

[原著] 松本歯学 2 : 37~44, 1976

鑄造精度に関する研究

その5 リング内の埋没材の膨張傾向の均一化について

永沢 栄, 伊藤充雄, 高橋重雄
松本歯科大学 歯科理工学教室 (主任 高橋重雄 教授)

鷹股哲也
松本歯科大学 補綴学教室 (主任 橋本京一 教授)

鈴木義博
東京歯科大学 理工学教室 (主任 金竹哲也 教授)

Studies on the Accuracy of the Casts
Part 5. On the making uniform to expand the investment for
various directions in the ring

SAKAE NAGASAWA, MICHIO ITO, and SHIGEO TAKAHASHI
Department of Dental Technology, Matsumoto Dental College
(Chief: Prof. S. Takahashi)

TETSUYA TAKAMATA
Department of Prothodontics, Matsumoto Dental College
(Chief: Prof. K. Hashimoto)

YOSHIHIRO SUZUKI
Department of Dental Technology, Tokyo Dental College
(Chief: Prof. T. Kanatake)

Summary

This report is described on the factors affecting to the distortion of the castings. They are thought to be setting expansion or hygroscopic expansion, thermal expansion of the investment, casting shrinkage of the alloys and others. Authers had studied on amounts of the distortion caused by the factors. Oblong wax patterns, having 30mm width, 20mm hight and 1.5mm thickness, indented by the guage line, were prepared and embedded in casting rings. The castings was produced with three kinds of alloys having various casting shrinkage and was casted in the investment mold heating at 600°C or holding at room tem-

本論文の要旨は昭和 49 年 10 月 20 日, 第 27 回歯科理工学講演会 (九州大学歯学部) において発表した。
(1976 年 4 月 27 日受理)

perature. The effect of hygroscopic expansion was compared between the use of wet asbestos lining and the use of Kaowool lining that inhibited it.

Results obtained were as follows.

1. Most of castings were distorted like the beer barrel.
2. The distortion of the castings was founded on the differences of each casting shrinkage due to its situation in the ring.
3. The setting expansion was caused from 0.5% to 0.8% for longitudinal direction, but it was about 0.35% for lateral one.
4. The increases due to the hygroscopic expansion, were 0.4% for longitudinal direction and 0.3% for lateral one.
5. The thermal expansion was brought about 0.98% for longitudinal direction and 0.65% for lateral one.
6. The thermal expansion of investments in the ring was not uniformly and it was increased near the bottom of the ring.
7. Use of Kaowool sheet for the lining of the ring, was more effective to avoid the distortion than that of wet asbestos ribbon.

緒 言

精度の高い鑄造修復物を作製するために、今日まで多くの努力がなされてきたが、鑄造精度の考え方は、各研究者間で大きな差が表われている。著者らは、得られた鑄造修復物が、ワックスパターンに正確に一致した時、それを理想的な精度の鑄造体と考える。

このような理想的な、鑄造精度を得るためには、埋没操作、および埋没材の硬化時ならびに加熱などの各過程における、鑄型の不均一な変形をおさえ、その上、合金の凝固収縮および、収縮の不均一性による変形等を補ってやらなければならない。

鑄造収縮補償法としては、第1に、D. Philipsの加熱膨張法、²⁷⁾第2に、埋没材の硬化時膨張を、加水によって大きくする、Scheuらの吸水膨張法、³¹⁾そして第3に、加熱膨張と加水による硬化膨張との両者を利用する方法がある。しかし、どの方法を用いても、臨床的には、鑄造精度に差が無いとする報告や、³⁰⁾吸水膨張法は、ワックスパターン変型の原因となり、鑄造収縮の補償は、埋没材の加熱膨張のみを用いるべきであるとする報告がある。³⁴⁾しかし、これについても、まったく均一に加熱膨張が行なわれるという報告があるわけではない。また、鑄込み時の部分的な熱変形については、

何も明らかにされていないし、埋没材の鑄造収縮抑制作用についても、二、三の報告があるのみで、明確にされていない。¹⁵⁾²³⁾

このような点から、どのような鑄造収縮補償理論に立ったとしても、埋没から、鑄造までの各過程における、個々の、正確な変形量を知る必要がある。

現在までに、この変形に関して、埋没、硬化時は、太田、²⁴⁾²⁵⁾長谷川、³⁾若松、³³⁾栗沢、¹⁾江沢、²⁾大野、²⁰⁾²¹⁾²²⁾酒井、²⁸⁾永沢、¹²⁾佐藤等、³⁰⁾加熱時においては、小園、¹⁰⁾山中、³⁵⁾太田等、²⁶⁾鑄造時においては、井田、⁴⁾⁵⁾⁶⁾西村、¹⁶⁾¹⁷⁾酒井、²⁹⁾石村、⁷⁾西武等¹⁹⁾の報告がある。過程全体としては、西岡、¹⁸⁾成田、¹⁴⁾寺島、³²⁾中村、¹³⁾真坂、¹¹⁾上條⁸⁾等の報告がある。しかしながら、各過程の分離が不充分であり、西岡の指適するように、金型による鑄造精度測定にも、疑問がある。

そこで著者等は、各過程を分離し、しかも定量的に研究することが重要と考え、網目を彫刻した、ワックスパターンを使用して、鑄造体の変形を測定した。硬化時の変形は鑄型を熱膨張を起こさない低温にすることによって、また金属の鑄造収縮による変形は鑄造収縮率が異なる合金を鑄造することによって、さらに熱膨張による変形は熱膨張を起こすような高温鑄型に鑄造した場合の鑄造体の変形量から低温鑄型で鑄造した鑄造体の変形量

を引くことによって検討した。この結果二、三の知見を得たので報告する。

実験材料と方法

埋没材は、GC クリストバライト埋没材(而至歯科工業社製)を用い、練和には水道水を使用した。埋没リングは、ブリッジ型の鑄造ができ広範囲の変化を見るために、内径 40 mm、高さ 40 mm のステンレス製リングを使用した。緩衝材は、吸水膨張の効果を見るために、アルミナ繊維を主体とする、吸水性の無い、しかも乾燥状態で緩衝性のよい断熱材、カオウールと、従来より緩衝材として使用されている吸水アスベトリボンの各厚さ 1 mm を使用した。(以後、DK, WA と略記する。)金属は、鑄造収縮率による効果を見るために、収縮率、1.52%のKメタル、0.42%のトリオライト、凝固時に 0.40%膨張をするメロットメタル(以後、K, T, Mと略記する。)を選んだ。⁹⁾ワックスパターンは、厚さ 1.4 mm のピンクシートワックス(而至歯科工業社製)で作製した。

ワックスパターンは、一定のものを作製するため、アクリル板に、5 mm 間隔の溝を彫刻し、それを圧接することにより調製した。ワックスパターンのスブルーイングは図 1 に示すように、中心線をさけて、2 つに分けて行なった。測定点は、横軸を X 方向とし、左より、 $X_{-3}X_{-2}X_{-1}X_0X_1X_2X_3$ 、縦軸を Y 方向として、スブルー部より、 $Y_0Y_1Y_2Y_3Y_4$ とした。

埋没位置は、図 2 に示す。ワックスパターンは測定点の最下部が、リング壁から、あるいは、リング上端、円すい台から、5 mm はなれるように

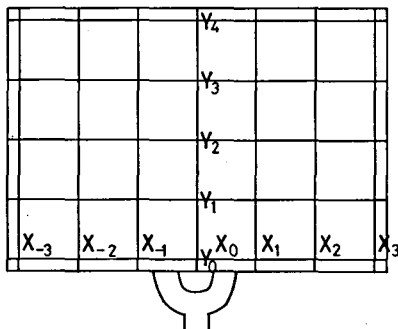


図 1. ワックスパターンのスブルーイング及び、測定点

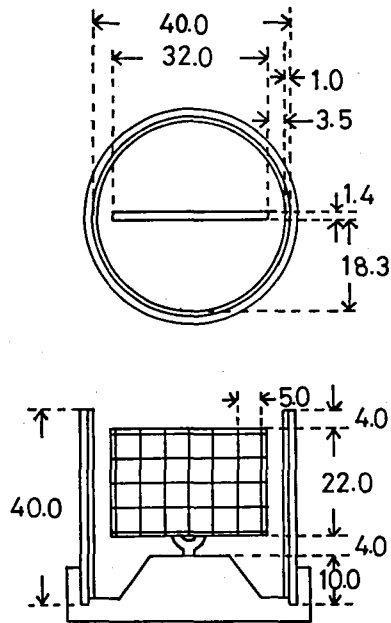


図 2. リング寸法とワックスパターンの埋没位置

植立した。埋没はクリストバライト埋没材を、標準混水比 0.36 で、30 秒間真空練和し、大気圧中において埋没した。鑄造は、埋没から 20 時間後に行なった。

加熱膨張による効果を見るために、リング加熱温度は 600°C および、室温(以後 RT と略記)とした。なお RT のものは、埋没してから、3 時間後に、100°C 熱湯中においてワックスを除去し、その後、150°C 17 時間、乾燥し、室温に冷却してから、鑄造した。

吸水膨張の効果を見るために、RT のものについて、緩衝材、DK と WA をそれぞれリングに内張りして比較した。

鑄造収縮率による影響を検討するために、鑄型温度を室温とし DK と WA の内張り条件において、鑄造金属を、K-メタル、メロットメタル、トリオライトと鑄造収縮率の異なるものを選択した。また熱膨張と緩衝材の効果を見るために、鑄型温度 600°C に鑄造した。ただし、鑄型温度 600°C においては、K-メタルで行なった。鑄造機は、遠心鑄造機(Kerr 社製)を使い、バネの巻き数を 3 回とした。金属の溶融は、ブローパイプによって行ない、鑄造後水冷し、鑄造体に付着した埋没

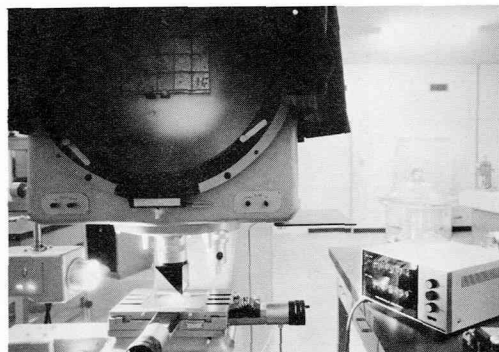
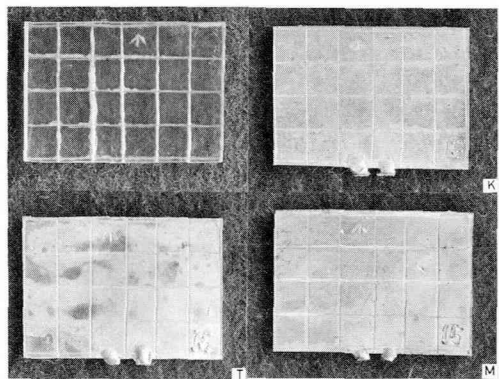


図3. 鑄造体標点距離の測定状態.

図4. 溝を彫刻した、アクリル板（左上）と、
K, T, M各鑄造体.

材は、超音波洗浄器で除去した。ワックスパターン及び、鑄造体の標点距離の測定には、1/1000mmまで測定可能な、投影機（東京光学社製）において、10倍に拡大して、溝の交点の座標を測定した。

表1 鑄造条件

鑄型温度	鑄造合金	緩衝材	繰返し数
600℃	Kメタル	カオウール	10
		吸水アスベスト	10
室温	Kメタル	カオウール	10
		吸水アスベスト	10
	トリオライト	カオウール	10
		吸水アスベスト	10
	メロット	カオウール	10
		吸水アスベスト	10

図3は、その測定状態を示す。図4は、溝を彫刻したアクリル板と、K, T, M, 各鑄造体を示す。なお、鑄造体は、各条件において、10枚ずつ作製した。表1に鑄造条件を示す。

なお各測定値を図としてまとめるに当たっては、日立、HITAC-10-II、電子計算機によって、緩衝材の種類、横方向の部位（X部位）および縦方向の部位（Y部位）の3要因について三元配置分散分析を行なっている。その結果を表2に示す。

*は危険率5%、**は危険率1%で有意を示している。

実験結果及び解析

実験データは、鑄造体とワックスパターンの測定点の差として求めた。

1. 鑄造体の変形について

表2. 分散分析表

条 件 因子	K-600		K-RT		T-RT		M-RT	
方向	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
A: 緩衝材	**	**	—	—	**	**	**	**
B: X部位	**	**	**	—	**	**	**	**
C: Y部位	**	*	**	—	—	**	—	**
A×B	—	—	**	—	—	—	*	—
A×C	—	—	**	—	—	—	—	*
B×C	**	**	**	—	**	**	**	**
A×B×C	—	—	**	—	—	—	—	—

** 危険率1%で有意、* 危険率5%で有意。

表2は各実験についての分散分析結果である。大部分の要因については独立に有意の差が認められている。それらの各条件における、鑄造体の変形を図5, 6に示す。変形量は、左下のX, Y座標の大きさで示し、パターンの大きさの25倍に拡大してある。楕円は、X, Y方向の標準偏差を示す。

図5 A, K-600°C-WA のものである。Y軸の膨張が大きくなり、X, Yの膨張差による変形が大きくなっている。また全体にビヤ樽状の変形がみられる。図5 Bは、K-600°C-DK のものである。K-600°C-WA と比べ、Y方向の膨張は小さくなっているが、X方向の膨張は、多少大きくなっている。ビヤ樽状変形はここでも表われており、

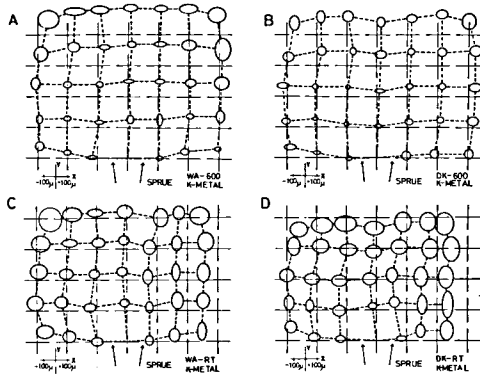


図5. 各条件による、K金属鑄造体の変形、変形量は左下のX, Y座標により示し、パターンの25倍に拡大してある。楕円はX, Y方向の標準偏差を示す。

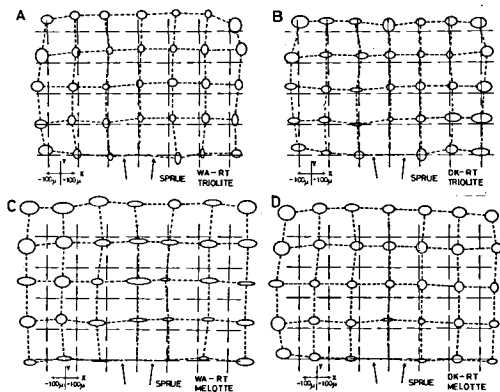


図6. 各条件による、トリオライト、メロット鑄造体の変形。

以下でも同様であった。図5 Cは、K-RT-WA のものである。加熱膨張が無いために、全体的に小さな鑄造体となっている。図5 Dは、K-RT-DK のものである。K-WA-RT と比べY方向には小さくなっていると共に、リング端に近い所において、変形収縮が顕著である。

図6 Aは、T-RT-WA のものである。金属Kのものに比べ、鑄造収縮率が小さいため、大きな鑄造体となっている。また、変形量も小さい。図6 Bは、T-RT-DK のものである。T-RT-WA より少し小さくなっている。なお、これは金属Mについても言える事であるが、金属Kのようなリング端における顕著な収縮は見られない。図6 Cは、M-RT-WA のものである。この金属のみ、凝固時に膨張する。ビヤ樽変形をもふくめて、変形はほとんど見られず、鑄造体は、各部分が比例的に膨張しているのみである。図6 Dは、M-RT-DK のものである。M-RT-WA と比べ、小さな鑄造体となっていると共に、ビヤ樽状変形が見られる。なお、RT のものは、埋没後3時間たっているとはいえ、100°C温水中においてワックスをぬいているため、この時の吸水膨張(DKで0.125%, WAで0.08%)が加わっていることを考慮しなければならない。図7はX方向、およびY方向の鑄造体、各部位の変化を示した。

合金K, 600°C加熱において、X方向、Y方向の変化率に大きな差が見られる。またKは各部位の変化率も一定ではない。なお標準偏差は、0.3%である。

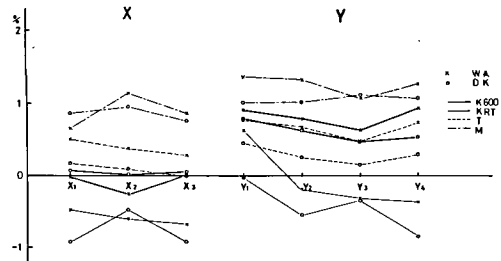


図7. 各埋没、鑄造条件、各金属鑄造体の、X方向、Y方向の変化率を、各部位毎に示す。

2. 加熱膨張について

図8 Aは、K-WA において、600°C加熱鑄型による変形量から、室温鑄型による変形量を差し引

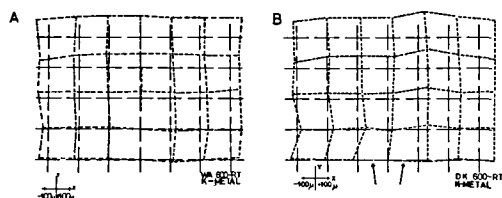


図8. 600°Cにおける、熱膨張変形。

いた加熱膨張を示した。この結果は鑄型温度の違いによる部分的な鑄造収縮の差もふくまれている。この図から熱膨張は一樣ではなく、リング上端に近づくにしたがい、Y方向の膨張が大となっている。図8Bは、K-DKにおいて、同様な処理をした結果、同じく、リング上端に近づくにしたがい、Y方向の膨張が大となっている。DK, WA, 共にビヤ樽状変形は見られない。

3. 硬化膨張及び吸水膨張

図9, DK-RT は、X方向, Y方向の各部位ごとの変化を横軸に部位、縦軸に変化量で示したものである。なお各数値は埋没材の硬化膨張率を示し、各金属の鑄造体変形率に各金属の凝固収縮を加え

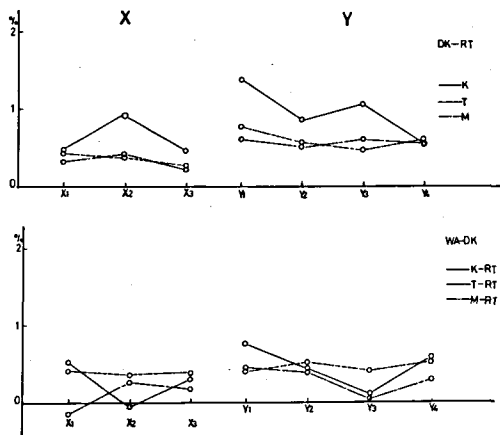


図9. 各部位の硬化時の膨張及び吸水膨張。

て、補正した後、さらに 100°C 温水における吸水膨張率によって補正してある。

金属, T, Mにおいて, Y方向で0.5~0.8%, X方向で0.3%~0.4%の硬化膨張が認められ、両金属ではほぼ一致した結果となっている。しかし金属Kについては、硬化膨張率が大きく、かつ各部位の差が明らかであった。なお、この硬化膨張率には、ワックス軟化時の熱膨張も含まれている。

図9. WA-DK は、室温鑄型において、WAによる変化量から DK による変化量を差し引いた結果である。これは硬化時の吸水膨張による効果を見たものである。吸水膨張については各金属共、部位によって異なるが、X方向0.3%, Y方向0.4%とはほぼ一定である。図10は、図9 WA-DK と同様硬化時の吸水膨張の効果について、2次元的に示したものである。各部位の変形量はあまり差はなく、ビヤ樽状変形も現われておらず、むしろそれと反対の変形となっている。

4. 鑄造収縮

図11Aは、WA-RT において、M鑄造体の変形量よりT鑄造体の変形量を差し引いた結果であ

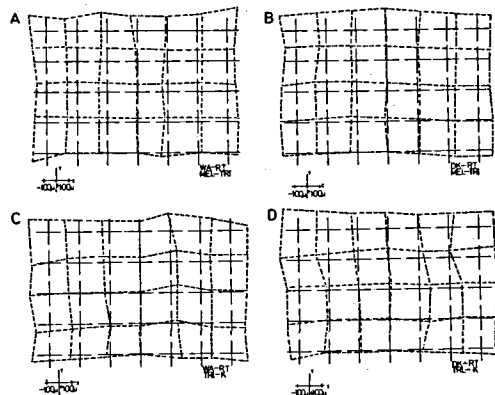


図11. 異なる鑄造収縮率を持つ各金属の鑄造体間の差をとることにより求めた、鑄造収縮量の変化。

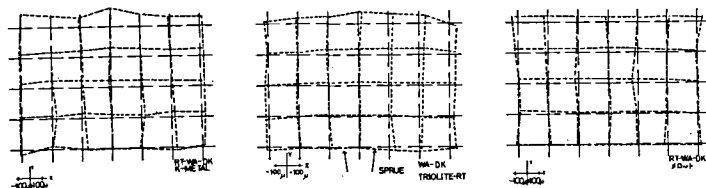


図10. 吸水膨張による変形を2次元的に示す。

る。リング上端に近づくほど、収縮量の差が大きくなっている。また、四隅でも収縮量の差が大きくなっている。図 11 B は、DK-RT における、M 鑄造体と T 鑄造体の結果である。同様な傾向となっている。図 11 C は、WA-RT、T 鑄造体と K 鑄造体、図 11 D は、DK-RT、K 鑄造体と T 鑄造体の差である。図 11 A B と比較して各部位は不均一であるが、これは K-RT の変形の影響である。いずれにしても鑄造収縮は、各部位によって大きな差がある。特に四隅ではそれが大きくなっている。

全体的に見ると、最も収縮の大きな所で、ほぼ各金属の鑄造収縮率の差に等しい値である。しかしスプルー付近では、鑄造収縮の差が小さい。図 9 の硬化時膨張および吸水膨張における、K の特異性は、このような見かけの鑄造収縮率と理論値との違いによるものである。

考 察

今回の実験は、真坂¹¹⁾上條⁸⁾中村¹³⁾らによりすでに同様な結果が報告されている。しかしながら、主原因は硬化時変形にあると結論している。また、一般にも、吸水膨張は、大きな変形をひきおこすと考えられて来た。これは鑄造収縮、及び熱膨張が各部位において一定であるとしたためである。確かに、硬化膨張、吸水膨張による変形はあり、特に、X 方向と Y 方向との膨張量の違いにより、Y 方向に長い鑄造体ができる事は事実である。しかし、この X、Y 方向の差は、熱膨張にも見られる。その上、熱膨張においては、リング上端に近づくにしたがい、X、Y 方向共、膨張が大きくなるような変形もおこっており、けっして一様ではない。ビヤ樽状変形についても、RT-DK のものにおいても見られるため、一見、硬化膨張によるものであると考えられがちである。しかし、結果、4. 鑄造収縮の項で示したように、鑄造収縮には、各部位によって大きな差があり、けっして一様ではない。特に四隅において、大きな収縮がある。こうした結果から、ビヤ樽状変形の主要原因は、硬化時の変形ではなく、見かけ上の鑄造収縮の違いによるものであると考えられる。さらに、吸水膨張、加熱膨張には、このビヤ樽状変形を少しながら、補うような変形も表われる。

これ等の変形は、実際に鑄造修復物を作る時、

ワックスパターンの、埋没位置によって影響をうけるとともに、見かけの鑄造収縮を一樣かつ少なくしてやる事が非常に重要である事を示している。またブリッジ等を作る場合における、変形の利用についても考え直す必要がある。つまり、今まではただ単に、板状鑄造体より計算して、その埋没位置によって、グミー部で、±0、クラウン部で、+となるようにしていたが、これは、板状鑄造体と実際の鑄造体との見かけ上の鑄造収縮率の違いがあるため、正しくない。

緩衝材については、全膨張量中、最も大きな膨張を示す熱膨張において、DK は X 方向の膨張を WA より大きくしている。X 方向での熱膨張不足は緩衝材に DK を使用することによって改善され適合精度のよい修復物ができると考えられる。

結 論

内径、40 mm、高さ 40 mm のリング内において、クリストバライト埋没材(而至歯科工業社製)を使用して、板状の鑄造体を作製した。鑄造体は鑄造収縮の異なる合金をリングに内張りする緩衝材の種類および鑄型温度など鑄造条件を変え調製した。これらの鑄造体の埋没位置による変化を測定した結果は次の通りである。

1. 鑄造体はほとんどビヤ樽状に変形した。
2. 鑄造体の変形は、そのリング内の位置によって、鑄造収縮が異なることによるものである。
3. 硬化時膨張は軸方向には 0.5~0.8%あり、側方には 0.35%であった。
4. 吸水膨張による増大は、軸方向で 0.4%あり、側方には 0.3%であった。
5. 熱膨張は軸方向に約 0.98%あり、側方には 0.65%であった。
6. リング内における埋没材の加熱膨張は均一ではなく、リングの底部は大きくなる。
7. カオウルをリングの内張りに利用することは湿アスベストを利用することよりも鑄造体の変形を避けるには効果があった。

稿を終るに臨み、電子計算機 HITAC・10-II の使用に便宜を与えて頂きました信州大学理学部森覚教授に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 栗沢 清, 他 (1973) 石こう泥注入時の振動時間

- と模型の寸法変化について、日歯材会誌, 30 : 305~309.
- 2) 江沢毅 (1974) 歯科用ワックスの温度変化に伴う変形流動機構の解明およびその応用に関する基礎的研究. 日大歯誌, 48 : 233~245.
 - 3) 長谷川二郎, 他 (1969) 埋没材の寸法変化について. 愛知学院大歯会誌, 7 : 35~40.
 - 4) 井田一夫, 他 (1968) ガス圧鑄造に関する研究. 第4報 鑄造体各部の凝固時間の測定. 日歯材会誌, 18 : 16~28.
 - 5) 井田一夫, 他 (1968) ガス圧鑄造に関する研究. 第5報 鑄造時の加熱の影響. 日歯材会誌, 18 : 29~35.
 - 6) 井田一夫, 他 (1969) ガス圧鑄造に関する研究. 第6報 鑄込み時間について. 日歯材会誌, 19 : 5~17.
 - 7) 石村均, 他 (1973) 金 12%パラジウム銀合金の最適鑄込温度について. 愛知学院大歯会誌, 11(3) : 14~20.
 - 8) 上條智生 (1972) 鑄造体の変形に関する研究. 歯理工誌, 26(13) : 56~88.
 - 9) 金竹哲也 (1968) 歯科理工学通論, 1版, 120, 永末書店, 京都.
 - 10) 小園顕夫, 他 (1971) 鑄造窩の寸法変化に関する研究. 第1報 鑄造窩の熱膨張と埋没材リングとの関係. 九州歯会誌, 25 : 130~135.
 - 11) 真坂信夫 (1970) ワンピースキャストブリッジの鑄造精度に関する研究. 歯科学報, 7 : 725~758.
 - 12) 永沢栄, 他 (1975) 鑄造精度に関する研究. その3 埋没材の硬化時における膨張圧, 膨張量および発熱温度に対する緩衝材の影響について. 歯科学報, 75 : 286~292.
 - 13) 中村健吾, 他 (1972) MOD インレーの精密鑄造. DE, 21 : 1~11.
 - 14) 成田洋之 (1973) 鑄造精度に関する研究とくにその要因及び対峙条件について. 愛知学院大歯会誌, 11 : 56~105.
 - 15) 那須稔雄, 他 (1975) 鑄造収縮率に関する研究(II) 中子の影響. 理工講演集 29 : 49.
 - 16) 西村文夫, 他 (1968) 歯科鑄造体の内部歪とX線回折. 日歯材会誌, 17 : 1~6.
 - 17) 西村文夫, 他 (1973) 合金組成と鑄造収縮. 日歯材会誌, 30 : 52~59.
 - 18) 西岡二二夫 (1974) 鑄造時膨縮変化の異方性に関する基礎的研究. 九州歯会誌, 28 : 355~378.
 - 19) 西 武司 (1974) 鑄造法の相違が鑄造体の凝固時間および, 諸性質におよぼす影響について. 愛知学院大歯会誌, 11(4) : 14~37.
 - 20) 大野弘機, 他 (1970) 鑄造リング内における埋没材の硬化膨張. 第1報 埋没材中に形成した空洞の容積変化の測定法と, 二, 三の測定結果. 歯理工誌, 11(20) : 29~36.
 - 21) 大野弘機, 他 (1971) 鑄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(22) : 186~191.
 - 22) 大野弘機, 他 (1971) 鑄造リング内における埋没材の硬化膨張. 第3報 アスベストと埋没材との間の水分の授受および埋没材の吸水性について. 歯理工誌, 12(25) : 225~233.
 - 23) 太田克子, 他 (1971) 埋没材の寸法変化及び破砕強度が鑄造精度に及ぼす影響. 愛知学院大歯会誌, 9(1,2) : 32~38.
 - 24) 太田克子, 他 (1969) 各種埋没材の理工学的検討. 愛知学院大歯会誌, 7(2,3) : 54~64.
 - 25) 太田克子, 他 (1968) 埋没材の寸法変化, アスベストの効果の再検討. 愛知学院大歯会誌, 6(3,4) : 52~56.
 - 26) 太田克子, 他 (1971) 各種鑄型材の熱間性状について. 愛知学院大歯会誌, 8(4) : 53~59.
 - 27) Phillips, D.W. (1935) Controlled casting. J.Amer. dent. Ass., 22 : 439~451.
 - 28) 酒井敏克, 他 (1970) 真空埋没操作中における蝟型の温度変化について. 愛知学院大歯会誌, 8(2,3) : 18~25.
 - 29) 酒井敏克 (1972) 歯科鑄造用合金の最適鑄込温度について. 愛知学院大歯会誌, 9(4) : 75~115.
 - 30) 佐藤鎮城, 他 (1970) 市販インレーワックスの比容積変化について. 九州歯会誌, 24 : 332~336.
 - 31) Scheu, C.H. (1935) Controlled hygroscopic expansion of investment to compensate for shrinkage in inlay casting. J.Amer. dent. Ass., 22 : 452.
 - 32) 寺島一郎, 他 (1973) 市販吸水膨張埋没材による鑄造収縮補償法について. 日歯材会誌, 30 : 143~149.
 - 33) 若松良徳, 他 (1968) 埋没材の特性値に及ぼす練和条件の影響について. 九州歯会誌, 22(1) : 13~26.
 - 34) 和久本貞雄, 他 (1965) 蠟型埋没の方法とリング内位置による鑄型の変形について. 日歯材会誌, 12 : 60~66.
 - 35) 山中 彬, 他 (1970) 歯科用石こう類の熱分散について. 神奈川歯会誌, 5(1,2) : 76~85.
 - 36) 吉田恵夫 (1958) 歯科鑄造法の実用精度について. 日歯材会誌, 2 : 55~82.