

緒 言

現在、市販されているチタン鑄造システムは、その鑄造方法によって、遠心型、二室加圧吸引型、一室加圧型および遠心加圧吸引型に分類される¹⁾。これらの鑄造システムでは鑄造方法によって、溶湯の流れ方や鑄造欠陥が発生する場所および頻度なども変わることが明らかとなっている²⁻⁴⁾。それゆえ、鑄造性や鑄造体の機械的性質および臨床的に良好な鑄造体の品質は、鑄造システムに大きく影響される。

一般に、歯科におけるチタン鑄造は、鑄造方法や使用する埋没材などがメーカーから提供され、マニュアルにしたがって製作するシステムが採用されている。しかし、それぞれの鑄造システムにおいて、品質の優れた鑄造体が常に製作できるまでには至っておらず、いまだに試行錯誤している場合が多い。例えば、埋没材の選択が挙げられる。システムで提供される埋没材のなかには、埋没材中の成分とチタン溶湯が反応し、鑄造体表面に反応層が生成するものもある⁵⁾。この反応層は鑄造体の機械的性質に大きく影響するので好ましくないとされている⁶⁾。そこで、他のチタン鑄造システムで使用される埋没材を使用することも多い。この場合、それぞれの鑄造システムと埋没材の特性の間の適合性が問題となる。特に、一室加圧型では、鑄型の通気度が鑄造性に影響を与えることが指摘されている^{7,8)}。

一般に通気度は、一定の試料を通して一定の圧力の空気が流れる速度で表した値である⁹⁾。都賀谷ら¹⁰⁾は空気の代わりにアルゴンを用いて埋没材の通気度を測定した。それによると、チタン鑄造システムに採用されている埋没材の通気度は、 $0.05\sim 5.5\text{ cm}^2/\text{cmH}_2\text{O}\cdot\text{min}$ と広範囲にわたり、埋没材の通気度とそれぞれの鑄造方法には相関が見いだせなかったとしている。しかし、上で述べたように、通気度は加圧型鑄造システムにおいて、鑄造性や鑄造欠陥に大きな影響を与える。それゆえ、鑄造時の鑄型空洞の圧力挙動を知ることが、適切な加圧のタイミングやチタン鑄造システムに適した埋没材の選択および鑄造体の品質評価などの検討に有益である。

そこで、本研究では、一室加圧型鑄造機の鑄造室の扉に、鑄型と鑄型空洞との関係を模した装置をセットし、鑄込み時の鑄造室内の圧力上昇と、鑄型を通して侵入してくるアルゴンガスによる鑄型空洞の圧力上昇を測定し、埋没材の通気度と圧力上昇との関係を検討した。さらに、鑄造室内と鑄型空洞の圧力差の変化を埋没材の通気度と関連づけて考察し、チタン鑄造体の外部および内部欠陥の防止策を検討した。

材料および方法

1. 圧力の測定

Fig. 1 に示すように、一室加圧型鑄造機（オートキャスト HC-III, ジーシー）の鑄造室扉の下縁より約 50 mm 上に直径 10 mm の穴を開け、鑄型と鑄型空洞との関係を模した圧力測定装置を取り付けた。この装置内に、外径 20 mm, 内径 14 mm, 厚さ 2.6 mm のシリコン製 Oリングを用いて、次節で説明する試料を固定した。この試料が鑄型に、鑄造機側が鑄造室に、その反対側が鑄型空洞にそれぞれ相当する。この鑄型空洞の圧力変化を圧力センサー（Type KH 17, 長野計器）により測定した。なお、鑄型空洞の容積は 6.51 cm^3 であった。

また、鑄造機のキャストボタンを押した時から圧力の計測を可能とするために、キャストボタンにマイクロスイッチ（AM 96909, 松下）を取り付け、キャストボタンが押されるとパルスが出力されるようにした。このパルスと圧力センサーの信号をデジタルオシロスコープ（VP-5730 A 50, ナショナル）のメモリーに記録しておき、あとで X-Y レコーダー（WX 4401, 渡辺測器）を用いてチャートに描かせた。

測定の際には、鑄造圧に相当するアルゴンガスの圧力（以下、設定鑄造圧と呼ぶ）を、メーカー推奨である 7 kgf/cm^2 と、その約半分の 3 kgf/cm^2 に設定した。

2. 試料の作製

一室加圧型のチタン鑄造システムに提供されているチタン鑄造用埋没材 T-インベスト（ジーシー）と T-インベスト C & B（ジーシー）を、また他のチタン鑄造システムに用いられるセラベスト CB（セレック）およびチタベスト CB（モリタ）を実験に供した。これらの埋没材を選択したのは、都賀谷ら¹⁰⁾の報

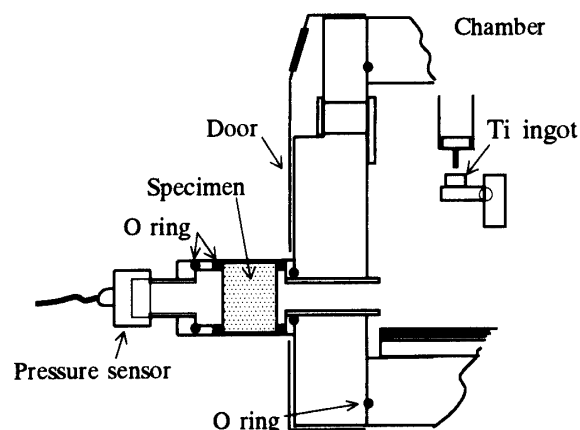


Fig. 1 Illustration of the equipment for pressure measurement with an enclosed one-chamber casting unit

告をもとに、通気度が小さいものから大きいものまで、広範囲にカバーするためである。

各メーカー指定の条件で真空練和した埋没材泥をガラス板上に置いた内径 18 mm, 高さ 10 mm の塩化ビニール製のリングに注入し, 上からガラス板を置いて硬化体を作製した。つぎに, 硬化体を各メーカーのマニュアルに従って指定温度まで加熱後, 室温まで炉冷した。これを試料とした。

なお, 試料の側面にシーリングテープを巻き, 側面からのガスの漏れを防いだ。

結 果

1. 鑄造室と鑄型空洞の圧力変化

1) 設定鑄造圧 7 kgf/cm² の場合

Fig. 2 に, 設定鑄造圧 7 kgf/cm² の場合の, 鑄造室と鑄型空洞の圧力変化の一部分を示す。

試料を圧力測定装置にセットしないで測定した圧力上昇, つまり鑄造室の圧力上昇は, キャストボタンを押してから約 0.4 s 後に始まり, 約 0.6 s で 3~4 kgf/cm² に到達した。この間の圧力上昇速度は約 18 kgf/cm²/s であった。圧力 4~4.5 kgf/cm² で圧力の上昇は急激に緩くなり, その後は設定鑄造圧に向かって

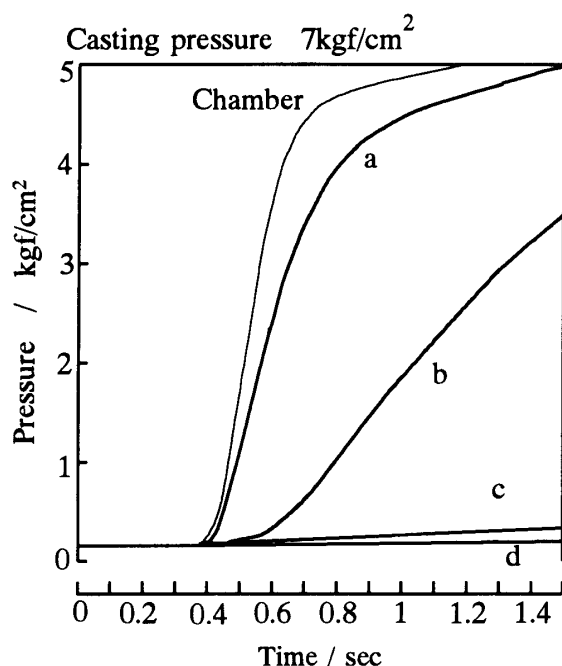


Fig. 2 Pressure change in the chamber and the cavity at a preset casting pressure of 7 kgf/cm²

The thin line shows the pressure change in the chamber, while the thick lines show pressure changes in the cavities. a : T-INVEST, b : Titavest CB, c : Selevest CB, d : T-INVEST C & B.

徐々に上昇した。11~12 s 後に設定鑄造圧に到達した。

T-インベストの場合, 鑄型空洞の圧力上昇は鑄造室のそれに似て急速に上昇し, 圧力上昇速度は約 13 kgf/cm²/s であった。これは鑄造室の圧力上昇速度の約 72% に相当し, 試験した埋没材の中で最も大きかった。

ところが, セレベスト CB と T-インベスト C & B では, 圧力の立ち上がりから 1 s 後でも鑄型空洞の圧力は 0.2~0.3 kgf/cm² であり, 圧力上昇速度は T-インベストの約 2% もしくはそれ以下と, 非常に小さかった。

一方, チタベスト CB は, 初期の圧力の立ち上がりは緩やかであったが, 約 0.6 s から急上昇した。その圧力上昇速度は約 4 kgf/cm²/s で, T-インベストのその約 31% と小さいが, セレベスト CB や T-インベスト C & B の場合の約 20 倍もしくはそれ以上であった。

2) 設定鑄造圧 3 kgf/cm² の場合

設定鑄造圧 3 kgf/cm² の圧力-時間曲線を Fig. 3 に示す。設定鑄造圧 7 kgf/cm² と同様に, 鑄造室の圧力の立ち上がりは, キャストボタンを押してから約 0.4 s 後に始まり, 約 0.6 s では約 2 kgf/cm² に達した。この場合の圧力上昇速度は約 9 kgf/cm²/s であり, これは設定鑄造圧 7 kgf/cm² の場合の半分であった。また, 設定鑄造圧に達するまでの時間は, 鑄造

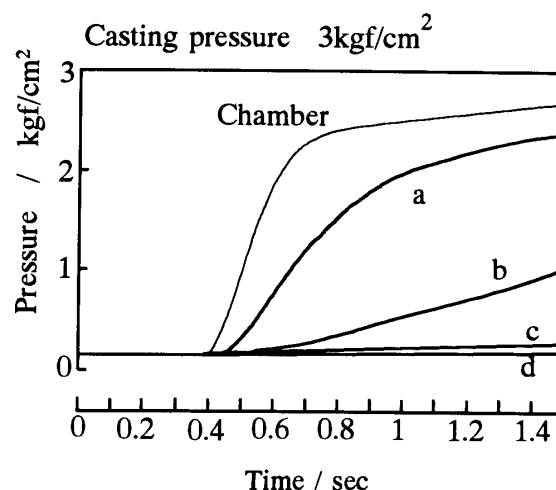


Fig. 3 Pressure change in the chamber and the cavity at a preset casting pressure of 3 kgf/cm²

The thin line shows the pressure change in the chamber, while the thick lines show pressure changes in the cavities. a : T-INVEST, b : Titavest CB, c : Selevest CB, d : T-INVEST C & B.

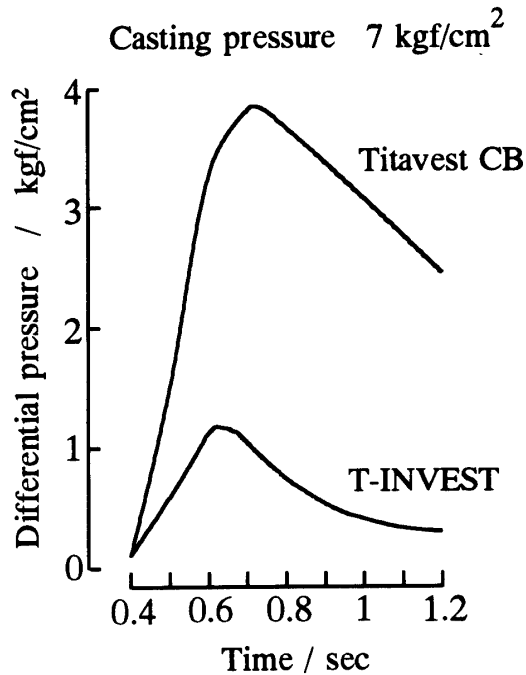


Fig. 4 Differential pressure curves at a preset casting pressure of 7 kgf/cm². The differential pressure is the difference between the chamber pressure and the cavity pressure.

圧 7 kgf/cm² の場合と同じ 11~12 s であった。

T-インベストは、設定鑄造圧 7 kgf/cm² の場合と同じように、圧力の立ち上がりが速く、圧力上昇速度は約 5 kgf/cm²/s であった。これは設定鑄造圧 7 kgf/cm² の場合の約 38% であった。また、チタベスト CB のそれは約 1 kgf/cm²/s であり、設定鑄造圧 7 kgf/cm² の場合の約 25% であった。

ところが、セレベスト CB と T-インベスト C & B の圧力上昇速度は、設定鑄造圧 7 kgf/cm² の場合の値よりそれほど大きく低下しなかった。

2. 圧力差

鑄造室と鑄型空洞との圧力差は、溶湯に作用する正味の圧力で、鑄込みの駆動力である。そこで、チタベスト CB と T-インベストについて、この圧力差の時間的变化を計算し、設定鑄造圧 7 kgf/cm² と 3 kgf/cm² の場合をそれぞれ Fig. 4, 5 に示す。

設定鑄造圧 7 kgf/cm² におけるチタベスト CB の圧力差は、キャストボタンを押してから約 0.7 s で最大値約 3.8 kgf/cm² を示した。設定鑄造圧を 3 kgf/cm² に下げると、最大に達する時間は 0.8 s とやや長くなり、圧力差の最大値は約 2.1 kgf/cm² と約 55% 低下した。

これに対して、T-インベストの圧力差の変化は特異であった。つまり、いずれの設定鑄造圧においても、最大圧力差に達する時間と大きさはほとんど変わらず、それぞれ約 0.6 s と約 1.2 kgf/cm² であった。

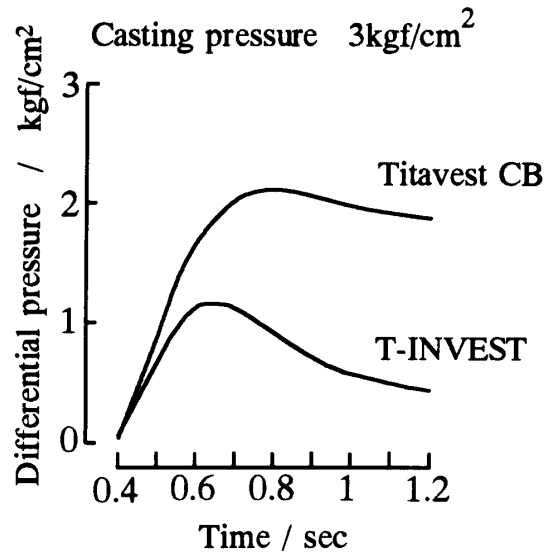


Fig. 5 Differential pressure curves at a preset casting pressure of 3 kgf/cm². The differential pressure is the difference between the chamber pressure and the cavity pressure.

これは、3 回繰り返し測定したが同じ結果であった。

Fig. 4, 5 に示さなかったセレベスト CB と T-インベスト C & B の圧力差の変化は、鑄造室の圧力上昇曲線に近似する。なぜならば、Fig. 2, 3 に示したように、鑄型空洞の圧力上昇が非常に小さいからである。

いずれの設定鑄造圧においても、圧力差の立ち上がり速度と最大圧力差は、T-インベスト C & B が最大で、T-インベストが最小である。チタベスト CB はこの中間に相当し、セレベスト CB は T-インベスト C & B に近い。

考 察

1. 圧力測定装置の特性

鑄型空洞の圧力上昇挙動に影響する因子は、鑄型の通気度や鑄型厚さのほかに、鑄型空洞、つまりパターンの体積と表面積が考えられる。井田¹¹⁾によれば、臨床的なパターンの体積は単純クラウンで 0.131 cm³、ブリッジで 0.418 cm³、全部床で 1.017 cm³ であり、体積/表面積の値は、単純クラウンで 0.4、ブリッジで 0.76、全部床で 0.2 である。本実験で用いた装置では、鑄型空洞の体積がパターンの体積に相当し、6.51 cm³ であり、試料の実断面積 1.54 cm² が表面積に相当する。この場合の体積/表面積は 4.23 であった。したがって、臨床的なパターンに比べると、体積で 6~50 倍大きい。また、体積/表面積で 10~20 倍大きいことから、表面積のわりに体積が過大である。

このように、試作した圧力測定装置は、臨床的な条件を完全に模倣することはできなかった。そのため、厳密

な評価においては、パターンの体積が一桁大きい場合の結果であることを考慮する必要がある。しかし、試料を通して一方向から侵入するガスの圧力上昇の速度を測定するこの単純な方法は、パターンの体積や表面積および試料の厚さなどの複雑な因子に影響されることなく、鑄型空洞の圧力上昇を測定できる特徴がある。また、得られたデータはチタン鑄造システムと埋没材の特性との関係性を評価するに有効である。

2. 鑄造室の圧力上昇

鑄造室の圧力上昇曲線は、圧力測定装置を鑄造室扉に取り付けて測定した場合と、鑄造室内に置いて測定した場合とで、全く同じであった。したがって、圧力測定装置の体積は鑄造室のそれと比べかなり小さいので、測定装置の体積が圧力上昇へ与える影響は無視できる。

いずれの設定鑄造圧においても、鑄造室の圧力は初期の急速な立ち上がりとし、その後のゆるやかな上昇の二段階の変化を示した。最初の急な立ち上がりは、鑄造機に備えられた容量約 5,000 cm³ のタンクから供給されるガスによるものである。このタンクは鑄造室の容積のほぼ 2 倍で、タンクから鑄造室に放出されたガスはほぼ 3/2 倍に膨張するため、鑄造室の圧力は設定鑄造圧のほぼ 2/3 までは急激に上昇することになる。その後のゆっくりとした圧力上昇は、ポンベからのガスの供給による。また、いずれの設定鑄造圧の場合も、圧力が立ち上がり始めるまでの時間は約 0.4 s であり、設定鑄造圧に到達するまでの時間は 11~12 s であった。このことから、鑄造室へのガスの導入のタイミングおよびその流量は鑄造機側でコントロールされていると思われる。

3. 鑄型空洞の圧力上昇

設定鑄造圧が 7 kgf/cm² の場合、鑄型空洞の圧力上昇速度は T-インベストを 1 とすると、チタベスト CB が約 0.3、セレベスト CB が約 0.02 である。都賀谷ら¹⁰⁾による報告によれば鑄型の通気度は、実験に供した埋没材のうち、T-インベストが最も大きく、チタベスト CB とセレベスト CB はそれぞれ、T-インベストのおよそ 0.2 倍および 0.04 倍であった。両者の比較から、圧力上昇速度と通気度のデータとは、定性的にはもちろん、定量的にもかなり良好な対応がみられた。

本実験では、室温の試料を用いたが、実際の鑄造では高温の鑄型に鑄込む場合もある。チタン鑄造用埋没材の高温における通気度は報告されていないが、一般の鑄造に使用されている石こう系とリン酸塩系埋没材については、空気を通気度が室温の場合と比べ 2~3 倍大きくなるということが報告されている¹²⁾。これは、埋没材の耐火材であるシリカの変態点で通気度が大きくなることから、これにはシリカの変態が関係すると考え

られている。これから推測すると、シリカ含有のチタン鑄造用埋没材の場合は、高温での圧力上昇速度は室温と比べ大きくなると思われる。

一方、アルミナ質レンガやマグネシアレンガなどの耐火レンガの窒素の通気度は、温度上昇に伴いガスの粘性が増加するため、通気度は急激に減少する¹³⁾。アルゴンの粘性は、約 800°C では室温時の 2.7 倍になる¹⁴⁾。窒素もこれと同じである。したがって、非シリカ系埋没材の鑄型は、高温で通気度は減少すると思われる。測定した埋没材のうち、T-インベスト C & B は不明であるが、それ以外の埋没材はシリカを含まない。したがって、高温での圧力上昇速度は Fig. 2, 3 で得られた値より小さくなると思われる。

4. 圧力差と鑄造性

渡辺ら²⁾は、鑄型空洞へのチタン溶湯の充満タイプについて、新たに W 型を提案した。この W 型充満では、鑄込みの駆動力が鑄造性を大きく左右する。

圧力鑄造では一般に、鑄造室の圧力と鑄型空洞の圧力との差が、溶湯に作用する正味の圧力で、鑄込みの駆動力である。鑄込み初期におけるこの圧力差の大きさとその持続時間が鑄造性に大きく影響すると言われている¹⁵⁾。したがって、一室型加圧鑄造機の場合は、鑄型を通して侵入したガスによって鑄型空洞の圧力が高まると、いわゆる背圧が高くなり、鑄込みの駆動力が低下する。その結果、鑄込み不良の鑄造体ができる可能性が高い。

Fig. 4, 5 によれば、T-インベストの圧力差は、チタベスト CB のそれと比べかなり小さい。また、圧力差の上昇速度はチタベスト CB のほうが大きい。

通気度が大きい T-インベストの場合、設定鑄造圧を 7 kgf/cm² から 3 kgf/cm² に低くしても、圧力差が最大になるまでの時間はほぼ同じで、最大圧力差の値も小さくならなかった。また、設定鑄造圧が高いと、圧力差は最大に達した後は急速に低下した。

このことは、設定鑄造圧がメーカーの推奨する値の約半分であっても、圧力差は十分に確保されることを示している。また、設定鑄造圧が低いほうが、圧力差の持続性の点では有利であることも示している。

このように通気度が大きい埋没材では、設定鑄造圧を大きくしても圧力差は大きくならない。大きい設定鑄造圧ほど大きい駆動力が生じるわけではない。期待に反して、十分な圧力差が得られない可能性さえある。なぜなら、既に述べたように、本実験の鑄型空洞の体積は臨床的パターンに比べておよそ一桁大きい。つまり、臨床的パターンでの圧力上昇速度は本実験で得られた値よりさらに大きいと考えられる。したがって、圧力差の大きさはさらに小さくなるからである。

T-インベストの約 0.2 倍の通気度であるチタベスト

トCBは、両設定鑄造圧においても、T-インベストに比べ圧力差の立ち上がり速度と最大圧力差は大きい。

さらに、セレベストCBやT-インベストC&Bなど通気度のかなり小さい埋没材では、圧力差の上昇曲線は鑄造室内の圧力上昇曲線に近似し、圧力差の上昇速度と圧力差の最大値はさらに大きくなる。したがって、これら通気度の小さい埋没材を用いると、鑄造時の溶湯に十分大きな鑄造圧が作用するので、鑄造体に鑄込み不足は生じにくいと考えられる。

ただ、圧力差が大きい場合、鑄込み時に発生する「吸い込み渦」による内部欠陥が生じやすい。これについては次節で述べる。

5. 鑄型空洞に侵入したガスと鑄造欠陥

ガスが鑄型空洞に侵入する前に、溶湯が鑄型空洞を満たせば、ガスの空洞内への侵入は防げる。しかし、溶湯の流れは単純ではない。ガスが鑄型空洞に侵入した後、そこに凝固層が形成されると、ガスは逃げ場を失い、結果として鑄造体内に閉じこめられて内部欠陥になる。比較的厚い板状の鑄型空洞の場合に、この種の欠陥が発生しやすく、このようにして生じた大きな内部欠陥は、まれに鑄造体表面に露出し、穴状の欠陥となることもある¹⁶⁾。この原因によると考えられる鑄造欠陥の例を尾崎ら¹⁷⁾が報告している。

この種の鑄造欠陥を少なくする対策のひとつは、通気度の小さい埋没材を使用することである。また、二次的には鑄型壁を厚くすること、鑄造圧を低めに設定することも有効である。鑄型壁を厚くすることは、埋没材を多く使用するので、経済的ではない。むしろ、前節で述べたように、設定鑄造圧を低くしたほうが効果的であろう。通気度の小さい埋没材の使用は、内部欠陥の発生が避けられるだけでなく、鑄込み不足を防止する上でも重要である。

ただし、通気度の小さい埋没材の場合、設定鑄造圧を高くすると圧力差が大きくなり、「吸い込み渦」が発生して内部欠陥を作りやすくなる。吸い込み渦とは、鑄型のクルシブルに落下した溶湯が渦を巻きながらスプルーに流れ込む際に、スプルーの中心に気柱が発生する現象である。これが内部欠陥の発生原因のひとつであると渡辺ら^{18,19)}が指摘している。この気柱が大きく発達するとスプルーを通してガスが鑄型空洞へ吸い込まれる可能性が高く、これを原因とする欠陥が鑄造体内に発生することになる。これを防止するひとつの方法は、必要以上に設定鑄造圧を高くしないことである。このことは一般に言われていること¹⁵⁾と反対である。

また、佐藤ら²⁰⁾は、一室加圧型鑄造機の加圧方法を改良して、鑄造体の鑄造欠陥を少なくする方法を報告している。それは、初期の設定鑄造圧を1 kgf/cm²

とし、圧力が作用してから0.2 s後に7 kgf/cm²の後加圧を作用させる二段階加圧方法で、この加圧方法により鑄造体に生じる欠陥が減少したと結論している。この場合でも初期の設定鑄造圧と後加圧の大きさが適切かどうか検討する余地はある。

以上のことから、一室加圧型鑄造機を用いて鑄造する際には、圧力上昇の遅い、つまり通気度が小さい埋没材を使用することである。通気度が大きい埋没材を使用すると、設定鑄造圧が高い場合は鑄型空洞へのガスの侵入が早く、鑄造欠陥の発生につながる可能性が高い。

結 論

一室加圧型鑄造機について、鑄造室内と鑄型空洞の圧力挙動を測定し、圧力の立ち上がり速度と鑄造の駆動力である圧力差の変化を求めた。これと鑄造欠陥とを関連づけて考察し、以下の結論を得た。

1. 埋没材の通気度が大きいほど、設定鑄造圧が高いほど、鑄型空洞へ侵入するガス量が多くなる。このため、鑄込みの駆動力である大きな圧力差は得られにくく、鑄込み不良になりやすい。
2. 通気度の大きい埋没材を使用すると、鑄込み完了前に鑄型空洞へ侵入したガスは、鑄造体内部に閉じこめられ内部欠陥を生じやすい。
3. したがって、一室加圧型鑄造機では通気度の小さい埋没材を使用することが望ましい。
4. 通気度が大きい埋没材の場合、鑄造性の観点から、鑄造圧を高く設定すべきでないことが示唆された。一方、通気度が小さい埋没材の場合も、「吸い込み渦」による内部欠陥の発生を抑制するために、鑄造圧を高く設定すべきでないと考えられる。

謝 辞

実験の遂行にご協力いただいた(株)ジーシーSP部チタン鑄造担当の伊藤保太郎氏に御礼申し上げます。また、文献等の整理にご協力いただいた本講座の本間ヒロ技官に御礼申し上げます。

文 献

- 1) 井田一夫, 三浦維四編, 浜中人士: チタンの歯科利用 第III章 チタンの歯科鑄造技術 4. チタン用鑄造機, クインテッセンス, 1988, 43-109
- 2) 渡辺孝一, 大川成剛, 宮川 修, 中野周二, 塩川延洋ほか: 歯科精密鑄造における「標識元素溶解法」を用いたチタン湯流れの研究 2. 板状鑄型における湯流れと欠陥の関係, 歯材器, 10(1), 77-96, 1991
- 3) 渡辺孝一, 大川成剛, 宮川 修, 中野周二, 小林正義: 一室加圧型チタン鑄造機に関する研究 第1報 圧力の作用原理と鑄込み特性との関係, 歯材器, 14(4), 378-386, 1995
- 4) 都賀谷紀宏, 後藤秀明, 鈴木政司, 井田一夫, 戴上雅彦: チタン鑄造体の鑄造欠陥に関する研究, 歯材器, 6(抄録

- 集, 特9), 123, 1987
- 5) 大川成剛, 渡辺孝一, 中野周二, 本間ヒロ, 宮川 修ほか: チタン鑄造用埋没材をテストする, *DE*, **111**, 21-32, 1994
 - 6) 大川成剛, 渡辺孝一, 宮川 修, 中野周二, 本間ヒロほか: 市販チタン用埋没材と鑄造体の表層に形成される反応層および鑄造体の機械的性質について, *歯産学誌*, **6**(6), 55-64, 1993
 - 7) 黒岩昭弘, 米田隆紀, 鷹股哲也, 和田賢一, 橋本弘一: チタン鑄造に関する研究 (その4) 通気性が鑄込み率に及ぼす影響について, *補綴誌*, **37**, (抄録集, 特89), 228, 1993
 - 8) 井上義久: 鑄型の通気性がチタン鑄造に及ぼす影響, *歯材器*, **14**(3), 302-312, 1995
 - 9) 日本鑄物協会編: 鑄物便覧改訂3版, 丸善, 1973, 1966
 - 10) 都賀谷紀宏, 堤 定美, 谷 嘉明, 藪上雅彦, 広島 開ほか: 市販チタン用鑄型材の通気性, 第7回歯科チタン研究会講演抄録集, 11-12, 1994
 - 11) 井田一夫: 歯科鑄造の話, *クインテッセンス*, 195-200, 1987
 - 12) 竹内正敏, 森脇 豊, 都賀谷紀宏, 堤 定美, 井田一夫: 埋没材の通気性に関する研究 (第3報) 埋没材の高温時通気性と熱膨張率について, *歯材器*, **3**(1), 44-55, 1984
 - 13) 窯業協会編: 窯業工学ハンドブック新版, 技報堂, 1340, 1966
 - 14) 日本化学会編: 化学便覧基礎編改訂3版, 丸善, II-38-39, 1984
 - 15) 長谷川二郎, 森 博史, 榊田屋慎一: 歯科技工教本 歯科鑄造学, 医歯薬出版, 1990, 79-81
 - 16) 渡辺孝一, 大川成剛, 金谷 貢, 中野周二, 宮川 修ほか: 一室加圧型チタン鑄造機に関する研究 第2報 鑄型通気性が鑄造欠陥に及ぼす影響, *歯材器*, **14**(6), 668-676, 1995
 - 17) 尾崎康子, 草刈 玄, 宮川 修: チタン鑄造冠の内部欠陥について, *補綴誌*, **40**(4), 450-460, 1996
 - 18) 渡辺孝一, 大川成剛, 金谷 貢, 中野周二, 宮川 修ほか: クラウン・ブリッジのチタン鑄造におけるランナーバーの役割, 第11回歯科チタン研究会講演抄録集, 24-25, 1998
 - 19) 渡辺孝一, 大川成剛, 金谷 貢, 中野周二, 宮川 修ほか: 加圧型チタン鑄造機を使う際の内部欠陥を減少する鑄造方案, *歯材器*, **17**(抄録集, 特31), 93, 1998
 - 20) 佐藤秀樹, 奥田禮一: チタン鑄造における加圧法と鑄巣発生, 第7回歯科チタン研究会講演抄録集, 19-20, 1994