電 氣 製 鋼

第十四卷 第十一號

昭和十三年十一月二十五日

論 說

鑄鋼用鑄物砂に就いて (其の二)

會 員 吉 田 正 夫

On the moulding sand for steel casting. (second report)

MASAO YOSHIDA

Synopsis: Following the first report (this journal March, 1938.) which treat the permeability of moulding sand, in this report the bonding strength of moulding sand was studied theoretically, adopting following conditions as important factors effecting bonding strength of moulding sand.

1. Sand grain	2. Bonding substance
a size of sand grain	a clay content
b form of sand grain	b moisture content

目 次

I. 緒 言	2 粘土の影響
II. 従來の研究結果の考察	3 砂粒大きさの影響
1 砂粒に就いて	4 砂粒配合の影響
2 粘土に就いて	5 砂粒形の影響
III. 調 査 方 針	V. 應 用 例
IV. 實 驗 結 果	VI. 結 言
1 水分の影響	

I. 緒 言

著者は第1報⁽¹⁾に於て鑄物砂の通氣性を左右する因子として水分量, 粘土量, 砂粒大きさ及び形狀を挙げ, 之等の通氣性に及ぼす影

響を實驗的に示し通氣性を主眼としたる時の鑄物砂配合に對する指針を示した。然るに鑄物砂に於て通氣性と共に重要性を持つものは

附着力である。現在鑄物砂、特に鑄鋼用鑄物砂に於て通氣性よりも強度を重要視する傾きがある。

即ち鑄鋼は鑄鐵或は非鐵合金鑄物に比し鑄込後固化に要する時間甚だ僅少なるため通氣性が少々悪くとも鑄型材料に起因する氣泡は少い。何となれば熔鋼鑄込後鑄型材料が熔鋼の熱を吸収して水分又は有機物を瓦斯化し、又は砂粒間に存在する空氣を膨脹せしめ鑄型中の瓦斯壓力が増加する頃には既に熔鋼は鑄型に接する部分に於て凝固點に達して固化し、或は鉛狀の層を生じて瓦斯壓力に或程度

耐ふるがためである。

即ち鑄鋼に於ては通氣性は鑄込熔鋼の固化層の強さと瓦斯壓力の平衡を考慮する事に依り或程度補ふ事が出来る。

然るに強度劣等なる時は造型作業を困難ならしめ、又鑄肌の粗惡化、砂の混入等を來し其の害測り知るべからざるものがある。

此の鑄鋼用鑄物砂に於て強度を重要視する所以であると考へられる。故に著者も此處に強度を最も重要視し、本報に於ては主として之に對する粒子の影響に就き述べた。

II. 從來の研究結果の考察

鑄物砂の強度、即ち成型性は一般に漠然と配合又は共存粘着劑の粘結力に依るものと考へられてゐる。然るに強度は此の様に簡單なるものでなく砂粒の形、水分量、粘土量及び其の性質に依り變化し、又一步を進め粘土の粘着性は何であるか等考察すると甚だ複雑な問題である。

以下に從來の研究結果の主なるものを示し、少しく之に考察を加へて見る。

1 砂粒に就いて

H. C. Nipper & E. Piwowarsky⁽²⁾は粘着力は間接的に粒子の形に依り左右され、round grainの方が一様に粘結劑に依り被覆され易く成型性大なりと云ふ。

T. R. Walker⁽³⁾は強度に及ぼす粒狀の影響を比較し次の如く述べてゐる。

即ち round grain は一點にて接するため力弱く成型性小である。且又 rough surface

grain (球狀なれども表面が自然の腐蝕作用を受け凹凸の出來た砂)が最良である。

P. P. Berg⁽⁴⁾は強度に對する粒子の影響として angular grain が最も好い結果を與へると云つてゐる。之が理由として angular grain は機械的にかみあひ外力に對する抵抗を生ずる事をあげてゐる。

其の他本邦に於ては武智氏⁽⁵⁾、酒井氏⁽⁶⁾の研究があるが自然的粘土の混入の影響に依る爲か強度に對する影響が未だ明瞭に示されて居らぬ様に思ふ。

上述の如く從來の研究に於て鑄物砂の強度に對する砂粒の影響に就いて明確に發表されたるもの極めて少く、殊に砂粒の大きさに就いては明確なるものが殆どない。又砂粒の形の影響に就いては round grain が良好なりと主張する者、angular grain 又は sub-angular grain が良いと主張する者等區々にして一致

しない。

之恐らく形状の specification 及び grading 不完全にして一致し居らず、殊に angular grain に屬する人造銀砂に於ては其の破碎方法又は其の質に依り、即ち産地に依り著しく其の形状を異にする爲にして、又一方 ramming の影響が粒形に依り著しく變化するものなれども之等の諸點を考慮し居られる爲に依ると考察される。

著者は此の點を考慮し第一報に示せる如く現在最も多く産し一般的なる物を供試材料と

した。

2. 粘土に就いて

粘土に就いては從來多くの人々^{(7), (8), (9), (10), (11)}に依り研究されてゐる。粘土の粘着性の機構に就き從來の研究者に依り稱へられてゐる説を大別すると大略次の3種になる。

コロイド説

表面張力説

帯電體説

之等の詳細なる考察は本報に於ては省略し第3報に於て詳細に述べるつもりである。

III. 研究方針

上記の如き先輩の研究結果を考慮し、鑄物砂の強度に對する影響を次の2方向より考察する事にした。

a 砂粒に依る影響

b 粘結劑に依る影響

而して本報に於ては主として砂粒の大きさ及び形の影響を述べ、粘結劑に依る影響は粘土量と水分量の影響のみを述べ、之等の改善方法、又は特殊なる粘結劑に就いては第3報に於て述べるつもりである。

強度實驗裝置に就いて考ふるに鑄鋼用鑄物砂の如き生砂強度僅なるものに對しては正確なる値を測定し得るものなく比較値に於て

すら正確を期し難い。各種測定裝置には皆一利一害ありて其の選定も困難であるが著者は最も一般的なる米國鑄物協會制定の附着力試驗機を一部改造使用し附着力を比較調査する事にした。

又實驗値も正確を期するため同一實驗を3回施行し飛離れたるものを除外し其の平均値を取つた。

供試材料は第1報に述べたるが如き理由に依り第1報同様の試料即ち sub-angular sand として土岐津産天然銀砂を、又 angular grain として丸三商會より購入したる人造銀砂を使用した。

IV. 實驗結果及び結果に對する考察

(1) 水分のみの影響

sub-angular grain sand の 20, 30, 40, 50, 70 目の大きさのものを取り之等の各に就き各水分値に於ける附着力を測定し第1圖の如

き結果を得た。

本圖を見るに各目共に水分の増加に随ひ附着力を増加し 9~11% 水分にて (此の水分値は砂粒小なる程高い) 最高となり、更に水分

増加する時は減少する。

此の理由を考察するに砂粒の形、大きさ一定の時は砂粒と砂粒との膠着作用は専ら水の表面張力に依り支配さるゝものなるため、假りに砂粒を球と考ふる時は第2圖に示すが如く砂粒は水の互に最小面積を占めんとする、即ち矢印の方向に表面張力に依り引寄せらるゝものにして此の張力は水の表面積に比例する故砂粒の最も強く膠着さるゝ

爲には、換言すれば表面張力の作用最も有効なるためには第2圖に示すが如く4個の砂粒に

第 2 圖

依り狭まるゝ空間内に砂粒に接する圓を想像し此の圓の周圍に圖の如く水の充さるゝ場合最も表面張力の作用著しく砂粒は最も強く膠着される。

第 1 圖

clay 0%
sub-angular grain

而して砂粒間空間の全容積は砂粒の大きさに關せず一定であるが後述の如き理由に依り粒子小なる程全表面積を増し附着力大となり、又附着力最大となる點は粒子小なる程右方に移る。

而して水分量小なる時は砂粒間に凝集する水滴の表面積小なるがため強度小なれども水分の増加につれ其の表面積を増加し最大表面積にて最高強度を示す。尙水分増加する時は圓は小となり、順次其の表面積小となり、強度を減少するものと考察される。

2 粘土の影響

先づ水及び粘土の共存する場合の附着力を調査するため 30, 40, 50, 70, 100 目の sub-angular grain sand に 10% の粘土を加へ各水分値に於ける附着力を測定し第3圖の如き結果を得た。即ち各目共初め水分の増加するに隨ひ附着力著しく低下し第1報に示せる通氣度最良なるべき水分値近くなりて附着力の

低下が減少し更に水分増加する時は若干上昇し次に又下降する。

次に此の現象を理論的に考察して見る。上述の如く粘土の附着力の機構に對しては3種の論がある。故に表面張力説のみにては説明出来ぬかもしれぬが以下に表面張力説にて説明して見る。

第3圖に於て水分2~3%にては粘土の微粒間に働く水の表面張力は第2圖の如き状態にて最も有効に働くものにして

2~3%以上に水分増加する時は水分は粘土粒間の空間に内接する圓上以に存在し其の表面積小となり勢ひ表面張力の作用鈍り粘土の附着力を弱めるものにして、一方鑄物砂中の粘土量は珪石量に比較し僅少なるため鑄物砂中の水分の微弱なる増加に依るも粘土粒間の空間を埋むる水分の表面積を著しく減少し、随つて表面張力の作用に著しき減少を來し水分4~7%にて附着力著しく低下するものと考へられる。

更に水分増加し7~8%になる時は第1報に示せるが如く砂の flowability 著しく水分に依り増加さるゝがため同一の力にてつき固むるも緻密につまり單位破壊面中に存する砂粒接點の數を増し後述の如き理由に依り粘土自體の粘着力は水分の増加に依り減少するも砂の強度としては向上するものと考へられ

第3圖

clay 10 %
sub-angular grain

る。

即ち粘土に依り附着力を増加する効果は粘土量10%に對しては水分3~4%以下の時最も有効にして水分増加するにつれ漸減し水分のみの場合と正反對となる。

次に同一試料に粘土20%添加し10%同様各水分値に於ける附着力を測定し第4圖の如き結果を得た。即ち第3圖と第4圖を比較するに水分量附着力曲線の形は大差なく、唯附着力の最低となる水分量に於て粘土20%の時の方が1%右遷してゐる。此の上述の理由に依り當然の結果である。

次に水分を6%に一定し砂粒直径と附着力との關係を粘土量0%, 10%, 20%に就き測定し圖示すると第6圖の如くなる。即ち附着力は常に粒徑大となるに順ひ直線的に減少する。其の減少率即ち第6圖の關係直線の傾斜

第 4 圖
clay 20%
sub-angular grain

の場合と 20% との場合を比較するに前者は稍急になつてゐる。

此の結果を換言すれば同じく 10% 粘土を添加する場合附着力の増加は細粒に於て著しいが粒径大となるに順ひ漸次小さくなる。

次に之等の現象を少しく理論的に考察して見る事にする。

第 1 報に示せるが如く鑄物砂中の水分は砂粒表面をうるほすに要する水分と粘土に吸収され粘土の粘着力

の根源となる水分とに分け考へる事が出来る。今 10% 粘土を添加せる場合を考ふるに鑄物砂の全水分は 6% にて一定なるがため粒子大になると小なる時よりも単位容積内の砂粒の全表面積小となるがため砂粒表面をうるほすに要する水分小となり、勢ひ粘土に吸収さるゝ水分は大となる。然るに鑄物砂の水分 6% 近くに於ては粘土量 10% の時は第 3 圖の如く水分の増加に依り附着力を減少してゐる時なる爲上述の如く粒子大となる時は粘土に吸収さるゝ水分大となり附着力を著しく減少し粘土添加に依る附着力増加は小となる。

次に粘土を更に 10% 増加し 20% の場合を考慮するに粘土 20% に於ては 10% の場合よりも更に 10% 多く粘土存在するがため砂粒大となり粘土に吸収さるゝ水分増加するも砂

第 6 圖

は 10%, 20% の粘土を加へたる場合の方粘土 0% の場合よりは急である。又粘土 10%

中の單位重量の粘土に對する吸收水分の増加は 10% の場合よりも小なるがめ、粒徑附着力曲線はゆるやかになる。一方粘土存在するため粘土 0% の時と比較すれば 20% 粘土の方が直線の傾斜は急になる。

上述の結果を換言すると粘土を添加し鑄物砂の附着力を増加する効果は初め 10% 加へた時は粒子小なる時顯著に著れ砂粒大になる程減退し、終に其の効果を殆ど現さなくなる。更に 10% 粘土を加ふる時は (即ち 20% の時は) 此の 10% 粘土の附着力増加に對する効果は微弱乍ら砂粒大なる程大となる。即ち粘土添加に依る附着力増加は粒徑及び共存水分と不即不離の關係にある。

然るに世上往々にして粘土配合量を粒徑を無視して決定してゐる場合が多い。此の點一考を要すると思ふ。即ち粘土量は粒徑に應じ決定さるべきものにして他の條件に依り決定せらるを得ざる場合は水分量に依り調整すべきものなりと云ふ事が出来る。

(3) 砂粒大きさの影響

第 3 圖及び第 4 圖を見るに次の如き現象を認める事が出来る。

(a) 一般に砂は粘土の存在の有無に關せず砂粒の小なる程附着力大である。

(b) 粘土が共存する時は水分 2~3% (粘土量 10% の場合) 近くより水分量の増加に依り附着力が減退するものであるが其の傾向を示す曲線は砂粒大なる程傾斜急にして、小なる程ゆるやかである。換言すれば砂粒大なる程附着力は含有水分量の影響を受け易い。

次に之等の現象を理論的に考察しようと思ふが今簡單ならしむるため次の如き假定をおく。

(イ) 附着力試験機にて試験片が破壊する時破壊面は第 7 圖の如く平面なりとする。

第 7 圖

(ロ) 砂粒は總べて球狀にて第 7 圖の如く規則正しく配列してゐる。(實際の配列は後述の様に ramming の程度に依り變化し複雑であるが砂粒大きさの影響を比較論する時は此の様に簡單化しても差支へない。

先づ粘土存在せずして砂の強さが砂粒間に存在する水の表面張力に依り生ずる場合を考へて見る。

上述の様に假定する時は破壊面に於て破壊力に抵抗する最大抵抗力は次の如き式にて示す事が出来る。

$$\text{抵抗力} \propto \frac{2\pi bs}{4} \quad (1)$$

π 破壊面の一定面積中にある粒子の數

b 第 2 圖に於ける 4 個の砂粒に内接する 3 個の圓の半径

s 水の表面張力

(1) 式に於て s, π, b は一定なるがため

$$\text{抵抗力} = KAb \quad (2)$$

今 6 目, 12 目, 20 目, 40 目, 70 目, 100 目に就き Ab を表示すると第 1 表の如くなる。

第 1 表

目数	粒子径	A	B	Ab
6 目	1.68 mm	25	0.69	17
12 #	0.84 #	100	0.34	34
20 #	0.42 #	400	0.17	64
40 #	0.21 #	1600	0.085	136
70 #	0.07 #	6400	0.041	264
100 #	0.10 #	12544	0.029	376

今 Ab を Bonding factor なる言葉にて呼ぶ事にする。上記計算結果より Bonding factor と目数との関係を圖示すると第 8 圖點線の様になる。即ち目数に應じ直線的に變化する。即ち計算上 Bonding factor, 換言すれば最大附着力は粒子小となる程増加する。

第 8 圖

次に第 1 圖に於ける附着力の最大値を第 8 圖に記入すると實線の様になる。

即ち附着力が砂粒の大きさ小になる程大になる事は實驗値と計算値と一致する。

次に粘土の添加された時を考ふるに此の時に於ても附着力は水のみの時同様破壊面の單位面積内に存する砂粒接點の數と、單位接點の粘着力の積に比例する。

而して破壊面の單位面積内に存する砂粒接點の數は砂粒半径の自乗に逆比例する。

又單位接點の粘着力は第 2 圖に示す水の代りに水を吸収せる粘土が同一存在状態にて存するものなるがため砂粒に内接する圓弧の長さに比例する。即ち粘土の存する場合に於ても粘土の吸収水分同一なる時は砂の附着力は上述 2 者の積即ち

$$\frac{1}{r^2} \times r = \frac{1}{r}$$

に比例する。換言すれば目数に比例し増大する。

次に粘土量 10% の場合水分が 2~3% より順次増加し行く時を考ふるに添加されたる水分は一部粘土に吸収さるゝと同時に一部は砂粒表面をうるほすに消費される。而して砂粒表面をうるほすに要する水分は砂粒小なる程其の表面積の總和は大となるため多くを要す。

即ち砂粒小なる時は添加されたる水分は砂粒表面をうるほすに多く消費さるゝ爲粘土に吸収され附着力に影響する量少くなる。換言すると砂粒小なる時は間接に粘土に吸収さるる水分少くなるため水分に依る附着力の低下少く水分—附着力曲線の傾斜は大粒の場合よ

りゆるやかになるものと考へられる。

4 砂粒配合の影響

附着力に及ぼす砂粒配合の影響を見るため
30目と100目, 30目と70目, 30目と50目,
50目と70目, 70目と100目の sub-angular

grain sand に 10% の粘土を添加し, 配合
比を夫々 10:90, 30:70, 50:50, 70:30,
90:10 の場合に就き各水分値に於ける附着
力を測定し第9圖より第13圖迄の如き結果
を得た。

第 9 圖

clay 10%
sub-angular grain

第 10 圖

clay 10%
sub-angular grain

第 11 圖
clay 10%
sub-angular grain

第 12 圖
clay 10%
sub-angular grain

第 13 圖

100~30 m
clay 10%
sub-angular grain

本圖を見るに個々の曲線の形は粒子の大きさ揃ひたる時、即ち均一粒子の場合と大差ない。又小粒子を多く含むもの程附着力は大となる傾向がある。

更に此の結果を一層明瞭ならしむるため水分を6%に一定し配合比と附着力との関係測定すると第14圖より第18圖迄に示す如くなる。

第 14 圖

第 15 圖

第 16 圖

第 17 圖

第 18 圖

本圖を見るに附着力は大粒の配合比 10% 附近にて最大となる。即ち配合砂の附着力は小粒のみの場合よりも之に少量の大粒混じたる場合の方大となる。且又小粒に大粒を混する事に依り起る配合砂の附着力の増加は大粒及び小粒の大きさの差大なる程著しい。而して 2 種の粒子の大きさ接近したる、例へば 100 目と 70 目、又は 30 目と 50 目程度のものは配合に依る附着力増加の點より言へば實際問題として均一粒子と見て差支へない。

次に此の種現象を砂粒の配列及び附着力試験片の破壊面の性質の 2 方向より考察を加へて見る。

(a) 鑄物砂中に於ける砂粒の配列に就いて：砂粒の配列は砂の詰方に依り變化し複雑なれども之を簡單化する時は大略標準として第 19 圖、第 20 圖の如く 2 種の配列を擧げる事が出来る。

即ち第 19 圖は立方體を重ね其の各に 1 個の砂粒を内接する配列で、第 20 圖は菱形 12 面體を積重ね其の各に 1 個の砂粒を内接するものを示す。第 19 圖は砂の詰方最も弱い場合に考へられる理想的配列で、第 20 圖は砂の詰方が最も完全に行はれた理想的配列と考へ得られる。従つて實際の鑄物砂の場合には其の間を取るであらう。

而して之等の配列に於て砂粒の中心及び接點を通る断面を取る時は第 21 圖の如く第 19 圖型配列は何れの部分を取るも相接する砂粒の中心線は 90° にて交り、第 20 圖型配列は第 22 圖の如く 60° にて交る。又此の中間に屬するものは第 23 圖の如く 90° より 60° の間にて交る。故に著者は第 21 圖型配列を 90° 型配列、第 22 圖型配列を 60° 型配列、其の中間を θ° 型配列と呼ぶ事にした。

次に大小砂粒の配合されたる時の配列の標準としては、第 24 圖の如く大粒と大粒との最短距離間に何個の小粒を狭むかに依り 1 型配列、2 型配列、3 型配列 (以下之に準ず) 等と呼ぶ事にした。

又配合砂に於ては上記呼稱を組合せ第 25 圖の如く大粒と大粒との關係位置が 90° 型にして、小粒と小粒とが 60° 型に配列され、且大粒間に小粒が 3 個狭まれるるものを 90° - 60° -3 型配列と呼ぶ事にした (以下之に準ず)。

第 19 圖

90° 型配列

第 20 圖

型配列

第 21 圖

第 22 圖

第 23 圖

第 24 圖

第 25 圖

次に之等の配列に於て砂粒の占むる容積と砂粒間の空間の容積との関係を算出すると次の如くなる。

90° 型配列:

半径 r なる球に外接する立方體の體積は

$$(2r)^3 = 8r^3$$

半径 r なる球の體積は $\frac{4}{3}\pi r^3 = 4.188r^3$

故に砂粒間空間の全容積に對する百分率は

$$\frac{8r^3 - 4.188r^3}{8r^3} \times 100 = 47.6 \approx 48\%$$

60° 型配列:

半径 r なる球に外接する菱形 12 面體の體積* は

$$5.65r^3$$

半径 r なる球の體積は $4.188r^3$

*圖に於て $ABCDEF$ を菱形 12 面體の相交る 3 面を示すものとする。

今頂點 E, D より菱 AB に垂線を下す。然る時は $a = \frac{r}{\sqrt{3}}$

又面 $BCHF$ に於て

$$dc = ab$$

$$c = r$$

$$d^2 + c^2 = b^2 \quad a = \frac{r}{\sqrt{3}}$$

故に $b = \sqrt{\frac{3}{2}}r$ 随つて 1 面の面積は $2ab = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} r^2 = \frac{2}{\sqrt{2}} r^2$

故に菱形 12 面體の體積は $V = \frac{1}{3} \cdot \frac{2}{\sqrt{2}} r^3 \times 12 = 5.65r^3$

故に砂粒間空間の全容積に對する百分率は

$$\frac{5.65r^3 - 4.188r^3}{5.65r^3} \times 100 = 25.8 \approx 26\%$$

即ち同一重量の砂にても 90° 型に配列さるるか、 60° 型になるかに依り容積は著しく變化し、後述の破壊面を考ふる時は 90° 型は 60° 型に比し單位破壊面中にある接點數小となり強度も小となる。

附着力試験片の破壊面に就いて： 前述の様に試験片が破壊を起す時、外力に抗する力は破壊面に於ける砂粒と砂粒との結合力に依り生じる。故に砂の強さは破壊面に存する砂粒接點の數と單位接點の強さに左右される。

今大きさ異なる 2 種の砂粒が配合されたる場合に就き考察するに、此の場合砂粒の結合に次の 3 種の場合がある。

- (イ) 小粒と小粒との接する場合
- (ロ) 大粒と小粒との接する場合
- (ハ) 大粒と大粒との接する場合

而して之等 3 者を比較するに粘土量、水分量同一なる時は接合力の強さはイ、ロ、ハの場合の順序であるが實際には小粒と小粒との接する場合と、小粒と大粒の接する場合とは其の接合力の差異僅少にして同等と見る事が出来る。

次に破壊面の廣さは大小砂粒の配合比に依り變化する。

即ち第 26 圖に示す様に配合砂は單一砂粒の場合より複雑且廣くなり、破壊面中に存する砂粒接點の數も大となる。これ上述の如く配合砂が單一粒子砂の時よりも附着力大となる所以である。

第 26 圖

今第 14 圖に示す様に小粒に大粒を配合し行く場合を考察するに第 26 圖 A に示す如く小粒のみの場合は破壊面簡單なれども之に大粒混する時は第 26 圖 B に示す如く破壊面は大粒を避け通るがため凹凸を生じ、破壊面中の砂粒接點が多くなつて強度を増加する。

而して或程度以上大粒増加する時は大粒と大粒とを直接接する様になり、破壊面簡單となり、又砂粒の接點數も減少するものと考察される。

更に大粒増加する時は益々大粒と大粒と接する機會多くなり一層強度を低下するものと考察される。

次に大小砂粒が配合されたる時、配列と重量比との關係を考察して見る事にする。

今 $60^\circ-60^\circ-1$ 型配列に於て大粒半径を R 、小粒半径を r とする時は之を平面圖にて示す時は第 27 圖の様になる。

第 27 圖

即ち大粒1個に就き考ふる時は

大粒1個の重量は $4.18R^3\rho$

大粒1個を含む鑄物砂の總量は

約 $[5.65(R+r)^3 - \{5.65(R+r)^3 - 4.18R^3\} \times 0.26]\rho$

但し ρ 珪石の比重

$5.65(R+r)^3$ 半径 $(R+r)$ なる球に外接する
菱形12面體の體積

0.2660° 型配列の砂に於て全容積に對する
空間の百分率

故に配合砂中の大粒の百分率(重量)は

$$\frac{4.18R^3\rho}{[5.65(R+r)^3 - \{5.65(R+r)^3 - 4.18R^3\} \times 0.26]\rho} \times 100 = \frac{100R^3}{(R+r)^3 + 0.26R^3}$$

同様にして 60°-60°-2 型配列では

$$\frac{100R^3}{(R+2r)^3 + 0.26R^3}$$

60°-60°-3 型配列では

$$\frac{100R^3}{(R+3r)^3 + 0.26R^3}$$

今大粒の百分率(重量)を x 、又半径比即ち $\frac{R}{r}$ を y とする時は夫々

60°-60°-1 型配列

$$x = \frac{100y^3}{(y+1)^3 + 0.26y^3} \quad (3)$$

60°-60°-2 型配列

$$x = \frac{100y^3}{(y+2)^3 + 0.26y^3} \quad (4)$$

60°-60°-3 型配列

$$x = \frac{100y^3}{(y+3)^3 + 0.26y^3} \quad (5)$$

3, 4, 5 式を圖示する時は第 28 圖の如くなる。

次に第 28 圖に第 14 圖の如くして得たる最

高附着力を出す時の大粒重量百分率を記入する時は點線の様になる。即ち最高附着力を出す場合の配列は $\frac{R}{r}$ に依り變化するが大略 60°-60°-2 型又は 60°-60°-3 型配列に近き事を知る。

上述の破壊面の項にて述べたるが如く配合砂の破壊面は 60° 型に於ては 60°-60°-1 型配列にて最も複雑となり、強度も最高となる様に考へられる。然るに第 28 圖に示すが様に最高強度を出す配列は 60°-60°-2 又は 60°-60°-3 型に近くなる。

此の點一見矛盾せる様に考へらるゝが、此の R と r の關係に依り 60°-60°-1 型配列にては大粒間を完全に小粒にて接觸し得ざる場合を生じ、破壊面は廣く且複雑になるが破壊面中に存する砂粒接點の數少きために依ると考察される。

次に $\frac{R}{r} = \infty$ の場合、即ち均一砂粒と粘土

第 28 圖

上する効果は重量にて粘土量 21% 迄有效なる事を知る。

5 砂粒の形の影響

鑄物砂の附着力に及ぼす砂粒形状の影響を見るため人造銀砂を天然銀砂同様にして篩分けし 30 目、50 目、70 目の各々に粘土 10% を添加し各々水分値に於ける附着力を測定し第 29 圖の如き結果を得た。

の配合されたる場合に就き考察を加へて見る。

3, 4, 5 式を展開する時は

$$x = \frac{1}{1.26 + \frac{3}{y} + \frac{3}{y^2} + \frac{1}{y^3}} \times 100 \quad (3')$$

$$x = \frac{1}{1.26 + \frac{6}{y} + \frac{12}{y^2} + \frac{8}{y^3}} \times 100 \quad (4')$$

$$x = \frac{1}{1.26 + \frac{9}{y} + \frac{27}{y^2} + \frac{27}{y^3}} \times 100 \quad (5')$$

故に $y = \infty$ なる時は $60^\circ-60^\circ-1$ 型, $60^\circ-60^\circ-2$ 型, $60^\circ-60^\circ-3$ 型何れも

$$x = \frac{1}{1.26} \times 100 = 79\%$$

即ち均一粒子と粘土との配合されたる時は砂粒 79% にて最高強度を出す事を知る。換言すれば均一粒子の場合粘土に依り強度を向

本圖を第 3 圖と比較し見るに

イ 人造銀砂は天然銀砂に比較し附着力に及ぼす粒子の大きさの影響が少い。

ロ 人造銀砂は天然銀砂に比較し水分 7~8% にて生ずる附着力の上昇少く殆ど認められない。

即ち人造銀砂に於ては其の形複雑且變化に富みゐるがため篩分けにより正確に砂粒大きさを揃へる事困難なるがため砂粒大きさの影響明白に現れざるものと考へられる。

又水分 7~8% にて現るゝ附着力の向上は前述の如く砂の flowability の向上に依り生ずるものにして、第 1 報に述べたるが如く砂の flowability は、人造銀砂は天然銀砂に比し小なるがため水分 7~8% にて現るゝ附着力の上昇も少きものと考へられる。

次に大小粒子の配合されたる時砂粒の形が 同様にして 70目+30目に就き調査し第 30 圖
如何なる影響を及ぼすかを見るため第 14 圖 の如き結果を得た。

即ち配合砂に於ても人造銀砂は篩分け困難なるがため配合比—附着力曲線に於て其の正確なるものを得難い。併し配合により若干附

着力を向上し特に大粒に少量の小粒入る時附着力の向上大である。之人造銀砂の大小粒の尖端の噛合ひ關係に依るものと考察される。

V. 應 用 例

第1報及び本報に示せるが如く通氣度を主體とする時は砂粒分布は均一粒子なる事を必要とし、又強度を主體とする時は小粒子に大粒子を適當量配合するを要す。即ち標準砂として通氣度を主にするか強度を主にするか

に依り自ら異なる。

今 Terzaghi⁽¹²⁾の土壤圖示法を適用し標準砂の砂粒分布を圖示する時は第31圖の如くなる。

第 31 圖

第 2 表

鑄物砂としては本圖の標準砂に示すが如き砂粒分布最適なれども實際問題として工場作業に際し此の如きものを自然に得る事困難にして、2種以上の砂を配合し標準砂に近きものたらしめる事を要する。

次に上記調査結果を應用せる配合計算の一例を示す事にする。

先づ強度を主體とし A, B 2種の銀砂を配合するものとする。尙 A, B 銀砂の篩分試験の結果を示すと第2表の如くなる。

目 數	目の大きさ (m/m)	砂粒分布 (%)	
		A 銀 砂	B 銀 砂
6	3.36	0.79	67.90
12	1.68	11.83	27.50
20	0.84	11.17	2.50
30	0.63	29.38	1.70
40	0.42	12.29	0.25
50	0.37	13.21	0.20
70	0.21	9.58	0.10
100	0.149	5.54	0.05
140	0.105	3.50	0.05
200	0.074	1.25	—
270	0.053	0.63	—
殘		0.75	—

第2表を見るにA銀砂は30, 40, 50目がてゐる。故に次の如くしてAB銀砂の平均主にして、B銀砂は6, 12目が主成分をなし半徑を求める。

$$\text{A 銀砂の平均半徑} = \frac{0.315 \times 29.38 + 0.21 \times 12.3 + 0.17 \times 13.2}{29.38 + 12.3 + 13.2} = 0.256 \text{ mm}$$

$$\text{B 銀砂の平均半徑} = \frac{1.68 \times 67.9 + 0.84 \times 27.5}{67.5 + 27.5} = 1.49 \text{ mm}$$

$$\text{故に } R/r = \frac{1.49}{0.256} = 5.8$$

今 $A : B = x : y$ の比に配合し

故に $R/r = 5.8$ なる時最高附着力を出す (6目+12目):(30目+40目+50目) = 77 : 23
に要する大粒 % は第28圖より 23% なる事
を知る。

$$\frac{95.4y}{55.9 + 2.2y} = \frac{23}{77} \quad (6)$$

即ち A, B 銀砂を配合し 30 目+40 目+50 目に對し 6 目+12 目の配合百分率が 23% になるを要す。

$$x + y = 100 \quad (7)$$

6, 7 式より $y = 15\%$

故に A, B 砂の配合割合は次の如くして計算される。

即ち $A : B = 85 : 15$ の割合に配合するを要す。

	A 銀砂	B 銀砂
6 目+12 目		95.4
30 目+40 目+50 目	55.9	2.2

次に上記計算結果を松塚博士⁽¹³⁾の配合作圖法を應用し作圖する時は第32圖の如くなる。即ち配合砂は標準砂に近似の形を取る。

第 32 圖

而して上記配合計算法は單に鑄物砂のみならず、製鋼爐の裏付スタンプ材其の他にも應

用し得るものと思ふ。

VI. 結 言

上述の實驗結果を結言すると次の如くなる。

(1) 水及び粘土の影響

イ) 水分のみの影響は水分8~12%迄水分の増加に依り附着力を向上する。

ロ) 水及び粘土の共存する時は低水分にて最高附着力を示し以後水分の増加につれ附着力低下し更に水分増加する時は再び向上する。此の附着力上昇は砂の flowability に依り説明せらる。

ハ) 粘土添加に依り附着力を増加する効果は共存水分、及び粒子の大きさと密接な關係あるが理想的條件では附着力を向上するに有效なる最高粘土量は重量にて21%である。

(2) 砂粒の影響

イ) 附着力は水分及び粘土の存在状態同

一の時は砂粒小なる程大である。

ロ) 附着力は砂粒大なる程水分の影響を受け易い。

ハ) 大小砂粒の配合されたる時は小粒に少量の大粒を混じたる時附着力最大にして、且最大附着力を與へる大粒の量、及び附着力の増加は大、小粒の半径比に依り變化する。

ニ) 大小砂粒を配合して強度を向上するには大小砂粒の大きさの差大なる程有效である。又砂粒の大きさの差大なる程小粒の配合比小にて附着力は最大となり、其の極限值は21%である。

ホ) 人造銀砂は天然銀砂より強度小である。又 flowability に依る附着力の向上も小である。

終りに臨み本研究に對し御懇切なる御指導御鞭撻を賜りたる九大教授井上博士、谷村博士及び當社熱田工場長林達夫氏、研究部長錦織博士に深甚なる謝意を表する次第である。

参 考 書

- (1) 鐵と鋼, 第19年, 第1號.
- (2) Die Giesserei S. 239, 1929.
- (3) Foundry trade journal 11-15, 1934.
- (4) Report of central institute of metal Vol. 16, 1934.
- (5) 鑄造, 第5卷, 第10號.
- (6) 鑄造, 昭和6年.
- (7) 松塚清人: 鐵と鋼, 第20年, 第5號.
- (8) Die Bodenkolloide S. 98, 1928.

-
- (9) 池原, 小高: 最近土質力學說.
- (10) Bole: Journal of American ceramic society p.472, 1922.
- (11) Victor Lenher: Journal of American chemical society p.391, 1921.
- (12) Terzaghi: Erdbaumechanik; Terzaghi: Ingenieur Geologie.
- (13) 松塚清人: 旅順工大彙報, 第 20 號.
-