

接触応力分布を用いた表面形状測定センサの試作

Trial Production of Surface Shape Measurement Sensor by Contact Stress Distribution

○頓所孝俊*, 小林義和**, 白井健二**

○Takatoshi Tonsho*, Yoshikazu Kobayashi**, Kenji Shirai**

*日本大学大学院, **日本大学

*Graduate School, Nihon University, **Nihon University

キーワード : 接触応力分布 (contact stress distribution), センサシート (Sensor sheet),
弾性体 (Elastic body), 剛体 (Rigid body), 表面形状測定装置 (Profilometer)

連絡先 : 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地
日本大学大学院 工学研究科 情報工学専攻 生産システム工学研究室 頓所 孝俊,
Tel: (024)956-8824, Fax: (024)956-8863, E-mail:ton@ushiwaka.ce.nihon-u.ac.jp

1. 緒言

現在, 商用化されている表面形状測定機には, 様々な原理, 機構のものが存在する. 代表的なものとして, 接触式と光学式の 2 つに大別される. 今回, 本研究において採用する接触式測定法は, 安定的なデータが得られる一方, 広範囲の測定に長時間を要する. そのため, 車や大型家電の金型などの表面凹凸の滑らかな, 広範囲のデータの必要なものには, 測定に長時間を要する.

そこで本研究においては, 応力分布の測定可能なセンサシートと弾性体を使用し, 弾性体と測定物が接触することにより発生する

弾性体直下の応力分布を用いて, 表面形状を広範囲にかつ短時間で測定可能な接触センサシステムを開発した. また, 様々な表面形状や荷重に伴う応力分布を解析し, それを可視化するために, 接触センサシステムと同様の原理に基づく, シミュレーションシステムを開発した.

2. システム構成

Fig 1 にシステムの基本構成を示す. 本システムは, 接触センサシステム, A/D 変換コネクタ及び PC (パーソナルコンピュータ)

により構成されている。なお、接触センサシステムは、応力分布を測定できるセンサシート上に弾性体（シリコンゴム等）を載せ、さらにその上に半球剛体が規則的に並んだ構造となっている。また、弾性体と半球剛体は固定されている。

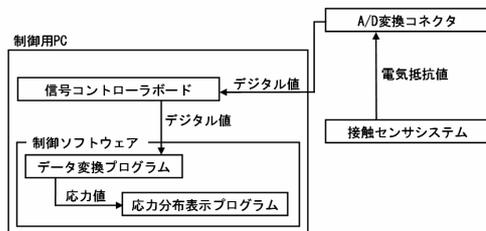


Fig.1 接触センサシステムの基本構成

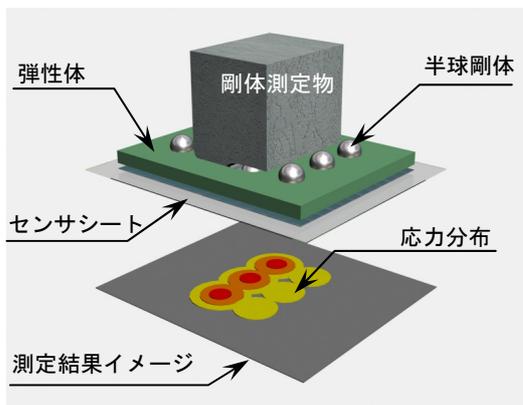


Fig.2 接触センサシステムの原理

まず、接触センサシステムと測定物が接触することにより発生する応力をセンサシートが電気抵抗値として取得する。その値をA/D変換コネクタがデジタル値に変換する。その値は、信号コントローラボードによりPCに格納される。PC内に格納されたデジタル値は、制御ソフトウェア内に格納されているデータ変換プログラムで応力値に変換され、それを応力分布表示プログラムにより、リアルタイムで表示する。

3. 接触センサシステムの原理

現状のセンサシートにおいては、平面形状の応力分布は測定可能であるが、センサシ

トが歪むと測定結果に誤差が生じ、曲面や段差形状を全面接触することができず、応力分布及び弾性体の表面変位を測定することは不可能である。そこで、Fig2に示すセンサ構造を開発し、多点接触において発生する円部応力と弾性体の表面変位を算出することにより剛体測定物の表面形状を認識することとした。接触センサシステムの測定原理を、以下に順を追って示す。

- 1) 剛体測定物を接触センサシステム上に配置することにより、剛体測定物の接触面が半球剛体の頂上と接触する。
- 2) 剛体測定物と接触した半球剛体の直下にある弾性体が変形し、平面及び曲面においても全面接触できる。
- 3) 半球剛体と弾性体の間の接触面に応力が発生する。
- 4) 応力が弾性体の底面部に出力され、応力分布を測定する。
- 5) 認識された応力値及び弾性体の表面変位の算出結果から、剛体測定物の表面形状を認識する。

4. 接触シミュレーションプログラム

4.1 接触シミュレーションプログラムの必要性

最適な接触センサシステムの開発及び応力分布から剛体測定物の表面形状を認識することができるかを確認するために接触センサシステムと同様の原理のシミュレーションプログラムを作成した。このプログラムを作成することにより、以下の様なシミュレーションをすることができる。

- 1) 最適な弾性体の選択
- 2) 種々の剛体測定物や押し込み深さに伴う応力分布と弾性体の表面変位の変化
- 3) 応力分布と弾性体の表面変位から剛体測定物の表面形状の認識

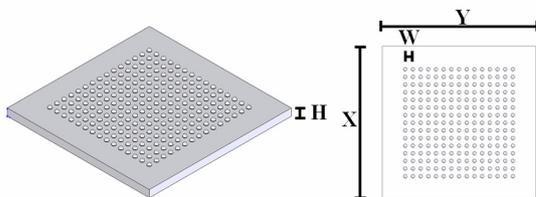
4. 2 応力分布の接触シミュレーション

剛体測定物の表面形状を算出するためには、物体の接触の際に発生する応力分布を測定し、その値から弾性体の表面変位を算出する必要がある。そこで、最初に剛体測定物が接触センサに接触したときの応力分布のシミュレーションを行った。シミュレーションに使用する接触センサを Fig 3 に示す。この接触センサは弾性体にシリコンゴムを使用し、半球剛体は半径 0.25mm で 225 個 (15 個 × 15 個) とし、応力分布のシミュレーションを行った。接触条件を Table 1 に示す。また、応力 σ の算出方法としてミーゼスの相当応力の式を使用した。本来、この式は、集中荷重の場合にのみ使用する式だが、本システムにおいては弾性体に荷重が加わる場所が、非常に微小であるために集中荷重と近似できる。応力 σ を次式 (1) に示す。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{2} \{ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \}} \quad (1)$$

ここで、

- σ_x : x 方向の垂直応力
- σ_y : y 方向の垂直応力
- σ_z : z 方向の垂直応力
- τ_{xy} : y 方向へのせん断応力
- τ_{yz} : z 方向へのせん断応力
- τ_{zx} : x 方向へのせん断応力



X = 40 mm, Y = 40 mm,
H = 2 mm, W = 2 mm

Fig.3 シミュレーション使用する接触センサ

Table.1 接触条件

ヤング率 (MPa)	4.96
ポアソン比	0.45
弾性体の一辺の長さ (mm)	40
弾性体の高さ (mm)	2
サンプリング間隔 (mm)	1
押し込み深さ (mm)	1

Fig 4 は、Fig 3 の接触センサに平面の剛体測定物を接触させ場合での応力分布 3 次元シミュレーション結果で、Fig 5 は、Fig 3 の接触センサに段差のある平面の剛体測定物を接触させた場合での応力分布 3 次元シミュレーション結果を示す。

Fig 4, Fig 5 の結果から双方ともに剛体測定物と近似した応力分布が出力された。しかしながら、剛体測定物の非接触部分にも応力分布が出力された。この原因としては、弾性体に力を加えられた時に発生する歪力が広領域に影響するためであると考えられる。

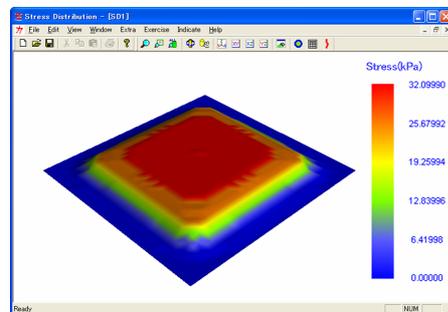


Fig.4 平面形状接触時の応力分布シミュレーション

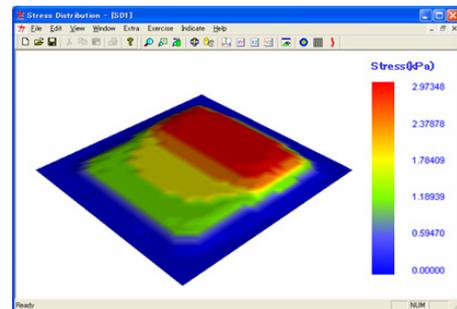


Fig.5 段差形状接触時の応力分布シミュレーション

4. 3 表面変位の接触シミュレーション

前述の式(1)により、正確な応力分布を算出することができた。したがって、算出された各位置での応力から各位置の変位 δ^i を算出し、その変位から接触した弾性体の全ての接触面の表面変位を算出する。接触した弾性体の全面接触での表面変位を算出するには、次式(2)により求めることができる¹⁾。

$$\delta^i = w_0^i + \sum_{j=1}^n w_d^{i,j} \quad (2)$$

ここで、

δ^i : 各頂上の変位

w_0 : 突起頂上部の変位

w_d : 距離 d 離れた接触頂上から受ける弾性変位

また、上付きの添え字は頂上 i を、 i, j は頂点 j が頂点 i に変位を及ぼすことを示す。

Fig 6, Fig 7に、Fig 4, Fig 5と同様の条件での弾性体の表面変位3次元シミュレーション結果を示す。

Fig 6, Fig 7の結果から、Fig 6では剛体測定物と近似した弾性体の表面変位を出力することができた。しかしながら、Fig 7の結果では、良好な結果を得ることができなかった。その原因は、弾性体の変位が中心部に集中しているため、段差の場所を検知する事ができないためであると考えられる。

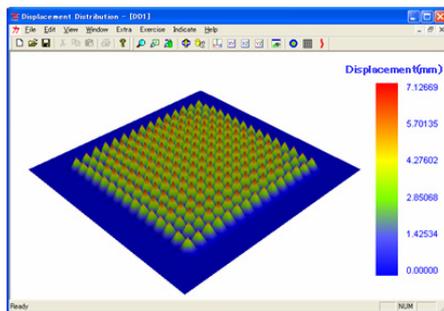


Fig.6 平面形状接触時の弾性体表面変位シミュレーション

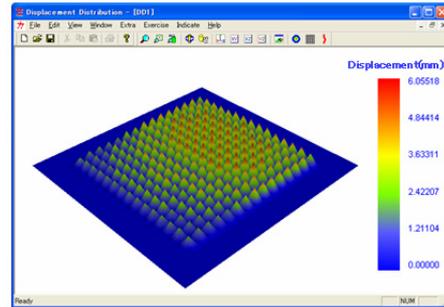


Fig.7 段差形状接触時の弾性体表面変位シミュレーション

5. 結言

5. 1 結論

接触センサシステムのモデルを考案し、そのシミュレーションプログラムの開発及び考察をした結果、以下の結論を得た。

- (1) 接触センサシステムによって、測定物の接触面の形状に関係なく接触センサに応力分布を表示できる。
- (2) 接触シミュレーションプログラムを作成することにより、種々の条件下での応力分布と弾性体の表面変位のシミュレーションができた。

5. 2 今後の課題

- (1) 接触シミュレーションプログラムでの応力分布と実際に開発した接触センサシステムの応力分布を比較し、接触センサシステムの改良を行う。
- (2) 接触センサシステムで測定した応力分布と弾性体の表面変位をから、測定物の表面形状を認識可能とするアルゴリズムを考案する。

参考文献

- 1) 小林義和, 白井健二, 柳和久: マイクロうねりを含む等方性表面性状の接触変形解析と数値シミュレーション, 645/655 トライボロジスト, Vol. 47, No. 8 (2003).