
鑄造技術特集

乾式流動N鑄型	47
鑄鉄の金型鑄造技術の解析	52
鑄鋼羽根車の精密鑄造化	58
原子タービン用ダイヤフラムの製造	62
含Ni13%クロム鑄鋼の諸特性	67
マグネシウムダイカスト利用によるタイプライタ部品の機械加工の省力	71

乾式流動N鑄型

Study on Dry Type Fluidized Moulding Sand by N Process

高野 憲三* 園 清 見**
Kenzô Takano Kiyomi Sono

鶴谷 貞夫** 西山 太喜夫***
Sadao Turuya Takio Nishiyama

要 旨

ケイ酸ソーダ水溶液とケイ素粉末との発熱を伴う反応を利用して、鑄型を製作するNプロセスの流動化の研究を行なった。界面活性剤を使用しない方法で、乾燥ケイ砂のような流動性を持ち、注入するだけで鑄型を製作することができる乾式流動N砂を開発した。

この鑄型砂を用いて製作した鑄型はNプロセスと同様に、大物鑄物に適用できる見通しを得た。本報では乾式流動N鑄型の性質および実用化実験を行なった結果を述べる。

1. 緒 言

最近の鑄物業界における造型技術はめざましい発展を遂げつつある。この約10年間に、無機系または有機系の粘結剤を使用した多くの造型法が開発されている。その一つにソ連で開発されたFS法⁽¹⁾は画期的な造型法であり、省力化、生産性の合理化および作業環境の改善が期待できるものとして注目されている。

日立製作所にはNプロセス⁽²⁾と称するすぐれた鑄型の製法がある。数年来、このNプロセスに流動性を与え、つき固めせず、注入するだけで鑄型を作る方法の研究を行ない、界面活性剤を用い、気泡(きほう)を作って流動性を与える湿式流動N鑄型⁽³⁾と界面活性剤を用いないで乾燥ケイ砂のような流動性を与えた乾式流動N鑄型⁽⁴⁾⁽⁵⁾を開発した。これらのものはいずれもNプロセスのすぐれた特長を持っている。ここでは経済的にも実用的にもすぐれた乾式流動N鑄型の研究経過と鑄鉄鑄物への応用について述べる。

2. 乾式流動N鑄型とスラグ系流動鑄型との比較

Nプロセスは周知のように、ケイ酸ソーダ水溶液と金属シリコンとの発熱を伴う反応を利用して耐火物を強固に結合させて鑄型を作る方法である。本法が実用化された当初、シェルモールド砂のような乾燥ケイ砂に近い流動性を持つ鑄物砂を開発することを試みたが、乾燥状態にすると発熱反応が起らず、満足する鑄型が得られなかった。

その後、反応を調節するいろいろな方法⁽⁶⁾が見いだされ、それを基盤として、添加した水の大部分を結晶水の形に変えたり、あるいは吸着させる独創的着想により、界面活性剤を使用することなく、鑄物砂に乾燥ケイ砂に近い流動性を与えることができた。これが乾式流動N砂である。結晶水に変形した水および吸着水はケイ酸ソーダと金属ケイ素との反応に関与し、Nプロセスと全く同様に発熱してケイ酸ソーダは硬化し、ケイ砂を強固に結合させて鑄型を作る。しかも余分の水は鑄型の外に追い出される。そのため、鑄型中の残留水分が非常に少ないので、鑄型は乾燥する必要がない。したがってこの鑄型は溶湯のような高温に接触してもガスの発生量はきわめて少ない。

一方、セメントまたはスラグ-ケイ酸ソーダ水溶液系に界面活性剤を添加した自硬性流動鑄型⁽⁷⁾(以下スラグ系流動鑄型と略称

する)。においては、添加した水の大部分は水和物あるいは結晶水に変形して鑄型の中に残る。これは乾式流動N鑄型におけるように鑄型の外に追い出されるのと全く異なる。そのため、外見上は残留水分が少ないように見えるが、溶湯のような高温に接触すると、水和物および結晶水はもとの水に戻り、これがガス化するので、鑄物に吹かれやピンホールなどの欠陥が発生しやすい。

またスラグ系流動鑄型では界面活性剤を使用し、気泡を形成させて流動化したものであるから、補助手段を加えても鑄型砂の充填(じゅうてん)率および抗圧力を大幅に変えることができない。乾式流動N鑄型は自由に所要の充填率にあげることができ、また抗圧力も変えることができる。

3. 乾式流動N鑄型

Nプロセスが実用化され始めたころ、シェルモールド砂のような乾燥ケイ砂に近い流動砂を開発する試みがなされたが、乾燥状態にすると発熱反応が起らないため、金型を予熱して反応を進めなければならず、満足する鑄型が得られなかった。その後、反応を調節するいろいろな方法⁽⁶⁾が開発され、それを基盤として、鑄物砂に乾燥ケイ砂に近い流動性を与えることができた。以下にその研究経過を述べる。

3.1 ケ イ 砂

鑄型の基礎研究には日瓢5~6号ケイ砂および遠州6号ケイ砂を使用した。また実用化実験ではサンドブラスト回収砂、コアノック回収砂およびシェイクアウト回収砂を使用した。表1~2は使用したおもなケイ砂の粒度分布および化学的成分を示したものである。

3.2 試験片の作成方法および流動性の測定方法

試験片は300×300×300(mm)の木わくの底部に50φ×50mmの試験片作製用の割型をおき、約30cmの高さより流動砂を注入し、24時間後に型より取り出して作製した。

乾式流動砂の流動性の測定はまだ決まった方法がないので暫定的に次の方法で行なわれた。

上径75φ、下径150φ、高さ150mmの木製スランプコーンを清浄なガラス板上におき、鑄型砂を満たしたのち、直ちにコーンを垂直に引き上げ、鑄型砂がくずれて広がった径を測定して流動性の良否を表示することにした。

3.3 配 合 割 合

ケイ砂に添加するケイ酸ソーダ水溶液の濃度、添加量および流動促進剤、必要に応じて加える流動化補助剤の添加量について検

* 日立製作所機械研究所 理学博士

** 日立製作所機械研究所

*** 日立製作所機械研究所 工学博士

表1 使用ケイ砂の粒度分布

砂名	メッシュ	14	20	28	35	48	65	100	150	200	270	pan	clay
日瓢第5号ケイ砂		0	0	3.9	26.0	38.2	20.5	8.2	2.0	0.4	0.1	0.1	0.3
遠州6号ケイ砂		0	0	0.1	0.8	14.5	54.6	2.1	1.4	0.1	0.1	0	0.3
サンドブラスト回収砂		0	0.1	0.2	2.2	23.4	37.2	25.6	6.5	1.0	0.4	0.5	3.3
シェイクアウトマシン回収砂		0	0.28	1.1	5.4	28.1	34.7	21.6	4.6	0.5	0.1	0.1	4.1

表2 ケイ砂の化学成分

分析値 ケイ砂名	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Ig. Loss
日瓢5号ケイ砂	92.9	2.5	2.8	0.4	0.8	0.6
遠州6号ケイ砂	78.6	10.8	3.3	1.6	0.9	0.9

表3 乾式流動N砂の基本配合*

材料名	添加量 (%)	摘 要
ケイ酸ソーダ水溶液	2.5	回収砂では 3.0%
流動促進剤	1.0~1.2	
フェロシリコン	1.2~2.0	
流動化補助剤	0.1~0.3	必要ときに添加

* ケイ砂100に対する添加量

討し、表3に示す基本配合を選出した。

この配合割合は耐火剤の種類、ケイ砂（または回収砂）中の微粉の量などにより、若干変える必要がある。

3.4 混砂機、混砂順序および流動性

スラグ系流動鋳型砂を用いて能率よく造型するには、従来の混砂機とは別な専用機と砂の回収設備が必要である。乾式流動N鋳型では専用の装置を用いなくても、従来から用いられている通常の混砂機、すなわち、ワールミキサ、シン普森形ミキサ、小川式攪拌(かくはん)機、品川式万能攪拌機を用いて能率よく混砂できる。また回収砂は多少微粉を含んでいてもよい。

混練方法としては下記するように、ケイ砂にケイ酸ソーダ水溶液、流動促進剤を加えて混合する。混合初期には混合系全体が粘稠(ねんちゅう)になってくるが、さらに混合を続けると乾いた砂のような状態になる。またなかなか流動状態にならない場合には流動化補助剤を入れる。最後にフェロシリコン粉末を入れて均一に混合して取り出す。

混合順序



この流動砂を模型を設置した鋳わくに注入し、上面を平にならして放置すると発熱して硬化し、じょうぶな鋳型が得られる。

図1は乾式流動N砂のスランプコーンを用いて砂の流動状況を測定した結果を示したものである。1-aは比較対照の乾燥ケイ砂の流動状態であり、広がり径は約390mmである。1-bは乾式流動N砂の広がり状態で、広がり径は約390mmで乾燥ケイ砂と差はな

い。表2に示した微粉の比較的多い回収砂を使用した場合の広がり径は約370~380mmで少し低い値となる。いままでの実験結果では広がり径350mm以上あれば鋳型を作るのに十分である。参考のため、この方法でスラグ系流動砂(JIS A 1101に規定された方法で測定したスランプ値は235~240mm)の広がり径を測定した結果は320~330mmであった。

スラグ系流動砂では狭い部分または隅角(ぐうかく)部などは空気の巻込みが起こり、しばしば層状の“しわ”が発生するが、乾式流動N砂では空気が逃げやすいのですみずみまでよく充填し綺麗(きれい)に仕上がる。これは従来のつき固め方式のNプロセス砂(以下込めつけN砂または込めつけN鋳型と略称する。)よりもはるかに良く、乾式流動N砂の一つの特長である。

3.5 反 応 性

混練機の種類によって配合砂が流動性を帯びてくるまでの混練時間は異なり、得られた流動砂の反応性も多少違ってくる。図2は反応性の差を示したものである。

また込めつけN砂よりも、乾式流動N砂のほうが反応が遅い。また特殊な流動化補助剤を使用するとさらに反応を遅延させることができる。

3.6 混合時間と鋳型の性質

ケイ砂にケイ酸ソーダ水溶液および流動促進剤を加え混練した後に、さらにフェロシリコン粉末を加えてからの混練時間B(3.4項混練順序参照)が鋳型の性質に及ぼす影響を調べた。その結果は図3に示すとおりである。

混練時間Bが短いほど、流動砂の広がり径、鋳型の見掛け密度および抗圧力が大きい。これからフェロシリコンを加えてからで

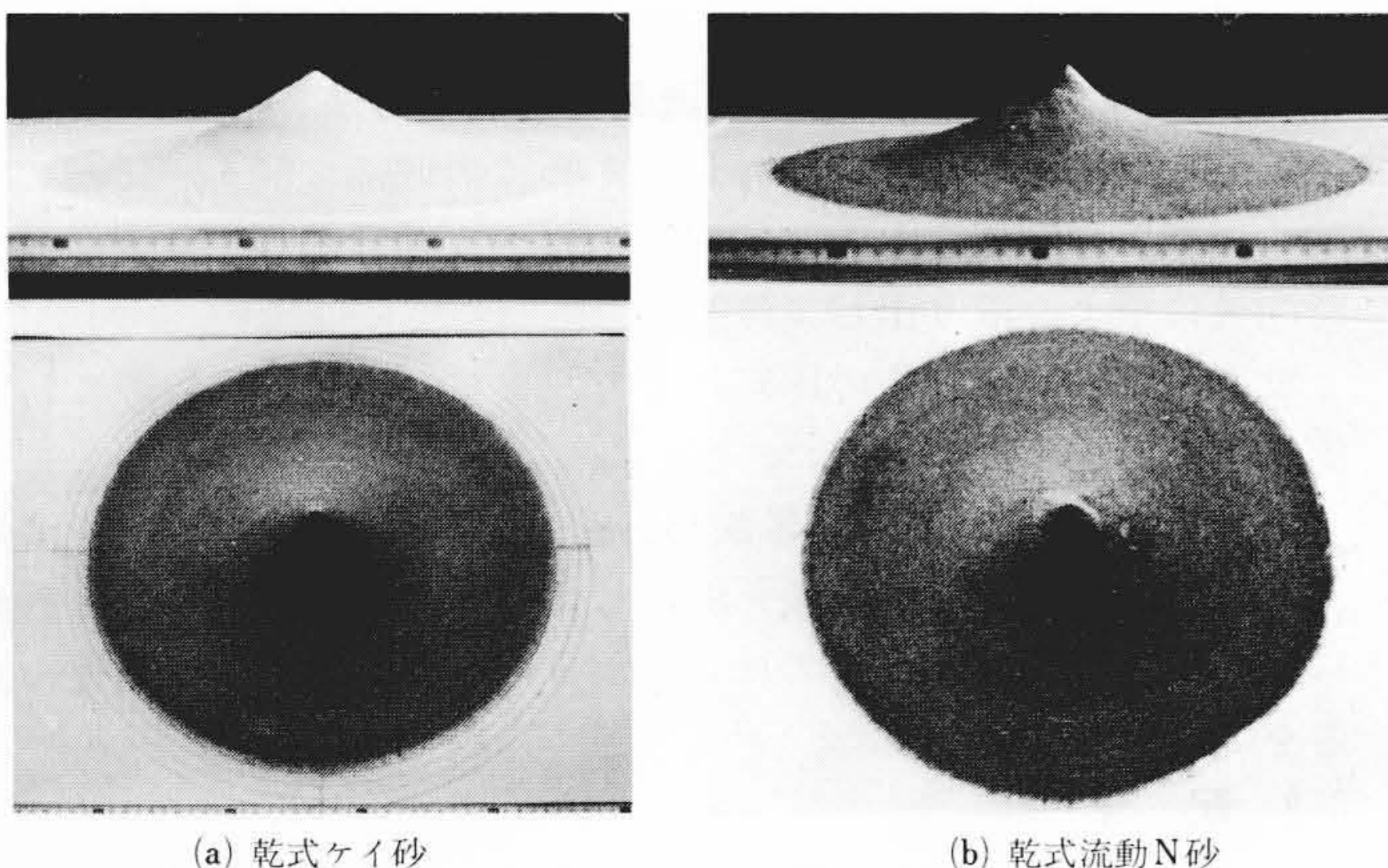


図1 乾式流動N砂の流動性

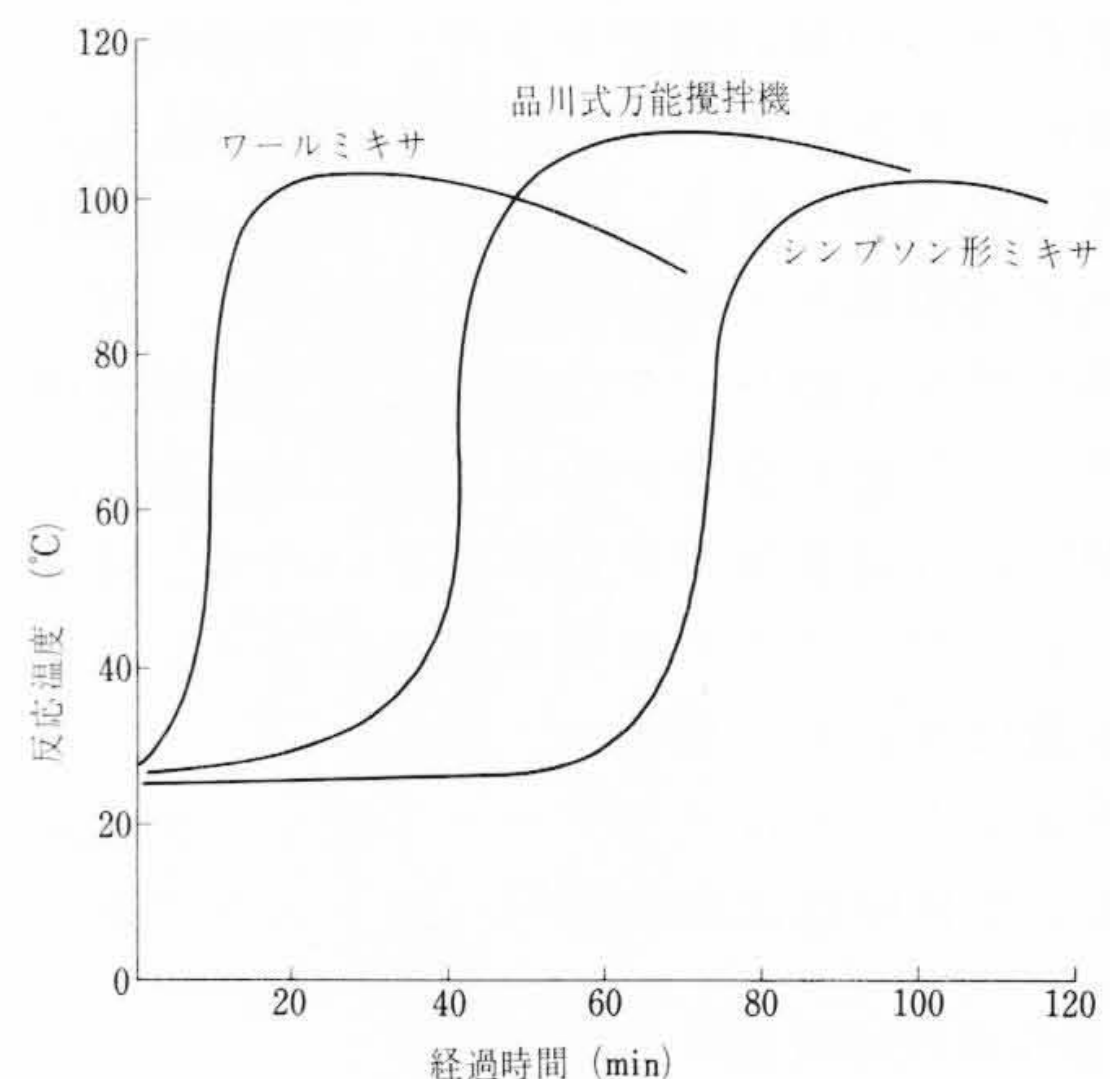


図2 ミキサの種類と流動砂の反応性

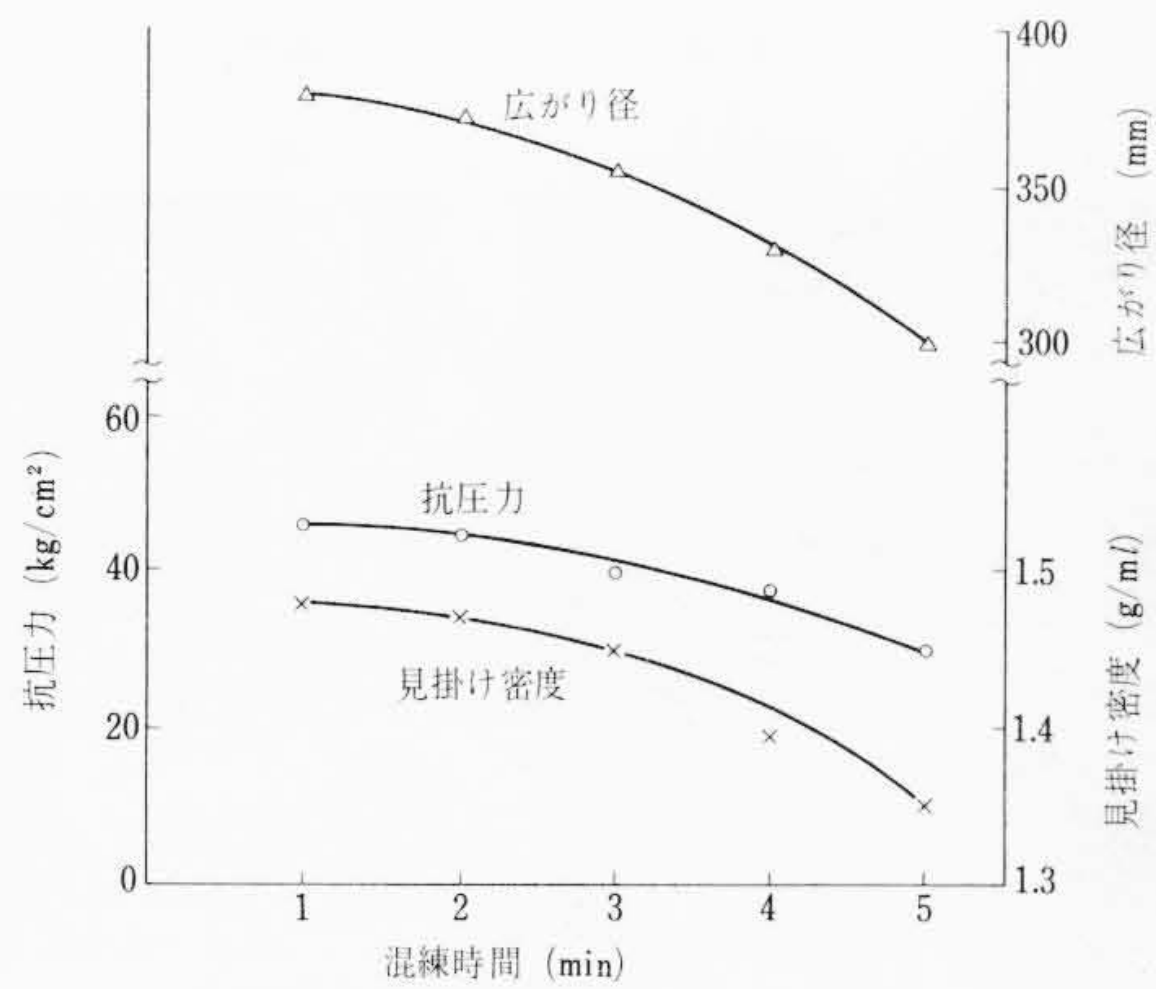


図3 混練時間と鑄型の性質

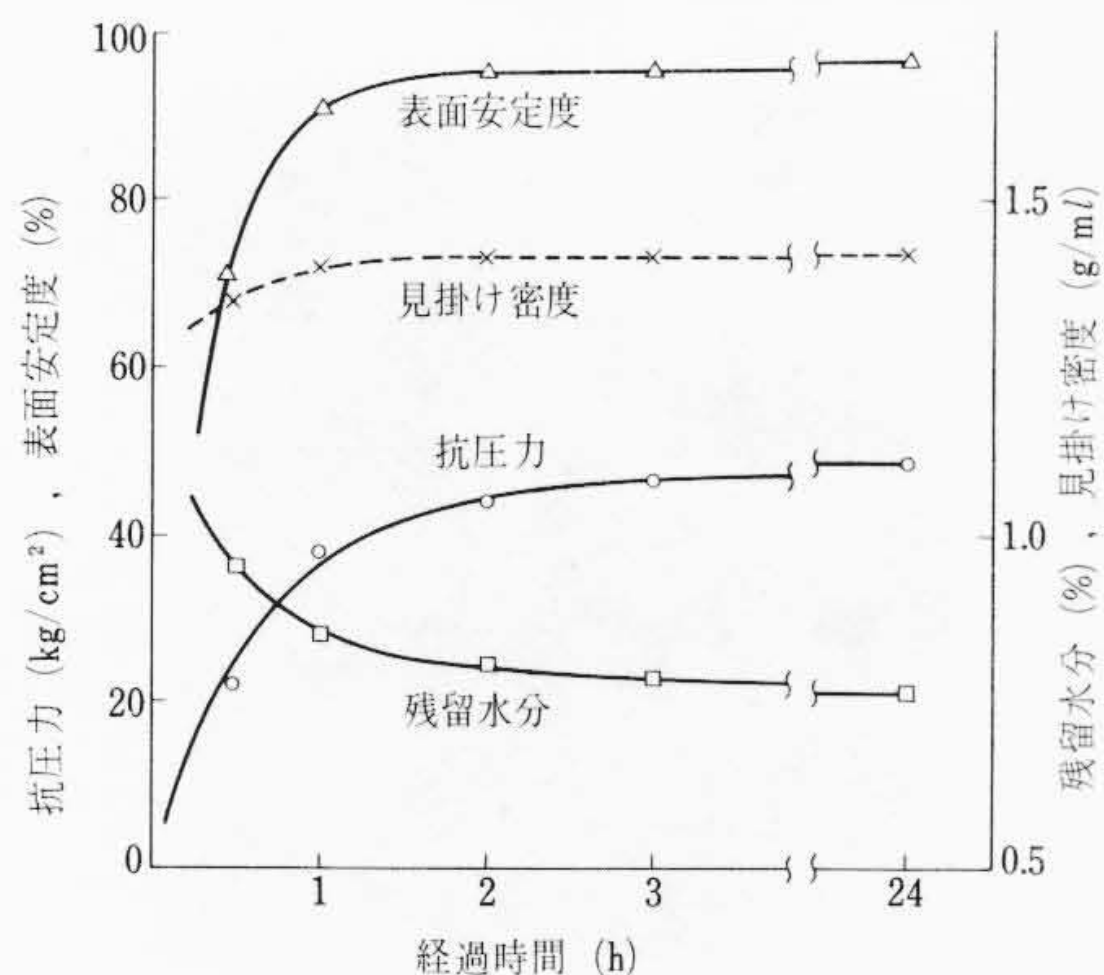


図4 経過時間と鑄型の性質

きるだけ早く均一に混合することがたいせつであることがわかる。

3.7 経過時間と鑄型の性質

配合砂を混練後直ちに注入して造型し、経時的に試験片を取り出して鑄型の性質を調べた。その結果を示したのが図4である。

造型後1～2時間ぐらいまでの間は鑄型の抗压力および表面安定性が急激に増加する。また残留水分は急激に減少する。また、24時間後には残留水分は約0.5%、抗压力は50kg/cm²になった。

24時間後の見掛け密度は1.4前後となり、界面活性剤を使用したスラグ系流動鑄型の見掛け密度1.32～1.36と比較してはるかにすぐれている。

3.8 ケイ砂の種類と流動性および抗压力

ケイ砂の種類および回収方法の異なる回収砂を使用した乾式流動N砂の見掛け密度および24時間後の鑄型の抗压力を測定した結果は図5～6に示すとおりである。これらの結果を見ると角ばった砂よりも、丸みを帯びた砂のほうが流動性の良いことがわかる。丸みを帯びた粒形の良い砂を使用すれば見掛け密度は1.42付近まで上り充填性は非常に良くなる。

抗压力は大部分のものが40kg/cm²以上を示したが、日光6号ケイ砂チクマ6号ケイ砂を使用した場合は30kg/cm²で若干低い。

なお乾式流動N砂はスラグ系流動砂と違って、多少の補助手段（たとえば高所より落下させるとか、振動を与えるなど）を併用すると、見掛け密度は1.5以上、抗压力は70kg/cm²付近まで上げることができる。

また前述した特殊の流動化補助剤を使用すると注入だけで見掛け密度は1.48～1.50、抗压力は50～70kg/cm²となる。この鑄型を使用すると溶湯の浸透を著しく小さくすることができる。

3.9 鑄型の残留強度と高温強度

各種鑄型の残留強度および高温抗压力は図7、8のようになり、残留強度は、

込めつけN鑄型＞乾式流動N鑄型＞スラグ系流動鑄型

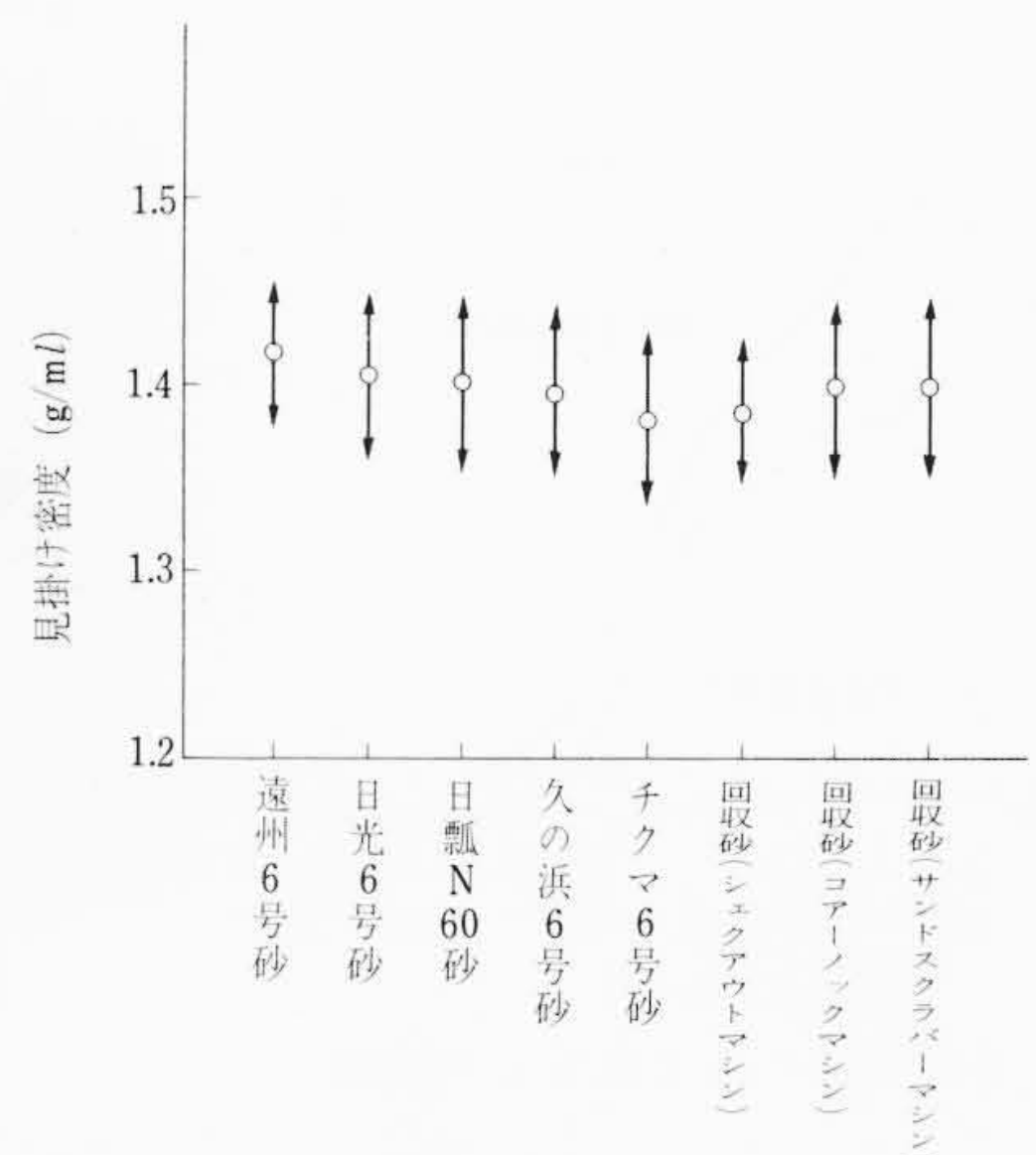


図5 ケイ砂の種類と鑄型の見掛け密度

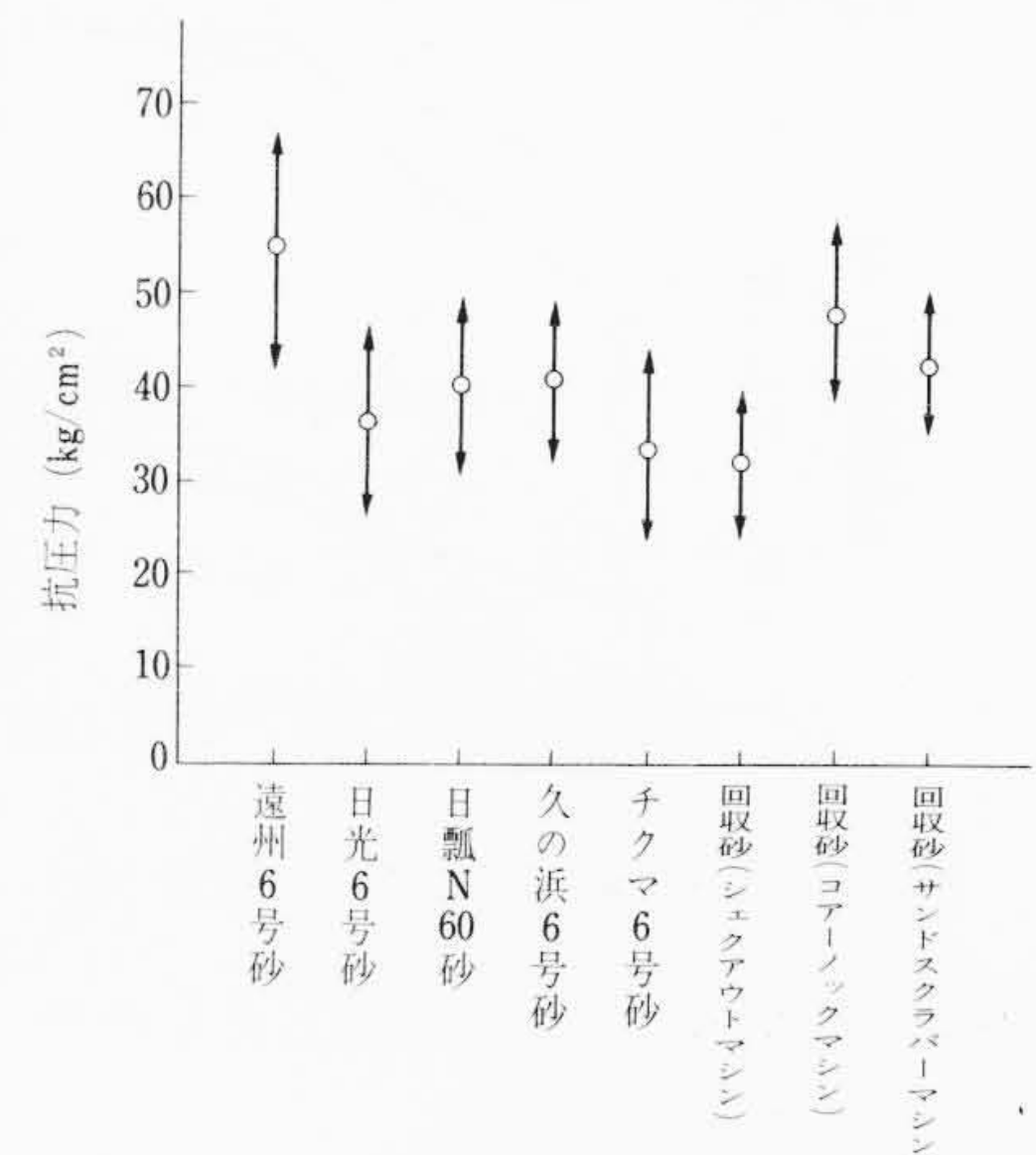


図6 ケイ砂の種類と鑄型の抗压力

の順になる。これから一般に流動鑄型の崩壊性は込めつけN鑄型より良いことが推定される。

高温抗压力は、

込めつけN鑄型＞乾式流動N鑄型＞スラグ系流動鑄型の順である。この結果から、スラグ系流動鑄型では型張り現象が起きることが推定される。後述するが鑄込実験の結果も変形が大きい。乾式流動N鑄型の場合にも多少型張りの傾向があるものと想像されるが、実製品の鑄込結果(後述)は込めつけN鑄型の寸法公差内にはいていた。

3.10 膨張収縮

図9は乾式流動N鑄型およびスラグ系流動鑄型の室温～1,000℃

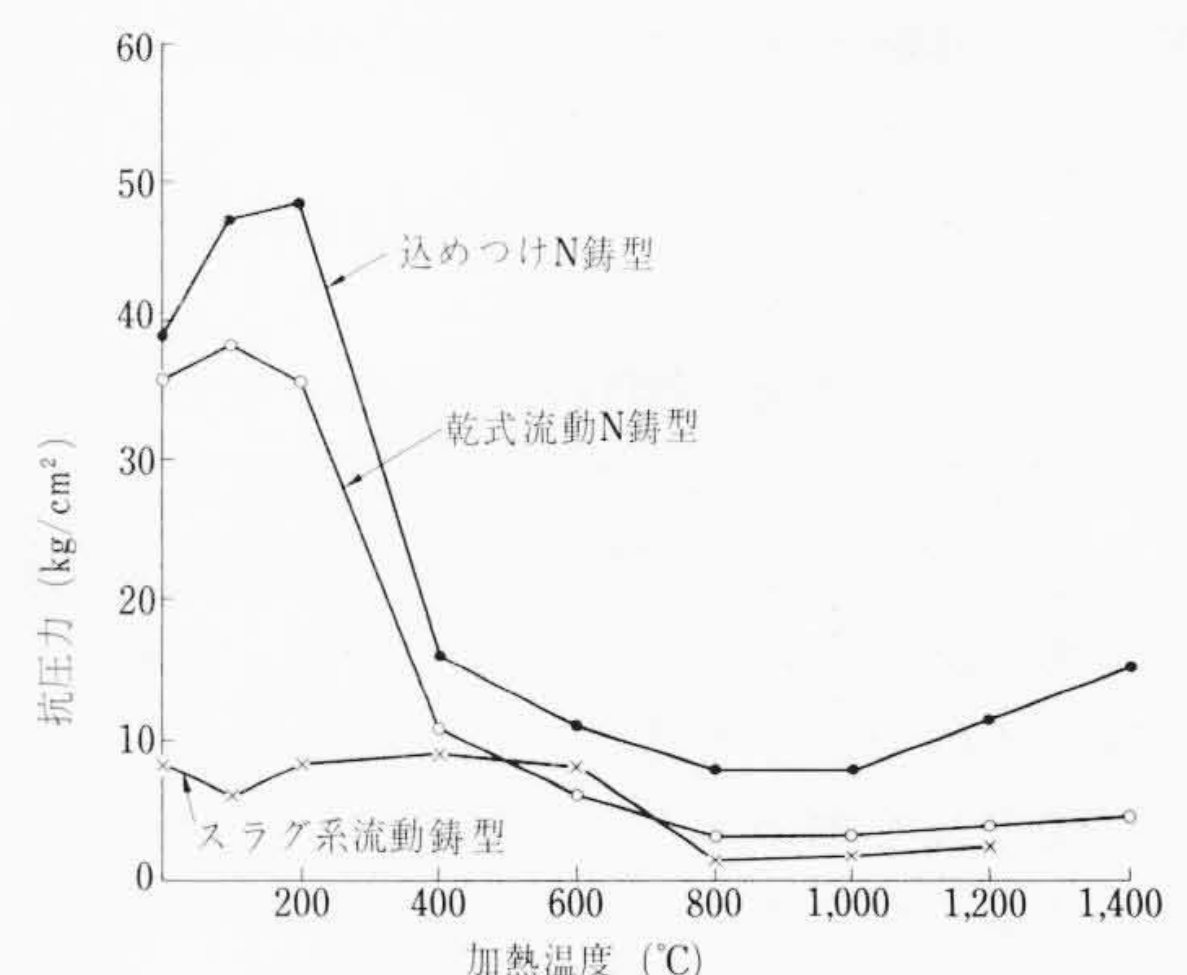


図7 各種鑄型の残留抗压力の比較

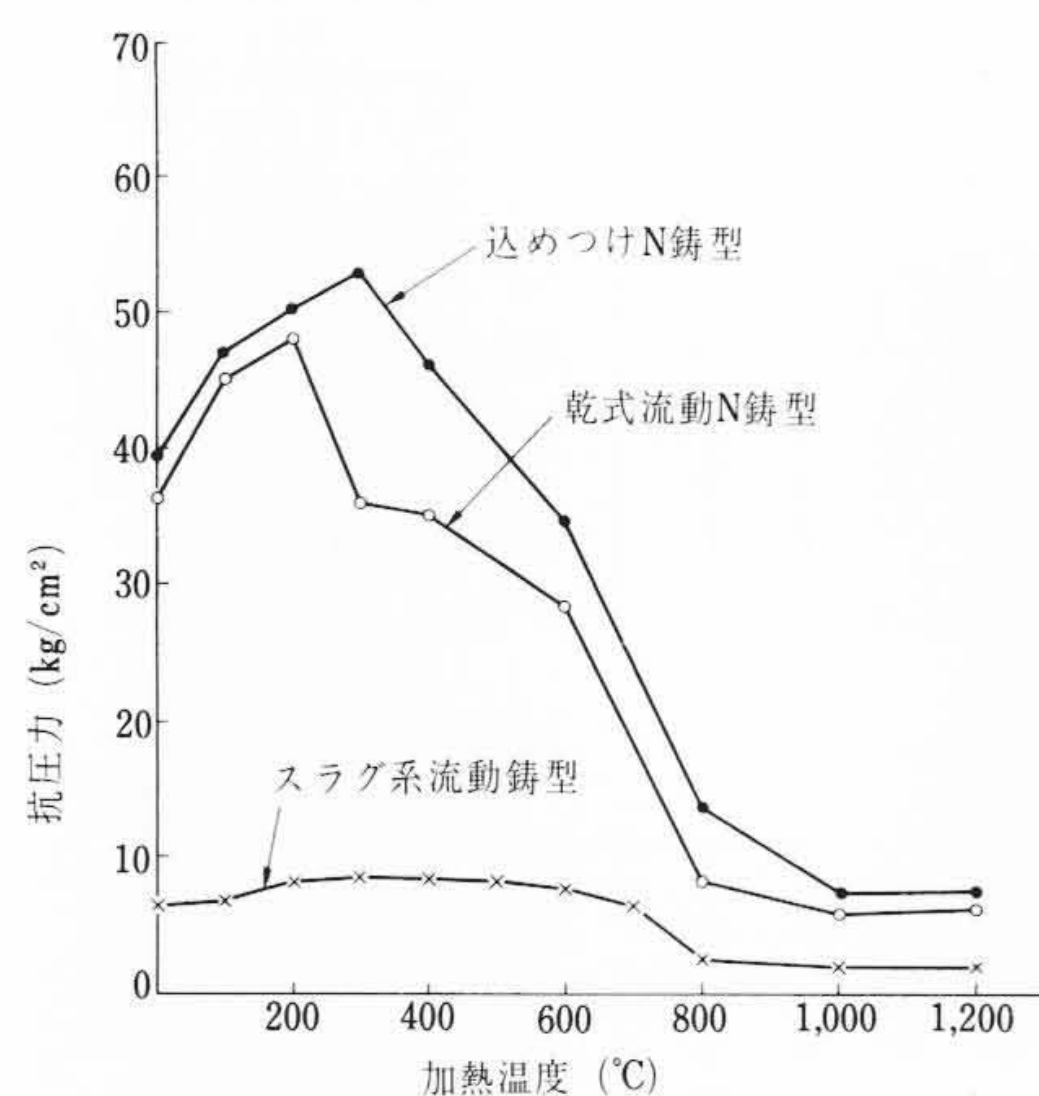


図8 各種鑄型の高温抗圧力の比較

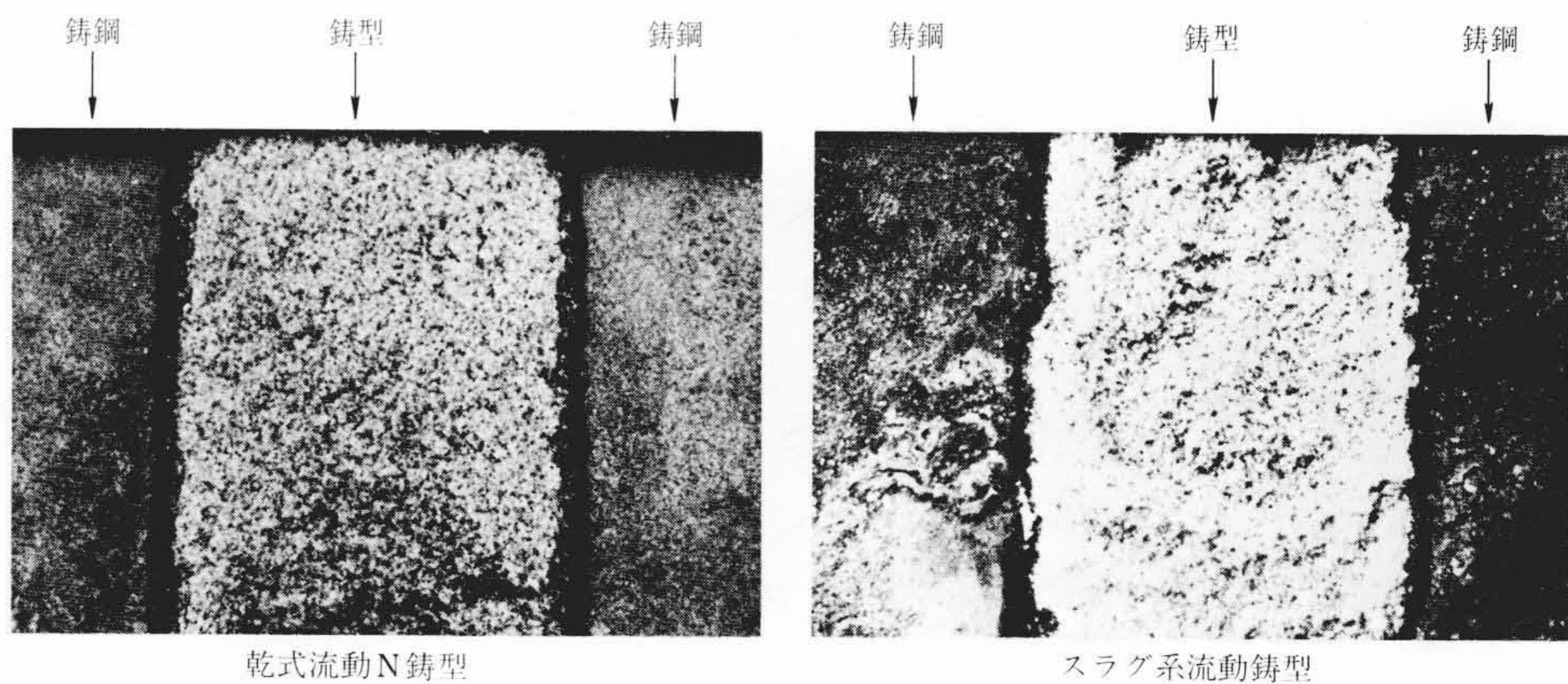


図10 鑄込実験結果

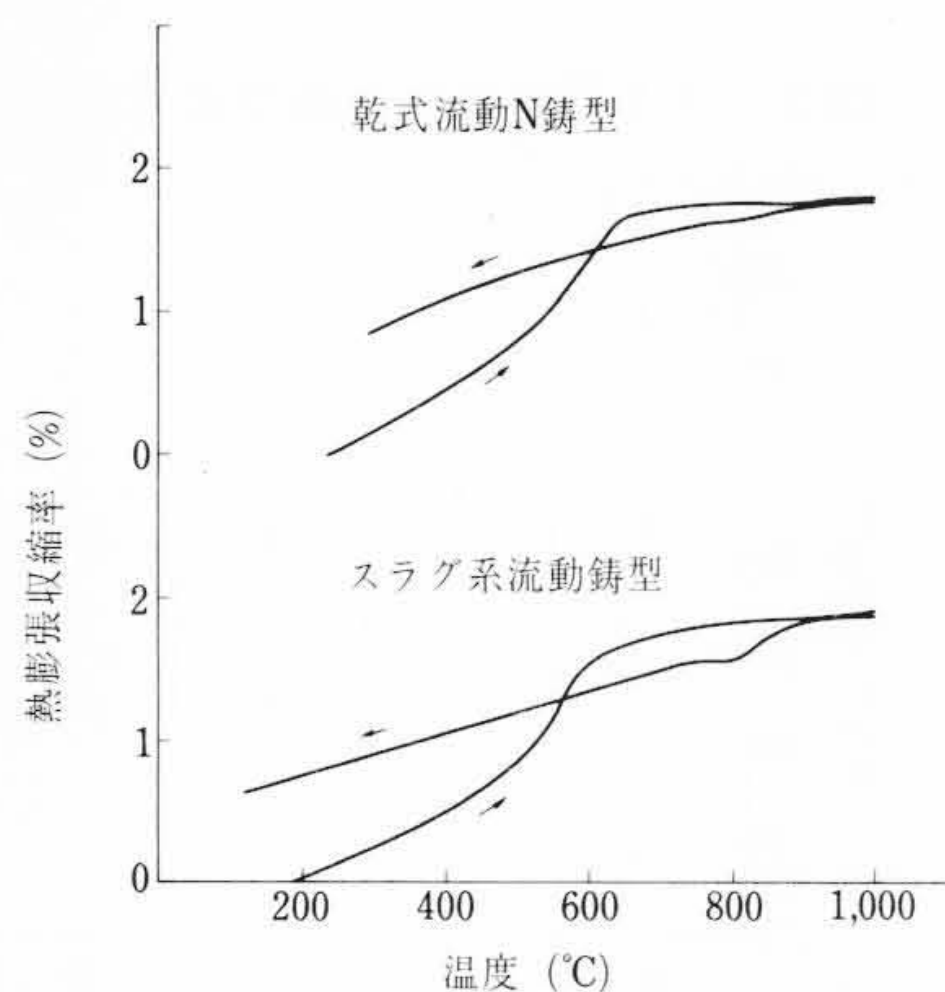


図9 熱膨張収縮曲線

間の膨張収縮曲線を測定した結果を示したもので、両者の間には大きな差は認められなかった。

4. 実用化実験

以上の基礎実験で乾式流動N鑄型の性質がほぼ明らかになったので、実験室的な規模で鑄込実験を行ない、乾式流動N鑄型とスラグ系流動鑄型とを比較してみた。図10は鑄鋼(溶湯温度1,600°C, 重量30kg)を鑄込んだ状況を示したものである。

スラグ系流動鑄型では注湯直後から多量の水蒸気の放出が始まり、注湯終了後も相当長期間にわたって継続した。これは前述した硬化原理に基づくもので、乾式流動N鑄型と非常に異なる点である。

注湯による鑄型の収縮は乾式流動N鑄型ではほとんど認められなかったが、スラグ系流動鑄型は収縮および変形が大きく、鑄物の寸法変化が大きく現われた。

また鑄はだはスラグ系流動鑄型のほうに多数の小さなピンホールの発生が認められたが、乾式流動N鑄型では認められなかった。乾式流動N鑄型で鑄物が製造できる見通しが得られたので鑄鉄鑄物から鑄造試作を進めた。

模型としては従来の詰めつけNプロセスのものをそのまま使用した。

乾式流動N砂の注入状況は図11に示すとおりである。模型を設置した鑄わくに流動砂を注入したのち、上面を搔(か)いて平らにし、放置するとやがて反応して90°C以上に昇温する。最高温度に到達してから10~30分後に反転して抜型する。流動砂は添加水分が少なく乾燥ケイ砂のような状態であるため、すみずみまでよく充填される。硬化後も木型への砂のしみつきがほとんどなく、詰めつけN砂よりはるかにすぐれている。図12~13は乾式流動N砂で製作した主型および中子を示したものである。隅角部、エッジおよび壁面が綺麗に仕上がっており、詰めつけN鑄型、スラグ系



図11 乾式流動N砂の注入状況



図12 主 型 (ギャケース)

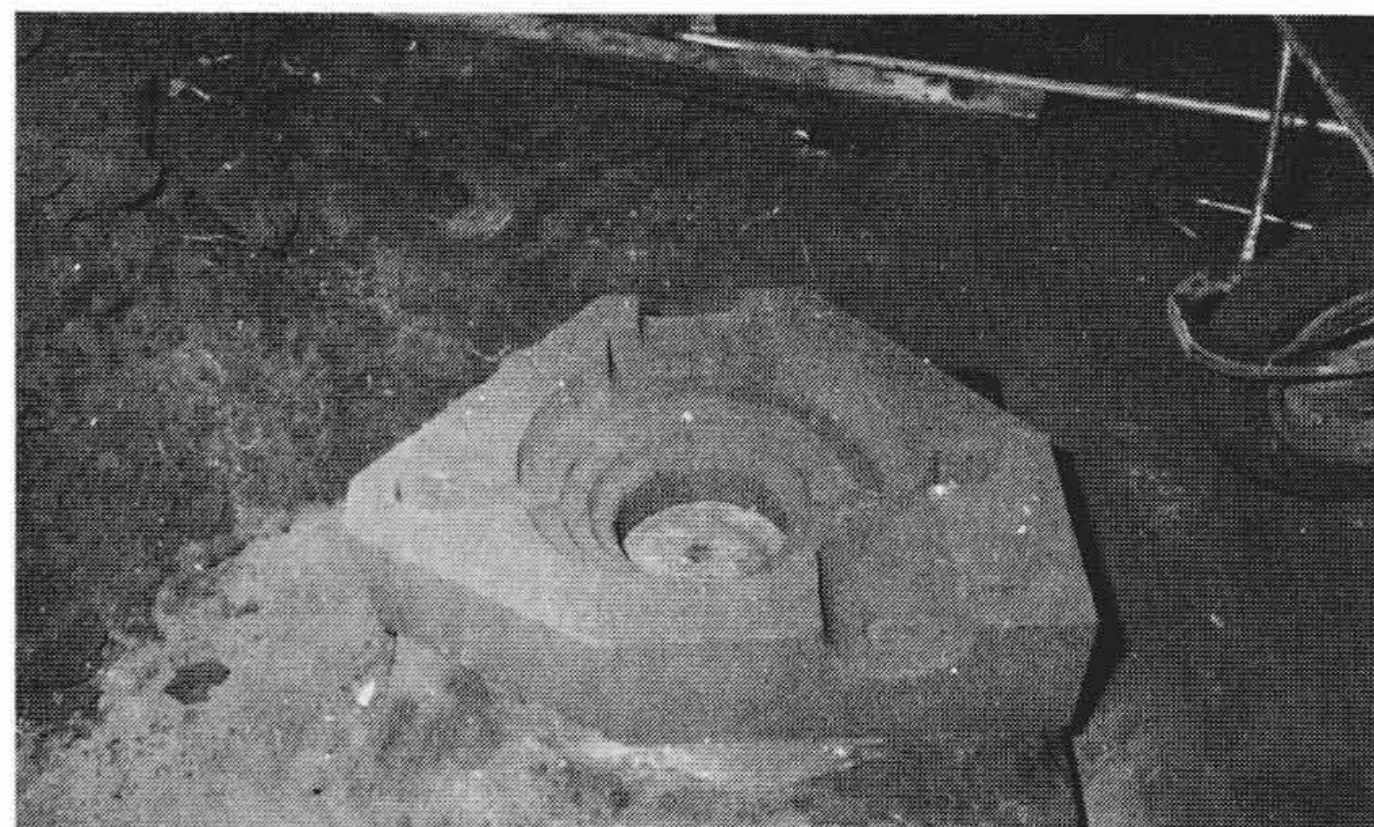


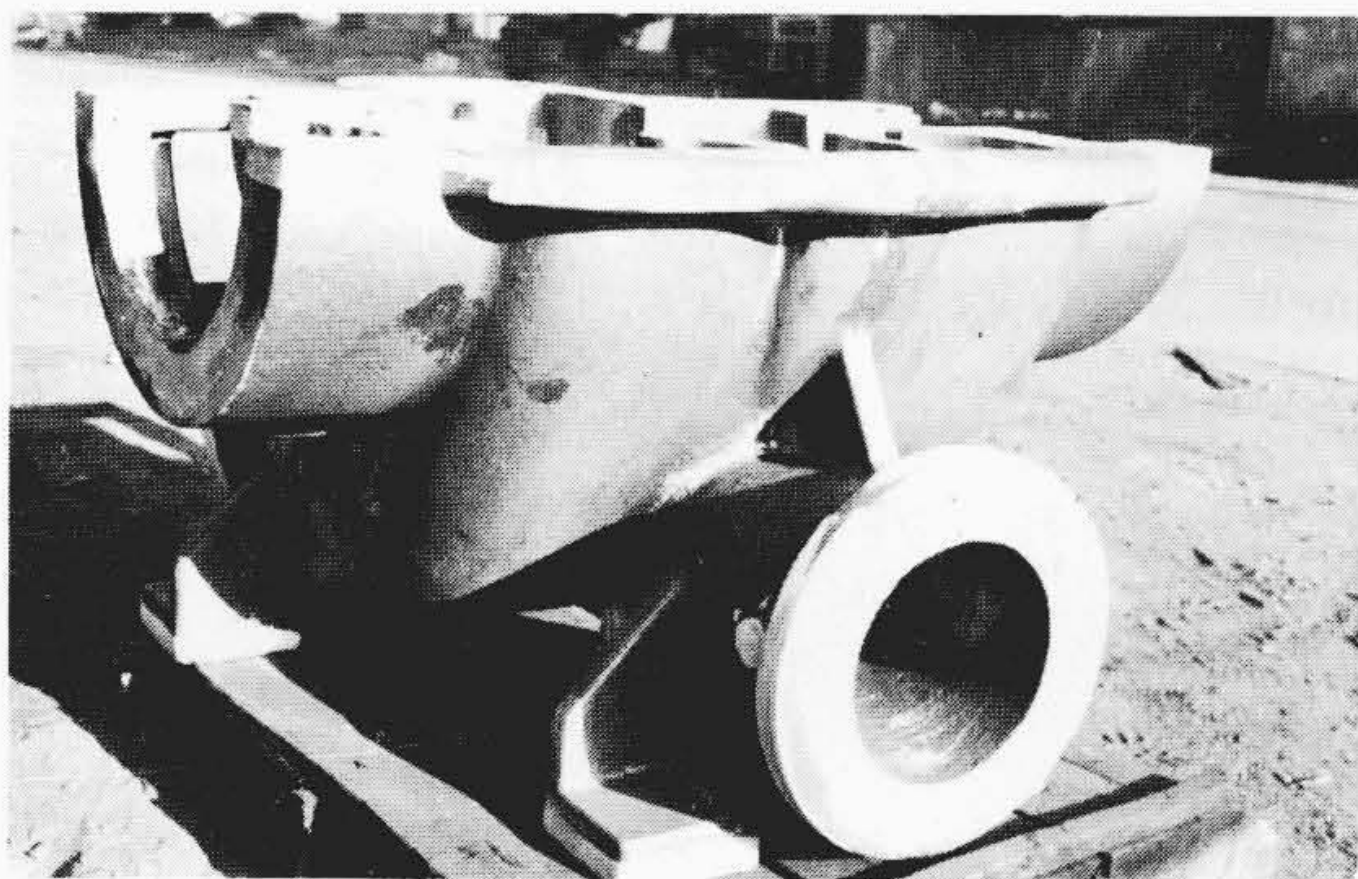
図13 中 子 (ケーシング中子)

流動鑄型よりすぐれているように思われる。

試作中、複雑な鑄型では抜型の際、しばしば鑄型の一部が破損することもあるが、これは詰めつけN砂で補修することができる。

新砂を使用しているうちは、問題はなかったが、微粉の多い100%回収砂を使用したときに、垂直面の砂粒子の結合が弱くなり、ぼろつきの傾向が生じた。これはケイ酸ソーダ水溶液の使用量を2.5%から3.0%に増すことによって解決することができた。

塗型は鑄鉄鑄物では黒鉛系のアルコール性塗型および水性塗型を使用した。塗型厚さは詰めつけN鑄型と同一であり、スラグ系



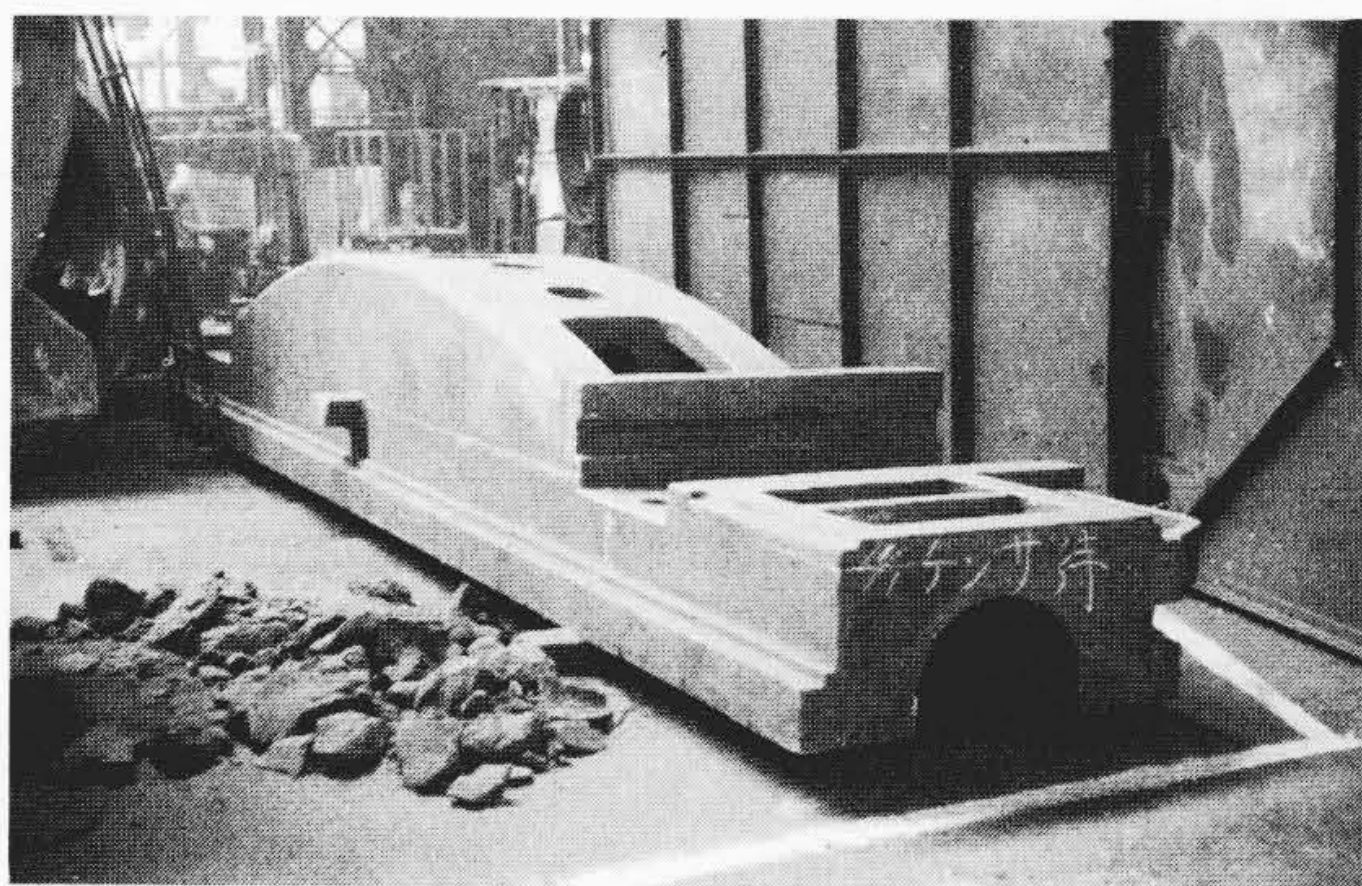
(ポンプケーシング：鑄鉄 重量 650kg)

図14 製品



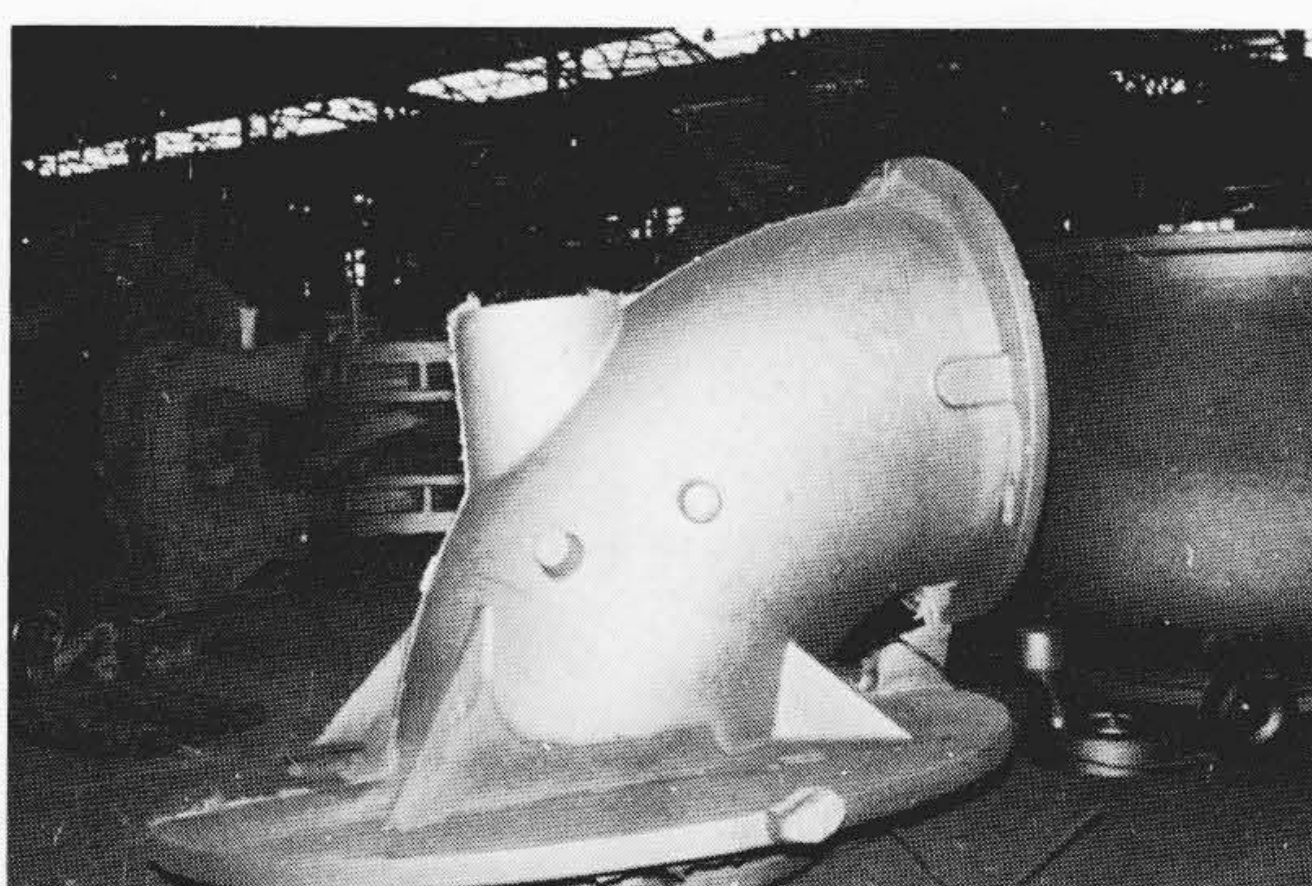
(ギヤケース：鑄鉄 重量 1,000kg)

図16 製品



(工作機用部品：鑄鉄 重量 4,500kg)

図15 製品



(ポンプサクシオン：鑄鉄 重量 2,300kg ケーシング：鑄鉄 重量 950kg)

図17 製品

流動鑄型のように厚く塗布する必要はない。水性塗型を使用するときは微粉の多い回収砂を用いた鑄型では、塗布前にプロパンバーナなどで加熱してから塗布しないと壁面の一部がはく離することがあるので注意する必要がある。

最初は小物から大物へ、薄肉物から厚肉物へと順次試作を進め、重量30kgから4,500kgまでの実製品を鑄造して詳細に調査した。その結果、従来の込めつけN鑄型よりもすぐれた鑄はだの製品が得られることがわかった。なお最初懸念していた型張り現象はなく、鑄物はすべて込めつけN鑄型と同一の規格内にはいることがわかった。図14～17は乾式流動N鑄型を使用した鑄鉄製品の例を示したものである。

なお鑄鉄製品の試作がほぼ完了したので、鑄鋼製品の試作を進めている。現在までの結果では込めつけN鑄型と差が認められない。鑄鋼製品の試作結果については別の機会に報告する。

これらの結果から、乾式流動N砂は従来の込めつけN砂と同様に中物～大物鑄物に適用できる見通しが得られた。

この流動砂を使用すれば鑄型造型において、重労働を要する砂込めの段階を単に注入だけで済ませることができるので、労力および時間を著しく節約することができる。

またこの流動砂はシンプソン形ミキサ、ワールミキサなど既設の装置でもできる。しかし能率よく造型するためには適時適量の流動N砂を短時間に供給できる混砂設備を考える必要がある。

5 結 言

日立製作所にはNプロセスと称する造型法があるが、このNプ

ロセス砂に、界面活性剤を使用することなく、乾燥ケイ砂と全く同様な流動性を与え、注入するだけで充填ができ、それから発熱して脱水硬化する乾式流動N砂を開発した。

この流動N砂を用いて造型した鑄型は、従来の込めつけN砂と全く同様に使用することができる。

つき固めを行なうことなく、注入だけで造型できるので、機械化が簡単であり、不熟練者でも常に均一な性質の鑄型を作ることができる。そのため、生産性の向上、不良の低減が期待される。また混砂時に粉塵(ふんじん)の発生がないので作業環境も改善された。

本法に適した設備を開発しつつあるが、これが完成すれば鑄物工場には大きな変革がもたらされるであろう。

終わりに臨み、終始ご援助をいただいた各工場の鑄造関係者各位に厚くお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) A.M.リアスほか1名：特許公報 昭42-8205 (S42-4-6)
- (2) 西山，南郷，園：日立評論 45，832 (昭38-5)
- (3) 西山，高野，南郷：日立評論 50，471 (昭43-5)
- (4) 高野，西山：流動鑄型の実用化と問題点，日本鑄物協会関西支部 (S-45-9.25)
- (5) 高野，西山：シェルモールドニュース 174号 (S46-5-20)
- (6) 西山，南郷，園：特許公報 昭41-6443号，昭43-1726号
- (7) 竜門著“FSプロセス”日刊工業新聞社 (昭43-11)