

# レーザー溶接時における純チタンフレームの変形の進行

嶋倉道郎 三浦浩輝<sup>1</sup>

## Deformation of Pure Titanium Frames in Laser Welding

Michio SHIMAKURA and Koki MIURA<sup>1</sup>

The purpose of this study is to investigate the deformation of metal frames in laser welding. Pure titanium specimens of 30.0×10.0×2.0mm were prepared for laser welding. The short sides of the two specimens were butted against each other, and laser was irradiated to five spots along the joint in the different order. After each laser irradiation, the deformation of the specimen was measured using a stereomicroscope and the data under different irradiation conditions were compared.

The results were as follows :

1. The specimen was deformed greatly by the first laser irradiation, and the rate of deformation decreased with the increase in the number of irradiations.
2. The deformation was minimized when the first irradiation spot was at the center of the joint and then the spots were shifted toward its peripheries.
3. Regardless of the irradiation order the metal frames were firmly connected by 3 laser irradiations. However, the deformation of the metal frame was progressed even after the 5th irradiation.

Key words : laser welding, pure titanium, deformation, irradiation order

## 緒 言

近年歯科補綴領域では、メタルフレーム同士を接合する場合、従来の鑢着法に代わるものとしてレーザー溶接法が普及しつつある。レーザー溶接法は鑢着法に比較すると、口腔内での位置の固定や埋没といった煩雑な操作が不要であり、作業模型上で直接行うため簡便である。しかしながら接合部の金属を急激に溶解、凝固させることにより接合させるため、ポロシティやクラックなどの溶接欠陥が発生したり、フレームが変形したりする

といった問題点もあげられている<sup>1-5)</sup>。これまでにレーザー溶接による溶接欠陥の発生抑制や、フレームの変形防止の方法については多くの研究が行われてきた<sup>3,6-11)</sup>。

現在歯科技工用として用いられているレーザー溶接機は、すべてパルス発振のNd:YAGレーザーを応用したものである。レーザー溶接によるメタルフレームの変形は、レーザーの照射条件やフレーム溶接部分の断面形態などが影響するといわれている。しかしパルス発振のレーザーでは、一回照射するごとにメタルフレームの変形が進行

受付：平成23年12月28日，受理：平成24年2月7日  
奥羽大学大学院歯学研究科咬合機能修復学分野  
奥羽大学歯学部歯科補綴学講座<sup>1</sup>

Department of Occlusal Rehabilitation, Ohu University  
Graduate School of Dentistry  
Department of Prosthodontics, Ohu University School  
of Dentistry<sup>1</sup>

すると考えられるが、これについて詳細に検討した研究は少ない。今回はレーザー溶接時に、接合部へのレーザー照射位置とその照射順序を変えた場合、メタルフレームの変形がどのように進行していくかを調べる目的で、純チタン板を使用して実験を行った。

## 材料と方法

### 1. 試料の作製

レーザー溶接用試料として、既製のJIS第2種純チタン板を $2.0 \times 10.0 \times 30.0$ mmの寸法に切断した。この板状試料の短辺(10.0mm)同士を溶接することとし、#600までの研磨紙を用いて、この試料の底面を平坦に、溶接する短辺の断面を直角に仕上げた。さらにレーザーの照射面には光反射率を抑えるため、平均粒径 $50 \mu\text{m}$ のアルミナサンドブラスト処理を行った(図1)。

### 2. レーザー照射

溶接にはNd:YAGレーザー溶接機ML-2150A(ミヤチテクノス)を使用した。まず2枚の試料の溶接する短辺同士を、枳形ブロック(A級、平面度 $7 \mu\text{m}$ 以下)上で接合部が溝の上に来るようにして突き合わせ、片方の試料をクリップで固定した(図2)。次に接合部の5か所に真上からレーザーを照射し溶接した。

照射位置は接合部の縁から1, 3, 5, 7, 9mmの2mm間隔の5か所とし、順番を変えてレーザーを照射した(図3)。レーザーの照射条件は出力を2.8kW、スポット径を0.6mm、パルス幅は5.0msに固定して行った。照射順は表1に示す5条件とし、試料数は各条件5組ずつとした。

### 3. 変形の計測

一回のレーザー照射ごとに、試料の接合部とは反対側断端のブロック面からの浮き上がり量を測定した。浮き上がり量は実体顕微鏡(SMZ-800, ニコン)を用いて、試料断端に印記した3か所の標点で、試料底面とブロック面との距離を測定し、平均値を求めた(図4, 5)。

以上の方法により、各レーザー照射順の条件について、1回目から5回目までの照射により、純チタンフレームの変形がどのように進んだかを比較した。各条件間での浮き上がり量の差の検定

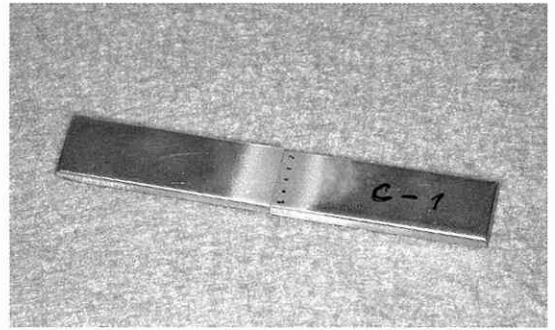


図1 レーザー照射面にサンドブラスト処理を行った溶接用試料



図2 枳形ブロック上で2枚の試料の短辺同士を突き合わせ、片方をクリップで固定する

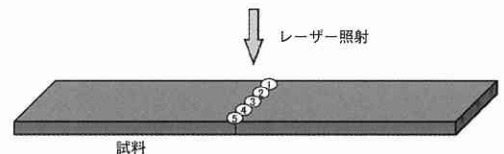


図3 試料接合部のレーザー照射位置

は、一元配置分散分析およびTukeyの多重比較により行った。

## 結果

各条件におけるレーザー照射回数の増加による、試料断端の浮き上がり量の変化を図6に示す。

試料は照射順の条件にかかわらず、1回目のレーザー照射で断端が $300 \mu\text{m}$ 程度の大きな浮き上がりを示し、照射回数が増えるに従って徐々に浮き上がり量も増加した。条件別で比較してみると、4回目のレーザー照射後から浮き上がり量の

表 1 試料接合部へのレーザー照射順

Type-A	: ① → ② → ③ → ④ → ⑤
Type-B	: ③ → ② → ④ → ① → ⑤
Type-C	: ① → ⑤ → ② → ④ → ③
Type-D	: ③ → ① → ⑤ → ② → ④
Type-E	: ① → ⑤ → ③ → ② → ④

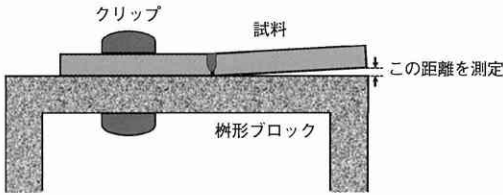


図 4 レーザー照射後の変形量の測定方法

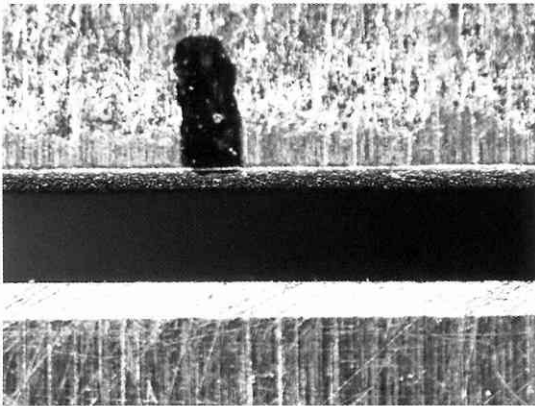


図 5 試料断端のブロック面からの浮き上がりを実体顕微鏡像で測定する

差が大きくなり、5回目の照射後では Type-D が  $526 \pm 90.6 \mu\text{m}$ 、Type-E が  $524 \pm 74.4 \mu\text{m}$  とほぼ同じ値で最大の浮き上がり量を示し、Type-B が  $442 \pm 57.3 \mu\text{m}$  と最小の値を示した。

統計処理の結果、4回目のレーザー照射後まではいずれの条件でも差の有意性は認められなかったが、5回目のレーザー照射後では危険率 5% 以下で条件間に有意性が認められ、照射順 Type-B が Type-D および Type-E よりも有意に小さい値を示した。

また今回の実験条件では、レーザー照射 4 回目以降は、試料の角変形量の増加は緩やかになる傾

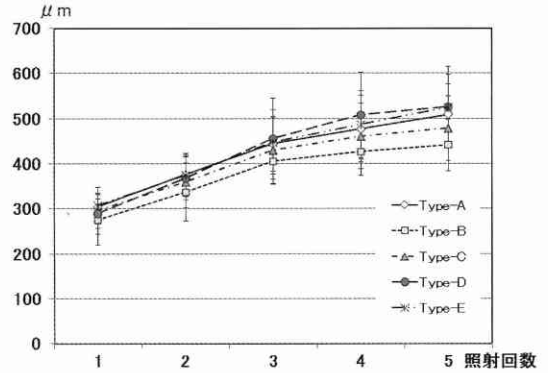


図 6 各レーザー照射順における試料断端の浮き上がり量

向を示したが、5回目の照射後でも変形は認められた。

## 考 察

### 1. 実験方法について

レーザー溶接によるメタルフレームの変形については、これまでもいくつかの観点から研究がなされ、影響を及ぼす因子としてレーザーの照射条件や、接合部の断面形態などが挙げられている<sup>8,10,11)</sup>。レーザー溶接は照射されたレーザーの光エネルギーが、金属表面で吸収されて熱エネルギーに変換され、照射部位が瞬間的に高温となって溶解することによって接合する方法である。

したがって金属の性質によって、溶接しやすいものと逆に溶接しにくいものがある。すなわち光を吸収しやすい金属は、熱エネルギーへの変換効率が高いため、温度が上がりやすく溶けやすい。また熱伝導率が低い金属ほど、熱が局所的にたまることになるのでやはり溶けやすい。現在臨床で使用されている歯科用金属の中では、金や銀などの貴金属類は光吸収率が低く、熱伝導率が高いためレーザーを照射しても温度が上がりにくく溶けにくい。一方チタンは逆に光吸収率が高く熱伝導率が低いため、レーザー溶接には適した金属であるといえる。そこで今回の実験では、試料として既製の純チタン板を使用した。

レーザー溶接によるメタルフレーム変形の主な原因は、金属の凝固収縮によるといわれている。そこでこの変形を極力少なくするためには、一回

のレーザー照射で接合部の表面から底面まで溶解できる、いわゆる貫通溶接が可能な照射条件で行うことが推奨されている<sup>10,11)</sup>。溶接部が厚くてそのままの突き合わせでは貫通溶接が難しい場合には、まず接合面の上下にベベルを付けて厚さを薄くした、いわゆる開先形態にして貫通溶接を行い、後からフィラーメタルをレーザー照射しながら盛り足して、形態を整えるのがよいといわれている。今回の実験条件で純チタンにレーザーを照射した場合、溶解深度は約1.5mmである。試料の厚さは2.0mmであるから、この条件で貫通溶接は不可能である。しかしながらこの実験の目的は、レーザーの照射位置と照射順を変えた場合、パルス照射ごとに変形がどのように進行するかを調べることにある。そこで意図的に変形が起りやすいように、貫通溶接ではなく試料の厚さの2/3～3/4程度を溶解できるような照射条件を設定した。

## 2. 結果について

今回の条件では照射順にかかわらず、いずれの試料も最初のレーザー照射で約300 $\mu$ mと大きな浮き上がりを示し、照射回数の増加とともに変形も大きくなったが、その増え方は次第に小さくなった。これは最初のレーザー照射では片方の試料が自由な状態であるため、金属が溶解して凝固に至るまで、変形を抑制する力が何も働かなかったためと考えられる。2回目の照射以降は、すでに試料の一部分が溶接固定されているため、変形を抑制する力として働き、この溶接部分が増加するにしたがって抑制力も強くなり、変形の増え方も次第に減っていったのではないかと推察される。

また4回目のレーザー照射後までは、照射順による変形量の違いに有意性は認められなかったが、5回目の照射後の変形量では、Type-BがType-DおよびType-Eよりも有意に小さい値を示した。実際の臨床でレーザー溶接を行う場合、最初に接合面の中央部と端を溶接してから、次に溶融部が2/3程度オーバーラップするように、少しずつ移動させてレーザー照射しながら、溶接するという手法が採られることが多い。今回の実験では、接合面の中央部からレーザー照射を始めて、次第にその周囲へと照射位置を移動させていく方が変形は少ないという結果が得られた。李らは、

試料表面からだけでなく裏面からもレーザー照射を行って、レーザー照射順の違いがフレームの変形に及ぼす影響を調べている<sup>7)</sup>。その結果、やはり中央部から始めて次第に周囲へ向かい、表裏、表裏という順で照射する方法が、一番試料の変形は少なかったと報告している。したがってレーザー溶接にあたっては、照射位置を接合面中央部から開始して、次第に周囲へ移動させていく方法により、フレームの変形を少なくできることが示唆された。

また、5回目のレーザー照射後でも変形の増加が見られた。実際の試料を触ってみると3回目のレーザー照射後では、素手では折ることができない位強固に接合されていた。しかしながら4回目、5回目のレーザー照射によってやはり変形は進行した。これまでの研究で、1枚の金属板の表面にレーザーを照射して溶解させた場合でも、その板が撓んで変形することが報告されている<sup>12)</sup>。これらのことから考えると、レーザー照射により金属が溶解し、凝固する時に引かれて変形する力は予想以上に強く、完全に抑制することは難しいことが伺われる。したがって実際のレーザー溶接にあたっては、十分な注意が必要であることが示唆された。

## 結 論

レーザー溶接時における純チタンフレームの変形の進行を調べる目的で、照射位置と照射順を変えて比較検討した結果、以下の結論を得た。

1. 純チタンフレームは、最初のレーザー照射で断端が約300 $\mu$ m浮き上がるという大きな角変形を示し、照射回数を重ねるとともにその増え方が減少した。

2. 純チタンフレームの変形は、レーザー照射を最初に中央部から始めて、次にその両隣りさらにその外側という順に行う方法が少ない傾向を示した。

3. 照射順にかかわらず3回のレーザー照射でフレームは強固に接合されたが、5回目のレーザー照射でも、金属フレームの変形を完全に抑えることはできなかった。

## 文 献

- 1) 南里嶽仁：加工用レーザーの歯科補綴への応用（第4報）レーザー溶接の基礎的研究－溶接時の雰囲気と溶接部の問題点－. 補綴誌 **21**；282-290 1977.
  - 2) 柿本和俊：金銀パラジウム合金のレーザー溶接に関する基礎的研究 第3報機械的性質に影響を与える因子. 補綴誌 **32**；62-73 1988.
  - 3) Lee, WS., Miyazaki, T., Shimakura, M. : A basic study on laser beam welding of titanium plates using a Nd : YAG laser welder with pulse width modulation. 日レ歯誌 **12**；103-108 2001.
  - 4) 李 元植：チタンのレーザー溶接におけるレーザー光の作用. Q D T別冊 チタンの歯科技工 Part 2；209-218 2002.
  - 5) 柿本和俊, 藤岡宗之輔, 井上太郎, 岡崎定司, 小正 裕：矩形波のレーザー溶接によるポロシティの発生. 歯材器 **24**；421-430 2005.
  - 6) 氷見彰敏, 柿本和俊, 河畑誠司, 小正 裕, 権田悦通：歯科補綴物のレーザー溶接における変形の防止法－埋没材による固定および熱処理の硬化－. 補綴誌 **43**；131-137 1999.
  - 7) 李 元植, 前原 聡, 宮崎 隆：省力化を目的としたNd : YAG レーザー溶接装置の歯科技工への応用に関する研究（第2報）照射順設定による影響について. 歯材器 **19**(35回特別号)；100 2000.
  - 8) 都賀谷紀宏, 篠崎照泰, 末瀬一彦：歯科領域におけるレーザー溶接の応用（第4報）溶接変形を抑制するための照射条件. 歯材器 **20**(38回特別号)；45 2001.
  - 9) 柿本和俊, 小石同亮, 福岡哲郎, 亀水忠宗, 井上太郎, 岡崎定司, 小正 裕：パルス波形制御によるレーザー溶接欠陥の防止－突合せ継手溶接について－. 歯材器 **25**(48回特別号)；407 2006.
  - 10) Shimakura, M., Yamada, S., Takeuchi, M., Miura, K., Ikeyama, J. : Influence of irradiation conditions on deformation of pure titanium frames in laser welding. Dental Material J. **28**；243-247 2009.
  - 11) 池山丈二：レーザー溶接の条件が純チタンプレートの変形に及ぼす影響. 奥羽大歯学誌 **38**；1-8 2011.
  - 12) 菊地久二, 黒谷知子, 平口久子, 掛谷昌宏, 深瀬康公, 廣瀬英晴, 米山隆之：レーザー溶接におけるパルス波形が変形に及ぼす影響. 日大歯学 **83**；111-115 2009.
- 著者への連絡先：嶋倉道郎, (〒963-8611) 郡山市富田町字三角堂31-1 奥羽大学大学院歯学研究科咬合機能修復学分野  
Reprint requests : Michio SHIMAKURA, Department of Occlusal Rehabilitation, Ohu University Graduate School of Dentistry  
31-1 Misumido, Tomita, Koriyama, 963-8611, Japan