

## X線マイクロCTを用いた 牛海綿骨の骨梁構造パラメータの評価

同志社大学[院] ○谷元祐介 奈良工業高等専門学校 榎 真一  
同志社大学 仲町英治 同志社大学 田中和人  
同志社大学 片山傳生

### Evaluation of Micro-Structural Parameters of Bovine Cancellous Bone by X-ray $\mu$ CT

Yusuke TANIMOTO, Shinichi ENOKI, Eiji NAKAMACHI, Kazuto TANAKA and Tsutao KATAYAMA

#### 1 緒言

現在、骨粗鬆症の診断では、骨塩(主にカルシウム分)のX線による吸収量を測定するDXA法(二重エネルギーX線吸収法)によって骨密度計測が行われており、この「骨密度」が骨粗鬆症診断のよりどころとなっている。しかし、2000年米国国立衛生研究所(NIH)は、診断基準としては「骨密度」だけでは不十分であり、それ以外の骨強度を表す指標としての「骨質(Bone Quality)」パラメータの模索が重要であることを指摘している<sup>1)</sup>。骨質パラメータとしては、弾性特性や骨梁構造、骨代謝回転などが挙げられている。

海綿骨の機械的特性評価を目的として、X線マイクロCTを用いた骨梁構造に関連した研究がさかんに行われており、圧縮試験から得られる弾性係数や圧縮強度と骨梁構造パラメータ(骨密度(BV/TV)、骨梁幅(Tb.Th)、骨梁数(Tb.N)など)の相関が高いことが示されている<sup>2)4)</sup>。しかし、生体組織ゆえの試験片の不均一性のために、圧縮試験において破壊は試験片の局所的な部分で生じるが、圧縮試験における局所的な破壊と骨梁構造の不均一性の関係については明らかとはなっていない。

そこで本研究では、牛大腿骨から得た海綿骨を対象にして、圧縮試験を用い、X線マイクロCT像から得た骨梁構造パラメータの分布と破壊位置の関係について検討した。さらに、破壊部と非破壊部で値が大きく異なる骨梁構造パラメータを組み合わすことで、骨梁破壊予測に適した新たなパラメータ(特徴値)を算出した。

#### 2 試験片および実験方法

**2.1 試験片** 成牛(月齢26)の右大腿骨遠位部の海綿骨から、バンドソーを用いて、Fig.1に示すように大腿骨長軸をZ軸として1辺10mmの立方体形状に試験片を切り出した。試験片に含まれる骨髄は、煮沸とジェット水流を用いて除去した。なお、試験片個数は6個とした。

**2.2 圧縮試験** 万能試験機(INSTRON, 5566)を用いて、Z軸方向ヘクロスヘッドスピード0.0167mm/sec(1mm/min)で圧縮試験を行った。Fig.2に示す荷重-変位曲線における(b)や(c)の極大荷重時に試験を中断し、次節に記載するようにX線マイクロCTにより撮影した後、再び圧縮負荷をかけ試験を行った。

**2.3 X線マイクロCTを用いた構造解析** 各試験片をマイクロフォーカスX線CTシステム(島津製作所, SMX

-160CTS)により観察し、3次元再構築像を得た。Fig.2に示したように(a)圧縮試験前、(b)最初の極大荷重時、(c)2回目の極大荷重時にX線マイクロCTを用いて観察した。圧縮試験前に得た3次元再構築像では、Fig.3に示すように4×4×4の64ブロックに分割し、各ブロックの骨梁構造パラメータを解析ソフトを用いて算出した。Table 1に本研究で用いた主要な骨梁構造パラメータを示す。

#### 3 実験結果および考察

**3.1 海綿骨の圧縮特性** 試験片断面画像の一例をFig.4に示す。丸で示す部分で骨梁の変形が観察された。本研究では、塑性変形箇所を目視により特定し、変形箇所のあるブロックを破壊部とし、他のブロックを非破壊部と定義した。試験片の上下両端で多く破壊が起きているこ

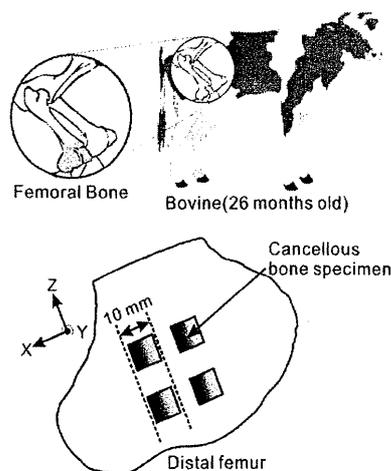


Fig.1 Cancellous bone specimens.

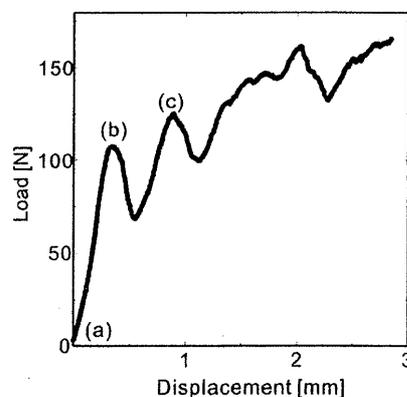


Fig.2 Load-displacement curve.

とが分かる。上下付近で塑性変形した試験片が多い原因としては、圧縮試験時に試験片と厚板の間に摩擦力が生じたためと考えられる。

**3.2 骨梁構造パラメータの比較** 3.1 より試験片の上下両端は摩擦力の影響を大きく受けていると考えられるので、64個に分割したブロックのうち、上下両端を除いた真ん中の32ブロックに対して、それぞれの骨梁構造パラメータを算出し、Fig.4のような観察結果と比較して破壊部と非破壊部に分類した。それぞれの骨梁構造パラメータでFig.5に示すように破壊部と非破壊部値を算出し、それぞれの平均値を算出し互いに除したものが0.9以下の骨梁構造パラメータを破壊部と非破壊部で違いが生じたパラメータと定義した。各骨梁構造パラメータにおいて破壊部と非破壊部で違いが生じた試験片の個数をFig.6に示す。Fig.6より破壊部と非破壊部において最も違いが生じた骨梁構造パラメータはBV/TV, つぎにDA, ついでBS/BV, Tb.Th, Tb.Nであることが分かった。

**3.3 特徴値の算出** 破壊部と非破壊部において骨梁構造パラメータに違いが生じた順で比率を割り振り、比率と骨梁構造パラメータの無次元単位を掛け合わせることで特徴値を算出した。BV/TV, DAを基準に、BS/BV, Tb.Th, Tb.Nの5つの骨梁構造パラメータのうち、どの組み合わせが最も破壊部と非破壊部の特徴値に違いが見られるのか検討したところ、BV/TV, DA, Tb.Thの3つの骨梁構造パラメータを組み合わせた特徴値であることがわかった。

4 結言

- 破壊部と非破壊部で違いが生じる骨梁構造パラメータは、骨表面積/体積比であるBS/BV, 骨体積比BV/TV, 骨梁幅Tb.Th, 骨梁数Tb.N, MIL1/MIL3であるDAであった。
- BV/TV, DA, Tb.Thを組み合わせた特徴値が、最も破壊部と非破壊部において違いが生じた。

参考文献

- 1) NIH Consensus Development Panel on Osteoporosis Prevention, Diagnosis, and Therapy, Osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy, JAMA, 285, pp.785-795, (2001).
- 2) A.Nazarian, J.Muller, D.Zurakowski, Journal of Biomechanics 40, pp2573-2579, (2007).
- 3) E.Perlli, M.Baleani, C.Ohman, Journal of Biomechanics 41, pp.438-446, (2008).
- 4) E.Mittra, C.Rubin, B.Gruber, Journal of Biomechanics 41, pp.368-375, (2008).

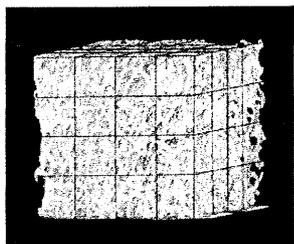


Fig.3 3D image of cancellous bone specimen divided into 64 sections.

Table 1 Micro-structural parameters.

BS/BV(mm-1)	Bone surface/Bone volume
BV/TV(%)	Bone volume fraction
Tb.Th(mm)	Trabecular thickness
Tb.N(mm-1)	Trabecular number
Tb.Sp(mm)	Trabecular separation
DA	MIL1/MIL3

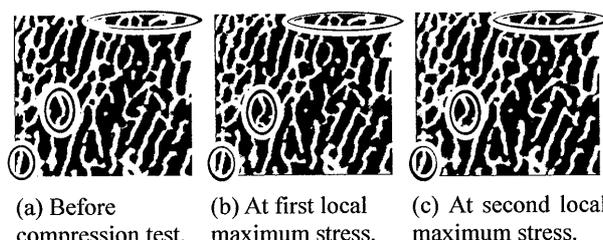


Fig.4 Cross section views of cancellous bone specimen.

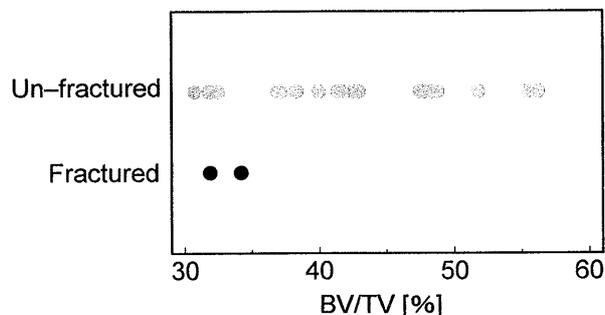


Fig.5 BV/TV for fractured and un-fractured sections.

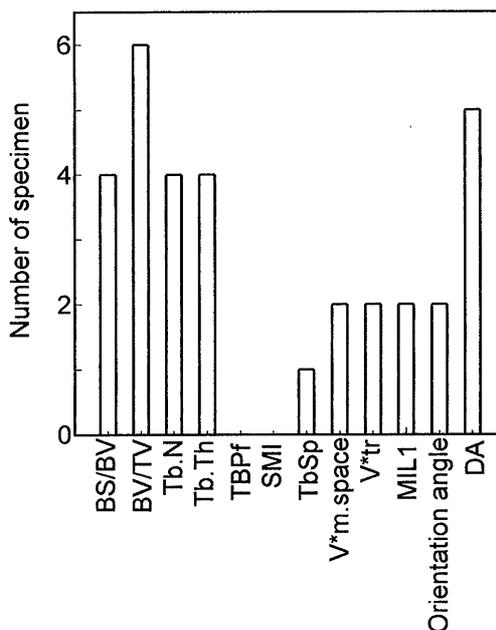


Fig.6 Number of specimen with large difference of micro-structural parameter for fractured and un-fractured sections.