

平成 22 年 5 月 1 日現在

研究種目： 若手研究(B)
 研究期間： 2008～2009
 課題番号： 20760072
 研究課題名(和文) 即時荷重インプラント周辺の骨に生じる応力・ひずみの分布計測からの骨吸収機構の解明
 研究課題名(英文) Study on bone resorption mechanism by measuring the stress/strain distributions of mandibular bone around an immediate-loaded implant
 研究代表者
 森田 康之(MORITA YASUYUKI)
 名古屋大学・大学院工学研究科・講師
 研究者番号：90380534

研究成果の概要(和文)：歯科インプラント治療における骨吸収などの合併症の原因究明を目的とし、力学的見地からの解明を試みた。インプラント周辺骨のひずみ分布の直接的可視化を実現し、擬似咬合下でのひずみ分布の定量的評価を行った。そして、治療期間の短期化ということで近年注目を集めている即時荷重インプラント治療であるが、治療直後に過度の咬合荷重を付与した場合、一般的な治療法であるオッセオインテグレートドインプラント治療に比べ、骨の力学的環境は厳しく、骨吸収が比較的生じやすい状況を招く恐れがあるという知見を得た。

研究成果の概要(英文)：Investigation into the cause of bone resorption after dental implant placement was attempted from the viewpoint of strength of material. Visualization of the strain distributions of mandibular bone model around a dental implant was realized, and quantitative evaluation of the strain distributions under simulated dental occlusion was conducted. Mechanical circumstances of mandibular bone in immediate-loading implantology were more severe than the ones in osseointegration implantology. The results suggest that immediate-loading implantology which is recently noticed for shortening the treatment period is subjected to bone resorption compared to osseointegration implantology which is the traditional implant method if the dental occlusion force is overloaded.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械材料・材料力学

キーワード：歯科インプラント、応力・ひずみ、デジタル画像相関、骨吸収、皮質骨・海綿骨、オッセオインテグレーション、即時荷重、生体力学

1. 研究開始当初の背景

近年、歯科インプラント治療は歯牙および歯周組織の欠損から生じる咀嚼、発語機能、

審美性の低下を回復し、患者の生活の質(QOL)を向上させるとして、歯科医療の中で重要な地位を占めてきている。

Table 1 Typical Properties.

	Phantom materials	Compressive		Tensile		Shear	
		Strength [MPa]	Modulus [GPa]	Strength [MPa]	Modulus [GPa]	Strength [MPa]	Modulus [MPa]
Cortical bone	Glass-reinforced epoxy	157	16.7	106	16.0	-	-
Cancellous bone	Solid polyurethane	8.40	0.210	5.60	0.284	4.30	0.0490

通常の歯科インプラント治療では、インプラント体埋入後、オッセオインテグレーションを確実に獲得するために、3~6ヶ月の間、上部構造(義歯)を装着しない。これは咬合により、インプラントを介してオッセオインテグレーション獲得前の歯槽骨に過大な負荷が作用することを避けるためである。しかしこの無負荷安静期間が骨の絶対的な成長を促進するものではないなどの報告(F. Isidor, 2006)や、治療期間の長期化や安静期間の暫間補綴の困難さなどをもたらすために臨床応用上必ずしも好まれる治療法ではない。そこで最近では、インプラント埋入直後、直ちに上部構造を取り付け、咬合を通常通り行う即時荷重インプラントと呼ばれる術式が注目を集めている。

しかしながら、いずれの治療法においても術後の合併症が少なからず報告されている。代表的なものに、(1)骨吸収、(2)インプラント破折、(3)細菌感染などが挙げられる。(1)および(2)の原因として、主に力学的要因が高いと言える。そのため、インプラントおよびその周辺骨の力学場を明らかにすることが重要である。しかし実験の困難性から、有限要素法を用いた数値解析が主流であり、実験的にインプラント周りの骨に作用する変位・ひずみ・応力分布を求める研究は少数である。その実験手法に関しても、単一構造の光弾性材料を骨モデルとし、それに歯科インプラントを埋入する。そして、光弾性法により応力分布を解析するという手法に限られている。しかしながら実際の骨は、皮質骨および海綿骨の2層構造を有しており、現状の実験的研究が実現象と整合性が取れているか疑問が呈されている。

2. 研究の目的

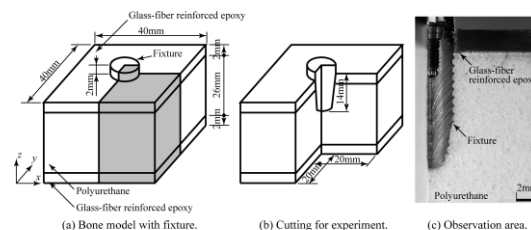
そこで本研究では、より現実に即した骨モデルを使用し、擬似咬合下でのインプラント周辺骨の変形分布を実験的に計測することを目的とした。その骨モデルには、実際の骨の2層構造および機械的特性を模擬したSAWBONES社製のLaminated Test Blocksを使用した。そして変位・ひずみ分布の直接的可視化にはデジタル画像相関法を応用した。オッセオインテグレーションおよび即時荷重を模擬した2つの試験片を作製し、インプラント/骨界面の変形状態の計測から、2つ

の術式における力学的見地からの比較検討を行った。

3. 研究の方法

SAWBONES社製のLaminated Test Blocksの材質は、皮質骨がガラス繊維強化エポキシ樹脂、海綿骨がポリウレタンである。この骨モデルの特長は、2層構造のほかに、機械的特性が骨とほぼ等しいことである。SAWBONESの仕様書に記された値を表1に示す。使用した骨モデルのサイズは $40 \times 40 \times 30\text{mm}^3$ 、皮質骨厚さはそれぞれの両端で2mmとした(図1(a)参照)。また使用したインプラントは、日本メディカルマテリアル社(JMM)製POI EX FINAFIX テーパータイプ(POI 47-14TP-L)である。本インプラントの最大外径は4.7mm、全長16mm、骨への埋入長さは14mmである。

インプラントは、骨モデルの上面 $40 \times 40\text{mm}^2$ の中央に埋入した(図1(a)参照)。インプラント埋入時におけるインプラント窩の形成には、JMMが推奨するPOI EX Manualに示されたドリル群を使用した。窩洞形成時に生ずる試験片の個体差を小さくするため、万能フライス盤(日立精機社製2MF-U)により窩洞形成を行った。ここでオッセオインテグレートッドインプラント試験片の作製には、インプラント窩に接着剤(住友スリーエム社製Scotch 強力接着剤6004N)を充填後、インプラントを埋入した。そして即時荷重インプラント試験片の作製には、接着剤を充填せずインプラントを埋入した。インプラントの埋入には、いずれの試験片においても、タッピングレンチにより手動で行った。作製し



た骨モデル試験片において、全視野の変位・ひずみ分布計測を行うため、図1(a)に示す灰色の領域を切削し、断面を露出させた。試験

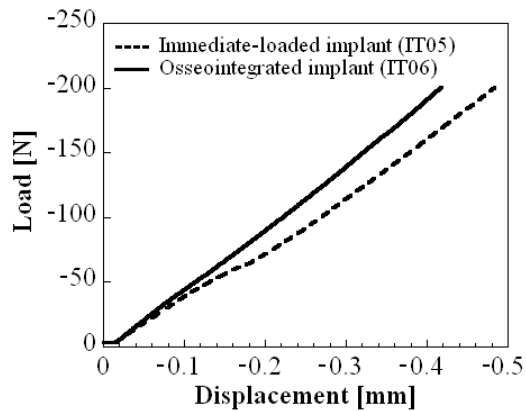


Fig. 2 Load-displacement curves.

片の最終形状を図 1(b), 観測領域を図 1(c)に示す. ここで灰色の切削領域は, 試験片の 1/2 ではなく 1/4 とした. これは, インプラント形状がテーパタイプであるため, 擬似咬合の圧縮荷重を付与した際の面外変位を拘束する目的がある.

咬合を模擬した圧縮試験は, 次の手順で行った. (i)デジタル画像相関法を用い解析を行うため, 試験片の観測領域に黒色および白色のスプレー塗料(大日本塗料製 シリコン変性タイプ超速乾水性スプレー S05032)を噴霧し, ランダムパターンを形成した. (ii)試験片を小型卓上試験機(島津製作所製 EZ Test)に設置した. (iii)荷重点はインプラントの上端部とし, 最初に荷重を負荷した際の剛体変位を防止するため, 予荷重として-4.0N 付与した. (iv)そして送り速度 0.50mm/min で-200N まで圧縮荷重を加えた. (v)その際のロードセルの荷重およびクロスヘッドの変位を記録するとともに, -10N ずつ CCD カメラ(Nikon 製 D80)で画像を取得した. 画像サイズは 2600×3900pixels, 画素サイズは 4.7 μ m/pixel である. (vi)デジタル画像相関法の解析プログラムには, Correlated Solutions 社の Vic-2D を使用した.

4. 研究成果

圧縮試験により得られた荷重-変位曲線の一部を図 2 に示す. 横軸はクロスヘッドの変位, 縦軸はロードセルの荷重である. オッセオインテグレートドインプラント試験片は, 変位に対してほぼ線形に荷重が増加した. 一方即時荷重インプラント試験片では, 変位-0.15mm 付近ですべりが生じたような挙動を示しているが, それ以降の荷重はほぼ線形的に増加した. したがって同じ荷重では, 即時荷重インプラント試験片のほうが, 常に大きい変位量を示した.

デジタル画像相関により得られた変位分布からひずみ分布を求めた. その結果を図 3, 4 に示す. 図 3 は即時荷重インプラント試験

片, 図 4 はオッセオインテグレートドインプラント試験片であり, (a), (b), (c)はそれぞれ ϵ_{xx} , ϵ_{zz} , γ_{xz} を表す. いずれの試験片においても, 最大ひずみの集中箇所はほぼ同じで, ϵ_{xx} および γ_{xz} はインプラントテーパ部の海綿骨領域, ϵ_{zz} はインプラント先端部の海綿骨領域に生じた. しかしながら, その分布をみると, 即時荷重インプラント試験片では, インプラント直近の骨で咬合荷重を負担しているのに対し, オッセオインテグレートドインプラント試験片では, 広範囲の骨で咬合荷重を負担していることが示されている. これは, オッセオインテグレートドインプラント試験片では, インプラントと骨が接着されているためである. また各ひずみの最大値においても, オッセオインテグレートドインプラント試験片では(ϵ_{xx} , ϵ_{zz} , γ_{xz})=(-0.3%, -1.5%, 0.4%)であったのに対し, 即時荷重インプラント試験片では(-0.6%, -5.0%, 1.9%)と全て高い値を示した. このように即時荷重インプラントはオッセオインテグレートドインプラ

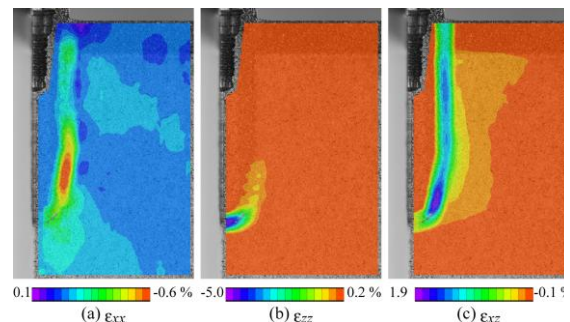


Fig. 3 Strain distributions of an immediate-loaded implant specimen.

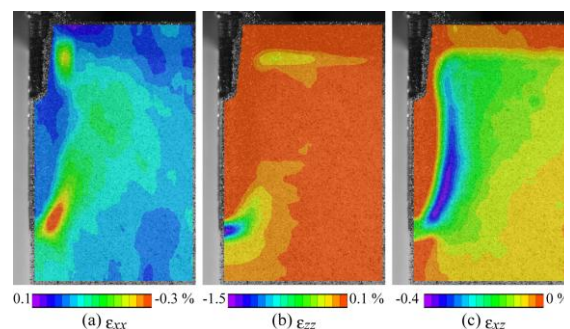


Fig. 4 Strain distributions of an osseointegrated implant specimen.

ントに比べて, ひずみの最大値が大きくなる傾向を示しており, 患者負担の軽減のため治療期間の短期化ということで近年注目を集めている治療法であるが, 治療直後に過度の咬合荷重を付与した場合, 一般的な治療法であるオッセオインテグレートドインプラント治療に比べ, 骨の力学的環境は厳しく, 骨吸収が比較的生じやすい状況を招く恐れ

があることを示唆している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

- ① Y. Morita, L. Qian, M. Todo, Y. Matsushita, M. Uchino, K. Arakawa, and K. Koyano, The strain distribution around dental implants in cortical/cancellous bone models determined via a digital image correlation method, Proceedings of the 4th ISEM, 査読有, 2009.
- ② Y. Morita, M. Uchino, M. Todo, Y. Matsushita, K. Arakawa, and K. Koyano, Relationship between load-displacement curve and deformation distribution in porcine mandibular periodontium, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 査読有, Vol.4, No.3, 2009, 336-344.
- ③ Y. Morita, L. Qian, M. Todo, Y. Matsushita, M. Uchino, K. Arakawa, and K. Koyano, Experimental study on strain distribution of a bone model with a dental implant under simulated dental occlusion, Proceeding of the Nano/Amorphous Materials and Interface Science Symposium, 査読無, 2009.

[学会発表] (計 12 件)

- ① 森田康之, 東藤貢, 松下恭之, 新川和夫, 古谷野潔, 歯周組織と歯科インプラントの力学挙動計測, 日本機械学会第 22 回バイオエンジニアリング講演会, 2010 年 1 月 9 日, 岡山理科大学(岡山県).
- ② Y. Morita, L. Qian, M. Todo, Y. Matsushita, M. Uchino, K. Arakawa, and K. Koyano, The strain distribution around dental implants in cortical/cancellous bone models determined via a digital image correlation method, 4th ISEM '09-Niigata, 2009 年 11 月 28 日, 朱鷺メッセ(新潟県).
- ③ 森田康之, 銭立和, 東藤貢, 松下恭之, 内野正和, 新川和夫, 古谷野潔, 骨モデルを用いたインプラント周辺骨の変位・ひずみ場計測, 日本実験力学会 The 9th Conference on Biomechanics in Fukuoka, 2009 年 10 月 31 日, 九州大学(福岡県).
- ④ 森田康之, 銭立和, 東藤貢, 松下恭之, 内野正和, 新川和夫, 古谷野潔, 擬似咬合下における歯科インプラント周辺の骨のひずみ分布計測, 第 36 回日本臨床バイオメカニクス学会, 2009 年 10 月 17 日, ひめぎんホール(愛媛県).

- ⑤ 森田康之, 銭立和, 東藤貢, 松下恭之, 内野正和, 新川和夫, 古谷野潔, デジタル画像相関法による歯科インプラントを植立した擬似骨の変形計測, 日本機械学会 2009 年度年次大会, 2009 年 9 月 15 日, 岩手大学(岩手県).
- ⑥ Y. Morita, L. Qian, M. Todo, Y. Matsushita, M. Uchino, K. Arakawa, and K. Koyano, Experimental study on strain distribution of a bone model with a dental implant under simulated dental occlusion, Nano/Amorphous Materials and Interface Science Symposium, 2009 年 8 月 7 日, さんさ亭(宮城県).
- ⑦ 森田康之, 銭立和, 東藤貢, 松下恭之, 内野正和, 新川和夫, 古谷野潔, 即時負荷およびオッセオインテグレートドインプラントでの骨周辺のひずみ分布の比較, 日本実験力学会 2009 年度年次講演会, 2009 年 8 月 5 日, 拓殖大学(東京都).
- ⑧ 森田康之, 銭立和, 東藤貢, 松下恭之, 内野正和, 新川和夫, 古谷野潔, 擬似咬合下における歯科インプラントを植立した骨モデルの変形解析, 日本非破壊検査協会平成 21 年度春季講演大会, 2009 年 5 月 20 日, アルカディヤ市ヶ谷(東京都).
- ⑨ 森田康之, 銭立和, 東藤貢, 松下恭之, 内野正和, 新川和夫, 古谷野潔, 歯科インプラントを植立した骨モデルの擬似咬合下での変形挙動, 平成 20 年度日本生体医工学会九州支部学術講演会, 2009 年 3 月 7 日, 九州大学(福岡県).
- ⑩ 森田康之, チェンリホエ, 東藤貢, 松下恭之, 内野正和, 新川和夫, デジタル画像相関法による歯科インプラントを植立した骨モデルの変形分布計測の試み, 日本機械学会第 21 回バイオエンジニアリング講演会, 2009 年 1 月 23 日, 札幌コンベンションセンター(北海道).

[図書] (計 1 件)

- ① Y. Morita, M. Uchino, M. Todo, L. Qian, Y. Matsushita, K. Arakawa, and K. Koyano, Dental occlusal deformation analysis of porcine mandibular periodontium using digital image correlation method, Interface Oral Health 2009, 2010, 150-152, Springer.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森田 康之 (MORITA YASUYUKI)

名古屋大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号：90380534