

歯科矯正用セラミック製ブラケットの FEA による形状提案

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 小作 一仁 日大・歯 清水 典佳

1 緒言

歯科矯正では、歯に接着したブラケットにワイヤーを通し、それらを結さつ線で固定することで、ワイヤーからの矯正力が歯に伝達され移動が行われる。ここで用いるブラケットには、一般的なステンレス製(SB)や歯の色調に似たセラミック製(CB)などがある(Fig.1, Fig.2)。ブラケットの選択は患者の意思が反映されるため、SBと比べ外観が目立ちにくいCBを選択する患者は多い。しかしCBは、SBと同等の矯正力を伝達できるが、SBより大きい口内を傷付ける、治療が行いにくいなどの問題がある。

そこで本研究では小型のCBを開発するため、有限要素解析(FEA)によりCBに生じる応力を求め、強度上オーバースペック部の最適形状を検討する。

2 FEA

上顎側切歯用ブラケットを対象とし、CAD・CAEソフトウェアであるSOLIDWORKSおよびSimulationを用いてモデル作製およびFEAを行う。ここで、既存のCB(Fig.1(ii))はウィング部が左右に分離しておらず片側のウィングのみを結さつ線に結ぶ治療が行えないが、過去の研究¹⁾によりFig.2(ii)のようにウィング部を分離しても矯正力によって破壊しないことが分かっている。そこで、このCBモデルを解析対象とし、Table 1の材料特性を適用する。また荷重条件として、ブラケットにワイヤーからの矯正力(3[N])が加わる4症例(Fig.3)を設定する。

Case1およびCase2ではワイヤーがたわみ、スロット部両端に集中荷重が加わるが、たわんだワイヤーによる境界条件の設定は困難である。そこで、Fig.4(iii)に示す微小面にワイヤーが接触しているとし、この面に対しCase1ではスロット底面に垂直に、Case2ではスロット側面に垂直に合計3[N]を負荷する。

一方Case3およびCase4では、ワイヤーからの矯正力が結さつ線を介してブラケットに伝わるが、結さつ線はブラケットに巻き付いているためモデル化が困難である。そこで、Fig.5(iii)に示す微小面に結さつ線が接触しているとし、この面に対しCase1と逆方向に合計3[N]を負荷する。さらに、全ケースともブラケットのベース背面は歯の表面に接着されているため、完全固定とする。

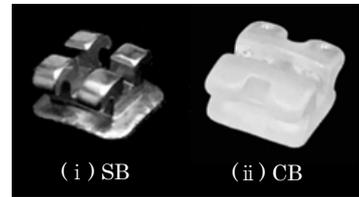


Fig.1 ブラケット

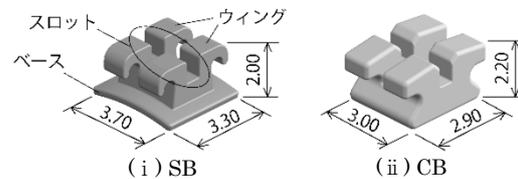
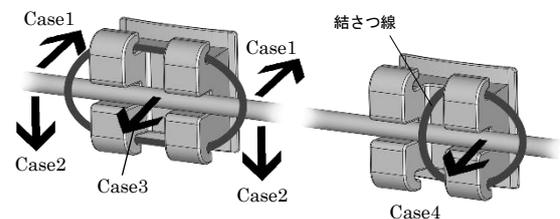


Fig.2 ブラケット寸法

Table 1 CBの材料特性

材料	ヤング率[GPa]	ポアソン比	曲げ強さ[MPa]
アルミナ	370	0.22	300



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

Fig.3 ブラケットに矯正力が加わる4症例

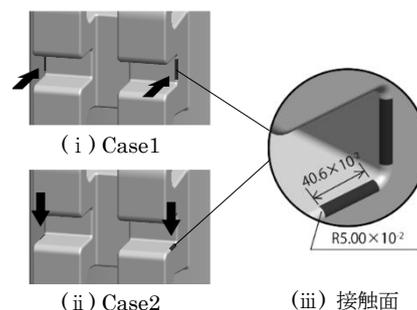


Fig.4 Case1およびCase2の境界条件

Proposal of Shape for Orthodontic Ceramic Bracket by using FEA

Yu Nojima, Yasukazu NISHI, Susumu TAKAHASHI,
Akira NAKAJIMA, Kazuhito KOSAKU and Noriyoshi SHIMIZU

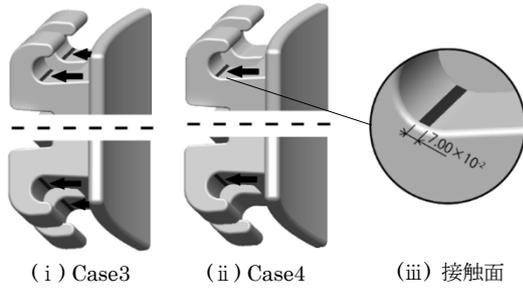


Fig.5 Case3およびCase4の境界条件

3 評価方法

CB側面の各部寸法a,b,c,d(Table 2, Fig.6(i))を変更したモデルを本研究で試みる改良CBとし、以下Fig.7のように表記する。なお、奥行きに関わる寸法としてa、高さに関わる寸法としてb~dを選定しており、ベース寸法は歯との接着性を考慮し変更しない。さらに改良CBは、ランダムな条件で効率的に結果を得るため、直行配列表L9に準じFig.7に示す9通りを解析する。

FEAで求まる最大応力 σ_{max} が許容応力 $\sigma_a = \text{基準強度} \sigma_c / \text{安全率} S = 153[\text{MPa}]$ より小さければモデルは破壊しないとし、a~dの値の最適な組み合わせを明らかにする。ここでは鈴木らの設計基準²⁾を参考に、 $S = K_0 \cdot K_1$ とする。K₀は計算応力の誤差などの不安全要因を吸収するための値で1.3とし、K₁は機器の重要度と運転状態から決定される値で、ブラケットが交換可能であることや本解析が通常の治療における荷重条件であることを考慮し1.5とする。また、CBは脆性材料であるため、 σ_{max} は最大主応力、 σ_c は曲げ強さとする。

Table 2 ブラケットの寸法

		寸法の水準			CB (既存)
		1	2	3	
部 位	a	3	3.3	3.6	3.95
	b	0.01	0.15	0.3	0.37
	c	0.5	0.6	0.7	0.82
	d	R0.15	R0.2	R0.25	R0.3

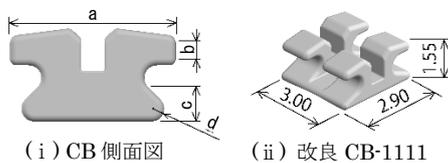


Fig.6 改良CB寸法例

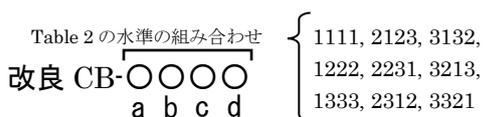


Fig.7 改良CBの寸法の表記方法および組み合わせ

4 結果および考察

各モデルの解析結果をFig.8に示す。CBおよび改良CBの最大応力は全ケースにおいて許容応力より小さ

いため、矯正力による破壊は起こらず、本解析範囲内の最小寸法である改良CB-1111の形状までの小型化が可能であることがわかる。ただし、本研究で設定した安全率は暫定的な値であり、本来は製品の設計および臨床試験を積み重ねることで決定する必要がある。またCase1では、いずれのモデルもスロット部両端の角に応力集中が生じる(Fig.9)ため、最大応力がほぼ等値である。したがって、a~dの値を変化させても最大応力への影響は非常に小さく、今後さらに解析条件を細かく設定する場合、Case1での検討は省略が可能であるといえる。

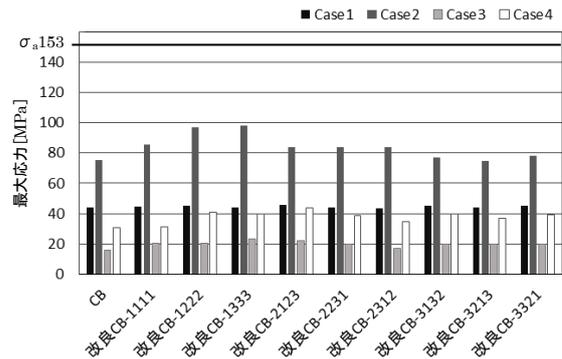


Fig.8 各モデルの最大応力

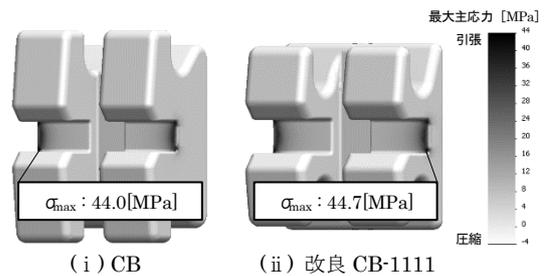


Fig.9 応力分布例(Case1)

5 結言

- 1) 本解析範囲内の最小寸法である改良CB-1111の破壊は起こらず、最適形状であることが示された。
- 2) CBの側面寸法a~dを直行配列表を適用しランダムに設定することで、改良CBを効率的に設計した。
- 3) Case1ではa~dを変化させても最大応力がほぼ等値であるため、今後の解析において省略が可能である。
- 4) CBの小型化により患者への負担が軽減されるため、CBの適用範囲が拡大されることが示唆された。

参考文献

- 1) Y. Nojima, Y. Nishi, S. Takahashi, A. Nakajima, K. Kosaku, N. Shimizu, Study on Effective Design for Orthodontic Ceramic Bracket by using FEA, 6th PACME, (2017), p.55.
- 2) 鈴木章彦, 浜中順一, 酒井啓一, 中村義隆, 林誠二郎, ファインセラミックス部品の即時破壊防止のための設計指針案, 機論(A), 53-495, (1987), p.2134-2138