

人体表面各部の分布した材料特性を有する ソフトダミー開発

前川 佳徳*, 津田 惇司**

Development of a soft dummy which has distributed material properties of
human body surface

MAEKAWA Yoshinori*, TSUDA Junji**

Abstract

Soft dummy of human body having more real and low cost is required for nurse and care training. Most soft human dummies have an uniform material of body surface. In this study to develop a soft dummy which has distributed material properties of human body surface is proposed. Distributed hardness of real human body surface is measured and is corresponded to selected 6 grades hardness of polyurethane materials. To produce a soft dummy having 6 kinds of materials has much difficulty. Then, material properties (elastic constants) of 6 grades of polyurethane are replaced by each equivalent structures with many small air space inside using one grade of polyurethane. To obtain elastic constants of selected 6 grades of polyurethane, an experiment and FEM simulation are proposed. To determine the above proper structures by using of one grade for 6 grade materials of polyurethane, the same experiment and FEM simulation are available. The soft dummy offered in this report can be produced by an additive manufacturing.

Key words: Soft human dummy, Hardness of human body surface, Elasticity of human body surface, Additive manufacturing

キーワード：ソフト人体ダミー，人体表面硬さ，人体表面弾性係数，付加製造（積層造形）

平成27年2月28日 原稿受理

*大阪産業大学 デザイン工学部 情報システム学科

**大阪産業大学 大学院工学研究科 情報システム工学専攻

1. はじめに

人体ダミーとは、外部形状、関節動作などを実人体に近づけたダミーで、各種センサーを装着した、衝突実験用¹⁾、着衣圧計測用²⁾、体表面温度計測用³⁾等、および形状や重さを実人体に近づけた医療救護実習用⁴⁾、介護実習用⁵⁾などがある。これらの人体ダミーは、一般的に硬いボディが採用されているが、衣服等との接触による変形が実人体に近いソフトボディにしたダミーもある⁶⁾。介護や医療分野で用いられる人体ダミーは、ソフトダミーの方が適している。しかし、現状のソフトダミーは体表面に軟材料を用いるものの、一様材料を使用している。

本研究の目的は、実人体では体表面各部の柔らかさは分布しており、それを近似的に再現するソフトダミーを開発することとした。

2. 開発目標のソフト人体ダミー

本研究では、人体下肢部を例に取り、そのソフトダミー開発の目標として、以下の4つの項目を設定した。

(1) 外部形状が実人体形状を再現

3次元非接触形状入力機により、デジタルデータとして人体下肢部の3次元形状をコンピュータに取り込み(図1参照)、その形状データをSTLデータに変換して、積層造形機にて造形する(図2参照)。この場合、積層造形機で造形できる軟材料は限定されるので、図2の造形されたものをマスターモデルとしてウレタンゴム型に転写、そこに適切な軟材料を注型して下肢ダミーを製作する(図3参照)。



図1 下肢形状のデジタルデータ



図2 積層造形機で造形した下肢ダミー

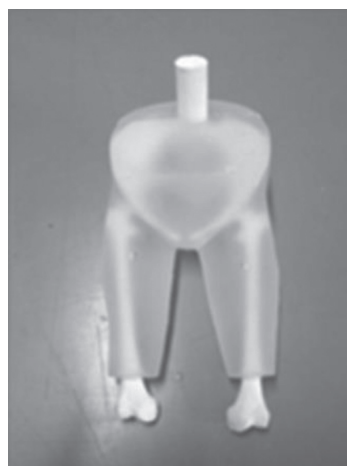


図3 図2をマスターモデルとして注型法により製作した下肢ダミー

(2) 内部に簡易骨格を設け、実人体の関節動作を再現

ダミー内部の骨格は硬い材料の棒形状によって構成する。関節部は図4に示すような簡易形状で、実人体の関節と同様の動作を再現できるよう3次元CADで検討し、3次元CADデータから積層造形機で造形した。

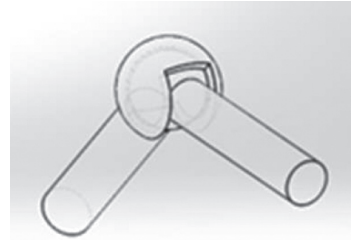


図4 簡易骨格モデル

(3) 体表面は実人体に近い材料特性の軟材料を用い、分布する各部の柔らかさを再現

実人体表面各部の材料特性（硬度）は分布している。そこで、人体ダミーや人体臓器モデルに使用される5段階の軟材料（ウレタン樹脂）を選定し、図5に示すように軟材料モデル1～5として、それらの硬度をASKER C型ゴム硬度計で測定した。ついで、人体下肢部の28箇所（図6および表1～表4参照）の硬度を、図7に示す「立ち」「座り」「浮き」「伸ばし」の4つの状態で測定し、軟材料モデル1～5、および軟材料モデル5を超える硬度を軟材料モデル5超として、それぞれに対応させた。なお、表1～表4で/表示は、骨部の影響が大きく、硬度測定が困難で、近似的に剛体とした。

(4) 実人体の重さ分布を再現

開発するソフトダミー各部の重さ分布は、簡易骨格で採用する材料によって調整することとした。なお、上記（3）の開発目標が最も重要で、本報告ではそれに焦点をあてて報告する。



	硬度	硬度範囲
軟材料モデル1	8	4-12
軟材料モデル2	14	12-20
軟材料モデル3	24	20-28
軟材料モデル4	31	28-37
軟材料モデル5	42	37-50
軟材料モデル5超		50-

図5 選定した軟材料モデル1～5と測定硬度

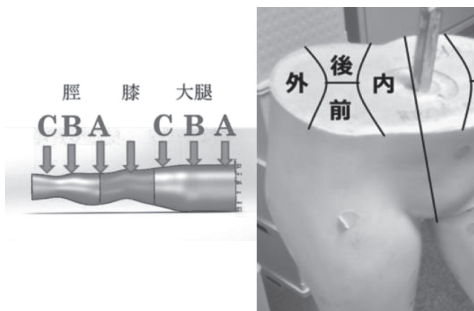


図6 表1～表4の測定箇所の説明

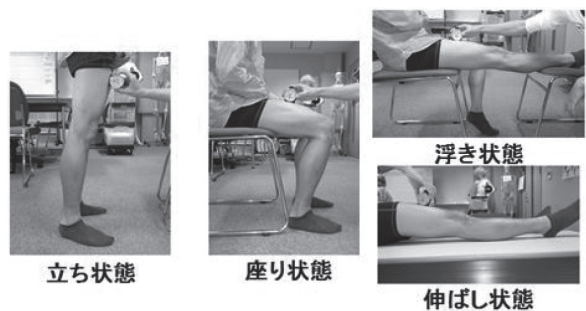


図7 人体下肢部の測定状態

3. 実人体表面各部の硬度分布測定

上記（3）で述べたように、人体下肢部28箇所の硬度を、図7に示す4つの状態で測定した。被験者としては研究室の男子学生5名を対象とし、それらの測定結果の硬度の平均値を示したものが表1～表4である。また、図5の各軟材料モデルの硬度範囲に対応させて、表1～表4の表中で色分けをしている。

結果として、下肢部各部の硬度は、当然のことながら「立ち」状態では高く、「座り」状態では低い。このように姿勢状態で変化する硬度を人体ダミーで再現するのは難しいので、近似的に表1～表4の結果の平均値を考慮して人体ダミーを製造する。人体ダミーを利用する際の姿勢状態がひとつの状態では明確になっているならば、その状態での硬度分布を選択することができる。

表1 立ち状態での硬度結果

立平均	前	後	外	内
大腿A	15.0	14.2	31.4	11.6
大腿B	20.8	18.6	32.0	11.8
大腿C	22.8	19.8	37.8	16.4
膝	58.6	24.6	47.6	51.2
脛A	60.6	22.6	38.6	17.2
脛B		31.2	39.8	24.2
脛C		53.6	51.0	41.0

表2 座り状態での硬度結果

座平均	前	後	外	内
大腿A	9.2	7.8	4.2	15.2
大腿B	14.6	6.4	7	17.8
大腿C	21	6.8	14.2	20.4
膝	57.2	4.6	44	44.4
脛A	51.2	4.2	7.8	24.2
脛B		6.6	8.8	15.6
脛C		21.4	24.8	34.4

表3 浮き状態での硬度結果

浮平均	前	後	外	内
大腿A	8.4	8.6	5	10.2
大腿B	13.2	8.6	5.4	15.4
大腿C	11.2	10.6	11	14
膝	46.2	15.4	42.6	34
脛A	53.2	12.6	16	20.2
脛B		13.8	9.2	18.4
脛C		18.8	15.8	36

表4 伸ばし状態での硬度結果

伸平均	前	後	外	内
大腿A	10.2	9	4.8	21.4
大腿B	15.8	11.4	8.6	25.6
大腿C	13.4	11.2	12.2	28.6
膝	49	13.6	41.2	38.6
脛A	54.4	12.2	14.6	22.8
脛B		11.4	14.4	27.2
脛C		19.2	18.6	38.2

なお、下肢表面各部での硬度分布状態をわかりやすくするために、「浮き」状態での結果をグラフ表示したものが図8である。

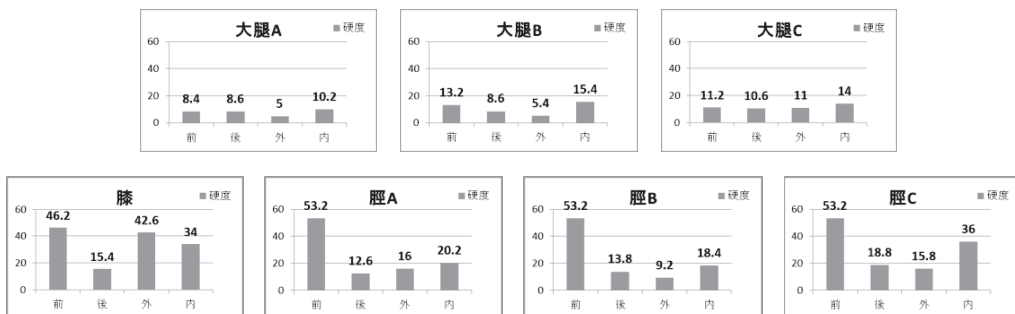


図8 浮き状態での硬度結果

4. 体表面各部の分布した硬度を有するソフトダミーの造形法への提案

既存のソフト人体ダミーでは、体表面に軟材料を用いるものの、一様材料で造形している。これに対し、分布した体表面硬度を再現するには複数の軟材料で造形することになるが、現状の積層造形機で適用できるものは無く、注型法で成形する場合も高度なノウハウが必要となる。

そこで、本研究では、図5に示す軟材料モデル1～5および5超を使用して人体ダミーを造形する代わりに、図5の一番硬い軟材料モデル5超のみを用いて、軟材料モデル1～5までを、空隙を有した構造（図9参照）で空隙量を変化させることによって、等価なものに置き換えることを提案した。この場合、どのような構造にすればよいかは、有限要素法によるシミュレーションで検討を行う。軟材料モデルのシミュレーション用の材料特性としては近似的に線形弾性体として、その弾性係数を実験と変形シミュレーションによって同定した。また、軟材料モデルに対してその弾性係数を同定するのではなく、図6に示す硬度を測定した箇所の下肢部に、図10に示すように荷重を負荷し、変位を測定して、図11に示すような同様の有限要素モデルで変形シミュレーションを行い、同じ変位になる弾性係数を繰り返し計算で求めた。図12に、その作業フローを示す。各軟材料モデルの硬度と下肢部表面各部の硬度を、図5の硬度測定結果と表1～表4の結果で対応づければ、各軟材料モデルの弾性係数も同定できる。同様な手法により、各軟材料モデルに対応する等価な弾性係数を示す空隙を有した構造も同定できる。

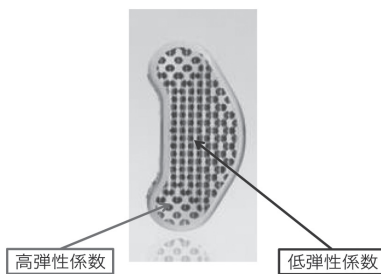


図9 空隙を有した構造

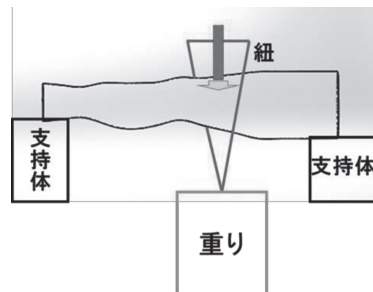


図10 下肢部での変位測定方法

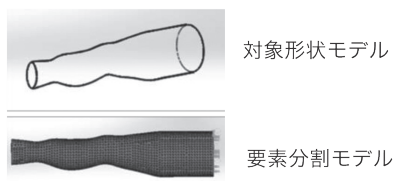


図11 有限要素法モデル

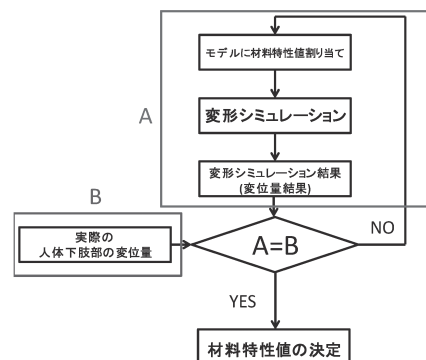


図12 材料特性値同定の手順

5. 結論

本論文では、人体（下肢部）表面各部の硬度分布を立ち状態、座り状態、浮き状態、伸ばし状態の4つの状態で測定した。さらに、選定した5つの軟材料の硬度測定結果と対応づけた。（選定した最も硬い軟材料モデル5よりもさらに硬いものを、軟材料モデル5超としたので、造形検討においては6つの軟材料モデルを対象とする）。これにより、下肢部表面の分布した材料特性を有するソフトダミーを6つの軟材料によって製作する際の指針が示された。しかし、現時点において、積層造形機で6つの軟材料を同時に扱えるものがなく、図3で示す注型法によっても、その成形にかなりのノウハウを要する。

そこで、6つの軟材料の特性を1つの軟材料を用いて、内部構造に多数の小さな空隙を持たせ、その調整により代替することを提案した。この検討には、有限要素法による変形シミュレーションを行うことが必要で、そのために変形シミュレーションに必要な6つの軟材料の材料特性値（弾性係数）を求めなければならない。本報告では、軟材料の弾性係数の同定方法を示し、同じ方法で軟材料の材料特性の違いを構造の違いで表現する検討を行えることを示した。***

参考文献

- 1) <http://www.weblio.jp/content>, 2015年02月17日
- 2) 菅谷 紘子, 岩崎 謙次『衣服圧評価用の歩行動作ダミーの開発 第1報 柔らかダミーの開発』, 東京都立産業技術研究センター研究報告, 第7号, 2012, pp58-61
- 3) http://www.env-sciences.jp/contents_03.html, 2015年02月17日
- 4) http://www.kokenmpc.co.jp/products/life_simulation_models/index.html, 2015年02月23日
- 5) <http://humanbody.jp/>, 2015年02月23日
- 6) 松浦 紳一郎, 小岩 邦江「人体に酷似した人工ボディ及びその製造方法」, 特許公開番号特開2006-176930, 2006年

***本研究の成果は、現在特許申請を検討しており、同定した各軟材料モデルの弾性係数、およびそれらに等価な弾性係数を示す構造については、その具体的データが特許の重要な部分になるので、本報告では求め方について記述し、具体的なデータについては省略した。

なお、本報告での注型法によるダミー造形において、(株)ユウビ造形にご協力いただいた。