

F.S 法の特性に関する 2～3 の考察(I)

—自硬流動性砂の特性と鑄込試験—

藤 本 留 吉

Some Consideration of Property of F.S process

—On the Property of Self Hardening Fluid Sand and It's Molding Cast—

Tomeyoshi HUZIMOTO

Self Hardening Mixture Process or Self Hardening Fluid Sand Process was introduced in Japan from C.C.C.P., and it is yet early hour. and therefore, it have taken into consideration by many research worker, as promising in future, however, it will be a few on development and in practice. Thus, the author aim at this property, and studied to make sure again for previous work. thus the author obtained some property that is chief factor—fluidness and it's usable time mainly.

Further more, he examined to be applied to the molding and casting with new molding plan—sprue, risering, feeding, and thermal gradients. and in result, could be confirmed it's property in the theory and practice.

1 はしがき

FS プロセスは、いわゆる自硬流動性砂による鑄造⁽¹⁾である。ソ連より我が国に導入されたものとしている。そして多数の研究者によりその将来を予見しながら開発研究に努力され続けているが日未だ浅くして、理論的に至っては、少数のようである。筆者はここに着目しその特性を再検討する目的で流動性と可使時間に重点をおいて解明した。さらにこれを実際鑄物に応用の可能性について検討確認した。用いたパターンは、やや難物と思われる段付断面積続の製品に対する模型を選定し新らたな鑄造方案を設計した。湯口押湯揚り等の形状寸法、その距離と位置、数、温度勾配等につき配慮し、鑄込試験を行った。その結果特性を定性的定量的に解明し、また実用的可能性を理論的實際的に実証し得た。

2 理論の概要

判然とした理論的定説は未だ明らかでないようであるがその構成は、珪砂+スラグ硬化剤+水+ガラス+発泡剤+水であるからこれらの適正なる配合により、適正な混練と相俟ってこれらの物

質が複雑に相互作用を行い、化学反応で流動性と自硬性を生ずるものとする。すなわち硬化剤の主たる鉱物組成は、 $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ であるから、これと他に尖晶石、 $\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 等の成分により硬化能を生じ、界面活性剤としての発泡剤が非常に微細なる気泡を持続して、膨圧力を損うことなく、少量の添加で流動性を最良にし、適当な温度において、(夏冬で変化)膨圧力を保ちこれに水ガラス(適当なモル比)がその本来の硬化反応の促進作用を行う挙動を起すものとする。すなわち、「流動砂の流動性は、砂粒間に働く引力(粘性表面張力)に逆って各砂粒間がその間隔を広め、その結果流動を生ずる。水の添加もその第1因子。又気泡の混入は、砂粒子間の間隔を大にする役目と界面活性剤の添加により、液体(水+水ガラス)の表面張力を大きく減ずる第2因子⁽²⁾」と考える。この水ガラス系の理論は一部セメント-糖密系の理論に類似である。

3 実験方法およびその装置

3.1 供試材

珪砂は国産品を採用する目的で表-1に示す4種を選んで先づ粒度分布を調査した。表中に示す如く京都府網野産砂A5号は5号をピークに集中型分布に属する。これを採用することにした。その他は分散型分布である。この化学成分は表2に示してある。なお比表面積も附記してある。オリビンやフラタリーサンドは良質であったが外国産の故に外した。

表-1 分粒度%(学振法)

珪砂名 \ メッシュ No	10	14	20	28	35	48	65	100	150	200	Pan	粘土分
網野砂 A5 号			0.38	4.76	30.50	54.60	8.80	0.40	0.12	0.04	tr	0.6
淡路砂 (a)	0.29	0.87	5.87	9.46	20.60	24.72	23.25	10.88	2.66	0.60	0.24	0.51
" (b)		0.27	1.31	8.12	23.10	29.50	21.22	13.21	1.84	0.26	0.11	0.53
鳥取砂	tr	0.25	0.36	8.83	26.15	25.66	28.86	8.24	0.62	0.30	0.33	0.55

表-2 化学成分と比表面積

珪砂名 \ 成分 %	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	Ig 減	比表面積 cm^2/g
網野砂 A5 号	88.40	1.44	5.90	0.20	0.12	0.94	73.5
淡路砂 (a)	81.4	1.21	10.87	0.64	0.13	0.90	64.2
" (b)	91.3	0.88	5.90	0.30	0.12	0.73	63.0
鳥取砂	79.3	1.92	12.10	1.23	0.52	0.95	63.8

その他の用材

(1) 粘結剤：水ガラス (モル比 2.7~3.0)

(2) 硬化剤：パウダー (JMC) 日本重化学工業提供

$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ スラグ

(3) 発泡剤：JMC 発泡剤 日本重化学工業提供 (アニオン系)

JMC パウダーの化学成分は

$\text{SiO}_2 = 27.5$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 8.0$, $\text{CaO} = 49.5$, $\text{MgO} = 9.0$

その他 6.0～，スラグ質。

(4) 水 = 1.6 程度

3.2 適合する配合 % の選出検討—配合例

最も重要で、かつ難題は各素材の適正なる配合 % の決定である。ランダムにそれを定めることは無駄で不可能に近い。筆者は次の 2agents の例を拠点として、その前後の数値を配して表-3 に示す如く 10 種の配合例を試作して検討し、確認し、選定した。実験結果表中 ○ 印が適正配合。

表-3 各種配合比の試例

物質 \ No	1	2	3	○4	○5	6	7	8	9	10	記 事
網 野 珪 砂 A 5 号	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	数字は任意ではなく、 根拠としたデータの前 後である。
パウダー (JMC)	2	3	4	4.5	5	6	7	8	4	5	
水ガラス(モル比 2.8)	4	5	6	6.5	7	8	9	10	5	7	
発 泡 剤 (JMC)	0.03	0.03	0.03	0.065	0.10	0.00	0.10	0.10	0.15	0.15	
水	1.5	1.5	1.5	1.6	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	

(1) ソ連機関，例 1 (重量比)

珪砂 = 95～96，フェロクロム・スラグ = 4～5，

水ガラス = 5～7，Petrov Contact = 0.1～0.2，

Soapnapht = 0.1～0.2，水 = 1.25～2.0，1～2 分混練。

(2) 日本重化学 K.K.，例 2

珪砂(5～6 号) = 100 部，JMC パウダー = 4～5 部 (硬化剤)

水ガラス(モル比 2.7～3.0) = 6～7 部，JMC 発泡剤 = 0.03～0.1 部

水 = 1.5～2 部，ワールミックス径 60 cm，混練 (60 r.p.m 以上)

3.3 混練操作

一般の混練機では目的を達し得ない。ワールミックス (60 r.p.m 以上) の使用が適当と考えて、混合の手順を誤らないことが望ましい。順序は、

① 網野珪砂(A5 号) + JMC パウダー

② 発泡剤 + 水，① と ② を混合して、

③ 水ガラスを添加，(モル比 2.8)

④ 取出す。⑤ 型に流入。

① と ② 間は，約 1 分間混練。③ は約 30 秒混合して発泡する。

3.4 造型操作

これは鑄込実験で詳述するが概略を記す。木型または金型に離型剤を塗布しておく。流し込み後 20 分～60 分間自然放置。消泡硬化した後型抜きを行う。

4 実験結果とその考察

4.1 流動性の測定法とその装置

一般の生型砂の如き方法では不可能である。流動性を数値的に表わす方法には種々あると思われるが、筆者は W/g の自然落下による落下エネルギーと可塑性の良・否検討に預ると見るワーカビリティとの組合せ方式を最も合理的と考えこの方法⁽³⁾を採用した。

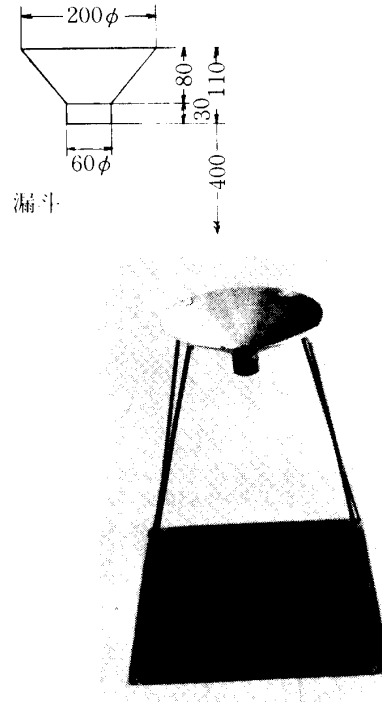
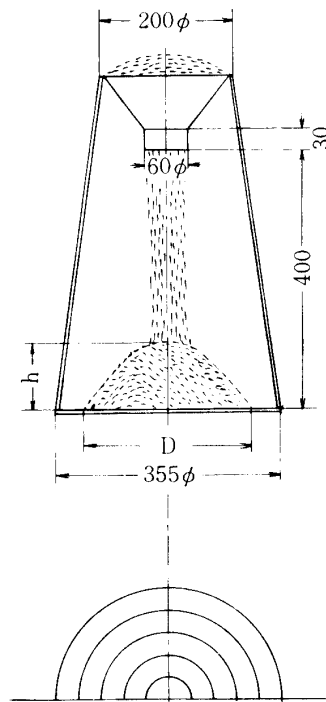


図1. 流動性試験装置 (単位 mm)

写真1. 流動性試験装置

図1および写真(1)は実験用としての装置であって、高さ40cmの位置に適当なファンネルを設け、2lの流動砂をそのロートの60mm筒穴を通して、落下せしめその状態と底面に堆積する砂の拡がり直径を直読し得るように示記しある円形底面標示板上に投射しその拡がりの平均径(D)を測定し、これを堆積砂の最大高さ(h)で割った商を流動値又は流動率⁽⁴⁾とした。この場合砂の流し込む方法は、適当な材質で作られた取手付の容器に流動砂を汲み取り流し込む。

4.2 流動性実験方法の比較

コンクリートスランプ方式と本実験方式との比較を見て、良否を探知する目安とした。これに参考までに一般生型法の場合を附加して見た。表-4がこれである。これによると、水ガラススラグ系とセメント-糖蜜系の合理性がそれぞれ理解できる。

表-4 三種の試験法比較

方式 項目	Ditert 方式	本実験方式	スランプ方式
特 長	搗き固め方向に対する変化	落下エネルギーとワーカビリティ	コンクリートスランプ

試料の量	約 100 g	約 2 l, 600 c.c	約 5.3 l, 650 c.c
測定項目	つき固めの高さの差 ($h_2 - h_1$)	高さ と 拡がり 直径 (D, h)	高さ (Δh)
算出方法	$100 \times \left(0.1 - \frac{x}{25.4}\right) \%$	$D/h = \text{流動値}$	$h/300 \text{ mm}$ 又は $h/150 \text{ mm}$
規格	AFS	なし	JISA 1101 (コンクリート用)
測定時間	おそい	比較的速い	普通
数値の 見分け	扱い不便	扱い便利	扱いやや不便
高さの 測定	便利	不便	不便
その他	安定化し得る能力	落下量, 泡安定性, 混練の良・否	容器への付着, コーンの抜き 取りにコツ

4.3 砂の拡がり と 高さ の 関 係

砂の量が一定の場合、投射堆積砂の最大高さ h とその平均直径 D との間には同一平面内の幾何学的見地において互に反比例の関係がある。図 2 は約 2 l の砂量を 120 mm の高さより落下させ D_1 ,

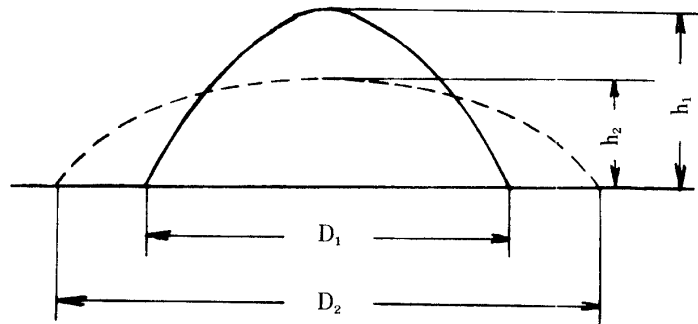


図 2. 高さ h と 拡がり D の関係 ($D \times h = \text{const}$)
 D は直交両径の平均

h_1 を求めた後、下部において、軽振を与え、 D_2, h_2 に変形させた状態図である。図 3 は、上記の場

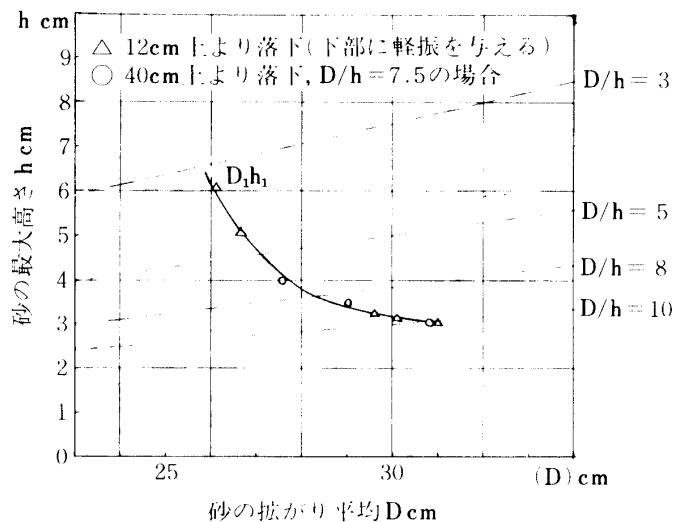


図 3. 砂の高さ h と 拡がり D の関係 (軽振動を与える)

合と同様 40 cm 高さより落下させた場合 ($D/h=7.5$) の D と h との関係を図示したものである。
この関係は数式で表わすと次の如し。

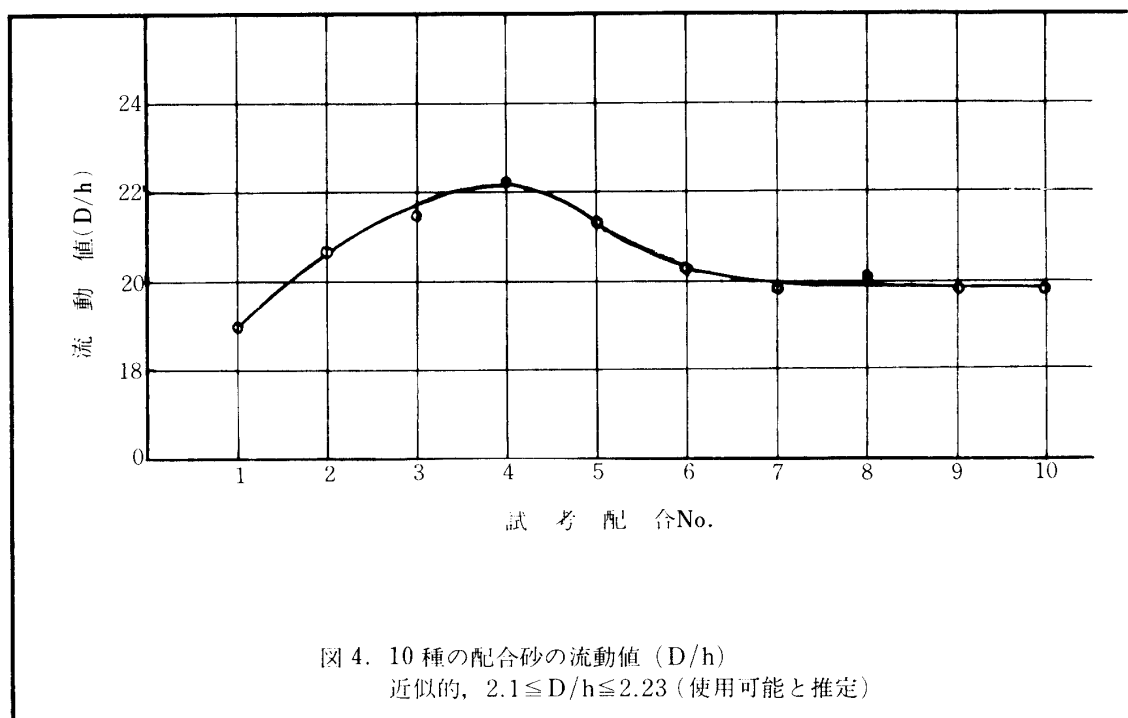
$$D \cdot h = D_1 \cdot h_1 = D_2 \cdot h_2 \cdots \cdots = C \text{ (一定)} \cdots \cdots (1)$$

$$D = C' h \text{ 又は } D/h = C' \text{ (流動値)} \cdots \cdots (2)$$

式(1)は理論的にも首肯できるが実際的にも近似的に一種の双曲線的関係が成り立つ。同一平面内における D と h の関係と考えると実用的に無理ではない。又式(1)はやがて $\log-\log$ 線図に画けば直線となり扱い易くなる。

4.4 試考各配合の流動値とその良否判定

図4はさきに試考した配合10種に対しその各流動値を測定して良否選定の日安とするための実験結果である。これによると D/h の最大値は No.4 で約 2.23 となりその前後は No.3 と No.5 で次善となった。結局 No.4 が最適性となり他は不完全である。このことは実験室的値ではあるが最初に提示準拠した 2 agents の配合 % の例の適合性を実証したことにもなる。



4.5 スランプ値と本実験の流動値との関係

JIS 1101 コンクリートスランプ値と本流動値との関係を Appendix として図 5 に示した。両者の比較は相当見るべきものがありと考えてここに結果をグラフとして掲載した、これを見るに両者

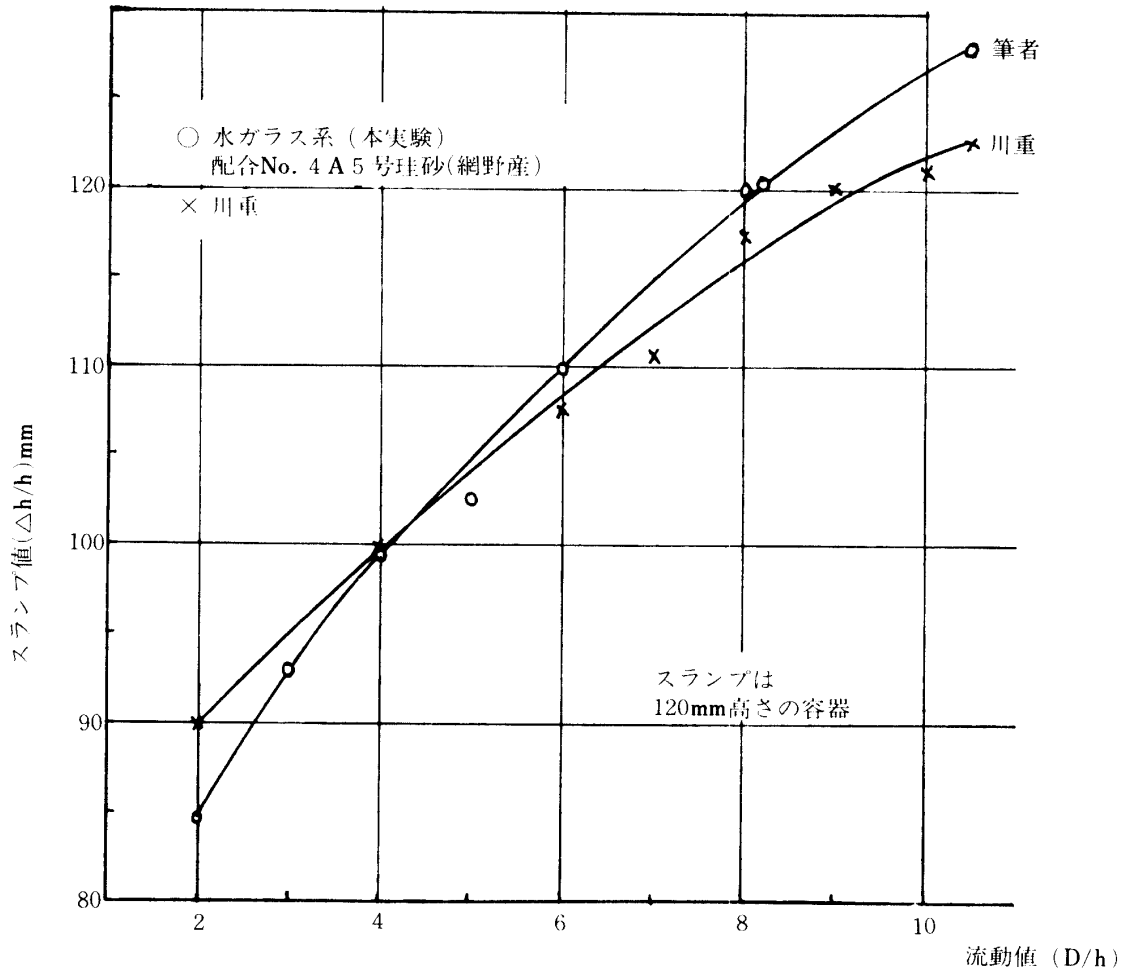


図 5. JIS コーンのスランプ値と本実験の流動値との関係 (附 川重式の結果との比較)

共緩慢な拋物線的關係を示している。

5 抗圧力、表面硬度、の試験片

5.1 試験片の作製方法

試験片の作製方法は図 6 に示してある。これについて順次説明する。

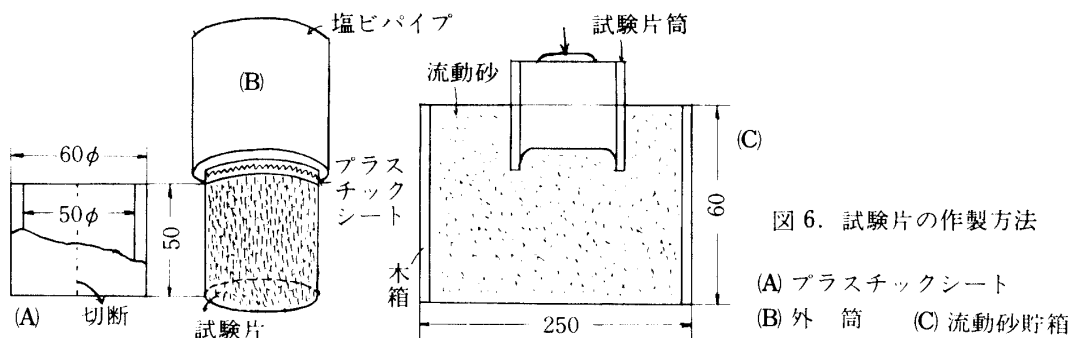


図 6. 試験片の作製方法

(A) プラスチックシート
(B) 外 筒 (C) 流動砂貯箱

(1) 作制用円筒管 (図6)

内径 52 mm ϕ , 高さ 50 mm の市販硬質塩ビ外管に 1 mm 程度のプラスチックシートを挿入し内径 50 ϕ × 高さ 50 mm のピースとする。このシートの一個所を垂直方向に切断しておく。

(2) 作り方 (図6 参照)

250 mm × 150 mm × 60 mm 程度の木箱を作りこの容器に約 2 l + α の流動砂を注入し上記のテストピース円筒をこの中に直下に挿入して所定時間において硬化後この試験筒を取出し、両面を平滑にし、筒より抜き取る。その後は、A.F.S, 又は学振法に準じて試験を行う。

5.2 抗圧力, 表面硬度と有効可使時間

図7は横軸に各配合 No. を取り、縦軸に硬化時間すなわち推考可使時間とが取ってある。これ

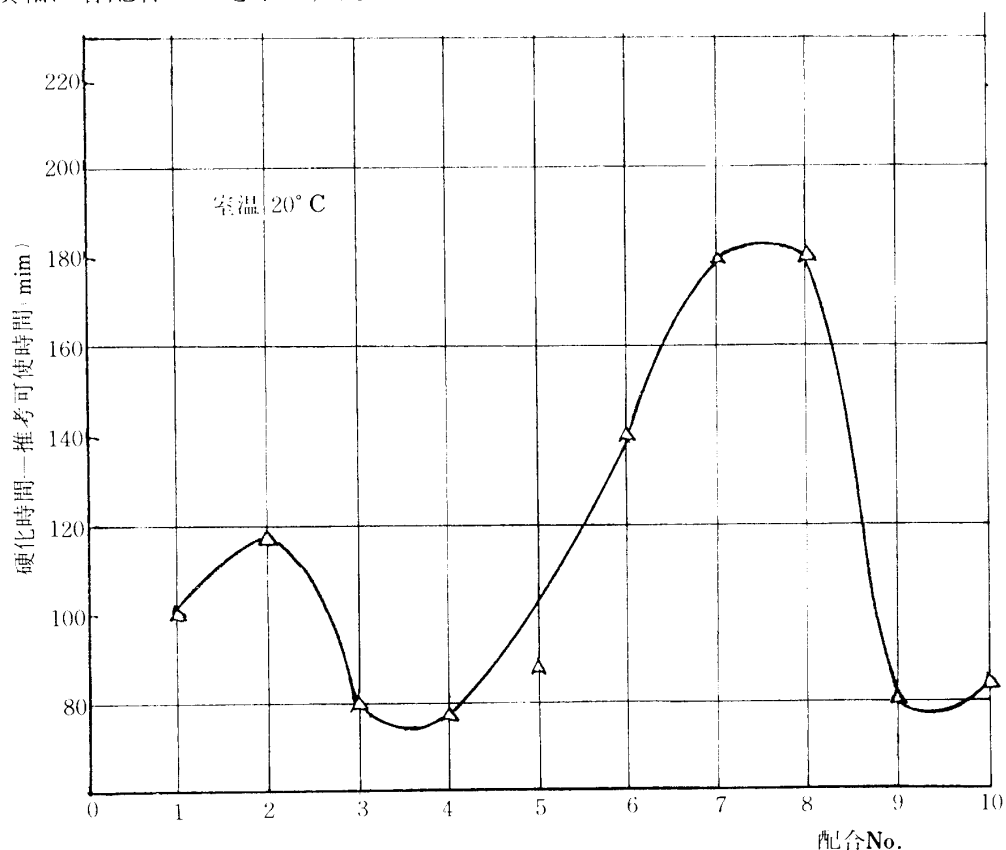


図7. 各種配合において表面硬度平均 60 に達した時、要した硬化時間

は平均表面硬度 60 に達した時に要した時間を測定した結果である。これを見るに配合 No.4 が最も短時間で約 67.5 分で硬度 60 に達している。これがそのまゝ、有効可使時間の推考につながる。

図8は同様な方法で、描いた抗圧力と各配合 No. との関係図である。この場合も No.4 が最良で約 6.25 Kg/cm² の値を示している。ここで抗圧力の影響について考察して見る。

(1) 水ガラスと 2CaO·SiO₂ の水和反応で相互作用により生成される結合フィルムによって結合される鉱物粒子の影響

(2) 水ガラスの脱水作用による影響

(3) 上記相互間のイオン反応の影響

従って、結合膜または表面張力の強さは鉱物粒子の大小と水ガラスの比重等の相互作用で発生し、

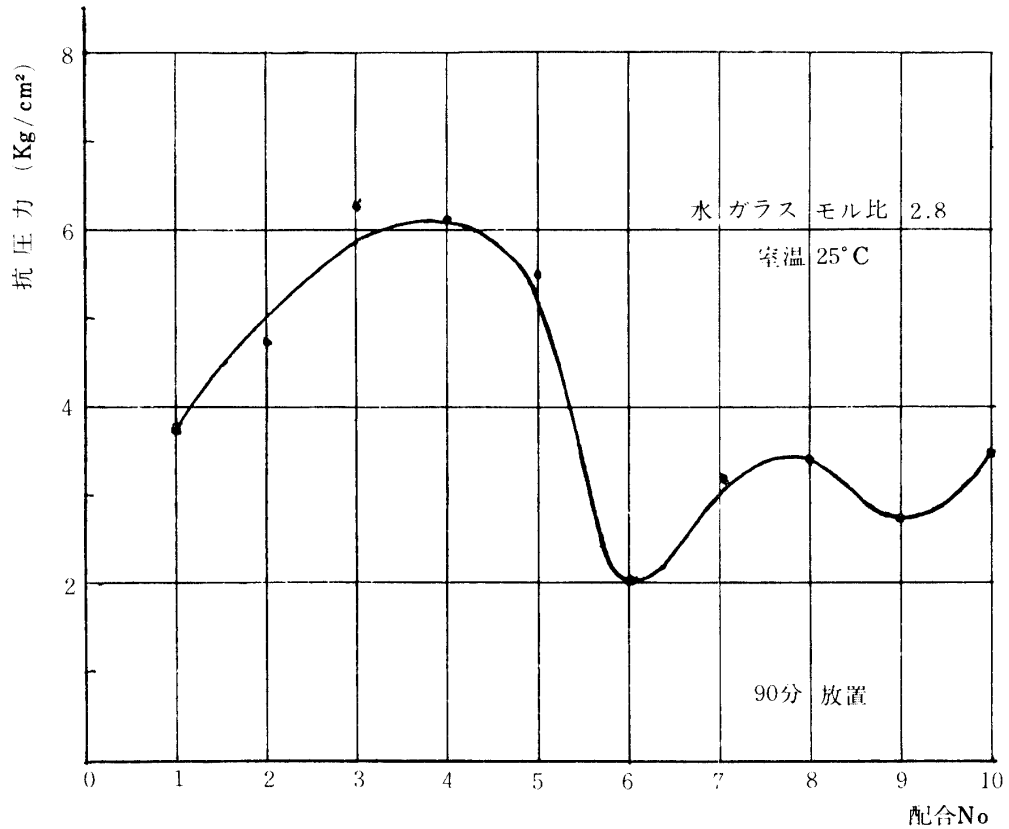


図 8. 10 種の配合砂に対する抗圧力の関係

強さと可使用時間は、温度の影響により相当の変化が生ずると考えられる。又別考として、Duckworth の多孔質 S と非多孔質 B と気孔率 P の強度関係式⁽⁵⁾ $S = Be^{-bp}$ にも通ずる。

(4) 温度変化による可使用時間と強度の影響

図 9 は温度変化⁽⁵⁾による抗圧力の変化とそれが可使用時間の影響につながることを示している。

本図によると、横軸に示してある可使用時間は 室温 10°C と 20°C とでは約 30 分程度の差を

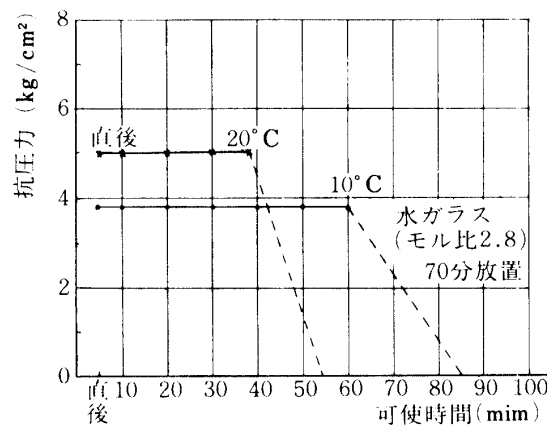


図 9. 可使用時間と気温の影響 (No. 4 配合流動砂)

生じている。さらに温度が上昇すれば可使用時間はさらに短縮することが推考される。勿論強度の影響もある筈である。すなわち近似的に

$$T = C \cdot 1/\theta \cdot \sigma \quad \dots\dots\dots (3)$$

(θ = 温度, σ = 強度, c = 定数)

6 鑄込実験

本プロセス特有のものと普通の鑄物と共通なる鑄造操作を含めて実験を行った、さて、解明された主な特性に適応した造型、鑄込みの結果の健、不健を検討した。先づこの鑄込試験に当り考慮すべき基礎的問題を次の如く考えた。

第1 鑄造方案の計画設計である。湯口押湯揚り等の形状寸法、その位置、距離、数、温度勾配等の要素である。その要件の2、3を記す。

6.1 模型の選定と形状寸法

図10に示す如く4種の段付断面変化の形状をもつ模型を案出した。筆者はこの中の第④のパターンを選出実験に供した。この寸法の決定は断面変化の肉厚 $E:D:C=1:2:3$ の比に取り $E=8.5$, $D=17$, $C=25.5$ 。とし、断面接続の影響、効果の検討に資した。断面A部は凝固の際、収縮歪の発生を観測する目的で特に厚くした。又図中、 $A=40.5$, $B=45.5$, $F=42.5 (=5 \times E)$ 。この断面部では、凝固の方向性、歪防止、従って鑄物の健、不健の観測検討を目的とし、従って揚りと押湯のいずれかの効果的形状寸法を察知し得ると考えた。このような意味を含有して他の寸法を決めた。すなわち、長さ $l=4.2 \times \text{巾}$, $S, l=180.5$, $S=43$, 又 $G:H:K=1:1:2$ に取り、 $G=35$, $H=35$, $K=70$ 。さらに溶湯の流動を均斉、穏和かつ完全にして湯の衝撃による鑄型の破壊防止を考慮し、型を約 3° 傾斜させた(図10参照)

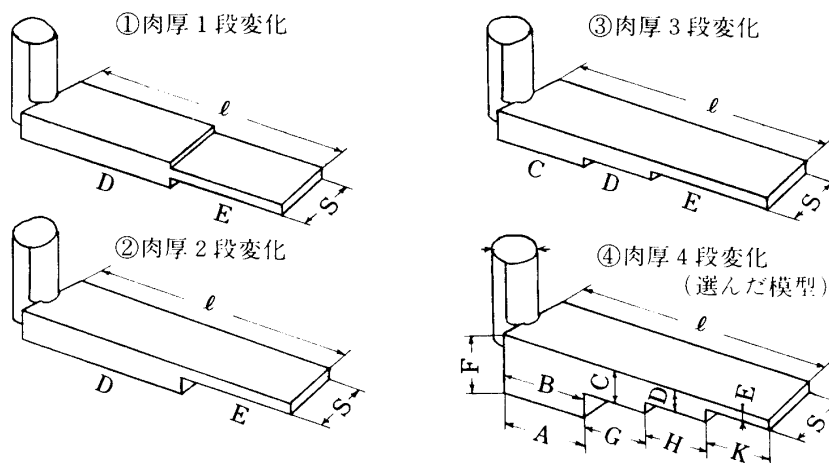


図10. 考案の模型例と本実験用選定模型
④を選んで供試

6.2 鑄造方案の計画

(1) 凝固速度の推考

鑄物断面の表面から中心線までに壁面成長する溶湯の凝固速度と流動の変化を推考した。

図11はその推考図である。一般の板状鑄物の状態とはやや異なる筈である。段付鑄物の特長でもあろう。この点後項で実験してある。

(2) 湯口、揚り、押湯の位置と形状

揚りは鑄物のすべての点が注湯範囲内あることが原則で、可及的湯口に近接すべきであるが、

本模型の如き特殊形状のものは必ずしもその法則に従い得ない。図 12 はその鑄造方案の骨組図である。かゝる板状断面においては長手方向の湯流れは段付断面に沿うて発生し緩慢なウネリを起しながら揚りに及ぶから凝固後も固結しないよう鑄造方案を工夫設計すべきで、溶金
が凝固中すべて液状にある様考慮し注湯と造型に配慮した。

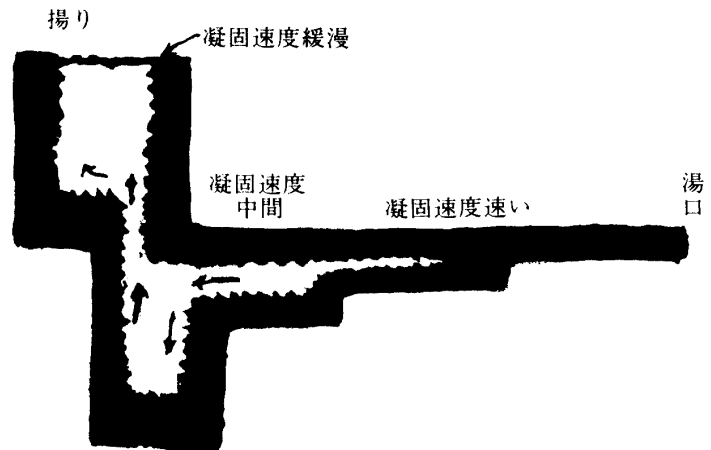


図 11. 凝固の進行とその遅速状態推考 (矢印は湯流れ)

(3) 揚り(または押湯)の効果率⁽⁶⁾の増加

揚り(または押湯)と本体との接続部に収縮歪の発生する原因はその直径か高さかまたは両者共に過小のためであるから満足する適正な形状寸法と位置との設計に努めた。本実験では、特に揚りを押すこと、肉厚部に冷金を当てることの常習的方法を取らずしかもその効果率を増強するため前記の如く湯流れの穏健安定、均斉を期する様いわゆるチョン掛断面接続の揚りを選んだ。(図 12 参照) それは左端の厚肉部直上に押湯を設けたが失敗に帰したからである。

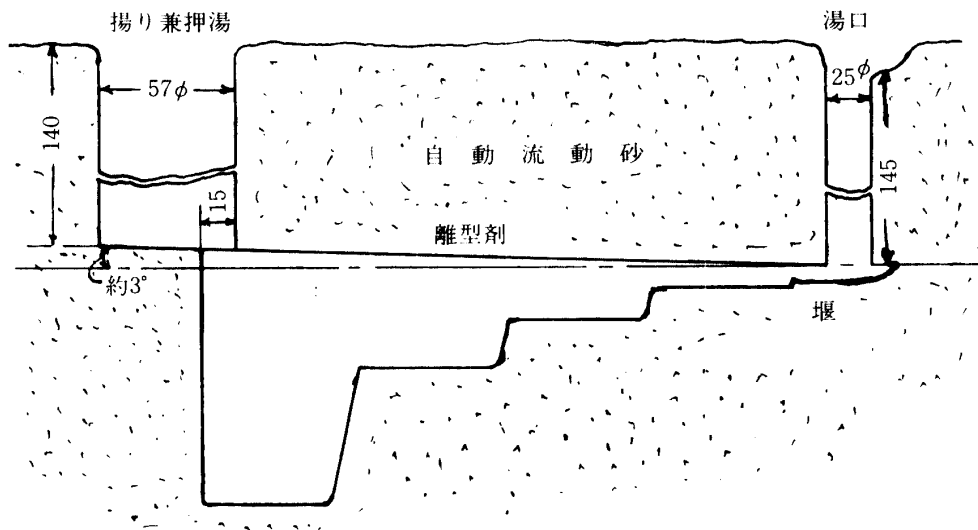


図 12. 鑄造方案と骨組鑄型

(4) 接続断面の考察

一対の薄肉板鑄物の接続断面の場合は湯口距離 D_i は肉厚 T_i の関数 ($D_i = f(T_i)$) と考えられる。そこで 2, 3 の異なる断面肉厚とその長さの変化で接続されている鑄物 (図 10 参照) に対する大小断面間の有効湯口距離を定める一つの目的として近似的な次の如き実験式を得た。本式はまた揚り位置定めにも通ずる。

$$D_i = a(T_i - T_1) + b \quad (4)$$

ここに

D_i : 有効湯口距離

T_i : 厚肉断面の厚み

T_1 : 薄肉断面の厚み

a : 係数 (ここでは 3.2)

b : 定数 (ここでは 70~80)

又中間板厚の接統断面に対しては

$$D_i = C(T_i - T_1) \quad (5)$$

ここに D_i : 有効湯口距離

T_i : 中間板厚に隣接した親板の厚み

T_1 : 中間板厚に隣接した寄生的板の厚み

C : 係数 (ここでは 3.6)

かくして結局図 12 の如き鑄造方案に落着いた。湯口と堰は右端 (薄肉部) に附設しその寸法は $25\phi \times 145$ (高さ $\approx 6 \times$ 直径)。左端揚りの寸法は直径 (d) : 高さ (h) = 2.5 : 1 とし $57\phi \times 140$ に取った。

(5) 造型, 注湯と温度勾配

本型に離型剤を塗布, 本流動砂を流し込み 40 分間自然放置。消泡硬化後型抜きを行う。次に注湯となる (図 12 参照)。本鑄物の品質組成は $C=3.2$, $Si=1.8$ の鑄鉄である。図 13 は二種の板厚断面変化の段付形状鑄物の別々の温度勾配の様相線図である。これを見るに, 一般に揚りは普通, 鑄物本体が凝固後只短時間だけ液状に保たるべく設計すべきであるとの法則が考慮されていることがうかがえる。すなわち親板は揚りよりもやや長時間溶融状態に保たるべきであることを意

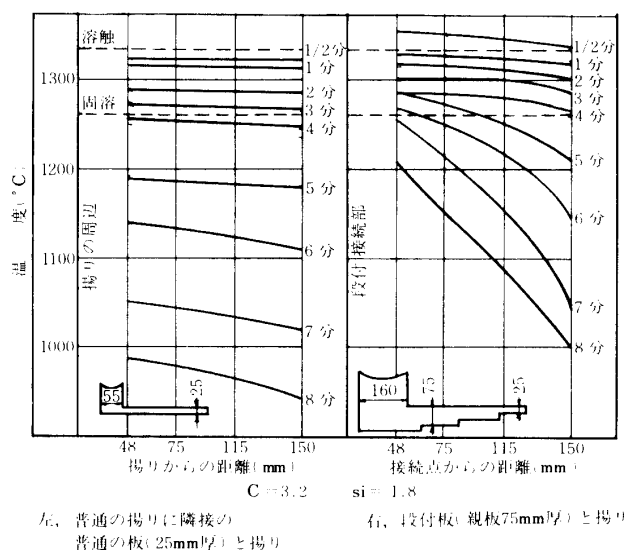


図 13. 二者別々の凝固の生長発展—温度勾配

味する。また断面厚みが 2 倍になると約 4 倍の凝固時間が要求されるごとく増してくる。この意味は, 溶解帯→凝固帯への転移温度範囲内において厚, 薄断面による凝固速度の遅速を考慮して両者の均斉を保つべきであることが理解される (図 11 参照)。故に親板断面に至る, より大なる距離に伴いこれに対応する温度勾配にまで展開している。すなわち, 薄板断面の凝固速度を厚板断面のそれに適応するような温度勾配に保たれるよう配慮すべきだということを意味する (図 13)。

以上各要件を考慮して図 10 の代表的パターン ④ を図 12 の鑄造方案にて鑄込みの結果, 写真 2(a) の如き完成品を得た。収縮, 膨脹も適正で, 砂離れも良好であって, 健全鑄物を得た。同図 (b) は Appendix として他の異形複雑なるパターンを同方法で鑄たが, やはり健全鑄物を得て本方法の可能性, 適応性を証明したわけである。かくして, 理論的, 實際的に自硬流動砂型鑄物の

一般的に利用可能性が確められた。

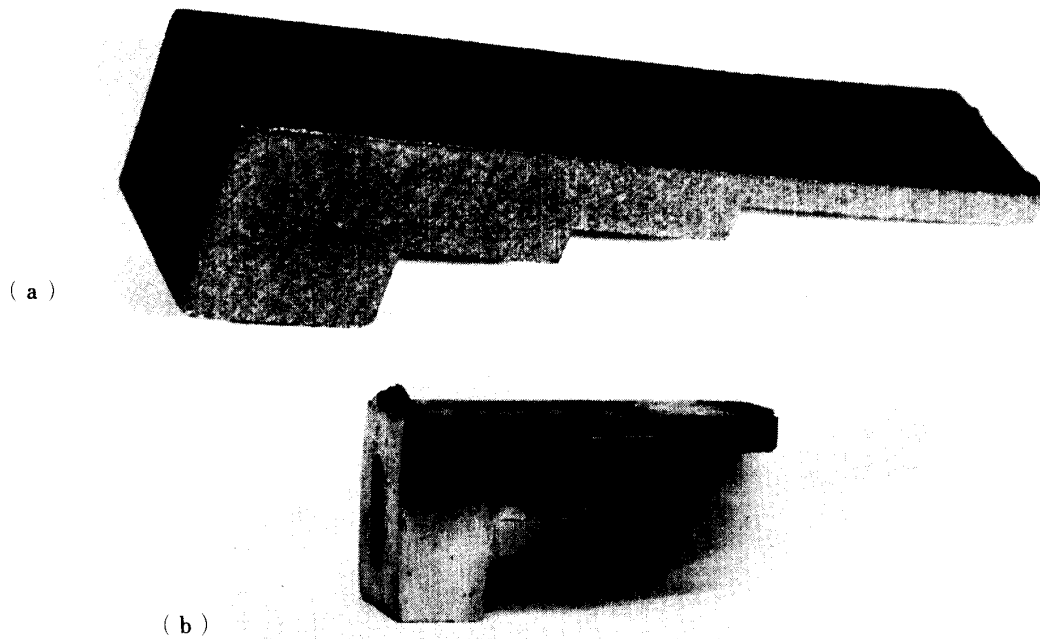


写真 2. 本プロセスによる完成品 (a, b)

7 結 語

以上の研究結果を総括して次の如くまとめる。

1 流動自硬性の流動性試験法には定説がないようであるが本実験で試行した E・W 方式が最も信頼性が高く合理性があることが確められた。

2 この場合 D と h との関係は明らかに反比例の関係にあるが実際には同一平面内の幾何学的変化ではないから一次曲線ではないことを考慮に入れて流動率 D/h を調整する必要がある。

3 流動性を与える第 1 因子は水分の添加量に基因するが余り過多であると強度が低下するから自ら適正な水分に制限値があり、本実験の例が最適であることが解明された。又第 2 因子は界面活性剤の微気泡により液体（水ガラス＋水）の粘性に基く表面張力に逆って各粒子間の間隔を広ろげて流動性を発揮するというこの定義は成立つことを本実験で確められた。なお粒形にも影響することを附記する。

4 可使時間は自由に調節可能であるが 1 時間前後が適当であると考える。

5 配合 % の決定は流動性砂の特性と成型に適応する様考慮すべきで本試行の No.4 前後の程度が最適 % なることが解明された。

6 断面厚み変化（段付）の鋳物に対しては断面接続の工合を配慮して適正なる鋳造方案の計画設計による造型により十分満足し健全鋳物を得ることが確認された。温度勾配も満足な様相を得た。

7 本実験鋳物の如き場合鋳造方案の計画設計に当り湯口、揚りの位置、距離等の決定には次式を応用することが望ましい。有効湯口距離 D_i は鋳物断面厚みの関数として取扱うことが解明

されたからである。

一般には

$$D_i = a(T_i - T_1) + b \quad (1)$$

$$a = 3.2, \quad b = 70 \sim 80, \quad T_i = \text{大厚み}, \quad T_1 = \text{小厚み}$$

又は中間的二元変化の接続断面に対しては,

$$D_i = c(T_i - T_1) \quad (2)$$

$$c = 3.6$$

参 考 文 献

- (1) 龍門 寛著：FSプロセス，日刊工業（昭43.11.20）p.10.
- (2) 鹿島次郎：日本鋳物協会特殊鋳型部会資料（昭41.2.3）
- (3) 森嘉紀他：NIK特殊鋳型部会資料（昭41.2.8）
- (4) 同 上：同 上（昭42.2.26）
- (5) 岡林邦夫他：鋳物 39(9), 660, (1967)
- " 柳沢 福：NIK特殊鋳型部会資料（昭42.2.20）
- (6) H.F.Bishop：“Rising of steel Casting” Trans. of A.F.S. August(1960) p.75~79
- (7) K.K. 福井鋳造（川重との技術提携）のセメント-糖密系と本水ガラス-スラグ系の自硬流動性鋳造と造型と鋳込実験協力