

学位研究紹介

インプラントと骨の結合様式およびインプラントの応力緩衝機構が周囲骨応力に及ぼす影響について

—三次元有限要素法を用いた静的・動的解析—

The Stress-Absorbing Effect of Implant-Bone Interface and Stress-Absorber Designed for Implants on Stress in Bone : Static and Dynamic Analyses by Three-Dimensional Finite Element Method

新潟大学歯学部歯科補綴学第2講座¹
歯科理工学講座²

西山 真悟¹, ロクサーナ・ステガロイ¹
草刈 玄¹, 宮川 修²

Department of Fixed Prosthodontics, School of Dentistry,
Niigata University, Niigata, Japan¹

Department of Dental Materials and Technology,
School of Dentistry, Niigata University, Niigata, Japan²

Shingo Nishiyama¹, Roxana Stegaroiu¹
Haruka Kusakari¹, Osamu Miyakawa²

目 的

骨とリジットに結合するオッセオインテグレーションインプラントは、天然歯のような歯根膜を持たないことから、咬合により骨に大きな応力が生じ、それがときに骨吸収の原因になるといわれている。この事からインプラントに緩衝機能を持たせようと、上部構造体の咬合面にレジンを用いたり、インプラント内部に緩衝機構を持たせたりと様々な方法が考えられ、その効果についての力学的解析も様々報告されてきた。しかしこれまでの解析は静的荷重下で観察したものがほとんどであり、局所への応力集中の程度、つまり応力の分散効果については観察できるものの、平衡状態に至るまでの過程は全く考慮されない。緩衝機能について検討を行う場合、応力分散効果のほかに、応力の時間的変化を考慮した動的解析による検討も必要と考えられる。そこで三次元有限要素法を用いた動的解析を行い、インプラントと骨との結合様式およびインプラントに用いた緩衝機構を変化させ、骨に生じる応力の経時的变化から、その緩衝効果について比較検討した。

実 験 方 法

[実験1]

インプラントと骨との結合様式の違いが周囲の骨に及ぼす影響を検討するため、3つのモデルを設定した(図1)。

Model A: インプラントが頸部の皮質骨と、内部の海綿骨によって支持されている

Model B: インプラント周囲を緻密骨が一層取り巻いている

Model C: インプラント周囲を歯根膜に相当するようなFlexible Layerが一層取り巻いている

[実験2]

インプラントに用いた緩衝機構の違いが周囲の骨に対する影響について検討するため、解析1のBモデルの一部を改変して、次の3つのモデルを設定した(図2)。

Model RC: 上部構造体にコンポジットレジンを使用したもの

Model PT: インプラント頸部にレジン製プレートを介在させて、上部構造体に可動性が与えられる

Model PB: PTモデルのレジン製プレートの中心を

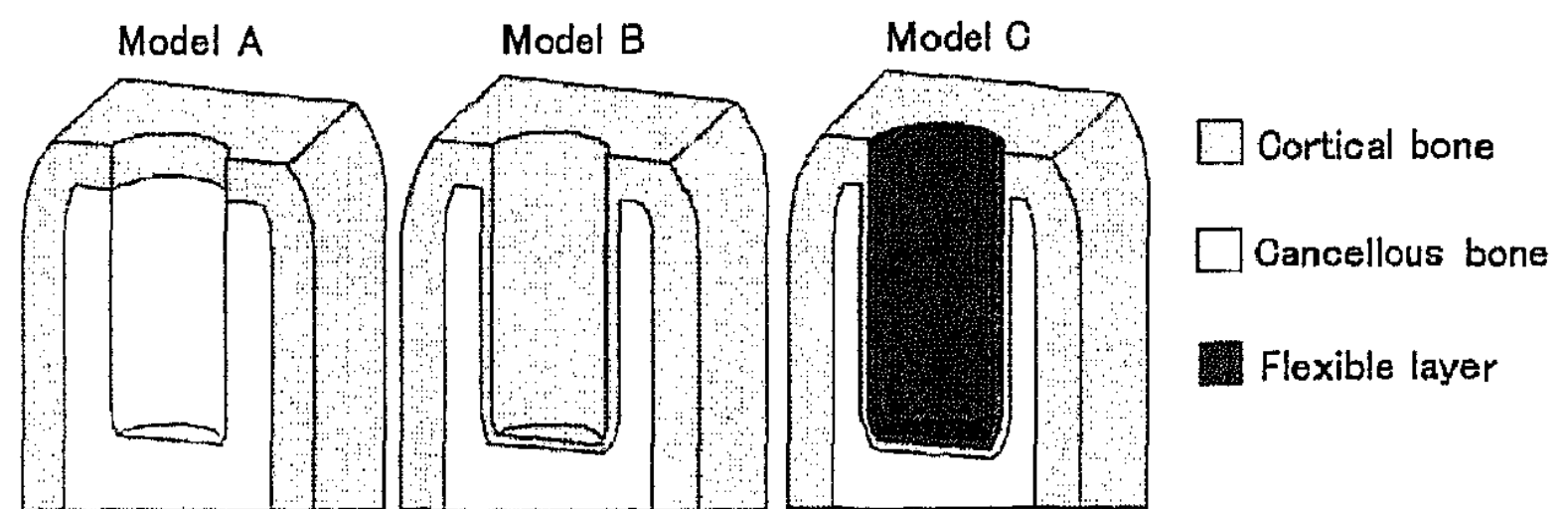


図1 実験1で使用したモデル

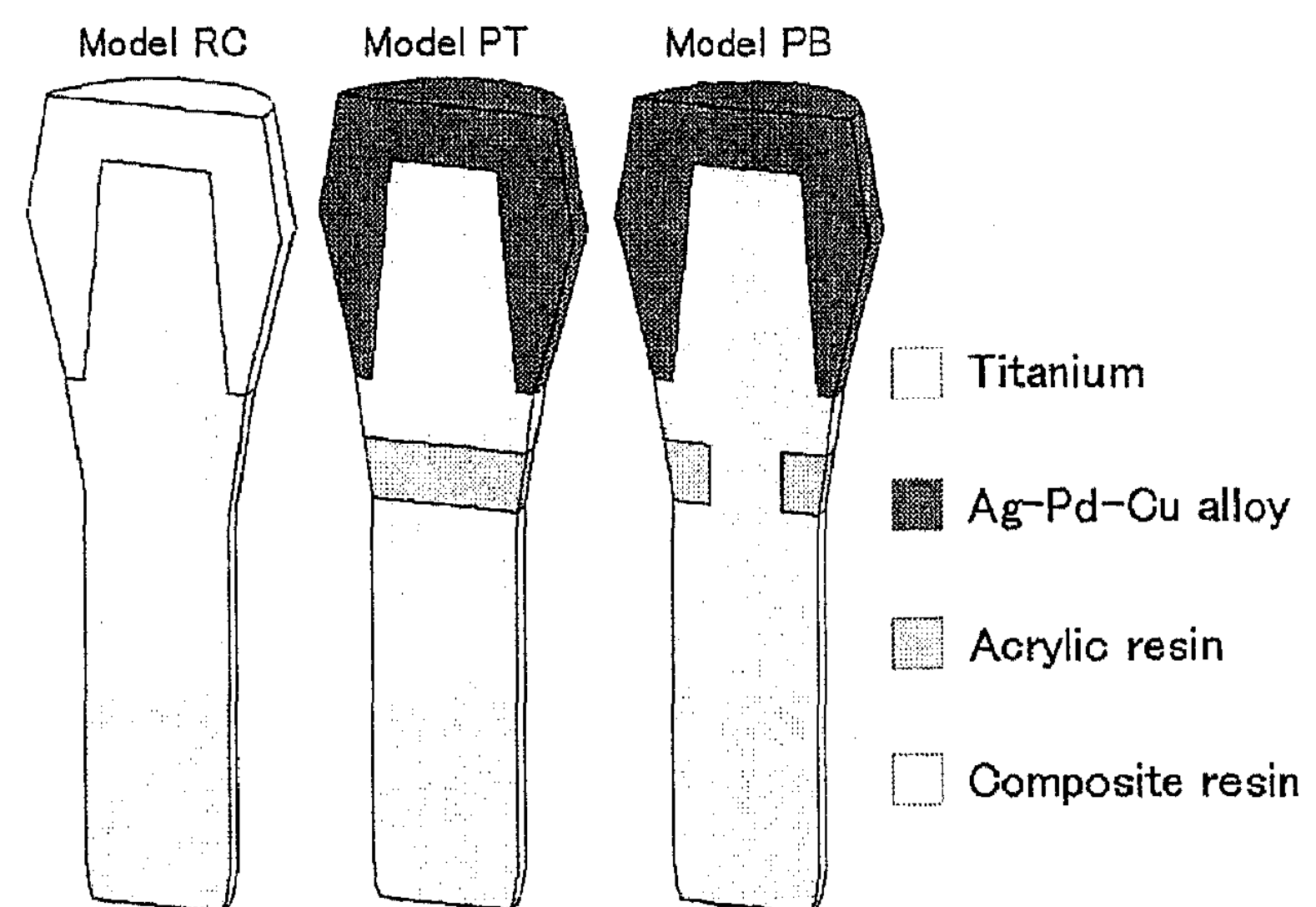


図2 実験2で使用したモデル

直径1.0mm チタンが貫通して上部構造体の可動性を制限する

解析は3種類行った。つまり、上部構造体の歯冠中央部に荷重10Nをインプラントの長軸方向、あるいは頬舌方向に加えた静的解析、各モデルについて固有振動数を求めたモーダル解析、上部構造の歯冠中央部に2種類の荷重速度で、インプラントの長軸方向あるいは頬舌方向に荷重を与えた過渡応答解析である。荷重速度は次の通りとした。

a) 0.1msで10Nまで比例的に増加し、その後も10Nで維持する荷重(以下、速い荷重と呼ぶ)

b) 1msで10Nまで比例的に増加し、その後も10Nで維持する荷重(以下、遅い荷重と呼ぶ)

解析には汎用有限要素プログラム(ANSYS REV. 5.3, ANSYS Inc.)を使用し、計算にはパーソナルコンピュータ(DELL社製 Optiplex GXMT5133)を用いた。モーダル解析の解法にはサブスペース法を、過渡応答解析の解法は陰解法の一つであるNewmark法を用い、タイムステップは0.02msとした。

インプラント周囲の骨において、特徴的な応力変化を示した5つの計測点、つまりインプラント頸部、皮質骨と海綿骨の移行部、インプラントの中央部、インプラント底部の隅角部、インプラント底部を選択し、各点における応力とその時間変化について比較検討を行った。応力の評価にはvon Miseses相当応力を用いた。

結果と考察

実験1のモデルA, Bつまり、オッセオインテグレーションしたインプラントの骨中の最大応力は、荷重方向

や荷重速度に関わらず、インプラント頸部に生じた。また、骨の反応は、荷重の立ち上がり方と、インプラント全体の固有振動数の周期に強く依存し、周期の長い頬舌荷重時では動的な影響が強く現れた。インプラント長軸方向の周期は頬舌方向に比べて3倍短いことから、さらに速い荷重速度がインプラント長軸方向に加わると、骨の動的な反応(応力の急激な増加、最大応力値の増加、大きな振幅を伴う減衰振動)がより顕著に現れる可能性が示唆された。頬舌方向に速い荷重速度を加えると、インプラント頸部の最大応力値は、静的荷重時の約1.5倍を示した。インプラントに加わる荷重の正確な大きさや荷重速度はわかっていないが、上記のことからインプラントの植立や上部構造は、側方力を極力避けるように注意することが必要である。

モデルCでは、緩衝層の軟性が応力の分散効果として働き、高い粘性が遅延弾性の効果をもたらし最大応力値を減少させ、動的な緩衝効果により減衰振動を防いだ。このことは、インプラント頸部の応力による骨吸収の危険性を減少させるものと考えられる。

実験2のモデルPTでは、頸部での静的応力値が増加し、固有振動数が減少したことから、頬舌的な速い荷重を加えた場合には、頸部の骨には応力緩衝にネガティブな作用として働くことが示唆された。

モデルPBでは、頸部の骨の応力集中を緩和したが、連結部の細いチタンに非常に大きな応力が生じ、そこからの破折が懸念された。

また、モデルRCでは静力学的な応力分散効果は得られなかったが、頬舌方向の固有振動数があがり、結果的に応力の減衰振動の振幅を小さくすることで、ある程度の動的な緩衝効果が認められた。