



## 骨強度の予測評価 —研究から臨床応用へ—

研究・開発機関：株式会社計算力学研究センター  
 利用施設：自社設備  
 計算規模：数百万要素  
 利用ソフトウェア：MECHANICAL FINDER Version7.0

### Before

- 骨粗鬆症の指標として骨密度が使われますが、この数値は必ずしも強度のすべてを説明するものではなく、骨の構造的な強度は反映されていません。
- 手術現場では、インプラント挿入位置などは医師の経験に頼らざるを得ず、位置を決める際に参考となる指標が必要とされていました。

### After

- 有限要素解析を用いて骨密度だけでなく骨の構造も反映した強度計算が可能となり、骨強度(骨折荷重)の評価、骨粗鬆症の薬剤効果の評価が可能となりました。
- 術後の仮想モデルを作成することにより、応力分布シミュレーションなどが行えるため、術前にインプラント挿入位置を比較、検討するといったことができるようになりました。

### 背景と目的

近年、高齢の骨粗鬆症患者の骨折が大きな問題となっています。高齢者の大腿骨頸部骨折はQOL (Quality of Life) を著しく低下させ、治療後の生存率も低下します。近年では骨粗鬆症の早期診断による骨折の予防、また骨粗鬆症そのものの予防が重要であると考えられるようになり、骨密度を計測する診断法がいくつか用いられています。

しかし骨密度では骨棘(骨組織が増殖し、棘状になったもの)や石灰化した血管など骨の強度と関係ない部分も密度として計測してしまい、また骨の構造(骨密度の局所的分布)は考慮されません。そこで有限要素解析を用いた骨強度の評価が注目され始め、現在では先進医療としても認められています。

一方、手術でのインプラントの挿入位置や骨切りの位置、スクリュー固定時に何本挿入すればいいかなどの判断は医師の経験に頼らざるを得ない側面があり、有限要素解析による解析結果がその判断の一助に利用できないかと期待されています。コンピュータシミュレーションにより、手術前の患者様の骨モデルに対してインプラントの挿入位置を変化させ、それに応じて強度などの計算結果を比較できる点は、生体や屍体実験では行うことができないメリットになります。



図1. コンピュータ上でのインプラント配置

### 利用成果

骨の有限要素解析を行うにあたり、CT データをもとに骨の3次元形状を作成し、CT 値をもとに密度やヤング率等の分布を反映した形で物性値を算出・割り当てた不均質材料としてモデル化されます。

骨の有限要素解析は以前から汎用ソフトで行われていましたが、骨全体が均質、あるいは皮質骨と海綿骨に分けた2層モデルで扱われてきたので、今回の骨密度を反映した不均質モデルは一つの特徴になり、これを用い有限要素解析を行いました(図2)。

現在、全国7施設(2016年1月現在)で先進医療「定量的CTを用いた有限要素法による骨強度予測評価」が実施されています。患者のCTデータを用いて骨モデルを作成し、椎体圧潰、大腿骨の立位、転倒時を想定した荷重拘束条件を与えて材料非線形解析を行います(図3)。解析した結果は、要素が破壊した時を骨折荷重として定義し、レポートとして患者に提示しています。また、投薬治療中の骨粗鬆症患者の骨強度を経時的に追うことで、その薬剤効果の評価にも用いられています。

上記の例は、単骨に対して決まったパターンの荷重をかけるシンプルなものですが、インプラント挿入時の検討なども研究用途から広まりつつあります。例えば、大腿骨頭に腫瘍がある場合、腫瘍部だけ切除するのか、あるいは人工股関節に置換するのかなど複数選択肢が考えられる場合もあります。このとき切除だけでいいかどうかは医師や現場の判断で行われてきましたが、コンピュータ上で切除したモデルを作成し有限要素解析を行うことで、切除した場合腫瘍の無い健側に対して何%の強度になるかという結果が得られます。現段階では何%までなら許容できるという明確な基準は示されていませんが、判断の一材料として検討されています。また、インプラントを挿入した場合も、応力集中は避けなければなりませんし、逆に負荷が小さすぎても応力遮蔽と言ってその部分の骨が委縮してしまうこともわかってきており、有限要素解析を行うことでその予測が可能になりました。その他、研究用途では下図のように広く利用されるようになってきています。



図2 左から  
均質モデル 2層モデル 不均質モデル

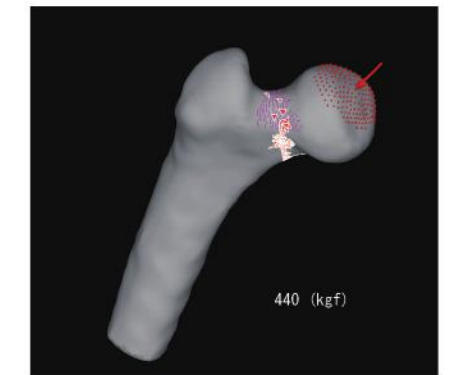


図3. 解析による頸部骨折の様子

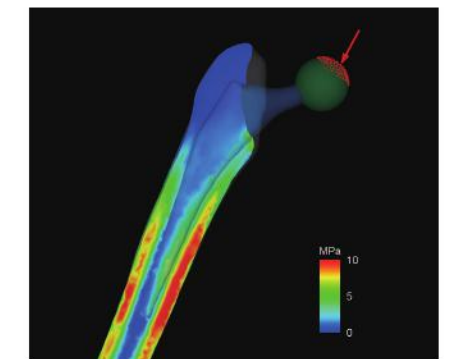


図4. 人工股関節置換の応力解析

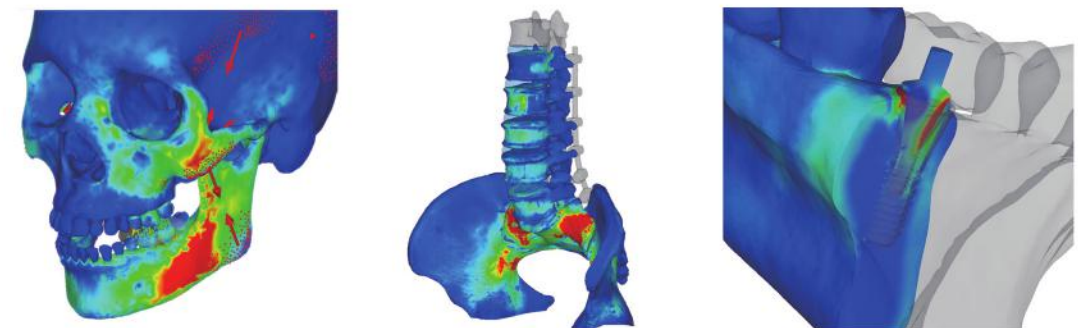


図5. 左から、咬合時の応力分布、脊椎後方固定術時の応力分布、歯科インプラント挿入時の応力分布