

導線放電爆発の歯科補綴への応用 : 1 : 金属床の試作

福田, 重久

黒岩, 整治

栖原, 寿郎

<https://doi.org/10.15017/4743523>

出版情報 : 應用力學研究所所報. 41, pp. 57-65, 1974-02. 九州大学応用力学研究所
バージョン :
権利関係 :



導線放電爆発の歯科補綴への応用 (1)[†]

金属床の試作

福	田	重	久*
黒	岩	整	治**
栖	原	寿	郎***

概 要

導線放電爆発を利用して、歯科補綴に用いられる金属義歯床の試作実験を行なった。導線放電爆発のもつ種々な特徴¹⁾を適当に組み合わせることによって、歯科用超硬質石膏製の成形型を使った水中放電成形法で、金属床が成形できることがわかった。また成形装置と操作が従来の成形方法よりもかなり簡易化されたので、繰返し成形が容易になり、適合精度のよい床が得られるようになった。つぎに、床とレジンとの接着部に、同じく線の放電爆発を用いた金属溶射²⁾を行なうことによって、両者の間に充分な接着力を得ることができたので、レジン保持部の構造が単純化された。

この床を臨床へ数例応用したが、いずれも良好な成績を得ることができたので、本金属床の放電成形法と線爆溶射の応用法について述べる。

1. ま え が き

歯牙の欠損数が多くなってくると、俗にいう総入れ歯（総義歯）または部分床義歯を装着することになるが、これらの義歯床は主としてアクリル樹脂か、または金属で作られる。

樹脂床義歯は製作が容易で安価にできるので多用されているが、金属床義歯に比べると、床厚が2～10倍も厚くて口腔内にあっては異物感が大きいこと、熱伝導率が1/10～1/100と小さいので飲食物の温度感が少ないこと、寸法精度が悪いので装着したときに密着性が悪いこと、吸水性であるために歯垢が付着し易いなどの点で劣る。一方金属床義歯においても、製作に特殊技工を要し高価であること、適合の修正に難があること、鑄造床ではやや重いなどの欠点がある。

この金属床では、近年、歯科精密鑄造技術の進歩に伴って合金鑄造義歯床が発展してきて臨床に多く用いられるようになったが、プレス（圧印）床は衰退してきた。その理由として、圧印床製作過程の複雑さ、適合精度に難があるなどの問題点が指摘される。しかしながら、圧印床は薄くて軽く（鑄造床の1/2～1/3）できる特長をもつので、患者の使用における異和感がより少なく、根強く愛用されている。

† 第60回日本補綴歯科学会(1973. 10)で講演

* 九州大学助手, 応用力学研究所

** 九州大学講師, 歯学部

*** 九州大学教授, 応用力学研究所

最近になって、エポキシ樹脂製の成形型を使った爆発成形法で圧印床を製作して成功した田縁らの報告がある^{3),4)}が、その報告では、この方法の問題点としては爆発成形器と成形操作のより簡略化を図り、成形品の寸法変化の少ない再現性のよいものができるように努力しなければならないであろうと述べている。

本研究では、圧印床製作に関して、製作上の工程の複雑さをできるだけ省力化することと、適合精度のよい床を作ることに主目標がおかれたが、導線放電爆発の応用によって一応の目的を果すことができた。まず成形に関しては、素板を予備成形して略々成形型に近づけておくことと、成形時の素板が適正な成形速度を得るように放電条件を制御することによって、超硬質石膏製の成形型が使用できるようになった。したがって成形装置と型作りの操作が簡易化された。また、成形された床の型に対する適合精度は、成形時の素板の成形速度を石膏に対して適正にすることによって、かなり良いものとする事ができる。適正な方法で2, 3回繰り返し成形したものは鋳造床よりも精度がよい。

つぎに床を口蓋へ吸着させるための床後縁閉鎖堤(ポスト・ダム)部と、義歯接合部には、線爆溶射法で、耐蝕性の金属を約 20μ 粗さに溶射する方法をとったので、床とレジンとの充分な接着力が得られるようになった。したがって、ポスト・ダムの形成も容易になり、また義歯接合用レジン保持部の構造が単純化された。

2. 放電成形の方法

2.1. 成形装置

図1に放電回路と成形部の構成を示す。成形に使用した放電装置の主要目はコンデンサ容量が $40\mu\text{F}$ で、最大放電電圧が 30kV である。したがって最大充電エネルギーは 18kJoule である。また、回路の固

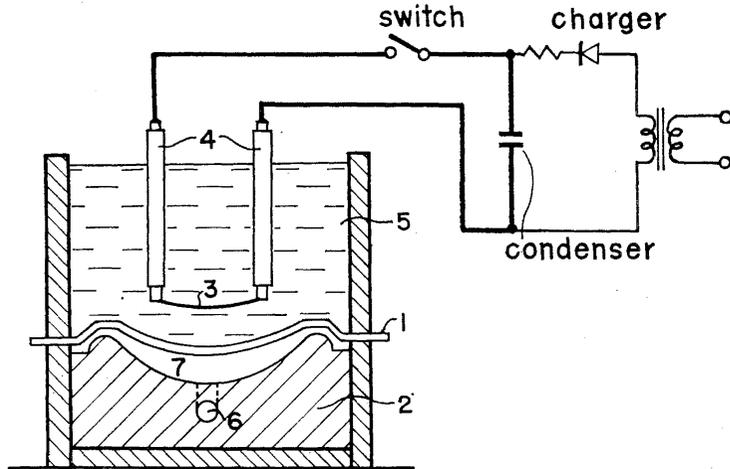


図1 放電成形装置の回路と成形部

- | | |
|---------------|----------------|
| 成形部 | |
| 1: 成形素板 | 5: 放電水槽 |
| 2: 成形型(超硬石膏製) | 6: 空気流出孔 |
| 3: 爆発導線(fuse) | 7: すき間(1~2)と空気 |
| 4: 電極 | |

有周波数は 22kHz のものである。このコンデンサバンクと成形部の電極とは出力ケーブルで接続され、電極先端に架線された導線を放電によって爆発させるようになっている。

成形部はきわめて簡単な水中放電成形器であって、水槽は軟鋼筒と素板（底板）とを組み合わせたものである。この水槽と素板の直下に置かれた成型型とは、弓状万力で締め付けられて一体となったものである。水槽用軟鋼筒の寸法は、内径 70mm、高さ 50mm、肉厚 10mm であって、素板に接する側端には水密のためのゴムリングがはめ込まれている。

成型型の枠は外径 90mm、高さ 30mm、肉厚 3mm の真鍮筒と、筒の内側に設けられた 5mm 厚の軟鋼底板からなっており、枠の中には超硬石膏製の成型型が、それを保持するための石膏で埋められている。この枠と型には成形の際に、素板と型との間の空気が流出するための 5~6 mm 径の穴が 1~4 箇所設けられている。

2.2. 成型型と予備成形

成型型は図 2 の写真に示すような歯科用超硬質石膏 (dental stone) で作られているものである。

この石膏は表 1 に示すように、FRP や鋼よりも反発比が小さく、約 1/2 である。この石膏型で成形したものはスプリングバックが小さくて寸法精度がよい。

しかし、表 2 に示すように、この石膏は圧縮強度が 700kg/cm² と大きい反面、引張強度はその 1/7 しかないので、型として使用する際には大きな引張応力がかからないように注意しなければならない。

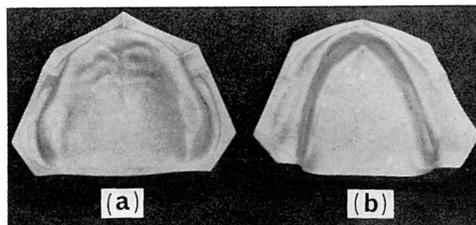


図 2 超硬質石膏の顎模型
(a) 上顎, (b) 下顎

表 1 鋼球 (10d) の反発比

materials	dental stone	FRP	mild steel
steel ball (10mmd)	0.264	0.498	>0.41

表 2 超硬質石膏の強度

	σ_c (kg/cm ²)	σ_t (kg/cm ²)	ρ (g/cm ³)
wet	332	—	1.94
dry	698	96	1.86

(σ_c : 圧縮強度, σ_t : 引張り強度, ρ : 比重)

それで、まず素板の成形前に、図3に示すような形状に素板を予備成形 (pre forming) しておき、本成形の際の素板の衝突によって、石膏が大きな引張応力を受けることを防止している。また、素板をこのように予備成形して、成形型との間隔を 2~3 mm まで近づけておくと、成形時のエネルギーが比較的小さくてすみ、型も壊れ難く、2, 3回の成形に耐える。それと、従来は素板と型との間の空気を真空ポンプで排気しておいてから成形を行っていたが、本法のように素板を予備成形したものは板と型とのすき間の空気量が少ないので、空気流出孔を設けるだけでよく、わざわざ排気する必要がない。

図3の(a)はプレスで2mm深さに成形したものであり、(b), (c), (d)は放電成形法で0.3mmの18—8ステンレス鋼板(a)を図に示す条件で自由成形し、その形状を比較したものである。(b), (c), (d)はともに、(b)に示してある自由成形用の枠で成形したものであるが、成形方法によって少しづつ形が異なっている。(b)は単発成形 (5.5 kV, 40 μ F) を行なったものであり、少しとがった形をしている。(c)は素板の中央部にゴム板を敷いて成形 (6 kV, 40 μ F) したものであるが、(b)よりもやや丸味をもった形をしている。これを試みに上顎標準模型 (点線) と比較すると、かなり近似した形をしていることがわかる。(d)は比較的弱い放電 (5 kV, 40 μ F) を2回繰り返したためにさらに円弧状に近い形となっている。

2.3. 成形方法

本成形方法は、水中導線放電爆発による張出し成形法である。成形実験に使用した素板は市販の0.3, 0.4, 0.5mm厚さの18—8ステンレス鋼板と、0.4, 0.5mmの18K金合金板および0.5mmのPd合金板である。

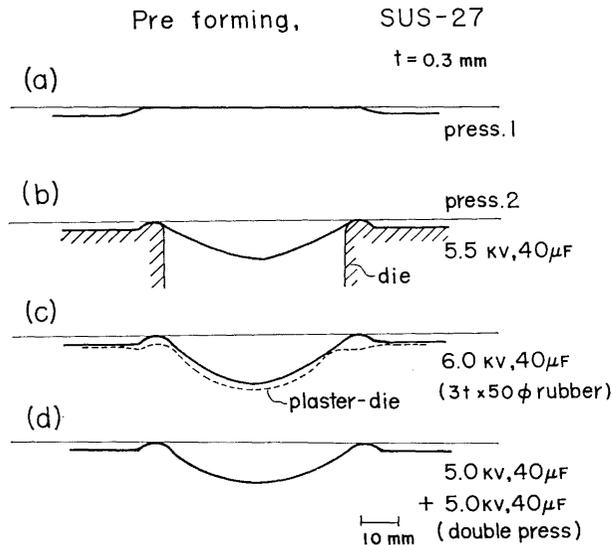


図3 素板の予備成形例
 (a)はプレスで皿状にしたもの (press. 1).
 (b), (c), (d)は(a)を右端に記入した放電条件で、自由成形させたもの (press. 2) であるが、(d)はとくに2回成形したものである。

成形エネルギーは主として、素板の寸法、形状、材質、成形型の形状でさまるが、その前に成形量に及ぼす放電条件などの基本的問題がある。爆発導線の水深位置は本成形用水槽の内径が 70mm であることから、標準的にはその 1/2 程度が適当であろう。

線の断面積 (s) と、長さ (l) は、

$$s = K_1 C V f^{2/3}, \quad (1)$$

$$l = K_2 V f^{-2/3} \quad (2)$$

式¹⁾で定めらるが、ヒューズ (prot-fuse) の K_1 は $25 \pm 12 \times 10^{-4}$ 、 K_2 は 4.3 ± 2 と広い範囲をもつので使用し易い。(C: コンデンサ容量 (F), V: 充電電圧 (V), f: 回路の周波数 (Hz)).

線の形状は型の形状によってその都度変えられるが、本成形時には、型に設けてある空気流出口からみて遠い方の側から素板と型との衝突が始まって、流出口が最後に接するようにする。

成形に要する放電エネルギー量の例を示すと、まず予備成形には、5~6kV、40 μ F の充電エネルギーの放電で 0.75 ϕ ×20mm のヒューズ線を水中で爆発させる。つぎに、本成形では 0.75 ϕ ×30mm のヒューズ線を、8~10kV、40 μ F の充電エネルギーの放電で水中爆発させる。本成形時の素板の張り出し速度を高速度カメラで測定した結果、最適成形時の速度は 100~130 m/sec であった。この速度が遅いと成形不足になり、速すぎると型が破壊されて過成形になる。

最後に、成形された素板から床を切り出して本成形のときと同程度のエネルギーで再成形すると、寸法精度のよい床ができる。

3. 成形結果

3.1. 素板の材質変化

放電成形されて床の形となった素板は、変形の大きい箇所では板厚が25%ほど薄くなっており、10~50%加工硬化している。とくに18-8 ステンレス鋼板には、マルテンサイト変形が見られる。

3.2. 床の寸法精度

本方法で成形した 18K 金合金製、Pd 合金製、18-8 ステンレス鋼製の三種類の床の寸法精度を測定した結果、いずれも 5/100mm 以下であり、とくに Pd 合金製の精度が高かった。この結果は、精密鑄造床の寸法精度の平均 10/100mm よりもさらによい。

このように、成形装置と、成形操作が簡略化され、しかも精度のよい床を成形することができた。また、従来の圧印床成形過程で行なわれている素板の焼鈍処理は、いずれの材料についても必要ではなかった。図4は本成形法で成形して作った金属床である。

4. 線爆溶射の方法

4.1. 溶射装置

本実験に用いた線爆溶射²⁾装置の放電回路の定格は、コンデンサ容量が 80 μ F で、最大充電電圧が 30kV、回路の周波数が 22kHz である。この放電回路は図1の回路と同じ構成であるが、図1の成形部

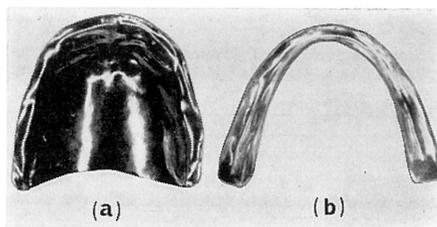


図 4 放電成形した金属床
(0.5 mm ステンレス鋼)
(a) 上顎用, (b) 下顎用

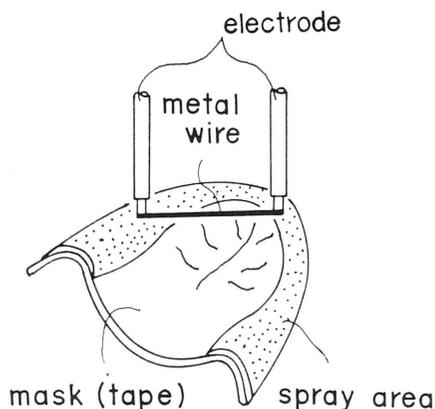


図 5 金属(線爆)溶射の説明図

電極先端の金属線はコンデンサからの放電電流によって爆発し、線自体の約 $\frac{1}{2}$ が溶融粒子となって、秒速数百米の速さで溶射される。

が溶射部に代わったものである。

4.2. 溶射方法

図 5 に示す線爆溶射の方法で溶射を行なった金属表面はレジンとの接着力がきわめて強いので、この方法を床とレジンとの接合部に応用したものである。床のレジン保持部と、ポスト・ダム部へは耐蝕性のある金属、例えば W や Ta を約 20μ 粗さに線爆溶射するのが適当である。溶射粒子をこれよりも粗くすると、床と粒子との付着力が弱くなり、また逆に粗さを 20μ 以下にするとレジンとの付着力が落ちてくる。溶射線の寸法、材質、放電条件との関係は 2・3 項の式 (1), (2) を用いてきめればよいが、W と Ta 線の場合には、 K_1 を 1.2×10^{-3} 、 K_2 を 4 にとればよい。また床と線との距離 (d) は

$$d \doteq (25 \pm 5)r \quad (3)^{2)}$$

(r : 線の半径) にとり、なお、床面と溶射粒子との衝突角 (θ) が、 $\theta = 90 \pm 45^\circ$ 範囲になるようにして溶射する。

溶射部以外はラッカーか、セロハンテープでマスクしておいて粒子の付着を防げばよい。図6は溶射した床の写真である。写真の溶射部に穴があけてあるのは、レジン保持を確実にするためのものであり、特に設けなくてもよい。

5. 溶射結果

5.1. 溶射面とレジン接着強度の試験

図7の上図に示す軟鋼丸棒の試験片の間に即重レジン糊(アクリル系)を挟んで付き合わせ、レジンが硬化した後に引張試験を行なって、試片とレジンとの接着強度に及ぼす試片面の影響をしらべた。試片は、接合面を 0.1μ 粗さに仕上げたものと、新しいエメリーペーパーで 0.2μ と 2μ 粗さに傷付けたものと、Wを 20μ 粗さに溶射したものである。試験結果は図7に示すように面が粗くなるほど

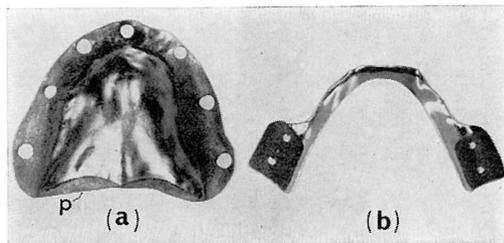


図6 金属溶射処理(非光沢部)を行なった床
(a) 上顎用, Pはポストダム, (b) 下顎用(部分床)

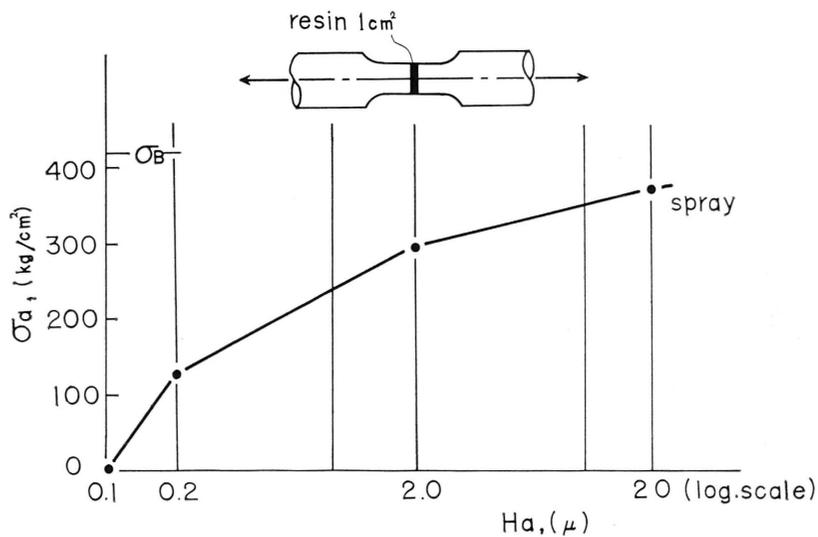


図7 丸棒試験片(図上)のつき合わせ部の面粗さ(H_a)と即重レジンとの接着強度(σ_a)関係

σ_B : レジンの破断強度

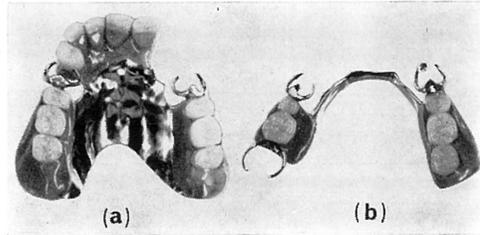


図 8 完成した義歯例(部分床)

(a) 上顎用, (b) 下顎用

付着強度が大きく、溶射したものでは即重レジン(425 kg/cm²)とほぼ同じ付着強度を示した。

5.2. 床への応用

金属床面のレジン接着部へ適当に金属を溶射すれば、床とレジンとは十分な付着力が得られるので、従来金属床のレジン保持部に設けられていたアンダーカットを持つ付線や、網目の保持装置など、複雑なものが不必要になり、床のレジン保持部が単純化された。

また、同様に上顎用総義歯床(金属)のポスト・ダム部へ金属を溶射して、レジン装置の下地を作ったものは、即重レジンの塗布によって容易にダムを形成することができる。この方法によってダムを設けた床は、上顎への吸着が強く、また、ダムの調整によってきわめて適合性のよいものとなった。

6. 臨床への応用結果

本方法で成形し、金属溶射によってレジン保持部を設けた金属床をもつ義歯は、口腔内へ装着されたときに、とくに薄くて軽く、密着性が良い点で好評を得ている。図8が本方法で試作した金属床の義歯である。

7. あとがき

導線放電爆発法で 0.3~0.5 mm 厚さの金属(18 K 金合金, Pd 合金, 18-8 ステンレス鋼)床を製作する実験を行なった結果、

- 1) 素板を予備成形して、本成形の際の放電エネルギーをできるだけ軽減してやることによって、歯科用超硬質石膏製の成形型を用いても十分な成形ができることがわかった。したがって、型の製作が容易になった。
- 2) 放電条件の制御で素板の変形速度と、板が型へ衝突する箇所の順序を適当にすることによって、板と型との間の空気を予備排気する必要がなくなった。
- 3) 素板が型へ衝突した際のスプリングバックが小さいので成形された床は型への適合精度が高い。
- 4) 床のレジン保持部は耐蝕性の金属を線爆溶射法で溶射することによって、レジンとの付着力を充分にすることができたので、レジン保持部が単純化された。

5) 上顎総義歯の維持吸着と、床後縁の保持部を粘膜へ適合させるためのポスト・ダムは線爆溶射で下地を作ることで、容易に形成できる。

6) 繰返し成形や、部分成形ができるので、不適合になったものを再プレス修正することができる。以上に述べたことによって、簡単に短時間で、適合精度の良い金属床を導線爆発法で製作できることがわかった。

臨床結果は床が軽いことと、[密着性がよいことで異和感が少なく、薄いので熱感がよく、また舌房(口腔内容積)が大きくなり、発声が自然に近い、などと好結果を得ている。

今後は素板や石膏の動的性質を明らかにすること、板の厚さや材質および予備成形の形状などに対する放電条件を格定することなどが必要である。

なお、本研究に当り御助力と指導を賜った歯学部の平安亮造教授、自見忠助教授、および実験を手伝っていただいた歯学部の寺田善博助手、応力研の松原監壮技官に対し、深く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 栖原寿郎, 北島一徳, 福田重久, 種々な媒体中における放電導線爆発に関する実験的研究, 応用力学研究所所報, 第27号, 1967, 塑性と加工, 第8巻, 第77号, 1967.
- 2) Suhara, T., Fukuda, S. and Ito, H., Metallic Spray by Wire Explosion, Rep. Res. Inst. Appl. Mech., Vol. XVI, No. 54, 1968.
- 3) 田縁昭, 後藤啓爾, 爆発成形法について—最近開発した有力な加工法—, 歯界展望, 第40巻, 第5号, 1972.
- 4) 藤田昌大, 清田堅吉, 福山重義, 田縁昭, 爆発成形法による金属義歯床の製作(第2報), 精機学会秋期講演, 1972.

(昭和48年11月8日 受理)