

技術資料

鑄型と鑄物砂について

谷村 熙\*

(INGOT MOULD AND CASTING SAND—A REVIEW)

Hiromu Tanimura Dr. Eng.

I. 鑄型に適する材料

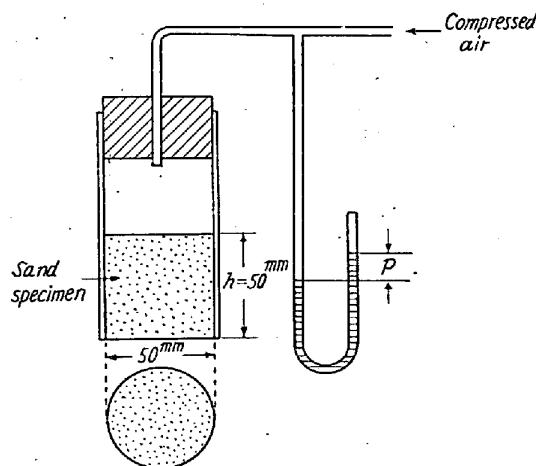
熔湯を鑄込んで一定の形状、寸法の鑄物を得るのが鑄型の役目である。この目的を達するためそれぞれの金属に応じた耐火性、鑄物の大きさや鑄込速度にたえるだけの強さと、鑄込時に出るガスが逸出し得るだけの通気性を必要とする。一方中子は金属の収縮に順応して変形し得ることが要求せられる。このほか近頃は鑄肌が滑かて美しいこと、鑄物の寸法が正確であるという様な鑄型の要求が強くなっている。以上の如く鑄型には両立し難い様な要求があるが、これを大体満足するものは鑄物砂である。金型も屢々用いられるが、これは低熔融の金属や形状の簡単な鑄物にのみ使われる。

昔は天然産の適当な砂を探して来てそのまま鑄型材料に用いていたが、近年は合成砂が用いられることが多くなり最近に至り著しい進歩が見られる。

II. 鑄物砂の粒度と通気性

鑄造に際し金属及び鑄型自身からガスや水蒸気が発生するがこれを外部に逃がさなければ熔金に侵入して鑄巣となり、或いは鑄物の表面がガス圧に吹かれてキライ等という欠陥を生ずる。これを免れるために鑄物砂には或る程度の通気性が必要である。砂の粒が粗いほど通気性がよいのであるが、鑄型の種々の性質からいえば砂粒が細い程都合がよい。不必要に砂を粗くして通気度を高める必要が無いのである。どれほどの通気度が必要かというところは各種の条件によつて異り、簡単に律せられない。

鑄物砂の通気度の測り方は学振第 24 小委員会が制定したが A.F.A. 法に準じたものである。其の原理は Fig. 1 に示す通りである。50 mmφ × 50 mm の円筒の砂試料を一定条件で作りにこれに圧縮空気を送る。2000cc の空気がこれを通過する時間 t(mn) を測りその時の圧力を水柱 h(cm) でよめば通気度は  $K = \frac{509 \cdot 294}{h \times t}$  (cm.g.mn.) により求められる。この通気度のあらわし方や単位は幸



Cross sectional area of specimen:  $A = \frac{\pi}{4} \times 5^2$  in cm<sup>2</sup>

Volume of air passing through specimen:  $V = 2000$  in cm<sup>3</sup>

Flow rate:  $\frac{V}{t} = k \cdot \frac{P \cdot A}{t}$

Permeability:  $K = \frac{Vh}{P \cdot A \cdot t} = \frac{509 \cdot 294}{P \times t}$  in cm. g. mn. unit.

Fig. 1. Principle of permeability apparatus.

に英、米、独等共通である。

一方鑄物砂の性質を察知するためには、その粒度を知ることが大切である。この粒度測定法も学振で定めてある。鑄物砂を弱アルカリ性の水で煮沸して後粘土分を流出し去り残った砂粒を乾かして標準篩で分粒する。

学振制定の標準篩は孔の面積が各順序に 2 倍づつに大きくなるように撰んである。Table 1 に標準篩の番号、孔の大きさを示し尙 A. F. A.\*\* のものをも併記した。篩は習慣上メッシュ番号で呼称されている。この番号は 1 時にある網目の数を言つたものであるが、正確な意味にとる必要はない。

天然産の砂は大小雑多の砂粒が混っているので砂の粗さと通気度の関係が求めにくい。そこで一定の揃つた砂粒を集めこれに粘土を一定量 (10%) 加えた合成砂を作

\* 九州大学教授、工博

\*\* American Foundrymen's Association

Table 1. Mesh numbers and sizes of mesh openings of Japanese Standard sieves.

Standard sieve of Nippon Gakujitsu Shinkokai		A. F. A. Standard sieve (National Bureau of Standards)	
mesh number	opening (mm)	mesh number	opening (mm)
6	3.327	6	3.360
8	2.362	12	1.680
10	1.651	20	0.840
14	1.168	30	0.590
20	0.838	40	0.420
28	0.590	50	0.297
35	0.416	70	0.210
48	0.294	100	0.149
65	0.208	140	0.105
100	0.149	200	0.074
150	0.105	270	0.053
200	0.074		
270	0.053		

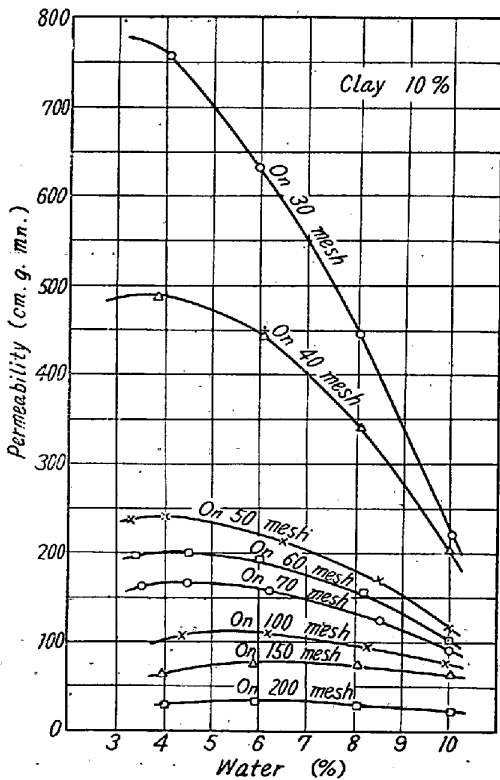


Fig. 2. The relation between permeability and moisture of synthetic sands of various grain size. The silica sands were prepared in uniform size by screening.

り、その生型状態に於ける通気度を求めたのが Fig. 2 である。Fig. 2 で 50 メッシュ砂を例にとつて見る。この砂粒は 40 メッシュの網目を通り、50 メッシュの網の上に残るような粒の砂である。これに 10% の粘土を混じて作った合成砂に色々の割合の水分を加えて混練した後の通気度が示されている。これを見るに水分が約 4%

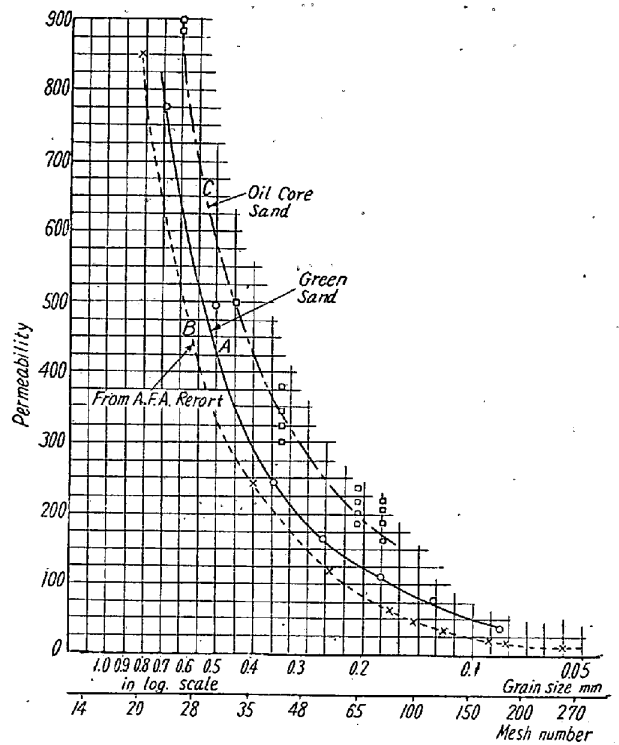


Fig. 3. Curves, showing the relation between permeability and grain size of sand.

- A: Green sand, synthetically made from uniform-sized grain.
- B: Green sand of America, reported in the Trans. of A. F. A. (Grain size is expressed in grainfiness number)
- C: Oil core sand of uniform-sized grain.

のとき最大の通気度を示しこれより水が少くても通気度が小さく水分が多くなれば通気度が著しく下る。各種粒度の合成砂につき最大通気度を求め粒の大きさと通気度の関係を示したものが Fig. 3A 曲線である。図の横軸には粒の大きさ (mm) とそれに相当する篩のメッシュ番号をとつてある。今砂粒が球形であると仮定し最も簡単な考え方をすれば砂が細くなる程或る一定面上での砂の接触点が多くなり、それだけ空気の抵抗を増す。砂粒の径を  $d$  とするならば接触点は  $d^2$  に反比例して増す。通気度は接触点の数と逆関係にある。即ち通気度を  $p$  とするならば  $p = Kd^2$  の関係となる。然し実際はこの仮定とは異り、Fig. 3 A の曲線は  $p = K \cdot d^{1.5}$  ( $K = 1530$ ) であつた。

A 曲線は粒度の揃つた生型砂の値であるが、一般の砂はこれより低い通気度をとる。かつてアメリカで国内の多数の生型砂の通気度を調査したことがある。天然産の砂であるから砂粒は大小混じている。そこでこの砂に対してもし粒径が揃つているとすれば何メッシュの砂に相

当するかを算出する。その原理は砂の粒度試験結果からそれと表面積を同一にする均一粒の砂の粒度に換算するのである。この換算された砂の粒度を粒度示数と称しメッシュであらわす。Fig. 3 B 曲線はアメリカの各種粒度示数の砂と通気度との関係曲線である。これは A 曲線より幾分下位にあるが、両者はほぼ併行している。一方油砂の如き乾燥型で測定した通気度は Fig. 3 C 曲線の如く A 曲線よりも上位にあり、生型よりも乾燥型が通気度がよいことを示す。

さて実際の鑄型にどれだけの通気度が必要かというところ色々の条件によりちがってくる。即ち生型砂は乾燥型に比し通気度を大に、又小型の鑄物や低熔融合金に対しては通気度が小さくてもよいが、大型鑄物や鑄鋼等ではこれを大きくする。それは鑄物の熱量が大きいからガスの発生量が多くなるからである。

又生型砂では水分が多いと通気度を高くしなければならぬ。Fig. 4 は工場実験の一例で或る銑鉄鑄物で、鑄巢の出る水分と通気度の限界を示したものである。即ち

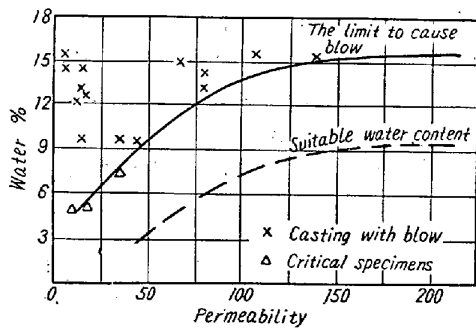


Fig. 4. Limiting condition of moisture and permeability to cause blow in casting, experimented in a gray iron foundry (Tanzi).

鑄物砂の通気度が小さくても水分が少ければ鑄巢が出にくい。最近アメリカで生型にはベントナイトを粘結物として加えた合成砂の使用が盛んであるが、この種の砂は少量の水分でよく強さを出し、且つ通気度もよいから可なり大きい鑄鋼にも利用出来るのである。

又乾燥型は水分が少いから通気度が少くてもよいのであるが、大型鑄物を鑄込む関係上割合大きい通気度を与える。日本では以前はこれに 200~1000 位の通気度を与えたが肉厚物でもそんな必要がない。高くとも 300 迄でよいと考える。又小型の鑄鉄鑄物では 20~50 位でよい。

### III. 鑄物砂の強さ

鑄物砂は砂粒と粘結物質から構成せられ、強さは主として粘結物の結合力に支配せられる。

鑄物砂の強度は引張、圧縮或いは折り曲げ試験で測る

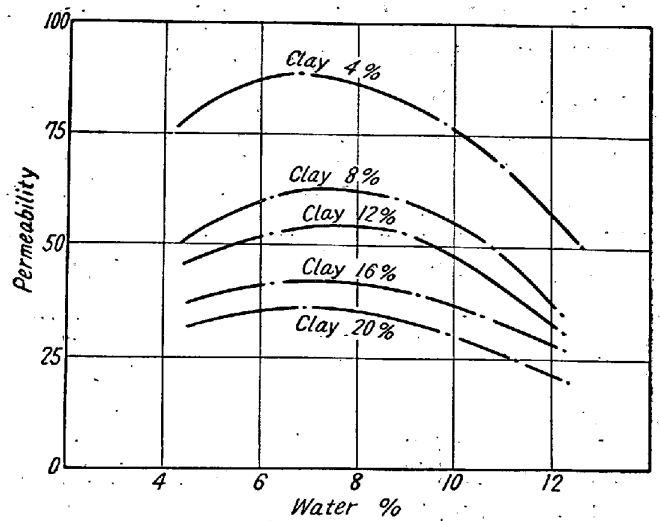


Fig. 5. The relation between permeability and moisture of synthetic sands, added with various amount of clay. The silica sand is composed of two sizes, 60% of 50 mesh and 40% of 100 mesh.

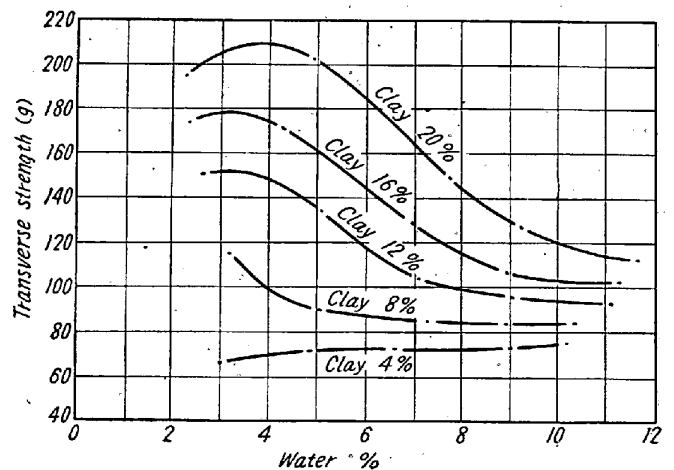


Fig. 6. The relation between transverse strength (Doty's bar test) and moisture of synthetic sands with various amounts of clay (The same specimens as Fig. 6).

が生型砂のように弱いものは引張り試験が適用しにくいので、抗圧試験か又は一種の抗折試験で強さを測る。

さて鑄物砂の強さはまず粘結物の性質と量によつて変化する。天然産の山砂では粘土即ち珪酸アルミナが粘結作用をなし、一部分水酸化鉄もこれを助けている。一定の砂粒に粘土の添加量を増した場合の砂の強さ等の変化を Fig. 5 及び Fig. 6 に示す。この実験では 50 メッシュと 100 メッシュの両種の砂粒を 6:4 に混合し粘土を 2% から 20% 迄各種の割合に加え、又水分をも変化した。Fig. 5 にはその通気度を示してあるが、粘土と共に通気度が低下する。強さは抗折試験 (Doty's bar test)

で測つたものであるが、粘土量と共に増大する。或る一定粘土量の砂について見ると最大強度を出す水分量があり水分が多くても少くても強さが下る。その理由は Fig. 7 に概念的に示されるように水分不足のときは、粘土はまだ粉状に近いので充分の結合力を出していないが、或る水分のときは最も粘稠な膠状体となり強く砂粒を結合する。水分が更に多いと糊が軟かくなるように附着力が下るのである。尤も粘土の添加量が少いかその作用が弱いときは水の結合力が勝つてくるので上記の関係とはちがつてくる。

さて鑄物砂の強さは粘土を多くすれば増大するけれども粘土をあまり多く加えると色々の不都合が出てくる。粘土が多くなると砂のつまり方、即ち流動性 (flowability, or rammability) がわるくなる。粘土が多ければそれだけ水分を多く要する。その結果通気度が下り、ガス発生も多くなる。乾燥型なら差支ないかというに粘土が多すぎるとこれが熔金に接した場合に、これから結晶水を分離するから通気度が低いときには鑄巣を生ずる。又粘土は乾燥すると非常に収縮するのでこれが多くなる程鑄型にヒビ割れが起り易い。このようなわけで合成砂を作るに当つては少量の添加で強い結合力を出す粘結物が要求せられる。アメリカで近頃ベントナイトが盛んに用いられるようになったのはこのためである。日本でも

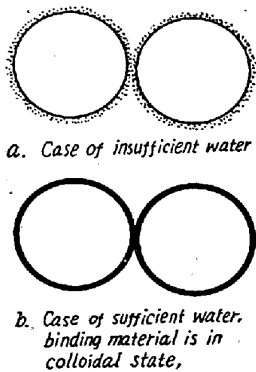


Fig. 7. Schematic state of sand grains enveloped with the binding material.

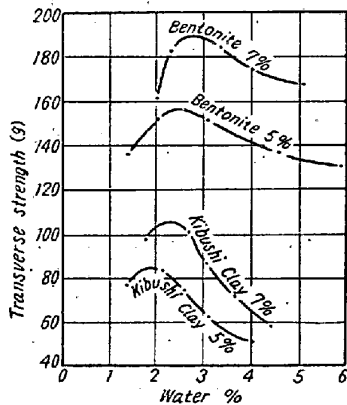


Fig. 8. Comparison of transverse strength (Doty's test) of synthetic green sands, composed of same sand grains, but different binding materials.

各地にベントナイトを産出するがアメリカのものに比べて劣るようである。Fig. 8 に木節粘土と国産のベントナイトを比較した一例を示す。Table 2 はその化学成分を示す。この試験では同種の砂粒に、木節粘土とベントナイトを 5%・7% と各一定量を加えて合成砂を作り生型状態での抗折力を水分に対し示してある。ベントナイトの粘結力は木節粘土に比しずっと強いことが明らかである。又ベントナイトで最大強度を与える水分は木節粘土の場合よりも多いが、ベントナイトを使用すれば粘結物で少くて足りるから従つて所要水分も少くてよい。

次に鑄物砂の強さは砂粒の大きさや形状により支配せられることも知つておかなければならない。これに対し次の如き実験例をもつて説明しよう。

この実験には天然産の砂粒即ちやや角のとれた subangular form のものを篩い分けて粒度の揃つたものにし、これに粘土の一定量 (10%) を加えて混練した合成砂を用いた。その生型強度を色々試験したが、Fig. 9 はその抗折力と水分との関係を示したものである。

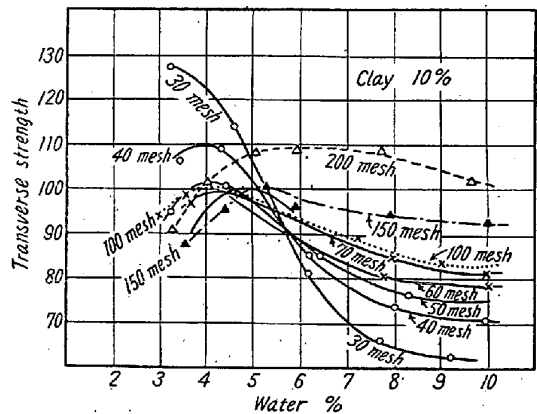


Fig. 9. The relation between transverse strength of synthetic green sands and water; the sands are composed of the same amount of binding materials, but of sorted sand-grains of different sizes.

この結果を見るに 30 メッシュ篩上に残るような粗砂は水分のベストコンディションで最大の強度を示し、砂が細かくなるとこの強度が低下する。ところが砂が 100 メッシュ以上に細かくなると又強度が上つてくる。又水分との関係を見ると粗い砂はベストコンディションでまことに強いが、水分が多くなると急激に弱くなる。細か

Table 2. Chemical composition of Kibushi-clay and bentonite used in the experiment.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>	alkali (K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O)
Kibushi-clay	66.15	25.05	0.53	1.76	0.36	0.82	0.41
Bentonite	73.52	9.10	0.40	1.59	1.14	0.08	5.60

い砂では水分による強さの変動は比較的ゆるやかである。言いかかえると細かい砂は水分が少々ちがつても強さに影響が少ないので使い易い砂である。

何故に上記の如き関係が出てくるかという理由は次のように考えられる。

或る一定容積内につめられた砂粒の表面積は粗い砂である程少い。砂粒が完全な球であつて、これがぎつしりつまつた理想条件で計算すると一辺  $a$  なる立方体内の砂の表面積は  $S = \pi a^2/d$  であつて砂粒の直径に逆比例する。そこで砂粒に一定量の粘土を与えると粗い砂の方は一粒当りに被覆する粘土層が厚い。従つて附着力も強い。ところが砂の強さは単に粘土の粘着力だけでなく砂の接触点が多くても増強される。水分が存在すればこの表面張力が働くので粘土が無くても強さを発揮する。前者の強さを  $pa$ 、後者を  $pb$  とする。

$pa$  の方は砂が粗いと大きい。 $pa$  は粘土の粘着力に依存するから、水分が増して粘土糊が軟かくなると急に低下する。従つて  $pa$  に多く依存する粗い砂は水分の影響を大きく受ける。然るに細かい砂では  $pb$  の影響の方が勝つてくる。 $pb$  の方は水分が増加すると或る程度増大する。そこで細かい砂では水分が過剰になつた場合  $pa$  が減じて  $pb$  が増すから  $pa$  と  $pb$  とを総合して見ると強さの低下が少いことになる。

次に乾燥型では水分が関与しないからその強度は主として粒を被覆する粘結物で与えられる。従つて同一粘結物であるならば乾燥型は粗粒である程強い。尙乾燥型でも乾燥する前に粘土に加えた水分の多少により強度が異なる。一般にこの水分が多い程乾燥強度が上り、或る水分以上では増加しない。これは水分が多い程粘土がよりよく膠状質になるので乾燥後でも強さが大きく出るのであると考えられる。

砂粒の形状の影響も中々複雑である。砂の形状には色々の分類があるが天然産の砂粒は rounded 乃至は sub angular である。珪石を粉砕して得た人造珪砂は angular とか crystalline と称せられて角ばつた形をしている。この角型或いは尖り型の砂粒は互いに噛み合つて強い砂となる様に思われるが、必ずしもそうではない。例えば合成樹脂により乾燥砂で試験すると、丸型砂粒を使った方が強い。その理由は angular grain は表面積が大きく、球形に近い砂粒の方がこれが小さい。従つて同一粘結物を加えた場合に後者の方が被覆が厚く丈夫であつて強くなるのである。

#### IV. 鑄物砂に対する微粉の影響

鑄物砂を反復して使用していると老化して通気度も強度も低下し鑄物欠陥の原因となる。そこで古い砂を廃棄して新砂を補給すればよいが、経済面からして成るべく新砂の使用を節約したいので古砂の処理が多く行われる。鑄物砂老化の一原因は砂粒が熱のために膨脹収縮して砕け微粉が増えて通気性が悪くなるからであり、又他の原因は熔金の熱を受けて砂の中の粘土が結晶水を失い粘結力を低下するからである。そこで老化した砂で通気度が許容限度以上であつた場合にこの砂に粘土を少し加えて強さを補つてやればよいように考えられるが、この関係はそう簡単なものではない。

結論からいへば老化した砂に対しては、先ず微粉を除去してから粘土を補充するとか、或いは粘土の豊富な新砂を加えなければ、本当の強さが発揮されないのである。その理由は老化によつて微粉が集積した砂に粘土を加えたならばこの粘土は砂粒を被覆するよりも微粉に多く吸着せられる。従つて各砂粒上の粘土被膜が薄くなり砂粒間の結合力が減退するからである。ただしこの関係は生型と乾燥型とでちがつてくる。前節に述べた様に生型では粘結物による強さ  $pa$  の外に粒の接触と水の作用により強さ  $pb$  がよく働くから、微粉の増加は  $pa$  を減じて  $pb$  を増すから、微粉による強さの減退はあまり見られない。しかし微粉があまりに多くなればその悪影響があらわれる。これに反し乾燥型では水分の作用が無いから、砂粒を被覆する粘結物の作用  $pa$  が主となるから微粉の強度に及ぼす悪影響が顕著である。

要するに鑄物砂が老化すれば微粉が多くなる。その結果として生型砂では通気度が減少する。生型砂では微粉が多くなつたための強さの低下は著しくないが、一方粘土の加熱による粘結力減退のため粘土分を補充するとか或いは強さの best condition を得るために水分添加量を増すことが要求せられる。通気度の減少とこの水分の増加とが相まつて鑄巣発生を起し易くなる。

一方乾燥型砂では通気度が微粉のため低下してもそれが甚しくなければ鑄巣発生心配が少いであろう。ところが前述の理由で微粉は乾燥強度を著しく低下せしむるので型クヅレ、スクワレ等の欠陥が起り易い。

即ち古砂を処理する場合に生型、乾燥型いずれの場合にも微粉を除去することが大切である。

#### V. 鑄物砂の焼付きと鑄肌の問題

鑄物の中でも鑄鋼、時には鑄鉄でも大型鑄物になると

鑄物砂が焼付いて鑄肌が粗雑となり、又砂落しに大きな労力を要することが多い。焼付は鑄物砂の耐火性が悪いときに起ることは明らかであるが、これのみが原因では無い。

先ず鑄物砂の耐火性といつてもこれを砂粒と粘結物とに分けて考えなければならない。砂粒の方は純度の高い石英である程よい。天然産の砂には屢々融点の低い長石や雲母を混じて焼付を甚だしくするものがある。

粘結物は天然産の砂では珪酸アルミナ質の粘土から出来ている。これの耐火度の高いことが望ましいが、一方粘結力と併せて考えなければならない。かりに或る粘土が耐火度が高いとしても、若しその粘結性が小さい場合にはこれを多く鑄物砂に配合しなければならない。砂粒に附着する粘土が多ければこれが強熱に会つて熔融し易い珪酸アルミナを作り焼付が起る。これに反し粘りの強い粘土であれば、少量加えただけで足りるから、粘土自身の耐火度は少々低くても全体として鑄物砂の焼付を起さない。例えばベントナイトはそれ自身としては耐火度は他の粘土に比し低いが、鑄鋼砂の粘結剤に使われて別に焼付きを起さないのは上記の理由によるものである。

焼付の他の大きな原因は浸入 (penetration) である。粗粒砂を用うると熔湯が砂粒の間に浸入する。その場面に直ちに金属の酸化物が出来る。これが  $\text{SiO}_2$  と結合するから、熔け易いスラッグとなり鑄物に焼付く。この理由で焼付を防ぐためには成るべく粒度の細かい珪砂が選ばれる。或いは通気度の関係等でやむを得ず粗い砂粒を用う場合には、鑄型の表面の凹凸を耐火性の塗型で塗りつぶすのがよい。

今一つの原因は熔湯の圧力及び動揺及びガスの作用である。鑄物の表面が静かに鑄型に接触すると、鑄型表面がわずかに焼結し鑄肌から離れて焼着が起らない。若しこの接触面に急にガスが発生して熔湯を動揺攪拌すると焼付が起る。これはさきの侵入と同様にして金属酸化物と砂の  $\text{SiO}_2$  とのスラッグ生成による焼付である。又非常に大きい鑄物の場合にはその持つ大きな熱量と熔湯の湯圧のために浸入がはげしく焼付が起り易い。大型鑄物で通気度の関係であまり細かい砂が使えなければ、鑄物砂の耐火性を上げなければならない。

次に鑄肌を平滑に又美しくするには焼付の無いことが勿論のことであるが、粒度の細かい鑄物砂を選ぶのが要件である。細かい砂では通気度が小さいから、砂の粒度を揃えることが大切であり、又鑄物の大きさに応じて粘結物の割合や水分を適量にしてこれが多すぎない事が必要である。鑄鉄の生型鑄物ではこれに石炭粉末を加える

と鑄肌が良くなる。これは石炭粉から出る揮発ガスが鑄物と鑄型の間薄いガス膜を作り又この還元性のガスが鑄肌の酸化を防ぎ焼付を防ぐためであると考えられる。

## VI. 鑄物砂最近の進歩

### a. 合成砂

従来は鑄物工場に近い地方の山や海岸から出る天然産の砂や土を採つて来て利用して来たが、鑄物砂の研究が進んでくるとこれでは満足出来ない。遠方の産地から運賃をかけて運んで来てても鑄物に失敗するよりも有利であることが分つて来る。そこで特別に処理せられた純良な砂粒を準備し、一方種々適当な有機及び無機の粘結物を集め、これ等を配合した合成砂が利用されて来た。アメリカでは近年合成砂の利用が盛んになつたのはこれにより一定品質の鑄型が得られ、作業管理が出来易いからである。

合成砂に用いられる砂粒は成るべく純度の高い石英砂である。長石や雲母等の混入は有害である。日本では岐阜、愛知県下に産する天然銀砂が良質である。天然銀砂のままでは大小の粒が混じているから、希望する粒度の合成砂の原料にはこれを水洗し、且つ分粒しなければならない。最近は粒度の細かいものの需要が多いので、天然銀砂を更に碎き水洗分粒することが行われる。かくすれば碎け易い長石は微粉となつて洗い去られ、純度の高い且つ粒度の揃つた珪砂が得られる。天然産珪砂の入手困難なところでは耐火度の高い珪石を粉砕し、篩い分けた人造珪砂を利用する。人造珪砂は一般に耐火度がすぐれているが、丸味のある天然珪砂に比べて表面積が大きいので、粘結剤を幾分多く必要とする。濠洲には  $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$  を主成分とするゼルコンサンドが産出する。これは石英砂に比べて耐火度が高く、膨脹が少く、粒形が円くて所要粘結物が少くてすむ。最も高級な砂粒である。

次に合成砂の粘結物には一般に粘土類が加えられる。日本では耐火度と粘結力共に強いとの理由で木節粘土が多く用いられている。近年は粘結力の強いベントナイトが用いられて来た。アメリカには優秀なベントナイトが産出するのでその利用が盛んである。又各地に産する粘土は鉄分を含み、赤色を帯びているが、この中には粘結力の強いものがあるが、品質が一定しないのが欠点である。さきに Fig. 8 に示したようにベントナイトを用うればバインダーの添加量が少なくてすみ、従つて合成砂の水分が少くてもよい。粘土類は結晶水を含んで一定の分子排列をなしその粘結力を発揮している。これを焼いて結晶水を出すと粘結力が非常に下る。又これを乾燥する場合で

も温度を上げすぎると粘結力が減退するから、取扱いに注意を要する。多くの粘土は 300°C 位から粘結力の減少が著しくみとめられ、400°~500°C の間で非常に低下する:

合成砂には粘土類の他に糖蜜、澱粉(穀粉, コンスターチ, デキストリン等), パルプ廃液(オーヂン等)の如き有機物を配合することがある。これ等は粘土の粘結力を助け、生型の場合には水分の蒸発を抑えて強度の減退を防ぐ。乾燥型では乾燥のため粘土が収縮してヒビ割れが付き易いが、合成砂に木粉を加えるとこれが防がれる。鋳肌を美しくするために石炭粉や黒鉛粉が加えられることは前述の通りである。

b. 中子油及合成樹脂バインダー

砂粒の粘結剤として有機質のものが粘土に代つて用いられるが、中子型にその利用が広い。これに適するのは亜麻仁油、荏油、桐油等の乾燥性油である。これを砂粒に混ぜて成型し或る温度に乾燥すると、非常に強い油砂の鋳型が得られる。油砂は強度が大きい上に吸湿性が無いので、保存が出来て生型鋳物の中子に都合がよい。又熔湯の熱を受けると焼けて強度を失うので砂落しが容易である。

油砂の取扱いに際し、適当な乾燥温度を与えることが大切である。乾燥が不足であれば強度が出ない上にガスの発生が多く、又焼過ぎれば弱くなるからである。油砂の乾燥温度は 170°~250°C の間にある。

油砂は乾燥する迄は甚だ弱く成型にも困難を感じる。これに少量の粘土類を加えると生型の成型性がよくなるが、粘土の混入は乾燥後の強度を著しく低下する。有機質の添加物例えば穀粉を加えると成型性が良くなつて、乾燥強度が落ちない。又砂粒の細かいものを用うるか或いは微細な珪砂を一部配合しても成型性がよくなる。粘土の添加による成型性補強は避けるがよい。

最近に至り天然産の油に代つて砂のバインダーに合成樹脂が用いられるに至つた。性能の点及び経済的に見て尿素フォルムアルデヒドと石炭酸フォルムアルデヒドがこれに適する。これ等の水溶液又は粉末を水と共に砂粒に加えてよく混和して加熱すると固化し強固な粘結物となる。

合成樹脂の乾燥温度は油類よりも油く 150°C 附近であり、固化する時間も速い。従つて赤外線や高周波電流による乾燥に適する。Fig. 10 に亜麻仁油、尿素樹脂(UF) 石炭酸樹脂(PF)を同一砂粒に加えた砂型の乾燥強度の一例を示す。合成樹脂の中で尿素樹脂は石炭酸樹脂よりも分解が速いので、軽合金等に適し、高温度に

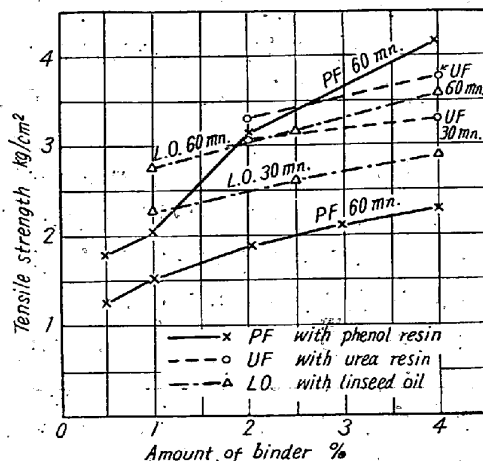


Fig. 10. Strength of core sands, composed of the same sand grains, but of different binders: The sand grain is Korean silica sand: each core was dried at 150°C.

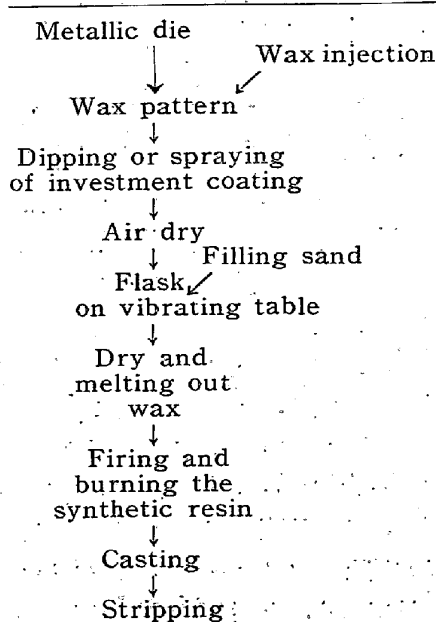
なる鉄鋼鋳物には石炭酸樹脂が多く用いられる。

c. 精密鋳造法

近年ジェットエンジン等に超硬質の耐熱合金が使われるが鍛造や機械加工が困難であるから、精密鋳造を利用すれば都合がよい。精密鋳造は古くから知られている蠟型法(Lost wax process)を近代的に改良したもので其の原理は Table. 3 に示すようなものである。

蠟の模型を使うのであるが予め金型の雌型を用意し、この空洞に熔融した蠟を圧縮空気で浸入すると模型が出来る。この蠟には膨脹収縮が少く軟化温度の高いものが要求せられる。

Table 3. Principle of precision-casting method (Lost-wax process).



次に模型のまわりに砂をつめる。この鋳物を Investment という。鋳肌に接する部分は成るべく細かい砂粒を用い、込め砂には幾分粗目の砂粒を混じて通気性を与え、又膨脹収縮の順応性をもたせる。精密鋳造に用うるような細かい砂は乾燥、焼成の際に急な膨脹

をするとクラックを生ずる。又鑄型の寸法の変化を出来るだけ少なくする工夫を必要とする。そこでインヴェストメントの選定配合や砂の充填には最も苦心を要するものである。

砂粒には細かい石英砂、アルミナ、ジルコン砂、マグネシア等がありバインダーには石膏、珪酸ソーダ、エチルシリケート等種々のものがあるが、鉄鋼鑄物にはエチルシリケートが一般に用いられている。

石英砂は  $570^{\circ}\text{C}$  附近に変態点であり、大きく膨脹するが、 $600^{\circ}\text{C}$  以上ではこれが少い。石英を熔融してクリストパライトに変化せしめたものや、アルミナ等はこの変化が少い。インヴェストメントの選定には膨脹する砂粒と収縮するバインダーをうまく補わしめるとか、或いは膨脹収縮の小さい温度範囲で使う様にするのである。

さて Table. 3 に示すように塗型吹付けと泥状のインヴェストメントの砂着けを行う。砂着けには泥状のインヴェストメントに蠟型(ワックスパターン)を浸漬するとか或いは塗布する。次に蠟型が軟化せぬ様に自然乾燥をする。次に鑄枠にこれをおさめて込め砂を充填する。この際強い搦固めが出来ないから振動テーブルの上で行うか、或いは減圧容器の中でこれを行う。充填後鑄型を乾燥し更に温度を  $100^{\circ}\text{C}$  附近に上げて蠟を流し出す。次に焼成炉に移して  $800^{\circ}\sim 1000^{\circ}\text{C}$  附近に焼固めて鑄型を完成する。注湯や砂落し及び古砂の回収や処理は一般の鑄物の如く行う。又小さい鑄物には遠心鑄造等を応用することも行われる。

#### d. シェルモールド法又は C Process

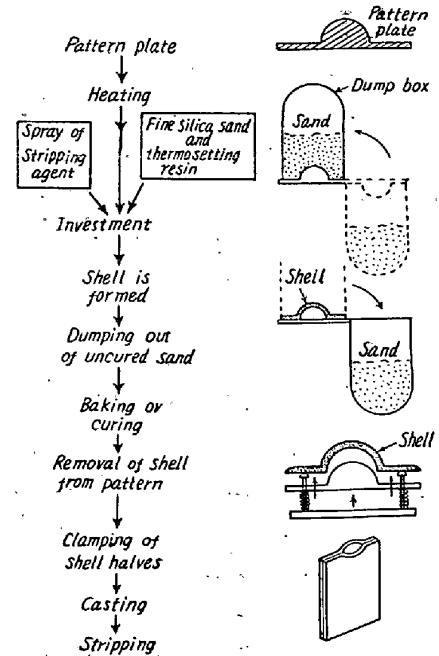
この方法は戦争中にドイツの Croning が発明したものをアメリカが占領中に採択し工業化をはかった。これはアメリカの如き多量製作方式に適するので現在盛んに利用せられている。

その原理は Table 4, Fig. 11 に示す通りである。先ず金型のパターンプレートを作つて造型機に取り付けこれを加熱する。一方ダンブボックスにシェルモールド用の砂を用意しておき、適当に熱せられた金型を逆に取り付け、ダンブボックスを廻転して砂をパターンに被覆する。パターンの熱を受けた数 mm の砂の層が急速に固化してシェルを形成する。ダンブボックスをもとの位置に廻転して、余分の砂を取り去る。シェルを更に  $250^{\circ}\sim 350^{\circ}\text{C}$  に焼固める (Curing という)。この時間は 2~3 分ですむ。この時パターンプレートの孔を通して押ピンを上げてシェルを離す。この離型を容易ならしめるために予め金型にバライン液とかシリコンエマルジョンの如き離型剤を吹きつけておく。上型と下型とを別々に作

### Principle of shell-mould process (croning process)

Table 4

Fig. 11



り、両方を合せばシェル鑄型が出来る。これを合せるために接着剤を用うることもあり、又締め金具を用うることもある。鑄型を堅にしてそのまま注湯する場合、或いは鑄枠におさめて粗粒の砂や鉄のショットを充填材としてつめる場合がある。鑄込後は鑄肌に接した部分のレジンは焼けて砂がくずれ易く、砂落しが極めて容易である。この古砂は焼いて再び利用することが出来る。

シェルモールド法では適当な砂を経済的に得ることが最も重要である。砂粒は鑄肌をよくするため 150 メッシュ乃至 200 メッシュ程度のもので粘土をよく洗い去つた純良な珪砂を用うる。粒形は丸味のあるもの程レジンの所要量が少なくてよい。最も高級なものはジルコンサンドである。砂のバインダーは合成樹脂で尿素系と石炭酸系とあるが、鉄鋼材料の鑄物にはフェノールレジンが一般に用いられる。シェルモールド法に用うるレジンは熱に会えば短時間に固化する thermo-setting resin でなければならない。

現在レジンは 200 メッシュより細かい粉状で供給せられ、砂粒とよく混合してから使う。パターンプレートは約  $200^{\circ}\sim 250^{\circ}\text{C}$  に加熱せられるが、これにシェールモールド砂が接触するとレジンは約  $100^{\circ}\text{C}$  になつて軟化し、砂粒を被覆し更に固化する。固化層の厚さはパターンプレートの温度及びセッティングの時間に左右せられるが、普通 5~6 mm である。固化時間の速かなレジンは好まれるが、現在使われるレジンの固化時間は  $150^{\circ}\text{C}$



で 60 秒前後である。

シェルモールド法を用うれば従来の鋳物に比べて寸法が正確で鋳肌が美しい。一個のシェル鋳型の製作時間は数分以内であるから大量生産に適する。造型機を使うので熟練工を要しない。又収縮量の大きい金属に対して押湯が少なくてすみ、地金の歩留りがよい。その理由はシエ

ル鋳型は注湯後発熱を伴うので冷却速度がゆるやかで、従つて押湯の凝固時間が長く保たれるからである。かよりに多くの利点があるが、現在のレジンの価格から考えて鋳型のコストが高くつく。しかし多量生産の出来る鋳物に適用するときは人件費が非常に少なくてすむので、鋳物としての生産費が普通鋳物以下になり得る。

## 低 温 度 に 於 け る 鋼 材 の 特 性

長 谷 川 正 義†

### MECHANICAL CHARACTERISTICS OF STEELS AT LOW TEMPERATURE—A REVIEW.

M. Hasegawa, Dr. Eng.

本稿は零下温度に於ける鋼材の機械的特性、とくに鋼の切欠脆性に関する最近の研究の現況を紹介し、併せて低温用鋼材選択の問題を解説したものである。

いわゆる鋼の低温脆性は、古くから多くの研究者にとつて興味の対象となつていたが、第2次大戦中米国の熔接船体に続発した破損事故に端を発し、この問題は広く“鋼材の切欠脆性”なる課題の下に再び活潑に論議されることになつた。

鋼材の切欠脆性については、本誌でもすでに熔接性に関連して木原博士が詳細な技術資料[“鋼材の熔接性”，鉄と鋼，40，(1)，昭 29，p 43]を執筆されているが、本稿でも与えられた課題を系統的に解説するためには、再び鋼の切欠脆性、遷移温度などの問題を論じなければならないので、敢えて一部の重複をいとわずこれらのテーマを載録することとした。

#### I. 緒 言

零下温度に於いて鉄鋼の示す機械的特性については、かなり以前から多くの研究が行われていた\*。また実際に低温あるいは寒地で鋼材を使用した場合の脆化による破損事故の発生も種々経験されていたが、しかしこの鋼のいわゆる低温脆性 (low temperature brittleness) の本質や機構に関しては十分解明されていながつた。ことに実際使用状態に於いて鋼材の示す性質と、試験状態に於いて試験片の与える測定値との間の関係が明らかにされていながつたので、実用状態の安全性を確める手段は未知のままに放置されていた理である。

近年冷凍工業、ガス液化、石油精製など工業用装置として零下温度を使用する機会が多くなつてきたが (Table 1) 1)，さらに寒地または冬期における車輛、レール、機械部品、あるいは高々度飛行の航空機もかなりの低温に曝される機会が多く、従つてこれら低温に於ける鉄鋼部品

の破損のデータはわが国でも戦前かなり豊富で、例えば満洲に於ける兵器、車輛の冬季の折損例が予想外に多いことを示す資料もあつた。

さて第2次大戦中米国では輸送船、タンカーなど船舶の急激な需要に應ずるために約 5000 隻に上る多量の全熔接船を建造したが、当時 1942 年末から翌年 3 月にかけてその内の 20 数隻に鋼材の亀裂に基く重大な損傷を生じ、その特に著しい例はタンカー Schnectady 号及

Table 1. 低温工業の数例 [Petty]

操 作 の 種 類	作業温度 (°C)
石油精製に於けるプロパン脱蠟	-40
血漿の冷凍乾燥	-40
ペニシリンの冷凍乾燥	-40~-90
塩素の液化	-55
石油精製に於ける亜硫酸ガス脱蠟	-60
亜酸化窒素の精製	-90
工具鋼のサブゼロ処理	-90
人造ゴムの製造	-100
天然ガスの液化	-160
コークス炉ガスからのエチレンの分離	-190
液体空気その他の製造	-190
天然ガスよりのヘリウムの抽出	-200

† 早稲田大学助教授、工学博士