

歯科用埋没材の熱膨張力

その2 迅速鑄造型石膏系埋没材

石田喜紀 岡田英俊 野口博志
星野匠 及川均 長山克也

Thermal Expansive Force of Dental Investment

Part 2 Gypsum-bonded Investment for Quick Heating

Yoshinori ISHIDA, Hedetoshi OKADA, Hiroshi NOGUCHI
Takumi HOSHINO, Hitoshi OIKAWA and Katsuya NAGAYAMA

The purpose of this study was to examine the thermal expansive force of the gypsum-bonded investment for quick heating and the influence of the thermal expansive force on the mold compressive strength. Four types of quick heating type investments and one conventional investment were used in the experiments. The thermal expansive force was measured by TMA. The quick types were heated 30 minutes after mixing started from the room temperature up to 700°C at a programming rate of 20°C/min., while the conventional type was heated 120 minutes after mixing started from the room temperature up to 700°C at a programming rate of 6°C/min. The mold compressive strength was measured when the mold was heated 30 minutes after mixing started for 30 minutes in a muffle of the furnace heated at 700°C, and 120 minutes after mixing started from the room temperature up to 700°C at a programming rate of 6°C/min.

The following results were obtained.

1. The maximum thermal expansive force of the quick type was smaller than that of the conventional type.
2. The thermal expansive force of the quick type appeared at temperatures near 200-300°C and 500-600°C, and the magnitude of expansivity differed according to the blending quantity of the refractory material.
3. The mold compressive strength was greatly affected by the blending quantity of the binding material and the blending quantity of cristobalite.
4. The magnitude and the effect speed of the thermal expansive force were relative to the mold compressive strength.

Key words : gypsum-bonded investments for quick heating, thermal expansive force, mold compressive strength

緒 言

歯科精密鑄造において、鑄造体の鑄造収縮補償のための埋没材の硬化および加熱膨張量は最も重要な因子であるとされている¹⁻³⁾。しかし、シリカの α 型から β 型への変態による加熱膨張量は小さな抵抗によっても抑制を受けるとの報告もある⁴⁾。鑄造体製作過程においてはキャスティングライナーやパターン材が抵抗となるが、埋没材の膨張力がこれら材料の抵抗力より小さければ、十分な膨張力が発現できず鑄造収縮の補償が不十分となり、また膨張抑制による鑄型の異方膨張が発現し鑄造精度に影響を及ぼす可能性がある。加熱膨張発現時の膨張力を明らかにすることは、鑄造リング内の埋没材が自由に所定の膨張量を発現するか、あるいは鑄型の異方膨張の発現を抑制するかを判断するために極めて重要であると考えらる。

一方近年、操作性に優れた迅速鑄造型石膏系埋没材（以後、迅速型とする）が市販され、臨床においても使用されつつあるが、これら迅速型については、急速加熱による埋没材の急激な膨張力が鑄型の亀裂、破壊を惹起する可能性が懸念される。

そこで本実験は、迅速型について熱膨張力を経時的に測定し、また、急激な加熱膨張と加熱膨張力が鑄型に及ぼす影響を調べるために焼却後の鑄型圧縮強さを測定し、膨張特性と鑄型強度について、前報⁵⁾で報告した従来型の石膏系クリストバライト埋没材（以後、従来型とする）と比較検討した。

材料および方法

1. 実験材料

表1に実験に使用した迅速型および従来型埋没材を示す。以後、埋没材は表1に示したコードで表記する。

2. 実験方法

使用した埋没材の練和は、製造業者指定の条件に従い操作を行った。

1) 加熱膨張力の測定

加熱膨張力の測定は、埋没材の練和後、直径6mm、長さ12mmの金型に練和泥を流し込み、練和

表1 実験に使用した埋没材

種類	商品名	発売元	混水比	Code
迅速型	Cristoquick II	GC	0.33	Q II
	Cristobalite New F-1	Tokuyama	0.35	F1
	Cristobalite Q	Sankin	0.33	CQ
	Cristobalite PF	Shofu	0.35	PF
従来型	Cristobalite Micro	GC	0.35	CM

開始から迅速型では30分、従来型では120分経過したものを試料とし、熱機械分析装置（TMA4000S, マックサイエンス, 以後TMAと略す）を用いて行った。試料の昇温速度は、迅速型では20°C/min.で、従来型では6°C/min.で最終加熱温度を700°Cに設定した。試料数は各埋没材につき5個とした。

2) 鑄型圧縮強さの測定

鑄型圧縮強さの測定は、直径20mm、長さ40mmの金型に練和泥を流し込み、練和開始30分後に金型から取り出し、700°Cの電気炉で30分間加熱した後に室温まで冷却したもの（急速加熱したもの）、および練和開始120分後に金型から取り出し、電気炉で室温から6°C/min.の昇温速度で700°Cまで加熱した後に室温まで冷却したもの（徐加熱したもの）を試料とした。測定は小型万能試験機（1310DW, アイコーエンジニアリング）を用いて、フルスケール200kg, クロスヘッドスピード0.5mm/min.の条件で行った。試料数は各条件につき6個とした。加熱膨張力および鑄型圧縮強さの測定値は、二元配置分散分析を行い、Tukey's HSD test ($p < 0.05$) にて統計学的検定を行った。

結 果

1. 加熱膨張力

実験に使用した全ての埋没材の加熱膨張力曲線は、200°C付近までは緩やかな膨張力の発現が見られ、その後、200~300°C付近で急激な膨張力が発現した（図1）。また、迅速型では200~300°C付近で発現する膨張力に加え、600°C付近でも膨張力の発現が観察された。

図1の膨張力曲線で見られた200~300°C付近と600°C付近における膨張力のピークをそれぞれ比

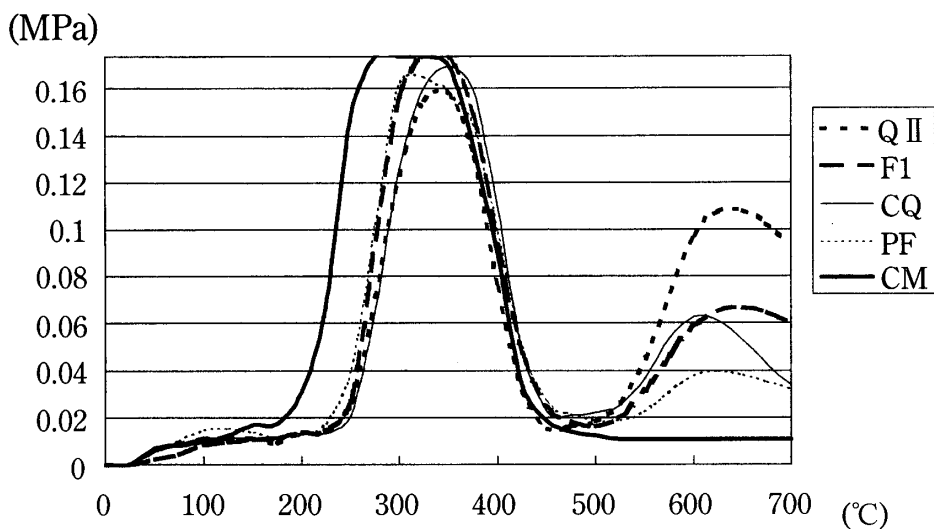


図1 埋没材の加熱膨張力曲線

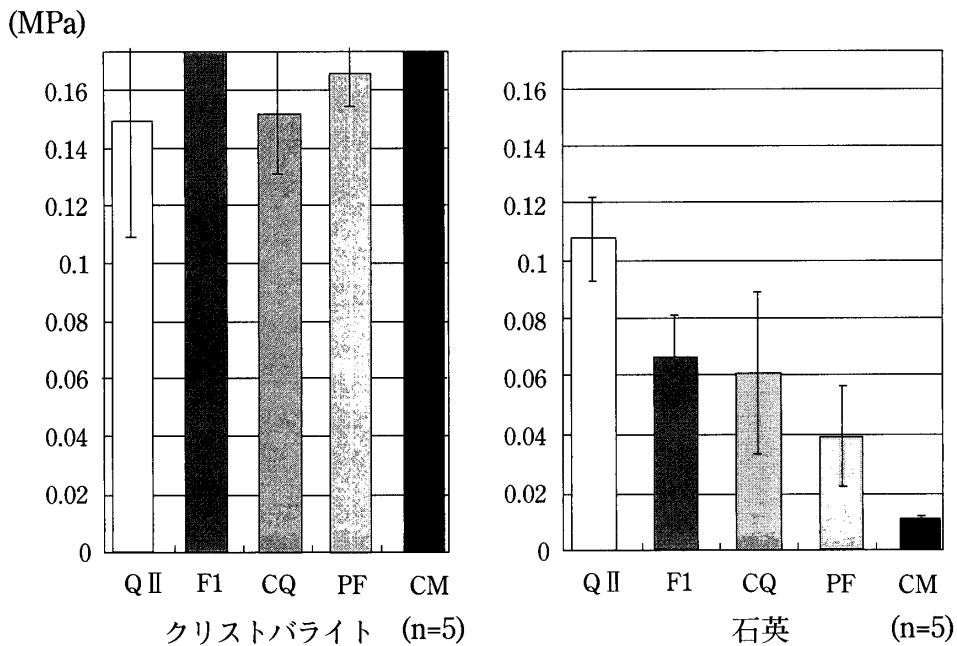


図2 変態温度における加熱膨張力

較した (図2)。200~300°C付近で発現するピーク値は、CMおよびF1は全ての測定値がTMAの測定限界 (500gf) 以上を示した。その他の埋没材は測定限界値よりわずかに小さい膨張力を示したが、この温度範囲では全ての埋没材間に有意差は認められなかった (表2)。600°C付近で発現する加熱膨張力のピーク値は、いずれも200~300°C付近で発現するピーク値より小さく、Q IIのみ他の4種類と比較して有意に大きな値を示した (表3)。

2. 鑄型圧縮強さ

鑄型圧縮強さの結果を図3に示す。CMにおいては急速加熱中に円柱状試料が全て破損し、測定不能であった。また、PF、F1においても加熱中に破損した試料も見られた。急速加熱後における鑄型圧縮強さはCQ>Q II>PF>F1の順で小さくなり、CQのみ他の埋没材と比較して有意に大きな値を示した (表4)。徐加熱後の鑄型圧縮強さはCQ>CM>F1>Q II≒PFの順で小さくなり、急速加熱後のものとやや異なる傾向を示した。埋

表2 クリストバライトの変態温度での加熱膨張力

	Q II	F1	CQ	PF	CM
Q II		—	—	—	—
F1			—	—	—
CQ				—	—
PF					—

※ : $p < 0.05$ で有意差有り

表3 石英の変態温度での加熱膨張力

	Q II	F1	CQ	PF
Q II		※	※	※
F1			—	—
CQ				—

※ : $p < 0.05$ で有意差有り

表4 鋳型圧縮強さ (急速加熱時)

	Q II	F1	CQ	PF
Q II		—	※	—
F1			※	—
CQ				※

※ : $p < 0.05$ で有意差有り

表5 鋳型圧縮強さ (徐加熱時)

	Q II	F1	CQ	PF	CM
Q II		※	※	—	※
F1			※	※	—
CQ				※	※
PF					※

※ : $p < 0.05$ で有意差有り

没材間を比較すると、Q II と PF、F1 と CM 間には有意差は無かったが、それ以外には全て有意差が見られた (表5)。また、急速加熱したものと徐加熱したものの間にはCMを除いて有意差は見られなかった。

考 察

現在、低・中溶貴金属合金の歯科精密鋳造には、主に石膏系埋没材が使用されており、従来は耐火材の種類によってクリストバライト埋没材と石英埋没材に分類されていたが、近年、これらの分類

に該当しない迅速型が開発され、使用されるようになった。

迅速型は鋳造時間の短縮を目的に開発されたものである。これらの埋没材は耐火材としてクリストバライトと石英が用いられている³⁾。耐火材は、埋没材の耐火性を向上する以外に重要な役割を占めており、クリストバライトは220℃で、石英は573℃で α から β に相変態し³⁾、その際の結晶形態の変化による膨張を起こす。クリストバライトの相変態に伴う体積変化率は2.00~2.80%、石英のそれは0.86~1.30%である⁶⁾。この相変態による熱膨張により、鋳造収縮の大部分を補償している。

本実験において、迅速型の加熱膨張力測定から200~250℃付近からの急激な膨張力および550℃付近からの小さな膨張力の発現が認められた。これらは、加熱膨張量測定の結果^{7,8)}と近似した温度域での膨張力発現であり、前報⁵⁾の結果から、耐火材の加熱による相変態に起因するものである。

ここで見られたそれぞれの膨張力ピークを比較した (図2) と、600℃付近での石英に起因する膨張力には有意差が見られたが、200~300℃付近でのクリストバライトに起因する膨張力には有意差が認められなかった。これは、今回の実験で用いた測定装置の測定可能域が500gf以下であり、各試料の数個、もしくはその全てが500gfを示したためである。しかし、その加熱膨張力曲線

(図1) より、迅速型のクリストバライトに起因する加熱膨張力ピークは0.16~0.17MPa付近に見受けられるが、従来型のCMは0.17MPaを大きく上回る値であり、クリストバライト転移温度における加熱膨張力は全て従来型のそれより小さかった。これは、実験に使用した埋没材のクリストバライト含有量に起因するものと考えられ、従来型では耐火材成分であるクリストバライトが約80%であるのに対し、迅速型のそれは約35~50%程度の配合量⁷⁾であるためと考えられる。

600℃付近で発現するピークの値において、Q II は他の迅速型と比較して有意に大きな値を示した。これも、Q II はF1およびPFと比較してクリストバライトの配合量が少なく、石英の配合量が多い⁷⁾ためと考えられる。以上の結果から、埋没材の加熱膨張力はその耐火材の配合量および配合

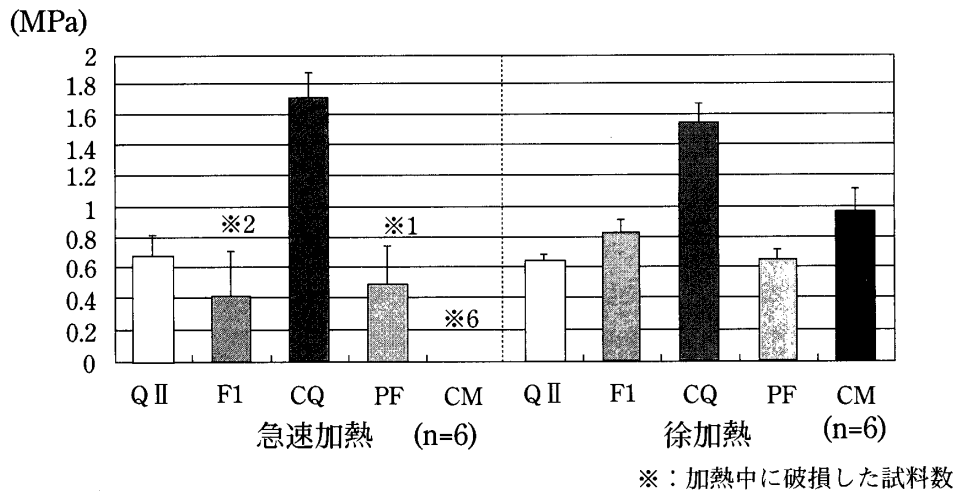


図3 迅速型および従来型の鑄型圧縮強さ

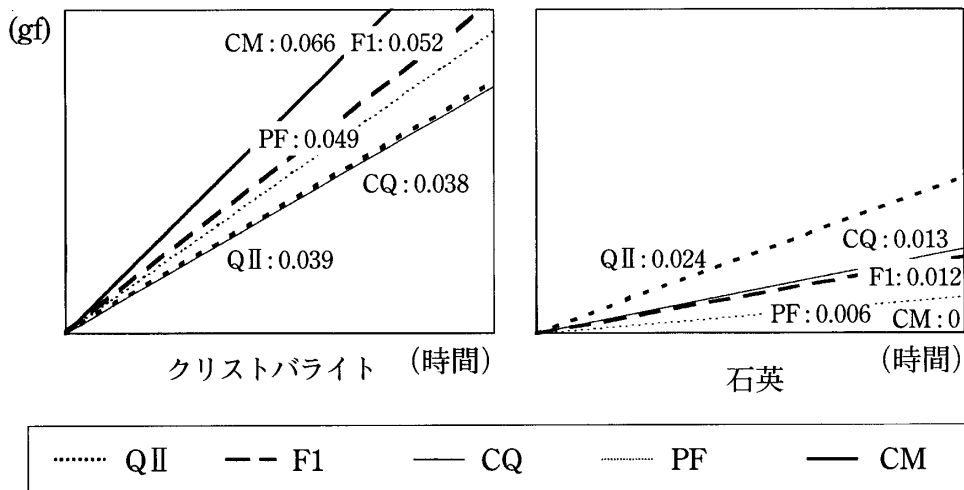


図4 加熱膨張力発現時の時間-荷重直線 (勾配係数)

比率の影響によるものと推察される。また、迅速型は従来型と比較してクリストバライトの膨張発現温度域での最大加熱膨張力が小さいため、小さな膨張力でも緩衝が可能な迅速型専用のキャストライナーの開発が必要であることが示唆された。

また、鑄型圧縮強さにおいては急速加熱と徐加熱の間にCM以外には有意差が認められなかった。しかし、急速加熱中に試料の破壊が見られたF1、PFにおいては小さな値となった(図3)。試料の破壊は急速加熱による耐火材の急激な膨張力と鑄型内の温度差によって、結合材が破壊されるためと考えられる。結合材である石膏は約130~200℃

の範囲での加熱により半水石膏から無水石膏への脱水を起こし、また約230℃で可溶性無水石膏から不溶性無水石膏に転移し、そのとき-1.4~-2.5%の収縮を起こす⁹⁾。本実験の結果ではこの温度域すなわち200~300℃においてクリストバライトの変態による急激な加熱膨張力が発現している。したがって結合材の脱水および転移に伴う収縮と耐火材の膨張が相反して同じ温度域で発現するため埋没材の破壊が起こったものと考えられる。また、鑄型内の急速加熱による鑄型外側と中心部との温度差に起因する亀裂が生じたことも鑄型破壊や亀裂発生の要因の一つと考えられる。

また鑄型圧縮強さには結合材の配合量も影響し

ていることが示唆された。

さらに、鋳型圧縮強さと加熱膨張力の関係を検討するために、クリストバライトと石英の相変態温度付近で発現する加熱膨張力の大きさ(図1)と、測定条件から得た発現持続時間から、単位時間における膨張力発現の大きさを時間-荷重直線として算出し、その勾配係数を比較検討した(図4)。その結果、勾配係数はクリストバライト変態温度付近では $CM > F1 > PF > QII > CQ$ の順で小さくなり、石英では $QII > CQ > F1 > PF$ の順で小さくなった。一方、埋没材の鋳型圧縮強さは、急速加熱で $CQ > QII > PF > F1 > CM$ となり、クリストバライトの熱膨張力発現における時間-荷重直線の勾配係数と鋳型圧縮強さの間に負の相関関係が強いことが認められた。しかし、石英の加熱膨張力発現時の勾配係数と鋳型圧縮強さの間には相関性は認められなかった。これは、石英に比較してクリストバライトの方が相変態による加熱膨張力および時間-荷重直線の勾配係数が大きいため鋳型圧縮強さに対し、より大きな影響を与えているものと推察される。石英の膨張力と鋳型圧縮強さの関連性に関しては、石英の膨張力発現より先に既にクリストバライトの影響を受けていると考えられるため、本実験の結果からは判定できない。

結 論

1. 迅速型の最大加熱膨張力は従来型のそれより小さかった。
2. 迅速型の加熱膨張力は200~300℃付近と500~600℃付近で発現し、その大きさは耐火材成分の配合量によって異なっていた。
3. 鋳型圧縮強さは結合材の配合量とクリスト

バライトの配合量の影響が大きかった。

4. 加熱膨張力の大きさと発現速度は鋳型強度と負の相関性が認められた。

本論文の要旨の一部は、第35回日本歯科理工学会(2000年4月、東京)において発表した。

文 献

- 1) 高橋重雄：歯科精密鋳造。歯科理工学会(歯科理工学会編)第2版；110-125 医歯薬出版 東京 1984。
- 2) 平野 進：鋳造法。要説歯科理工学会(平沢 忠編)第5版；92-96 医歯薬出版 東京 1999。
- 3) 西山 實，廣瀬英晴：鋳造用材料。スタンダード歯科理工学会(西山 實，根本君也，長山克也編)改訂版第2版；103-153 学建書院 東京 2002。
- 4) 泉 俊郎，足立幸一郎，星野 匠，島野偉礎轄ほか：Ti専用埋没材の加熱膨張に関する研究一試料製作および測定条件が膨張量に及ぼす影響一。奥羽大歯学誌 24；367-373, 1997。
- 5) 島野偉礎轄，石田喜紀，星野 匠，及川 均ほか：歯科用埋没材の熱膨張力 その1 石膏系埋没材。奥羽大歯学誌 28；1-4, 2001。
- 6) 本田英昌，吉田雄次：酸性耐火物。燃料・耐火物(鋳造技術講座編集委員会編)；151-199 日刊工業新聞社 東京 1969。
- 7) 石田喜紀：迅速鋳造用石膏系埋没材の膨張特性と加熱開始時間が鋳造精度に及ぼす影響。奥羽大歯学誌 30；205-218 2003。
- 8) 高橋英和，中村英雄，岩崎直彦，土生夏史ほか：急速加熱型石膏系埋没材の特性。歯材器 12；714-723 1993。
- 9) 金竹哲也：模型用材料。歯科理工学会通論 第一版；303-317 末永書店 京都 1978。

著者への連絡先：石田喜紀，(〒963-8611)郡山市富田町字三角堂31-1 奥羽大学歯科理工学会講座
Reprint requests：Yoshinori ISHIDA, Department of Dental Materials, Ohu University School of Dentistry 31-1 Mitsumido, Tomita, Koriyama, 963-8611, Japan