

チタンと骨組織の界面近傍ひずみの放射光白色 X 線を用いた測定
**Measurement of strain near interface between titanium screw and bone tissue
by using synchrotron white X-ray**

柴野 純一^a, 越村 瑞樹^b, 梶原 堅太郎^c

Jun-ichi Shibano^a, Mizuki Koshimura^b, Kentaro Kajiwara^c

^a 北見工業大学, ^b 北見工業大学大学院, ^c(公財)高輝度光科学研究センター

^a Kitami Institute of Technology, ^b Graduate student of KIT, ^c JASRI

牛大腿骨から採取した皮質骨にインプラントを想定した β Ti ネジ(M3 ピッチ 0.5)を押し込み, 放射光白色 X 線を用いて β Ti ネジと骨組織接触界面近傍のひずみ測定を行った. その結果, 骨組織や β Ti ネジでは荷重による圧縮ひずみが広く分布していたが, β Ti ネジのネジ山近傍に骨部欠損が原因と思われる引張ひずみの発生を確認した. ネジ山界面近傍の微小部のひずみを評価することができた.

キーワード: 骨組織, インプラント, β チタン, ひずみ, 白色 X 線

背景と研究目的:

高齢化が進む現代では人工股関節や人工歯根などのインプラントの利用が増加している. しかしながら, インプラントは使用しているうちに徐々にルーズニングや折損を起こすことも報告されている. その原因の一つとして骨とインプラントの接合界面近傍のひずみ, 応力が関係していることが挙げられる. そのため骨とインプラントの接合界面の詳細な検討が行われているが, その多くは数値解析で行われており, 内部を非破壊で測定した例はほとんどない[1]. 一方, 著者らは, 放射光白色 X 線を用いた研究[2,3]を行っており, この手法は骨組織の結晶体であるハイドロキシアパタイト HAp 結晶にも適用できることを確認している.

本研究では SPring-8 の BL28B2 ビームラインで得られる放射光白色 X 線を用いて, β チタン(β Ti)ネジと骨組織の接触界面近傍のひずみ測定の検討を行った. 接触界面近傍のひずみ測定用試験片には, 牛大腿骨の皮質骨を用いた. 幅 15mm 高さ 15mm の形状に成形した牛骨にインプラントを想定した β Ti ネジを組み込んだ試験片を小型圧縮負荷装置に設置し, ネジ上部に押込荷重をかけて, β Ti ネジと牛骨の接触界面近傍の骨軸方向ひずみ分布を測定した.

実験:

測定試料: 本研究で用いた骨は, 月齢 18 ヶ月の雄牛, 品種はホルスタイン種の左大腿骨である. 試

験片は以下の手順で作製した。まず、大腿骨を 5cm 間隔に切断し乾燥させる。次に前方、後方、内側、外側の 4 つの部位に分割し、フライス盤で幅 15mm、高さ 15mm の形状に加工した後、インプラントを想定した β Ti ネジ(M3)を組み込んだ(図 1)。

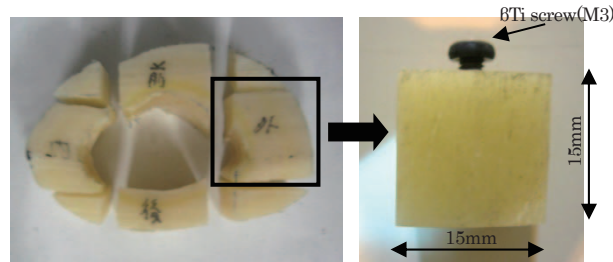


図 1. 骨試験片と β チタンネジの組み込みの様子

実験方法：

本実験では大型放射光施設 SPring-8 の共用ビームライン BL28B2 を利用した。試験片を図 2 に示す小型圧縮負荷装置に設置した。この装置はスラストベアリング上部のナットを回転させることで軸方向に圧縮負荷をかけることができる。小型圧縮負荷装置はビームラインのゴニオステージに設置した。試験片長骨軸方向を Z 軸とし、乾燥状態の試験片の β Ti ネジ上部に約 500N の荷重を加えた。TC スリットは高さ 200 μ m、幅 300 μ m に設定した。4 象限スリットは試験片上流側に 1 台、下流側に 2 台設置し、3 台のスリットをすべて高さ 100 μ m、幅 200 μ m に設定した。アッテネータとして 8mm 厚のアルミニウムを上流側に設置した。白色 X 線を試験片に回折角 $2\theta = 5^\circ$ で照射し、回折して透過した X 線を Ge 半導体検出器(Ge SSD)で検出した。検出されたエネルギーはマルチチャンネルアナライザー MCA によって 4096 チャンネルに弁別される。図 3 に試験片内部の白色 X 線の入射・回折方向の測定領域(ゲージボリューム)の概略図を示す。 β Ti ネジのネジ山近傍の X-Z 面内で幅 1mm、深さ 0.8mm の領域を 54 点に分割して 1 点あたり 600 秒照射して測定した。測定領域を図 4 に示す。測定の際には CCD カメラを使って透過イメージング画像を取り、測定位置を確認した。

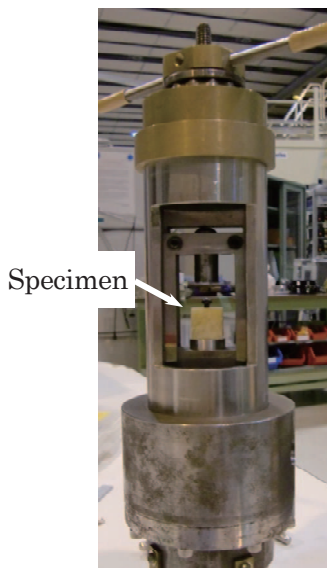


図 2. 小型圧縮負荷装置

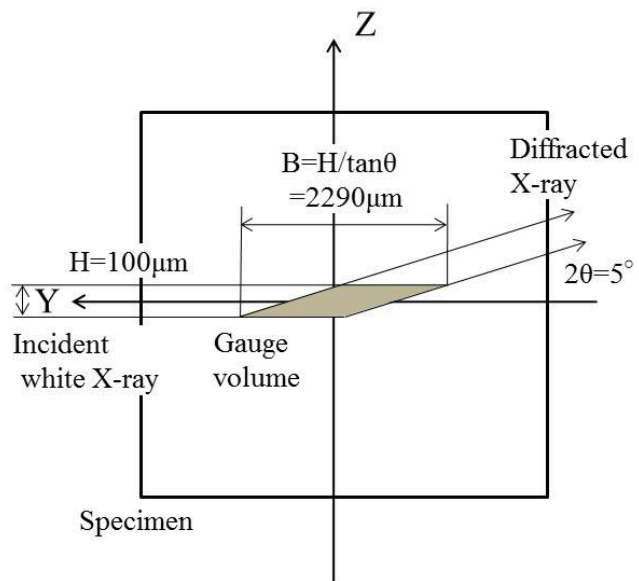


図 3. 骨試験片内部の測定領域断面の概略図

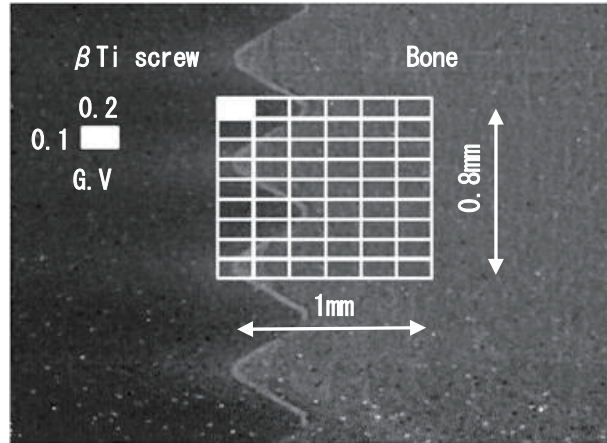


図4. β Ti ネジと骨組織接触界面近傍の測定領域

結果及び考察：

図5に試験片から得られた白色X線の回折プロファイルを示す。 β TiとHApの異なった2つの材料の回折面情報がいくつか得られていることが確認できる。回折X線のピークエネルギーはガウス曲線近似し求めた。 β Ti部はTi(110)面、Ti(211)面、骨部はHAp(002)面、HAp(112)面から算出した。試料のTiと骨組織内部ひずみ分布の一例として、図6、図7にTi(110)面、HAp(002)面のTiネジと骨組織の接触界面近傍の骨軸方向ひずみ分布を示す。プラスの領域は引張ひずみ、マイナスの領域は圧縮ひずみを表している。押し込み荷重を受けていたTiネジでは圧縮ひずみが広く分布しているが、谷部付近やネジ山近傍に引張ひずみも分布している。一方、骨組織ではネジ山近傍において広い範囲にわたって圧縮ひずみが分布していることが確認できた。測定部の透過イメージングから、引張ひずみが確認されたTiネジ山の下側と接していた骨部のネジ先端部の欠損が確認された。それによって、ネジ先端部に骨部からの荷物が集中したことが原因と考えられる。このように、ネジ山近傍のチタンネジと骨組織HApの接触界面近傍の微細なひずみ分布を非破壊的に測定できることが明らかとなった。さまざま

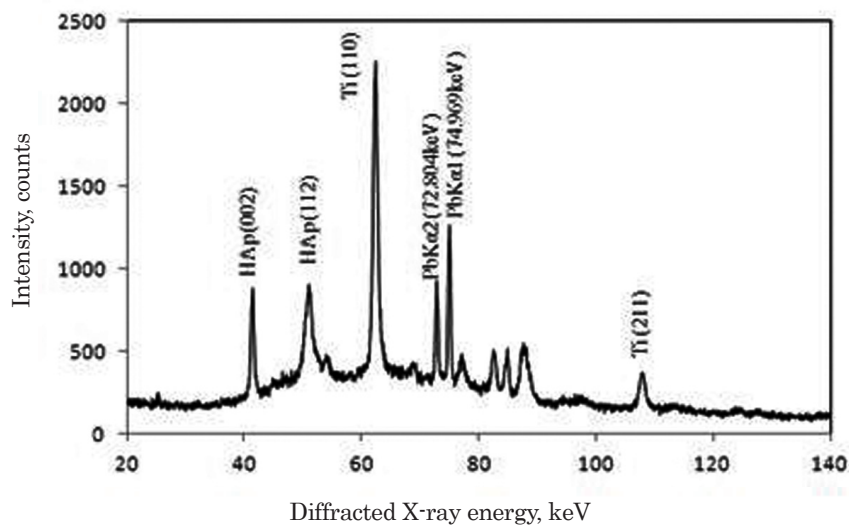


図5. β Tiと骨組織HApから得られた透過回折X線プロファイル

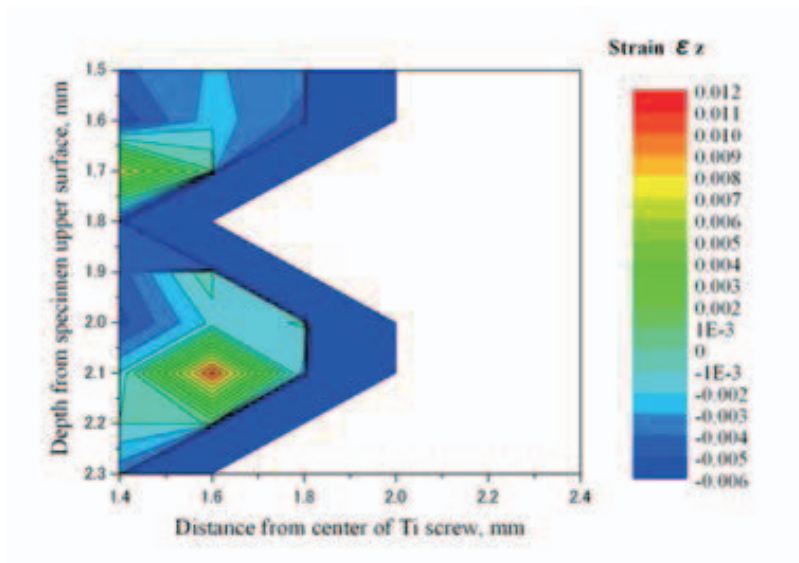


図 6. β チタンネジ Ti(110)面から算出されたひずみ分布

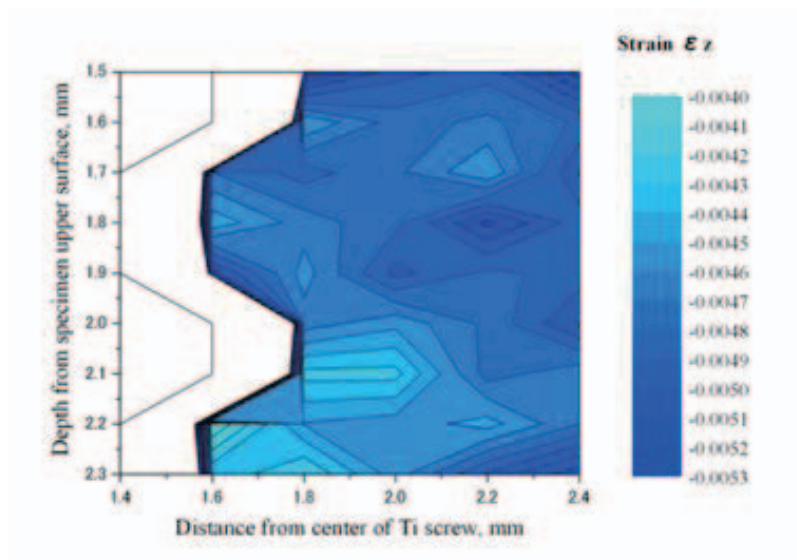


図 7. 骨組織 HA(002)面から算出されたひずみ分布

なインプラントに用いられているネジと骨組織の接触界面近傍のひずみ評価ができればネジ形状の力学的な最適形状の設計・検証に有効となる。今後は、実際に利用されているインプラントやチタンネジを用いた測定を行い、本法の有用性を検討する。

参考文献：

- [1] J.D. Almer, S.R. Stock, *J. of Structural Biology*, **152**, pp.14-27 (2005).
- [2] J. Shibano, K. Kajiwara, K. Kiriya, T. Shobu, K. Suzuki, S. Nishimura, S. Miura and M. Kobayashi, *Materials Science Forum*, **638-642**, pp.2476-2481(2010).
- [3] J. Shibano, K. Kajiwara, K. Kiriya, T. Shobu, K. Suzuki, T. Arai, S. Miura and M. Kobayashi, *Advances in X-ray Analysis*, **52**, pp.376-382(2009).