

より良い鑄造体をつくるために

上新和彦

鹿児島大学歯学部 理工学教室

まえがき

歯科精密鑄造に関する研究報告は山ほどある。そのいずれもが本題のように「より良い鑄造体をつくるために」のものであることに間違いはない筈である。そこで、これらの研究報告のすべてとまでいかななくても、せめてその大半を完全に理解・掌握すれば、「こうすればこうなるよ」といった解説ができるのではないかと思う、またそうでなければならぬであろう。ところが、横のつながりのない各個人が意のままに行った研究結果はなかなかうまくつながらず、研究報告の多くを読みとばしてしまったのが現状である。もう一度勉強しなおすためには時間の余裕もなく、結局自己中心の考え方でこの解説を書くことになってしまった。したがって勉強不足のうえに、私の都合の良いように考えているところもあって、「いや、そうじゃない」との御批判を頂く点があるかもしれない。が、参考書には載っていない私なりの「より良い鑄造体をつくるために」をまとめてみた。

鑄造体の変形について

鑄込まれた溶湯の収縮を補うために鑄型をあらかじめ大きくしておく、これが歯科精密鑄造の根本理念であることはいうまでもない。そして鑄型を大きくするために鑄型材料であるところの埋没材を膨張させるという方法が採用されていることは周知のことである。余談ながら、はじめて歯科鑄造の講義を受ける学生さんの中には、埋没材が膨張すると逆に鑄型内空間は小さくなるという考え方をする人がかなりおり、簡単な図を書いて納得してもらっている。それでは埋没材が膨張しなければどうなるのか。いうまでもなく、できあがった鑄造体は原形より小さくなるであろう。実際

に筆本¹⁾は膨張しない埋没材（鑄込み時には収縮もしていないことはいうまでもない）をもちいて単純化された形のクラウンを鑄造し、その咬合面部と歯頸部の両内側幅径（Fig. 1 参照）を測定している。そして、この両測定値間の関連性を示したのが Fig. 2 である。予想したとおり測定結果はすべて収縮、しかし測定値はほぼ原点を通る45度の直線上に分布している。実はこのような分布をしているのはおかしいのであって、同じ形のもを同じようにして作った鑄造体の寸法が何故一点に集中しなかったのか、という疑問にぶつかる。どこでどうなったのかわからないし、筆本もこの点に関する追試は行っていない。しかし鑄造体が変形していないことだけはたしかである。

Fig. 3 は同じことを市販のクリストバライト埋没材をもちいて行った場合の結果で、測定値はかなり散らばり、回帰直線は $y = 0.4x + 0.08$ となっている。中西²⁾も同じ研究を行っておりその回帰直線は $y = 0.3x + 0.03$ で筆本の結果にほぼ近い。これらの結果は埋没材を膨張させることが鑄型ひいては鑄造体を変形させ、かつバラツキの大きい鑄造体を造り出す原因になっていることを示すものである。また Fig. 3 の結果と比べると、Fig. 2 の結果は変形もなく、かつかなり安定に鑄造体ができあがっており、そのため測定値が1点に集中しなかった疑問点は影が薄くなってしまったのではないと思われる。

埋没材の膨張が鑄型を変形させることは明らかであるが、かといって膨張させないというわけにもいかない。ここで埋没材の膨張のことについて簡単に記しておく。埋没材は泥状から硬化する時に膨張し、また加熱時にも膨張する。硬化する時の膨張が硬化膨張 (Setting Expansion) と吸水膨張 (Hygroscopic Expansion) にわ

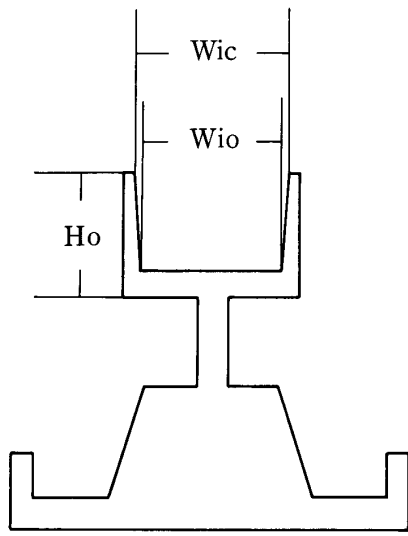


Fig. 1 Invested direction of wax pattern and measured point of cast.

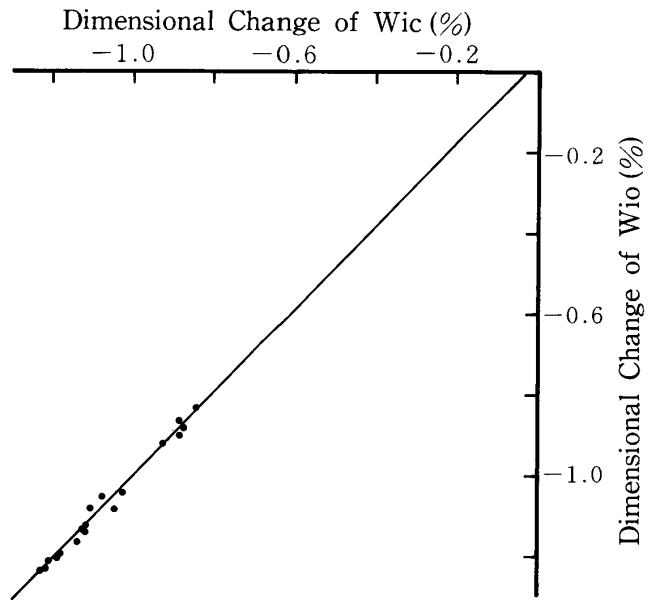


Fig. 2 Relation between dimensional change of Wio and Wic (see fig. 1) of casts used non expansion investment.

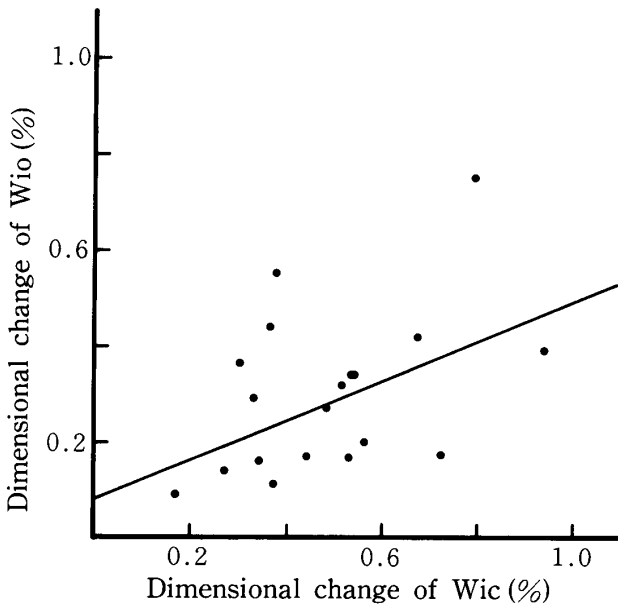


Fig. 3 Relation between dimensional change of Wio and Wic (see fig. 1) of casts used commercial cristobalite investment.

けれられており、前者の膨張量はそれほど大きくなく、普通コマ数パーセント程度と思ってもらえばいいであろう。問題は吸水膨張で、その膨張量は条件の僅かなちがいで変わってくるし、測定方法の影響も大きいことが予想される。そしてその膨張量はかなり大きい。

この吸水膨張が鋳型を変形させる原因であるということはずいぶん以前に絵山³⁾によって報告されている。

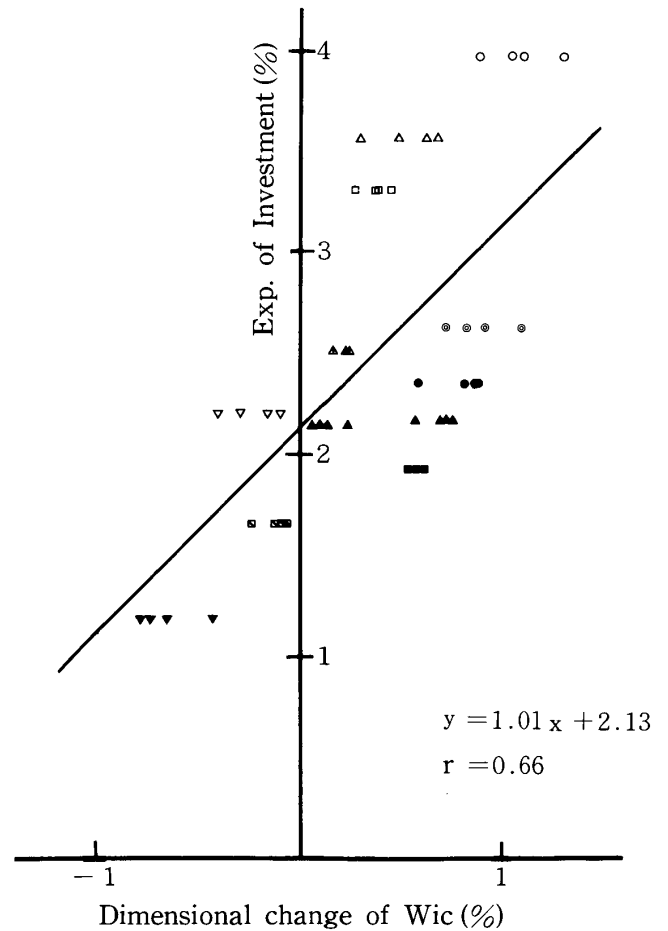


Fig. 4 Relation between expansion of investments and dimensional change of casts.

すなわち U 字形の鑄造体は脚を開いた形に変形し（筆本、中西の結果も同じである）、これを防ぐために、裏装材にもちいるアスベトリボンにワセリンを塗布して吸水膨張がおこらないようにしむけることを進言している。ほぼ30年も前にこのような報告があるにもかかわらず、いまだに吸水膨張云々というようなことを議論しているのはまことに進歩がないといわねばなるまい。しかし現実にはいまだに吸水膨張が利用されており、変形した鑄造体ができあがっているのであろう。

最近私は次のような実験を行ってみた。埋没材の膨張量と鑄造体の寸法との間には当然相関関係がある筈だから、これを求めてみることにした。このためにはまず埋没材の膨張を測定することからはじめなければならない。それも鑄造時と同じ条件にするため、同じ鑄造用リングと裏装材をもちいて、硬化時から鑄込み

時に至るまでの埋没材の総膨張量を求めた⁴⁾。ただし鑄造用リング上下方向の膨張量でもって鑄型の膨張量とした。そして種々膨張量のことなる条件で作製された鑄造体（単純な形の MOD）の寸法（近遠心方向歯頸部内側幅径）を測定し、両者の相関係数を求めてみた⁵⁾。その結果を Fig. 4 に、そして Fig. 4 中に使用した記号の説明と埋没材の膨張量を Table 1 および Table 2 に示した。

理想的な場合、埋没材の膨張と鑄造体の寸法との関連性は金属の収縮率を切点とする勾配45度の直線になる筈である。得られた直線の勾配はほぼ45度で、金属の収縮率を約2.1%と考えれば、それなりの結果であるといえる。しかし、相関係数が0.66で非常に低い。この原因をつくっているのは回帰直線から遠く離れて分布している○、△、□と●、▲、■の各プロットであ

Table 1 Investments and lining methods used the investigation.

| 埋 没 材 | 裏 装 条 件 | 記 号 | |
|-----------------|------------|-------|---|
| クリストバライト／石英＝7／0 | アスベスト全裏装 | 7 A F | ○ |
| | アスベスト上下無裏装 | 7 A | ● |
| | カオウール全裏装 | 7 K F | ◎ |
| クリストバライト／石英＝5／2 | アスベスト全裏装 | 5 A F | △ |
| | アスベスト上下無裏装 | 5 A | ▲ |
| | ゴム（リングレス） | 5 R F | △ |
| | カオウール全裏装 | 5 K F | ▲ |
| クリストバライト／石英＝2／5 | アスベスト全裏装 | 2 A F | □ |
| | アスベスト上下無裏装 | 2 A | ■ |
| | ゴム（リングレス） | 2 R F | □ |
| クリストバライト／石英＝0／7 | アスベスト全裏装 | 0 A F | ▽ |
| | カオウール全裏装 | 0 K F | ▽ |

Table 2 Expansion of investments under the lining methods used the investigation.

| 記 号 | 硬化時 (%) | 加熱時 (%) | 総膨張 (%) |
|-------|---------|---------|---------|
| 7 A F | 2.78 | 1.19 | 3.97 |
| 7 A | 1.13 | 1.22 | 2.35 |
| 7 K F | 1.16 | 1.47 | 2.63 |
| 5 A F | 2.77 | 0.80 | 3.57 |
| 5 A | 1.02 | 1.15 | 2.17 |
| 5 R F | 1.07 | 1.44 | 2.51 |
| 5 K F | 1.04 | 1.14 | 2.18 |
| 2 A F | 2.93 | 0.38 | 3.31 |
| 2 A | 1.04 | 0.89 | 1.93 |
| 2 R F | 0.89 | 0.77 | 1.66 |
| 0 A F | 1.77 | 0.43 | 2.20 |
| 0 K F | 0.67 | 0.51 | 1.18 |

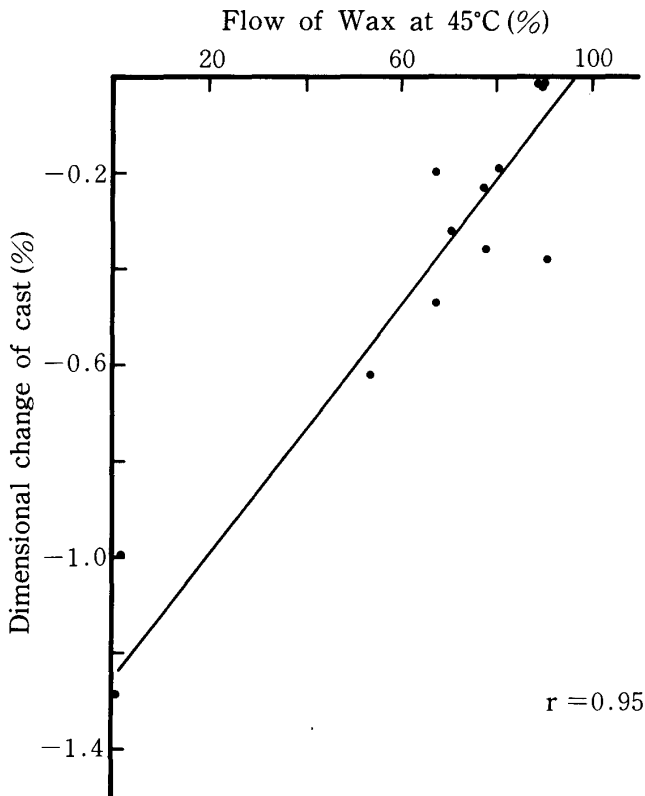


Fig. 5 Relation between flow of wax and dimensional change of casts.

ろう。そこで Table 2 の硬化時の膨張量に目をうつしてみる。まず気がつくことは裏装材（この場合はアスベストリボン）を鑄造用リング全面に裏装するか、またはリングの上下約 4 mm ずつの無裏装の部分をつくるかによって、硬化時の膨張の大きさがまったくちがうということである。アスベストリボンを含水してもちいているので、吸水膨張がおこっていることは言うまでもないが、その吸水膨張が無裏装の部分によって抑制されるために Table 2 のような大きな差がでたのであろう。そしてこの差が Fig. 4 に端的に現れている。すなわち、アスベストリボンを全面に裏装した場合のプロットはきまって回帰直線の上側、つまり埋没材の膨張が大きすぎる位置にあり、上下一部無裏装の場合は逆に下側、埋没材の膨張が小さすぎる位置にある。

今回実験にもちいた MOD 鑄造体の場合、埋没材の硬化時の膨張が鑄型空間の膨張に役立つためには、埋没されているワックスパターンを押し広げなければならない。このためには、埋没材の膨張する力はパターンの形、厚さを考慮した上でのワックスの強さ以上でなければならない。ところが、吸水膨張はまだ埋没材が完全に硬化していない軟らかい時期にすでにおこっ

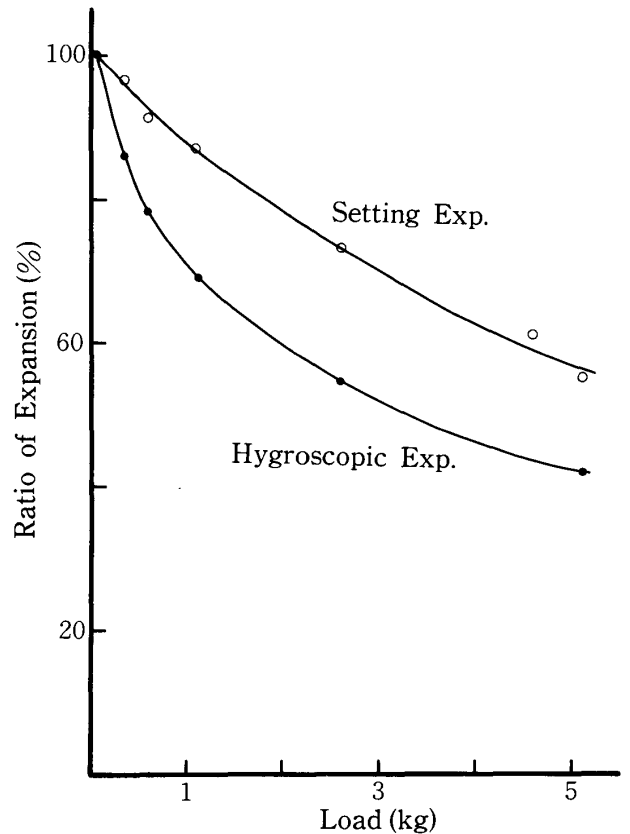


Fig. 6 Expansion of investment during setting under loads.

ており、この時期にはとてもワックスパターンを押し広げる力はないものと判断し得る。したがって、抑制の殆どないと考えられる状態で測定された吸水膨張（○、△、□の場合）の大きさがすべて鑄型内空間の膨張には役立っていないと考えられる。だからこの場合、膨張量が大きすぎるという結果になったのであろう。吸水膨張の大きな問題点である。この問題に関連して伊藤⁶⁾の研究成果を紹介しておく。伊藤はパターン作製にもちいるワックスの加圧短縮率と鑄造体の寸法精度との相関性を求め、Fig. 5 の結果を得ている。図のようにこれらの相関性は非常に高く、ワックスパターンの強さが鑄造精度に影響をあたえることを示すものである。

それでは、硬化時の膨張はワックスパターンによってどの程度の抑制をうけているものなのか、ということが次の問題になってくる。ワックスパターンを押し広げるための力、埋没材が硬化時に膨張する力の大きさ、この両者を直接測定できればおおいに参考になるであろうが、これがなかなか難しい。そこで判断のための 1 つの資料を得る目的で、埋没材の硬化時の膨張を荷重下で測定してみた⁷⁾。その結果を Fig. 6 に示す。

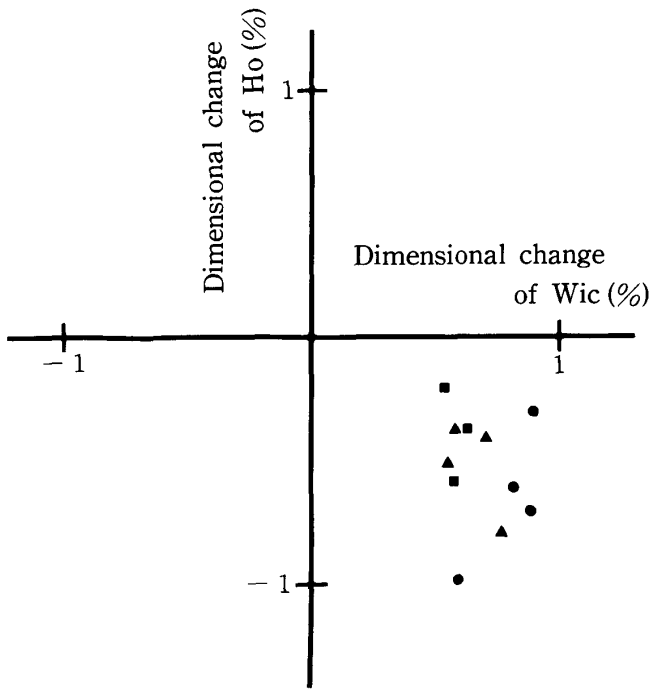


Fig. 7 Dimensional change of Ho and Wic (see fig. 1) of casts made by incomplete asbestos lining method.

図のように、吸水膨張がうける荷重の影響は硬化膨張がうける影響よりかなり大きいことがわかる。これらの結果から、吸水膨張は測定されたその大きさのすべてが鑄型空間を大きくすることに役立っていないし、また部分的に強さの異なるワックスパターンを変形させながら押し抜ける原因になっているともいえる。したがって、埋没材の硬化時の膨張を鑄型の拡大に利用するなら、その膨張圧は大きくなければならない。このような埋没材の試作に関しては後にふれることにする。反面硬化時の膨張が0で、熱膨張だけに頼る埋没材の研究⁸⁻¹⁰⁾が行われているのもより良い鑄造体をつくるためのものであるといえる。

裏装材のまき方について

Fig. 4, 埋没材の膨張と鑄造体歯頸部内側幅径との相関性、のもう1つの問題は鑄造用リング上下に無裏装の部分をつくらなかった場合 (図中の●, ▲, ■) であった。この場合は無裏装の部分での膨張の抑制が非常に大きく、この状態で測定された膨張量をもちいたことによって相関性を悪くしているのであろう。では、このような条件の場合どのような鑄造体ができているのであろうか。その結果を Fig. 7 に示す。この図は鑄造

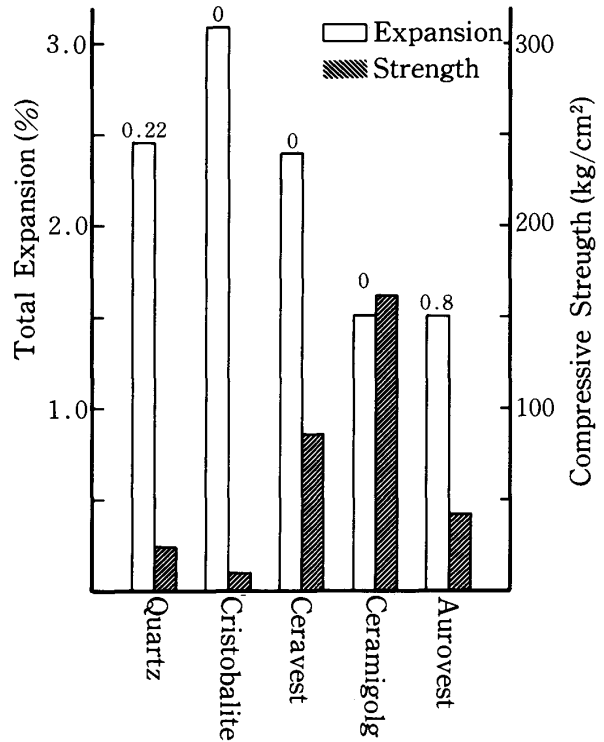


Fig. 8 Total expansion and compressive strength of investments and casting accuracy.

体の縦方向 (咬合面~歯頸部辺縁で、鑄造用リングの上下方向をむいて埋没されている。図では Ho で示されている。) と横方向 (歯頸部内側幅径で、鑄造用リングの壁面方向をむいて埋没されている。図では Wic で示されている。) との関連性を表わしたものである (Fig. 1 参照)。測定値の分布はすべて縦方向マイナス、横方向プラスの位置に集まり、完全に変形した鑄造体になっている。この結果は裏装材が横方向にだけ十分に働き、鑄型空間は埋没材本来の膨張量拡がり得たことを示している。したがって、抑制された状態で測定された縦方向の膨張量を Fig. 4 にもちいるのは不可であるといえる。

ところで、市販の裏装材の幅は鑄造用リングの高さより小さいのが現状で、鑄造用リングの上下に一部無裏装の部分をつくるか、また円錐台側にかためて無裏装の部分をつくるか、このいずれかの裏装法をとらざるを得ない。上下とも一部無裏装の場合、特に吸水膨張をきたすと、鑄造体は Fig. 7 のごとく変形することはすでに記した。鑄造用リングの一方に無裏装の部分を集めた場合はどうなるのであろうか。残念ながら私自身これに対する実験結果を持っていない。そこで大野¹¹⁾の研究結果を引用したい。大野らは埋没材の硬

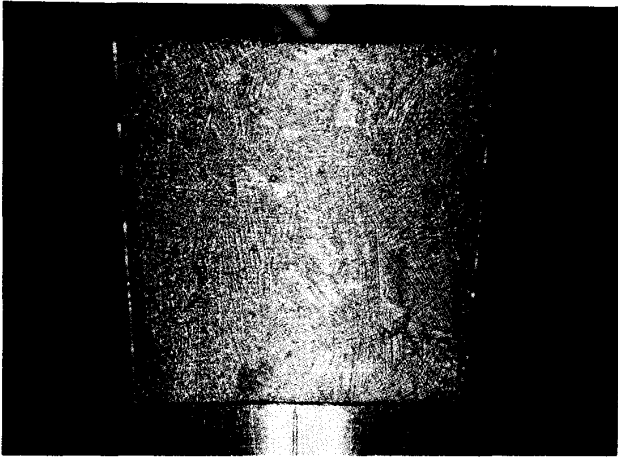


Photo. 1 Fitness on mesiodistal direction of MOD inlay made by using cristobalite investment and Kaowool complete lining method.

化時の膨張を単純な鑄型空間の体積を測定することによって検討しているが、やはり裏装材のまき方の影響が大きいことを示している。これによると、一方無裏装の場合は全面裏装と上下無裏装の場合との中間の値となっており、全面裏装に比べればやはり膨張は抑制されている。おそらく、この条件でつくられた鑄造体も、Fig. 7ほどでないにしろ変形するであろう。

何故リング全面に裏装できる幅にしないのだろうか、という疑問がでてくる。リング全面に裏装すると、まず加熱後(700℃)リングそのものが膨張して鑄型がリングからずり落ちる状態になっていること、鑄型がひび割れをおこし易いこと、のような点がでてくる。安全に鑄造することを考えれば、これらの点は欠点といえるかもしれない。しかし、より良い鑄造体をつくるためには、この点はカバーすべきであり、またそれほど難しいことではない。

鑄造収縮の抑制について

次に鑄型による鑄造収縮抑制の問題についてふれてみる。いつの頃からかNi-Cr合金によるクラウン・ブリッジの鑄造が行われるようになって、りん酸塩を結合材とする埋没材(りん酸塩系埋没材)が使われるようになった。この埋没材の諸性質がこれまでの石こうを結合材とする埋没材(石こう系埋没材)とは異なっていることはいうまでもないが、中でもコロイダルシリカをもちいて練和することと、またこのためもあつてか、鑄型が非常に強いという点に大きなちがいがあつた。この鑄型が強いところから、溶湯の鑄造収縮が抑制されているということが次第に明らかにされ

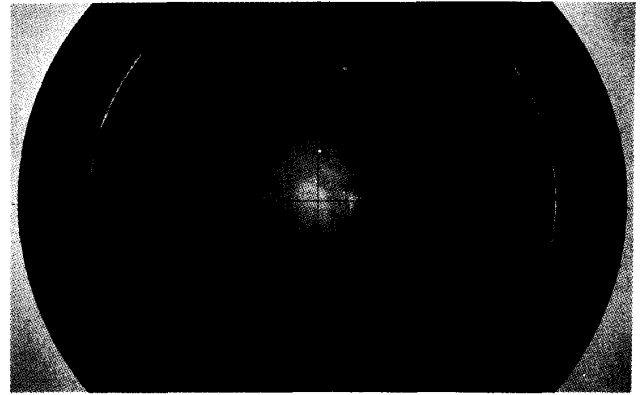


Photo. 2 Space on bucco-lingual direction of MOD inlay made by using cristobalite investment and Kaowool complete lining method.

てきた^{12,13)}。このことに関してFig. 8の生内による実験結果を引用したい。種々の埋没材の膨張と強さ、そしてこれらの埋没材をもちいて作製した鑄造体の寸法精度をまとめたものである。図中に示した数字がMOD鑄造体を元の金型に戻したときの隙間で、数字の大きいものほど適合性は悪い。3%以上の膨張(硬化時、加熱時の合計)を示すクリストバライト埋没材は適合するが、約2.5%の膨張を示す石英埋没材では適合しない。しかし、りん酸塩系埋没材であるセラベストは前の石英埋没材と同じ程度の膨張量でありながら適合している。そして、さらに膨張量の低いセラミゴールドをもちいた鑄造体も適合している。何故か、石英埋没材に比べこれらのりん酸塩系埋没材は強さが大きく、このため鑄造収縮が抑制されると考えられるに至った所以である。

鑄造収縮抑制というのはりん酸塩系埋没材をもちいたときに限られたもので、石こう系埋没材ではおこっていないのだろうか。ここでMOD鑄造体を考えてみる。この鑄造体の近遠心方向は歯牙の外側を覆いかぶさるような形であり、また頬舌方向は歯牙の内側にはまり込む形になっている。すなわち鑄造体が一様大きくできあがっても、また逆に小さくできあがっても適合しない。ところが、石こう系埋没材でもりん酸塩系埋没材でも一応見た目には適合している鑄造体をつくり得る。(Fig. 8参照) Photo. 1は市販のクリストバライト埋没材をもちいて、吸水性の小さい裏装材(カオウール)を全面裏装して作製したMOD鑄造体で、如何にも原型に適合しているように見える。ところが、Photo. 2の白い部分は同じ鑄造体の頬舌方向に見られ

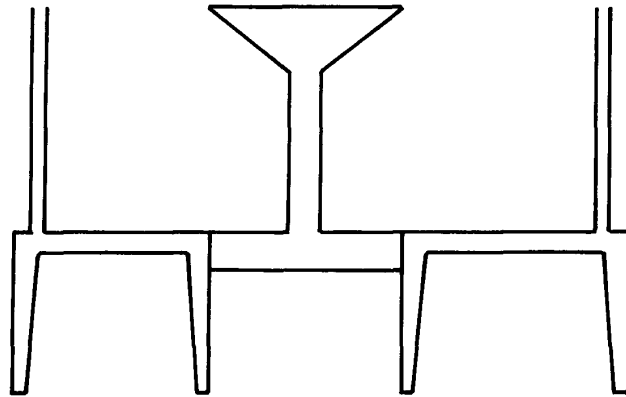


Fig. 9 A figure of air vents attached at a bridge.

る透過光による隙間*を示しており、さきの鑄造体の適合性もこの程度でしかない。いうならば、できあがった鑄造体は覆いかぶさる部分は少し大き目に、はまり込む部分は小さ目に、非常に都合の良いようにできあがっている。そして、この結果は石こう系埋没材でも鑄造収縮を抑制する働きがあることを示唆するものではないだろうか。しかし、この鑄造収縮の抑制はクリストバライト埋没材をもちいた場合にに限られると考えられる。何故なら、石英埋没材は500~600℃で石英の α - β 転移にとまなう大きな膨張を示すが、逆に鑄型温度600℃以下で金属より早く急激に収縮するからである。Fig. 8に見られた石英埋没材による鑄造体が適合しない原因はこんなところにあるのかもしれない。

鑄造応力について

鑄造収縮の抑制が都合の良いほうに働いた場合がいまのMODの適合であり、またブリッジの適合であるといえる。しかし、これが良いほうばかりには働かない。鑄造体に内部応力が発生し、鑄造体を変形させることがある。小型で、安定な形のクラウン、MODのような鑄造体はいい。内部応力による変形が問題にされることは殆どない。床、ブリッジのような大型の鑄造体になるとその変形が問題になる。ところで、鑄造応力に関する研究成果は以外と少ない。鑄造体の一部を切断すると、また熱処理を施したりすると、鑄造体が変形することから鑄造応力はいっていることがうかがえる¹⁴⁻¹⁶。また単純な板状の鑄造体でも応力はいっていることが確認されている^{17,18}。この場合は残り湯と鑄造体とを結ぶスプルー部の収縮が鑄型によって抑制されているからであると考えられている。まして

や、大型の鑄造体において、複数のスプルーをつけることは鑄造応力の発生を助長しているようなものであるといえる。スプルーは1本であることが望ましい、ということは古くから報告されていることである^{17,19}。しかし、このために鑄込み不足の心配がある。そこでエアイベントをつけることをお推めしたい。Fig. 9のように、ベント部の湯の収縮は鑄型による抑制をうけないところに意義がある。このついでに、スプルー部の残り湯をなくしてしまったらどうなのだろうか。残り湯の分量に相当するだけスプルー、エアイベントの体積を増せば可能ではないかと思う。鑄造応力の発生に関連して研究してみたいところである。

試作した埋没材について

最後にこれまで述べてきたことを勘案して埋没材を試作し、これをもちいてMODを鑄造してみた。

試作した埋没材の特徴は

- 1) 鑄造応力の発生をできるだけ少なくするため、鑄型材はクリストバライトの量を少なくし、石英を多くもちいる。
- 2) 1)により埋没材の熱膨張量は小さくなるので、これを補うため硬化膨張を利用する。(吸水膨張でないことをつけくわえておく)
- 3) これをコロイダルシリカで練和する。これによって、膨張量も大きくなるであろうし、リングレス鑄造も可能になる。
- 4) 膨張量をさらに大きくするため、耐火物の粒度配合を行い、混液比をできるだけ小さくする。

この試作埋没材の硬化膨張と熱膨張の測定結果をFig. 10と11に示した。硬化膨張から熱膨張を連続で測定し

* [註] 頬舌方向に見られる隙間を透過する光はMOD金型を頬舌方向部分だけとりはずすことによって撮影した。なお撮影には万能投影機をもちいている。

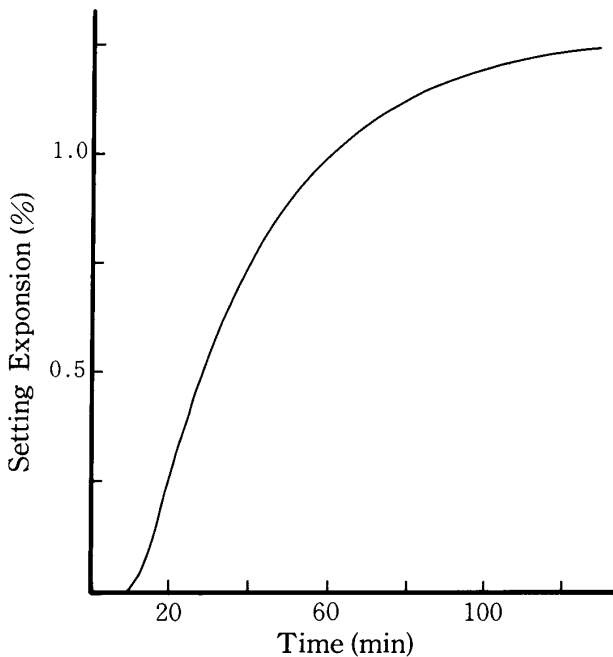


Fig. 10 Setting expansion of experimental investment.

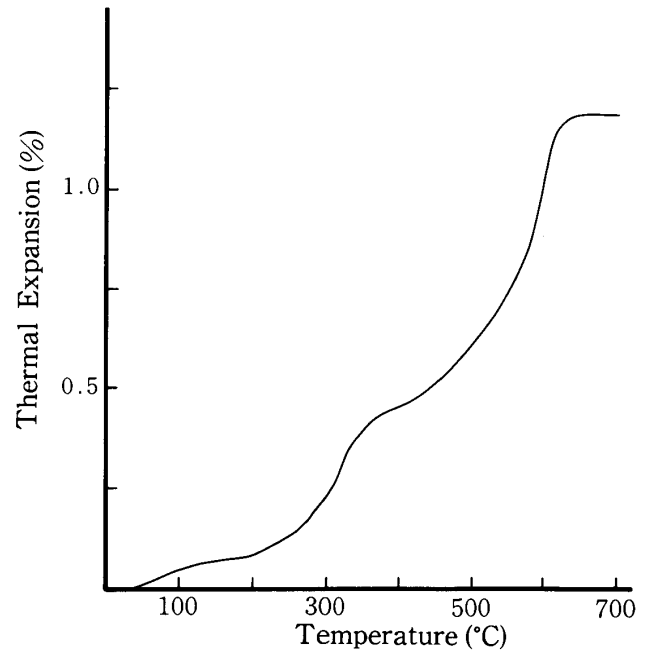


Fig. 11 Thermal expansion of experimental investment.

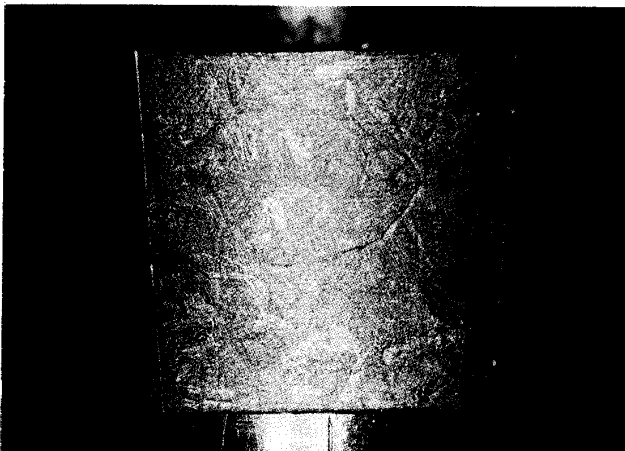


Photo. 3 Fitness on mesiodistal direction of MOD inlay made by using experimental investment and lingless method.



Photo. 4 Space on bucco-lingual direction of MOD inlay made by using experimental investment and lingless method.

ているので、総膨張率は2.47%になる。そして、Photo. 3と4はこの埋没材をもちい、リングレスで鑄込みを行ったMOD鑄造体の近遠心方向の適合性と頬舌方向にみられる隙間を示したものである。Photo. 2のクリストバライト埋没材をもちいた場合と比べると隙間はかなり小さくなっていて、適合性は非常にいい。しかし反面、この試作埋没材は練和液にコロイダルシリカを使っているうえに混液比が小さいとなると、かなり高価になるという欠点をもっている。さらに、ブリッジのような大形の鑄造体の寸法精度や鑄造応力の問題、粒度

配合に起因する鑄肌の問題など、まだ数多くの課題も残されている。

あとがき

はじめにも記したように、私なりの「より良い鑄造体をつくるために」を一応まとめてみた。私自身あとで読み直してみると、まだまだふれねばならない点が多々あることに気がつく。ワックスパターンの問題、鑄肌の問題、セメント層を如何に確保するかという問題もある。しかし、これらの諸問題に対してこれといっ

た研究成果も、私なりの考え方も持ち合わせていないのでまったくふれないことにした。あとは本記が何らかの役に立つことを願うのみである。

最後に実験データを御提供下さった、大阪歯科大学筆本秀和先生、松本歯科大学伊藤充雄先生、大成歯科工業株式会社生内良男社長に、また埋没材の試作に御協力下さった同社久保文信氏に厚く御礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 筆本秀和：試作無膨張埋没材を用いての鋳造体の変形について，日補誌24，301-321，1980
- 2) 中西哲生：鋳造冠における再現性とセメント合着後の適合性に関する研究，歯科学報75，1797-1817，1975
- 3) 総山孝雄：精密鋳造に関する研究，材器誌7，36-55，1962
- 4) 上新和彦，藤井孝一，有川裕之，井上勝一郎，蟹江隆人：埋没材の膨張と鋳造体の寸法との関連性 第1報 埋没材の膨張の測定方法，歯材器4，334-338，1985
- 5) 上新和彦，藤井孝一，有川裕之，井上勝一郎，蟹江隆人：埋没材の膨張と鋳造体の寸法との関連性 第2報 石こう系埋没材を用いた場合，歯材器4，339-343，1985
- 6) 伊藤充雄，洞沢功子，高橋重雄：第8回日本歯科理工学会講演
- 7) 上新和彦，藤井孝一，有川裕之，井上勝一郎，蟹江隆人：荷重下における埋没材の硬化時膨張，歯材器7，366-370，1988
- 8) 亀水秀男，竹沢保政，井村清一，林憲司，水口大幸，飯島まゆみ，若松宣一，後藤隆泰，土井豊，森脇豊，生内良男，久保文信：りん酸アルミニウムを利用した新しい歯科用埋没材の研究 第1報 りん酸アルミニウムの熱的特性，歯材器6，241-248，1987
- 9) 亀水秀男，竹沢保政，井村清一，林憲司，水口大幸，飯島まゆみ，若松宣一，後藤隆泰，土井豊，森脇豊，生内良男，久保文信：りん酸アルミニウムを利用した新しい歯科用埋没材の研究 第2報 埋没材用耐火材としての応用，歯材器6，249-254，1987
- 10) 亀水秀男，行徳智義，竹沢保政，柴田俊一，飯島まゆみ，若松宣一，後藤隆泰，土井豊，森脇豊，生内良男，久保文信：りん酸アルミニウムを利用した新しい歯科用埋没材の研究 第3報 鋳造体の適合性と埋没材の諸性質，歯材器7，302-310，1988
- 11) 大野弘機，宮川修，近藤清一郎，中野周二，塩川延洋：鋳造リング内における埋没材の硬化膨張 第2報 混水比，アスベストの含水量，アスベスト裏装の幅の影響について，歯理工誌11，186-191，1970
- 12) 上新和彦，菌淳三：りん酸塩を結合材とした埋没材の諸性質とその適合性について，歯理工誌11，124-133，1970
- 13) 真坂信夫：ワンピースキャストブリッジの鋳造精度に関する研究，歯科学報70，725-758，1970
- 14) 野本直，西村文夫：鋳造体内部応力と鋳型温度，材器誌10，14-20，1964
- 15) 西村文夫：歯科鋳造体の仕上げと熱処理による寸法変化について，口病誌33，5-29，1966
- 16) 西村文夫：歯科鋳造体の仕上げと熱処理による寸法変化について，第2報，口病誌33，315-3219，1966
- 17) 西村文夫，野本直：歯科鋳造体の内部歪とX線回折，材器誌17，1-6，1968
- 18) 古座谷隆：ガス圧鋳造法が鋳造体におよぼす影響について 第2報 鋳造応力，歯理工誌10，28-38，1969
- 19) R. H. Royahouse and E. W. Skinner: The Accuracy of Large Castings, J. D. Res. 40, 1057-1078, 1961