

歯科矯正用コスメティックブラケットのデザインに関する検討

日大生産工(院) ○野島 悠

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

歯科矯正では、各歯に装着したブラケットにアーチワイヤーを通し、ブラケットのウィング部に結紮線を巻き付けて固定することで得られるアーチワイヤーからの矯正力を利用して治療を行う。ここで用いるブラケットの選択は患者の意思が反映されるため、ステンレス製ブラケット(以下SB)と比べ歯の色調に似たコスメティックブラケットを選択する患者は多い。当該ブラケットの中でもセラミック製ブラケット(以下CB)はSBと同等の矯正力を伝達できる一方、SBより厚みがあるため(Fig.1)、口腔内の違和感の増大、重なり合っている歯および咬み合せの深い歯への装着が困難であるなどの問題があり、これらに対応するための研究が進められている¹⁾。

そこで本研究では、有限要素解析(FEA)によりCBの安全率を求め、形状のスリム化を検討する。

2 解析方法

本研究では、CAEソフトウェアSOLIDWORKS Simulationを用いて有限要素モデル(Fig.2)を作製し、FEAを行う。なお、各有限要素モデルは以下に示す形状とし、材料特性はTable 1の値を適用する。

アーチワイヤー：直径0.46[mm]、長さ5[mm]

モデルA：既存のSBの形状

モデルB：既存のCBの形状

モデルC：モデルAの形状

モデルD：既存のCBのウィング部を左右に分離させた改良形状

ここで、モデルDはモデルAと高さが等しく、モデルBより審美性が高くスリムな形状に設計をする。またFEAは、各種モデルにアーチワイヤーによる2[N]の矯正力²⁾を付与し、ブラケット各部の安全率 S を明らかにする。なお、 $S=(\text{基準強さ } \sigma_c / \text{許容応力 } \sigma_a)$ を求めるにあたり、 σ_c 、 σ_a はそれぞれ、モデルAでは降伏応力とフォン・ミーゼスの相当応力、モデルB～モデルDでは引張強さと最大主応力とする。

ブラケットに矯正力が加わるCaseとしてTable 2およびFig.3に示す4種類を設定する。Case1およびCase2では、スロット底面または側面へ垂直に2[N]の荷重を付与する場合(単体FEA)と、スロット部に正接させたアーチワイヤーの有限要素モデルに対し、2[N]の荷重

Table 1 材料特性

有限要素モデル	材料	ヤング率 [GPa]	ポアソン比	基準強さ [MPa]
アーチワイヤー モデルA	ステンレス (SUS304)	190	0.29	降伏応力 207
モデル B, C, D	セラミック (アルミナ)	370	0.22	引張強さ 300

Table 2 ブラケットに矯正力が加わる4Case

Case1	アーチワイヤーがブラケットを後方に押す
Case2	アーチワイヤーがブラケットを下方に押す
Case3	アーチワイヤーの荷重が各ウィングに加わり、ブラケットを前方に引く
Case4	アーチワイヤーの荷重が片側のウィングのみに加わり、ブラケットを前方に引く



Fig.1 SBおよびCB

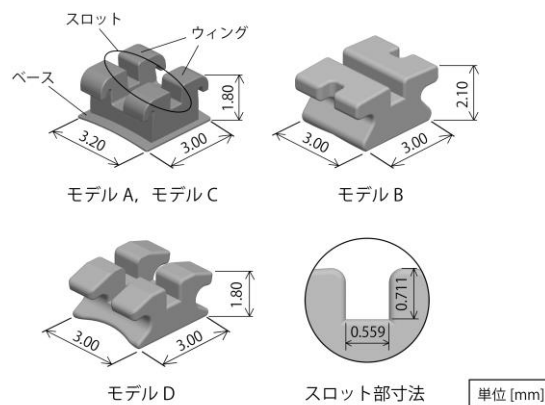


Fig.2 有限要素モデル

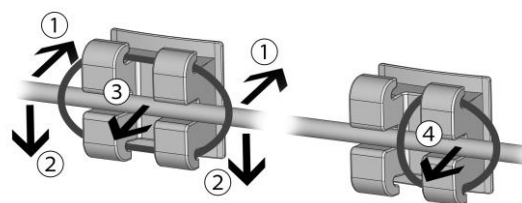


Fig.3 Case1～Case4の概要

Study on Effective Design for Orthodontic Cosmetic Bracket

Yu Nojima, Yasukazu NISHI, Susumu TAKAHASHI,

Akira NAKAJIMA and Noriyoshi SHIMIZU

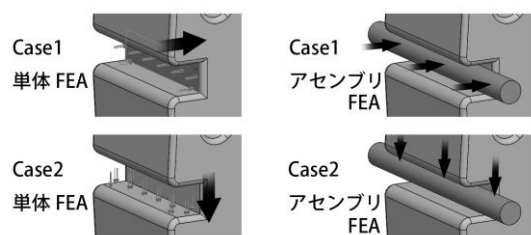


Fig.4 Case1およびCase2の荷重条件

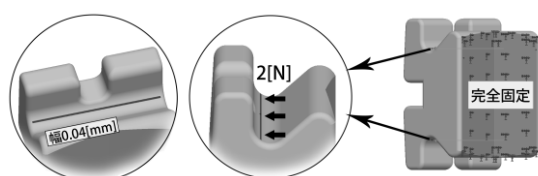


Fig.5 Case3およびCase4の境界条件

を付与する場合(アセンブリFEA)の2通りのFEAを行う(Fig.4). また、ブラケットのベース背面は歯に接着されているため完全固定とする。なお結紮線はブラケットとアーチワイヤーに巻き付いており、モデリングおよび境界条件の定義付けは困難である。そのため結紮線の有限要素モデルは作製せず、結紮線がブラケットを締め付ける荷重は微小であるため無視する。

Case3およびCase4ではアーチワイヤーの矯正力が結紮線を介してブラケットに加わる。そこでウィング背部に設けた微小幅の面に結紮線が接触していると仮定し、この面に対しCase1と逆方向に荷重2[N]を付与する(Fig.5)。また、ブラケットのベース背面を完全固定とする。ただし、モデルBはウィング部が左右に分離していないため、Case4のFEAは行わない。

3 結果および考察

本研究ではFEAによる結果のみで検証しており、臨床より得られる結果と同じである保証がないため、各有限要素モデルに対するCaseの比較は相対的に判断する。各有限要素モデルのFEA結果をTable 3およびTable 4に示す。モデルDのアセンブリFEAでは、接触検索がエラーとなりFEA結果が得られていない。モデルA～モデルCのアセンブリFEAでは、アーチワイヤーがたわむことでスロット部の両端に集中荷重が加わる(Fig.6)ため、単体FEAと比べ安全率が大幅に小さい値である。各有限要素モデルに対し同一条件のもとで行ったFEA結果に着目すると、一貫してモデルB>モデルD>モデルC>モデルAの順で安全率が高い。したがって既存のCBはSBと比較するとオーバースペックであり、SBと同じ形状までスリム化しても矯正力に対する安全率には問題がないといえる。ただし、モデルCはウィング部やベース部が細いため、鋳型による成形時に破損する可能性が高いほか、当該FEAで想定した矯正力以外の衝撃荷重等が加わり破損することもある。一方、モデルDは全ケースとも安全率がモデルCより1.3倍以上高いことがわかる。またモデルB、

Table 3 FEA結果：応力の最大値[MPa]

モデル	単体FEA				アセンブリFEA		
	A	B	C	D	A	B	C
Case1	2.55	0.654	2.62	1.09	66.5	17.8	19.7
Case2	14.2	5.91	12.5	9.54	52.2	10.3	25.1
Case3	13.9	6.25	14.2	9.60	—	—	—
Case4	27.6	—	28.7	17.9	—	—	—

Table 4 FEA結果：安全率

モデル	単体FEA				アセンブリFEA		
	A	B	C	D	A	B	C
Case1	68	458	114	275	3.1	17	15
Case2	12	51	24	31	4.0	29	12
Case3	15	48	21	31	—	—	—
Case4	7.5	—	10	17	—	—	—

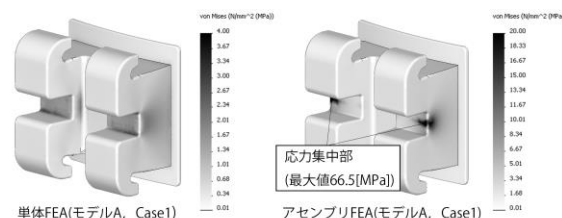


Fig.6 単体FEAおよびアセンブリFEAの応力分布例

モデルC、モデルDの各質量は67.8[mg]、34.5[mg]、41.6[mg]であり、モデルDはモデルCより重いものの、モデルBと比べると材料コストを約40%削減できることがわかる。

4 結言

- (1) 既存のCBをSBの形状までスリム化しても、アーチワイヤーの矯正力に対する安全率は十分であることが明らかとなった。
- (2) 安全率、スリムな形状および審美性を考慮したCBのデザインが可能であることが明らかとなった。
- (3) CBのスリム化により、アルミナの材料コストが約40%削減できることが示唆された。
- (4) スリム化されたCBは口腔内の違和感を軽減し、重なり合っている歯および咬み合せの深い歯へ装着できるため、CBの患者への適応範囲が拡大する可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 西恭一, 中嶋昭, 野島悠, 清水典佳, 高橋進, セラミック製ブラケットに関する研究, 第75回日本矯正歯科学会大会, (2016)
- 2) 荒川雄一, 歯科矯正治療におけるサポートシステムに関する研究, 平成25年度日本大学大学院生産工学研究科 修士論文, (2014) p. 24.