



Title	石膏模型の膨張がレジン床の適合度に及ぼす影響に関する研究
Author(s)	丸岡, 寛昭
Citation	大阪大学, 1971, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/30235
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

石膏模型の膨張がレジン床の適合度
に及ぼす影響に関する研究

丸岡 寛昭

Effect of Expanded Casts on the Fit of Acrylic
Denture Bases

Hiroaki Maruoka

(昭和 年 月 日受付)

緒 言

適合のよい義歯床を作製することは、義歯の維持安定および口腔粘膜の健康保持と関連して重要な課題である。

義歯床用材料としてメタクリル樹脂は、使用法が簡便であるばかりではなく、審美的に良

好な色調が得られることなど多くの利点を有し、現在補綴臨床において広く用いられている。しかしこのレジン¹⁾は重合操作中に収縮するという欠点を有しており、これが義歯の不適合をきたす一つの原因となるといわれている^{1,2)}。Skinner^{1,2)}や Schroeder³⁾は、この義歯作製過程中に生じる「硬化収縮」は転移温度から常温まで冷却される間における熱収縮^{によるものともみえるのが妥当}であろうと述べている。そこでより適合のよい義歯を作製するために従来より多くの研究がなされているが⁴⁻¹⁰⁾、いまだその適合は充分とはいえない。しかし従来の研究は主としてレジンに関するものが多く、義歯床作製時に使用する石膏模型との関連性についてはほとんど研究されていない。すなわち石膏模型の膨張によってレジンの収縮を補正し適合のよい義歯が得られると考えられるが、この点について追求した報告はみられない。

そこで本研究は、石膏模型の膨張がレジン

床の適合度に及ぼす影響を明らかにすること
を目的とし、上顎臼歯部前頭断面を想定した
山型模型、ならびに上顎無歯顎模型について、
原型より膨張させた石膏模型を用いて重合と
行なった場合の、重合試料の原型に対する適
合度について検討を加えたものである。

予備実験

重合試料の適合度の経時的变化を調べ、ま
た湿熱重合と乾熱重合によって作製した試料
の適合度を比較し、試料の計測時期と実験に
採用する重合方法を定めた。つぎに膨張の
異なる数種の石膏模型を作製するために、添
加剤が石膏の硬化時間、および石膏模型の膨
張に及ぼす影響について検討を加えた。

1. 試料の適合度について

(1) 試料の作製方法および計測方法

上顎臼歯部前頭断面を想定した山型の金属

模型(図1,2)を作製して原型とした。この上にパラフィンワックス2枚を圧着して厚さ2.8_{mm}の蝋原型を作製し、これをレジンに置換して試料とした。このようにして作製した試料を原型上に復し、その間隙を計測することによって適合度の判定を行なった。計測にあたって試料の原型に対する適合条件を一定にするため、ピッカー針を用いて300gの荷重で加圧し、この時の試料と原型との間隙を0.01_{mm}精度の読取顕微鏡(PRM-2XYZ,中村製作所)を用いて計測した。計測部位は図3に示すように片面についてa,b,c,d,eの5部位とし、両面10部位を一つの試料について5回繰返して計測した。さらに各計測値より、c部、bおよびd部、aおよびe部の両面における平均値を求め、それぞれ、c部、b-d部、a-e部の値とした。

(2) 重合条件

埋没は歯科用4½ inch フラスコを用いて2回埋没法で行ない、石膏硬化後通法に従いワッ

クスを除去し、4日以上放置して~~石膏を乾燥~~
~~させ~~後重合を行なった。レシンは市販床
用透明メタクリル樹脂 (ACRON, 而至化学工業
株式会社) を使用し、粉液比は操作可能な範
囲でモノマーを少くして $4.3\text{ml}/10\text{g}$ とした。
試圧および乾熱重合には油圧式 THERMOPRESS (而
至化学工業株式会社) を使用した。試圧は
2回行ない、重合時の圧は 1660kg ($26\text{kg}/\text{cm}^2$),
通電時間は21分とし、重合完了後、フラスコ
温度が室温に下るまで加圧状態のまま放置し
た。なおこの場合のフラスコ内部温度は中
央部において、重合開始より約19分で 100°C に
達し、21分で $102^\circ\text{C}\sim 103^\circ\text{C}$ に上昇した。また50
分後においても $97^\circ\text{C}\sim 99^\circ\text{C}$ を保ち、フラスコ温
度が室温に下るまでには3~4時間を要した。
湿熱重合における水温は、30分間で 20°C より
 70°C に上昇させ、30分間 70°C に係留し、さら
に30分で 100°C とした。後30分間 100°C に係留し、
室温まで放冷した。以上の操作は $20^\circ\text{C}\sim 25^\circ\text{C}$
 $^\circ\text{C}$ の室温にて行ない、作製した試料は計測時

まで20℃の水中に保存した。

(3) 重合後の経時的变化

乾熱重合によつて作製した試料を用い、計測時期は、重合直後、重合後1、3、5、7、9、14、21日とした。なお試料は8個作製し、平均値を算出した。各部位における間隙の経時的变化を表1および図4に示す。

重合直後において各部位とも0.4mm~0.5mmの間隙が認められ、これが3日頃までさらに大きくなり、その後は除々に回復する傾向を示した。また重合直後より5日間にb,d部とa,e部の値がc部の値に比べて大きく変化しており、この間にひずみが見われ、c部に對しb,d部とa,e部が上方に向つて反つてきたことを示している。1週を過ぎると3部位間の関係が大体一定して形態的に安定する傾向を示し、重合後2週には重合直後にほぼ等しい値を示した。

さらに湿熱重合によつて作製した試料を重合後2週
~~(4) 湿熱重合と乾熱重合の比較~~
 に計測し、乾熱重合による場合と比較した。その結果と
~~湿熱重合と乾熱重合によつて作製した各試~~

表2 および図5に示す。

~~料と重合後2週に計測して比較検討して。~~

なお試料は各8個作製し、平均値を求めた。

~~その結果を表2および図5に示す。~~

間隙は乾熱重合による試料のオがいずいの部位においても小さくまた各部位間の差も小さかった。すなわち、乾熱重合によるオがいずいみが小さく適合度のよい試料が得られた。さらに試料間における測定値のばらつきも乾熱重合によるオが小さかった。

2. 石膏の硬化時間および石膏模型の膨張について

(1) 石膏および添加剤

石膏は添加剤を加えていない硬質石膏（丸石石膏株式会社）を、添加剤としてはクエン酸ナトリウムと硫酸カリウムを用いた。

硬質石膏は添加剤を加えない場合にはかなり大きい凝結膨張を示す⁽⁴⁾。一方クエン酸ナトリウムと硫酸カリウムはいずれも凝結膨張を抑制するが、クエン酸ナトリウムが硬化遅延剤として作用するのに対し、硫酸カリウ

ムは硬化促進剤として作用する^{15,16)}。そこで両者の添加量を調節することによって硬化時間を一定に保ち、かつ凝結膨張を抑制して膨張の異なる数種の石膏模型を作製することを試みた。なお混水量は $32\text{ml}/100\text{g}$ とし、真空攪拌器で1分間120回攪拌を行った。また練和液は 20°C の脱イオン水とし、実験は 20°C ～ 25°C の室温において行った。

(2) 添加剤と硬化時間

硬化時間については、JIS規格(T6605-1957)に準じた「凝結時間」、およびピッカー針(針の直径 2mm 、荷重 300g)が石膏面に刺し抜くまでの時間を測定した。以下後者を「離型時間」と表わすが、この時期には石膏は印象からはずせる程度には硬化しているが、膨張はまだほとんど認められない^{1,17)}。

なお測定は各5回行ない、その平均値を求めた。

添加剤を加えない場合、およびクエン酸ナトリウムのみを加えた場合における硬化時間

の測定結果を図6に示す。添加量を増やすに従って凝結時間、離型時間はともに延長し、0.01%加えた場合には40分前後を示した。

石膏は操作上注型の時間的余裕が充分にあり、注型後はすみやかに硬化することが望ましい。そこで臨床的操作をも考慮して離型時間が10分以内になるようなクエン酸ナトリウムと硫酸カリウムの比率を求めた。クエン酸ナトリウムの添加量を0.01%で一定にし、硫酸カリウムの添加量を変えた場合の測定結果を図7に示す。硫酸カリウムを0.4%加えた場合に凝結時間が約8分30秒、離型時間が約9分15秒となり、硫酸カリウムの添加量をさらに増してもその効果は小さかった。

そこでクエン酸ナトリウムと硫酸カリウムの比を1対40とし、その添加量を変えた場合の硬化時間に及ぼす影響を調べた。その結果は図8に示すごとく、凝結時間、離型時間ともに添加剤を加えない場合より約2分延長したが、この範囲内では添加量を変えても大

きり変化は無く、7~10分以内であった。

(3) 添加剤と石膏模型の膨張

図1, 2に示した金属模型を原型とし, これをシリコンラバー印象材 (Silascon RTV 6501-Katalyst K, 富士高分子株式会社) を用いて印象して石膏模型を作製した。クエン酸ナトリウムと硫酸カリウムの比は1対40とし, その添加量を変えて練和木中に加えた。石膏模型を印象から撤去する時期は前述の離型時間とし, 自由に膨張させた。石膏模型の膨張の計測は石膏模型を充分乾燥させた後行なった。図9に示すような金属模型の陰型を超硬石膏で作製し, これを石膏模型上においてその間隙を図3に示したレジンの場合と同じく10部位において計測した。原型に対する石膏模型の膨張は, 図10に示すようにこの間隙と山型模型の傾斜より計算した。なお一つの模型について5回計測し, その平均値を求めた。また各濃度ごとに7個の石膏模型を作製し, 最大, 最小を除く5個の値の

平均値を求めた。

その結果は図 11 に示すごとく、添加剤を加えない場合に 0.51% の膨張を示し、添加量を増やすに従い膨張は小さくなり 0.18% まで抑えることができた。また離型直後より 30 分間水中に浸漬して加水膨張させた場合、および膨張が小さいといわれる市販の超硬石膏 (SURSTONE, 而至化学工業株式会社) を用いた場合の膨張を同様の方法で計測した結果、前者が 0.61%、後者が 0.02% の膨張を示した。

3. 小 括

重合試料の適合度の経時的変化を調べた結果、試料は重合後 1 週を過ぎると形態的に安定する傾向を示し、2 週には重合直後にほぼ等しい適合度を示した。湿熱重合と乾熱重合によって作製した試料の適合度を比較した結果、乾熱重合による試料の方が適合度がよく、ひずみも小さいことを認めた。そこで以下の実験においては、計測時期は重合後 2 週とし、重合方法としては乾熱重合法を用いた。

石膏模型の膨張に関する実験の結果、添加剤を加え、あるいは加水膨張させることによつて原型より約0.18%～0.61%膨張した石膏模型が得られた。また超硬石膏を用いることによつて約0.02%の膨張を示す石膏模型が得られた。

実験I 山型模型による実験

上顎臼歯部前頭断面を想定した山型の金属模型を原型として膨張の異なる7種の石膏模型を作製し、これらを用いて作製した重合試料の原型に対する適合度を比較検討した。

1. 実験材料ならびに方法

(1) 石膏模型の作製方法

図1, 2に示す山型の金属模型を原型として7種の膨張の異なる石膏模型 ($P_1 \sim P_7$) を作製した。使用した石膏は予備実験の項で述べた硬質石膏と超硬石膏である。印象採得

法，混水量，練和法，離型時間などの石膏模型作製条件および原型に対する石膏模型の膨張の計測方法は予備実験と同一とした。予備実験の結果よりクエン酸ナトリウム，硫酸カリウムの添加および加水膨張によって，それぞれの膨張の差が0.08%前後になるように6種の石膏模型（P_{2~7}）を作製した。また超硬石膏によりほぼ原型に等しいと考えられる石膏模型（P₁）を作製した。なお各石膏模型はそれぞれ10個作製し，膨張が最大，最小のものを除く8個を実験に使用した。表3に実験に使用した石膏模型の作製条件および膨張を示す。

(2) 試料作製方法および計測方法

以上のようにして作製した7種の石膏模型上にパラフィンワックス2枚を圧接して厚さ2.8mmの蝸原型を作製し，これをレジンに置換して試料（R_{1~7}）とした。重合方法としてはTHERMOPRESSによる乾熱重合法を用い，その他の重合条件は予備実験と同一とした。

このようにして作製した試料を重合後2週に原型に復し、その間隙を計測することによって適合度の判定を行なった。なお計測方法は予備実験と同一とし、計測値を比較する場合には有意差検定を行なった。

2. 実験結果

実験に用いた7種の石膏模型の原型に対する膨張、およびこれらを用いて作製した試料を原型に復した場合の間隙を表4に示す。

この間隙をグラフして比較したものを図12に示し、またこれを石膏模型の膨張とそれぞれの部位における間隙との関係として表わしたものを図13に示す。

いずれの試料においてもa部がc部より大きい値を示し、内部応力の開放によるひずみによって中央部に対して側方部が上方に向けて反ってくることを示した。

R_1 においては各部位とも0.4mm前後の間隙が認められたが、以下 R_2 、 R_3 、 R_4 の順で間隙はいずれの部位においても小さくなった。 R_4

、 R_5 、 R_6 はいずれの部位においても R_3 より小さい値を示し、また R_7 はいずれの部位においても二つらる者より大きい値を示した。 R_4 と R_5 、および R_5 と R_6 の間にはいずれの部位においても差は認められなかった。 R_4 と R_6 にはbd部において差が認められ R_6 が大きい値を示したが、c部およびae部においては差は認められなかった。

すなわち0.33%までは石膏模型の膨張を大きくするに従い試料の原型に対する適合度は向上した。しかし0.33%と0.41%においては差は認められず、0.51%まで膨張させるとかえって適合度がわるくなる傾向を示し、さらに大きく0.61%まで膨張させた場合には明らかに適合度がわるくなった。

c部とbd部における値を比較してみると、 $R_{1\sim4}$ においては差は認められなかったが、 $R_{5\sim7}$ においてはbd部が大きい値を示した。またbd部とae部における値を比較してみると、 $R_{1\sim3}$ においてはbd部が小さい値を示したが、 $R_{4\sim7}$

において差は認められなかった。

R_1 , R_4 , R_7 の原型に対する適合状態の一例を図14に示す。試料が原型に接する部位は、 $R_1 \sim 4$ においてはすべて内側突起部の外側であった。 R_5 においては8例中2例が明らかに内側で接したが、他は判定できなかった。 R_6 においては7例が明らかに内側で接したが、1例は判定できなかった。また R_7 においてはすべて内側で接した。

3. 小 括

山型の金属模型を原型として、石膏模型の膨張と重合試料の原型に対する適合度との関係を調べた結果、原型より約0.33%ないし0.41%膨張させた石膏模型を用いた場合に最も適合度のよい試料が得られ、膨張がこれより小さく、あるいは大きくなるに従って試料の適合度はゆるくなる傾向を示した。

実験II 顎模型による実験

実験 I における結果をより臨床に近い形で観察するため、上顎無歯顎模型を原型として膨張の異なる種の石膏模型を作製し、これらを用いて作製した義歯を試料として、原型となる模型に対するその適合度を比較検討した。

1. 実験材料ならびに方法

(1) 試料作製方法

上顎無歯顎模型を原型とし、実験 I における P_1 , P_4 , P_7 と同一の条件で種の膨張の異なる石膏模型 (G_1 , G_4 , G_7) を作製した。石膏模型はいずれも 9 個ずつ作製し、その原型に対する膨張を正中部および臼歯部における幅径を計測することによって求め、最大、最小を除く 7 個を実験に使用した。実験に用いた石膏模型の膨張は、 G_1 が $0.03 (\pm 0.03)\%$ 、 G_4 が $0.34 (\pm 0.04)\%$ 、 G_7 が $0.63 (\pm 0.04)\%$ であり、実験 I における P_1 , P_4 , P_7 の値とほぼ一致した。

これら3種の石膏模型上に同一の条件で陶歯排列を行って蝮義歯を作製し、前述の条件で乾熱重合によってレジン床義歯を作製した。これを試料(D₁, D₄, D₇)として、又週間20°Cの水中に保存した後、その適合度を模型切断法によって判定し比較検討した。

(2) 計測方法

原型と同一の条件でゴム陰型を用いて超硬石膏で上顎無歯顎模型を作製した。この模型と試料との間に石膏(NEW PLASTONE, 而至化学工業株式会社)を混水量35ml/100gで練和して介在させ、抗折下ゆみ試験装置を利用して2kgの荷重を加えた。石膏硬化後試料を取除き、これを一定部位において切断し、介在する石膏の厚さと読取顕微鏡を用いて計測することによって適合度の判定を行なった。

なお計測は同一の試料について5個の模型を用いて行ない、その平均値を求めた。試料はD₁, D₄, D₇それぞれ7個ずつ作製して比較検討した。またその計測値と比較する場合

には有意差検定を行なった。計測に用いた原型と作る模型のばらつきを調べるために、任意に選んだ7個について原型に対する膨張を計測した。その結果は $0.00 (\pm 0.02)\%$ であり、標準偏差は G_1, G_4, G_7 における場合よりも小さく、本実験の結果に与したる影響を及ぼさないと考えた。

1) 基準面決定と模型切断方法

模型を同一部位で切断するために図15に示す装置を使用した。この装置は上部および下部より構成され、上部にはコアをとりにつける Pole が出ており、下部底面は平面をなしこれが基準面 X となり、さらにこれと直角に交わる基準面 Y が作られている。上部と下部は4本の支柱とネジにより平行に固定される。

模型粘膜面の石膏コアを作製し、模型の切歯乳頭部と両側上顎結節最高部によって決定される面が基準面 X と平行になり、さらにこの面に直交する正中部矢状面が基準面 Y と平

行に作るようにコアを Pole に固定した。このコアに模型を適合させ、下部に石膏を注入して基準面 X, Y を形成した。この基準面は模型粘膜面から一定の距離にあるもので、以後の切断および計測部位決定の基準となるものである。

このようにして基準面を作製した模型と試料の間に石膏泥を介在させ、硬化後試料を取除いて切断を行なった。切断には特に調整したモデルトリンマーを使用し、その載型台を改造して模型の基準面 X, Y に適合する形態とし、また切断面が基準面と直角になるように調整した。まず第二大臼歯部に相当する一定の部位において切断し、この前頭断面において 7 部位を計測し、うぎに正中部において基準面 Y に平行に切断し、この矢状断面において 6 部位を計測した。

2) 計測部位

前頭断面の計測部位は歯槽頂部、口蓋正中部、歯槽堤の口蓋側および頬側部とし、各部位に

おける計測値を $l_{1\sim7}$ とした (図16)。 図16に
 おける細線は計測のための補助線である。
 前頭断面が基準面 \times および γ と交わる線をそ
 れぞれ線 α , 線 β とする。 両側歯槽頂部 A
 E および口蓋正中部 C より線 α に垂線を引
 き、その交点をそれぞれ B , F , D とする。
 直線 AB , CD , EF 上で介在した石膏の厚さを計
 測したものが l_2 , l_4 , l_6 である。 線 AB 上で
 B より 25mm , 20mm の点をそれぞれ G , I とす
 る。 線 DG 上で G より 7mm の点 H を通る線 DH
 の垂線上で計測したものが l_3 である。 直線
 DI と平行に 2mm 齧頰移行部より引いた線上
 で計測したものが l_1 である。 l_3 , l_1 と同様
 にして反対側の l_5 , l_7 を求める。

矢状断面における計測部位は歯槽頂部、歯
 槽堤唇側部、および口蓋部における4部位と
 し、各部位における計測値を $l_{8\sim11}$ とした (図
 17)。 矢状断面が基準面 \times および前頭断面
 と交わる線をそれぞれ線 α' , 線 β' とする。
 歯槽頂部 M , および口蓋部において線 α' に最

も近い点Pより線Zに垂線を引き、その交点をそれぞれN, Qとする。直線MN, PQ上で介在させた石膏の厚さを計測したものが l_9, l_{12} である。線MN上でNより $8.5\text{mm}, 20.5\text{mm}, 7\text{mm}$ の点をそれぞれX, R, Tとする。直線QXと平行に 10.5mm 歯槽頂よりに引いた線上で計測したものが l_8 である。線QR上でQより 5mm の点Sを通る線QRの垂線上で計測したものが l_{10} であり、線QT上でQより 13mm の点Uを通る線QTの垂線上で計測したものが l_{11} である。線Z上でDより 7mm の点をVとし、線NV上でNより 35.5mm の点Wを通る線NVの垂線上で計測したものが l_{13} である。

2. 実験結果

(1) 前頭断面

3種の試料の各部位における間隙の計測結果を表5および図18に示す。

D_4, D_7 においては l_{1-7} のいずれの値も D_1 における値よりも小さかった。またその差は口蓋正中部(l_4)において最も大きく、両側

齒槽堤頰側部 ($l_{1,7}$) において最も小さかった。 D_4 と D_7 については口蓋部 ($l_{3,4,5}$) には差を認めなかったが、両側の齒槽頂部 ($l_{2,6}$) および齒槽堤頰側部 ($l_{1,7}$) においては D_4 が小さい値を示した。しかしその差は D_1 と他の二者における差よりは小さかった。また部位間の差は D_4 が最も小さく、模型に対して均等に接する傾向を示した。

おぼろげに原型にほぼ等しい大きさの石膏模型を用いるよりも 0.34% 膨張させた石膏模型で用いた場合の方が適合度は良好であった。また 0.63% 膨張させた場合には 0.34% 膨張させた場合よりも、かえって適合度が悪くなる傾向を示した。

(2) 矢状断面

3種の試料の各部位における間隙の計測結果を表6および図19に示す。

この場合も前頭断面における場合と同様 D_4 、 D_7 においては $l_{2,6}$ のいずれの値も D_1 における値よりも小さく、その差は口蓋後方部 ($l_{11,12,13}$)

)において著明であつた。 D_4 と D_7 については口蓋後部($l_{12,13}$)では差を認めなかつたが、齒槽堤唇側部(l_8)、齒槽頂部(l_9)、口蓋前部($l_{10,11}$)においては D_4 が小さい値を示した。なおこの差は口蓋前部においては小さかつたが、齒槽頂部においては大きかつた。また部位間の差も D_4 が最も小さく、模型面に対して均等に接する傾向を示した。

すなわち矢状断面においても前頭断面における場合と同様、 D_1 の適合度が最もわるく、 D_4 の適合度が最も良好な傾向を示した。

3. 小 括

上顎無齒顎模型を原型として、石膏模型の膨張と重合試料の原型に対する適合度との関係調べた結果、原型より約0.34%膨張させた石膏模型を用いた場合に適合度のよい試料が得られ、原型にほぼ等しい大きさの石膏模型、および原型より約0.63%膨張させた石膏模型を用いた場合には、試料の適合度はわるくな

る傾向を示した。

考 察

義歯の性能を十分に発揮させるためには適合のよい義歯を作製することが必要で、義歯の維持安定および口腔粘膜の健康保持と関連して重要な課題である^{18~23)}。

義歯床用材料として広く用いられているメタクリル樹脂は重合操作中に収縮するという欠点を有しており、これが義歯床の不適合をもたらす一つの原因といわれている^{1,2)}。この点を改善するために従来よりレジンについて種々研究されているが、一方その重合時に使用する石膏模型の面から適合度を改善することも考えられる。このような観点から著者はレジン床の適合度の向上をはかるため、石膏模型の膨張がレジン床の適合度に及ぼす影響を明らかにすることを試みたものである

本研究には加熱重合性のメタクリル樹脂を用いたが、最近では常温重合性のメタクリル樹脂の实用化も試みられ¹³⁾、この方が収縮が小さく適合度も良好であると報告されている^{10, 22, 24, 25)}。しかしこの常温重合レジン¹³⁾は組織為害性があるといわれる残留モノマーを多く含んでおり、物理的性質も劣ることなどから臨床に広く使用されるまでにはいたっていない^{6, 25~27)}。このような理由から著者は現在広く用いられている加熱重合レジンを実験に使用した。

重合条件としては通常臨床に行なう範囲内において可及的寸法精度のよい試料が得られるように考慮した。すなわち重合は流注後4日以上放置して石膏を充分乾燥させた後行ない、レジンに対する水分の影響を少なくするとともに石膏の強度を増すように留意した。分離剤としては錫箔を用いた方がよいといわれているが^{4~6)}、その操作が煩雑で均一

の試料が得られたいため、アルギン酸ソーダ溶液を用いた。粉液比は操作可能な範囲でモノマーを少下くし 4.3ml/10g とした。この点について Capes⁷⁾, Peyton⁸⁾ はモノマーが少なり方が適合のよい試料が得られたと報告している。

レジン重合体の適合度を判定する方法として従来より (1) 口腔内で直接判定する方法, (2) 顎模型を用いて口腔外で判定する方法, (3) 金属によって顎の形を単純化した模型を作り, これを用いて判定する方法などが行われてきている。(1) については Woelfel²⁸⁾ が pressure-indicator-paste を用いて肉眼的に観察しており, Young²⁹⁾ は paste の代わりに石膏を用いてその厚さを計測している。この方法は臨床的に応用できる利点を有しているが条件を一定にするのが困難である。(2) については Rupp³⁰⁾ が計測用 Comparator を考案し, また Anthony³¹⁾ はこれを改良して義歯粘膜面の形態を直接計測

している。また Mainz¹⁰⁾, Woelfel ら^{31, 32)} は口蓋部における義歯床と石膏模型との間隙を直接あるいは切断して観察ないしは計測している。(3)については Grunwald ら³³⁾, Smith ら³⁴⁾, 藤井ら¹¹⁾, 中井ら^{4, 5)}, 加藤ら³⁵⁾ の報告があり、彼らは試料と原型との間隙を計測している。また原田²⁵⁾, 増原ら¹²⁾ は原型と試料との離開角度を見ることにより試料の変形を調べて適合度を判定している。

本研究において実験Ⅰで著者が用いた方法は(3)に属するもので、この方法は試料作製および計測の条件を一定にしやすく、計測も比較的容易で、かつ正確にできるという利点を有しているが、義歯の形態とかなり異なることが欠点といえる。そこで実験Ⅱにおいては(2)に属するものを採用した。著者の考案したこの方法は Mainz¹⁰⁾, Woelfel ら^{31, 32)} の方法に比べ、義歯を切断しないため繰返して計測できること、義歯が模型から離脱するおそれのないこと、必要な部位におい

て自由に切断できることなどの利点を有している。

さて実験を行なうにあたって予備実験として、まずレジンを重合後における適合度の経時的变化、および要する重合方法を用いた場合の適合度の変化について検討を加えたが、これは試料が形態的に安定する時期を把握して計測時期を決定し、各試料の計測条件を一定にするとともに、より適合度のより一定の試料を得るために行なったものである。レジン重合後における適合度の経時的变化を計測した結果、重合後3日目までは適合度がわるく、また5日目までにひずみが表われたが、これは内部応力の^解開放による~~収縮とこれにともなう~~変形が現われたためと考えられる。重合後の収縮変形について Woelfel³²⁾, Grunwald³³⁾ は模型から取外す瞬間に最も大きく現われると述べており、またその後の収縮変形については重合後10日目までに大きく現われるといわれており^{12, 24, 25, 33)}、本実験におけ

る結果と大体一致している。一オレシンは水中に保存することにより重合後10日位までに大きく収縮し、水の分子が可塑剤の役割を有するために内部応力が解放されやすくなり、収縮膨潤とともに内部応力にもとづく変形が現われるといわれている^{5, 25, 35, 36}。本実験において5日頃までは収縮変形が大きくなってきたが、その後は形態的に大体安定した傾向を示し、適合度が徐々によくなって2週には重合直後にほとんど等しい値を示したことは、おそらくこの収縮膨潤によるものと考えられる。

また重合方法については、従来より広く用いられている湿熱重合とTHERMOPRESSによる乾熱重合によって作製した試料の適合度を比較検討したが、乾熱重合による試料の方が適合度が下く、ひずみも少なかった。これは水分による影響が小さいことによるとともに、加えられた圧力が油圧式であるため最後まで持続することによる効果が大さいと思われ

る。中井ら⁵⁾は電気乾燥器を利用し、また藤井ら¹¹⁾、増原ら¹²⁾は本実験に使用したものと同型の油圧式重合装置を用いて実験を行ない、いずれも乾熱重合による方が適合度のよい試料が得られることを報告している。なお宮津ら⁹⁾は重合中の容積変化と収縮性空洞発生の関係をしらべ、急熱すると収縮は少なくなるが気泡が多くなったと報告している。本実験においてもTHERMOPRESS による重合はやはり急熱とわり、填入時期が早すぎた場合には時に気泡を認めため、予備重合を充分行ない填入時期を一定にすることにより気泡の発生を防止するように留意した。

つぎに石膏の硬化時間および石膏模型の膨張について検討を加えたが、これは使用した石膏に加える添加剤の量を定め、膨張の異なる石膏模型を作製するために行なったものである。~~石膏~~石膏がその凝結の過程で膨張し、これが補綴物の精度に影響を及ぼすことは多く論じられているところである。^{7, 15, 37)}

凝結膨張の程度は純粋な半水石膏では低混木
 性のもので大であるが、関谷¹⁴⁾は普通の歯
 科用焼石膏では約0.2% (線膨張率)前後であ
 るのに対し、硬質石膏では約0.4% (線膨張率
)位であると述べている。しかしKusner¹⁴⁾
 , Jørgensen³⁸⁾の指摘するよう膨張はその
 測定方法、すなわち膨張時に外力が加わるか
 否かに大きく影響されると考えられる。こ
 のような意味から本実験においては膨張石膏
 型を作製するにあたり、印象材によって膨張
 が抑制され変形することと可及的に防ぐとと
 もに自由に膨張させるため、離型できる硬さ
 にまで硬化した時に直ちに離型するよう留意
 した。この点についてKusner¹⁴⁾, 加藤³⁹⁾
 は凝結時間(見冊終結)までは収縮が起こり、
 その後しばらくしてから膨張が始まることと
 示しており、事実著者もこの離型時において
 はまだ膨張はほとんど認められず離型後に大
 きく現われることを観察した。

添加剤として使用したクエン酸ナトリウム

は $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の析出を妨げるため硬化時間を延長するといわれ⁴⁰⁾、本実験においても添加量の増加とともに硬化時間は延長することが認められた。一方硫酸カリウムは $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の析出を促進するため硬化時間を短縮するといわれ¹⁶⁾、本実験において添加量を増すに従って硬化時間が短縮したのは、硫酸カリウムがクエン酸ナトリウムの作用に拮抗したためと考えられる。

添加剤の量と石膏模型の膨張との関係と調べた結果、添加量の増加に従って膨張は小さくなったが、これは結晶形態に関係しているといわれ^{15, 41)}、短柱あるいは板状の大きい結晶に合ったためと考えられる。石膏の膨張をより大きくするには加水膨張させる方法⁴²⁾、石膏にケイ砂等を加える方法⁴³⁾、コロイダルシリカで練和する方法⁴⁴⁾ などがあがるが、本実験においては加水膨張を利用した。この加水膨張について Mahler⁴²⁾ は、木の表面張力によって結晶成長が抑制されるからなる凝

結膨張であると考えている。なお加水膨張を行なった場合には膨張が均等に生じないで“反り”の現象が生じることが考えられる。寺岡ら⁴³⁾はケイ砂を配合した石膏を加水膨張させた場合において5%以上の線膨張率を測定しているが、さらに膨張が大きくなった場合には“反り”のため測定不能であったと報告している。しかし本実験においては“反り”はほとんど認められなかった。これは膨張が小さいこと、および模型自体が小さいこととともに模型全体を水中に浸漬し、均一に水和が行われるよう留意したためであると考えられる。

さて以上の予備実験にもとづいて石膏模型の膨張と試料の適合度との関係を検討したが、まず山型模型を用いた実験工において、 R_1 より R_2 , R_3 , R_4 と石膏模型を大きくするにつれて試料の適合度はよくなり、 R_4 では R_1 の約 $\frac{1}{4}$ の間隙を示したにすぎなかった。これは試料の収縮が石膏模型の膨張によつて補われ

たためと考えられる。C部とbd部, およびbd部とae部における値を比較した結果が示すように、石膏模型の膨張を大きくするに従ってC部, ae部に対してbd部の値が大きくなったことは、膨張を大きくするに従って試料自体が大きくなったためと考えられる。したがって石膏模型を過度に膨張させた場合には得られた試料自体が大きくなりすぎ、R₇に見るようになつて適合度がわるくなったと考えられる。また試料が原型に接する部位を観察した結果、R₆においては8例中7例が、R₇においては8例すべてが両側突起部の内側で接したが、これも試料自体が大きくなりすぎたことによると考えられる。

つぎに顎模型を用いた実験においても山型模型の場合と同様、石膏模型の膨張は試料の適合度に明らかに影響を及ぼし、約0.34%膨張させた場合に最も適合度の良好な試料が得られた。これもやはり石膏模型の膨張によつてレシンの収縮が補正されたためと考えら

小る。特に口蓋後方部において適合度が著しく改善されたことは義歯の維持の面から見て重要な意味を持つと考えられる。すなわち口蓋床縁部における床縁封鎖は義歯の維持を得るために必要であり、Skinnerら¹⁸⁾は実験的に後堤法 (post-damming) による床縁封鎖が維持を増すのに有効であると報告している。また義歯の維持安定を増すためにも、口腔粘膜を保護するためにも、義歯床は粘膜に均等に接することが必要である^{18~23)}。この点からみても D_4 は D_1 よりも比較的均等な間隙を示し、より望ましい形態であるといえよう。また D_7 は D_4 に比べ床縁封鎖がゆるくなる傾向を示したが、これは維持力を低下させることになると考えられる。なお D_4 は D_1 の約1/2の間隙を示したが、実験Iにおいては R_4 は R_1 の約1/4の間隙であった。これは計測方法が異なることによるとともに、義歯の異なる複雑な形態ではレジンの厚さが部位により異なること、陶歯を含むことなどによって変

形が生じたためと考えられる。しかし、収縮とこれに伴う変形とを分離することは困難であり、本研究においては適合度としての観点から計測を行なったものである。

山型模型および顎模型による実験の結果、重合用石膏模型の膨張は試料の適合度に明らか影響を及ぼしたが、加熱重合時における型材自体の熱膨張が試料の適合度に影響を及ぼすことも考えられる。しかしレジンの熱膨張係数が $8.1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ であるのに対し、石膏硬化体のそれは $0^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ においては $2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ と小さく、また約 60°C 以上の高い温度では徐々に脱水が起こるため収縮すること¹⁵⁾、さらに重合にあたってはフラスコおよびこれに加ゆる圧力によって石膏の膨張が抑制されることなどのため、石膏模型の熱膨張による試料への影響は小さいと考えられる。

レジシ床について石膏模型の膨張と適合度の関係を追求した研究報告はほとんどなく、従来膨張の小さい石膏による正確な模型を用

いるべきであるといわれているにすぎない¹⁾
³⁸⁾。 ~~Forgensen³⁸⁾ は義歯に最大0.7mmの誤差が許されるときは、石膏の膨張は0.2%以下でなくてはならないと述べている。また鑄造物を対象とした石膏模型についても Skinner¹⁾ の述べているように、正確な模型を使うべきであるとする報告が多い。こういふ意味で現在では膨張の小さい石膏が市販され広く用いられている。たとえばその製品表示による凝結膨張率は GLASTONE (The Ranson & Randolph Co., U.S.A.) では0.05%~0.09%、VEL MIX STONE (Kerr Manufacturing Co., U.S.A.) では0.04%~0.08%、SURSTONE (而至化学工業株式会社) および DENSITE (松風陶歯製造株式会社) では0.06%である。~~

しかし本研究における模型実験においては原型に等しい大きさの石膏模型を用いるよりも、適度に膨張させた石膏模型を用いて重合を行なった方が適合度の良好な重合試料が得られるという興味ある結果を得た。

総括および結論

本研究は、石膏模型の膨張がレジン床の適合度に及ぼす影響を明らかにすることとを目的とし、原型より膨張させた石膏模型を用いて重合を行なった場合の重合試料の原型に対する適合度について検討を加えたものである。

予備実験を行ない試料の計測時期と重合方法を定め、さらに膨張の異なる石膏模型を作製するための条件を定めた後、つぎの実験を行なった。

まず上顎臼歯部前頭断面を想定した山型模型を原型として膨張の異なる7種の石膏模型を作製し、これらを用いて作製した重合試料の原型に対する適合度を比較検討した。

さらにこれをより臨床に近い形で観察するため、上顎無歯顎模型を原型として膨張の異なる3種の石膏模型を作製し、これらを用い

て作製したレジン床義歯の原型に対する適合度を比較検討した。

実験結果を要約すると次のようである。

1) 石膏模型の膨張は重合試料の原型に対する適合度に明らかに影響を及ぼした。

2) 山型模型を用いた実験においては、原型より約0.33%ないし0.41%膨張させた石膏模型を用いて作製した重合試料の適合度が最も良好となり、膨張をこれより小さく、あるいは大きくするに従って適合度はゆるくなる傾向を示した。

3) 顎模型を用いた実験においても、約0.34%膨張させた石膏模型を用いた場合には適合度は良好となり、約0.03%、0.64%の膨張を示す石膏模型を用いた場合には適合度がゆるくなる傾向を示した。

以上の模型実験における結果より、加熱重合レジンを用いる場合、石膏模型の膨張は重合試料の原型に対する適合度に明らかに影響を及ぼし、適度に膨張させた場合には適合度

のよい試料が得られることが明らかになつた。
このことは臨床においてレジン床義歯を
作製する場合においても、適度に膨張させた
石膏模型を用いることによつて、その適合度
を向上させ得ることを示唆するものである。

- 1) Skinner, E. W. and Phillips, R. W. (1967) : The Science of dental materials. ed. 6, W. B. Saunders co., Philadelphia and London, 51-80, 155-236.
- 2) Skinner, E. W. and Cooper, E. N. (1943) : Physical properties of denture resins : part 1. curing shrinkage and water sorption. J. Amer. Dent. Ass. 30, 1845-1852.
- 3) Schroeder, A. (1953) : Die Eignung der Methakrylate als Prothesenstoffe im Lichte neuer Untersuchungen. Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 63, 961-971.
- 4) 中井宏之, 東口茂治, 辻合和雄, 柳谷良三 (1965) : 義歯床作製時の諸条件がその再現性に及ぼす影響について(その1). 歯材審誌 12. 43-51, 昭和40.
- 5) 中井宏之, 辻合和雄, 柳谷良三, 植平滋太 (1967) : 義歯床作製時の諸条件がその再現性に及ぼす影響について(その2). 歯材審誌 16. 239-250, 昭和42.
- 6) Fairhurst, C. W. and Ryge, G. (1955) : Effect of tin-foil substitutes on the strength of denture-base

resins. J. Prosth. Dent. 5, 508-513.

7) Capes, D. E. (1964) : Polymer-monomer ratios. Dent. Tech. 17-8, 68-71.

8) Peyton, F. A. (1950) : Packing and processing denture base resins. J. Amer. Dent. Ass. 40, 520-528.

9) 宮津一, 藤田寿忠男, 下村晃 (1953) : 加熱重合樹脂並びに常温即時重合樹脂の重合経過中に於ける容積変化と収縮性空洞発生の関係. 歯科医学16. 9-22, 昭和28.

10) Mainz, H. M. (1960) : Zur Polymerisationsproblematik dentaler Methakrylate. zahnärztl. welt/Reform 61, 747-751.

11) 藤井正道, 堀部隆, 菊池寛 (1968) : 加熱重合法と義歯床用レシンの性質. 歯材審誌17. 28-34, 昭和43.

12) 増原英一, 原田義雄 (1964) : 義歯床用メタクリル樹脂の新乾熱重合法. 歯理工誌5. 116-120, 昭和39.

13) 河合庄治郎, 野首孝祠 (1970) : 注入型レジンによる補綴について. 歯科時報24-10.

12-19, 昭和45.

- 14) 関谷道雄(1957): 歯科用硬質石膏. 歯界展望14. 1087-1094, 昭和32.
- 15) 関谷道雄(1965): 石膏. 技報堂, 東京, 214-227, 昭和40.
- 16) 山田保(1967): 半水石膏凝結の遅緩および促進作用について. 石膏と石灰91. 13-18, 昭和42.
- 17) Kusner, W. (1968): Final expansion of plaster. J. Dent. Res. 47, 694-698.
- 18) Skinner, E.W. and chung, P. (1951): The effect of surface contact in the retention of a Denture. J. Prosth. Dent. 1, 229-235.
- 19) Skinner, E. W., Campbell, R. L. and chung, P. (1953): A clinical study of the forces required to dislodge maxillary denture bases of various designs. J. Amer. Dent. Ass. 47, 671-680.
- 20) Lytle, R. B. (1959): Complete denture construction based on a study of the deformation of the underlying soft tissues. J. Prosth. Dent. 9, 539-551.

- 21) Craig, R. G., Berry, G. C. and Peyton, F. A. (1960) : Physical factors related to denture retention. J. prosth. Dent. 10, 459-467.
- 22) Anthony, D. H. and Peyton, F. A. (1962) : Dimensional accuracy of various denture-base materials. J. prosth. Dent. 12, 67-81.
- 23) Lott, F. and Livin, B. (1966) : Flange technique : an anatomic and physiologic approach to increased retention, function, comfort, and appearance of dentures. J. prosth. Dent. 16, 394-413.
- 24) Skinner, E. W. and Jones, P. M. (1955) : Dimensional stability of self-curing denture base acrylic resin. J. Amer. Dent. Ass. 51, 426-431.
- 25) 原田義雄(1965) : 義齒床用常温重合樹脂に関する研究. 口病誌 32. 291-312, 昭和40.
- 26) Lyon, F. F. (1969) : Flow patterns of some denture base materials. Brit. Dent. J. 126, 266-268.
- 27) Kelly, E. (1969) : Fatigue failure in denture base polymers. J. Prosth. Dent. 21, 257-266.
- 28) Woelfel, J. B. and paffenbarger, G. C. (1965) :

Pressure-indicator-paste patterns in duplicate dentures made by different processing techniques for the same patients, J. Amer. Dent. Ass. 70, 339-343.

29) Young, J. M. (1970) : A study of the accuracy of the apposition of paratal tissues to complete dentures. J. Prosth. Dent. 23, 136-147.

30) Rupp, N. W., Dickson, G., Lawson, M. E. and Sweeney, W. T. (1957) : A method for measuring the mucosal surface contours of impressions, casts and dentures. J. Amer. Dent. Ass. 54, 24-32.

31) Woelfel, J. B., Paffenbarger, G. C. and Sweeney, W. T. (1962) : Dimensional changes in complete dentures on drying, wetting and heating in water. J. Amer. Dent. Ass. 65, 495-505.

32) Woelfel, J. B., Paffenbarger, G. C. and Sweeney, W. T. (1960) : Dimensional changes occurring in dentures during processing. J. Amer. Dent. Ass. 61, 413-430.

33) Grunwald, A. H., Paffenbarger, G. C. and Dickson, G. (1952) : The effect of molding processes on some properties of denture resins. J. Amer. Dent. Ass. 44, 269-

284.

- 34) Smith, D. E., Lord, J.L. and Bolender, C. L. (1967) :
Complete denture relines with autopolymerizing acrylic
resin processed in water under air pressure. J. Prosth.
Dent. 18, 103-115.

35) 加藤仁郎, 西井正道, 上谷逸郎, 平井博,
橋本弘一 (1968) : 各種ヒートショック型床
用樹脂の比較検討. 齒材春誌17. 51-60,
昭和43.

- 36) Smith, D. L. and Schoonover, I. C. (1953) : Direct filling
resins : dimensional changes resulting from polymeri-
zation shrinkage and water sorption. J. Amer. Dent. Ass.
46, 540-544.

37) 吉田恵夫 (1957) : 金属原型による弾性印象
材の精度試験について. 齒界展望14. 1140
- 1149, 昭和32.

- 38) Jørgensen, K. D. (1954) : Investigation on the expansion
properties of some dental model plasters. Acta odontol.
Scand. 12, 24-38.

39) 加藤一雄 (1957) : 模型材料について — 石

膏の組織および製法と製品の性質 — . 齒
界展望 14. 455 - 463, 昭和32.

- 40) 伊藤集悌, 寺岡一郎, 吉浜誠一郎 (1952):
諸物質の焼石膏の水和凝結時容積変化に及
ぼす影響. 石膏と石灰 6. 10 - 15, 昭和27.
- 41) Jørgensen, K. D. and Posner, A. S. (1959): Study of the
setting of plaster. J. Dent. Res. 38, 491-499.
- 42) Mahler, D. B. and Ady, A. B. (1960): An explanation
for the hygroscopic setting expansion of dental gypsum
products. J. Dent. Res. 39, 578-589.
- 43) 寺岡一郎, 伊藤集悌, 加納二郎 (1961): 加
水法による膨張セッコウ型の研究. 石膏と
石灰 52. 123 - 133, 昭和36.
- 44) 西村文夫 (1962): コロイダルシリカで練和
した石膏について. 齒材叢誌 8. 37-46,
昭和37.

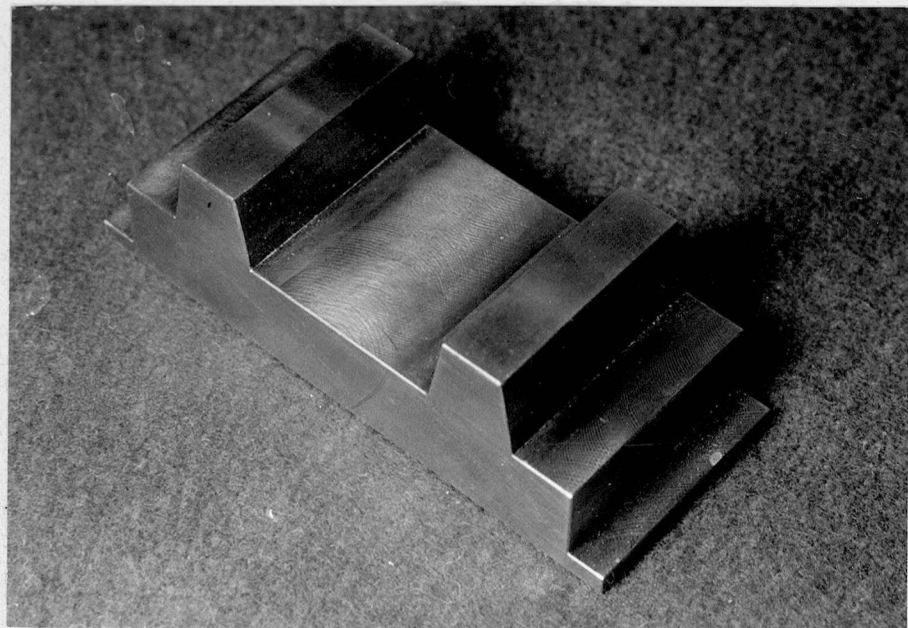


圖 1. 金屬模型

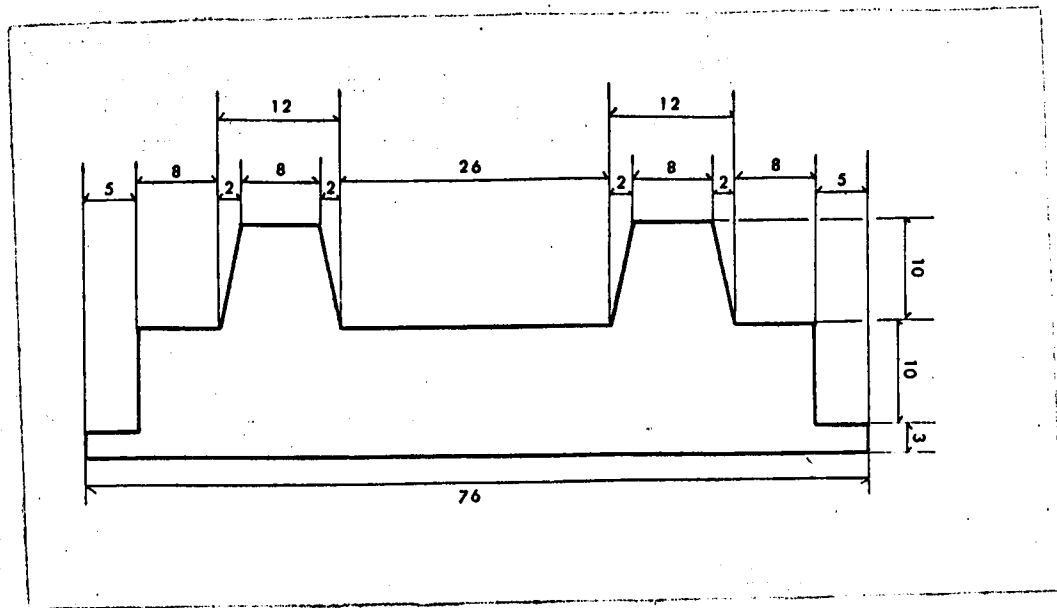


図2. 金属模型の寸法 (mm)

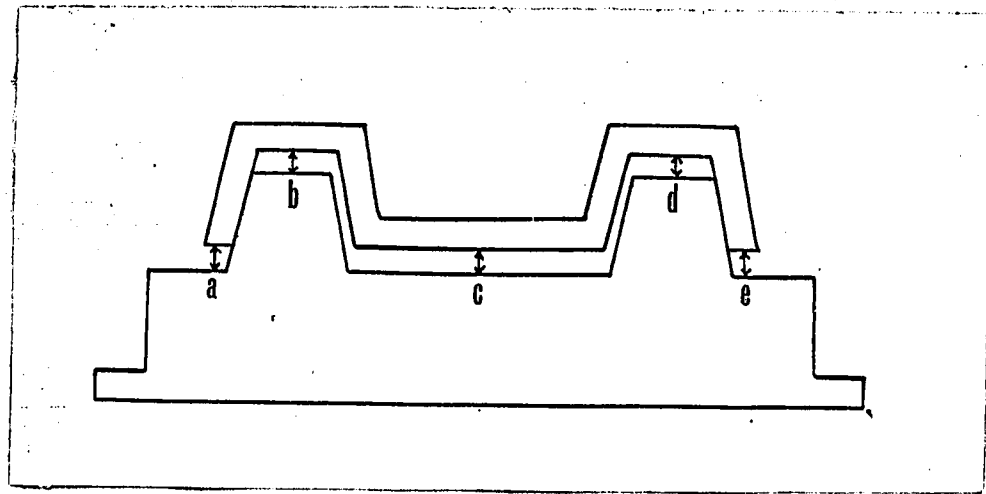


圖3. 計測部位

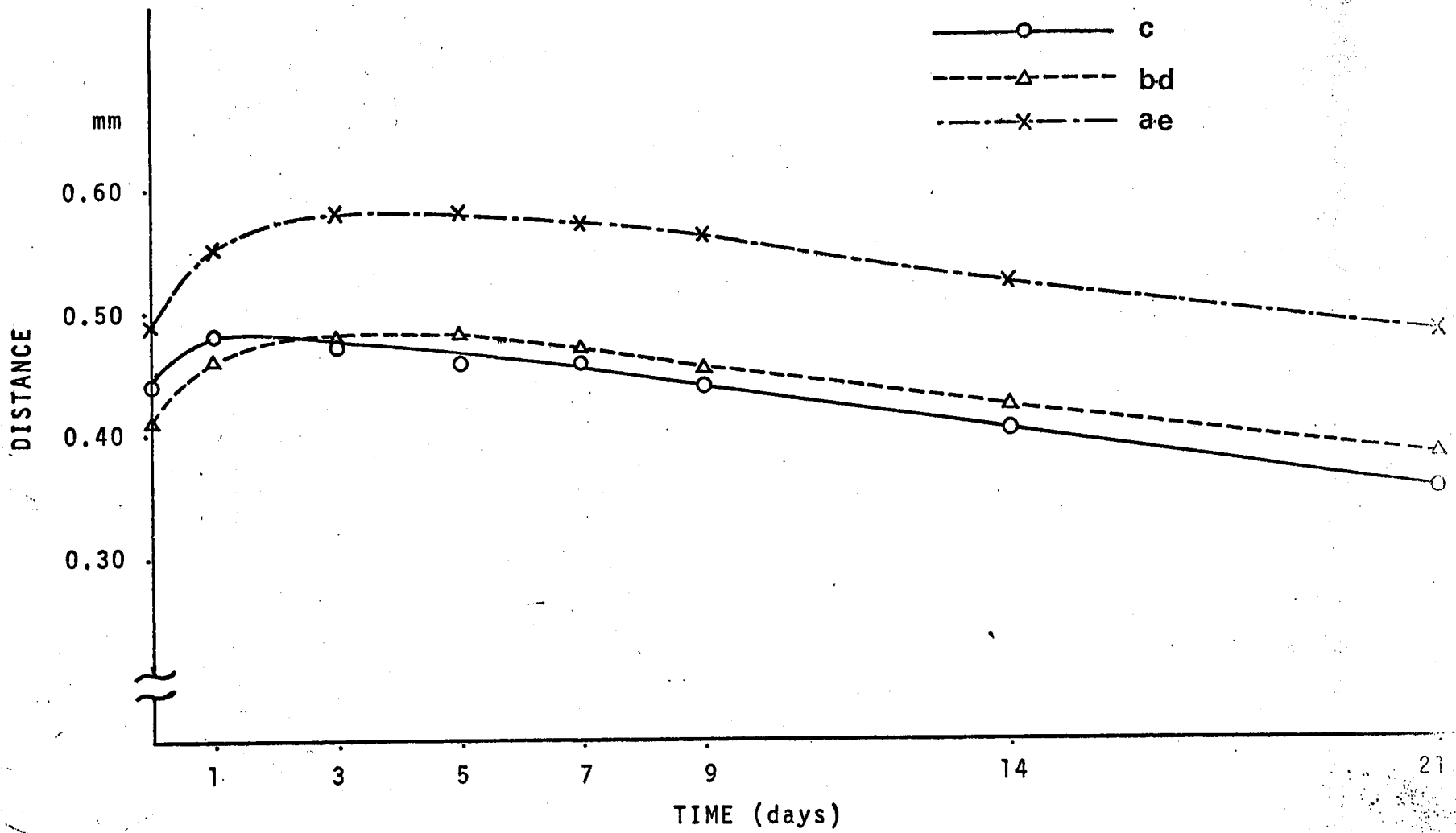


図4. 重合後の経時的変化

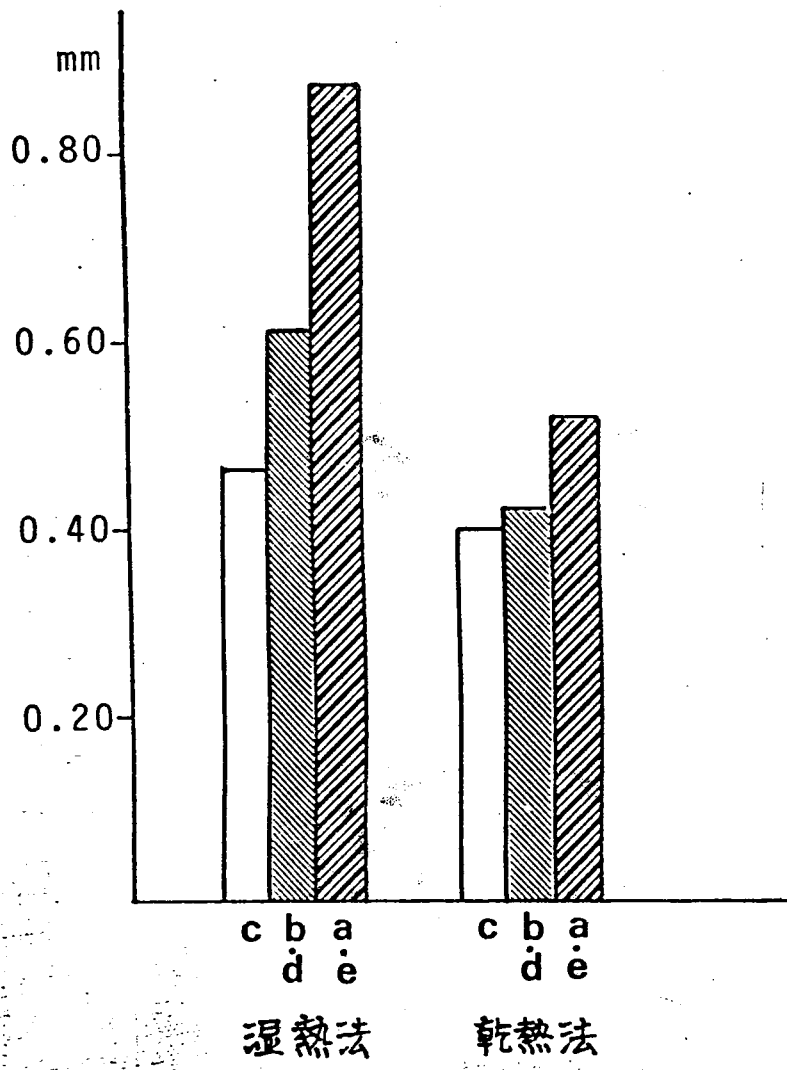


図5 湿熱重合と乾熱重合の比較
(重合後14日)

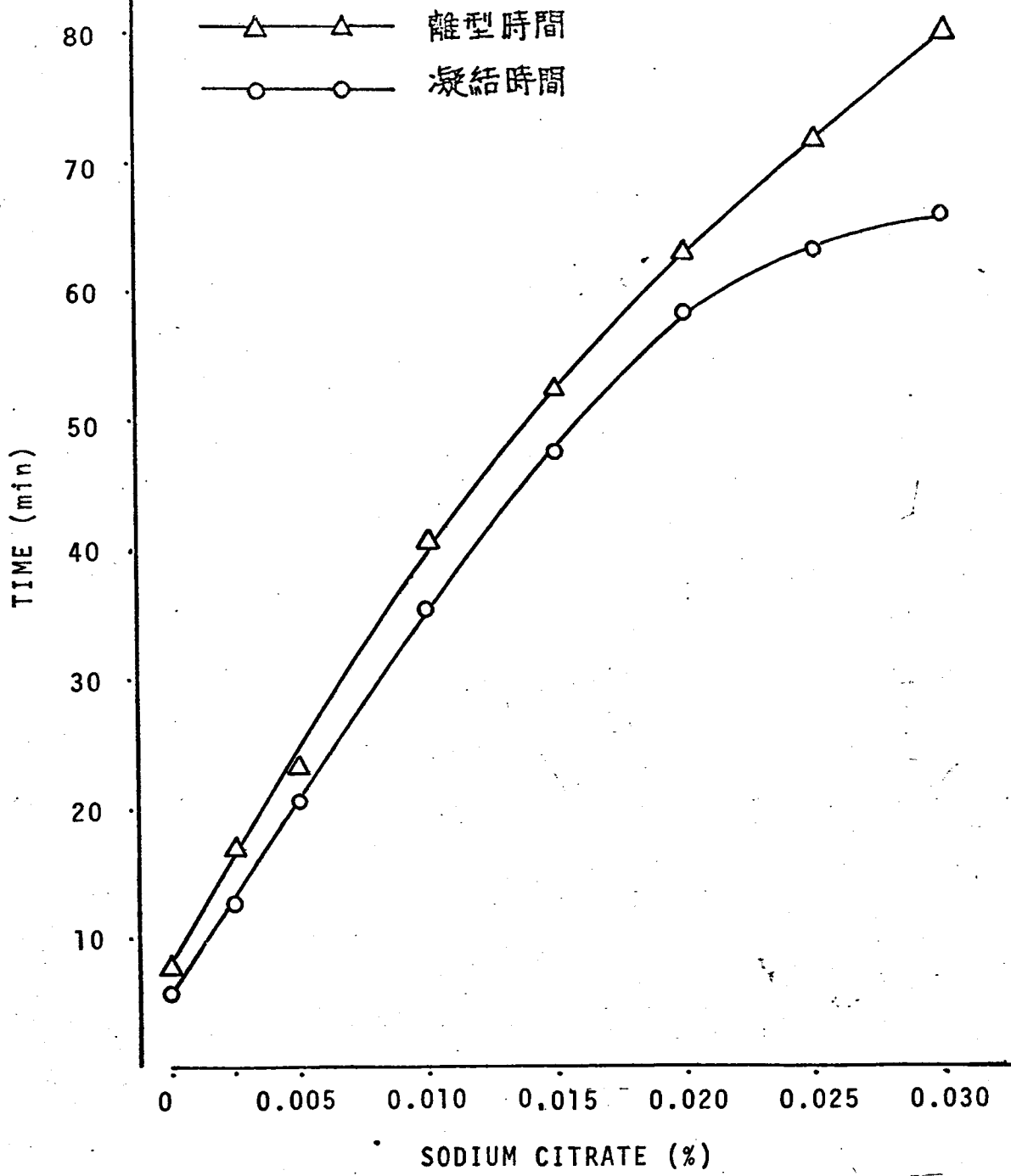


図6. SODIUM CITRATEによる硬化遅延効果

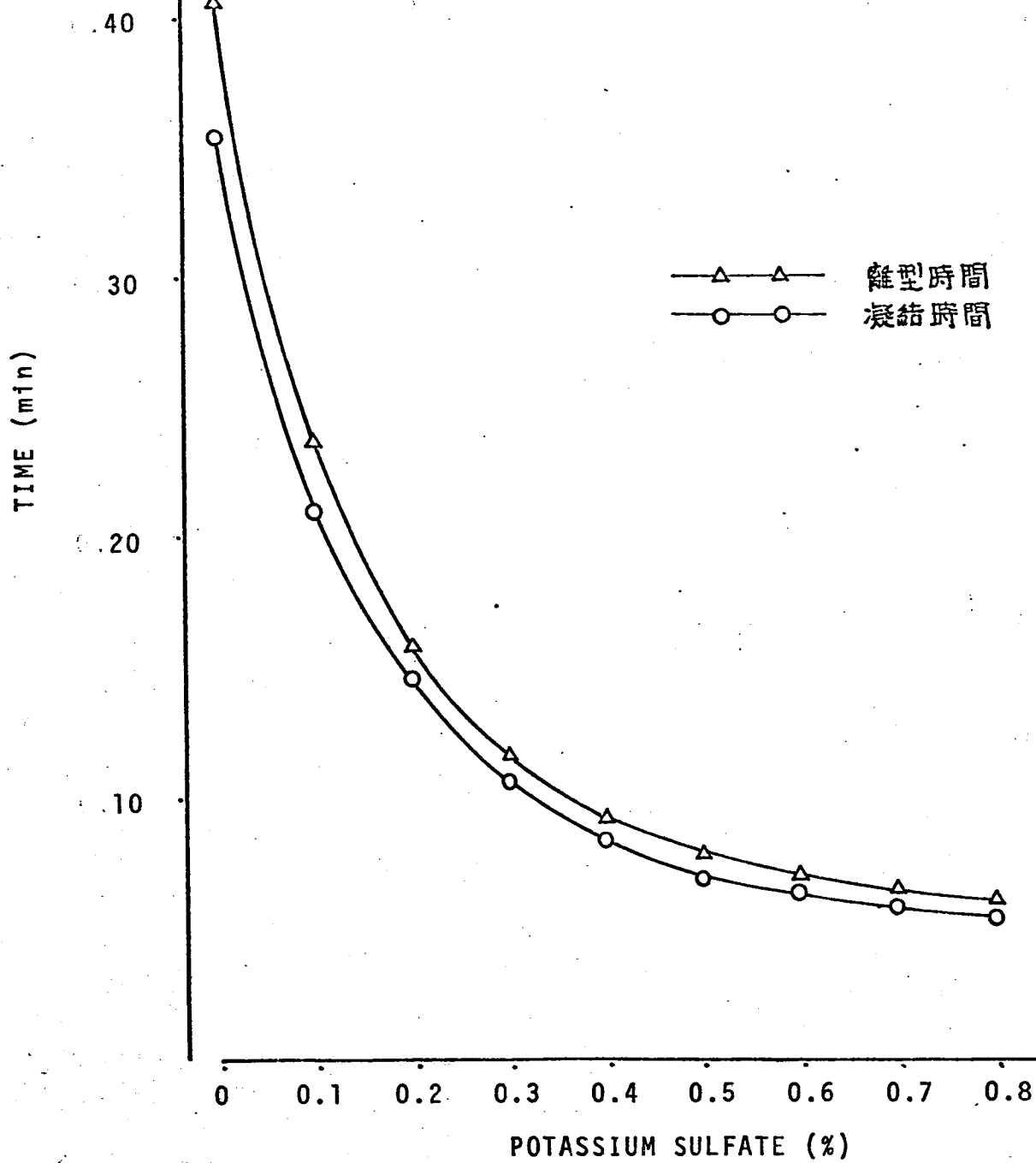


図7. POTASSIUM SULFATE による硬化促進効果

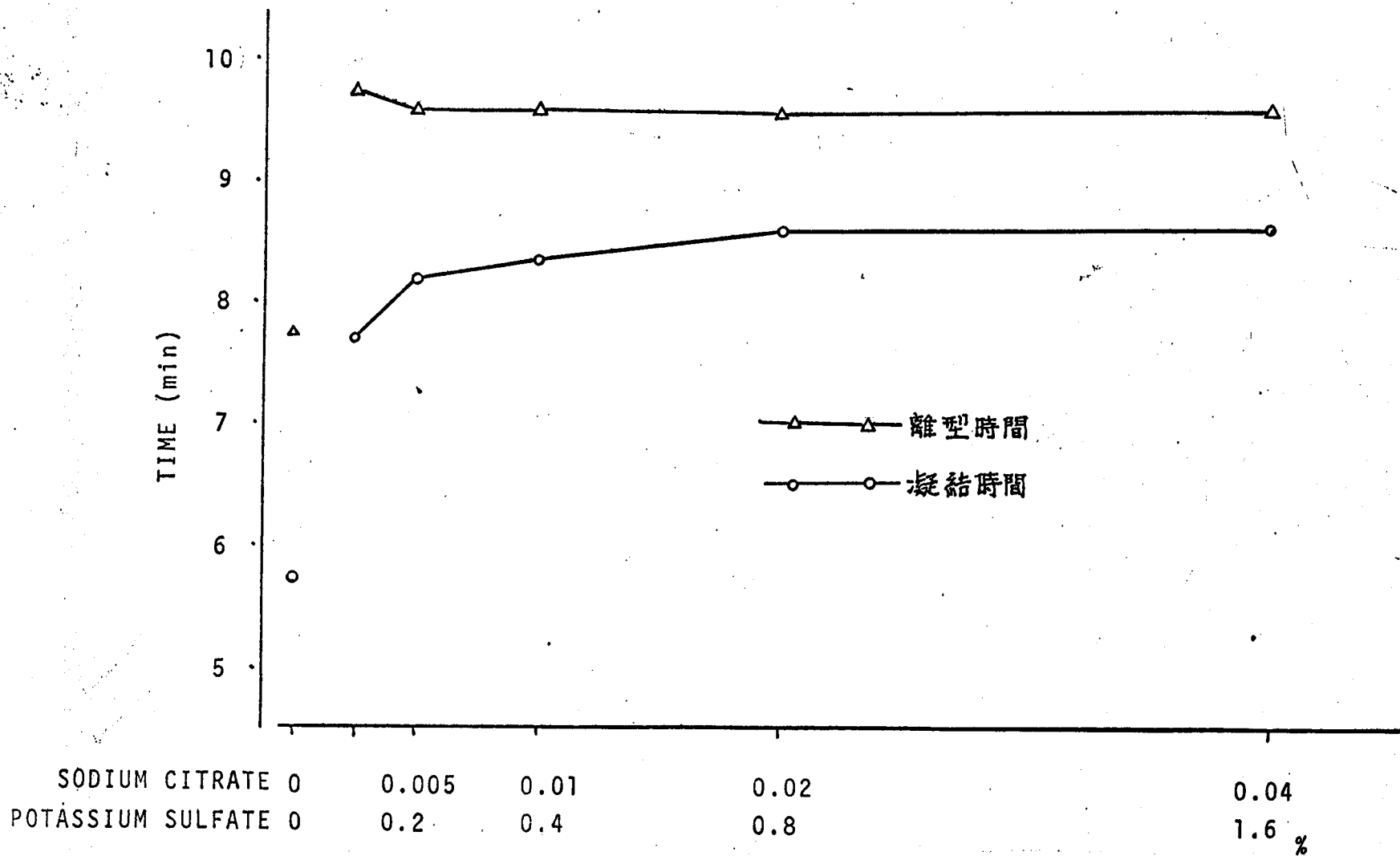


図 8. 添加剤の量と硬化時間

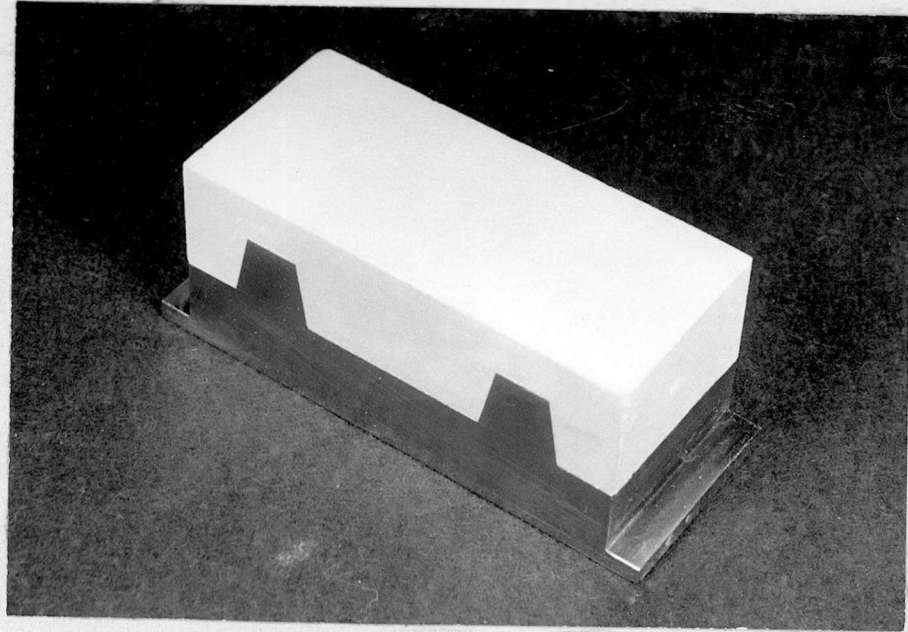
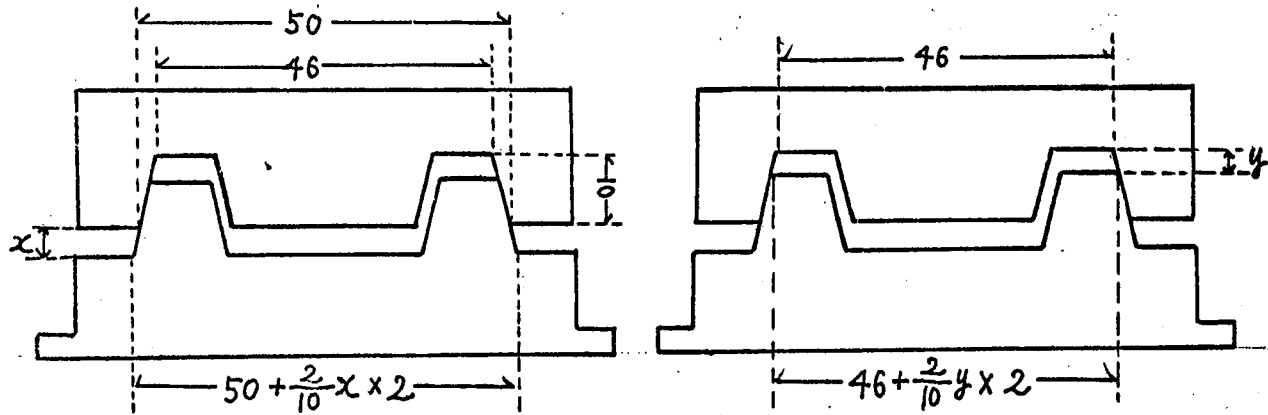


図 9. 原型及びその陰型



$$\frac{(50 + \frac{2}{10}x \times 2) - 50}{50} \times 100 (\%) \quad \frac{(46 + \frac{2}{10}y \times 2) - 46}{46} \times 100 (\%)$$

図 10. 石膏模型の膨張の計算方法

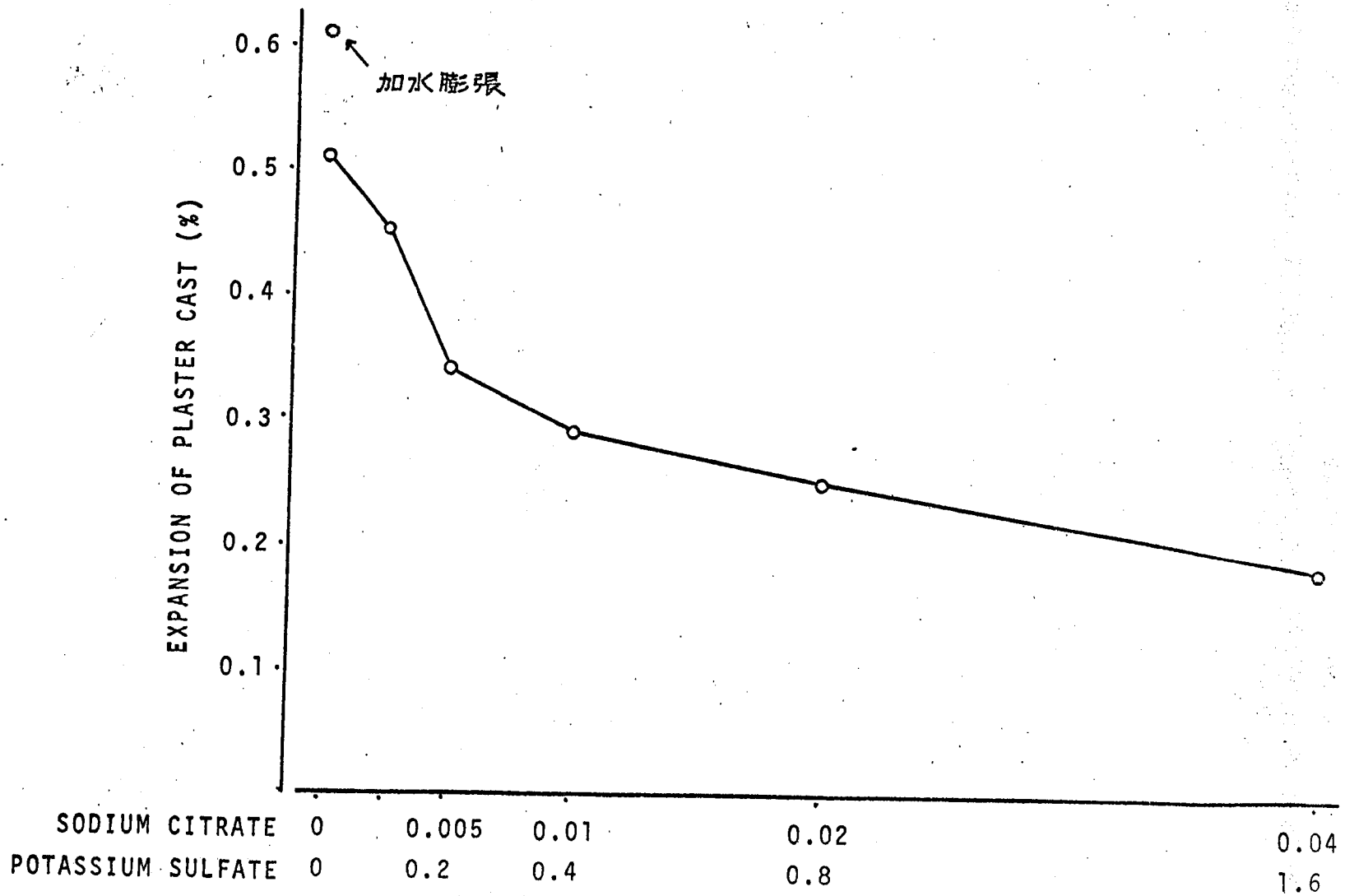


図 11 . 添加剤の量と石膏模型の膨脹

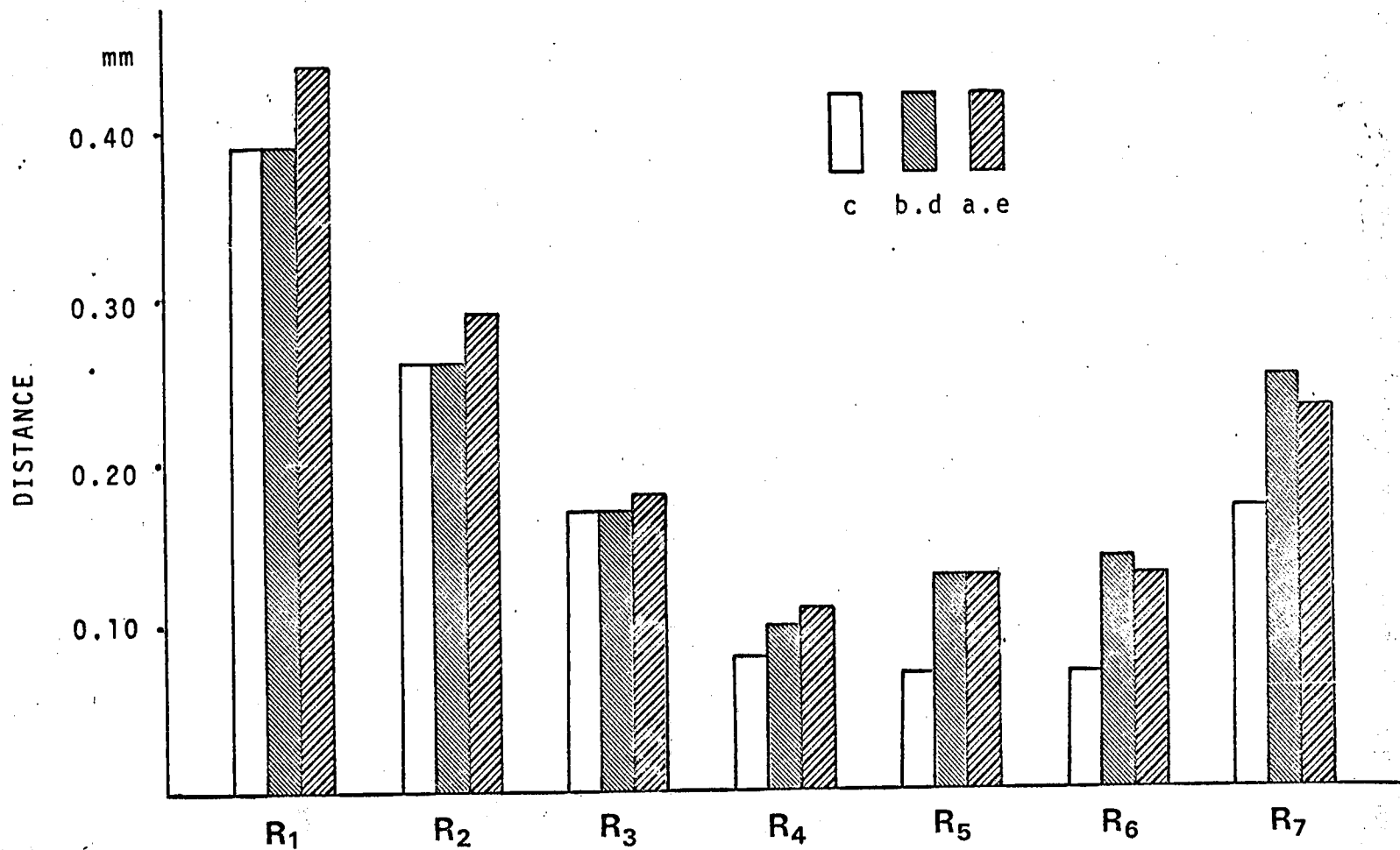


図12. 金属模型に対する試料の適合状態

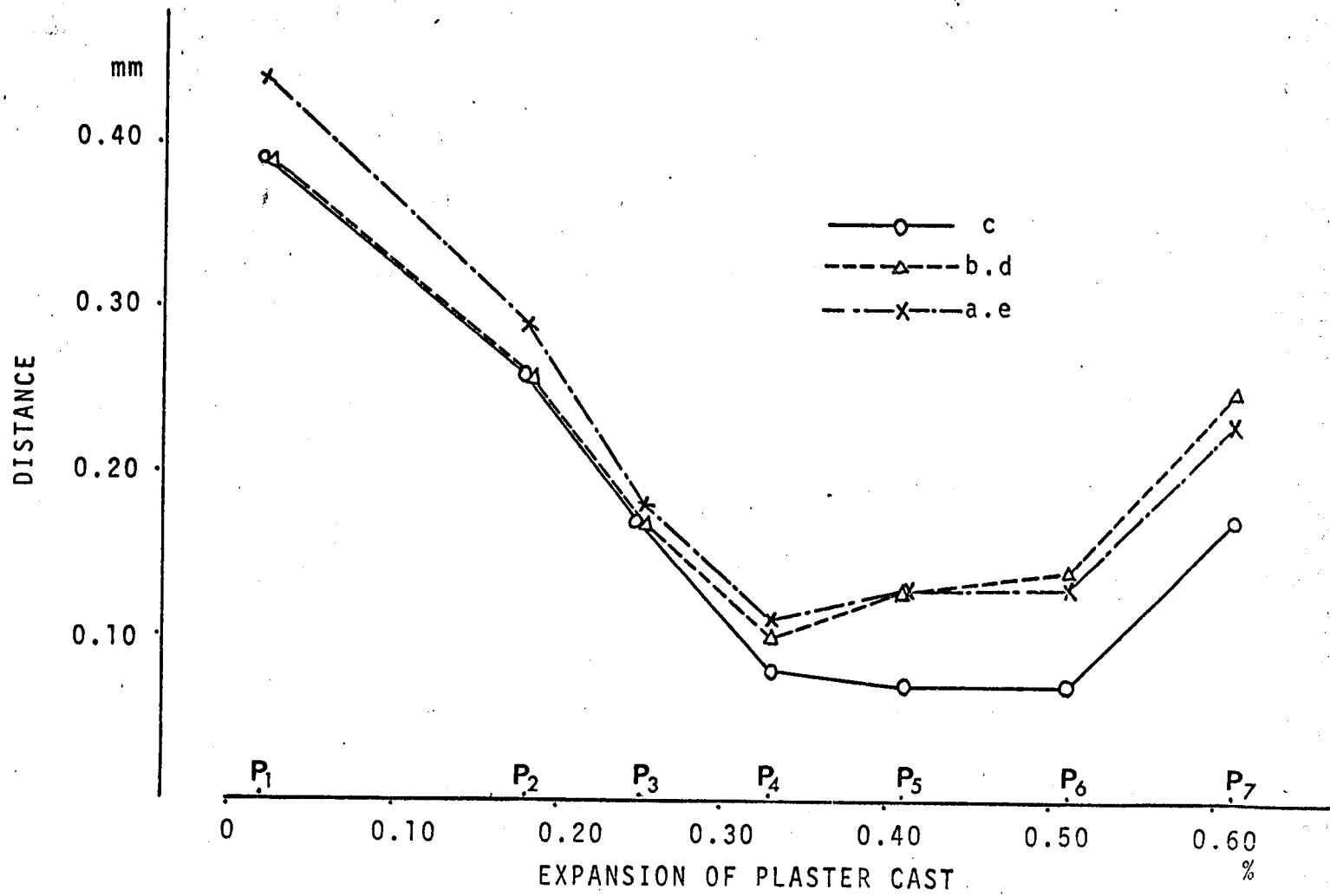
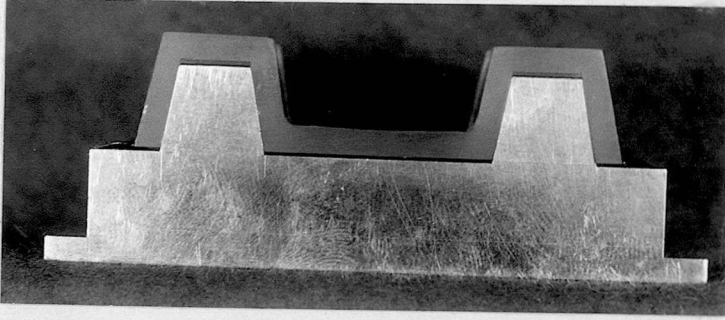
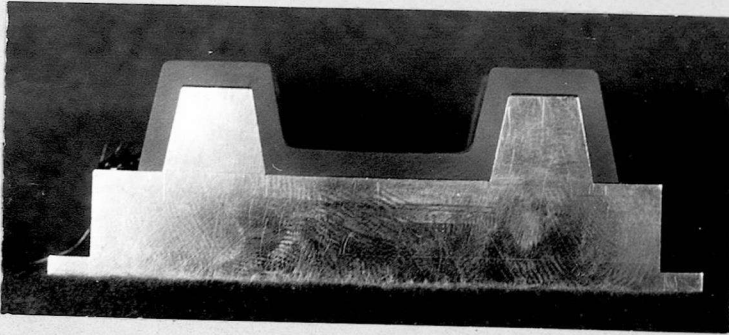


図13. 石膏模型の膨張と試料の適合状態

R₁



R₄



R₇

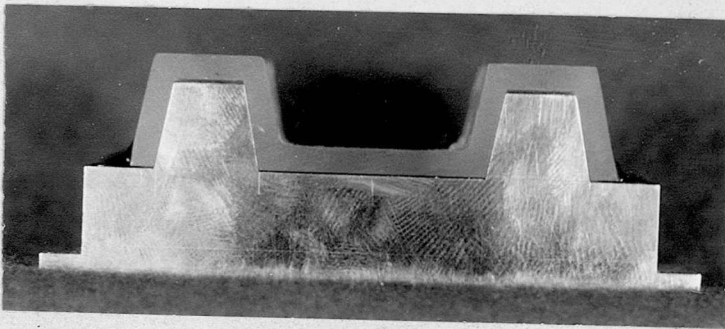


図14. R₁, R₄, R₇の原型に対する適合状態.

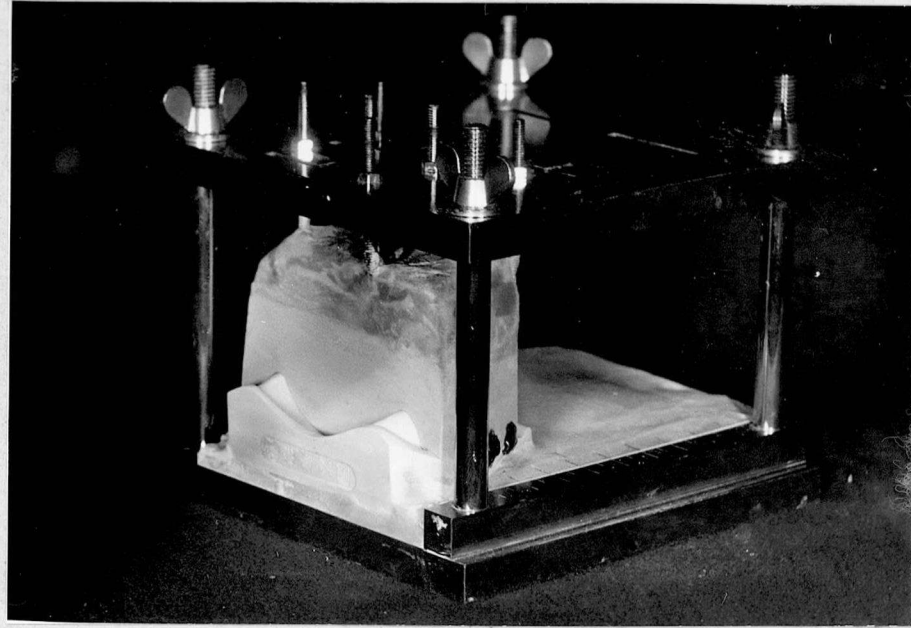


圖15. 模型位置規格裝置

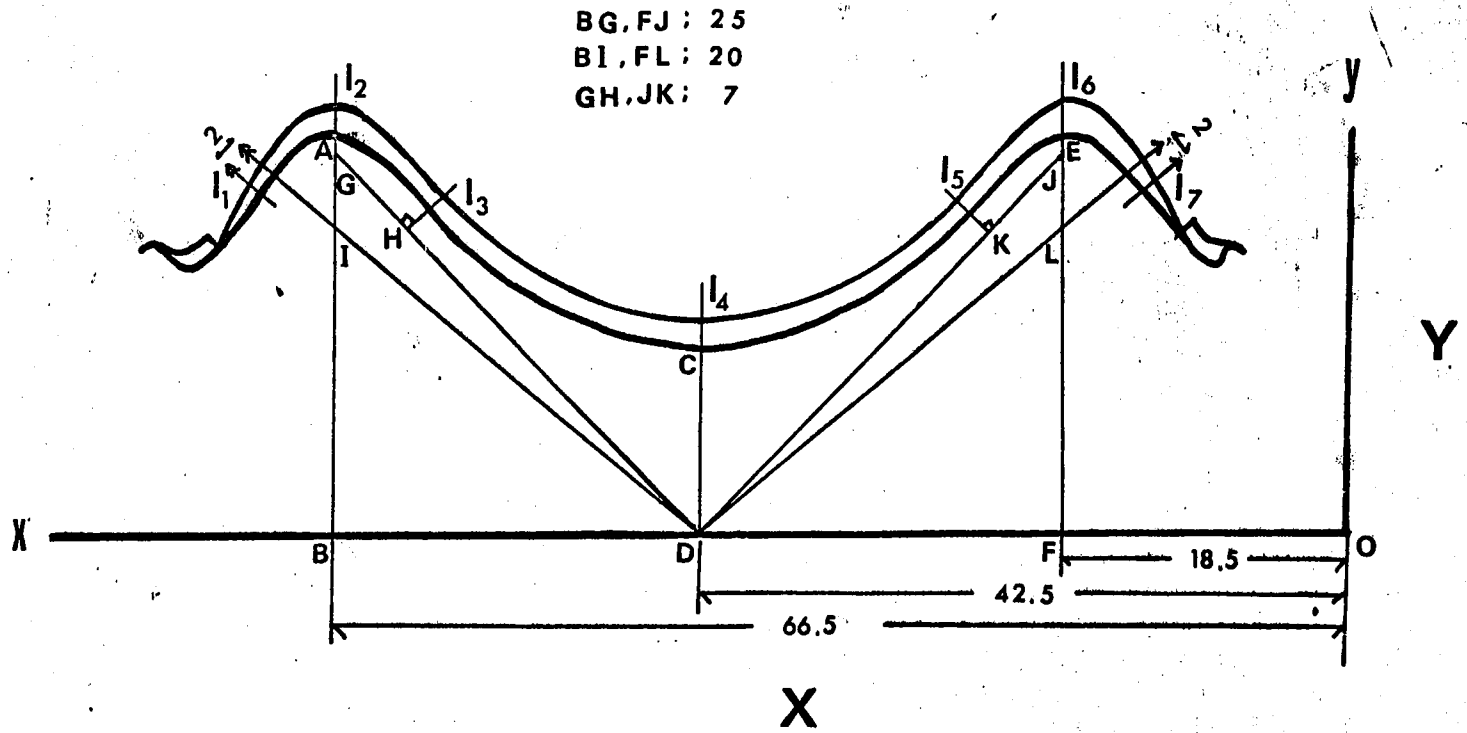


圖16. 計測部位(前頭断面) 單位 mm

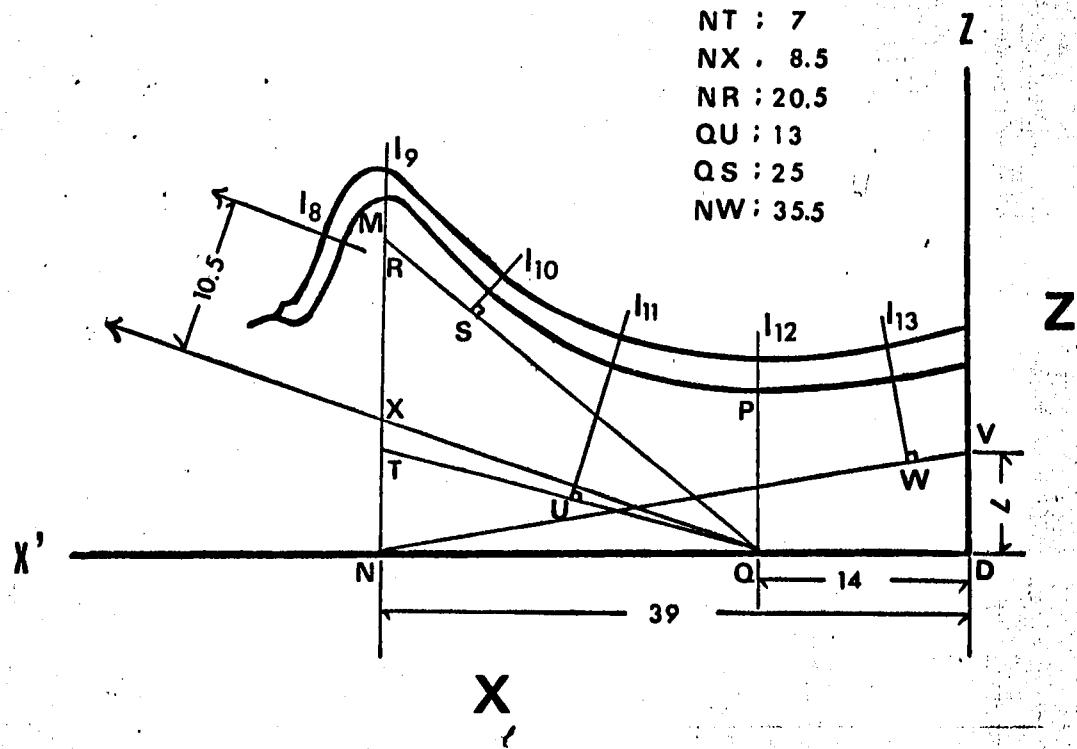


圖 17. 計測部位 (矢状断面)

單位 mm

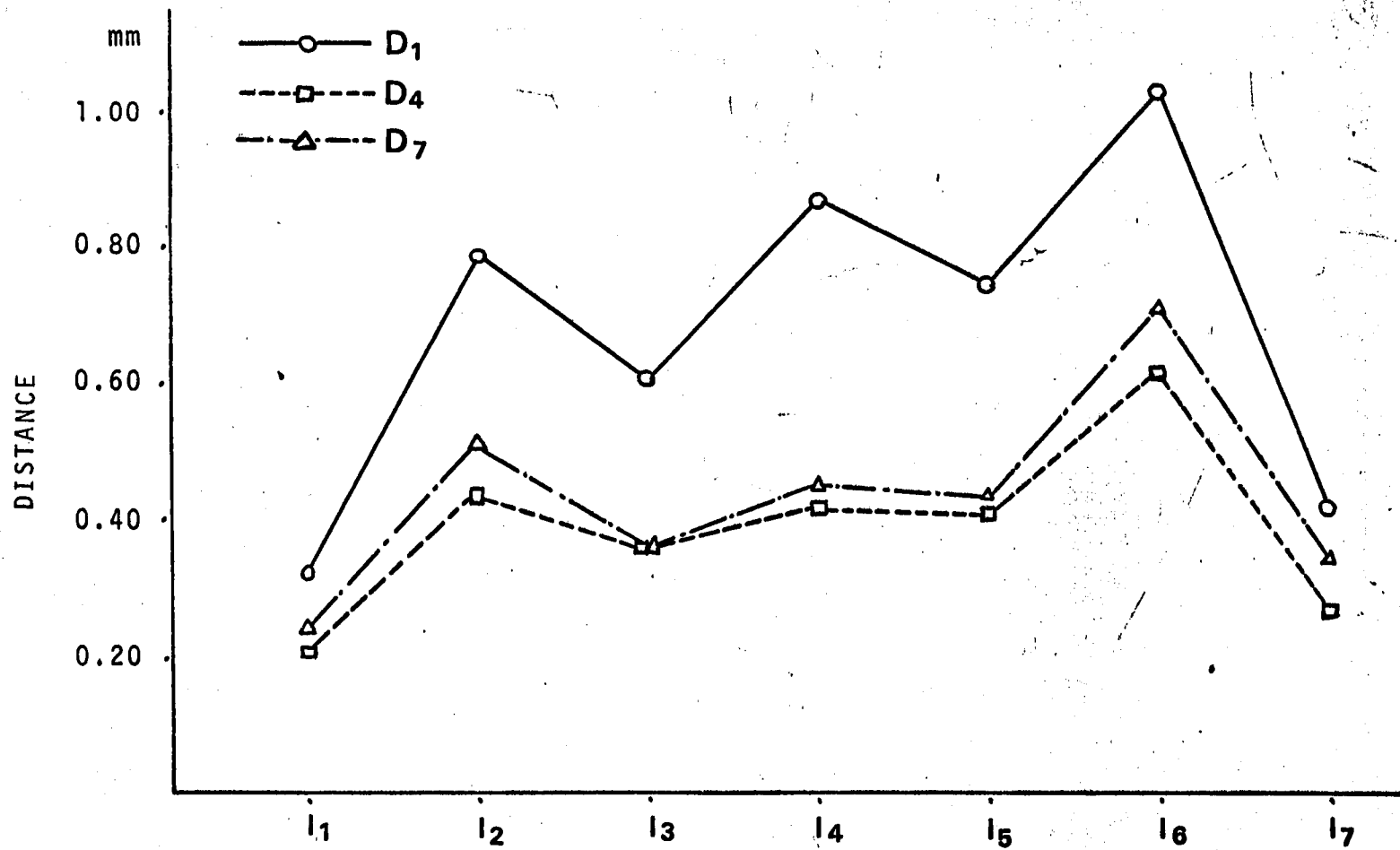


図18. 前頭断面における間隙

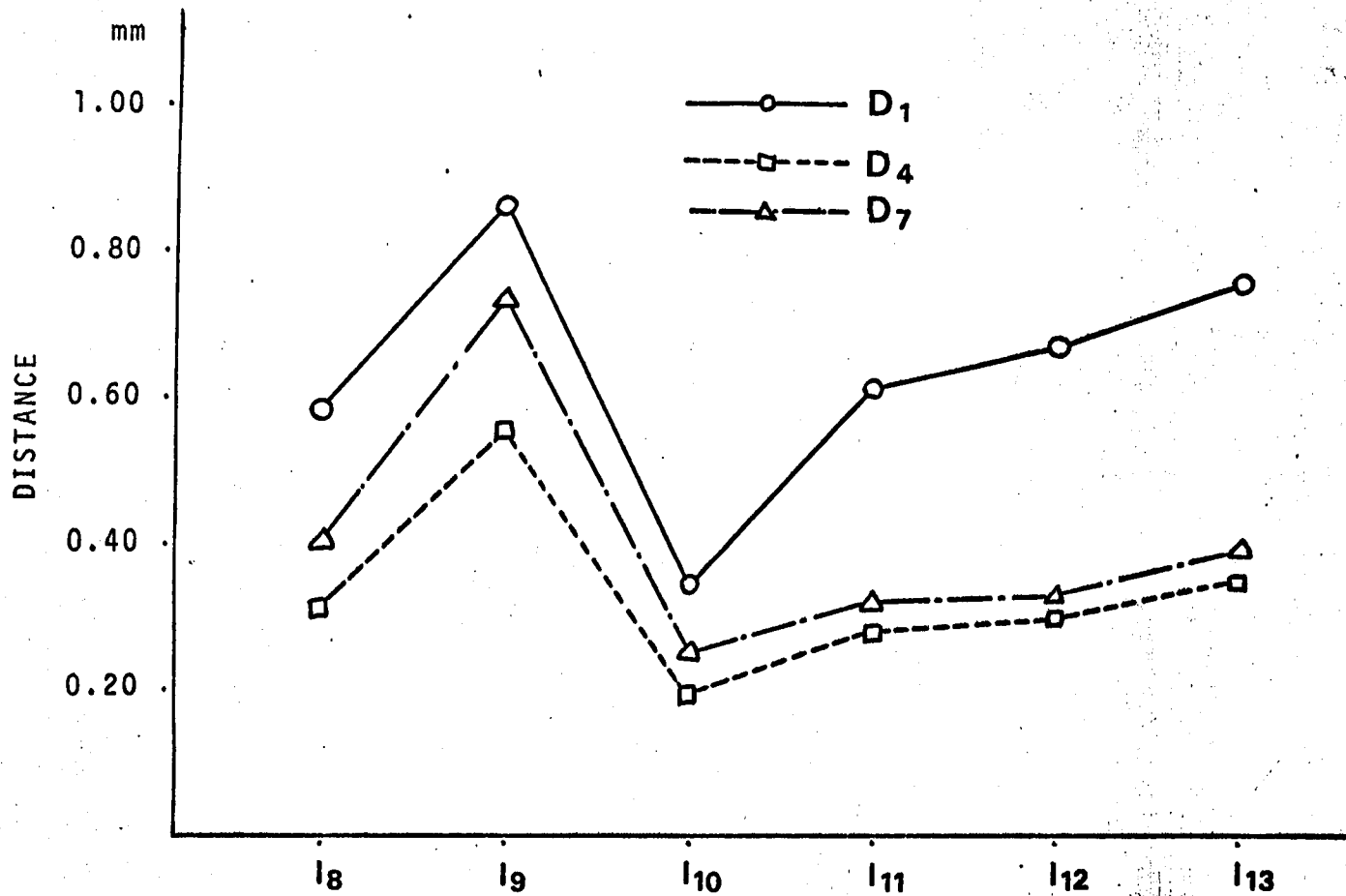


図19. 矢状断面における間隙

単位 mm

部位	c	b·d	a·e
直後	0.44 (0.01)	0.41 (0.01)	0.49 (0.01)
1 日	0.48 (0.01)	0.46 (0.01)	0.55 (0.02)
3 日	0.47 (0.01)	0.48 (0.01)	0.58 (0.01)
5 日	0.46 (0.01)	0.48 (0.01)	0.58 (0.02)
7 日	0.46 (0.01)	0.47 (0.01)	0.57 (0.02)
9 日	0.44 (0.01)	0.45 (0.01)	0.56 (0.02)
14 日	0.40 (0.01)	0.42 (0.01)	0.52 (0.02)
21 日	0.35 (0.01)	0.38 (0.01)	0.48 (0.02)

表 1. 重合後の経時的変化

単位 mm

	湿熱法	乾熱法
c	0.46 (0.03)	0.40 (0.01)
b.d	0.61 (0.04)	0.42 (0.01)
a.e	0.87 (0.05)	0.52 (0.02)

表2. 湿熱重合と乾熱重合の比較(重合後14日)

	使用石膏	混水量 (ml/100g)	添加剤(石膏100に対し)		離型時間 (min)	平均膨張率 (%)	その他
			クエン酸ナトリウム	硫酸カリウム			
P ₁	市販超硬石膏	23	無		60	0.02	
P ₂	硬復石膏	32	0.0400	1.6000	平均9.6	0.18	
P ₃	〃	〃	0.0200	0.8000	平均9.6	0.25	
P ₄	〃	〃	0.0050	0.2000	平均9.6	0.33	
P ₅	〃	〃	0.0035	0.1400	平均9.7	0.41	
P ₆	〃	〃	無		平均7.7	0.51	
P ₇	〃	〃	無		平均7.7	0.61	離型後20°C水中 に30分間浸漬

表3. 模型作製条件

模型の膨張 %		試料と原型との間隙 mm	
MEAN S.D.		MEAN S.D.	
P ₁	0.02 (0.01)	R ₁ c b.d a.e	0.39 (0.03) 0.39 (0.02) 0.44 (0.03)
P ₂	0.18 (0.01)	R ₂ c b.d a.e	0.26 (0.03) 0.26 (0.02) 0.29 (0.04)
P ₃	0.25 (0.01)	R ₃ c b.d a.e	0.17 (0.02) 0.17 (0.02) 0.18 (0.02)
P ₄	0.33 (0.01)	R ₄ c b.d a.e	0.08 (0.02) 0.10 (0.03) 0.11 (0.04)
P ₅	0.41 (0.02)	R ₅ c b.d a.e	0.07 (0.02) 0.13 (0.03) 0.13 (0.04)
P ₆	0.51 (0.03)	R ₆ c b.d a.e	0.07 (0.02) 0.14 (0.02) 0.13 (0.03)
P ₇	0.61 (0.04)	R ₇ c b.d a.e	0.17 (0.06) 0.25 (0.05) 0.23 (0.04)

表4. 石膏模型の膨張と金属模型に対する試料の適合状態

単位 mm

	D ₁		D ₄		D ₇	
	MEAN	S.D.	MEAN	S.D.	MEAN	S.D.
l ₁	0.33	(0.04)	0.21	(0.03)	0.24	(0.02)
l ₂	0.79	(0.14)	0.44	(0.05)	0.51	(0.04)
l ₃	0.61	(0.12)	0.36	(0.05)	0.36	(0.02)
l ₄	0.87	(0.12)	0.42	(0.03)	0.45	(0.03)
l ₅	0.75	(0.07)	0.41	(0.03)	0.43	(0.03)
l ₆	1.03	(0.07)	0.62	(0.06)	0.71	(0.04)
l ₇	0.42	(0.03)	0.27	(0.02)	0.34	(0.02)

表5. 前頭断面における間隙

単位 mm

	D ₁		D ₄		D ₇	
	MEAN	S.D.	MEAN	S.D.	MEAN	S.D.
l ₈	0.58	(0.05)	0.31	(0.03)	0.40	(0.05)
l ₉	0.86	(0.10)	0.55	(0.05)	0.73	(0.08)
l ₁₀	0.34	(0.02)	0.19	(0.02)	0.25	(0.02)
l ₁₁	0.61	(0.04)	0.28	(0.03)	0.32	(0.03)
l ₁₂	0.67	(0.07)	0.30	(0.03)	0.33	(0.03)
l ₁₃	0.76	(0.09)	0.35	(0.03)	0.39	(0.04)

表6. 矢状断面における間隙