

CAD/CAM を用いた熱可塑性樹脂製矯正装置の矯正力発現に関する生体力学的検討

A biomechanical analysis about thermoplastic orthodontic appliance treatment Using CAD/CAM system

○永良百合子(昭和大)、小関道彦(東工大)、島田幸世(東工大)、木村仁(東工大)、
伊能教夫(東工大)、阿部有美子(昭和大)、槇宏太郎(昭和大)

Y. NAGARA¹, M. KOSEKI², Y. SHIMADA², H. KIMURA², N. INOU², Y. ABE¹, K. MAKI¹

¹Dept. Dentistry, Showa University., 2-1-1, Kitasenzoku, Ota-ku, Tokyo, 145-8515 Japan

²Dept. Mech. Ctrl. Eng., Tokyo Institute of Technology, 2-12-1, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8550 Japan

An invisible orthodontic treatment using 3D CAD/CAM system (Invisalign®, Align Technology, inc, Santa Clara, CA) was introduced to the orthodontic community in 1999. Although we have many patients using its product, the mechanical condition of this appliance doesn't make clear. This study aims to analyse the mechanical conditions at a periodontal organization. We present an integrated approach with two methods engineering to investigate the mechanical stress and strain under this treatment. One is the 3D finite element method based on the X-ray CT data. The other is the mechanical measurement using 6axis sensors.

Key word: Orthodontics, thermoplastic appliance, finite element method, Force sensor

1. はじめに

近年、歯科矯正治療に対する患者の審美的要求は強く、図 1 に示すような CAD/CAM を用いて熱可塑性樹脂によって作られた可撤式透明装置による矯正治療が普及しつつある。



Fig.1 Thermo plastic orthodontic appliance.

この装置は従来のブレース装置に比べ、審美的であり、また取り外し可能の為、口腔内清掃が容易である。しかしながら、この装置の矯正力発現の力学状況は不明であり、臨床ではこの様な予期せぬ動きに図 2 に示すような補助装置を用いて対応している。



Fig.2 Support appliance for the unexpected movements at 1st molar and 2nd premolar.

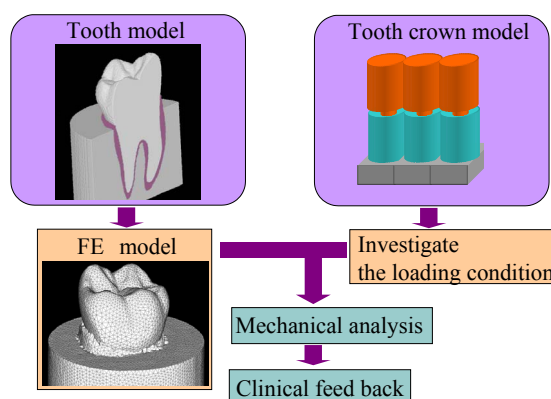


Fig.3 Block diagram of this research.

そこで本研究では、歯周組織を含めた三次元歯モデルを用いた数値解析的手法と、歯冠模型および六軸フォースセンサを用いた実験的手法によって、適切な歯の移動を実現する矯正装置の設計を目指している。検討対象としては、予測実現性の低い歯の移動様相である、下顎第一小臼歯挺出、および下顎第一大臼歯近心移動と、日本人の矯正治療に特徴的な移動様相である、上顎側切歯唇側移動を選んだ。

本稿では、本研究で用いる手法を説明し、現在までに得られた結果を示す。

2. 研究方法

本研究は、図 3 に示す手順で行われる。図中において左側は計算機シミュレーションによる解析手法を示している。シミュレーションでは、筆者らが

提案している個別別モデリング手法¹⁾に基づき歯、歯根、および歯槽骨をモデル化し、有限要素法により応力解析を行う。ここで、有限要素解析によって信頼性の高い解析結果を得るためには的確な力学条件を設定する必要がある。しかし、本矯正装置によって歯に加わる力学条件を正確に把握することは困難である。このため今回は、荷重条件を設定する部位として、歯周組織を含む模型に対し製作した矯正装置の接触部位を特定する事とした。また荷重の大きさは、次に述べる実験の結果に基づき推定する事を考えている。

図3右側は、歯冠模型を用いた実験手法を示している。この実験は、隣り合う三本の歯について力学状態を把握する事を目的としており、三個の六軸フォースセンサを利用している。装置にあわせて製作した矯正装置を不正歯列を模擬した状態で装着することにより、各々の歯冠基部における並進力およびモーメントを求める事が可能である。

以上の解析結果と実験結果を比較することにより、解析に用いる境界条件の推定が可能となり、歯根膜部の応力状態について詳細な検討ができると考えている。

3. 結果

3.1 有限要素モデルの構築

筆者らが提案している個別別有限要素モデリング技術¹⁾は、X線CT撮影によって得られるマルチスライス画像に基づいている。そこで、上顎側切歯、下顎第一大臼歯、第二小臼歯の模型についてX線CT撮影を行った。CT撮影にはマイクロフォーカスX線CT装置（コムスキャンテクノ（株）、Scan Xmate-A130ss940）を用いた。得られたマルチスライス画像を基に構築した有限要素モデルを図4に示す。現在、このモデルをベースに歯根膜、歯槽骨を含めた解析モデルを構築中である。

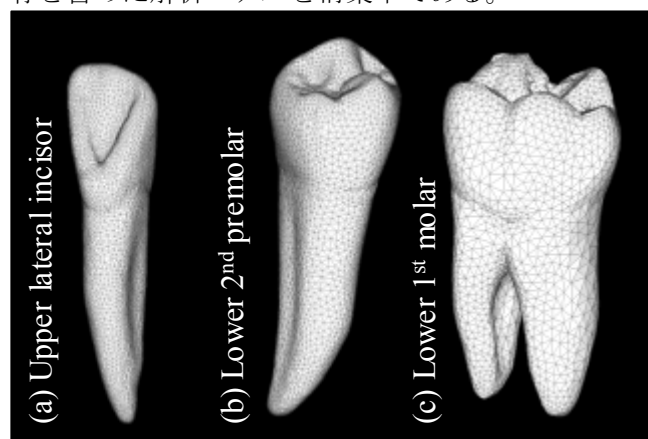


Fig.7 Finite element models.

3.2 力学状態の測定実験

歯冠擬似模型を用いた力学状態の計測装置として、図5に示す実験装置を製作した。本装置は、三個の歯冠模型の位置を相対的に変化させる事が可

能になっており、この装置にあわせて製作する矯正装置によって加えられる並進力およびモーメントを測定する事が可能である。今回の実験では簡単のため歯冠模型として円柱形状を用い、実際の矯正装置と同様に真空造型により0.5mmのPET板材を加工した。製作した実験装置を用いて、側切歯唇側歯体移動を模擬した設定で力学状態を測定した。図6に示す結果では、中央の歯冠基部には並進力だけでなくモーメントが強く生じていることを示しており、これは臨床での経験を裏付けている。



Fig.5 Measurement device and thermoplastic appliance for the device.

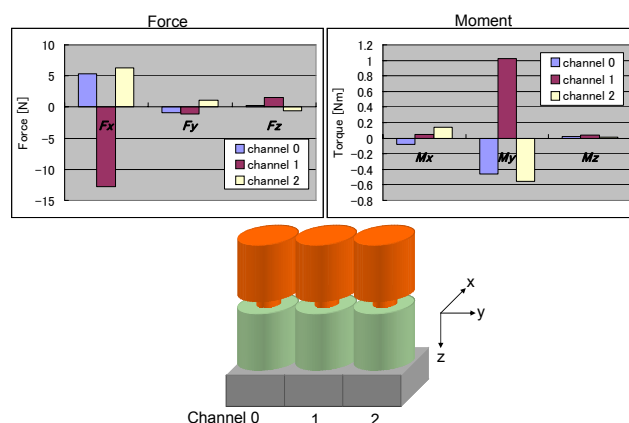


Fig.6 Measured forces and torques.

4. まとめ

本稿では、熱可塑性樹脂によって作られた審美的矯正装置が矯正力を発現する現象について、数値解析的・実験的に検討する方法を提案した。歯体移動を模擬した今回の実験では、並進力だけでなくモーメントが観察され、歯が傾斜移動してしまうことが予想される結果となった。今後、より詳細な実験を進めるとともに、歯周組織を含めた有限要素モデルを完成させ、歯周組織全体の力学状態を把握することを目指している。これにより、適切な歯の移動を実現する矯正装置の設定が期待される。

参考文献

- 1) 小関道彦, 上西雅也, 伊能教夫, 槇宏太郎: X線CT画像に基づく骨体の個別別モデリング手法に関する研究 (骨形態を考慮した要素分割手法の提案); 日本機械学会論文集 C編, Vol.72, No.717, pp.1470-1477, 2006