

歯列矯正用アーチワイヤーから生じる矯正力の解明

日大生産工（院） ○多部田 敦己

日大生産工 西 恭一

日大生産工 高橋 進

日大・歯 中嶋 昭

日大・歯 清水 典佳

1 緒言

歯科矯正治療の抜歯症例では、ワイヤーの力で前歯部を後方移動、臼歯部を前方移動することによって抜歯後のスペースを閉鎖する。そのため上顎の場合、ワイヤーの変形から発生する力(矯正力)による前歯部下方向、小臼歯部上方向、大臼歯部下方向への移動を最小限に抑制するVertical Controlを達成した前歯部の後方移動が必要となる。

実際の矯正臨床では、上顎前歯部の歯根が後方へ移動させるためのワイヤーのねじり屈曲 (Lingual root torque), 小・大臼歯部に対する垂直屈曲(Second order bend)およびClosing loopを屈曲するが、これらの屈曲は歯科矯正医の経験に基づき決定されているため、意図しない方向へ歯が移動することも多々ある。

そこで本研究では、有限要素解析(FEA)によってワイヤーからのブラケットを介した歯に対する矯正力(本報告では応力で代用する)を求める手法を確立し¹⁾, ワイヤー作製における設計法の提供を目的とする。

2 方法

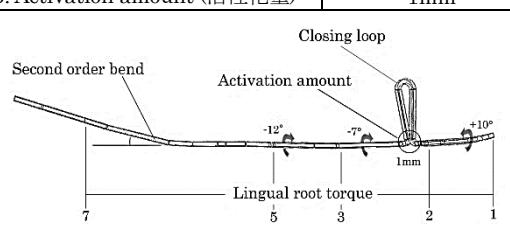
本研究ではニッシン社製頭蓋骨模型(Fig.1)のCT画像をもとに上顎歯列・歯槽骨モデル(Fig.2)を構築し、ワイヤーは実際に屈曲したClosing arch wire(Table1)をもとに 3D-CAD・CAE ソフトウェアのSOLIDWORKSにてモデル化(Fig.3)をする。

一方FEAモデルは、第一小臼歯を抜歯した症例において犬歯を第一大臼歯方向に送ることを想定し、Closing loopを側切歯後方に置いたケース(Case1), 側切歯・犬歯の中間に置いたケース(Case2)の2ケースについて検証をする。なお今回は対称問題とするため、構築した各モデルの右側を用いて両ケースをFig.4およびFig.5のように再現している。

また、このFEAモデルのワイヤー部のブラケット装着位置(Fig.4, Fig.5におけるi~vii)に強制変位および荷重を与え、活性化量1mmを付加した装着時のワイヤー形状と一致させることによって、解析結果から各ブラケットスロット部に生じる応力を得る。その応力値から算出される荷重 $P(=反力)$ をワイヤーからの矯正力とする。FEAに用いた材料定数をTable2に示す。

Table1 Closing arch wire 形状パラメータ

1.Wire size	0.20"×0.25" in
2.Material	Stainless steel
3.Lingual root torque	2-1 1-2 : +10° 3 3 : -7° 7-5 5-7 : -12°
4.Closing loop	Height : 7.5mm Width : 2.0mm Position : 3-2 2-3
5.Activation amount (活性化量)	1mm


Table2 材料特性²⁾

材料	ヤング率[GPa]	ポアソン比
歯	19.6	0.30
歯槽骨	13.7	0.30
歯根膜	0.666×10 ⁻²	0.49
ステンレス鋼 (SUS304)	19.7	0.30

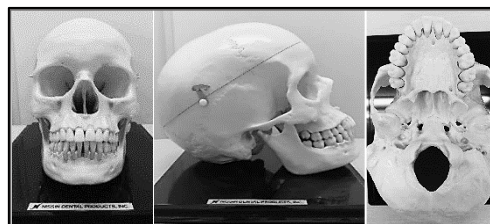


Fig.1 頭蓋骨模型

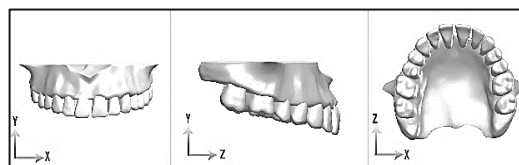


Fig.2 上顎歯列・歯槽骨モデル

Study on Orthodontic Force resulting from Deformation of Arch Wire

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

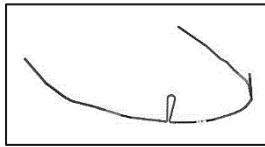


Fig.3 Closing arch wireモデル

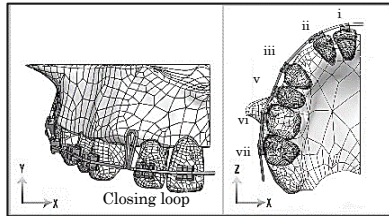


Fig.4 Case1 FEAモデル

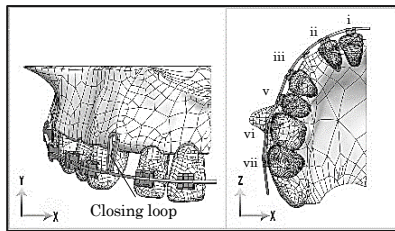


Fig.5 Case2 FEAモデル

3 結果および考察

Case1の解析による各ブラケットスロット部に生ずるXYZ方向の応力をFig.6に示す。Case1におけるワイヤーからの矯正力は、前歯部(i,ii)に斜め上後方・内側方向、犬歯部(iii)に斜め上前方・内側方向、小白歯部(v)に斜め上後方・外側方向、大臼歯部(vi,vii)に斜め下前方・内側方向へ生じることがわかった。また、前歯部へ後方・外側方向、犬歯部へ前方・内側方向へ応力が生じていることから前歯部を後方外側移動させ、犬歯を前方・内側方向へ移動させる、すなわち抜歯後のスペースを閉鎖するワイヤーからの矯正力を確認することができた。一方Vertical Controlに関して、前歯部は上方向への矯正力を確認でき、小・大臼歯部においてはそれぞれ反対方向への矯正力が生じているものの、小白歯部は上方向に26.97 [MPa]、大臼歯部は下方向に11.61 [MPa]と前歯部の合計3,843[MPa]、犬歯部の2,537[MPa]と比べ応力値が小であるため、小白歯部上方向、大臼歯部下方向への移動を最小限に抑制していると判断することができる。よって、Case1は適切なVertical Controlを達成した前歯部の後方移動を実現可能であると考えることができる。

Case2の解析による各ブラケットスロット部に生ずるXYZ方向の応力をFig.7に示す。Case2におけるワイヤーからの矯正力は、前歯部に斜め上後方・内側方向、犬歯部に斜め上前方・内側方向、小白歯部および大臼歯部に斜め上前方・外側方向へ生じることがわかった。また、前歯部へ後方・外側方向、犬歯部へ前方・内側方向へ応力が生じていることから前歯部を後方・外側移動させ、犬歯を前方・内側方向へ移動させる、すなわち抜歯後のスペースを閉鎖するワイヤーからの矯正力を確認することができた。一方小白歯部に上方向の

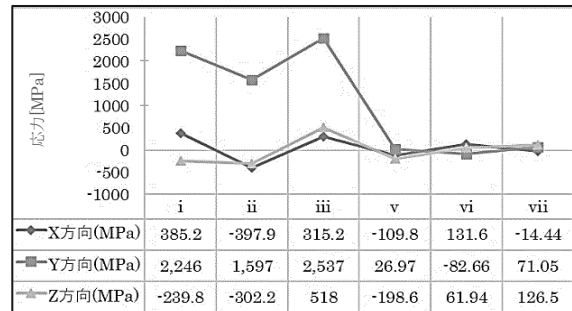


Fig.6 Case1 解析結果

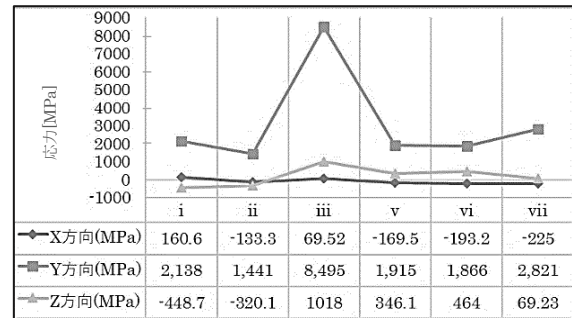


Fig.7 Case2 解析結果

応力が生じていることから適切な Vertical Controlを実現できないと思われる。

さらに本手法によってFEAモデル上でのワイヤーからのブラケットを介した歯に対する矯正力の検証および考察が可能となり、歯科矯正医が経験に依存せず、矯正力と歯の移動との関係を把握できる可能性が示唆された。

4 結言

- (1) 本解析結果から抜歯後に空いたスペースをClosing arch wireにより閉じる際の各ブラケットスロット部に生じる矯正力の方向がわかった。
- (2) Case1およびCase2において抜歯後のスペースを閉鎖するワイヤーからの矯正力を確認することができた。
- (3) 適切なVertical ControlをCase1は実現し、Case2は実現できないことが示唆された。
- (4) FEAモデル上で矯正力の検証および考察が可能となり歯科矯正医が経験に依存せず、Vertical Controlを考慮した歯の移動を把握できる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 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回日本矯正歯科学会大会, (2016/11)
- 2) 川合唐介;「矯正器具付の歯モデル構築および応力解析に関する研究」, 平成24年度 日本大学大学院生産工学研究科 機械工学専攻 修士論文, (2012), p.p.18-19/ 8