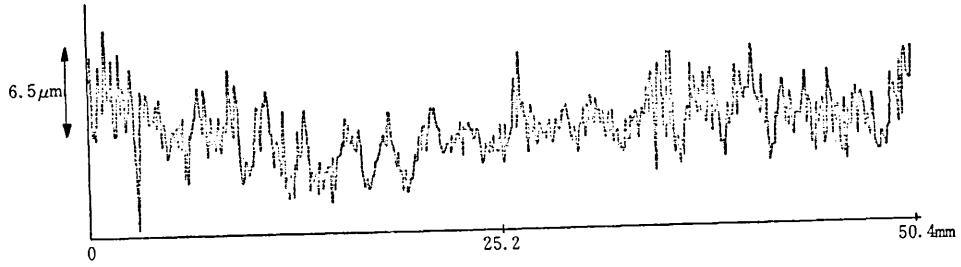


図11 レーザあらし計による測定結果 実験(b)

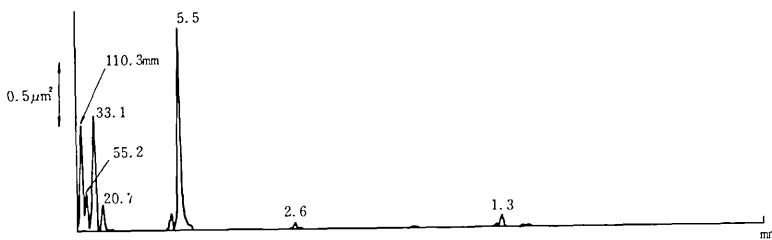
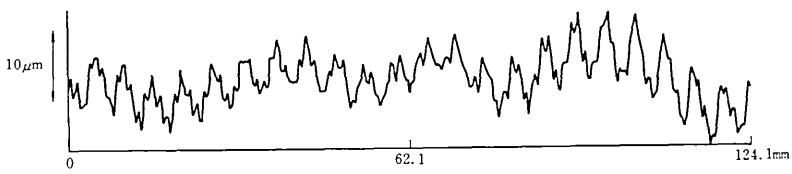
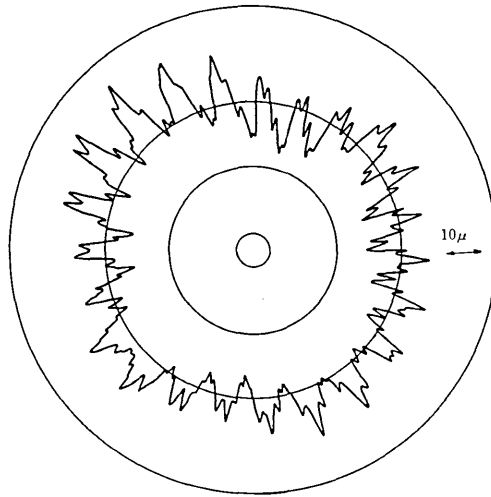


図12 真円度測定器による測定結果 実験(a)

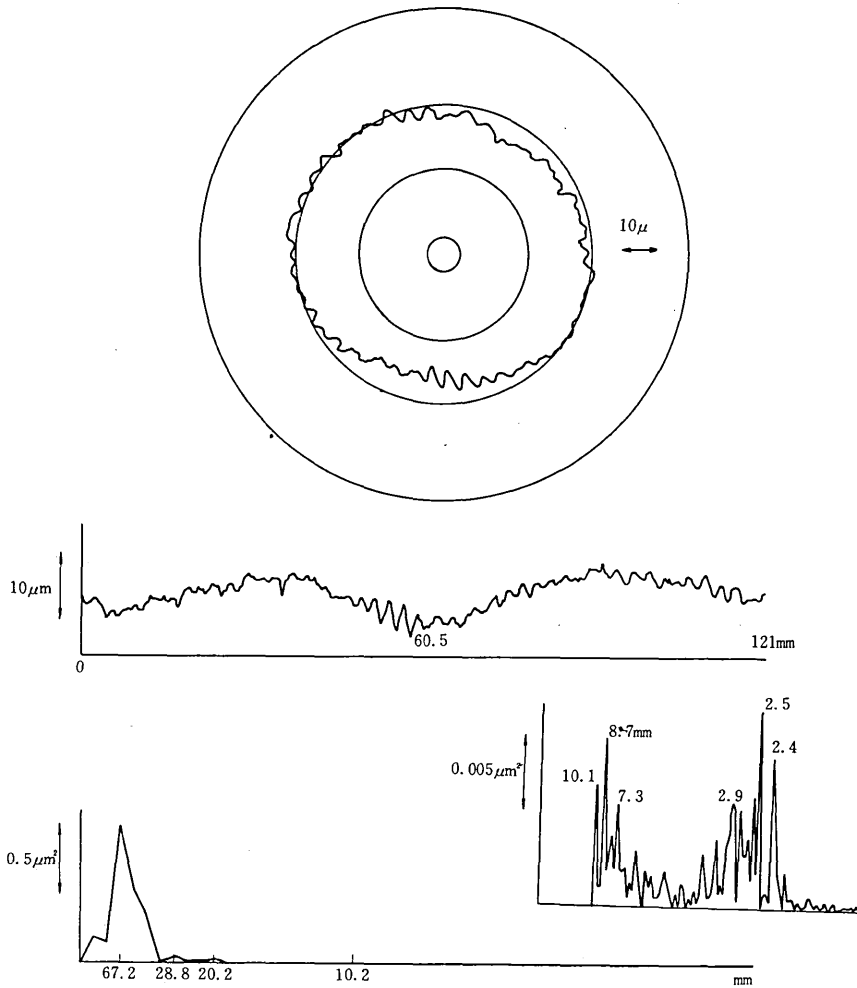


図13 真円度測定器による測定結果 実験(b)

の波長は6.8mmと求められる。

つぎにレーザあらし計の性能を検討する一端として真鍮丸棒を切削した結果について、レーザあらし計による測定結果と真円度測定器(ロンコム)による測定結果との比較を試みた。切削条件は

- 実験a) 切削速度 76m/mm, 切込み0.5mm, 送り 0.05mm/rev
- 実験b) 切削速度 38m/mm, 切込み1.0mm, 送り 0.2mm/rev

バイト……スローアウェイ工具(チップTNPR 322)

としている。レーザあらし計による測定は、円周方向に測定した。測定速度は20.68mm/sである。対物レンズには20倍を使用した。真円度測定器による測定結果

は円形記録紙によるものと、データレコーダに記録した後ミニコンを用いて、プロットしたものの両方を示す。図10, 図11は実験(a)(b)に対するレーザあらし計による測定波形, ならびにそのパワースペクトル曲線である。図12, 図13は真円度測定器による測定波形, およびそのパワースペクトル曲線である。スペクトル解析の結果求められた表面あらしの波長成分, ならびに波長から算出した工作機械上の振動数を表2-1, 表2-2に示す。

工作機械上の振動数としたものが, どのような性質によったものであるかを, 個々のものについて明らかにしていないし, これらと工具・被削材間の相対変位との関係としても明らかにしていないが, 特に表2-1の結果では, レーザあらし計と真円度測定器によっ

レーザあらし計		真円度測定器	
表面あらし波長	工作機械上の振動数	表面あらし波長	工作機械上の振動数
113.5mm	10.9Hz	110.3mm	11.3Hz
42.5	29.2	55.2	22.5
30.1	39.7	33.1	37.5
21.3	58.3	20.7	60.0
5.3	218.4	5.5	225.6
2.6	454.6	2.6	477.3
1.3	933.0	1.3	933.0
1.0	1128.1	—	—

表2-1 表面あらし波長の比較 (実験 a)

レーザあらし計		真円度測定器	
表面あらし波長	工作機械上の振動数	表面あらし波長	工作機械上の振動数
134.4mm	4.5Hz	67.2mm	9.0Hz
59.3	10.2	28.8	21.4
41.1	14.7	20.2	30.0
16.4	36.9	10.2	59.3
12.7	47.6	8.7	69.5
10.2	59.3	7.3	82.8
7.2	84.0	2.5	242.0
4.3	140.6	—	—
2.8	216.0	—	—
2.3	263.0	—	—

表2-2 表面あらし波長の比較 (実験 b)

て測定された振動数成分の間に非常によい相関のあることがわかる。

3・2 相対変位及び表面あらしの測定結果

図14に真鍮丸棒の切削中における工具・被削材間の相対変位波形及びそのパワースペクトル曲線を示す。この時の切削条件は、切削速度85m/min, 送り0.29mm/rev, 切込み2.1mmであり、切削状態の観察より軽い“びびり”の発生が認められた。相対変位波形をスペクトル解析した結果この場合の被削材・主軸系の固有

振動数に帰着するとみられる280Hz, 400 Hz附近の成分の存在がたしかめられた。

図15は切削後、レーザあらし計で測定した表面あらし及びそのパワースペクトル曲線である。測定速度は142mm/sとした。相対変位成分と比較するために、図中の振動数は、切削実験の際の回転数に合わせて換算してある。相対変位と同様に280Hz, 400Hz附近の成分が認められる。これらの結果は振幅としてかなり大きい量であり、現在のところ、振幅間の関係としてどの

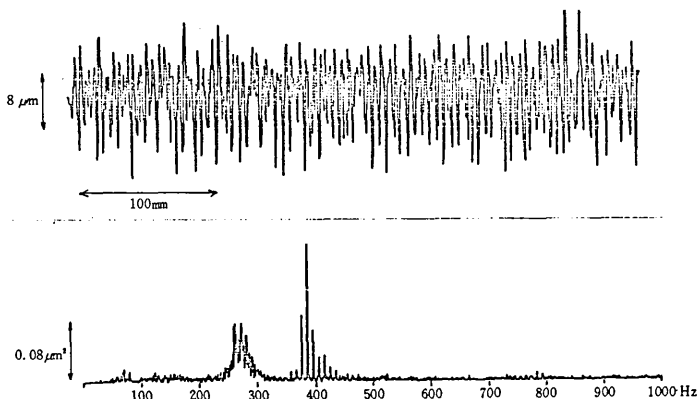


図14 相対変位波形及びパワースペクトル

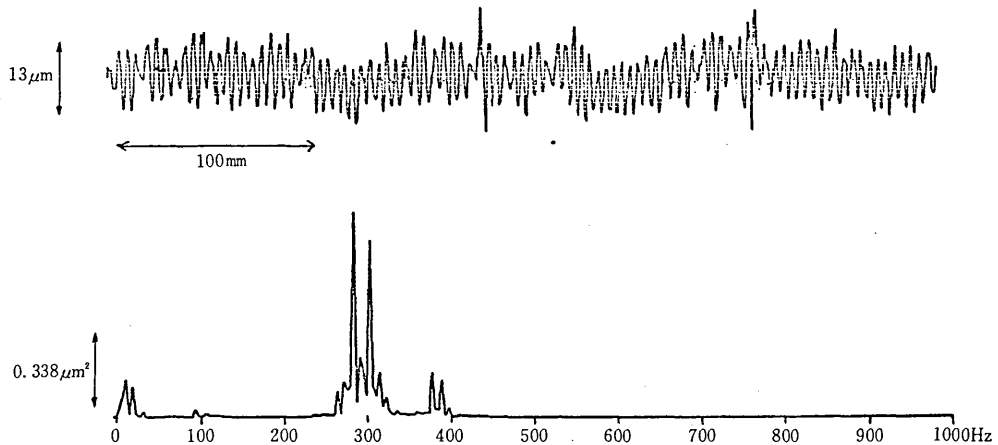


図15 レーザあらし計による測定結果及びパワースペクトル

程度までの対応がつかかについてはまだ明らかではないが、ある程度振動振幅が大きくなる場合振動数の関係としては、工具・被削材間相対変位と周方向表面あらしの間に相関関係を求める場合のあることがたしかめられた。

4. まとめ

本研究では、工作機械の構造上の振動と加工精度との関連を明らかにすることを目的として、工作機械工具・被削材間の相対変位の測定、ならびに相対変位と表面あらしの同時測定を目標として開発したレーザ光点変位式表面あらし実時間測定装置による表面あらしの測定について調べた。

この結果、1) 切削中の工具・被削材間の相対変位には、主軸回転数に同期した振動数、被削材・主軸系の固有振動数の成分がで易いこと、2) 周方向表面あらしの高速測定と従来の測定器による真円度測定の結果からは、1) にあげた振動数の他にもかなり多数の卓越した成分が観測され、2つの結果の間により対応をみる場合もあること、3) 振幅がある程度大きい場合には、相対変位と表面あらしの間で振動数成分の対応をつけること等を明らかにした。

しかし、この実験では相対変位、表面あらしを別個に測定しているため、両者の間の位相の情報は得られ

ていないのが現状である。このため今後相対変位、表面あらしの同時測定を広範な切削条件下で行なうことにより、相対変位が表面あらしに及ぼす影響をさらに定量的に把握する必要があると考えられる。

最後に、本研究に関し協力された佐藤研究室の職員、院生各位に感謝する。また真円度測定器の使用を快諾された機械技研工作機械課長、安井武司博士に感謝します。この研究に関連して昭和48年度一般研究 (C) 855037、昭和49年度一航研究 (A) 942013 (主査亙理厚教授) 機械学会RC-SC31の援助を受けたことを記し関係各位に感謝する。

(1975年5月6日受理)

参考文献

- 1) 佐田ほか：切削加工における振動と表面あらしへの関連、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、機械学会、(昭49-2) 225。
- 2) 安井ほか：工作機械振動と仕上げ面あらしについて、機械学会MTV分科会G-1資料、(昭48. 3)
- 3) H. SATO and N. H. Cook: An Experimental Study on the Effect of Machine Tool Vibration on Surface Finish, Material Proc., Dept. of Mech. Eng, MIT, (1967-7)
- 4) 三井、佐藤：光点変位法による表面あらしの実時間測定装置の試作について、生産研究、27-4、(昭50)、17
- 5) 三井：光切断法の応用による表面あらしの実時間測定装置の試作について、機講論、No.750-6、(昭50-4)、39