

6.3 鑄造工程の自動化マニュアル

生型造型におけるシステムサンドの管理について

Management for the system sand of green sand molding

田上 勤 村川 悟 樋尾 勝也

Tsutomu Tagami Satoru Murakawa Katsuya Hio

1. はじめに

最近、鑄物の生産性の向上、高品質化、人手不足等の理由から鑄型の造型に生型用の自動造型装置が用いられている。

自動造型装置を設置するに際して、機種を選定は最も重要であるが、また、大変面倒である。そこで、このような場合の便を図るために、現在、製造販売されている生型自動造型装置のメーカー及び仕様の概略をパソコン用のフロッピーディスクに記録した。

また、自動造型装置を使用する場合、最も重要なことは、造型装置及び鑄物形状に適した鑄型砂(システムサンド)の性質の把握と適正值の維持管理であるところから、生型の自動造型に用いるシステムサンドの諸性質と管理方法についても検討した。

2. 生型自動造型装置の仕様一覧

表1は記録したメーカー及び装置名で、記録した機種(形式)数は106である。表2に仕様の項目と内容の一例を示す。

LOTUS又はN88BASIC(MS-DOS版、パソコン:PC-98と付属のプログラム)によって、内容を見ることができる。

表1 生型自動造型装置のメーカー及び装置名

No.	メーカー	装置名
1	東久	AMF無枠造型機
2	東久	AMFⅡ-H無枠造型機
3	東久	TWIN型高速自動造型機
4	豊和鑄機	コンバインド・ジョルト高速自動造型機
5	金森新東	2MM型大型自動造型機
6	金森新東	2MJ型自動造型機
7	太洋鑄機	自動高速造型機
8	太洋鑄機	抜枠造型機(ハードブロー)
9	太洋鑄機	2ステーション型抜枠造型機
10	コーヨー	無枠式全自動高速高圧造型機
11	コーヨー	ローターマチック全自動造型機
12	浪速製作所	無枠式生型高速自動造型機
13	浪速製作所	2ステーション高速自動生型造型機
14	浪速製作所	5ステーション高速自動生型造型機
15	新東工業	水平割抜型式造型機
16	新東工業	抜枠造型機
17	新東工業	静圧造型機
18	新東工業	層圧造型機
19	DISA	DISA MATIC
20	DISA	DISA FORMA
21	DISA-BMD	AIROPACT
22	DISA-BMD	AIROMATIC
23	GEORGE FISCHER	インパクト造型装置
24	豊和工業	豊和ハンター造型機

表2 生型自動造型装置の仕様(例)

<No. 1>

1	メーカー	東久
2	装置名	AMF無枠造型機
3	形名	AMF-II
4	型式	04
5	造型方式1	ブロースクイズ
6	造型方式2	トップブロー・上下型垂直同時造型
7	分割	水平
8	枠有無	無枠
9	鑄型寸法	420×300 90-135/90-135
10	造型速度	30 sec/cycle
11	ジョルト方式	
12	ジョルト容量	
13	スクイズ圧	4-10 Kgf/cm ² 3段階切替
14	スクイズ力	
15	ブロー圧力	
16	空気消費量	0.7 Nm ³ /cycle
17	空気圧力	
18	油圧ユニット	15 KW
19	真空ユニット	
20	冷却水	
21	その他1	
22	その他2	
23	その他3	
24	特徴1	砂充填性がよい
25	特徴2	4本のセンタピンで型合、高精度の離型
26	特徴3	パターンチェンジが容易
27	特徴4	
28	特徴5	
29	備考	

3. システムサンドの保有量

よい鑄型を造型するためには、よい鑄型砂の供給が不可欠である。すなわち、生型自動造型におけるシステムサンドの諸性質は造型方法（ブロー、スクイズ、ジョルト、静圧、インパクト等）及び模型形状に適合したものでなければならない。また、いつも健全なシステムサンドを維持するための基本的条件は、鑄物生産量に見合ったシステムサンドの保有である。

鑄物不良の過半数は鑄型及び鑄型砂に起因しているのが現実である。また、この原因の大半は型砂温度の高過ぎ及び砂の老化である。このような現象をもたらすことになった原因は少ない鑄型砂を繰り返し使用するためである。以下、システムサンドの保有量を例をあげて検討する。

[例] 1日の鑄型砂の使用量

鑄型のかさ密度：一般の生型砂の充填かさ密度は約 1.41 g/cm^3 である。

枠サイズ： $600 \times 500 \times (250 + 250)$ (単位：mm)

枠の容積： $60 \times 50 \times (25 + 25) = 150000 \text{ cm}^3$

鑄物重量：鑄鉄鑄物、中子なし、比重 7.25 、湯口系を含めて 22 kg

鑄物体積： $22 \times 1000 / 7.25 = 3034 \text{ cm}^3$

1枠の砂重量： $(150000 - 3034) \times 1.41 / 1000 = 207.2 \text{ kg}$

スプリットサンドを含めて 約 210 kg

$210 \times 500 = 105000 \text{ kg}$, 105 ton

1日に 500 枠造型する場合、延べ鑄型砂使用量は 105 ton である。

この例では1日に 105 ton の鑄型砂を使用することになる。この $2 \sim 3$ 倍の鑄型砂保有量があれば砂温の上昇の問題は発生しないであろう。

回収砂の貯蔵タンクはサンドビン型が良い。ホッパー型のタンクはタンク壁にタンク容量の $1/2 \sim 1/3$ の砂が付着するので、実際に使用できる砂量は少なくなる。

4. 鑄型砂の温度とねかせ効果

4.1 鑄型砂の温度

鑄型砂の保有量が少ない場合、1日に何回も同じ砂が循環する。1回の注湯で回収砂の温度は $5 \sim 10^\circ\text{C}$ 上昇する。循環回数が $5 \sim 6$ 回ともなれば砂温が 50°C 以上にもなり、回収砂を冷却しなければ造型に支障をきたし、不良が発生し易くなる。また、鑄型砂の管理も大変困難となる。

鑄型砂の温度が高すぎる場合、造型時に水分が減少したり、砂が模型にしみつき易くなり、鑄肌の荒さの原因となるので、砂温は40℃以下で使用するこゝである。

図1はアルミ合金模型における砂温度としみつき量の関係を示したもので、模型に離型剤を塗布しない場合は、砂温の上昇とともにしみつき量が多くなる。樹脂模型や模型にペンキを塗った場合も同様にしみつき量が多くなる。しかし、木型の場合は砂温が上昇しても、しみつきは少ない。

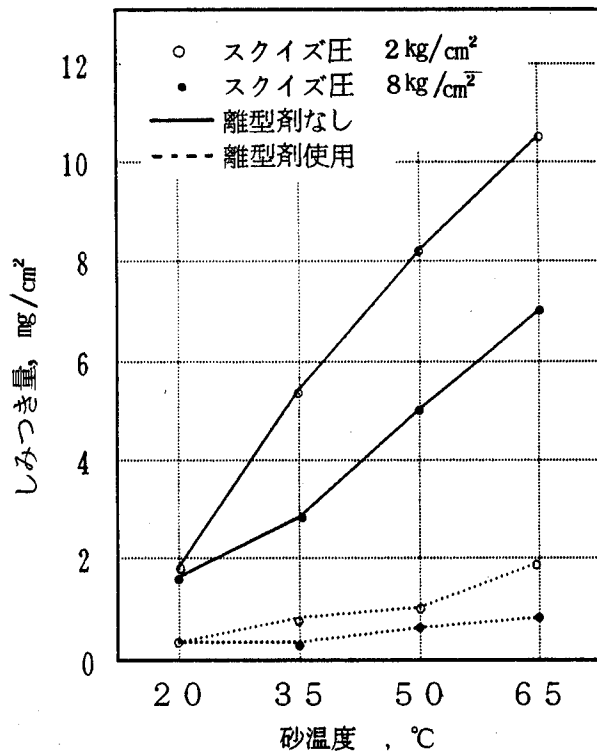


図1 砂温度としみつき量の関係
(模型:アルミ合金 水分:3%)

4.2 加熱によるベントナイトの分解

図2は各種ベントナイトの加熱温度と活性粘土分の関係を示す。

この図からベントナイトは約600℃以上の温度に加熱されると分解して活性粘土分がなくなることが判る(Naベントナイトは約650℃以上で、Caベントナイトは約500℃以上で分解する)。

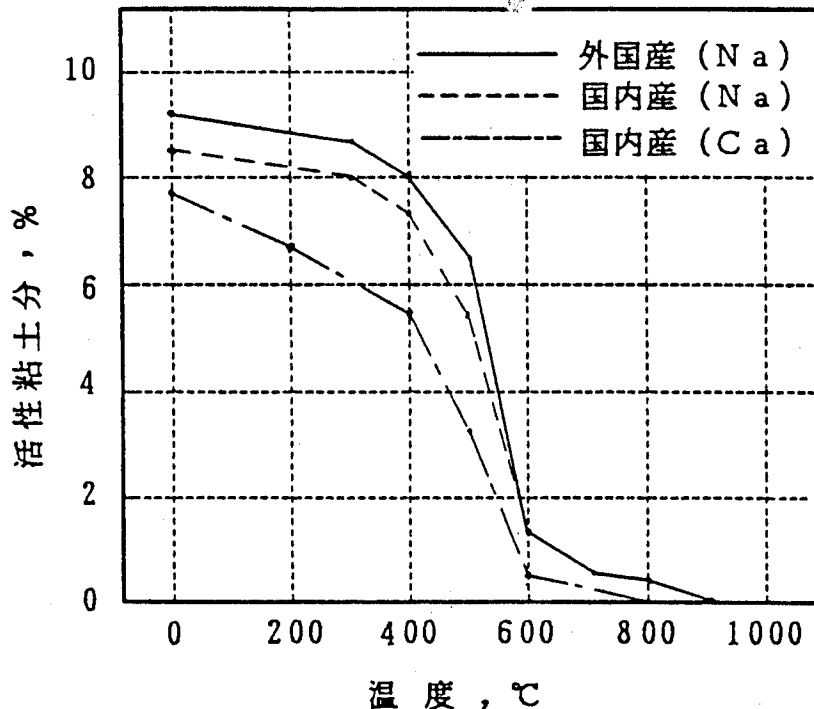


図2 ベントナイトの熱劣化特性

図3は鑄鉄溶湯の鑄込み温度1300~1400℃の場合の鑄物表面からの距離と鑄型が到達する最高温度の関係を示す。この図から鑄込みによって、鑄型が約600℃以上に加熱され、活性粘土分がなくなる鑄型の厚みが推定できる。

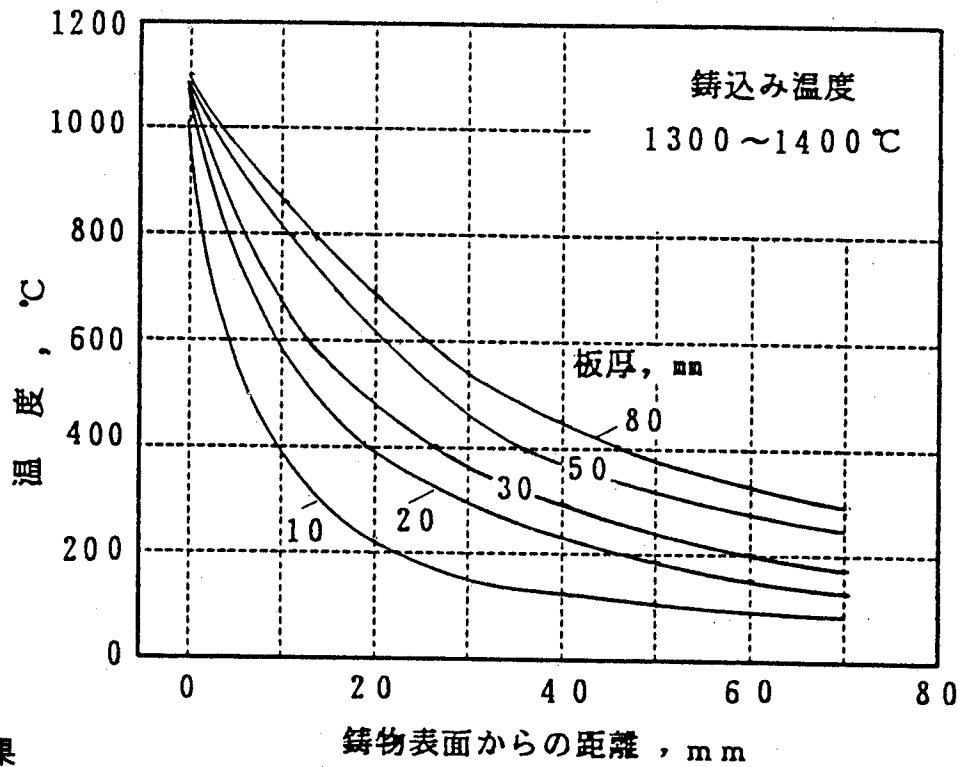
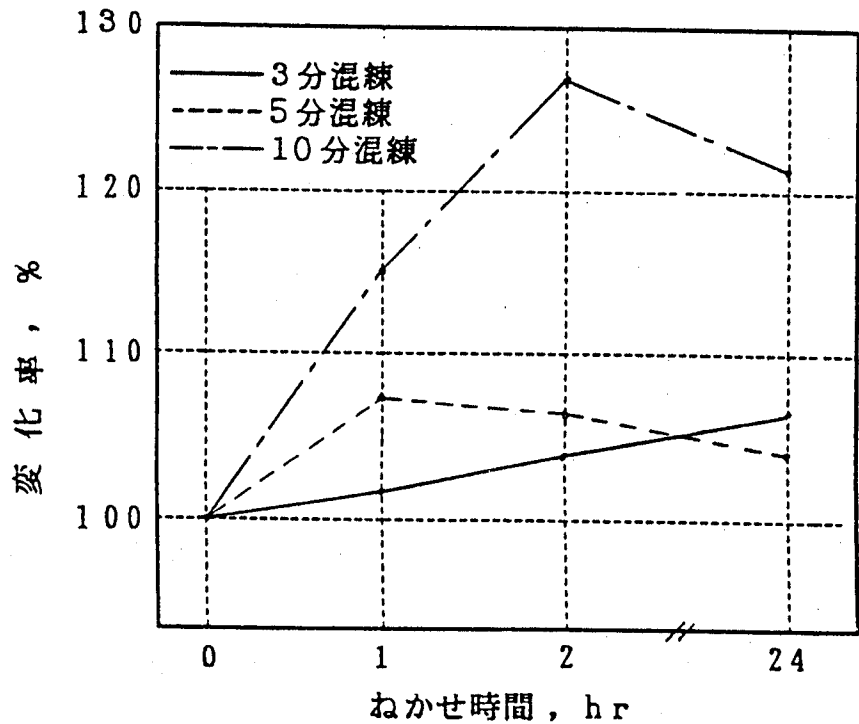


図3 鑄物表面からの距離と鑄型が到達する最高温度の関係

4.3 ねかせ効果

生型中のベントナイトは上記のように約600℃以上に熱せられると分解してしまい再度、水を添加してもはや粘結力は生じない。しかし、この温度より少し低い温度に加熱されたベントナイトは完全に分解はしていないが層間水が減少している。これに水分を補給すると長時間かけて層間水が充足され粘結力が回復する。この現象が所謂ねかせの効果である。



$$\text{変化率(\%)} = \frac{\text{ねかせ後の圧縮強さ}}{\text{ねかせなしの圧縮強さ}} \times 100$$

図4 古砂のねかせ効果

図4は回収砂(古砂)のねかせ時間と圧縮強

さの関係である。この図の変化率は回収砂をねかせて混練したものと、ねかせずに混練したものの圧縮強さの比を示すもので、ねかせ時間及び混練時間が長い程、圧縮強さが高くなる。

このように、生型砂は湿った状態で長時間放置して熟成させることで、脱水状態のベントナイトの粘結力を回復することができる。従って、鑄型砂をできるだけ大量に保有し、ある程度水分調整した砂をできるだけ長時間放置することが重要である。このような砂を用いて混練した鑄型砂は粘結力が増大して、表面安定性、抜型性などが良くなり、造型し易い。

一方、砂の保有量が少ない場合、1日に何回も繰り返し使用することになり、たとえ砂温をクーラーで冷却しても、このようなベントナイトの特性が充分現われないので、ねかせ効果は得られない。その結果、ベントナイトの添加量を多くすることにつながる。

砂温の上昇を防止するにはサンドクーラーの使用もあるが、基本的には鑄型砂を十分に保有することである。少なくとも、1日の使用量以上の砂を保有すべきである(ライン及びコンベア上の砂量も加味すること)。

5. 混練

5.1 混練装置

混練機は従来からローラーで混練するタイプのシンプソン型を基本としたものが多く用いられている。

また、最近はアジテータミキサーを用いるところも増えてきた。

現在のところ、どちらが良いかは結論が出ていないが、混練による鑄型砂の強さはローラー式の方が少し高くなるようである。一方、アジテータミキサーは砂のダマの発生が少なく、エアレートされた状態であるので、造型性は良い。

予備混練にはローラー型のミキサーを用い、本混練にアジテータミキサーを用いるのも良い方法の一つである。

ブロー方式、静圧造型、インパクト方式などの造型機はダマが造型性を害する。このような場合、アジテータミキサーを用いるか、ローラー型の場合はエアレートして造型に供した方が良い。

5.2 混練時間

生型砂の強さは主としてベントナイトの粘結力によるものである。

回収砂は新砂、ベントナイト等を補給し、水分を調整しながら混練する。この混

練によってベントナイトの分子構造中に水分を取り込むことで粘結力が得られる。

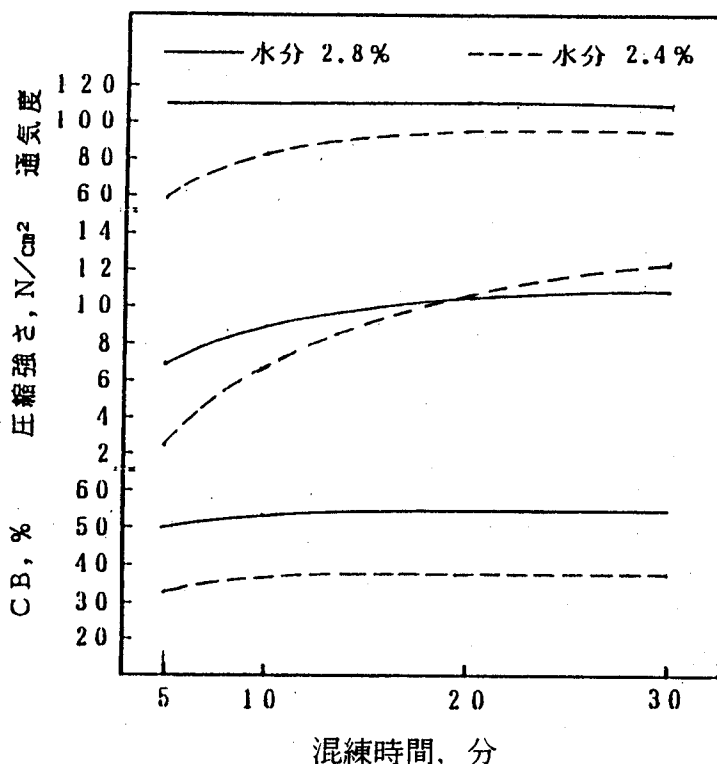
したがって、混練が足りない場合はベントナイトの粘結力を十分に発揮することが出来ない。

図5は小型シンプソン型ミルによる混練時間と鑄型砂の性質の関係である。

圧縮強さは混練時間に
 応じて上昇し、通気度、
 CB値(充填性)は10分
 以上で安定している。実
 際にはこのような長時間

の混練は出来ないが、最低でも正味4分間の混練は必要である。

また、水分の少なめの状態で予備混練して、ねかせた後、水分調整しながら本混練するのがよい。



三河珪砂6号 3000g, ボルクレー270g
 石炭粉70g を小型サンドミルで混練

図5 混練時間と鑄型砂性質の変化

5.3 混練機の容量

造型速度に対して造型機の混練能力が足りない場合、混練不足の砂となり、鑄型の強度不足、あらされ等の原因となる。混練機の大きさを例によって試算してみる。

[例] 混練サイクルが5分の場合の混練機の大きさ。

造型速度(サイクルタイム) : 40秒/枠

1時間の造型数 : 90枠

1枠の砂重量 : 210kg

1時間の砂使用量 : $210 \times 90 = 18900$ kg

1時間の混練回数 : 12回

1回の混練量 : $18900 \text{ kg} / 12 = 1575$ kg

1バッチ 1.6ton以上の能力の混練機が必要である。

6. 生型砂の管理

6.1 生型砂の材料

一般の生型砂は基材に珪砂を、粘結材にベントナイトを用い、熱膨張の緩和や抜型性などの改善のために補助剤を添加する。

6.1.1 珪砂

珪砂は耐熱性の点から SiO_2 分が 95% 以上のものが望ましい。また、角形より丸形の方が同じ粒度でも表面積が小さいので、粘結材が少なくすむ。

珪砂は加熱されると 573℃ で変態を生じ、これに伴って急激に膨張する。これが原因で絞られ、すくわれなどの鑄造欠陥が発生する。繰り返し使用されて何度も加熱された回収砂は変態に伴う熱膨張が少ない。したがって、システム砂を新しく配合する場合は、回収砂の配合率を多くしたほうが熱膨張の少ない鑄型砂になる。

6.1.2 ベントナイト

ベントナイトには Na 系と Ca 系がある。ベントナイトを加熱すると、Ca ベントナイトは 500℃ 付近、Na ベントナイトは 650~700℃ で、結晶水が抜けて分解する。

一般に Ca ベントナイトの方が生型強度が高いが、耐熱性は上記の理由で Na ベントナイトの方が良い。また、Ca ベントナイトを改良して Na ベントナイトの特徴を兼ね備えたものもある。

6.1.3 その他の添加剤

珪砂にベントナイトだけを配合した生型砂は熱膨張率が比較的大きいため、絞られ、すくわれ等の鑄造欠陥が発生しやすい。これを防止するためには石炭粉、木粉等を添加する。

石炭粉、木粉等は鑄込み時にガスを発生するので添加量が多すぎないように注意すること。生型砂の強熱減量が 4% 以上になるとガスふかれが発生しやすくなる。

6.2 生型砂の配合と管理

鑄型に要求される性質は耐熱性、通気度、鑄型強度などであり、鑄型造型に要

求されるものは充填性、抜型性などである。

生型砂の配合を定める場合、通気度と鑄型の強さを第一の目標にすべきである。

6.2.1 通気度

目標とする通気度を得るために砂の粒度構成を定める。

砂の粒度構成は65~100メッシュを中心にしたものが一般的である。鑄肌を美しくするために細かい砂を使用する場合は通気度に充分注意すること。

200メッシュより細かい砂や微粉は通気度を低下させるので、少ない方がよい。特に270メッシュやパンなどは著しく通気度を低下させるので1%以下にすること。

図6は6号珪砂にベントナイト(ネオクニボンド)を9部、石炭粉2部を配合した生型砂と、これに微粉(900℃で加熱分解したベントナイト)を4%添加したものを比較したものである(小型サンドミルで15分混練)。一般的なCB値40における通気度は微粉4%の添加で140から105に低下しており、微粉の増加が通気度を低下させることが判る。

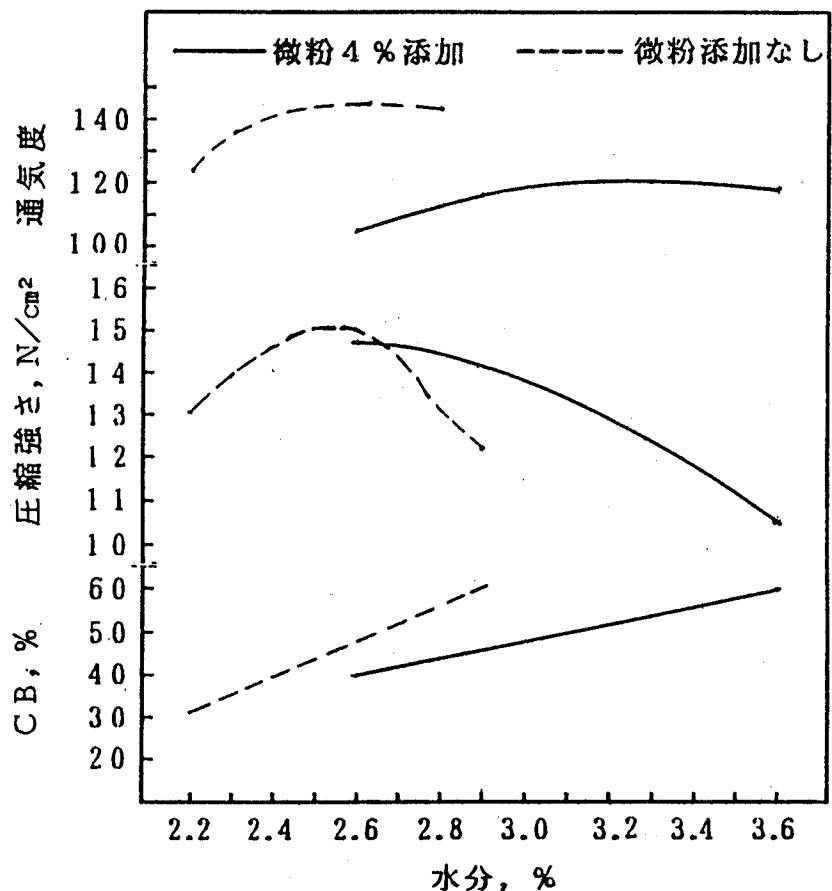


図6 鑄型砂の微粉の影響

6.2.2 圧縮強さとベントナイト添加量

最良の充填性が得られるCB値(コンパクタビリティ)及び圧縮強さの目標値を設定する。一般的には、ブロー方式の造型機の場合は、CB値は35~40%程度、ジョルトスクイズ方式の場合は40%前後の鑄型砂が用いられている。

水分は目標とするCB値を得るためにベントナイト量との関連で調節すべきものである。

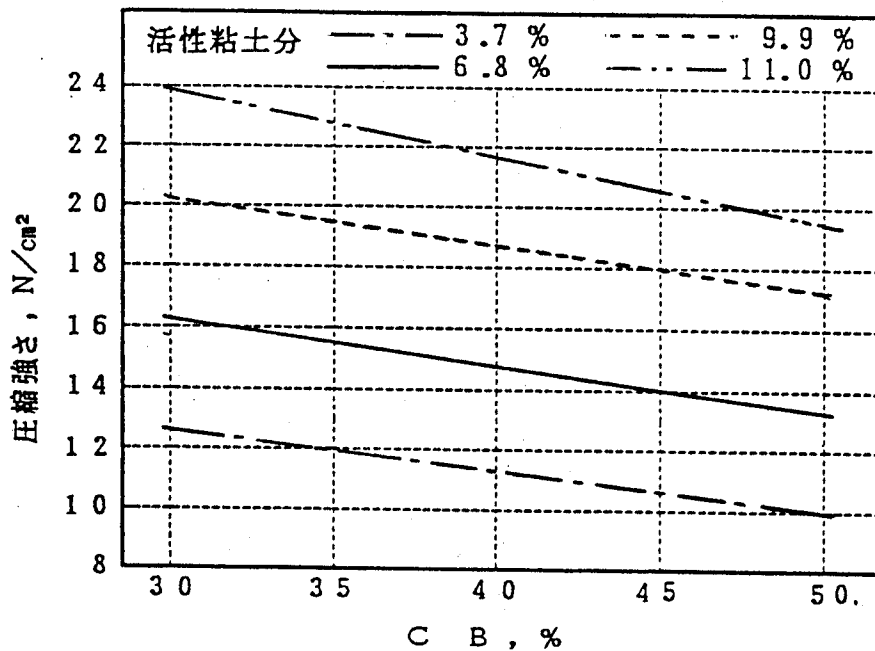


図7 CBと圧縮強さの関係

表3 A 鑄造工場のシステムサンドの粒度分布

μ m	840	590	420	297	210	149	105	74	53	パン	全粘土分
(メッシュ)	20	28	35	48	65	100	150	200	270		
%	0.1	0.5	4.0	13.3	38.0	21.9	7.1	1.8	0.8	1.6	10.9

(活性粘土分 6.8%)

図7は、表3に示すA鑄造工場のシステムサンドのベントナイト添加量を変えて活性粘土分と圧縮強さ及びCB値の関係を調べたものである(6号珪砂、ベントナイト：ボルクレイ、実際に使用しているものは活性粘土分6.8%)。

このデータを重回帰分析した結果、圧縮強さと活性粘土分との間の相関係数が最も高い($r=0.90$)。

したがって、目標の圧縮強さを得るに要するベントナイト量(活性粘土分)はこのようなデータに基づいて求めるのがよい。

なお、この鑄型砂の圧縮強さ、CB値等は次式の関係があった。鑄型砂はこのような関係を求めておいて、これを管理に利用すべきである。

$$\text{圧縮強さ (N/cm}^2\text{)} = 1.315 \times \text{活性粘土分} - 0.132 \times \text{CB} (\%) + 11.2$$

$$(1 \text{ kg f/cm}^2 = 9.8 \text{ N/cm}^2)$$

$$\text{CB} \% = 22.36 \times \text{水分} (\%) - 3.38 \times \text{活性粘土分} - 19$$

6.2.3 CB値と活性粘土分

鑄型砂の造型性はCB値に関係が深く、比較的簡便に混練の現場でも測定できるので、最近はこのによる混練砂の管理法が普及してきた。

鑄型砂の混練に際して、最初は水分を少なめに添加して混練し、CB値を測定して目標値にするための水分追加量を予測する。この予測のためには予め水分とCB値の関係を求めておく必要がある。

図8は前記のシステムサンドの例であるが、水分とCB値の関係には主として粘土分が影響する。この砂の活性粘土分が

6.8%の場合、CB値を1%高くするためには、約0.04%水分を増やせばよい。最近ではコンピュータによって、この一連の制御を行うものがある。この種の制御装置はCB値或は水分を設定値に自動調節するので大変便利であるが、粘土

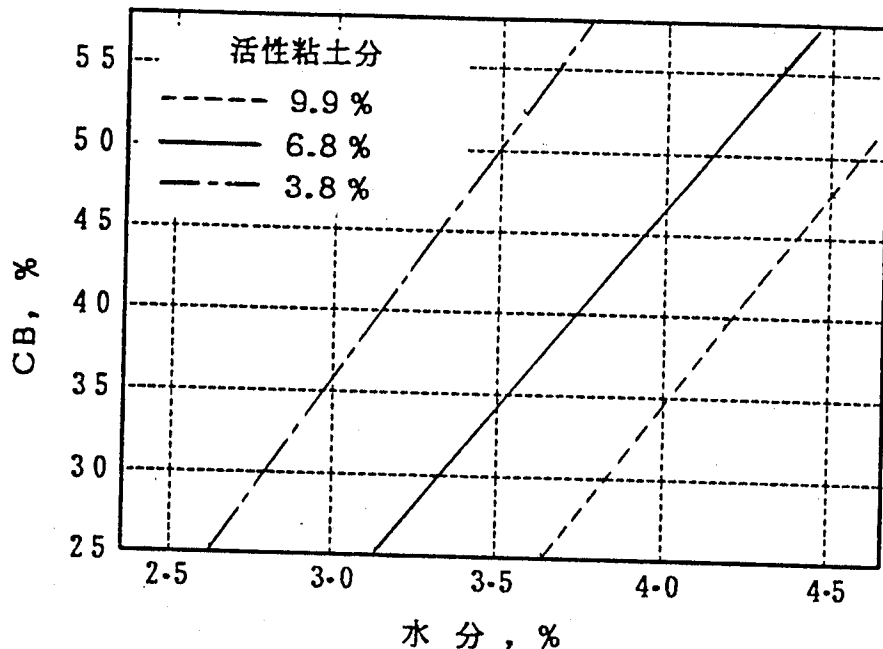


図8 水分とCBの関係

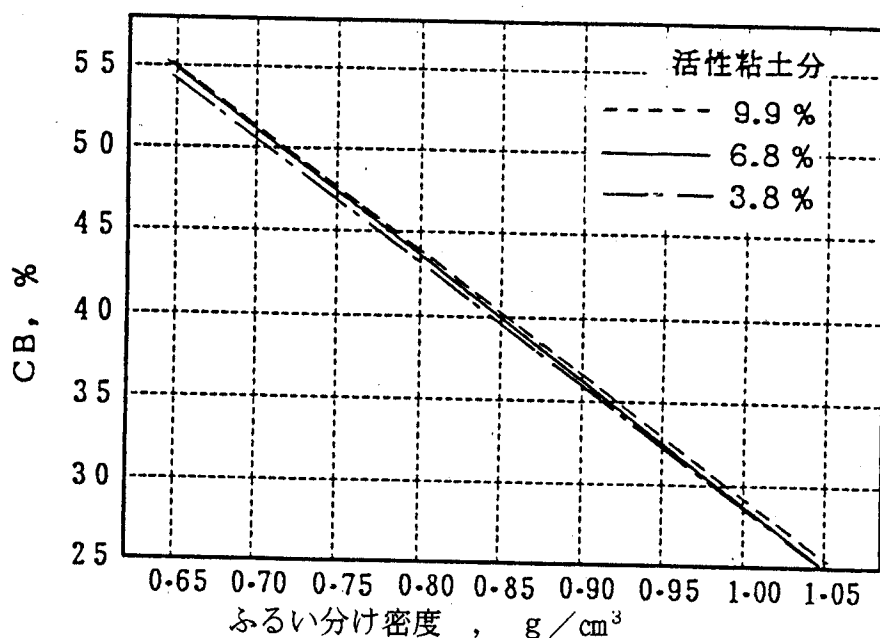


図9 ふるい分け密度とCBの関係

分、活性粘土分等は常に一定に維持管理しなければならない。

6.2.4 ふるい分け密度

図9は図7の鑄型砂のCB値とふるい分け密度の関係を示したものである。

同じラインの

砂では活性粘土分が少々変動しても、この関係は殆ど変わらない。また、CB値が25～55%の間では、ふるい分け密度とCB値は完全に逆比例する。

ふるい分け密度の測定には目開き3.36mm(6メッシュ)のふるいを使用することになっているが、自社の鑄型砂の管理に用いる場合は、このふるい目にこだわることはない。

図10は、同じ鑄型砂(活性粘土分:6.8%)のふるい分け密度を、目開き3.36mmと5.5mmのふるいを用いて測定したものである。この例からふるいの目開きが5mm程度でも利用できることが判る。この砂の場合、CB値が25～55%の間では、目開き3.

36mmのふるい分け密度とCB値の関係は、式(1)になり、目開き5.5mmのふるいの場合には式(2)のようになる。

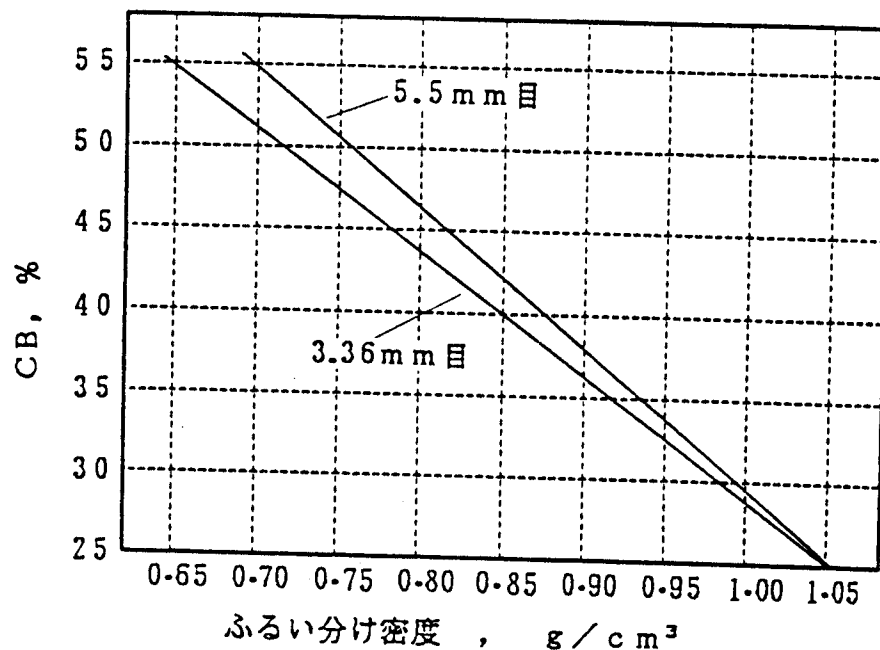


図10 ふるい分け密度とCBの関係

目開き3.36mmのふるい

$$CB\% = 103.1 - 74.44 \times D \quad (1)$$

目開き5.5mmのふるい

$$CB\% = 113.1 - 83.64 \times D \quad (2)$$

D: ふるい分け密度 (g/cm³)

6.2.5 測定回数

鑄型砂の強さは主に活性粘土分による。鑄込みによって加熱された粘土や石炭粉などの添加剤は分解して減少する。この減少量はサンドメタル比やばらし時間によって異なる。

サンドメタル比が余り変動しない場合は活性粘土分の測定回数は1日に1回程

度でよい。しかし、サンドメタル比が大きく変動する場合は、回収砂の活性粘土分を測定又は予測してベントナイトの添加量を調節しなければならない。

全粘土分、活性粘土分、砂の粒度分布、オーリティック分等の鑄型砂の構成が一定に維持され、十分に混練された鑄型砂は当然、目標のCB値又は水分のもとで圧縮強さ、通気度等は余り変化しないので測定回数は少なくてよい。したがって、システムサンドにおいては、これらの鑄型砂の構成成分を一定に維持することが重要である。

造型性に直接関係するCB値は混練毎に測定する。水分、通気度、圧縮強さ、砂の温度等は時間を定めて測定する。

砂の全粘土分や粒度分布の測定は時間を要するので、毎日測定するのが困難な工場が多い。このような場合、通気度、圧縮強さ、CB値、水分等の測定値の変化に注意する。

通気度が下向又は上昇する場合は粒度分布に変化があるので、直ちに粒度分布や活性粘土分等を測定して対処することが肝要である。

7. おわりに

鑄物生産量が倍増しても鑄型砂の処理設備がそのままの状態では、必ず、鑄型砂に起因する問題が生じる。

鑄物生産量が増大すれば、それに応じて鑄型砂の使用量も増加する。鑄型砂の混練能力やシステムサンドの保有量もそれに見合って増加させる必要がある。

生型砂は回収砂の粒度分布や粘土分及び混練砂の水分等の変動によって、各種の測定値はばらつき易い。実際に鑄型砂に変化が生じている場合でも、短期間の測定値を調べただけでは明確には判らない。

鑄型砂の測定値は管理図等に記入して、長期間(1年間)のデータが一目で見えるようにしておけば、変化が判り易い。もし、変化の兆しが見えてきたら、その時点で早急に対処すること。この際、各種の測定値との関連性を検討することも重要である。

(注)

図2 ベントナイトの熱劣化特性

日本鋳物協会東海支部 25回無機砂型部会資料

図3 鋳物表面からの距離と鋳型最高温度の関係(F C)

鋳物, 62(1990)10 P 861 図2.69

図4 古砂のねかせ効果

日本鋳物協会研究報告38 P 37 図25

参考文献

- (1) システムサンドの安定化に関する研究 日本鋳物協会 研究報告38
- (2) システムサンドの制御に関する研究 日本鋳物協会 研究報告45
- (3) システムサンドの特性と鋳型品質に関する研究 日本鋳物協会 研究報告56
- (4) 生型の温度と密度管理

野村, 鋳物工場の90年代の技術と経営(日本鋳物協会講習会テキスト)