



ホログラフィ干渉法による人大腿骨の変形測定

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-11-19 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 松本, 俊郎, 河田, 米栄, 藤田, 寿之, 児島, 新 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00007932

ホログラフィ干渉法による人大腿骨の変形測定*

松本俊郎** 河田米栄** 藤田寿之** 児島 新***

Deformation Measurement of Human Femur by Holographic Interferometry*

Toshiro MATSUMOTO**, Yoneei KAWATA**, Toshiyuki FUJITA**, Arata KOJIMA***

ABSTRACT

The deformations of the neck and head of the femur are experimentally investigated, especially about the normal bone and them with osteoporosis. Double exposure holographic interferometry is useful to measure precisely the deformation of the bone. The following results were obtained: (1)The deformations were increased with an advanced stage of osteoporosis. (2)Components of the rotation about the femoral shaft were obviously observed at the femoral neck for the femur with osteoporosis. (3)The amount of deformations in the internal direction was greater than the deformations in the external direction. The same tendency was observed in the antero-posterior directions.

Key Words: Holographic Interferometry, Osteoporosis, Biomechanics, Femur

1. はじめに

大腿骨頸部及び骨頭は、その形態の複雑さや加齢変化等の諸因子により、外力に対して様々な変形を呈すると考えられる。¹⁾特に高齢者の大腿骨頸部内側骨折は、転倒するまでもなく比較的小さな外力によって発生することがよく知られている。²⁾

そこで、本研究ではX線学的に正常及び骨粗鬆症を伴った人乾燥大腿骨を用いて、荷重方向及び荷重量を変えた時、大腿骨近位部に生じる変形を二重露光ホログラフィ干渉法³⁾を用いて測定し、比較検討した。

2. 実験方法

試料として、X線像上正常及び骨粗鬆症を伴った大腿骨6本を用いた。これらは、Singhの分類⁴⁾で骨粗鬆症が明らかに認められる3等級から正常骨を示す6等級の間に属している。

試料を固定するために図1に示すように大腿骨長軸を約20度だけ内転位で、小転子から5cm末梢部を超硬石膏内に埋没固定した。荷重は図に示す荷重装置により骨頭頂点を中心に前後、及び内外側の4方向に各々、20度、

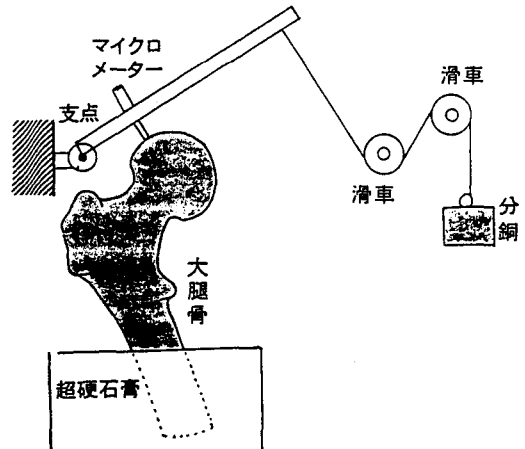


図1 試料の固定方法及び荷重方法

40度及び60度の範囲から骨頭中心に向かって加えた。この時、荷重方向が骨頭中心を通るようマイクロメーターで微調整し、荷重の作用点には分銅の6倍の大きさの荷重がかかるようになっている。本実験では荷重増分量は150g重から3,600g重の範囲とした。

測定用光学系を図2に示す。He-Ne レーザ (50mw) からの光は、半透過鏡HMで2分される。透過波は対物レンズと凸レンズ間を調整することにより試料全体が十分均一に照明されるように変換される。その後で、平面鏡Mにより反射され大腿骨を照明する。物体Oによる反射波は、参照波Rと共にホログラム乾板 (10E75, アグファゲバルト) P上で記録される。

昭和62年4月10日受理

* 本論文の一部は、第59回日本整形外科学会学術集会(1986年4月)で発表した。

** 機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

*** 関西医科大学 整形外科学教室 (Kansai Medical University)

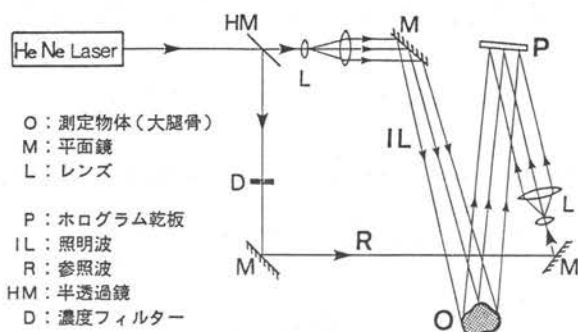


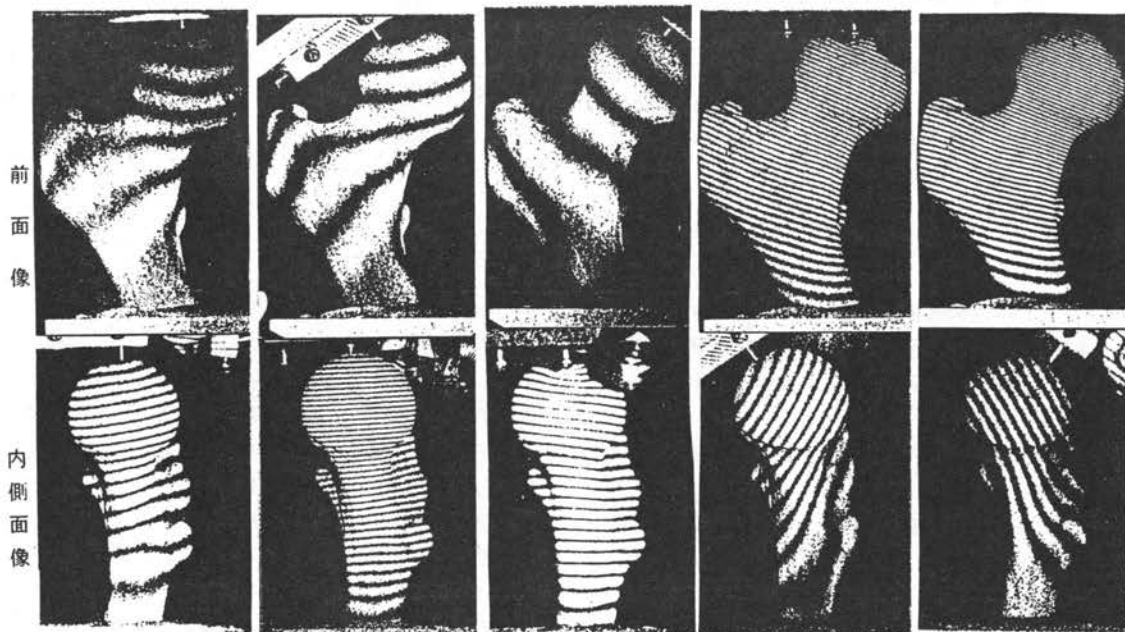
図2 測定に用いられた光学系

大腿骨の前方もしくは内側面をホログラム乾板側に配置し、骨頭上で荷重の作用点を決めて、この位置にマイクロメーターのスピンドル先端を持っていく。この状態で1回目の露光を行う。次に荷重増分量に相当する分銅を吊るして骨を変形させた後、第2回目の露光を行う。再生像を得るためにこの乾板を現像し、再びもとの乾板の位置にもどして、この時点で参照波のみで照明することにより干涉縞と共に大腿骨の再生像を得ることができる。本光学系の配置では、干涉縞1本あたり約 $0.32\mu\text{m}$ の面外変形に対応している。

3. 実験結果

(1) 同一試料に対して、異なる荷重条件により生じる変位

図3は、正常骨に属する試料について同一荷重量で荷重方向を異にした場合に生じた面外変位を示す再生像である。比較のため垂直荷重の場合の結果も示した。図において、(a)は、骨頭頂点の位置に3,600g重の荷重を垂直に加えた場合、大腿骨近位部に生じた変位を、前面像及び内側面像で各々示している。(b)から(e)は骨頭中心を通る内側、外側及び前方、後方40度の骨頭部に各々2,400g重の荷重を加えた場合の再生像である。(c)の内



(a) 垂直-3600g重 (b) 外側40°-2400g重 (c) 内側40°-2400g重 (d) 前方40°-2400g重 (e) 後方40°-2400g重

図3 異なる荷重方向による変形量の違いを示す再生像(試料5)

図中、外側40度は、骨頭上、外側40度の位置に荷重の作用点を設定したことを意味している。

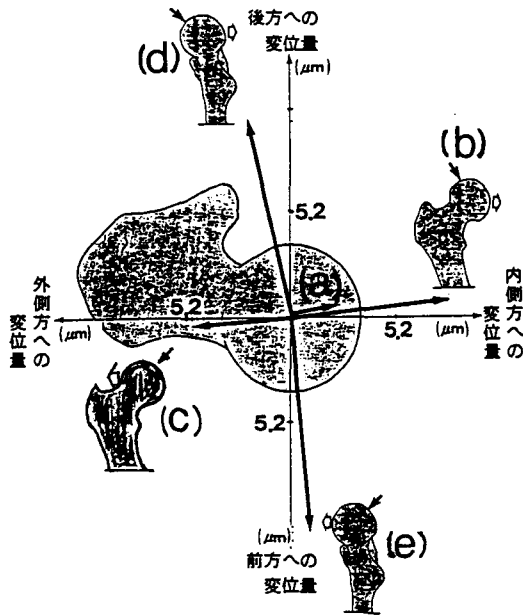


図4 大腿骨頭中心における変位の測定結果

(a)–(e)は、図3の(a)–(e)に対応している。

側方40度の位置に作用点を設定した場合の前面像及び内側面像上に表われた干渉縞よりわかることは、前者において、前方への曲げ成分と骨幹部回りの回旋成分の両者を合成した変位分布になっており、後者において、基底面に水平に干渉縞が表われていることから外側方向への曲げのみによる変位成分を有していることがわかる。しかも、内側面像の干渉縞の密度が前面像上のそれよりも大きいことから外側方向への変位成分が大きいことがわかる。前方40度(d)又はe後方40度に荷重点を設定すると、内側面像において後方又は前方に変位する成分と骨幹部回りの回旋成分の合成された変位が生じていることがわかる。しかし、前面像においては、後方又は前方への曲げのみの変位成分であることが前方40度(d)及び後方40度(e)の再生像よりわかる。

骨頭中心での変位は、大きさと方向も含めて図3の前面像及び内側面像より図4のように表わされる。図において(b)及び(c)は、図3のそれらに対応しており、外側及び内側40度にそれぞれ作用点を設定した場合の変位ベクトルを示している。両者のベクトルにおいて、横軸の内側及び外側方向への変位成分に着目して(b)の場合が(c)の場合より大きく表われている。これは、図5に示すようにモーメントアームの大きさが $A < B$ になっているため、外側40度に作用点を設定した(b)の場合の方が曲げモーメントとして大きくなり変位成分が大きく表われたと考え

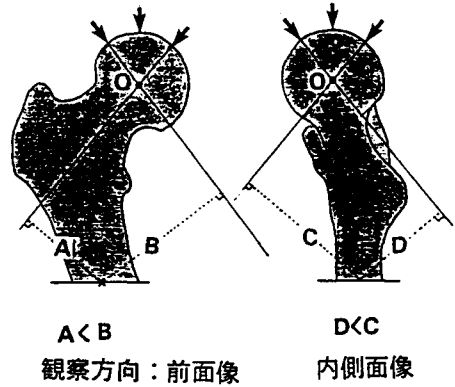


図5 荷重方向とモーメントアームの大きさについて

られる。又、(d)及び(e)の場合は、骨頭上前方向及び後方40度の位置に作用点を置いた場合であるが、図5のモーメントアームの大きさを考慮すれば、同様に説明できる。このモーメントアームは、前面像における骨頭頸軸と骨幹部のなす角度(頸体角)及び骨頭頸軸の前方への捻れ角(前捻角)の大きさによって変わるわけであるが、用いた試料については、図のような関係になっていた。

(2) 骨粗鬆症の進行と発生する変位の関係

骨に生じる変位は、同一荷重条件であっても骨形態及び骨粗鬆症の程度により変わるので、使用した試料の中で、骨頭の大きさのほぼ等しい3つの試料について変位を比較した。3試料のX線像を図6に示す。図より骨粗鬆症の進行度は試料1 > 2 > 5の関係にある。骨頭上で後方及び外側40度に作用点を設定して、荷重を加えて得られた再生像を前面像(b)及び内側面像(c)として図6に示す。図において干渉縞の密度が大きい再生像は、後方及び外側40度のいずれにおいても試料1の場合である。これは、3試料共形態的には同一の試料を選んでいるので、骨粗鬆症の進行度に依存して表われたと判断される。内側面像(c)で大腿骨頭部とその右側に位置づけられる大転子上の縞次数を基底面より数えると、ずれていることが見い出されるが、そのずれは、試料1で最も大きい。これは、頸部における変位量が他の試料より大きいこと

を意味している。しかも試料1の頸部において、傾斜した干渉縞が表われておりこのことから、僅かに回旋変位成分が含まれていることがわかる。

図7にこれら試料の変位置の比較を行った結果を示す。この結果からどの方向の変位置についても骨粗鬆症がよく進行している試料1の変位置が最も大きく、他の試料に比して骨強度が低下していることが明らかにわかる。

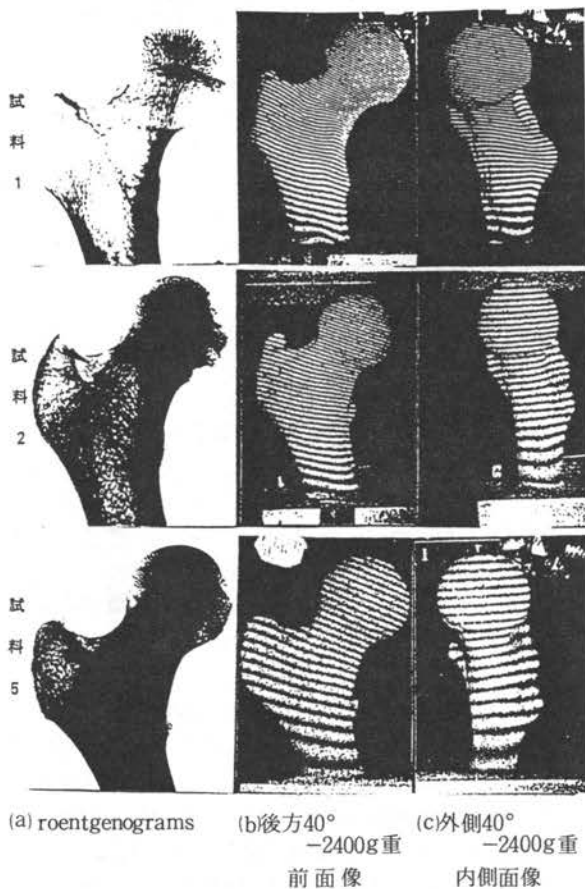


図6 骨粗鬆症の進行に伴う大腿骨頭の異なる荷重による変位置の違いを示す再生像

骨粗鬆症の進行度は1)2)5)の通りである。

(3) 大腿骨頸部の変位

同一試料で荷重方向を変えた場合どの方向から荷重を加えたら頸部において骨強度が弱いかを知るため、垂直・内側40度及び外側40度に作用点を設定して曲げ変位置を算出し、かつ変位勾配を検討した。図8にその結果を示す。

図において骨頭中心の高さを100%の位置とし、75%及び50%の3点での変位置を示している。図より、外側40度に作用点を設置し内側方向に荷重を加えた場合の変位勾配が大きいことがわかり、この方向から力を受けると強度的に弱いことがわかる。このことは、実際面において、骨頭下頸部においてしばしば骨折が見られることと関係しているように判断される。

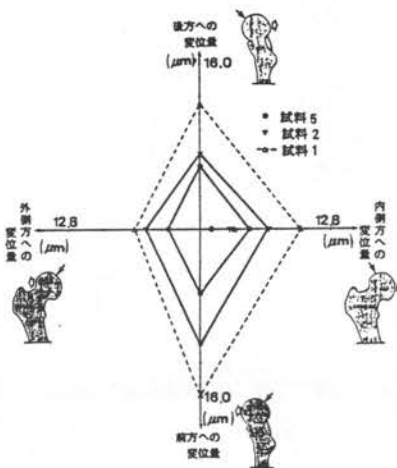


図7 骨粗鬆症の進行(試料1)2)5)に伴う骨頭中心の変位置

内側方への変位置を示す横軸上の独立した3個のプロットは、各試料に垂直荷重を加えた場合を示す。

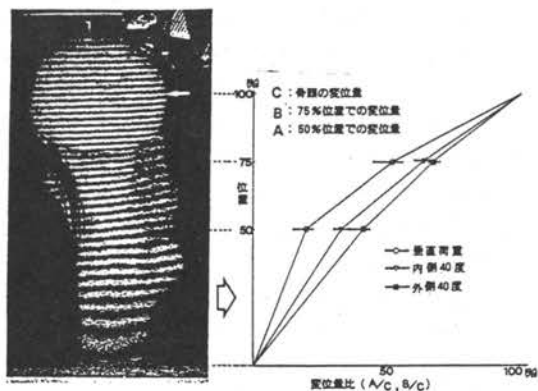


図8 荷重方向による頸部の曲げ変位置量の比較

4. まとめ

(1) 正常骨の変位

(1-1) 荷重による曲げ変位量は外側から加えた場合の方が内側から加えた場合よりも大である。又、前方から加えた場合の変位量は後方から加えた場合のそれと同等か大である。

(1-2) 前後方向への荷重では内外側方向への荷重よりも大きな回旋変位を生じた。

(1-3) 以上の結果は、1-6の全試料に共通にみられ、大腿骨頸部の構造（頸体角及び前捻角による曲げモーメントの大きさの違い）に起因すると考えられる。

(2) 骨粗鬆症の進行と大腿骨近位部の変位との関係

(2-1) 骨粗鬆症の進行度の大きい試料程、どの方向から作用する荷重についても骨全体の変位量が増大した。

(2-2) 内側面像において、大腿骨頸部の縞回数と大転子のそれとが基底面から同一高さで比較するとず

れが生じており、その傾向は骨粗鬆症の進行度の高い試料1において顕著であり、この部分では、回旋変位成分も含まれている変位を示した。

(3) 大腿骨頸部の変位

(3-1) この場所では、外側40度の作用点でかけられる荷重に対して変位勾配が大きく表われ骨強度が低下する傾向があることがわかった。

(3-2) 頸部が細い大腿骨（試料4）では、曲げ及び回旋変位がこの部分で増大する傾向があった。

参 考 文 献

- 1) 山本, 笹田, 整形外科バイオメカニクス入門 (南江堂, 1983).
- 2) 南澤育雄, 日整会誌55 (1987) 167.
- 3) C.M.Vest, *Holographic Interferometry* (John Wiley & Sons, New York, 1979).
- 4) M.Singh *et al.*, J. Bone and Joint Surg. 52-A (1970) 457.