

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考察

An 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)
伊能 教夫 (東工大)、小倉 有美子 (昭和大)、槇 宏太郎 (昭和大)

Y. NAGARA¹, M. KOSEKI², Y. SHIMADA², N. INOU², Y. OGURA¹, K. MAKI¹

¹Dept. Dentistry, Showa Univ., 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. However, a mechanical effect on teeth by this appliance has not been clear. This study aims to investigate the mechanical conditions at periodontal tissues. In this paper, we propose estimation method of orthodontic forces using a simple numerical model. In addition, we present fabrication method of tooth crown models by rapid prototyping.

Key words: Orthodontics, Thermoplastic appliance, Numerical model, Rapid prototyping.

1. はじめに

近年、図 1 に示すような CAD/CAM を用いた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。しかし、この装置が発現する矯正力の力学状態は不明であり、歯が予期せぬ動きを示す場合がある。このような場合、臨床では図 2 に示すような補助装置を用いて対応している。

そこで本研究では、適切な歯の移動を実現する矯正装置の設計方法について生体力学的な観点から検討している。前稿では、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り。本稿では、矯正装置が発生する力を線形バネモデルとしてモデル化し、矯正力を見積もる方法を提案する。また、今後の実験に使用する拡大歯冠模型をラピッドプロトタイプにより作成する手法について述べる。

2. 矯正力のバネモデル化

本研究では、歯冠模型を用いた実験により得られる力学条件を用いて有限要素解析を行い、歯根周辺組織の力学状態を算出することを考えている。手法の概要を図 3 に示す。ここで行う実験では、三個の六軸力センサを使用することによって隣り合う三本の歯の力学状態を把握する事を目的としている。センサが整列した状態で製作した矯正装置を、不正歯列を模擬した状態に対して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。

しかし、新たな矯正装置を開発するためには、その装置が発生する矯正力をあらかじめ見積もる手段があることが望ましい。そこで、矯正装置が発生する力を図 4 のように線形バネモデルとしてモデル化することを試みた。歯を頬舌側方向に移動する場合について実験した結果を図 5 に示す。



Fig.1 Thermoplastic orthodontic appliance.



Fig.2 Support appliance for the unexpected movements.

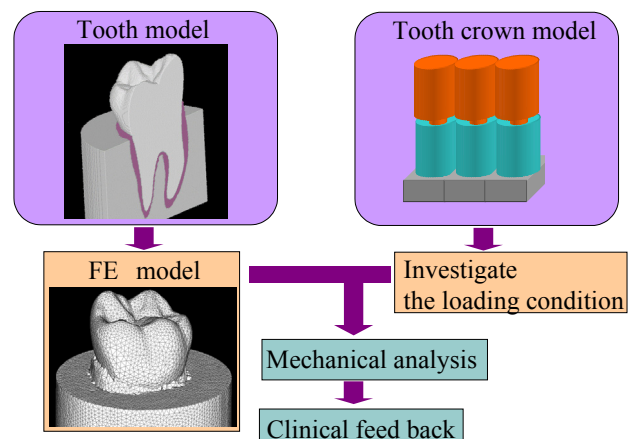


Fig.3 Block diagram of this research.

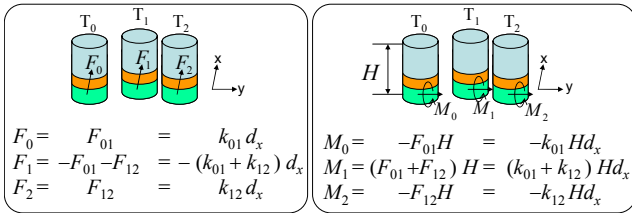
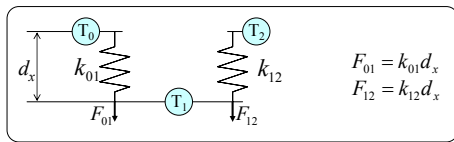


Fig.4 Numerical modeling of orthodontic force.

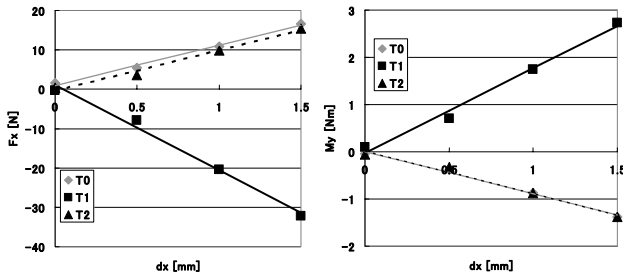


Fig.5 Measured forces and torques.

図5に示す実験結果からは、歯の変移量 d_x を変化させたとき、並進力 F_x およびモーメント M_y がほぼ線形に変化することが分かる。このことは、モデル化に用いたバネ定数 k_{01} および k_{12} をこれらの直線の傾きから求めることが可能であることを示している。さらに、センサのトルク算出中心から歯冠頂点までの高さ H を考慮することにより、モーメント M_y のグラフから求まるバネ定数が、並進力 F_x のグラフから算出した結果と一致した。以上により、図4に示したモデル化は妥当であると考えられ、新しい矯正装置を開発する際に適用可能と期待される。

3. 拡大歯模型の製作

これまでの実験では歯冠形状を単純化し、円柱を用いていた。しかし、より正確に矯正力を計測するためには、実際の歯の形状に基づいた模型で実験することが望ましい。そこでX線CT画像から歯の三次元形状を計測し、その情報からラピッドプロトタイプにより拡大歯模型を構築することを試みた。その手順は以下の通りである。

- 1) 歯の模型をX線CT撮影
- 2) X線CT画像から歯の表面形状を算出
- 3) センサの外形寸法に合わせてスケール調整
- 4) ラピッドプロトタイプング

今回は、今後の実験に使用する予定の上顎中切歯、側切歯、犬歯、下顎第一、第二小臼歯、第一、第二大臼歯について拡大歯模型の製作を行った。CT撮影にはコムスキャンテクノ(株)製マイクロフォーカスX線CT装置 ScanXmate-A130SS940を用いた。また、ラピッドプロトタイプングには Stratasys Inc.製汎用造形機 Prodigy Plusを用いた。

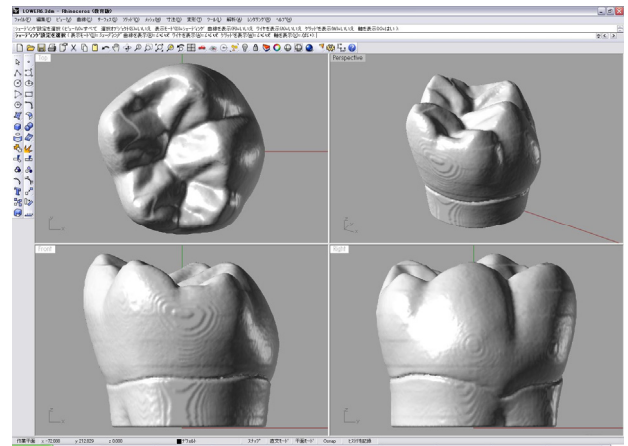


Fig.6 3D reconstructed image of lower 1st molar.



Fig.7 Fabricated tooth crown models.

X線CT画像から三次元再構成した第一大臼歯を図6に示し、上記の手順により製作された7つの拡大歯冠模型を図7に示す。実験に用いる六軸力センサは直径50mmであるため、今回製作した歯冠模型のうち最も小さい上顎側切歯の幅が約53mmとなるように全体をスケール調整している。

今後、この歯冠模型を用いて力学実験を行い、歯冠形態と力学状態の関係について検討する予定である。

4. まとめ

本稿では、矯正装置が矯正力を発現する現象が簡易な線形バネモデルによって表現可能であることを示した。また、矯正を模擬した力学実験を行うため、X線CT画像からラピッドプロトタイプにより拡大歯冠模型を製作する手法を確立した。

今後、製作した拡大歯冠模型を使用してより適切に矯正力を計測するとともに、歯周組織を含めた有限要素解析によって歯周組織全体の力学状態を把握することを予定している。

参考文献

- 1) 永良百合子, 小関道彦, 島田幸世, 木村仁, 伊能教夫, 阿部有美子, 槇宏太郎: 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; 第14回顎顔面バイオメカニクス学会大会抄録集, pp.39-40, 2006.