



ホログラフィ干渉法を用いた人脛骨の荷重による変形測定

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-11-13 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/10.24729/00007950

ホログラフィ干渉法を用いた人脛骨の荷重による変形測定*

松本俊郎** 河田米栄** 藤田寿之** 児島新****

Deformation Measurement of Human Tibia due to the Load by
Holographic Interferometry*

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

ABSTRACT

It is often experienced that some of screws can not be well fixed with the internal fixation plate in some cases of the tibial fracture. In this paper, to investigate the mechanical properties of fixation between both fractured ends of tibia in relation to above mentioned condition, displacements due to the same loading conditions are measured by double exposure holographic interferometry for the following specimens: (1) normal tibia, (2) the tibia fixed with the AO dynamic compression plate having eight holes by using eight screws, after central part of the above was cut artificially, (3) the tibia which two screws of neighborhood of fractured line of the tibia (2) were removed. It is found that the concentration of fringes on the distal fracture part of the tibia was more than it on the proximal part (the specimen (2)). For the specimen (3), a more greater concentration of fringes in the distal fractured part of the tibia was observed. This means that the ability to fix tibial fragments with the plate became more weak than the result obtained in the specimen (2).

KEY WORD: Holographic Interferometry, Osteosynthesis, Biomechanics, Tibia

1. はじめに

ホログラフィ干渉法¹⁾は光学的測定法の1手法であり粗面物体の変形を非接触、非破壊的に波長の精度で測定を行うことができる特長を有している。この方法は、今まで、工学分野において実際的な研究が広範囲に行われてきた²⁾。

ところで医学特に整形外科のバイオメカニクスにおいても、この方法の有用性を示す研究が試みられてきた^{3,4)}。この分野では、骨折の治療において日常生活に早期にもどれるようにプレートによる内固定法⁵⁾が用いられる場合がある。この際、骨折の部位によってはプレートにかけられた一部の穴に骨に固定するために使われるボルトを通すことができない場合がある。このような場合とボルトが全て使用された場合の骨の変形の相違につ

いて、またプレートには4穴と8穴のプレートがあるがそれぞれが骨に固定された場合のプレートおよび骨の変形等についてもまだよく解明されていない。そこで本研究では、ホログラフィ干渉法による人の脛骨晒し骨および、横に切断した骨についてプレート固定を行った場合の骨およびプレートの変形を測定し、基礎的考察を行った。

2. 実験方法

測定に用いた人の脛骨で晒した骨の1例および中央部の断面形状を図1に示す。測定対象は人の晒し骨及び切断肢の脛骨で4本用いた。試料を固定するために長軸を基準面に垂直に設定し、その上端である近位部約4cmを超硬石膏に埋没した。

荷重方法として、脛骨下端足関節面中央部及びそこから内外側方向へ1cm離れた位置に瞬間接着剤でナットを接着し、これにビスを立てることにより荷重点を作成した。荷重は水平面内において前後方向および内外側方向に5g重～100g重の分銅を用いて図2に示すように糸の一端を荷重点に取り付け他端に滑車を介して負荷した。さ

昭和61年4月10日受理

* 本論文の一部は、第58回日本整形外科学会学術集会(1985年4月)、第6回バイオメカニズム学術講演会(1985年10月)で発表した。
** 機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)
*** 関西医科大学 整形外科教室 (Kansai Medical University)

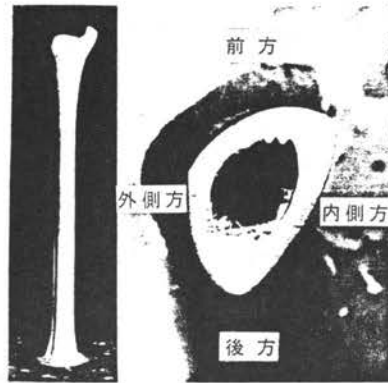


図1 試料の形状 (a)脛骨の前方面像(試料No.2)、(b)中央部の断面形状

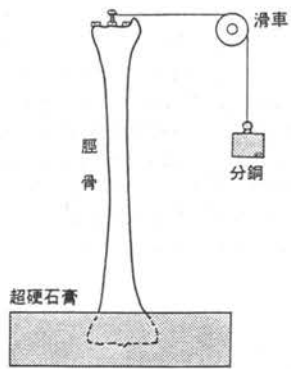


図2 固定方法及び荷重方法

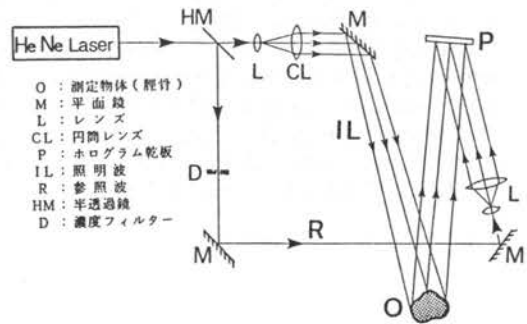


図3 測定用光学系

らに足関節面の内外側に取り付けたビスにそれぞれ糸をかけ脛骨の長軸のまわりに時計及び反時計方向にねじりモーメントを働かせた。

実験に用いた光学系を図3に示す。He-Heレーザ(50mw)より出た光はハーフミラーHMで2分される。透過波は物体照明波ILとなり対物レンズL及び円筒レンズCLにより垂直方向に長軸を有する楕円の形になり、反射鏡Mで反射された後、脛骨Oを一様に照明する。試料Oによる反射波はホログラム乾板(10E75,AGFA-GEVAERT)Pに達する。他方、ハーフミラーHMによって反射された光波は反射鏡Mを経て図のような2枚のレンズLにより平面波に変換されて参照波Rとして乾板Pを照明する。濃度フィルターDは、物体からの反射波と参照波の各強さの割合を適度に保つために設置されている。

ホログラム作成手順として、先ず脛骨の観察方向つまり前方面もしくは外側面方向及び荷重方向を定めて、無荷重で1回目の露光を行う。次に、脛骨の上端中央に設定されたビスに糸をかけ他端に分銅を吊るして張力を加

える。その後、第2回目の露光を行う。現像が終わったホログラムに再生用の光波を参照波の入射角と等しい角度で入射させることにより、ホログラムを通してもとの脛骨があった方向に、干涉縞と共に脛骨の再生像を得ることができる。このような方法により、前、後及び内外側の4つの荷重方向についてそれぞれ前方向より観察した前方面像と外側方向より観察した外側面像を撮影する。ところで、元来ホログラフィ干涉法による干涉縞は物体上の一点で物体照明光と観察の各方向がなす角度の2等分線方向の変位成分を示しており⁶⁾本光学系ではこの角度がほぼ0度であるので、干涉縞の明部と明部の間隔は約0.32 μm の面外変位に対応している。

3. 実験結果

(1) 同一荷重方向で種々の荷重量による変位について

図4は、正常骨について前方へ荷重したことによって生じた面外変位を示す再生像である。これらは初期荷重

0 g 重で1回露光を行い、2回目の露光前にそれぞれ5 g 重、10 g 重、20 g 重および50 g 重の荷重を脛骨上端の荷重点に加えて得られた。これらの変位測定結果を図5に

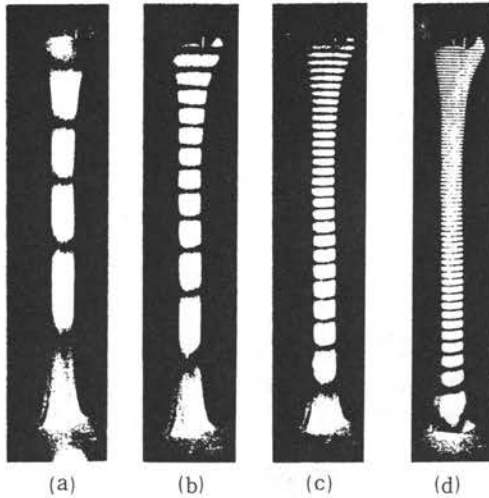


図4 前方荷重を受ける脛骨の再生像。試料No.2の前方面像。(a)0→5g重、(b)0→10g重、(c)0→20g重、(d)0→50g重。

示す。図において横軸は測定位置を示しており、骨の全長に対する割合で表示し、縦軸は固定端を変位の0 μm として、縞回数から変位量を算出している。脛骨の固定端より上端までの全長 l は、No.1, 2 および 3 について、各々 $l = 302\text{mm}$ 、 305mm および 350mm である。自由端つまり遠位部程変位量は漸増し、荷重量が変わればすべての場所において変位量も増加していることがわかる。

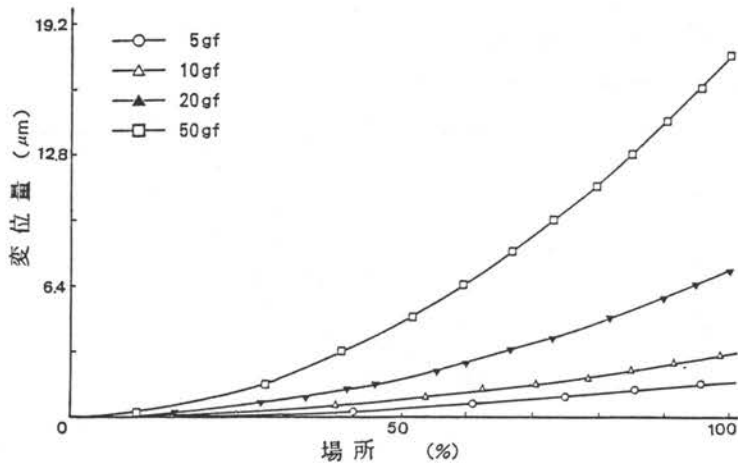


図5 変位の測定結果(図4の再生像より)

(2) 異なる荷重方向に同一荷重量を加えた場合に生じた変位について

試料の前方から観察する状態で、前、後方向に20 g 重の荷重を加えた場合と外側方向から観察して、内、外側方向に同じく20 g 重の荷重を加えた場合のホログラムの再生像を図6に示す。各荷重条件について変位量を定

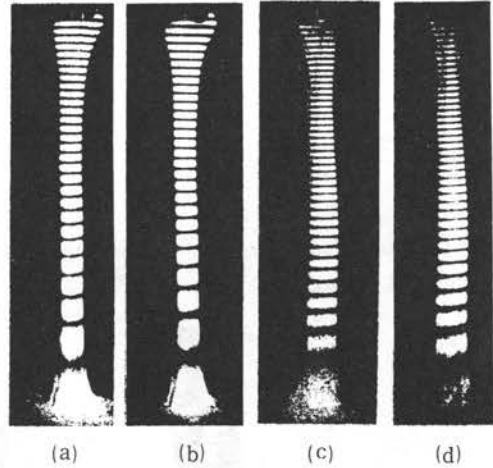


図6 異なる荷重方向による変形量の違いを示す再生像。(a)-(b)は各々前、後、内側および外側の各方向に荷重を加えた場合である。

量的に把握するため図7のようなグラフを作成した。この図より内外側及び前後方向の変位量はほぼ同じであることがわかる。さらに前者が後者の変位量に比較して約2倍と明らかに大きくなっている。これは脛骨の前後方

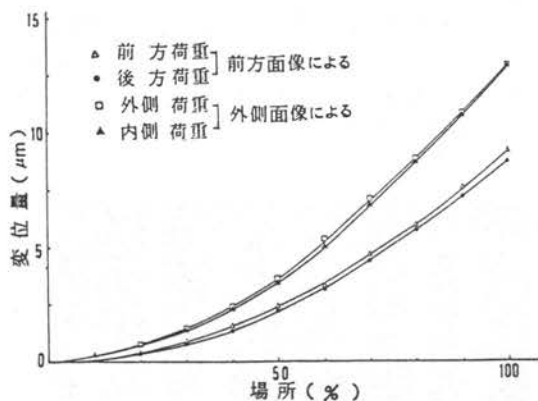


図7 4つの荷重方向に別々に同一荷重量を加えた場合に生じた変位量の比較

向の剛性が内外側方向の剛性よりも大きい事を示唆している。他の試料についてもこれと同様の傾向が見られた。

(3) 骨折作成前後の変位量の比較

正常骨として用いた試料について、中央部で切断して横骨折状態を作成し、さらにAO Narrow Dynamic Compression Plateの4穴及び8穴の物を用いて再接合後正常骨に対して行ったのと同様の実験を行った。図8はこの測定法による再生像の例である。正常骨の場合に比較して干渉縞の数が違うことがわかるが、定量的に比較するため、固定端を変位量0 μmとして、正常骨と共に変位測定を行うと図9のようになる。図において、正常骨の変位量に比べてプレート使用後の脛骨の変位量はいずれも骨折部に境に増大しており、特に4穴プレート使用時に生じる変位量は8穴プレート使用時に生じる

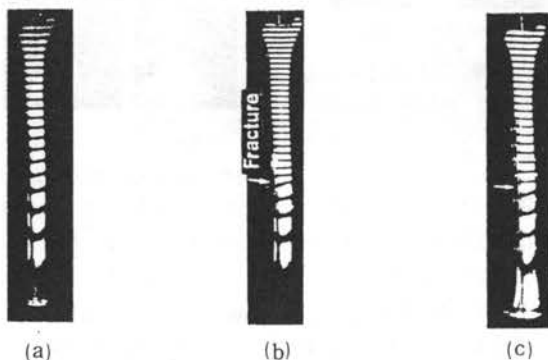


図8 人工的に横骨折を作成した脛骨について、2種類のプレート固定を行った場合の変形の比較。20g重の前方負荷で前方面像による。(a)正常骨、(b)4穴のプレート使用、(c)8穴のプレート使用。

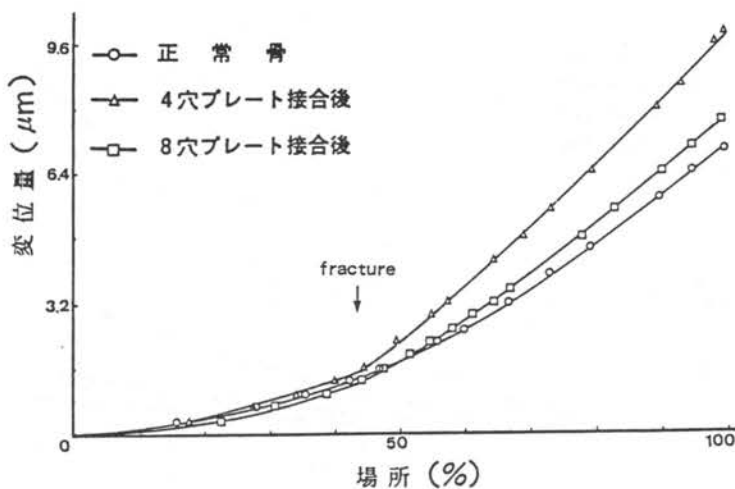


図9 プレート固定前後の同一荷重条件のもとにおける変位量の比較

変位量よりもさらに大きいことがわかる。このような結果は外側に荷重した場合についても同様で遠位部の変位量はやはり正常骨、8穴プレート使用時、4穴プレート使用時の順に増大する結果を得た。

(4) 骨接合部におけるプレートと骨変形の比較

図10は骨接合後の脛骨に前方張力を加えた状態を前面から観察した再生像である。骨接合部から遠位つまり図の上方の骨の干渉縞は右下がりであり逆に骨折面から下の干渉縞は右上がりになっている。これは、脛骨の長軸とプレートが同軸でないため、曲げの外力に対しても骨接合部より上では、時計回りの、骨接合部から下では反時計回りの回転変形が生じていることがわかる。

図11は、8穴プレート固定後の骨折部の骨及びプレートの変形を拡大して示している。これによるとプレートと骨の縞数はほとんど一致しており、両

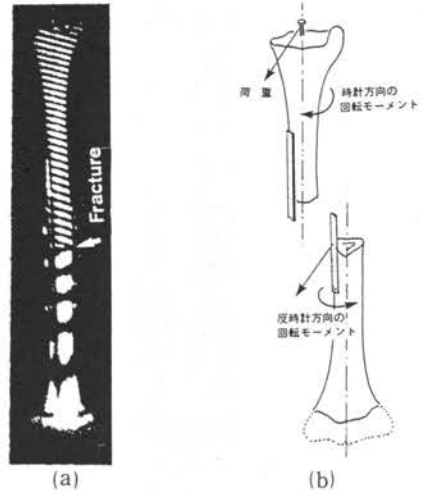


図10 干渉縞の方向と変形の関係。(a)前方へ20g重負荷時の再生後、(b)変形の様子

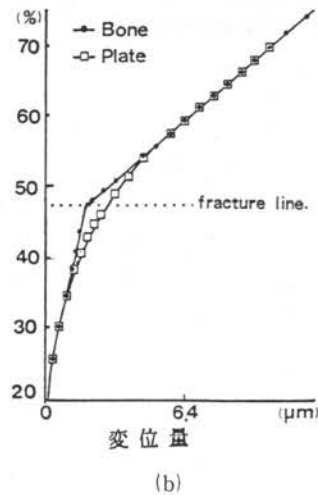


図11 骨接合部におけるプレートと骨の変形。(a)再生像、(b)変位測定結果

者の間にずれがないことを示している。ところが骨折線を中心とした上下のビス穴までの間では、プレートと骨の縞数が一致しなくなっており、両者の間にずれが生じていることがわかる。

(5) ねじれ荷を加えることによる変形

図12は、骨折作成前後の脛骨のねじれ荷による変形を比較するために行われた実験結果である。図より骨折作成部で干渉縞が途切れており、特に中央2穴のビスがない場合ねじれによる変形は増大し、プレート固定法が回転による変形に対しても不十分であることを示唆する結果が得られた。

4. まとめ

- (1) 正常骨については、荷重方向によらず荷重の増大に伴って変位量も増大した。
- (2) 前後方向の変位量は内外側方向のそれに比較して小さかった。これは脛骨の前後方向の剛性が内外側方向のそれよりも大きいことを示唆している。
- (3) 人工的に横骨折を作成した骨に4穴および8穴プレートを各々固定した場合、前者が大きく変形し、後者は正常骨の変形に近かった。
- (4) ねじれ荷をプレート固定された骨に働かせると、干渉縞が途切れてしまい、骨折部を境にして荷重側の

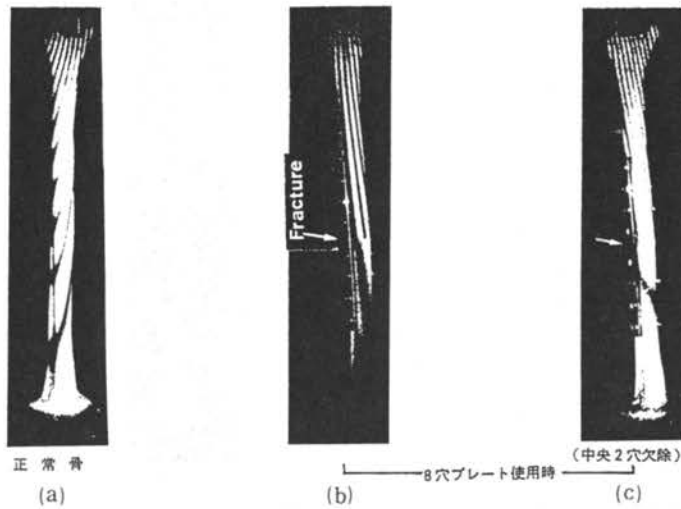


図12 ねじれ負荷を受けるプレート固定された脛骨の変形を示す再生像

方が大きい回転変形を生じることがわかった。特に、ビスを2個だけ取り除いた場合には、ねじれは大きくなった。

参考文献

- 1) C.M.Vest, *Holographic Interferometry* (John wiley & Sons, New York, 1979).
- 2) Robertson, Harvey, *The Engineering Uses of Holography* (Cambridge Univ. Press 1970).
- 3) 松本俊郎 他, 大阪府立工専研究紀要19 (1985) 19.
- 4) G. von Bally (ed.), *Holography in Medicine and Biology* (Springer Series in Optical Sciences Vol. 18, Springer-Verlag, Berlin 1979).
- 5) 杉本 侃, 骨折の手術 AO法 (医学書院, 1970).
- 6) 岩田耕一, 高精度 3 (1972) 11.