

レーザー照射による in vitro 骨-セラミックスの接合条件

In Vitro Bonding Conditions of Bone and Ceramics By Laser Irradiation

○ 山田悟史 (北大) 金岡 優 (三菱電機) 但野 茂 (北大)

Satoshi YAMADA, Hokkaido University
Masaru KANAOKA, Mitsubishi Electric Corporation
Shigeru TADANO, Hokkaido University

Abstract: The authors have proposed a technique for the laser bonding of bone with bioceramics sintered with hydroxyapatite and MgO-Al₂O₃-SiO₂ glass powders. This study aimed to investigate the effects of the additive rate of glass powder in the bioceramics on the bonding strength and to verify the laser bonding of the bioceramic plate to the cortical bone surface covered with periosteum. A small hole was bored at the center of a bioceramic plate. The bioceramic plate was positioned onto a bovine bone specimen and a 5-mm diameter area was irradiated. The bonding strength was the highest at the additive rate of glass powder 20 w%. Using the bioceramic plate, we confirmed that the bioceramic plate instantaneously bonded to the bone surface covered with periosteum by fiber laser irradiation using a 400 W laser power and a 1.0 s exposure time.

Key Words: Bone, Implant, Laser, Bioceramics, Bonding

1. 背景

生体内に埋め込まれる人工関節やインプラント材による治療には、治療期間の短縮や生体骨の破壊侵襲の最小化などが要求される。一般的な生体骨とバイオマテリアルの結合には、骨セメントを用いた化学的結合やスクリューを用いた機械的結合が用いられている。しかし、重合反応による熱影響やスクリューによる骨組織の破壊侵襲等、患者の負担は小さくない。レーザーを用いると、微小な領域にエネルギーを集中させることができるため、接合や切断、穴あけ等の加工が短時間で可能となり、既にレーザーメスやレーザーによる骨切断等の臨床応用例がある。バイオマテリアルと生体骨の接合や、バイオマテリアル同士の接合にレーザー加工技術が応用できれば、手術時間の短縮や手術範囲が局所的に限定される等の患者の大幅な負担軽減が期待できる。

著者らは、骨の主成分であるリン酸カルシウムの焼結体のレーザー接合性を検討し⁽¹⁾、生体骨とバイオセラミックスのレーザー接合技術を提案してきた⁽²⁾。ハイドロキシアパタイトにガラスを添加して焼結したバイオセラミックスプレートを板状骨試験片上に設置し、ファイバーレーザーを照射することで、両者が接合可能であることを確認した⁽³⁾。このとき、ガラス添加量は 60 w% とした。本研究では、接合強度を向上させるためにバイオセラミックスのガラス添加量と接合強度の関係を調査し、臨床応用を想定した骨膜を含む骨表面とバイオセラミックスプレートとのレーザー接合性を検証した。

2. 実験方法

2-1 セラミックス試験片

セラミックス試験片は、ハイドロキシアパタイト粉末に MgO-Al₂O₃-SiO₂ ガラス粉末を添加し、直径 10 mm、厚さ 6 mm の円柱形状に成型し、焼結させたセラミックス (東罐マテリアル・テクノロジー社製) を使用した。ガラス添加量は、20 w%、50 w%、60 w%、70 w%、80 w% とした。ダイヤモンド・ソー (South Bay Technology 製 Model 650) を用いて厚さ 1 mm に加工した。ファイバーレーザー加工機 (住友重機械メカトロニクス製 YYBT0041) を使用し、レーザー出力 1000 W、照射時間 50 ms で直径 0.2 mm の穴を円周上に連続的に加工し、直径 2 mm のレーザー光誘導孔を試験片中央に加工した (図 1)。レーザー波長は 1070~1080 nm である。

2-2 骨試験片

骨試験片は、ウシ大腿骨骨幹部皮質骨より採取した。接合強度に及ぼすガラス添加量の影響を調査するため、およそ 20 × 20 × 4 mm の骨試験片を作製した。また、骨表面との接合性を検証するため、骨表面に付着した筋や腱を除去し骨膜を保存したおよそ 20 × 20 mm の骨試験片を作製した。各骨試験片は、レーザー接合直前まで生理食塩水中に保管した。

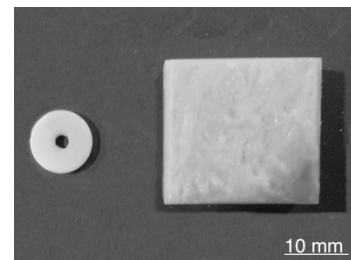


Fig. 1 Ceramic specimen (left) and bone surface specimen with periosteum (right)

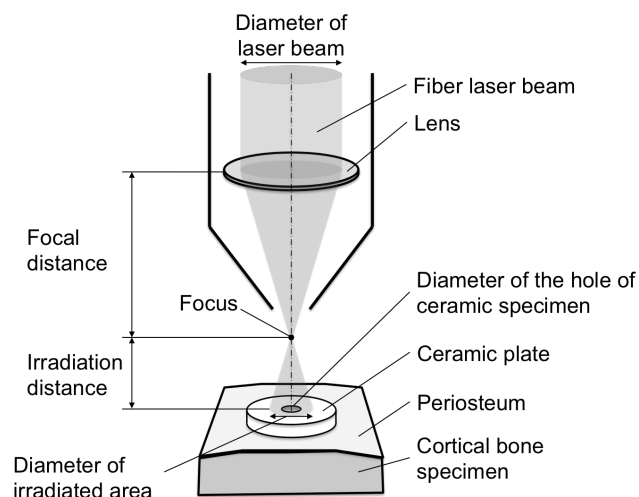


Fig. 2 Laser irradiation system

2-3 レーザ接合

骨試験片とセラミックス試験片の接合には、ファイバーレーザー加工機を使用した(図2)。骨試験片上にセラミックス試験片を配置し、レーザーを照射した。この際、レーザー照射によりセラミックス試験片が移動しないようアルミ製治具で軽く押さえた。

レーザー照射条件は、レーザー出力 400 W、照射時間 1 秒、照射領域を直径 5 mm とし、接合強度に及ぼすガラス添加量の影響を調査した。このとき、レーザー光誘導路の中心とレーザー光中心を一致させ、焦点距離 150 mm の集光レンズを用いて、セラミックス試験片表面から高さ 34 mm の位置にレーザービームを集光させた。

次に、接合強度が最大となったセラミックス試験片を用いて、図2に示すように骨表面とのレーザー接合性を検証した。

2-4 接合部せん断破壊試験

骨試験片とセラミックス試験片の接合部のせん断強度を測定するため、破壊試験を実施した。図3に示すように、

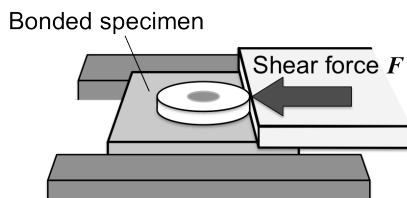


Fig. 3 Experimental system for obtaining the fracture shear force of the bonding plane between ceramic and bone specimens⁽³⁾

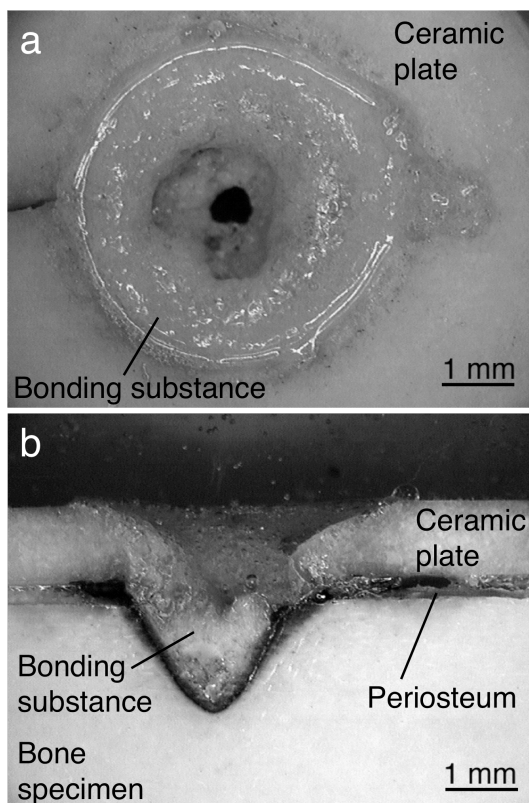


Fig. 4 (a) Top view and (b) cross-section of the bonding area between ceramics containing of 20 w% glass and bone surface

力学試験機(Instron 製 Model 3365)を使用し、 ± 50 N のロードセル先端に取り付けた金属プレートによりセラミックス試験片側面に負荷した。金属プレートの変位速度を 0.1 mm/min とし、最大荷重を接合強度とした。

3. 結果と考察

ガラス添加量と接合部のせん断破壊強度の関係を調査した結果、ガラス添加量 60 w% で焼結させた場合、接合強度が最小(5.3 ± 2.3 N; n = 7)となり、ガラス添加率 20 w% のとき接合強度が最大(12.4 ± 3.8 N; n = 7)となった。ハイドロキシアパタイトとガラス粉末の含有割合が接合強度に大きく影響を与えることがわかった。

次に、ガラス添加量 20 w% のセラミックス試験片と骨膜を保存した骨試験片とのレーザー接合実験を行った。図4に示すように、レーザー出力 400 W、照射時間 1 秒としたとき、セラミックスプレートを骨膜上から骨表面にレーザー接合可能であることを確認した。レーザー誘導路を中心にセラミックス試験片、骨膜、骨試験片が熔融し、新たに接合組織が生成され、これによりセラミックスと骨組織が接合されたと考えられる。

図5に、接合組織のSEM観察画像を示す。接合組織は、多孔質な微視構造を有している。EDS成分分析の結果、生成組織は、骨、骨膜、セラミックスの成分を有することが確認された。これより、接合組織は、レーザー照射中に骨、骨膜、セラミックスが熔融し、発泡しながら形成されたと考えられる。この発泡には、骨組織内のコラーゲン成分や骨膜が影響していると予想される。

形成された接合部のせん断破壊強度は、 3.9 ± 6.0 N (n = 9)であった。特に、熔融量が少ない場合ではせん断強度が低かった。今後、熔融量の制御が課題となる。

参考文献

- (1) 荻田平, 但野茂, 東藤正浩, 金岡優, ハイドロキシアパタイト焼結体のレーザー接合性, 日本機械学会論文集 C 編, 77巻, 774号, pp. 537-544, 2011.
- (2) T. Ogita, M. Kanaoka, M. Todoh, S. Tadano, In Vitro Laser Bonding of Bovine Cortical Bone Specimen and TCP-Glass Ceramics, Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol. 7, No. 2, pp. 248-258, 2012.
- (3) S. Tadano, S. Yamada, M. Kanaoka, Irradiation Conditions for Fiber Laser Bonding of HAp-Glass Ceramics with Bovine Cortical Bone, Bio-Medical Materials and Engineering, Vol. 24, pp. 1555-1562, 2014.

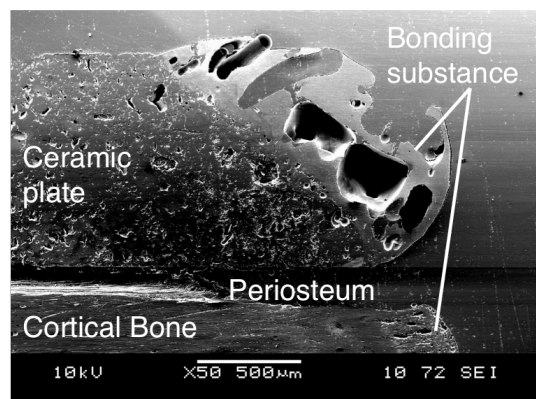


Fig. 5 SEM image of the bonding substance