

## 歯列矯正用アーチワイヤーによる矯正力の有限要素解析

日大生産工 (院) ○多部田敦己  
日大・歯 中嶋 昭

日大生産工 西 恭一 日大生産工 高橋 進  
日大・歯 小作一仁 日大・歯 清水典佳

### 1 緒言

歯科矯正治療において曲げ変形によって Closing loop を付加したアーチワイヤー (Closing arch wire : 以下CAW) の弾性回復による力 (矯正力) を利用することで特定の歯を隣接する歯に向かって移動させる。

しかし、その設計および製作は歯科矯正医の経験に依存しているため、歯の表面に対して適切な矯正力を与えることは難しく、歯科矯正医が意図しない方向へ歯が移動することがある。したがって、事前に歯の移動方向のための最適なCAWによる矯正力を予測することが重要である。

そこで本研究では、有限要素法解析 (FEA) を用いた矯正力を予測するための解析手法を提案する。さらに本手法を用いてCAWの形状変化による矯正力への影響を調べ、CAWの定量的な設計方法の構築につなげることを目的とする。

### 2 解析方法

本研究では3D-CAD・CAE統合ソフトウェアであるSOLIDWORKSを用いて、3D-CADモデルの構築およびFEAを行う。

#### 2.1 解析対象<sup>1)</sup>

歯科矯正治療における歯の名称・番号をFig.1に示す。本研究では第一小臼歯 (T4) および第三大臼歯 (T8) を抜歯後、犬歯 (T3) を第一小臼歯のあった位置まで移動した状態から、CAWを用いて側切歯 (T2) を犬歯と接するまで移動させる治療を解析対象とする。

#### 2.2 解析モデル

本研究では頭蓋骨模型のCT画像をもとに上顎歯列・歯槽骨モデル (Fig.2), Table1の諸元表をもとにCAWモデル (Fig.3 : Closing loopがT2に装着されたブラケットの端とClosing loopの中心線までの距離が2mmの位置にあるモデル) をそれぞれ構築する。さらにCAWはClosing loopの中心線を基準とし、奥歯方向へ1mm毎に8mmまで移動したモデルも用意する。

一方、FEAモデルは各歯にCAWを固定するためのステンレス製ブラケットもモデル化して装着し、さらにモデルの対称性からFig.4に示すように上顎歯列全体の右側をモデル化する。

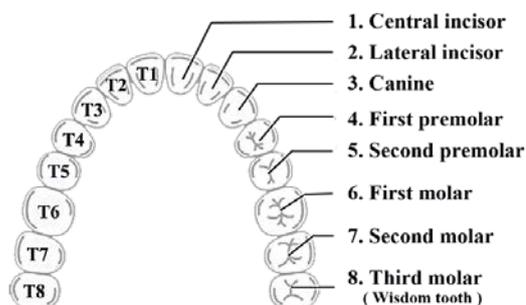


Fig.1 Tooth names and numbers

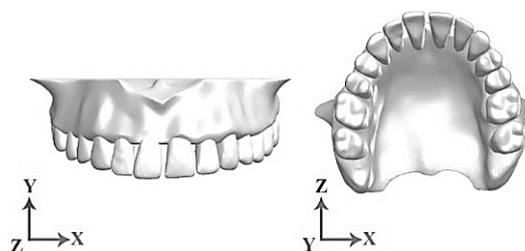


Fig.2 Maxillary model (Dentition & alveolar bone)

Table 1 Dimensions of closing arch wire <sup>1),2),3)</sup>

Wire of cross section [in]	0.020×0.025
Material	SUS304
Lingual root torque (Twisting angle)	T2-T1   T1-T2 : +10° T3   T3 : -7° T7-T5   T5-T7 : -12°
Dimensions and position of closing loop	Height : 7.5mm Width : 2.0mm Position : T3-T2   T2-T3
Activation amount	1.0mm

## Study on Finite Element Analysis of Orthodontic Force from Arch Wire

Atsuki TABETA, Yasukazu NISHI, Susumu TAKAHASHI,  
Akira NAKAJIMA and Noriyoshi SHIMIZU

また、このFEAモデルのCAWのブラケット装着位置 (Fig.4におけるT1~T6) に仮想壁および強制変位を付加することで、活性化量 (Closing loopの奥歯方向への開き量) 1mmを付加した装着時のCAW形状と一致させる。このFEA結果から各ブラケットスロット部に作用するXYZ方向の矯正力(=反力)を得る。FEAに使用した材料定数をTable2に示す。

なお、このFEAはCAWモデルのみで行うため、短時間での解析が可能であることが特徴である。これによりCAWの形状検討を効率よく行うことができる。

これまでの解析<sup>2), 3)</sup>では境界条件として強制変位およびスライド拘束が付加できない部位に対して荷重を用いていたため、CAW形状が装着後の状態に一致するまで解析を繰り返し、荷重の値を調整する作業があった。しかし、本手法は仮想壁を用いることでこの問題を解決し、解析の効率および精度の向上が期待できる。

### 3 結果および考察

Closing loop位置を変化させた時の影響を最も大きく受けた各ブラケットに生じるY方向のCAWの矯正力をFig.5に示す。すべての場合において、前歯部(T1,T2)の変化が極めて小であることから、Closing loop位置を変えた時、前歯部上下方向の矯正力への影響は少ないことがわかる。また、T2付近(0~1mm)およびT3付近(7~8mm)の奥歯部(T3~T7)に掛かる矯正力が大きく変化しているが、それ以外の範囲(2~7mm)では変化がない。このことからClosing loopが抜歯による歯間両端付近に位置するほど、奥歯に上下方向の矯正力へ及ぼす影響が大きく、それ以外の位置では少ないことがわかった。

なお、Closing loop位置が8mmの場合のT3への矯正力は0に近い値を示しているが、これはClosing loopがT3に隣接する時、T3のブラケット相当部とClosing loopは平行に近づく。つまり、T3の部分はブラケット内を平行にスライドする状態となるため、矯正力が発生しなかったと考えることができる。



Fig.3 CAW model

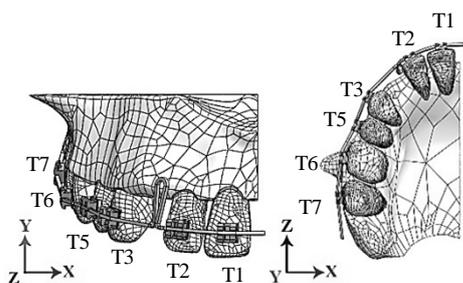


Fig.4 FEA model

(Closing loop position: Default)

Table 2 Material properties <sup>1),2),3)</sup>

Material	Young's modulus [GPa]	Poisson's ratio
SUS304 (CAW)	197	0.30

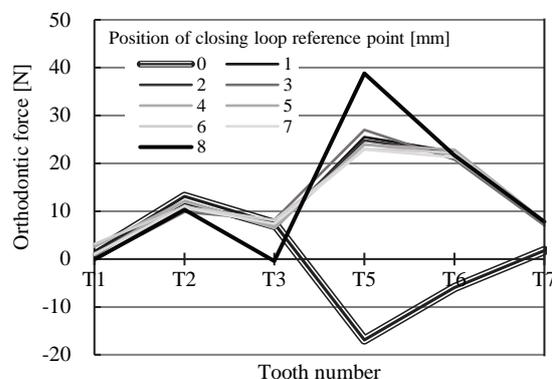


Fig.5 Example of result (Orthodontic force at location of bracket in Y direction that was most affected by position of changing closing loop)

### 4 結言

- 1) FEA単純化による解析時間の短縮によって、CAWの形状検討の効率を向上させた。
- 2) FEAによりCAWのClosing loop位置を変えた時、各ブラケット相当部に生じる矯正力を求める方法を明らかにした。
- 3) Closing loop位置変更による前歯部に掛かる上下方向の矯正力への影響が少ないことがわかった。
- 4) Closing loopが抜歯による歯間の両端付近に位置するほど、奥歯部に掛かる上下方向の矯正力へおよびす影響が大きく、それ以外の位置では少ないことがわかった。
- 5) Closing loopがT3(犬歯)に隣接する場合、T3に対する上下方向の矯正力がなくなることがわかった。

### 「参考文献」

- 1) 多部田敦己, 西恭一, 高橋進, 中嶋昭, 小作一仁, 清水典佳; 有限要素法解析を利用した Closing arch wire による矯正力の解析手法, 設計工学会 2017 年度春季研究発表講演会, (2017), pp.41-42.
- 2) 西恭一, 中嶋昭, 多部田敦己, 小作一仁, 清水典佳, 高橋進; Space closing の際に生じる矯正力についての検証, 第 75 回日本矯正歯学会大会, (2016), p.182.
- 3) A. TABETA, Y. NISHI, S. TAKAHASHI, A. NAKAJIMA, K. KOSAKU, and N. SHIMIZU; Study on Optimal Design of Closing Arch Wire in Orthodontic by using Finite Element Analysis, 6<sup>th</sup> PACME, (2017), p.54.