

(3) 非接触型自動表面検査システムの開発

理工学研究科 機械工学専攻 M2 渡邊 隆夫

1. はじめに

近年、加工技術の向上、高精度化のため、形状誤差や表面粗さに対する要求精度は、ますます厳しくなっている。最近では表面形状を検査することも頻繁に行われており、各分野において行われている表面形状に関する検査は、触針式及びレーザー計測などが主流となっている。これらの方法では精密に表面形状を測定することができる。しかし欠点として、触針式では対象物表面を直接走査するため、表面に傷をつける可能性があること、走査距離が短いことや走査速度が遅い等の理由から全数検査は困難であるといえる。またレーザー式では周囲環境の影響やコスト面での問題が生じることがある。これらのことから、工業界では、簡易にかつ高速に表面形状を測定し、傷の判別を行うシステムの必要性が叫ばれている。

そこで本研究では、加工物の表面粗さ、傷の判別を容易に、かつ高速に行うことのできる、非接触型自動検査システムの実現を目的とし、その第一歩として非接触型表面検査装置を製作した。表面の凹凸の検出に、渦電流式変位計を使用している。このセンサをACサーボモータ及びボールねじを使用したアクチュエータで対象物表面を走査する機構とし、走査距離の延長を図るとともに走査速度の向上を実現している。また本装置の性能評価を行うにあたり試験片を製作し、表面形状計測を行なった。その結果をもとに、強調関数を使用した形状再現法を考案し、表面形状の把握を試みた。さらに、従来用いられている触針式表面粗さ計での測定結果との比較により、本システムの有効性を検討した。

2. 実験装置及び実験内容

2.1 非接触型表面検査装置

Fig. 1に実験装置の概略を示す。本装置は大きくセンサ部、駆動部、試料台にわけられる。表面の凹

凸を計測するセンサは、渦電流式非接触変位計（電子応用製）を使用した。センサの分解能は $0.8\mu\text{m}$ 、センサヘッド径は $\phi 0.93$ 、プローブカバーを含めると $\phi 1.8$ となっている。このセンサをLMガイドアクチュエータ（THK製）のインナブロックに取り付け、試験片表面を走査する機構としている。ストローク範囲は 300mm であり駆動にはACサーボモータを使用している。試料台は $10\mu\text{m}$ で位置決めが可能なX-Yステージ及び試料取り付け用のアングルから構成されている。

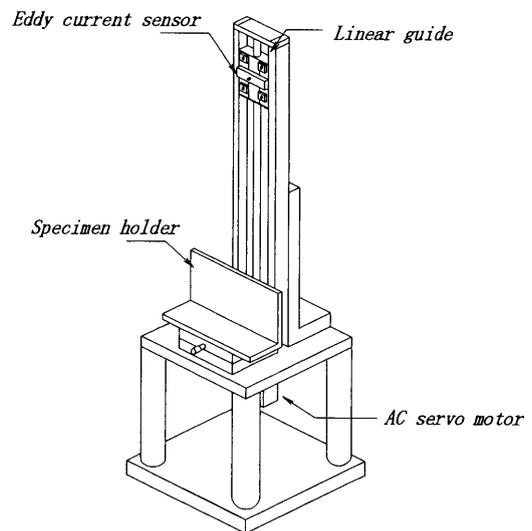


Fig. 1 Experimental apparatus

2.2 試験片

本実験装置の性能評価を行うにあたり、試験片を製作した。Fig. 2に製作した試験片の一部を示す。試験片はアルミニウム製であり、ウェットエッチングを使用して、 $1100\mu\text{m}$ 毎に幅 $100\mu\text{m}$ の溝を設けた、格子状の形状をしている。深さ $D = 56, 23, 21, 12\mu\text{m}$ の4種類を製作した。(以下深さの大きい試験片から順に1-1、2、…と番号をつける。)試験片はアングルに取り付けたアームによって固定している。

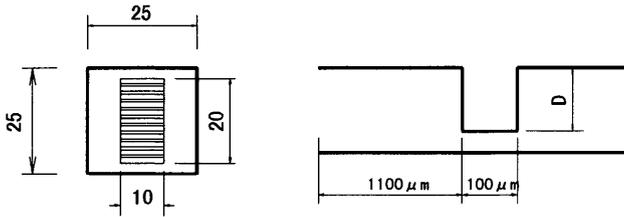


Fig. 2 Specimen

性能試験ではセンサー試験片距離を $40\mu\text{m}$ 、センサの走査速度 $5, 10, 20\text{mm/s}$ として、測定を行った。なお、測定は上から下に走査しており、位置は試験片中央部である。本装置の性能評価を行うにあたり、今回は形状測定試験、信号再現性試験、走査速度の違いによる出力波形の比較を行なった。

3. 実験結果及び考察

3.1 形状測定結果

試験片1-1(深さ $D=56\mu\text{m}$)の測定結果をFig. 3, 4に示す。Fig. 4はFig. 3の拡大図である。Fig. 3, 4の測定条件は走査速度 5mm/s 、走査位置

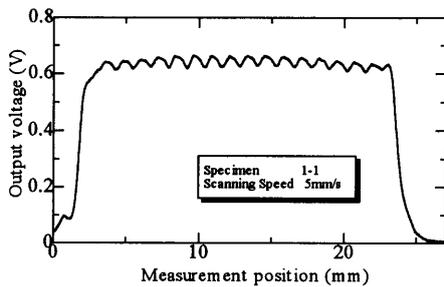


Fig. 3 Output voltage vs. Measurement position

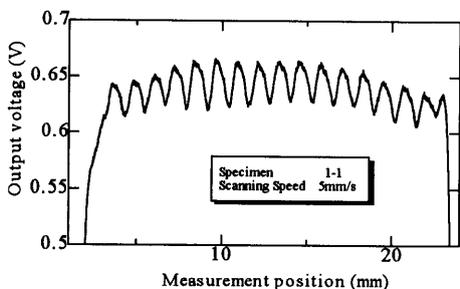


Fig. 4 Output voltage vs. Measurement position (detail)

は試験片中央、サンプリング周波数は 512Hz としている。

Fig. 3を見ると、まず、試験片の厚みほど出力が立ち上がり、試験片形状を測定した後、試験片端部に至り、出力が下がっている。Fig. 4を見ると周期的な出力が得られており、その周期はほぼ $1100\mu\text{m}$ となっている。しかし、形状や大きさは正確には把握できず、谷から山への立ち上がり、また山部での乱れが大きくなっている。これは試験片の形状が急激に変化するために渦電流が安定して発生しないことや、試験片製作時においてバフ研磨しており、その過程で発生した部位による透磁率の変化、また周辺機器からのノイズ等も影響していると考えられる。

また、他の試験片、速度条件においても、ほぼ同様な結果が得られており、本実験結果からは形状や大きさは正確に判別できないが、周期的な波形が得られていることから、幅 $100\mu\text{m}$ 、深さ $12\mu\text{m}$ までの欠陥の検出が可能であることがわかった。

3.2 再現性試験結果

検査装置として使用するにあたり、1回の測定で確実に出力を得ることが、試験の高速化及びデータの信頼性に対して重要であるといえる。そのため繰り返し測定を行い、再現性試験を行った。Fig. 5に結果を示す。本試験では同一箇所を6回測定し、1つの出力を基準に5つの相関係数を求めている。

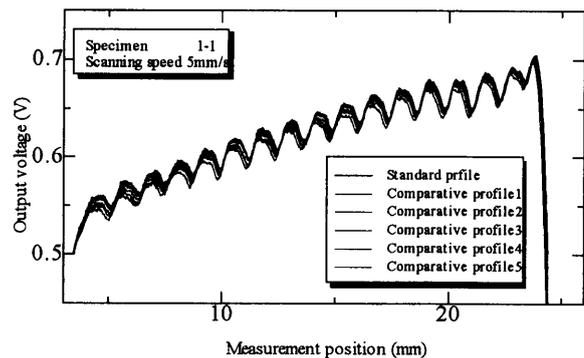


Fig. 5 Comparison of Profiles

Fig. 5より、毎回出力波形は類似していることがわかる。また相関係数も計算の結果、ほぼ1に近い値となっており、安定した出力が得られていることが

わかる。また、各試験片、走査速度条件においても、ほぼ同様な結果が得られており、本実験の範囲内では高い実験再現性を有していることがわかった。

3.3 速度による出力波形の比較

工業界において品質を検査するにあたり、検査の高速化は非常に重要な要素であるといえる。本装置において走査速度を高速にした場合、形状変化に追従した出力が得られるかどうか調べるため、速度による出力の類似性を調べ、相関係数を求めた。Fig. 6, 7 に走査速度の違いによる出力波形の比較を示す。

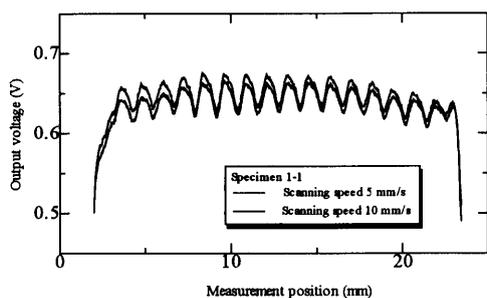


Fig. 6 Comparison of Profiles

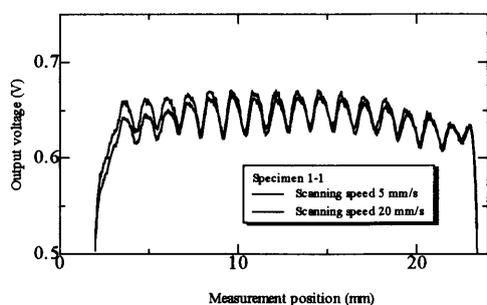


Fig. 7 Comparison of Profiles

Fig. 6, 7より、走査速度を5 mm/s から10mm/s 及び20mm/s にした場合でも、類似した波形出力が得られていることがわかり、相関係数も1に近い値となった。各試験片においても、同様の結果が得られており、本実験の範囲内では、走査速度20mm/sまでの測定が可能であることが示された。

4. 強調処理による表面外形の把握

試験片1-1の実験結果である Fig. 3を断面曲線とみなし、更正を行ない、粗さ曲線を求めた。Fig. 8に試験片1-1の粗さ曲線を示す。粗さ曲線は断面曲線から所定の波長より長い表面うねり成分を除去するような特性を持つフィルタを通して求めた曲線である。フィルタにはガウシアンフィルタを使用している。

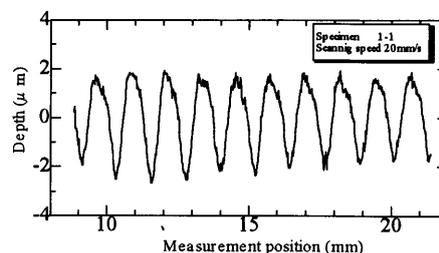


Fig. 8 Roughness Profiles

この結果では、更正をしても実際の深さとは一致していない。このためフィルタを通したのち、移動平均をとった後、強調関数を用いた形状再現法を考案、使用し外形の把握を試みた。Fig. 8の出力信号を見ると、谷部から山部への立ち上がりの部分が素早く立ち上がっておらず、緩やかに出力されていること、また山部では一定の出力が得られておらず、変動していることがわかる。したがって、強調処理は立ち上がりでの出力を拡大し、山部での出力は拡大率を小さくし、ノイズ成分を圧縮するように行なった。

強調処理で今回使用した関数を Fig. 9に示す。

関数は、

$$y = 4ax^2 \quad (0 \leq x \leq \text{Average})$$

$$y = -a(x - \text{Max})^2 + 4a(\text{Average})^2 + a(\text{Max} - \text{Average})^2$$

$$(\text{Average} \leq x \leq \text{Max})$$

とした。aは各試験片に対する補正係数である。強調処理の結果を Fig.10に示す。また触針式表面粗さ計で測定した、試験片1-1の粗さ曲線を Fig.11に示す。

強調処理の結果、触針式表面粗さ計の出力である粗さ曲線と類似した波形が得られており、周期的な格子状の形状であることが判別できている。各試験片においても同様な結果が得られており、本研究で提案した形状再現法により表面形状の把握が可能であることが示された。

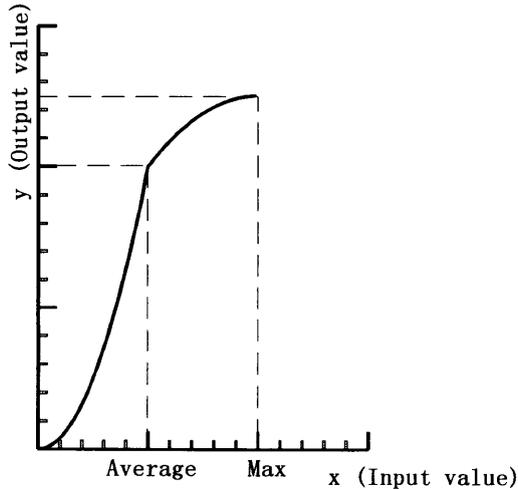


Fig. 9 Emphasis function

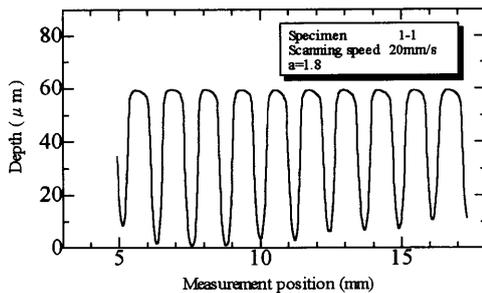


Fig. 10 Surfing profile

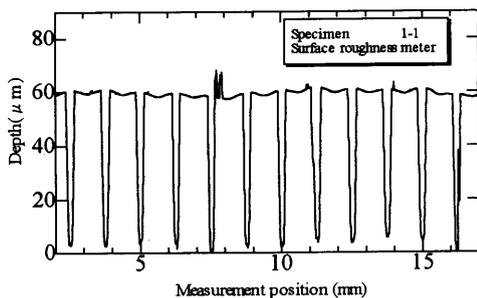


Fig. 11 Roughness profile

5 . おわりに

- (1) 従来型より高速で測定が可能な非接触型表面検査システムの試験装置を開発することができた。製作した試験装置は、高い実験の再現性を有している。
- (2) 本研究で提案したシステムより、原信号からは幅 $100\mu\text{m}$ 、深さ $12\mu\text{m}$ 程度までの欠陥の検出が可能であることが明らかとなった。
- (3) 走査速度 5mm/s 及び 10mm/s 及び 20mm/s を比較した場合、若干の差は認められるが出力波形が類似しており、表面検査に関しては 20mm/s までの測定が可能であることが示された。
- (4) 本研究で提案した形状再現法により、幅 $100\mu\text{m}$ 、深さ $12\mu\text{m}$ までの欠陥外形は触針式表面粗さ計の測定結果と定性的な一致が見られ、外形の把握が可能であることが明らかになった。これより、本実験で行った範囲内では、本システムは加工物の自動表面検査システムとして有効であることが示された。

研究発表

- 1) 渡邊隆夫：自動表面検査システムの開発
：日本機械学会中国四国支部第37期総会・講演会