

非線形の材料特性を用いた生体力学シミュレーションの実施

機械電子科 機械スタッフ

人間住環境評価プロジェクトスタッフ

独立行政法人 理化学研究所

船井 孝 長津義之 加藤俊文

鈴木敬明*

片岡弘之 横田秀夫 姫野龍太郎

A biomechanics simulation used non-linear material properties

Takashi Funai, Yoshiyuki Nagatsu, Toshifumi Kato, Taka-aki Suzuki, Hiroyuki Kataoka, Hideo Yokota and Ryutaro Himeno

1. 研究の背景、目的

実験を行わずに製品の効果が確認できる生体力学シミュレーションは医療・福祉機器開発の有効なツールとなる。生体力学シミュレーションの実施には①解析対象となる人体の形状モデル、②解析ツール(ソルバー)、③身体組織の物性値が必要となる。このうち、①は(独)情報通信研究機構から数値人体モデルデータ¹⁾が公開され、②は、市販のソフトウェアに加え、理研のVCAD²⁾などが公開され、生体力学シミュレーションを行う環境が整いつつある。

平成18～19年度には静岡県工業技術研究所と理化学研究所が共同で身体組織の物性値を調査し、データベースを構築した。また、多くの企業、研究機関で活用できるようにwebで公開した³⁾。

本研究では、構築したデータベースの活用事例として、製品開発を視野に入れた生体力学シミュレーションを実施した。具体的には、人がマットに寝た状態を想定し、マットおよび人体の変形を解析した。

2. 具体的な利用内容、計算方法

2.1 解析目的

本研究では、webで公開中の身体組織の機械的性質を用いた生体力学シミュレーションの実用性、有効性を確認するために、複数組織を含んだ人体モデルについて生体力学シミュレーションを行った。解析対象は、人がマットに寝た状態を想定し、マットおよび人体の変形、応力の解析を行った。

2.2 解析方法

解析には、非線形の構造解析に対応したANSYS

Release11を用いた。ANSYSは材料非線形、幾何学的非線形、接触問題に対応しているので、物性値データベースからは非線形の材料特性を引用し、マットと人体の間には接触条件を追加した。できるだけ現実に近い境界条件で解析を実施するために、物体力として1Gの重力加速度をかけることとした。

2.3 解析モデル作成

解析モデルは理化学研究所で構築した人体モデルから解析対象となる腰部を切り出し、図1に示すように二分の一モデルとした。切り出したモデルには表1に示す8種類の組織が含まれる。このモデルの断層画像(BMPファイル)を作成し、VOXELCON(株)くいと)で画像の積層、メッシュ作成、境界条件の追加を行った。境界条件は、図1に示す断面iおよびiiにZ方向の拘束、断面iiiにX方向の拘束、そして物体力として重力加速度9,806.65mm/s²を追加した。VOXELCONからANSYSに入力可能なcdb形式で境界条件および解析モデルを出力し、ANSYSに読み込ませた。

解析対象は人がマットに寝た状態を想定しているので、腰部のモデルにマットを追加する必要がある。マットの形状を直方体としてANSYSのプリプロセッサでモデルを作成した。マットのサイズは243mm×

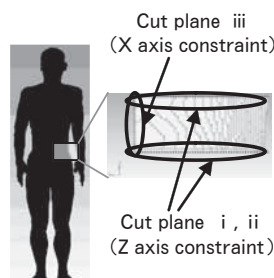


表1 モデルに含まれる組織

Organs	Properties
Skin	Skin(Young Module)
Cartilage	Cartilage(Ogden)
Cortical bone	Cortical bone(Young Module)
Muscle	Muscle(Ogden)
Adipo	Adipo(Ogden)
Myelon	Nerves(Ogden)
Renal, Liver, Pancreas	Liver(Ogden)
Bowel	Small bowel(Ogden)

*) 現 機械電子科

【ノート】

53mm×60mmとした。マットにも、人体と同様に図2に示すような拘束条件と、マット下面にY方向の拘束を加えた。また、マットの一部は腰部と接触するように配置し解析開始時にモデルが不安定にならないようにした。また、図2に示す部分は重力により変形した後に接触すると想定されるため、接触条件を追加した。作成したモデルは六面体メッシュで、要素数は51,214であった。

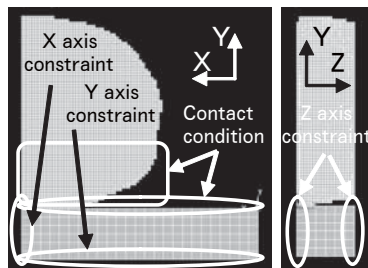


図2 境界条件

2.4 解析方法

ANSYSにcdbファイル入力後、非線形の物性値を入力した。今回の解析では、webで公開されている、応力-ひずみ線図を数値化したcsvファイルを使い、ANSYSで近似した物性値を使用した。近似モデルはOgdenモデルとした。各組織の密度はデータベースに記載されていないため、30～39歳男性の50パーセントの体重である68.20kg⁴⁾を、数値人体モデルデータの体積64,393,368mm³で除して得られた密度である1.06×10⁻⁹tonne/mm³を各組織に与えた。

このようにして表1の組織のうち軟骨、筋肉、脂肪、腎臓・肝臓・すい臓、脊髄、腸にOgdenモデルの物性値を入力し、残りの皮膚、皮質骨の物性値はヤング率とした。これは、皮膚、皮質骨はデータベースにヤング率しかなかったからである。

2.5 解析方法

以上のように作成したモデルに対してANSYSで非線形解析を実施した。解析は静的大変形とし、荷重ステップ1、サブステップの初期値を20、最小サブステップ10、最大サブステップ30とした。計算は約2.5時間で終了し、サブステップ数は12であった。

3. 結果

解析結果のうち、ひずみの分布を表示したものを図3に示す。接触部近傍の人体側に大きなひずみが

見られる。寝たきり等になったとき、組織が壊死する褥瘡が生じることがあるが、この原因は、皮膚や軟組織の圧迫による血行障害と考えられる。本研究における解析結果に見られた人体の大きなひずみはマットに圧迫されることによって生じた変形であり、褥瘡を引き起こす原因となり得る人体の変形をシミュレーションで再現することができたと考えられる。

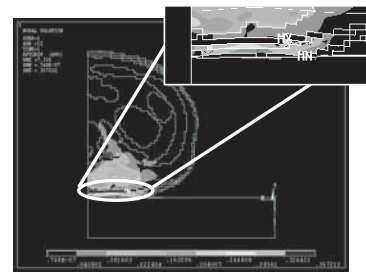


図3 解析結果

4. まとめ

本研究では、現在webで公開中の物性値データベースの応用事例として、製品開発を視野に入れた1Gの環境を想定したで解析を実施した。その結果、人がマットに寝た状態の解析を実施することで、マットとの接触部近傍に褥瘡を引き起こす原因となり得る大きなひずみを数値解析で再現することができた。今回のような解析を実施することで、褥瘡が発生しにくいマットの固さを数値解析で推定することが期待できる。

以上のことから、物性値データベースを人体モデルや市販の解析ソフトと併用することで、医療、福祉機器の開発に大きく貢献できると考えられる。

参考文献

- 1) 長岡智明、櫻井清子、国枝悦夫、渡辺聡一、本間寛之、鈴木 保、河合光正、酒本勝之、小川幸次、此川公紀、久保田勝巳、金 鳳洙、多氣昌生、山中幸雄、渡辺 敏：日本人成人男女の平均体型を有する全身数値モデルの開発、生体医工学 Vol.40,No.4,pp.23 9 -24 6 ,2002.
- 2) VCADシステム研究会：<http://www.vcad.jp/>
- 3) 物性値データベース：
<http://cf-d-duo.riken.jp/cbms-mp/index.htm>
- 4) 日本人の人体寸法データブック2004～2006：(株)人間生活工学研究センター