

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03780

研究課題名（和文）安定で安心なCAD/CAM冠のための高強度歯科用コンポジットレジンの構築

研究課題名（英文）Development of high-strength dental resin composite for stable and secure CAD/CAM crowns

研究代表者

西川 出（Nishikawa, Izuru）

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：90189267

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：歯科分野において強度や審美性の観点から最近注目されている治療法がCAD/CAM冠である。ただし冠を作成するとき薄肉部分が出来上がるので、大白歯のような極めて強い咬合力が作用する部位への利用は、疲労強度の点でも接着強度の点でも大きな問題を抱えていた。本研究では微視構造を正確に捉える測定技術・解析技術の開発から始まり、これを用いて実際に使用に耐えうるコンポジットレジンのために新しい強化メカニズムの開発を行うことにより薄肉構造コンポジットレジンの強度を最大限確保し、さらに接着強度も確保できる歯科修復材料の開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

歯科治療で用いられる歯科修復材料として、これまで最も多用されてきた金銀パラジウム合金は審美性の低下の問題から大きな問題となっていた。また安定な材料として用いられるセラミックスについても極端な成型性の悪さに加え、高額な治療費となることから、利用回避の動きは否めない。これらの問題を解決できる材料がコンポジットレジンを中心としたCAD/CAM冠である。しかし現状では大白歯に代表されるような咬合力や咀嚼力が極めて高くなるような部位では依然として強度不足問題があった。本研究で開発したコンポジットレジンはこの問題を大幅に解決できるものであり、社会的意義が大きい。

研究成果の概要（英文）：CAD/CAM crowns are a treatment method that has recently been attracting attention in the field of dentistry from the perspective of strength and aesthetics. However, when creating a crown, a thin section is created, so using it on areas such as molars where extremely strong biting forces are applied poses major problems in terms of both fatigue strength and adhesive strength. This research began with the development of measurement and analysis techniques to accurately capture the microscopic structure, and by using these to develop a new strengthening mechanism for composite resins that can withstand actual use, we have developed a dental restorative material that maximizes the strength of thin-walled composite resins and also ensures adhesive strength.

研究分野：材料力学

キーワード：歯科材料 コンポジットレジン 疲労強度 接着強度 材料強度

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

歯科治療で用いられる歯科修復材料として、これまで最も多用されてきたのは金銀パラジウム合金であるが、この合金は表面の金属光沢が避けられず、これを口腔内に用いることによる審美性の大きな低下は臨床でも回避すべき大きな問題となっていた。また安定な材料としてセラミックスが用いられることも多いが、これについても極端な成型性の悪さに加え、高額な治療費となることから、利用回避の動きは否めない。これらの問題を解決できる材料がコンポジットレジンである。しかし現状では大白歯に代表されるような咬合力や咀嚼力が極めて高くなるような部位にはコンポジットレジンのみでは依然として強度不足であり、現実的には大白歯の虫歯治療には、多くの患者から審美性の点で強く敬遠される金銀パラジウム合金が用いられている。これを打開する治療法がCAD/CAM冠である。CAD/CAM冠はコンポジットレジンブロック状に固めたものであり、これをスキャナによりコンピュータに取り込んだ形状データを用いて3次元加工機にて所定の形に成型したものである。その成型までは完全自動化が実現できており、費用的にも時間的にも効率的に実現できる治療法である。しかし冠を作成した段階で薄肉部分が出来上がるので、大白歯のような極めて強い咬合力が作用する部位への利用は、疲労強度の点でも接着強度の点でも大きな問題を抱えている状況であった。

### 2. 研究の目的

歯科理工の分野では新しい材料開発もいくらかなされてはいるが、材料の微視構造にまで遡って機械的性質の仕組みを考察し、それに基づいて材料設計することは、いまだなされていない。本研究では微視構造を正確に捉える測定技術・解析技術の開発から始まり、これを用いて実際に使用に耐えるコンポジットレジン開発にまで発展させることが主目的である。また強度確保の点から新しい強化メカニズムの開発を行う。これまでの研究から、多種類の粒径を有するシリカフィラーを配合させたハイブリッド構造が強化機構としては有効であることを見出してきているが、さらに最適化を図るべく、実験データの収集を行うことにより、構成材料とその粒子配置などを決定することも目的としている。

最終的には、薄肉構造コンポジットレジンの強度を最大限確保し、さらに接着強度も確保できる歯科修復材料の開発に取り組むことを最終目的とした。

### 3. 研究の方法

コンポジットレジンに配合するフィラーの形状、粒径、フィラーの充填率を変更することで強度や操作性が変化する。本研究ではレジンの疲労強度に影響を及ぼすフィラーの充填率の影響について検討することにより、最適な充填率の決定を目標とした。

一方、歯科修復材料として歯科用コンポジットレジンが多用されるようになってきたが、依然として自然歯とコンポジットレジンの接着特性には問題がある。そこで本研究では最適な接着特性を発揮するコンポジットレジンを探査し、それを開発することとした。フィラーには大中小、3種類のフィラーサイズのものを用い、これらの最適な配合割合について探究した。

### 4. 研究成果

本研究で使用した歯科用コンポジットレジンには、モノマーとしてウレタンジメタクリレート(UDMA)とトリエチレングリコールジメタクリレート(TEGDMA)を、光重合開始剤としてカンファキノン(CQ)、重合促進剤として4-ジメチルアミノ安息香酸エチル(EDB)を使用した。これらをTable 1に示す。またTable 2に示した粒径の異なる5種類のフィラーを使用した。

Table 1 モノマー名称と混合割合

モノマー名称	略称	組成割合 [%]
ウレタンジメタクリレート	UDMA	69.5
トリエチレングリコールジメタクリレート	TEGDMA	29.5
カンファキノン	CQ	0.5
4-ジメチルアミノ安息香酸エチル	EDB	0.5

Table 2 フィラー粒径

種類	平均粒径 [ $\mu\text{m}$ ]
シリカフィラー	50.0
セラミッククラスターフィラー	10.0
	3.5
	2.1
フッ素除放フィラー	0.7

試験片は  $2 \times 25 \times 2 \text{mm}^3$  の短冊状のものを使用し、電磁力式微小材料試験機(島津製作所製、MMT-100NB-10)を用いて三点曲げ疲労試験を行った。

コンポジットレジン疲労強度に及ぼすフィラーの充填率の影響を調査するために、5種類の粒径のフィラーを異なる配合割合で作製したコンポジットレジンのフィラー配合割合を Table 3 に示す。

Table 3 フィラーの配合割合

試験片名	充填率 [%]	配合割合 [%]				
		50 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$	3.5 $\mu\text{m}$	2.1 $\mu\text{m}$	0.7 $\mu\text{m}$
Tri A	85	40	-	40	-	20
Tri B	80					
Tri C	70					
Tri D	60					
Tri E	85	60	10	-	20	10
Tri F	80					
Tri G	70					
Tri H	80	60	20	-	10	10
Tri I	70					
Tri J	80	70	10	-	10	10
Tri K	70					

負荷応力幅 81MPa の場合の三点曲げ疲労試験により得たフィラー充填率と破断繰返し数の関係を Fig.1 に、負荷応力幅 54MPa の場合の関係を Fig.2 に示す。

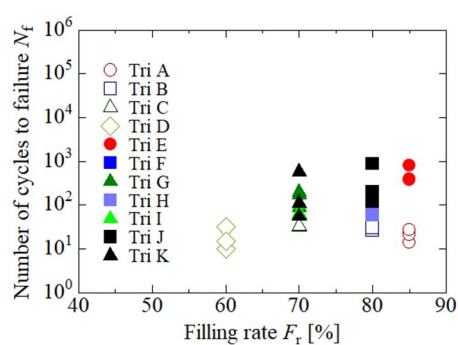


Fig.1 フィラー充填率と破断寿命の関係 (負荷応力幅:81MPa)

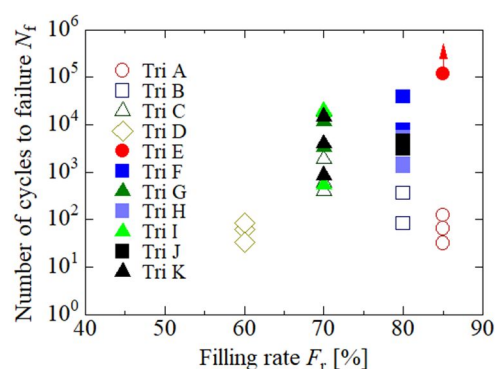


Fig.2 フィラー充填率と破断寿命の関係(負荷応力幅:54MPa)

Fig.1、Fig.2より、フィラーの充填率の増加とともに疲労強度が向上していることが確認できる。しかし、Tri Eと同じ充填率であるTri Aはフィラー充填率60%のTri Dと同程度の疲労強度であることも確認できる。

本研究では、歯科用コンポジットレジンの疲労強度に及ぼすフィラー充填率の影響について調査し、最適なフィラー充填率を調査するために三点曲げ疲労試験を行った。その結果以下の結論を得た。

1. フィラーの充填率を上げることでコンポジットレジンの疲労強度が向上することがわかった。しかし、単にフィラーの充填率を上げるだけでは疲労強度は向上せず、フィラーの配合次第ではコンポジットレジンの強度が下がる場合も確認された。
2. フィラーを多く充填させたレジンを作製する場合、疲労強度の向上には大粒径のフィラーを60%以上配合する必要があることがわかった。これより大粒径のフィラーがコンポジットレジンの強度の要となる役割を持っていることが示唆された。

一方、歯科用コンポジットレジンの接着強度に及ぼすフィラー粒径・充填率の影響についても調査するために、DCB試験を行った。その結果以下の結論を得た。

1. 10[ $\mu\text{m}$ ]、3.5[ $\mu\text{m}$ ]、0.7[ $\mu\text{m}$ ]の3種類のフィラーをそれぞれ1種類ずつ多く配合して試験を比較した結果、中粒径のフィラーを多く配合したコンポジットレジンが最も接着強度が向上することがわかった。
2. フィラー充填率の低いコンポジットレジンを作製した場合、接着強度は同じ配合割合のものより向上することがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Izuru NISHIKAWA	4. 巻 1
2. 論文標題 Improvement of fatigue property and wear resistance of resin composite	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. IDMC2022	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 西川 出	4. 巻 71
2. 論文標題 デジタル画像相関法による切欠きならびにき裂の力学量評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 非破壊検査	6. 最初と最後の頁 155-159
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 西川 出
2. 発表標題 デジタル画像相関法を援用した斜めき裂の力学量・傾斜角の安定評価に関する検討
3. 学会等名 日本機械学会M&M2022カンファレンス
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川邊直雄、河村拓昌、鈴木崇弘、山本研一、小林敏雄、井上敬章、坂井英児、富永秀和、野口修平、服部和男、巽 明彦、小熊博幸、植松美彦、菅田 淳、西川 出
2. 発表標題 Fe/Al異材接着における被着体剛性の影響
3. 学会等名 自動車技術会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 巽 明彦、河村拓昌、鈴木崇弘、山本研一、小林敏雄、井上敬章、坂井英児、富永秀和、野口修平、服部和男、川邊直雄、小熊博幸、植松美彦、菅田 淳、西川 出
2. 発表標題 接着接合における疲労破壊メカニズムの考察
3. 学会等名 自動車技術会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 程 航、西川 出
2. 発表標題 デジタル画像相関法による斜めき裂の力学量・傾斜角評価の検討
3. 学会等名 日本非破壊検査協会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 程 航、西川 出
2. 発表標題 デジタル画像相関法による傾斜き裂の破壊力学量・傾斜角評価法に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	高橋 英和  (Takahashi Hidekazu)  (90175430)	東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・名誉教授   (12602)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------