

K-20

有限要素法を用いた静力学解析におけるアライナー型矯正装置の形状最適化手法の検討

A Study on Shape Optimization Method for Aligner Type Orthodontic Treatment of Static Analysis Using Finite Element Method

○久野智博¹, 大塚賢哉², 田畑昭久², 青木義男²*Tomohiro Hisano¹, Kenya Ohtsuka², Akihisa Tabata², Yoshio Aoki²

Abstract: Treatment methods in orthodontics include the multi-bracket method and the aligner-type orthodontic method. And the aligner-type orthodontic method is desired in recent years from the perspective of improving aesthetics. On the other hand, currently there are only a limited number of cases to which aligner-type orthodontics can be applied. Therefore, in this paper, we investigated a finite element analysis model for evaluating the mechanical effect of the cross-sectional shape of aligner-type orthodontic devices on teeth, which serves as the basis for application to a variety of cases.

1. はじめに

歯科矯正における治療方法として、マルチブラケット法とアライナー型矯正法がある。Figure 1 にマルチブラケット、Figure 2 にアライナー型矯正装置の例を示す。ここでマルチブラケット法とは、歯並びを治療する歯の表面にブラケットという装置をつなぐように金属製のワイヤーを通し、ワイヤーの復元力で少しずつ歯を移動させて歯列を矯正する方法であり、既に多くの症例に対応できている^[1]。一方、アライナー型矯正法は、患者の口腔内石膏模型や 3D スキャニングデータを用いて作成された、薄い透明なプラスチックを歯に被せる形で装着し、歯列各部の位置によってアライナーが変形したときの弾性力を、矯正力として歯に加える方法である。

近年、歯科矯正治療を希望する患者の多くは、歯列あるいは顔貌の形態を改善することによって、審美性の改善に繋がることや、マルチブラケット法と比べて着脱式であり、装着した際の審美面で優れているといったことから、アライナー型矯正装置を用いた矯正治療の需要が高まっている。

しかし、アライナー型矯正法はマルチブラケット法に比べ適用可能な症例に限られる。アライナー型矯正法はまず、歯列全体にアライナーを被せて矯正治療を行う為、動かす部分とそうではない部分を明確に作ることが難しく、大きく動かす必要がある症例では対応が困難である。また、装置トラブルや長期間の治療をも経ても効果が得られない問題などの課題がある。

本論文では、アライナー型矯正装置の断面形状が歯に与える力学的影響について検討し、模擬歯模型矯正力測定実験で用いられた矯正装置の最適形状を見出す

ための、有限要素解析モデルを検討したので報告する。

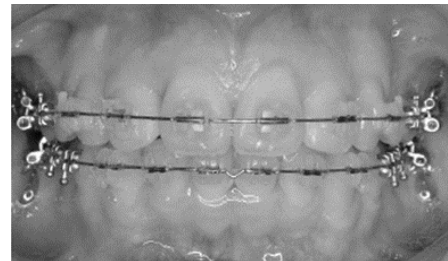


Figure 1. Orthodontic bracket

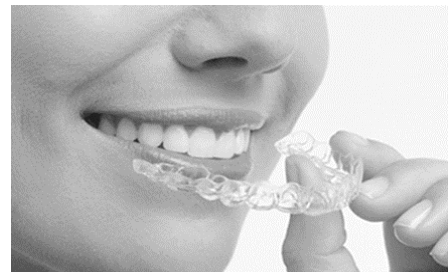


Figure 2. Aligner for orthodontic treatment

2. 模擬歯模型矯正力測定実験

有限要素解析モデルの妥当性の検討のために、予め模擬歯と模擬歯模型適合アライナーを用いた、矯正力測定実験を行った。

前歯の先端から奥歯の外側にかけて弓の形を描いている曲線は歯列弓とよばれる。今回作成した模擬歯の歯列には、Figure 3 のように右側の前歯から奥歯までを 1A から 7A、左の前歯から奥歯までの歯列を 1B から 7B と番号を付与している。この実験では右側犬歯 (3A) が正常咬合の歯列弓から 0.25 mm ずれた不正咬合を初期

状態とし、正常咬合の歯列へ移動させる症例を想定した。模擬歯の正常咬合の歯列をもとに作成されたアライナー型矯正装置を被せることで、変形によって生じた弾性力が歯に与える矯正力を測定し、アライナーの厚みを0.50, 0.75, 1.00 mmと変更した際の矯正力の大きさや方向の違いを比較検討した。結果、治療想定である唇頬側へ突出している3Aに1番高い矯正力が加えられ、アライナーの厚みの増加ごとに矯正力が増加していくことがわかった。

3. 有限要素法を用いた静的応力解析

模擬歯模型矯正力測定実験で得られた矯正力分布に基づき、有限要素解析に用いるアライナー型歯列矯正モデルの作成と評価を行った。モデリングと解析にはAutodesk社のFusion360を用い、境界条件は歯列の存在に基づく固定拘束とし、弾性体としてのアライナー表面が歯列に接触する構造とした。

そして今回、有限要素解析結果を示すモデルは、模擬歯模型測定実験で用いた厚さ0.5 mm、材質はDental LT Clear Resin v2に基づいた材料定数を設定し、上顎の3A（右側犬歯）のみが0.25 mmずれた歯列から正常咬合の歯列へ移動させることを想定したものである。Figure 3のように矯正装置の3A（右側犬歯）のみが唇頬側の面に強制変位（ $X=0.1057$ mm, $Y=0.2266$ mm）の位置に与え、3Aを挟むように固定拘束の条件をいくつか試みた。

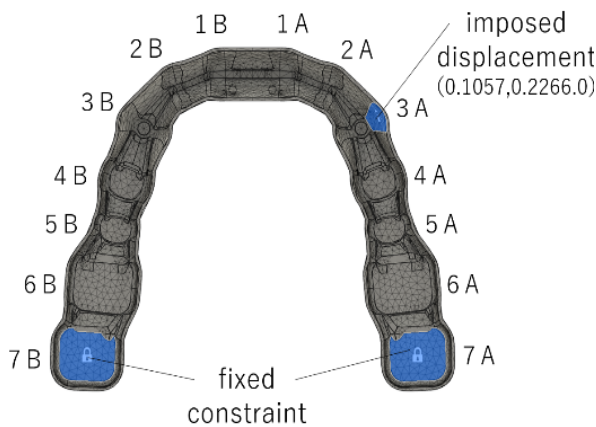


Figure 3. Boundary condition for analysis model at aligner type orthodontic appliances

その中でも、特に最も奥に位置する7A・7Bに固定拘束し、矯正力を発生させた結果をFigure 4に示す。また、Figure 5は有限要素解析モデルの妥当性について検討するための、模擬歯模型矯正力測定実験で得られ

た矯正力である。いずれも3Aから4Aに大きな矯正力を負荷できていることが読み取れる。

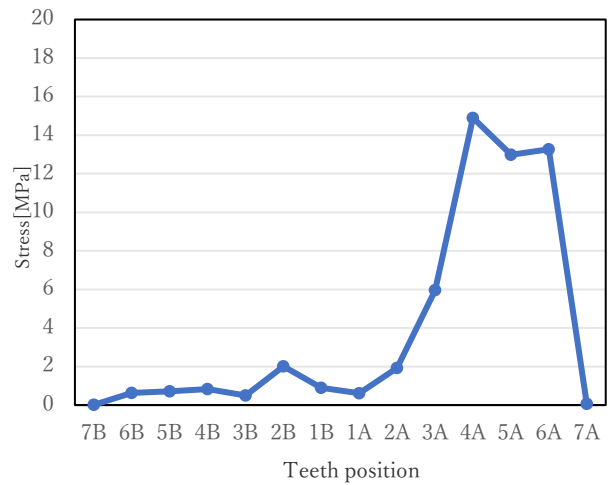


Figure 4. Stress distribution

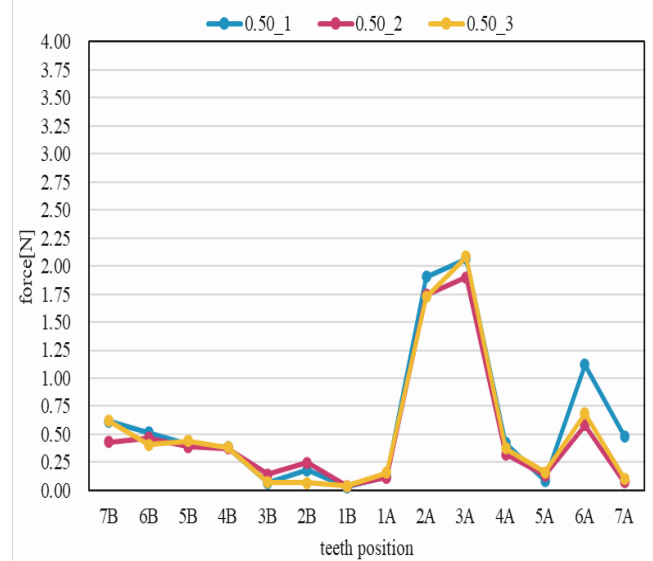


Figure 5. Orthodontic force distribution

4. 結言

アライナー型矯正装置の矯正力発生箇所については、有限要素解析モデルにおいても、模型による結果に近いものが得られた。治療対象の歯以外へのアライナーによる負荷については、今後はより歯列の凹凸形状に即した境界条件を設定した上で検討を行う。

5. 参考文献

[1] 相馬 邦道 他「歯科矯正学 第5版」, 医歯薬出版, 2008