

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007 ～ 2009

課題番号：19791452

研究課題名（和文）：積層構造を有するFRCクラスプの境界条件非線形解析

研究課題名（英文）：Nonlinear finite element analysis of FRC clasps with a laminated structure

研究代表者

丸山 浩美 (MARUYAMA HIROMI)

鹿児島大学・大学院医歯学総合研究科・助教

研究者番号：50359981

研究成果の概要（和文）：目的：本研究の目的は、非線形有限要素解析を用いて、FRC クラスプの最適形状、つまり十分な維持力が発揮できて、かつ壊れにくい形状を求めることである。方法：下顎第二小臼歯を想定した支台歯にサーカムフェレンシアルタイプの FRC クラスプアームを設置した三次元有限要素モデルを作成した。クラスプアームの基本形状は、漸縮比を1とし、断面形態は半楕円で幅を 2.60 mm、厚さを 1.30 mm とした。さらに、基本形状の幅と厚さを変化させたクラスプアームモデルを 4 種類作成した。FRC は直交異方性弾性材料とみなした。支台歯の根尖側 1/3 を拘束し、クラスプアーム基部の節点群に、着脱方向に沿って歯冠側へ 5 mm の強制変位を与え、各クラスプアームの維持力と圧縮応力（最小主応力）を求めた。結果：形状の異なる 5 種のクラスプアームの維持力は 1.00 N～6.30 N であり、最大圧縮応力は 65.3 MPa～102 MPa であった。

結論：本研究の条件下では、1 歯あたりに必要とされている維持力が得られ、かつ圧縮破壊が生じる危険性が小さいクラスプアームは、基本形状のクラスプアームであった。

研究成果の概要（英文）：Objectives. The aim of this study was to investigate an optimum FRC (grass fiber-reinforced composite) clasp design, which has sufficient retentive force and does not cause breakage, using nonlinear finite element analysis.

Methods. Three-dimensional finite element models consisting of basic and some modified circumferential clasp arms fabricated with FRC and an abutment tooth simulating a lower second premolar were prepared. Basic clasp arm fabricated with FRC was half-oval, without taper, 2.60 mm wide and 1.30 mm thick. Four modified clasp arms fabricated with FRC were prepared by changing the width or thickness of basic one. FRC was treated as an elastic orthotropic material. All nodes in the lower third of the apical side of the abutment tooth were restrained, and forced displacements of 5 mm were applied to the nodes at the base of the clasp arm in the removal direction. The retentive force of each FRC clasp arm was calculated. The maximum compressive stresses at the shoulder region corresponding to the location of stress concentration on the contour map in FRC clasp arms were also calculated to evaluate the failure risk.

Results. The retentive forces and maximum compressive stresses of five FRC clasp arms ranged from 1.00 to 16.30 N and from 65.3 to 102 MPa, respectively.

Conclusions. Within the limitation of this study, an optimum FRC clasp design was basic FRC clasp arm which has sufficient retentive force and has low risk for compressive failure.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度			
2006年度			
2007年度	1,400,000	0	1,400,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	2,700,000	390,000	3,090,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・補綴系歯学

キーワード：歯学，複合材料・物性，有限要素法，部分床義歯，クラスプ

1. 研究開始当初の背景

我々の教室では、メタルフリー補綴を目指し、歯冠修復材料として開発されたガラス繊維補強型高分子材料（以下、FRC）を部分床義歯のクラスプとして臨床応用することを目的として、理工学的な基礎研究とその成果をもとにした臨床応用を行っている。これら一連の研究は他に先駆けて行っているものであり、国内・国外とも我々の研究以外にない。

これまで FRC の機械的性質を調べるために、片持ち梁曲げ試験、三点曲げ試験、繰り返し着脱試験等の材料試験を行い、強度的には臨床応用が可能である結果を得て金属クラスプに準じて臨床応用も試みてきた。しかし、臨床応用の際には口腔粘膜を損傷する可能性がある繊維の露出を防ぐためにコーティング層が必要であり、応力が集中すると考えられる部位でコーティング層の剥離あるいはクラックが発生する問題がある。また、適正な維持力を得るのに必要なアンダーカット量を設定するにあたって金属クラスプのような明確な基準がないのが実状である。

一方、FRC のような異方性複合材料の構造解析は非常に複雑であるため、有限要素法（FEM）等の構造解析法が最適であるといわれている。また、我々が研究の対象としてきた Vectris Pontic (Ivoclar 社製) のような一方向繊維強化複合材料においては FEM で弾性領域の範囲内で構造解析するために必要な物性値は各種の材料試験を行うことで得られるが、繊維含有率等の条件が異なるたびに試験片を作製し実測を行うのは効率的ではない。

そこで、我々は材料試験で得た物性値を利用した有限要素法により FRC の物性に適したクラスプ形態を明らかにすることを計

画し、まず『三次元有限要素法による FRC クラスプの応力解析』（課題番号 16791198、平成 16・17 年度科学研究費）により FRC の特徴である材料の異方性を考慮した解析方法を確立した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、上記の研究成果を発展させ、FRC のような異方性複合材料の複雑な構造解析に適しているとされる有限要素法を用いて、FRC クラスプの最適形状、つまり十分な維持力が発揮できて、かつ壊れにくい形状を求めることである。

3. 研究の方法

- (1) 維持力の定量的予測法の確立
- (2) FRC 部とコーティング層から成る積層構造のモデル化
- (3) 壊れにくさの指標になりうる圧縮応力（最小主応力）の分析
- (4) FRC クラスプの最適形状を求める

(1) 維持力の定量的予測法の確立

実際の現象と有限要素法による解析結果との妥当性の検証が行えるように、万能試験機を用いて FRC クラスプの維持力を実測した当教室の報告に基づいて、下顎第二小臼歯を想定した樽状の支台歯に設置したサーカムファレンシャルクラスプクアームの形状を作成した。クラスプアームの漸縮比は 1、断面形状は半楕円で幅を 2.60 mm、厚さを 1.30 mm とし、これをクラスプアームの基本形状 Bb (2.60 mm, 1.30 mm) とした。クラスプアームの取り巻き角度は 165°、鉤尖下部でのアンダーカット量は 0.25 mm とした。作成した形状を図 1 に示す。

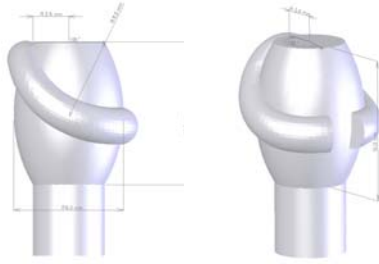


図 1

クラスプアームの材料特性は、FRC の特徴である直交異方性を考慮した。本解析で用いた FRC の材料定数を表 1 に示す。

表 1

Elastic constant	
Elastic Modulus 11 : $E_{11}$ (MPa)	10000*
Elastic Modulus 22 : $E_{22}$ (MPa)	10000*
Elastic Modulus 33 : $E_{33}$ (MPa)	35000*
Poisson's Ratio 12 : $\nu_{12}$	0.32*
Poisson's Ratio 23 : $\nu_{23}$	0.07*
Poisson's Ratio 31 : $\nu_{31}$	0.25*
Shear Modulus 12 : $G_{12}$ (MPa)	3700*
Shear Modulus 23 : $G_{23}$ (MPa)	3100*
Shear Modulus 31 : $G_{31}$ (MPa)	3100*

支台歯は 4 節点四面体要素，クラスプアームは 8 節点六面体要素により分割した。クラスプアーム，支台歯ともに頬舌的対称条件を考慮し 1/2 モデルを作成した。支台歯の長軸方向をクラスプの着脱方向とし，この着脱方向に沿ってクラスプアーム基部の節点群に 5 mm の強制変位を与えた。支台歯の下方 1/3 を完全拘束し，クラスプアームと支台歯間の動摩擦係数は 0.31 とした。図 2 に基本形状 (Bb) のクラスプアームを支台歯に設置した有限要素モデルと各境界条件を示す。

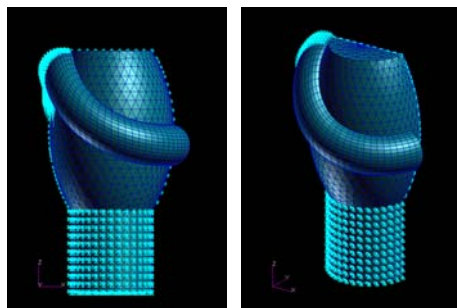


図 2

強制変位を与えた節点群 (クラスプアーム基部の節点群) の反力の総和を各インクリメントにおける維持力とみなし，クラスプアームを基本形状 (Bb) とした場合の解析結果と実測値との妥当性を検証した後，幅と厚さのみを変更したクラスプアーム a (2.60 mm, 0.65 mm), c (2.60 mm, 1.95 mm), A (1.30 mm, 1.30 mm), C (3.90 mm, 1.30 mm) について，それぞ

れの維持力を算出した。

## (2) FRC 部とコーティング層から成る積層構造のモデル化

FRC 部をソリッド要素で表現したのに対し，FRC 部の外表面を被覆するコーティング層をシェル要素で表現することにより，両者から成る積層構造のモデル化を試みた。

## (3) 壊れにくさの指標になりうる圧縮応力 (最小主応力) の分析

各クラスプアームについて，鉤尖下部が支台歯の最大豊隆部に到達したときの鉤肩部における圧縮応力 (最小主応力) の最大値を求めた。

## 4. 研究成果

### (1) 維持力の定量的予測法の確立

鉤尖下部の節点の着脱方向への変位量 (dZ) と強制変位を与えた節点の反力の総和として求めた維持力 (FZ) との関係を図 3 に示す。

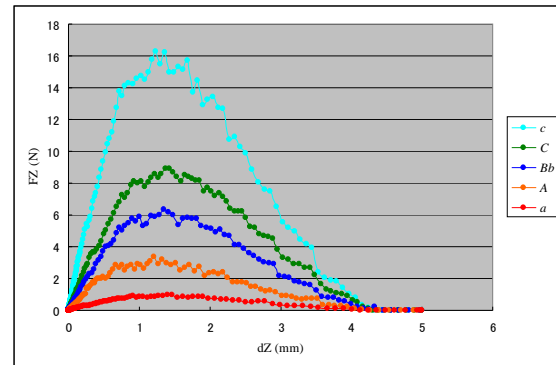


図 3

本解析で得られた基本形状 (Bb) のクラスプアームの維持力は，鉤尖下部が 1.37 mm 歯冠側へ変位したとき最大値 6.36 N を示し，繰り返し着脱試験の実測値である 6.34 N とよく一致した。基本形状 (Bb) のクラスプアームの維持力の解析値と実測値がよく一致したため，本解析方法により種々の条件を変更したクラスプ形状についても実測せずとも維持力の予測が十分可能となった。そこで，同様に幅と厚さのみを変更したクラスプアーム a, c, A, C について維持力を算出したところ，それぞれ 1.00 N (a), 16.30 N (c), 3.36 N (A) および 8.90 N (C) であった。

支台歯 1 歯あたりに必要とされる維持力として報告されている値は，約 5 N であることから，基本形状のクラスプアームの維持力は妥当であり，1.00 N (a) の維持力では不足，16.30 N (c) の維持力では大きすぎるという予測が可能となった。

### (2) FRC 部とコーティング層から成る積層構

### 造のモデル化

FRC 部とコーティング層との界面の接着は完全であるという条件の下、(1)と同様の解析を行ったところ、コーティング層の厚さによっては FRC 部に対する補強効果を思わせる維持力の増加が確認された。

### (3) 壊れにくさの指標になりうる圧縮応力(最小主応力)の分析

鉤尖下部が支台歯の最大豊隆部に到達したときの各クラスプアームにおける圧縮応力(最小主応力)のコンター図を図4に示す。断面形態を変化させた5種のクラスプアームすべてにおいて、圧縮応力集中部位は鉤尖下部の点接触部を除けば鉤肩部であり、同部でのコーティング層の剥離やクラックの発生の可能性が高いことが示唆され、臨床応用例で遭遇する所見と一致した。また、鉤尖下部が支台歯の最大豊隆部に到達したときの各クラスプアームの鉤肩部における圧縮応力の最大値は、それぞれ 91.7 MPa (Bb), 65.3 MPa (a), 102 MPa (c), 89.2 MPa (A), 101 MPa (C)であり、これらの値は三点曲げ試験から得られた FRC の曲げ強度 ( $1.4 \times 10^3$  MPa) や片持ち梁曲げ試験から得られた FRC の破壊強度 (936.1 MPa) に比べて、かなり小さな値であったため鉤肩部において FRC 単味の圧縮破壊は生じないことが示唆された。

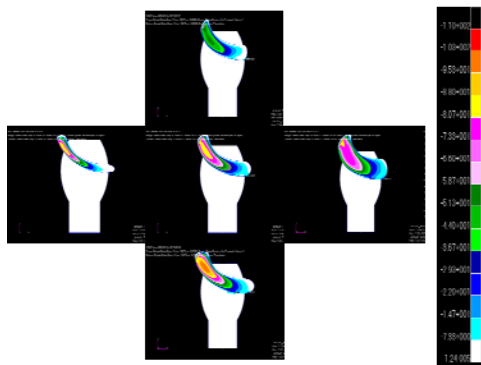


図4

### (4) FRC クラスプの最適形状を求める

本解析によって求めた維持力と最大圧縮応力の結果から、形状の異なる5種のクラスプアームのうち、1歯あたりに必要とされる維持力が十分発揮できて、かつ圧縮破壊が生じない形状は、漸縮比1、断面形状が半楕円で幅 2.60 mm、厚さ 1.30 mm のサーカムフレんシャルクラスプアームであった。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計2件)

①丸山 浩美, 西 恭宏, 木下智恵, 水流和徳, 長岡英一. 非線形有限要素法による FRC クラスプの応力解析 第118回日本補綴歯科学会学術大会. 6/5-6/7, 2009. 京都.

②H. MARUYAMA, Y. NISHI, C. KISHITA, K. TSURU and E. NAGAOKA. Predicting the retentive force of FRC clasps by nonlinear FEA. 56<sup>th</sup> JADR annual meeting. 11/29-30, 2008. Nagoya.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

丸山 浩美 (MARUYAMA HIROMI)

鹿児島大学・大学院医歯学総合研究科・助教

研究者番号: 50359981