

## 表面弾性変形理論を応用した三次元測定装置の開発における検証実験

### Verify Experimentation in Development Three-Dimensional Measurement Device that applies Surface Elastic Deformation Theory

○深瀬雅俊

溝口知広, 小林義和, 白井健二

○Masatoshi Fukase

Tomohiro Mizoguchi, Yoshikazu Kobayashi, Kenji Shirai

日本大学大学院(Nihon University graduate school)

日本大学(Nihon University), 日本大学(Nihon University), 日本大学(Nihon University)

キーワード : 表面弾性変形理論(Surface Elastic Deformation Theory),  
センサシート(Sensor Sheet), キャリブレーション(Calibration),  
ミーゼス応力(von Mises stress), シリコンゴム(Silicone rubber)

連絡先 : 963-8642 郡山市田村町徳定字中河原 1 番地

日本大学工学部情報工学科 白井研究室 深瀬雅俊

Tel:024-956-8824, Fax:024-956-8863, E-mail:shirai@ushiwaka.ce.nihon-u.ac.jp

## 1. 緒言

近年、医療・情報分野などにおける技術の発展に伴い、表面形状測定装置が、活用されている。しかし、表面形状測定装置は非常に高価である。その上、測定には熟練した技術が必要である。そこで本研究は、安価で誰でも簡単に使用できるセンサシートを用いて、リアルタイムに表面形状を広領域かつ短時間で測定可能な接触センサシステムを開発することを目的としている<sup>1)</sup>。

## 2. システム構成

図 1 にシステム構成を示す。本システムは、制御用 PC、センサコネクタ、センサシートで構成されている。まず、センサシートと測定対象物が接触する応力を電気抵抗値として取得する。次に、その取得した値が A/D 変換コネクタでデジタル値に変換され、PCI インタ

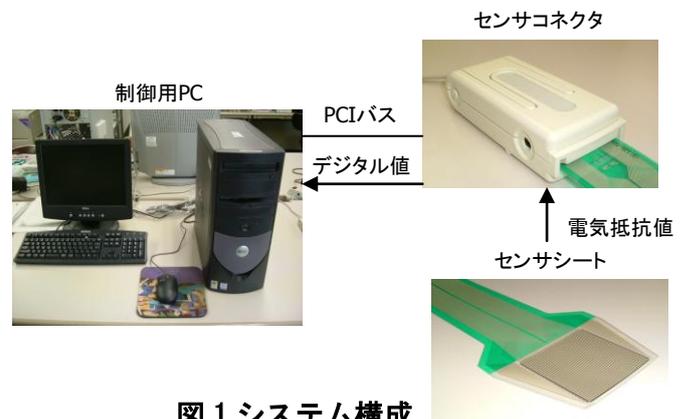


図 1 システム構成

ーフェイスボードにより PC に格納される。制御ソフトウェア内のデータ変換プログラムで、PC に格納されたデジタル値が応力値に変換され、応力分布プログラムで二次元または三次元でリアルタイムに表示される。また、ムービーの記録や、データを分析する機能も備えている。

### 3. 実験概要

#### 3. 1 キャリブレーション

実験前にセンサシートで重量を測定するために、キャリブレーションを行う。荷重をかけると測定結果が Raw 値で出力される。キャリブレーションを行うことで測定結果をグラム(g)で出力させることができる。

#### 3. 2 実験方法

今回の実験では、測定対象物体に荷重をかけた際の応力の測定値とミーゼス応力を用いた計算式より算出した応力を比較することで、荷重を加えた際の測定対象物体の変位を算出するミーゼス応力を用いた計算式が正しいかどうか確認することを目的としている。厚さが3mm, 5mm, 10mmの突起が1点のシリコンゴムを作成した。作成した突起が1点のシリコンゴムに荷重を加え、センサシートで測定した結果とミーゼス応力を用いた計算式より算出した結果を比較した。今回は突起が1点の測定実験を行ったため錘は自立しない。そのため錘を筒を用いて支え測定した。また、電子天びんを用いて、測定時にセンサシートにかかった荷重を確認し、測定した。センサシートにシリコンゴムを載せ、その上に、重量:1100g、直径:50mm、高さ:100mmの円柱状の錘を載せることで荷重をかけ測定した。図2に厚さが3mmのシリコンゴムを使用した測定結果と測定点を示す。測定点は、荷重点の下の方向に1mm間隔で点1から点4を定めた。このときセンサシートにかかった荷重は1087gであった。図4に厚さが5mmのシリコンゴムを使用した測定結果と測定点を示す。測定点は、荷重点の上の方向に1mm間隔で点1から点5を定めた。このときセンサシートにかかった荷重は1082gであった。図6に厚さが10mmのシリコンゴムを使用した測定結果と測定点を示す。測定点は、荷重点の上の方向に1mm間隔で点1から点8を定めた。このときセンサシートにかかった荷重は1082gであった。また、ポアソン比はシリコンゴムのポアソン比

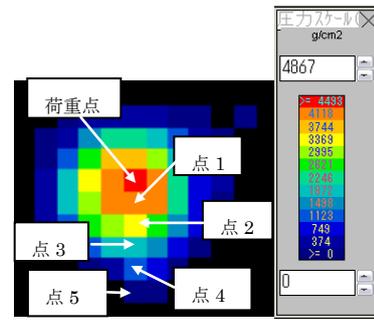


図2 厚さ3mmのシリコンゴムを使用した測定結果

	荷重点	点1	点2	点3	点4	点5
測定値 (g/mm <sup>2</sup> )	47.62	44.23	36.79	20.54	12.19	2.03
算出値 (g/mm <sup>2</sup> )	∞	49.02	34.43	22.04	12.84	8.33
差		4.79	2.36	1.50	0.65	6.30
誤差(%)		9.77	6.85	6.81	5.06	75.63

表1 厚さ3mmの測定値と算出値の比較

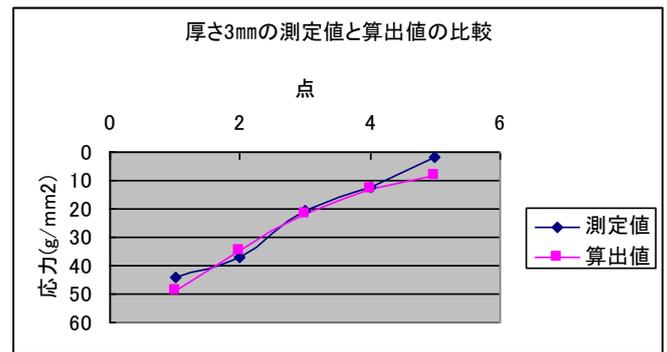


図3 厚さ3mmの測定値と算出値のグラフ

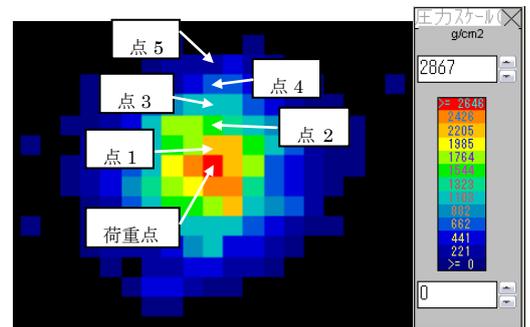


図4 厚さ5mmのシリコンゴムを使用した測定結果

である 0.49 とした。

### 3.3 ミーゼス応力を用いた計算式による算出結果

ミーゼス応力を用いた算出式を(1)式に示す。

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

$\sigma_x$  : x 方向の垂直応力       $\tau_{xy}$  : y 方向のせん断応力

$\sigma_y$  : y 方向の垂直応力       $\tau_{yz}$  : z 方向のせん断応力

$\sigma_z$  : z 方向の垂直応力       $\tau_{zx}$  : x 方向のせん断応力

(1)式は算出した、x, y, z 方向の垂直応力、せん断応力を代入することで応力を算出する。算出式に代入する x, y, z は荷重点を 0 座標とした際の測定点までの距離である。使用したシリコンゴムの厚さが、3mm の測定値と算出値の比較結果を表 1 に、厚さが 5mm の測定値と算出値の比較結果を表 2 に、10mm の測定値と算出値の比較結果を表 3 に示す。結果をグラフ化し、測定値と算出値がどのくらい違うか、圧力の分布がどのようになっているか調べた。厚さが 3mm の測定値と算出値のグラフを図 3 に、厚さが 5mm の測定値と算出値のグラフを図 5 に、厚さが 10mm の測定値と算出値のグラフを図 7 に示す。その結果、シリコンゴムに厚みがあるほど、荷重が分散し、広範囲に加わることがわかった。また、シリコンゴムに厚みがある

ほど、荷重点に近い点 1 の誤差が大きいことから、シリコンゴムに厚みがあるほど、荷重点の影響を受け、荷重点に近い測定点では誤差が大きくなるのではないかと考えられる。厚さが 3mm, 5mm の結果において荷重点から 1 番離れた測定点で誤差が大きくなっていることが確認された。それは、厚さが 3mm, 5mm の結果ともに測定結果の 1 番端の点のため、荷ほど、荷重点に近い点 1 の誤差が大きいことから、シリコンゴムに厚みがあるほど、荷重点の影響を受け、荷重点に近い測定点では誤差が大きくなるのではないかと考えられる。厚さが 3mm, 5mm の結果において荷重点から 1

	荷重点	点 1	点 2	点 3	点 4	点 5
測定値 (g/mm <sup>2</sup> )	26.93	23.92	15.44	13.00	8.48	3.58
算出値 (g/mm <sup>2</sup> )	∞	21.22	16.97	13.76	10.14	7.37
差		2.70	1.53	0.76	1.66	3.79
誤差(%)		12.72	9.02	5.52	16.37	51.42

表 2 厚さ 5mm の測定値と算出値の比較

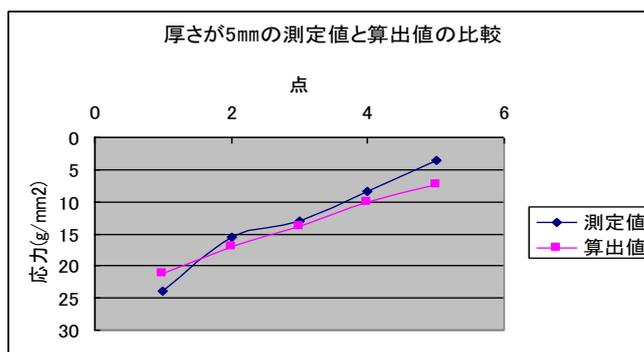


図 5 厚さ 5mm の測定値と算出値のグラフ

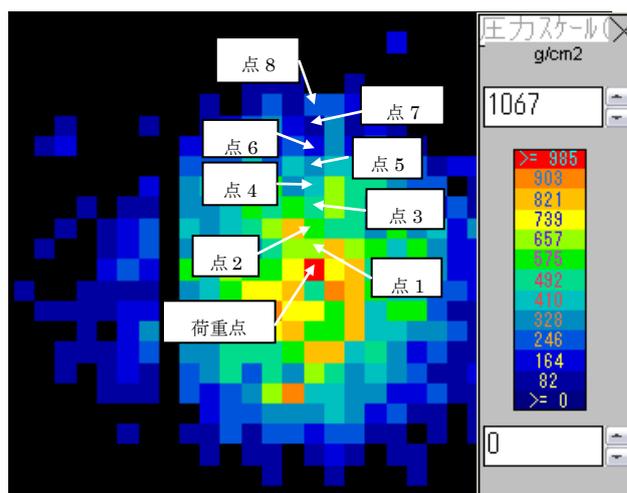


図 6 厚さ 10mm のシリコンゴムを使用した測定結果

番離れた測定点で誤差が大きくなっていることが確認された。それは、厚さが 3mm, 5mm の結果ともに測定結果の 1 番端の点のため、荷ほど、荷重点に近い点 1 の誤差が大きいことから、シリコンゴムに厚みがあるほど、荷重点の影響を受け、荷重点に近い測定点では誤差が大きくなるのではないかと考えられる。厚さが 3mm, 5mm の結果において荷重点から 1 考えられる。厚さが 5mm の測定結果は、点 3

までは荷重点から離れるほど誤差が小さくなっているが、1番端でもない点4で誤差が大きくなってしまっているためよくないと考えられる。厚さが10mmの測定結果は、誤差が大きくなったり、小さくなったりしているのでよくないと考えられる。また、電子天びんを用いて、測定時にセンサシートにかかった

荷重を確認し、測定したが、錘を筒を用いて支え測定したため、なかなかセンサシートにかかる荷重が安定しなかった。それが今回の実験の誤差の原因になったとも考えられる。今後は、センサシートにかかる荷重が安定した状態で測定を行う必要がある。

	荷重点	点1	点2	点3	点4	点5	点6	点7	点8
測定値(g/mm <sup>2</sup> )	10.37	6.67	6.3	5.00	4.45	3.33	2.22	1.48	2.59
算出値(g/mm <sup>2</sup> )	∞	13.10	5.8	4.92	4.24	3.78	3.30	2.93	2.54
差		6.43	0.50	0.08	0.21	0.45	1.08	1.45	0.05
誤差		49.08%	8.62%	1.63%	4.95%	11.90%	32.73%	49.49%	1.97%

表3 厚さ10mmの測定値と算出値の比較

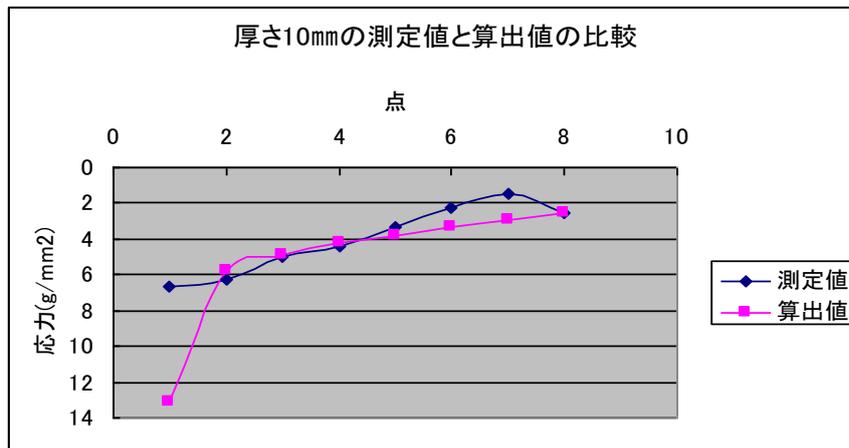


図7 厚さ10mmの測定値と算出値のグラフ

#### 4. 結言

##### 4. 1 結論

- (1) シリコンゴムの厚さが3mm, 5mmの結果において荷重点から1番離れた測定点で誤差が大きくなっていることを確認した。
- (2) シリコンゴムに厚みがあるほど、荷重が分散し、広範囲に加わっていることを確認した。また、厚みがあるほど、荷重点に近い測定点での誤差が大きいことを確認した。

##### 4. 2 今後の課題

- (1) センサシートに安定して荷重が加わった状態で、キャリブレーションと測定が行える方法を考案する。
- (2) 変位の測定と算出を行い、変位と応力の測定値と算出値の誤差の関係を検証する。

##### 参考文献

- 1) 飛田八宮母:表面弾性変形理論を応用した三次元測定装置の基礎実験 平成21年度卒業研究論文