

K6-24

高審美性を有する GFRP 歯科矯正ワイヤーの構造適正化に関する研究 Study on Structural Adjustment of GFRP Orthodontic Wire with Excellent Esthetics

○横田賢人¹, 岡田直人¹, 青木義男², 谷本安浩³* Kento Yokota¹, Naoto Okada¹, Yoshio Aoki², Yasuhiro Tanimoto³

Abstract: Since orthodontic wire is required to have elasticity and durability, metal has been used, but it is accompanied by risk of aesthetics deterioration and risk of metal allergy. Therefore, this study proposed an orthodontic wire with excellent esthetics made from glass fiber-reinforced plastic (GFRP). To obtain the same orthodontic effect as that of conventional metal wires, we were studying structural adjustment by using finite element analysis based on cases. As a result, stresses occurring in the wire and periodontal ligament and deformation of the periodontal ligament were affected by the glass fiber diameter and volume content of the GFRP wire.

1. 緒言

近年、口内環境の改善が身体に及ぼすメリットが一般に知られるようになり歯科矯正の需要が高まっている。一般的な治療法はマルチブラケット法であり、歯に固定したブラケットと呼ばれる装置に、正しい歯列状のワイヤーを通し、その弾性力を用いて歯を移動させるものである。この原理と口腔内での使用から、ワイヤーに弾性と耐久性が求められ、金属が使用されてきたが、審美性の悪化や金属アレルギーのリスクを伴う。そこで本研究ではガラス繊維強化樹脂(以下 GFRP)製の歯科矯正ワイヤーを提案する。GFRP はガラス繊維と樹脂の複合材料であるが、透明性を持つ高強度ガラス繊維とポリカーボネートを用いることで、機械的特性の要求を満たし、高審美性を有する歯科矯正ワイヤー(Figure1)が実現可能となる。しかし、GFRP は異方性材料であり、従来の等方性材料である金属と同等以上の矯正効果を得る為には、材料特性を活かす構造適正化は必要不可欠であり検討を行った。

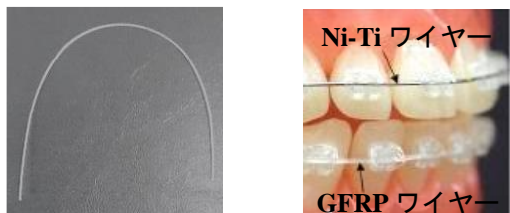


Figure1. GFRP Orthodontic Wire

2. 材料設計と矯正効果に関する検討

一般的な症例をもとに、円断面のラウンドワイヤー(以下 RoW)による曲げの矯正、長方形断面のレクタングュラーワイヤー(以下 ReW)によるねじりの矯正をモデル化し、ガラス繊維の直径、及び体積含有率がワイ

ヤーに生じさせる応力と歯を動かす矯正力へ及ぼす影響を有限要素解析を用いて検討した。今回解析に使用した GFRP ワイヤーは、ガラス繊維の直径を 13, 7, 5 μ m(GFRP-13, 7, 5)と変化させた Φ 0.45mm の RoW を製作し、三点曲げ試験から曲げ強さと曲げ弾性係数を測定した結果^[1]を用いた。それ以外の物性値は複合則^[2]を用いて算出した。また体積含有率は GFRP-13, 7, 5 の 0.30 を基準に、従来の Ni-Ti ワイヤーの縦弾性係数と同等となるよう 0.64 とした GFRP α を用意した。

Table1. Material properties of GFRP

	GFRP-13	GFRP-7	GFRP-5	GFRP α
E_L [GPa]	35.0	40.5	42.6	56.2
E_b [GPa]	4.30	4.30	4.30	9.88
ν_{ba}	0.35	0.35	0.35	0.31
G_{ab} [GPa]	1.55	1.55	1.55	3.61
ν_{cb}	0.46	0.46	0.46	0.36
G_{bc} [GPa]	1.47	1.47	1.47	3.64
ν_f	0.30	0.30	0.30	0.64
σ_{LU} [MPa]	958.50	1120.1	1126.2	3138.9
σ_{LC} [MPa]	-	-	-	2425.0

E_L [GPa]	繊維方向の弾性係数	E_b [GPa]	繊維方向に垂直方向の弾性係数
ν_{ba}	ab面ポアソン比	G_{ab} [GPa]	ab面せん断弾性係数
ν_{cb}	cb面ポアソン比	G_{bc} [GPa]	bc面せん断弾性係数
ν_f	繊維体積含有率	σ_{LU} [MPa]	引張強度(曲げ強度)
σ_{LC} [MPa]	圧縮強度		

RoW は曲げによる犬歯の矯正をモデル化した。(Figure2)。簡易ブラケットはブラケットの溝部分を簡易モデル化し、ワイヤー直径は 3 種類(Figure2(c))作製した。犬歯は上顎の犬歯を簡易モデル化した。歯根膜は臨床データを基に歯根に 0.20mm の厚さを持たせた。

解析では、歯根膜の表面を完全固定し簡易ブラケットを歯列内側方向へ、0.50, 0.75, 1.0mm と強制変位させ、ガラス繊維径と体積含有率の違いによる RoW の相

1: 日大理工・院(前)・精機 2: 日大理工・教員・精機 3: 日大松戸歯・教員

当応力及び歯根膜の相当応力及び変形量を検討した。

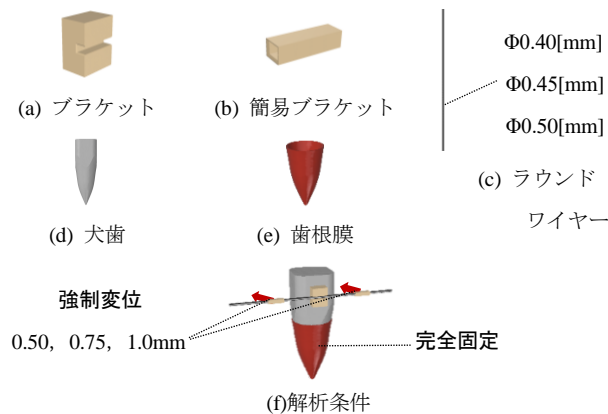


Figure2. Analysis model of RoW

Table2. Material properties

	縦弾性係数[GPa]	ポアソン比	使用部位
ジルコニア	200	0.33	ブラケット
エナメル質	19.6	0.30	歯
歯根膜	0.004	0.49	歯根膜
Ni-Ti	56.2	0.33	ワイヤー

ReW はねじりによる前歯の矯正をモデル化した (Figure3)。ブラケットはワイヤー断面形状と同じ穴とした。ReW は断面の寸法 (Figure3(b)) を 3 種類検討した。歯根膜は RoW と同様に歯根に 0.02mm の厚さとした。0.406x0.559 [mm]

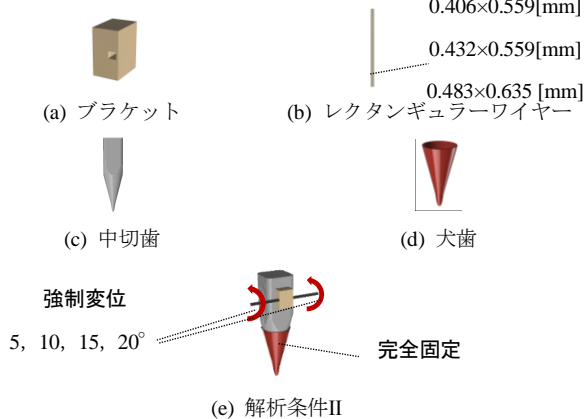


Figure3. Analysis model of ReW

解析では、歯根膜の表面を完全固定し ReW の端面を 5, 10, 15, 20° 強制変位させ、ガラス繊維径と体積含有率の違いによる ReW の相当応力と歯根膜の相当応力及び変形量について検討した。

3. 数値計算結果及び考察

Fig.4 より RoW の繊維径の減少にともない相当応力が増加していることが分かる。繊維径の減少は縦弾性係数と曲げ強さの増加につながり、歯根膜に与える矯正力増加と変位量 (= 使用可能な症例範囲) の増加が期待できるが、弾性係数と強さの増加率が異なる為、

繊維径との関係性をさらに検討する必要がある。GFRP α は Ni-Ti に近い傾向を示し、繊維含有率の制御がワイヤー及び歯根膜において適正な応力を発生させることを示唆した。ワイヤー径を 0.40mm から増加させた場合グラフの傾きの増加が得られた。また全て歯根膜に悪影響を及ぼす変形量には至らない結果となった。

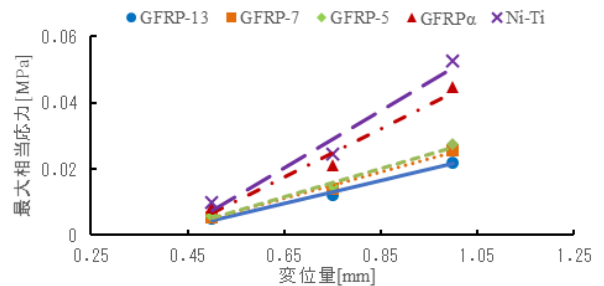


Figure4. Maximum stress and displacement of periodontal ligament at 0.40 mm wire

Fig.5 より、ReW はワイヤーのねじりによって矯正力が生じる為、相当応力と変形量は横弾性係数と相関関係があることが分かった。繊維径が変化しても複合則で横弾性係数が近い値になった為、同等の応力となった。また GFRP α は Ni-Ti よりも横弾性係数が低いため、Ni-Ti よりも低い値を示した。また全て歯根膜に悪影響を及ぼす変形量には至らない結果となった。

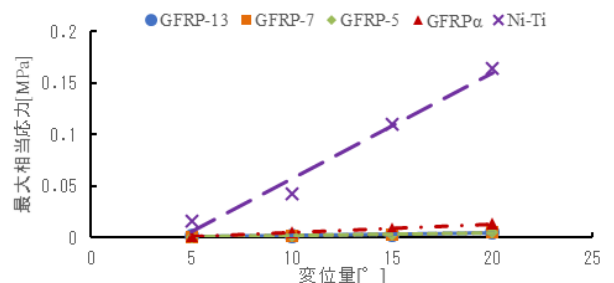


Figure5. Maximum stress and displacement of periodontal ligament at 0.406x0.559 mm wire

4. 結言

- (1) ガラス繊維径の変化が歯科矯正において使用可能な症例範囲を広げ、矯正力を適正化できる可能性がある。
- (2) 繊維含有率から縦弾性係数を制御することで RoW において適正な応力及び矯正力を持たせられる可能性を示唆した。

5. 参考文献

[1] Yasuhiro Tanimoto : 「Characterization of esthetic orthodontic wires made from glass fiber-reinforced thermo containing high-strength, small-diameter glass fibers」, 2017
 [2] 邊 吾一 : 「入門先進複合材料工学」, 培風館, 2005