

鑄型の砂締めについての一考察

A Study on the Sand Compacting of the Mould

榊 原 広*
Hiroshi Sakakibara

内 容 梗 概

生砂型の砂締めについては従来鑄型材料と造型機の機構との二つの面で、それぞれ別個に研究されてきた。本研究はこれらを結びつけるために、実験方法を工夫し、定量的な裏づけを行なって砂締め方式の今後の改善に役だてるためのものである。

1. 緒 言

まず砂型の砂締まりを表わす方法について考察を加え、定量的な特性値をきめる。ついでこれを用いて砂締めに関する基礎的な実験を行なって、砂締めの改善について目やすを得る方針を進めた。

2. 砂締まりに関する従来の考え方の検討

基礎的な研究を大別すると、つぎの二つになる。

(1) 鑄物砂だけを対象として、そのあり方を研究するもの。主として粘結材を中心にして鑄物砂の配合をとり上げる。この場合砂締め方法は一定。(たとえば砂試験片のつき固め法をとる)

(2) 造型機だけを対象として、そのあり方を研究するもの。主として砂締めに関係する機械的な特長をとり上げる。この場合鑄物砂は一定。

いずれも互いに別個に研究されていることが多い。しかし実際には鑄物砂供給者と鑄造設備メーカーとの技術や、原料と価格面での制約などがあって、鑄物砂と造型機との最適の組み合わせを選び出すことが大切になり、したがって両者の研究を積極的に結びつけねばならない。そのほかに粉粒体の充てんという見方で砂締まりを研究する立場がある。これは元来、化学工学、土質力学の分野で発展したもので、砂締めに相当する充てんの過程に関する研究には乏しいが、均一な充てんを得た後における充てん体の物理的、力学的性質を定量的に取り扱っている、その意味でここでも砂締まりの特性値を考える場合に参考とする。

2.1 砂締まりを表わす特性値の現状

砂締まりは一般には生(なま)型硬度計による読みをもって表わす。その問題点を上げれば、次のようである。

2.1.1 生型硬度計の基準

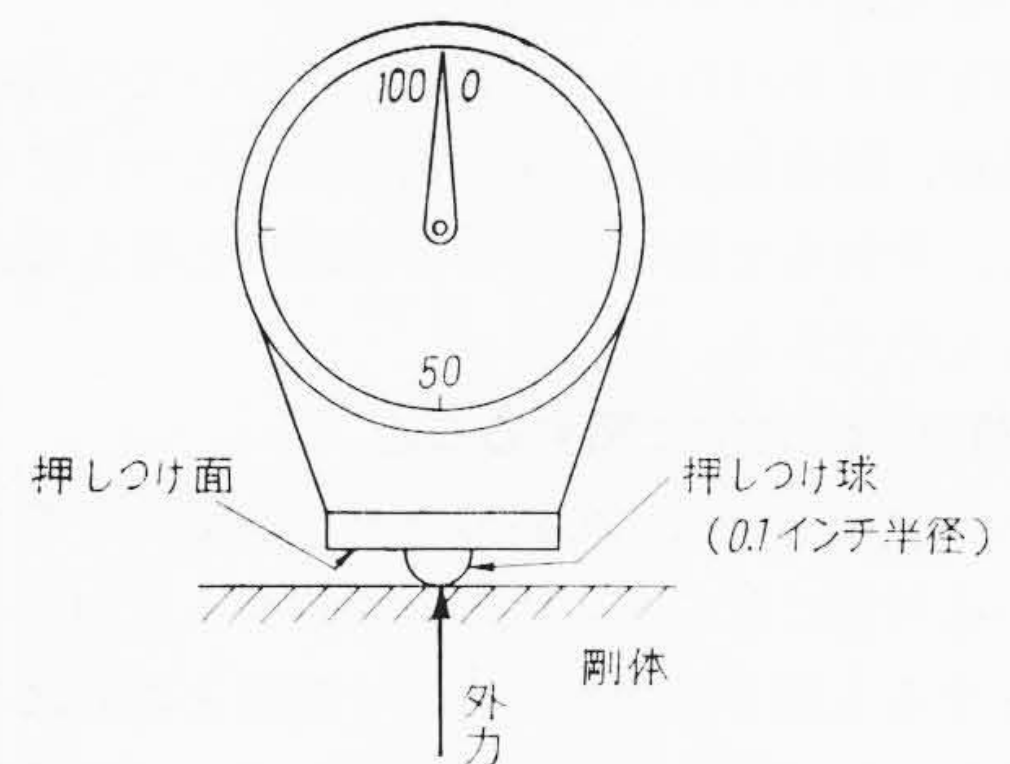
測定器としての基準に、いくつかの差異が見られる、

(1) A. E. S. (もとの A. F. A.) の基準: 元来 Dietert 社の硬度計がもとになっているが、同社自体は最近、生型硬度計として別種のものを出している。前者の硬度計の読みは第1図のように外力を加えた場合、第2図の特性を示すこととされている。すなわち 100 gw までは読みは 0、それ以上では直線的に上昇し、237 gw から上では読みは 100 となる。読み 100 は半径 0.1 in の半球状の突起が押しつけ面まで完全に沈むのに対応する。一方 A. F. S. の Foundry Sand Handbook⁽¹⁾ には 100 gw で読み 50、237 gw で読み 100 としている。これらは一致しないし、許容誤差にも触れていない。

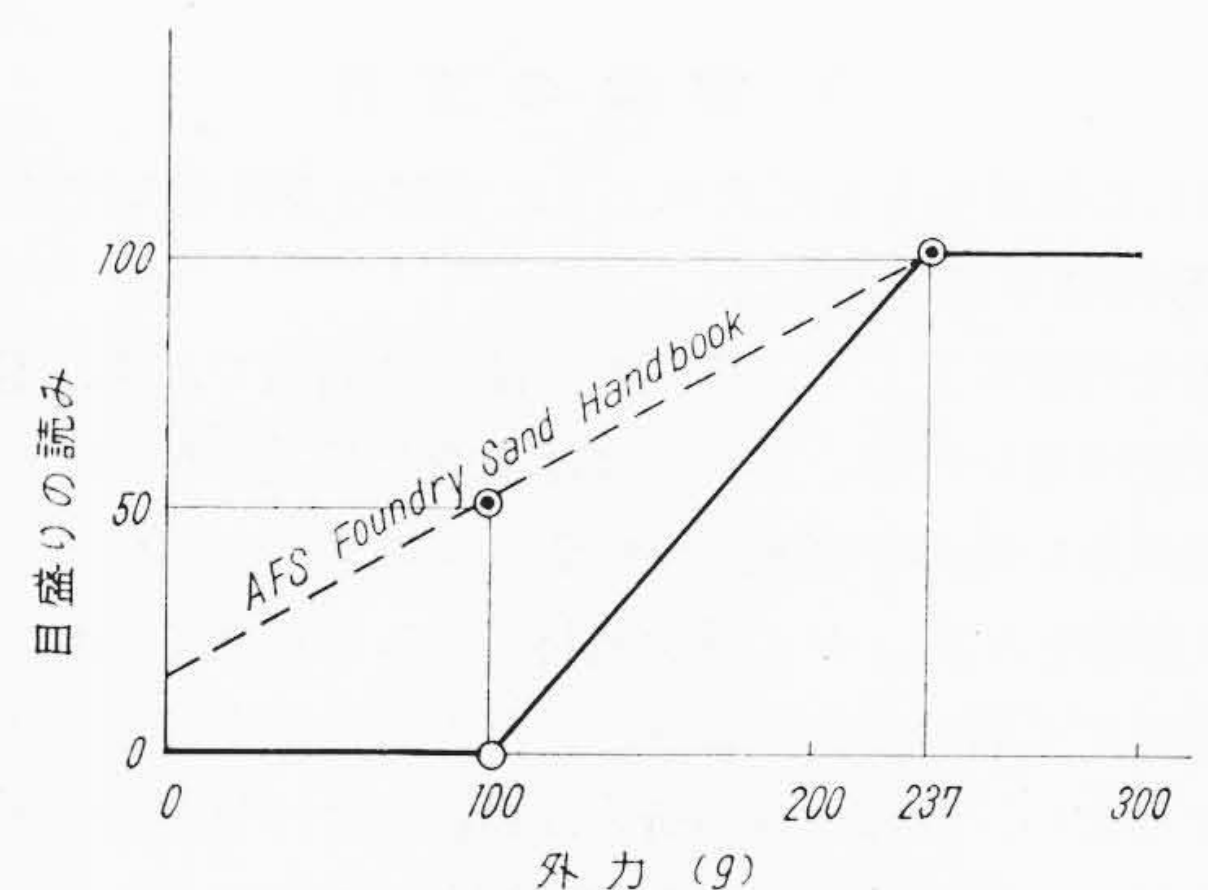
(2) 国内メーカーAの基準: 140 gw までは読み 0、240 gw 以上で読み 100。許容誤差は読みで ± 4 。これは A. F. A. の基準を学振で検討した結果に従っていると考えられる。

(3) 国内メーカーBの基準: 105 gw までは読み 0、237 gw 以

* 日立金属工業株式会社桑名工場



第1図 生型硬度計



第2図 生型硬度計の特性線図

上で読み 100。許容誤差は読み 100 において ± 4 。

以上の差異に加えて、第2図の特性を単にバネや歯車機構の程度で実現するのは不可能に近く、実際に硬度計の特性を測定しても、著しくばらつきがあり、メーカー間の差や、外力を加える速さ、計器ごとの間の差が明かに存在する。さらにバック・ラッシュによるヒステリシス・ループまでも認められる。

2.1.2 生型硬度の物理的な意味

硬度という概念は一般には金属などの材料の品質を表わすとされているが、その表面ないしは切断面についてだけ適用ができ、それらの面と内部との品質の間に直接の対応づけが可能でなければ、材料の品質を硬度で示すことは不適當である。

生型硬度の考え方に比較的近いのはブリネルまたはロックウェルの硬度である。圧入が材料の弾性限界内に止まれば、両者はヘルツの理論式で結びつけられるが、実際には塑性変形の領域に及ぶ。さらに生型硬度にあっては第2図にも明かなように、圧入する外力が変形に無関係でない点、特性値に上、下限がある点がその意味づけを困難にしている。そのほか、材料の構成単位(砂粒)と圧入突起との大きさの比が 10^{-1} 程度に大きいこと、レオロジーの考え方、団粒(Aggregate)の存在も無視できない。

以上から生型硬度を現状のままで物理的に意味づけ、砂締めを表わし得るとすることはできない。

2.1.3 鋳物砂に関する現状

おもに砂試験片を対象として、砂締めに要する外力の作用を一定に保った場合に、鋳物砂の固有の特性値として圧縮ないしはせん断強さを求め、これらの数値で砂締まりの良否を表わす。

以前に鋳物砂の調製方式の鋳物不良に及ぼす影響を工場実験によって求めたところ、砂試験片を対象とする諸特性値の中で生型硬度と圧縮強さとは強い正の相関関係が認められたが、いずれも鋳物の外観不良とのつながりは認められなかった。すなわち鋳物砂の管理をこのような諸特性値で行なっても、鋳物の外観不良を押さえることはできず、さらに諸特性値は鋳物砂の管理の目やすとしても相互に矛盾する内容を持っていて適当ではない。

こうした面を考えなければ、砂試験片についての諸特性値に及ぼす鋳物砂の原料、配合および混練方式の影響については、従来多くの研究がある。それらを通じておもな問題点と考えられるのは粘結材に関するものである。

2.1.4 土質(粉体)力学に関すること

鋳物砂から多少視野を広げて砂締まりや砂締めを考えると、理論的な取り扱いも可能になる⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。ただし土質力学や粉体力学分野で対象とする土壌や粉体と鋳物砂や鋳型との間に存在する差異は考慮に入れなければならない。要約すれば、この分野では砂締まりは見かけ密度ないしは空げき比 (Void Ratio) で表わし、鋳物砂も粘着性を有する粉体として力学的に取り扱うことができる。

3. 実験の方針

2に記した検討をもとに次のように実験の方針をたてる。

3.1 砂締まりの表わし方

物理的な内容に乏しく、鋳型の内部には適用できず、器差の大きい生型硬度は用いない。ここでは理論的な見通しがつけやすく、測定に問題がない見かけ密度を砂締まりの表示に用いる。すなわち2.1.4の立場をとる。ケイ砂を基材とする鋳物砂であれば見かけ密度の上限はケイ石のそれであり、それとの差が空げきを表わしていると見てもよい。砂締まりの研究は最終的には見かけ密度を通じて鋳型の内部における粘着力と内部摩擦角との関係およびそれらの分布を求めることになる。しかし鋳型から実際に試料を採取すると乱れてそれらの直接測定は不可能であるため、上記の見かけ密度をパラメータとして間接的に求めることとし、この実験では見かけ密度の変動と分布状態を求める第一段階に止め、粘着力と内部摩擦角との関連は次の研究段階にゆずる。

3.2 鋳型材料の選定

見かけ密度を測定する場合、試料の形状を一定にすると、その重量を測定すれば十分である。重量を測定するときは試料はその形状を保っている必要はないが、鋳型の中の所定の位置で周囲を乱すことなく採取することは普通の生砂型では不可能である。以前に生砂型を対象とする一種のコア・サンブラを作って試料を採取することを試験したが試料とその周辺の変形と乱れが大きくて失敗した。

そこで砂締め後に鋳型を固化させてから試料を採取することにし、そのためにCO₂プロセスを用いる。配合する材料はケイ砂と水ガラスとし、水ガラスを生砂型の粘結材と考えて砂締めしてからCO₂ガスにより固化させる。ここで粘結材としての水ガラスと一般の生砂型の粘土プラス水系との間の比較が問題になるが、それは4.2に記す。

3.3 試料の採取方法

固化した鋳型の中の所定の位置へドリルできりもみし円筒形の所定の体積の試料を削り取る。具体的には5.1に記す。

4. 実験にとり上げる因子

砂締めに関する因子として、次の八つをとりに上げる。

4.1 ケイ砂粒度(因子記号B)

同一銘柄で粒度分布が異なる2種類をとる。すなわち篠岡1号と2号B。第1表に粒度分布の実測結果を示す。同一銘柄としたのは原石による密度の差を避けるためである。

4.2 水ガラスの配合(因子記号A)

通常の生砂(特に合成砂)型では粘土(ベントナイトなど)プラス水系の粘結材を用いるが、ここでは水ガラスを用いるので両者に相似な条件を見いだす必要がある。次元解析の考え方により鋳物砂だけに限定した代表的な物理量をとって、次の無次元量を得る。

$$C = \sigma / (\rho dg) = [0]$$

ここに σ : 圧縮強度(砂試験片)=[M/(T²L)]

ρ : 見かけ密度(質量密度)=[M/L³]

d : 砂粒の平均直径=[L]

g : 重力の加速度=[L/T²]

Cの値が等しければ粘結材や粒度が異なる鋳物砂についても砂締まりの状態は相似であると見てよい。実際の鋳造作業に使用している鋳物砂についてCの値を求めると、2.3×10⁴となる。したがって第1表からdの値を取り、一方水ガラスの配合率を変えて砂試験片を作って σ と ρ とを測定し、Cの値を計算して見ると第2表のようになる。

水ガラス・バインダとしてトクセットを用いる。

第2表の四つの数値は上記の実際の鋳物砂のそれに比べオーダが低いので、両者に相似の条件が成立するとは言えない。このオーダを合わせるためにはトクセットの配合率を低くすればよいが、固化が不十分であるので6.5パーセントを最低とすることにした。すなわち水ガラスは粘土プラス水系の粘結材に比べて内部摩擦を小さくする働きが大きく塑性を呈しがたいと考えられる。6.5, 8.5パーセントの2水準をとる。

4.3 混練時間(因子記号C)

水ガラスとケイ砂との混合具合の差が砂締まりにどのように影響するかを見る。5分、8分の2水準をとる。

4.4 ジョルト回数(因子記号E)

砂締めにはジョルト・スキーズ式造型機を用い、ジョルトとスキーズとは砂締め機能が全く異なっているとされているので両者はそれぞれ別の因子とし、前者はその回数を変えて見る。すなわちジョルト回数は0, 10の2水準である。0ということは4.5に記すスキーズのみということになる。造型時間を短縮し、圧縮空気の消費量を減らすためにはジョルトは止めてスキーズだけにした方が望ましい。造型機は当工場に固有の専用機種を選ぶ。

4.5 スキーズ回数(因子記号F)

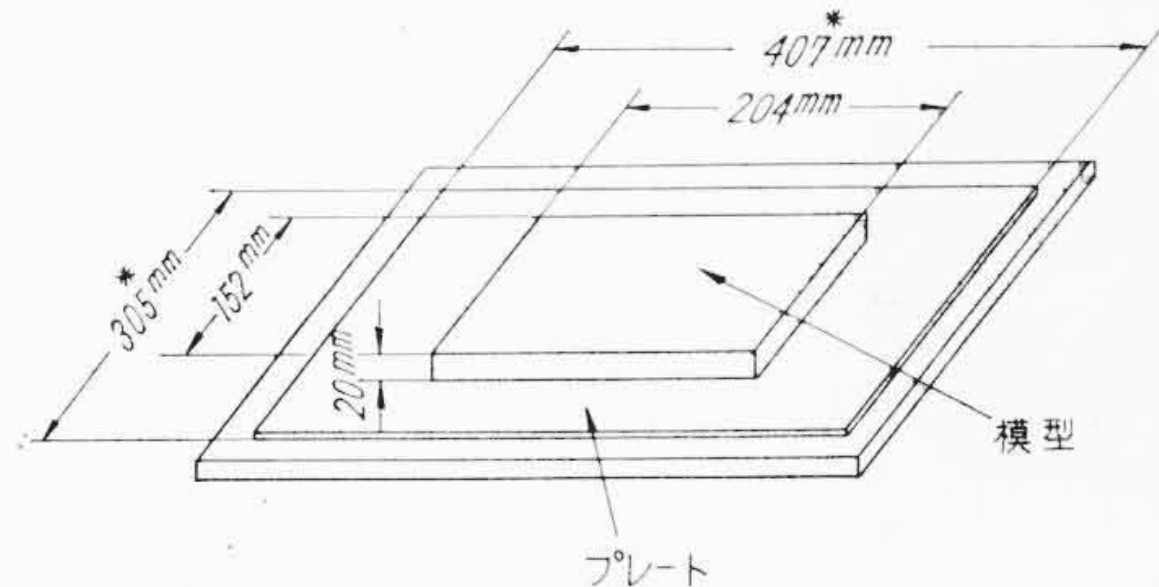
4.4に関連して1回と2回との2水準をとる。これは実際作業で

第1表 ケイ砂の粒度比較

粒度分布	メ ッ シ ュ (%)										粘土分 (%)	平均粒径 (mm)	特 長
	20	30	40	50	70	100	140	200	270	パン			
現用鋳物砂	0.4	0.6	5.1	16.1	29.0	22.6	9.1	3.6	1.3	1.2	11.1	—	—
篠岡1号			28	48	24	0.4	0.2					0.30	50メッシュ・ピーク5シープ
篠岡2号B				0.1	5.3	17.1	31.2	30.6	12.1	2.7	0.8	0.01	140メッシュ・ピーク5シープ

第2表 C の数値比較

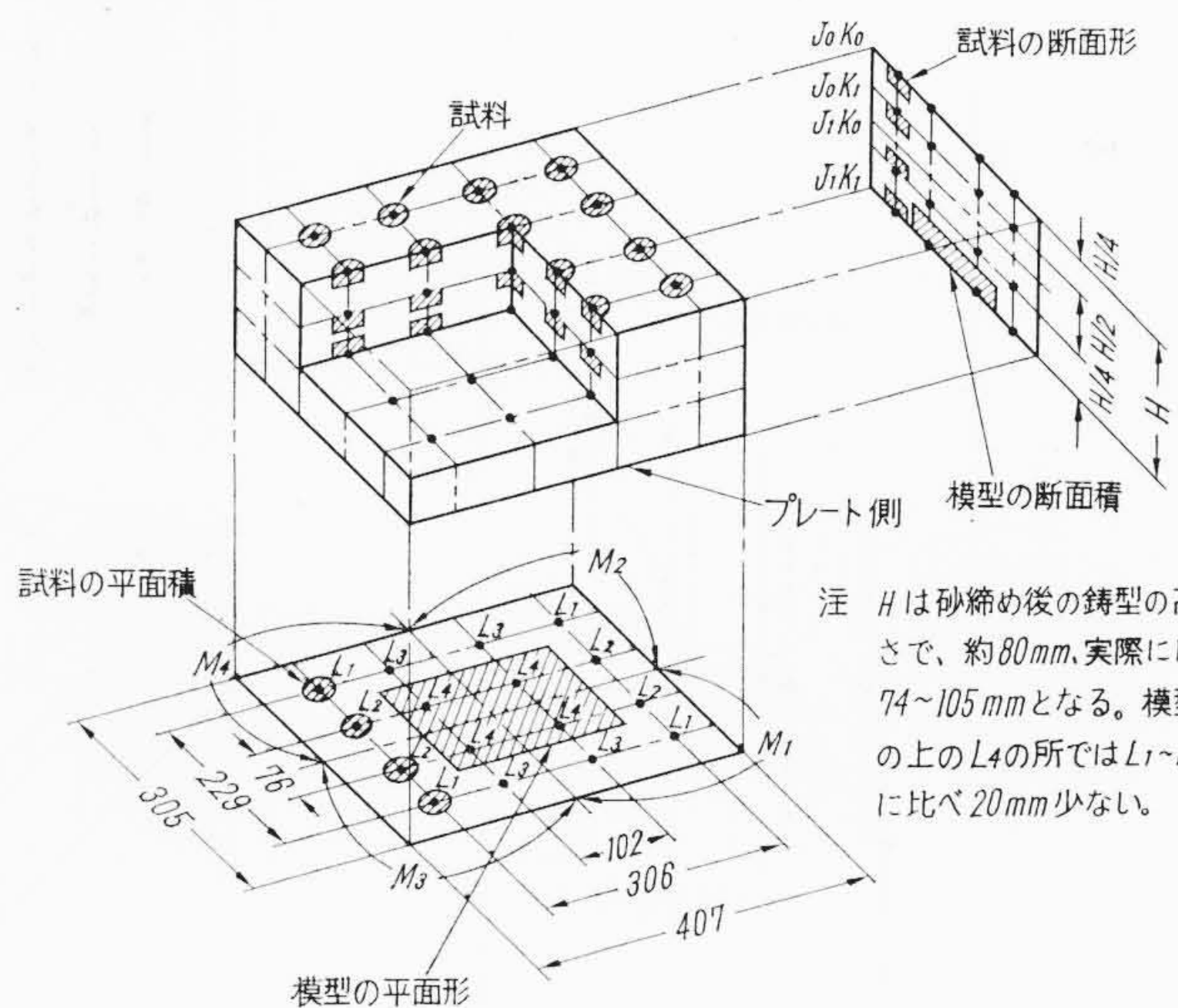
水ガラス配合 (%)		ケイ砂	篠岡1号	篠岡2号B
ト ク セ ッ ト	6.5		1.1×10 ³	8.4×10 ³
	8.5		1.1×10 ³	1.0×10 ⁴



注:＊印は鋳わくの内寸法

第3図 模 型 の 形 状

は往々2回行なうことがある。それらの効果の差はない見こみであるが一応確める。効果が認められなければ造型タクトは短縮され、圧縮空気の消費量も減らすことができる。



注 Hは砂締め後の鑄型の高
さで、約80mm、実際には
74~105mmとなる。模型
の上のL4の所ではL1~L3
に比べ20mm少ない。

第4図 試料の採取位置

4.6 模型(因子記号 G)

模型の有無ないしは模型の形状による砂締まりの変動は従来も研究されているが、とくに形状に関しては、その選定の任意性の影響が大きい、ここでは当工場の製品である管継手の形状と鑄造方案とを大幅に簡単化した形状を選び、その際に試料の大きさとその採取位置も考えに入れる。水準としては模型の有無の二つとする。模型の形状は第3図に示す。模型の高さは管継手の標準サイズである呼び1に相当し、できるだけプレート上に詰めて並べた形を簡単化して平板状にした。その平面形状は使用する標準鑄わくの内側寸法に対し2:1で相似に縮小する。

4.7 砂入れ量(因子記号 D)

砂締めには先だてて鑄わく内へ投入する砂の量すなわち高さによって砂締まりがどのように変わるかを見る。高低の2水準をとり、それぞれプレート上 14, 12 cm とする。砂入れ高さが大であればジョルトには有利、スキーズには不利とされている。

4.8 試料の採取位置(因子記号 JKLM)

詳細は 5.2 に記す。J K は深さについての 4 水準，LM は平面での 16 水準になっている。

5. 試料の採取方法

5.1 試料の大きさと形状

45 mm 径×15 mm 深さの円筒形とする。試料の大きさを小さくすれば鑄型内の採取位置の数を増すことができ、砂締まりの分布を詳細に求めることができる。しかし他方で採取と測定に伴う試料の重量の変動が大きなウェイトを占める。したがって鑄型の大きさとの関係を検討して定めなければならない。

ここでは鋳型と試料との間で平面積比と深さ比が等しくなるようにし、試料の採取位置は4.8に記すように合計64個所とすると上記の大きくなる。そのほかきりもみによってドリル径と試料径とに差が生じる点も検討したが、その体積差は篠岡1号においても6パーセント以下である。

5.2 試料の採取位置

4.8 と 5.1 とを合わせると第 4 図のようになる。

5.3 試料の取り扱い

(1) 64 個所の採取位置の割り出しには治具を用いる。

(2) 深さ方向について第4図の J_0K_1 や J_1K_0 の所から試料をとるときは、その深さまで上または下面から下穴をきりもみしておいて、その分の砂を除去してから所要の試料をとる。

(3) ドリルで所要のきりもみをしてから、穴の中でほぐれた形になっている試料(砂粒)を吸引してフィルタによって集める。

(4) CO₂ プロセスでは固化後、吸湿する傾向があるので採取し

た試料はデシケータに1昼夜放置して水分の影響を除く。

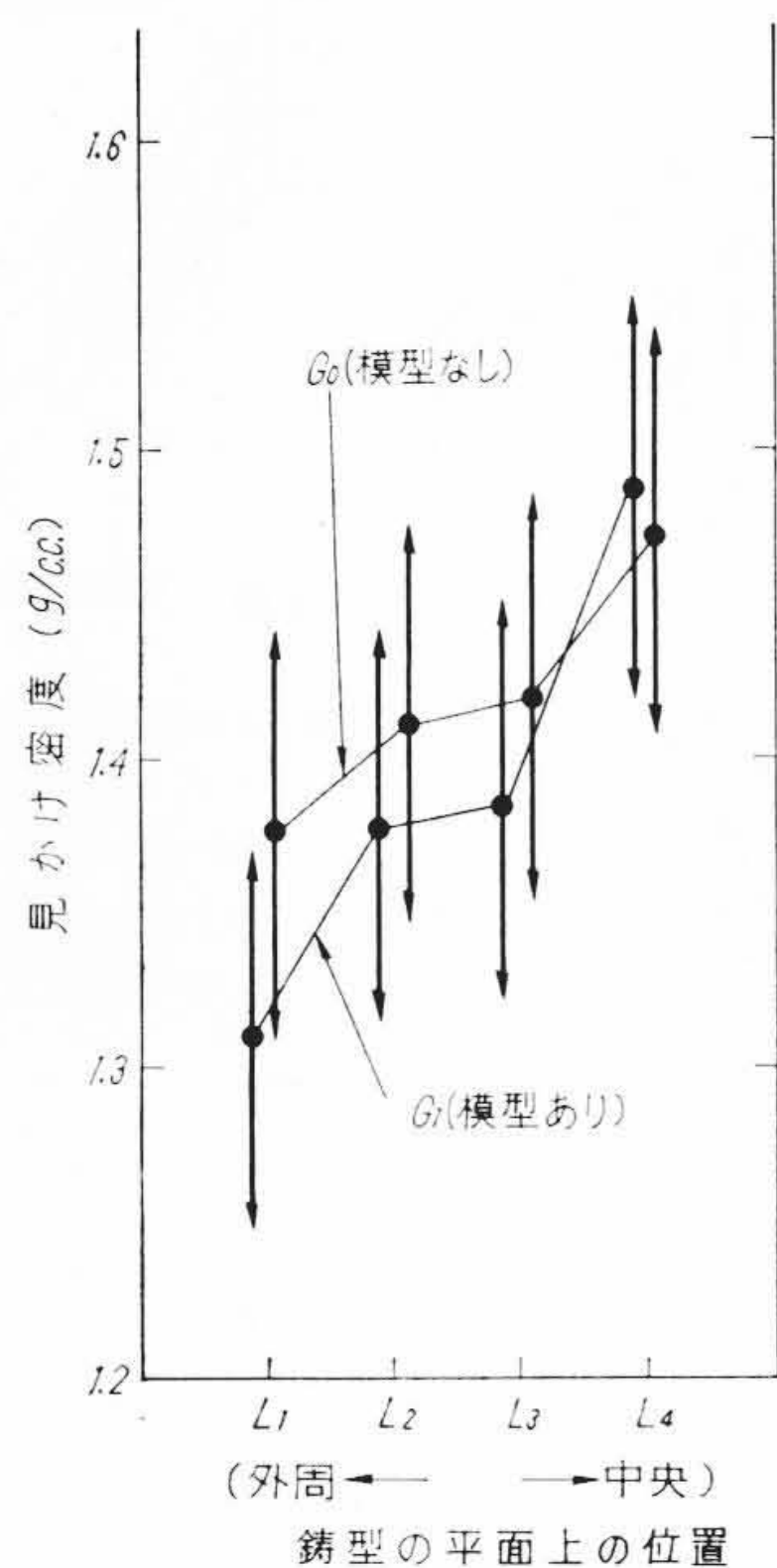
(5) 試料の重量は砂試験に用いる上皿天秤で測定する。

6. 実験の計画⁽⁶⁾

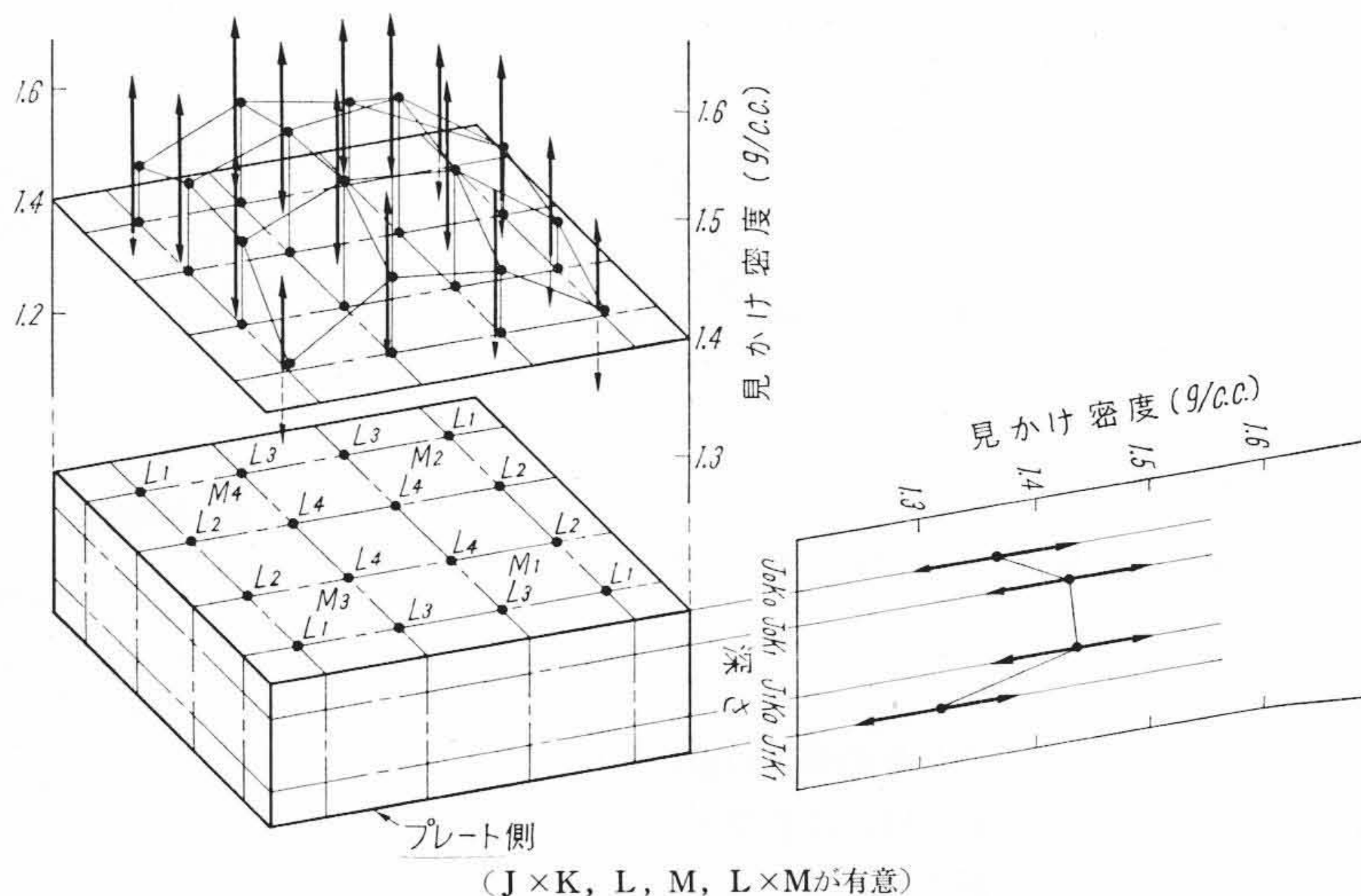
4と5で採り上げた因子を直交配列 $L_{32} (2^{31})$ にわりつけ、実験の便宜のため3段分割にする。2因子交互作用まで求めるがそれらはいずれも因子の主効果が著しく大きいと予想されるものどうし、ないしは4水準を作ったことによる。すなわち $A \times B$, $A \times C$, $A \times E$, $A \times F$, $B \times E$, $B \times F$, $D \times E$, $D \times F$, $G \times L$, $J \times K$, $L \times M$ 。ここで LM の2因子は上記の直交配列と直積になるように各実験ナンバごとにとる。

7. 実験結果

検定の結果、1パーセント危険率で有意となった要因効果だけをグラフにすると第5~7図のようになる。縦軸はいずれも試料の見かけ密度であり、矢印で99パーセントの信頼限界を示す。後者と比べると5.1で検討した試料の体積のかたよりの影響は無視できる。



(L, G×L が有意)
第6図 鋳型の平面上の位置と模型の有無との効果



第7図 鋳型内の位置の効果

内部の方がよい結果となり、一般の結果とは異なっている。ただし平面方向で見た場合、周辺部の砂締まりがとくに低いので、これと上記の深さの方向との関係(2因子交互作用)は今後検討の余地があると考えられる。

(6) 今後の進め方としては次の三つの方向がある。

- (a) 砂について4.2および(2)の検討をする。
- (b) 砂締まりを見かけの密度で表わす段階を2.1.4ないしは3.1に記す力学的な構造に向かって結びつける。
- (c) 砂締め方法としてのジョルト、スキーズのいずれも効果は明かでなかった。これは(2)と合わせて判断しなければならないが、A×E, A×F, も有意でなかったもので、スキーズ1回だけでも十分ということになる。

9. 結 言

従来、鋳型の砂締まりは鋳物砂と造型機との両面からそれぞれ別個に研究されていたので、これらを結びつけ基礎的な実験を行なった。その結果、いくつかの考慮すべき因子および問題点を明かにした。これを土台にしてさし当たり新しい砂締め方式の実行化を進めている。

参 考 文 献

- (1) Foundry Sand Handbook A. F. S.
- (2) Modern Castings 38, (1960-3) A. F. S.
- (3) Modern Castings 39, (1961-1) A. F. S.
- (4) 石井：チェボタリオフの土質力学 技報堂
- (5) 最上：土質力学 岩波書店
- (6) 田口：実験計画法 上, 下 丸善

8. 考 察

第5～7図をもとに注意を要する点をつぎに記す。それ以外は図によることとして、ここでは触れない。

- (1) ケイ砂については粒度が粗(あら)い方が砂締まりがよい。
- (2) 水ガラスを粘土プラス水の粘結材と同等に扱う考えであったが、4.2に記したように当工場の現用の鋳物砂と相似の条件を十分に、作り出すことができなかった。この対策として内部摩擦を調節する必要がある、ケイ石粉を加えることを今後検討したい。配合パーセントの差は認められなかった。
- (3) 砂締め方法としてのジョルト、スキーズのいずれも効果は明かでなかった。これは(2)と合わせて判断しなければならないが、A×E, A×F, も有意でなかったもので、スキーズ1回だけでも十分ということになる。
- (4) 模型、砂入れ量も有意でなかったもので、今後の実験では模型なしで砂入れ量は固定してしまってもよい。後者については少ない水準の方が砂の使用量を節減できる。
- (5) 試料の採取個所に関しては平面方向は一般の生型硬度計の測定値を用いた砂締め実験と同様な傾向を示し、中央部の方が砂締まりがよい。しかし深さの方向では上、下面から離れた鋳型の