

光センサを用いた半球レンズによる柔らかさ測定

Softness measuring by hemisphere lens using optical sensor

○土川義貴* 横田理** 柳沼孝侑**

○Yoshitaka Tsuchikawa*, Osamu Yokota**, Takayuki Yaginuma**

* 日本大学大学院, ** 日本大学

*Graduate school Nihon University, **Nihon University

キーワード: シリコン半球レンズ (Silicone hemisphere lens), 入射光 (incident light), 射出光 (reflected light), 受光減少率 (reduction rate of received light), 受光部 (Light receiving point)

連絡先〒963-1165 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地

日本大学 工学部 機械工学科 工作研究室 Tel: (024)956-8772

E-mail: g18312@cc.ce.nihon-u.ac.jp

1. 緒言

現在の接触計測法には、導通・非導通型や光導波路触覚型のセンサがあり、特に光を用いたセンサには球面状センサやピラミッドアレイセンサ等が開発されている。しかし、それらは被測定物が接触部よりも硬い場合のみ計測され、しかも構造も複雑である。

そこで、本研究では被測定物の硬軟に関わらず、柔らかさを測定できる接触測定方法を提案する。すなわち、シリコン半球レンズを用いた測定法であり、その装置を開発した。

今回は、その装置の有効性の確認するためにスポンジを用いたデュロメーター、人間による触診での比較、受光部の形状からの解析等の基礎実験の結果を報告する。

2. 原理

スネルの法則⁽¹⁾により、光は屈折率の大きい媒質(シリコン)から小さい媒質(空気)に入射する時、入射角が臨界角以上であれば光は全反射

し、臨界角以下であれば、反射と屈折となる。Fig. 1(a)はシリコン半球レンズに投光された光の伝播を示す。中心部に近い入射光Bでは、入射角が臨界角以下となり、反射・屈折が起こり受光部の位置が明確でない。外周面付近の入射光Aでは、臨界角となるため全反射し、A'に受光され受光位置も明確である。このことから、投光位置をAとする。

次に接触時に被測定物がシリコン半球レンズより硬い場合を Fig. 1(b)に示す。入射光Aは、シリコン半球レンズが弾性変形することにより、入射角は臨界角以下となり全反射から反射・屈折となり光量が減少する。

Fig. 1(c)は接触時に被測定物が変形する場合を示す。接触することにより、光が被測定物に吸収され減少してしまうが、シリコン半球レンズは変形しないので Fig. 1(a)と同じく反射しA'に現れる。従って、媒質と被測定物の接触状態及び相互の変化量による受光量の減少から、被測定物の柔らかさを相対評価できる。

3. 実験装置

実験装置の概略を Fig. 2 に示す. 本実験装置では, 変位センサを作動させることにより, シリコン半球レンズが被測定物に接触し, 光センサシステムとロードセルの変化をデジタルレコーダから読み取るように構成される.

シリコン半球レンズは直径 30[mm]とした. スポンジの寸法は縦 50[mm], 横 80[mm], 厚さ 10[mm], 色は黒色で統一した.

4. 実験方法⁽²⁾

ステージに被測定物のスポンジを乗せ, 被測定物にシリコン半球レンズと接触する位置を原点とし, 0.2[mm]毎接触させ, 変位量を 2[mm]までの各受光量と荷重の測定を行った. 以上の事を 1 工程とし, これを 3 工程繰り返し測定を行い, 3 工程の平均を取る. なお, 柔らかさの評価は受光減少率として次式に示す.

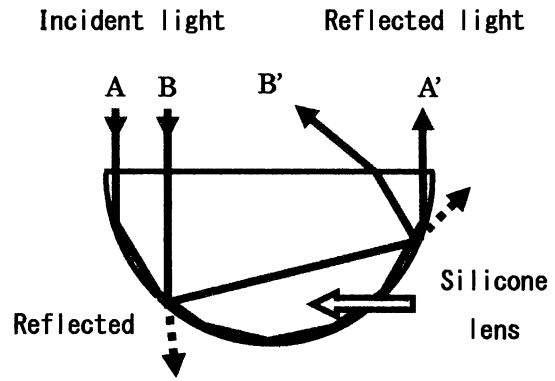
$$\text{受光減少率} = \frac{A - A'}{A} \quad [\%] \quad (1)$$

ここでの A は接触直前の受光量, A' は任意の変形量における接触後の受光量を表す. 次いで, 上記の測定を受光部をマイクروسコープで撮影して画像による検討を行った.

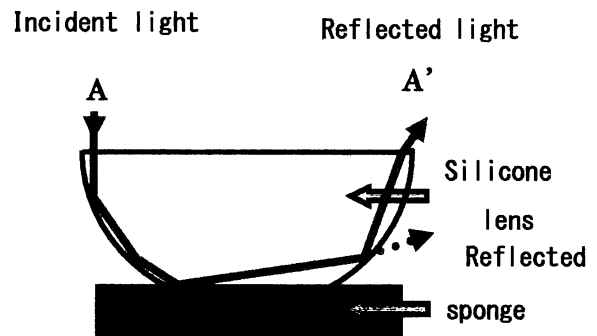
5. 実験結果

5. 1 スポンジによる比較

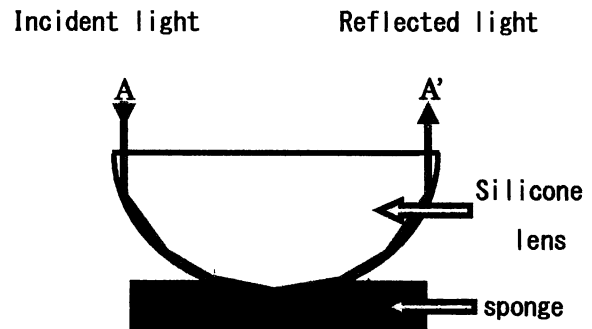
スポンジでの測定結果を Fig. 3(a) に示す. 変位が小さい場合はスポンジごとの受光減少率の値が不安定であったが, 変位 1[mm]を境に, 柔らかい順に A, B, C, D と安定した値なり, スポンジ本来の硬さの順とも一致した. このことから, 変位 1[mm]以降の受光減少率の値が好ましいと考えられる. また, デュロメーターによる測定結果も Table. 1 に示すような順となった. Table. 2 に示すように人間による触診も同様の順となった. これらの実験により, スポンジの硬軟の結果から, 本実験の測定法の有効性が確認できた.



(a) Propagation of light in the atmosphere



(b) The case in which measurement object is harder than hemisphere lens



(c) The case in which hemisphere lens is harder than measurement object

Fig.1 Principle of measurement

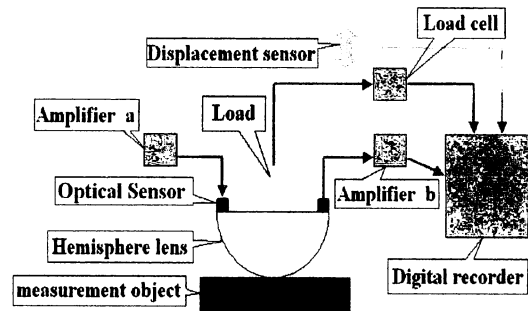


Fig.2 Experimental apparatus

Figure 1. (a) Forward motion, (b) backward motion.

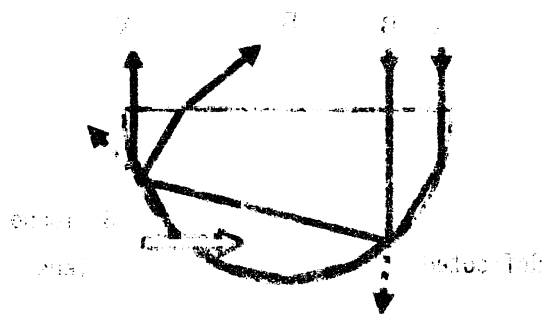


Figure 2. (a) Forward motion, (b) backward motion.

Figure 3. (a) Forward motion, (b) backward motion.



Figure 4. (a) Forward motion, (b) backward motion.

Figure 5. (a) Forward motion, (b) backward motion.

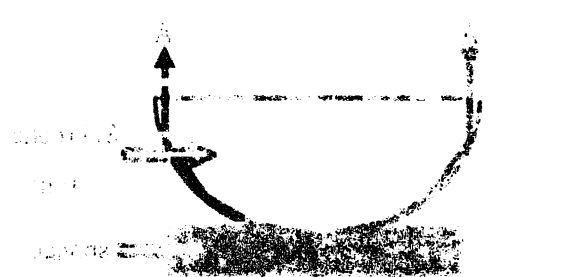


Figure 6. (a) Forward motion, (b) backward motion.

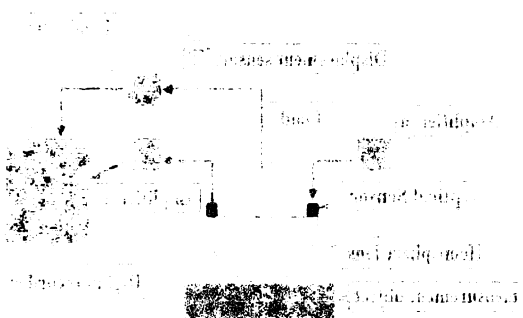


Figure 7. (a) Forward motion, (b) backward motion.

2.1. Forward motion

When a ship moves forward, the water surface is disturbed. The disturbance is caused by the ship's hull. The water surface is disturbed in the form of waves. The waves are generated by the ship's hull. The waves are generated in the form of waves. The waves are generated in the form of waves.

2.2. Backward motion

When a ship moves backward, the water surface is disturbed. The disturbance is caused by the ship's hull. The water surface is disturbed in the form of waves. The waves are generated by the ship's hull. The waves are generated in the form of waves.

2.3. Forward motion

When a ship moves forward, the water surface is disturbed. The disturbance is caused by the ship's hull. The water surface is disturbed in the form of waves. The waves are generated by the ship's hull. The waves are generated in the form of waves.

When a ship moves backward, the water surface is disturbed. The disturbance is caused by the ship's hull. The water surface is disturbed in the form of waves. The waves are generated by the ship's hull. The waves are generated in the form of waves.

$$\frac{1}{2} \rho g \frac{1}{k} \sin^2 \theta$$

When a ship moves forward, the water surface is disturbed. The disturbance is caused by the ship's hull. The water surface is disturbed in the form of waves. The waves are generated by the ship's hull. The waves are generated in the form of waves.

2.4. Backward motion

When a ship moves backward, the water surface is disturbed. The disturbance is caused by the ship's hull. The water surface is disturbed in the form of waves. The waves are generated by the ship's hull. The waves are generated in the form of waves.

When a ship moves forward, the water surface is disturbed. The disturbance is caused by the ship's hull. The water surface is disturbed in the form of waves. The waves are generated by the ship's hull. The waves are generated in the form of waves.

When a ship moves backward, the water surface is disturbed. The disturbance is caused by the ship's hull. The water surface is disturbed in the form of waves. The waves are generated by the ship's hull. The waves are generated in the form of waves.

When a ship moves forward, the water surface is disturbed. The disturbance is caused by the ship's hull. The water surface is disturbed in the form of waves. The waves are generated by the ship's hull. The waves are generated in the form of waves.

Table.1 Experiment result measured by durometer

sponge	A	B	C	D
Average	8.1	16.7	25.2	43.3

Table.2 Palpation result by the human being

subject	Hard			soft
40	D	C	B	A

5. 2 画像によるレンズの検討

受光部の受光形状を Fig. 4 に示す。Fig. 4(a) は透明シリコンであるため、レンズの側面に棒を接触させると、受光形状の一部が変化した。これはレンズ側面を映し出していることが分かった。このため、余分な光も受光していた可能性があると考え、レンズに何らかの工夫が必要である。そこで、レンズ内部に白色と黒色を塗ったシリコン半球レンズを用いて比較を行った。

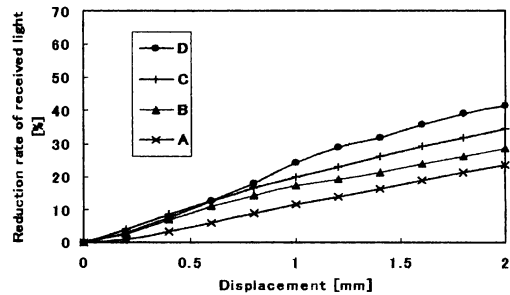
その結果を Fig. 3(b), (c) に示したが、それらの受光減少率は上昇したが、白色はスポンジの順にばらつきが見られた。白は光を散乱させるので、受光量が不安定となったと考える。Fig. 4(b) を示す黒色の場合の受光形状は、Fig. 4(a) とは異なり受光形状が明確に現れた。黒は光を吸収するので、外側の光だけを受光することができたと考えられる。そのため、受光減少率も高く安定した値となった。

6. 結言

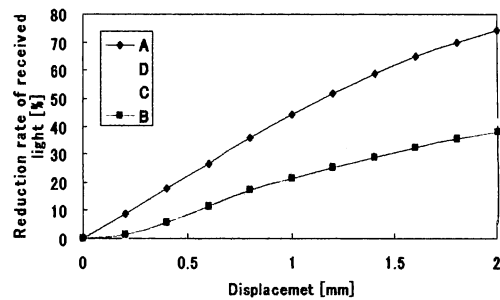
デュロメーター、人間による触診との比較で、スポンジの硬軟の順と一致したことにより、本実験の測定法の有効性が確認できた。また、シリコン半球レンズ内部に黒色を塗ったことで、外部からの光やレンズ内部からの散乱を遮断することができ、受光減少率の値が向上したことから、測定範囲が広がったと言える。

7. 参考文献

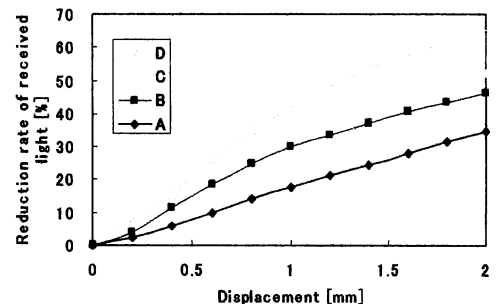
- 1) 栖原 敏明 : 光波工学, コロナ社, 30-40 (1998)
- 2) 高橋 大輔 : 光センサを用いた微小接触および微小変形, (2005). 修士学位論文, 5-10



(a) In the case of transparent silicone lens



(b) In the case of inside coated by white silicone lens



(c) In the case of inside coated by black silicone lens

Fig. 3 Measurement result of sponge



(a) Before processing (b) After processing

Fig. 4 Change of light receptions

