

Fig.2 pQCT Data

して少ないために x, y 方向の要素サイズに対して z 方向の要素サイズが大きくなる。このままでは構造解析の際に不都合が生じるので、x, y 方向の要素サイズと等しくなるよう z 方向のデータを調整した。

2.4 構造解析

構造解析の指標として Mean Intercept Length (以下 MIL) を用いた。これは任意の測定面に対してある角度の傾きを持つ直線が横切った骨梁の平均長さを表している。極座標系においてこの値を半径に、測定した直線の傾きを角度としてプロットすると MIL は楕円体の表面に近似でき、これを MIL 楕円体という。2次元の場合、楕円体は楕円形となり直線の傾きは θ のみで決定できるため以下の式で表すことができる⁽⁵⁾。

$$\frac{1}{L^2(\theta)} = M_{11} \cos^2 \theta + M_{22} \sin^2 \theta + M_{12} \sin \theta \cos \theta$$

ここで $L(\theta)$ は MIL 測定値、 M_{11} 、 M_{22} 、 M_{12} は MIL テンソルの成分である。MIL テンソルは二階の対称テンソルでありこの指標を用いることにより骨梁構造の主な配向方向がテンソルの主軸の方向として求められる。

3次元に再構築したモデルに対し自作のプログラムを使い MIL を得た後、それらの値を最小二乗法により前出の楕円の式に近似させて MIL 楕円形を求めた。

3. 結果および考察

図2はpQCTから得られた1スライス分のデータをグラフにして示したものである。図において各要素はX線吸収量に従って濃淡をつけて表してある。ノイズにより測定範囲の円が明らかになり、試験片直下にテーブルが認められる。

このデータに対して前述の画像処理を行ったものが図3である。この図より得られる MIL は図4の黒点であり、MIL 楕円形が同図の実線である。

図5は x-y 平面、y-z 平面、z-x 平面についてそれぞれのスライスで得られた MIL を平均したものを黒点で表し、MIL 楕円形を実線で表したものである。y-z 平面、z-x 平面の平均 MIL において z 方向に著しく大きい MIL が認められるが、これは z 方向の要素サイズを調整したことによると思われる。これを解決するためには z 方向要素数すなわちスライス数を x, y 方向要素数と等しくする必要があると考えられる。

力学試験から得られた3軸方向の弾性率を表1に示す。こ

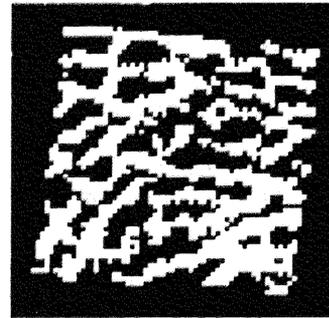


Fig.3 Cross Section Image

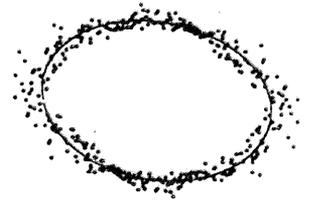


Fig.4 MIL and Fabric Ellipse

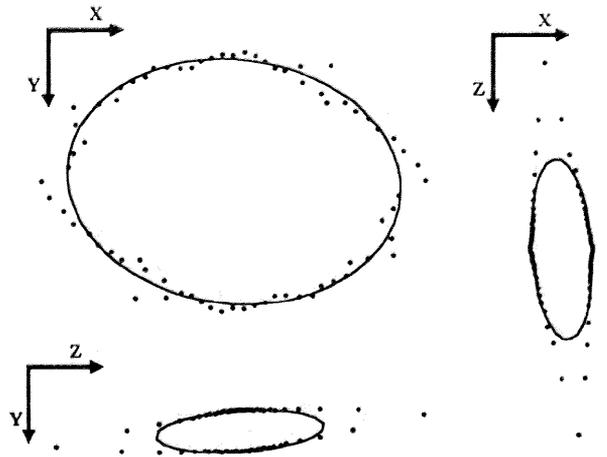


Fig.5 MIL Ellipses

Table 1. Elastic Modulus

Direction	A-P (X-axis)	M-L (Y-axis)	P-D (Z-axis)
Modulus [MPa]	286.34	150.52	431.43

のように楕円の長軸方向と弾性率の高い方向が一致することが確認できる。

従って MIL 楕円形、もしくは3次元に拡張した MIL 楕円体は骨梁構造を表す指標の一つとして有効なものであることが確認できた。

4. 結言

pQCT を用い微小構造である骨梁構造を測定し得られたデータより3次元モデルを再構築した。このモデルより MIL を用いた構造解析を行い得られた結果は力学試験からの結果と定性的に一致した。従って pQCT を用いた骨梁構造解析の有効性が確認できた。

参考文献

- (1) 内山ら 他2名., 日骨形態誌,4,83-89,(1994)
- (2) 例えば, Dalstra.M., et al., J.Biomech,26(4/5), 523-535,(1993)
- (3) 例えば, Rietbergen.B., et al., J.Biomech,28(1), 69-81,(1995)
- (4) 例えば, Melton.L.J., et al., Journal of Bone and Mineral Research,8,1227-1233,(1993)
- (5) Harrigan.T.P., Mann.R.W., J.Mater.Sci.,19,761-767,(1984)