

(公社)日本鑄造工学会

第7回 生型研究部会

鑄物砂の評価法について



R2.1.9(木)

ウインクあいち 9F908会議室

(株)瓢屋 曾根 孝明

鑄物砂の評価

【キーワード】

“生型骨材” 「鑄物砂」 評価法について

鑄物砂試験法

- ◆ JIS規格、標準試験法の整理
- ◆ 粒度分布、化学成分、粒形 評価方法の考察
- ◆ 人工砂、中国における標準化の現状

鑄物砂評価の標準化や考え方についての議論

1. 鑄物砂に関する規定

鑄物砂に要求される性質

化学成分
ノルム計算
熱膨張率測定

- 適正な化学成分＝高耐火度、適正な熱膨張率

けい砂の場合化学成分の中でSiO₂分が高く、不純物が少ないと高耐火度となるが、熱膨張が高くなる

- 適正な粒度分布 粒度分布試験

- 粘土分、微粉が少ない 全粘土分試験

- 粒形が丸く、充填性が高いこと 粒形係数、かさ比重

- pHが中性＝粘結剤との反応性抑制 pH、酸消費量試験

- 破碎されにくい＝けい砂の場合長石類が多いと破碎されやすい
(モース硬度 石英7長石6) 破碎性試験

- 安定供給(埋蔵量、コスト) 生産地調査

試験規定はJIS規格、研究部会、鑄造協会等 発行の規定書から引用

鑄物砂に関するJIS規格及び主な規定

令和元年7月1日法改正
工業標準化法→産業標準化法
へ名称が変更

- **JIS G 5901-2016 鑄型用けい砂**

化学成分1~6種、粒度区分3~8号の規定

表示例 ○○製造所 産地;島根県 Aけい砂 2種 6号

- **JIS Z 2601-1993 (2018確認) 鑄物砂の試験方法**

粘土分、粒度、通気度、圧縮強さ、水分、強熱減量の規定

- **JACT試験法** (平成11年5月 日本鑄造技術協会)

シェルモールド用骨材に関する試験規定

- **生型材料の評価方法** (昭和57年3月 日本鑄物協会東海支部)

- **生型砂の管理の現状** (昭和56年3月 日本鑄物協会東海支部)

生型砂の試験方法(コンパクトビリティー 表面安定度など)

- **有機鑄型の試験方法** (昭和61年2月 名工研ワーキングG)

有機鑄型に関する試験規定

生型砂試験方法
(H29.9 第二版)
生型研究部会

生砂の特性評価指標

常温特性(湿態)

水分

コンパクタビリティ(CB)

モールドビリティ

圧縮強さ

引張り強さ

せん断強さ

スプリッティング

ジョルトタフネス

シャッターインデックス

表面安定性(SS1)

通気度

試験片重量(φ50×50H)

試験片密度(φ50×50H)

鑄型硬度(試験片)

混練度

水分感度

生砂組成

全粘土分(20μm以下粒子)

活性粘土分

強熱減量

残存澱粉量

固定炭素量

pH(水素イオン濃度)

オーリテクス量

酸可溶性金属分

クォーツ分(SiO₂純度)

粒度分布

粒度指数

団粒度

高温特性

ガス発生量

曝熱試験

熱膨張量

熱間強度

熱間変形量

水分凝縮層引張り強さ

シリカプログラム

化学成分

X線回析(鉱物)

ノルム計算(鉱物量)

粒形

2. 鑄物砂の評価

- 粒度分布
- 化学成分
- 粒形

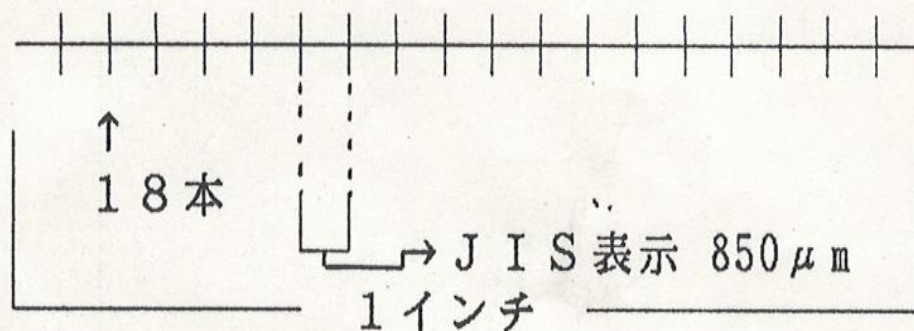
2.1 鋳物砂の粒度分布

【規格】

- ◆ JIS Z 2601-1993 付属書2 鋳物砂の試験法
- ◆ JIS Z 8801-2019 試験用ふるいー第1部:金属製網ふるい

※ m e s h (メッシュ) ……砂粒の大きさを示す単位。1インチ(25.4mm)の長さを横切る目の数の単位をメッシュという。」

例 18メッシュ



- ふるい網目はメッシュ表示が多い
- メッシュは25.4mmを区切る網目数
- JISZ8801試験用ふるい規格でないものや、網目を区切る線径が違うものを使うと同じメッシュでも目開き(mm)が違うので注意が必要

粒度分布測定

- ①砂20g測定し金網ふるいに投入する
- ②ロータップ、超音波等で振動をかける
- ③各ふるい上の砂重量を測定する
- ④ $20\text{g} \div \text{重量} = \text{各ふるい上の重量} \%$
- ⑤粒度指数を計算する



目的

- *粒の細かい、粗いを判定
- *粒度指数の計算



鑄物砂の粒度分布

- JISZ2601-1993 付属書2で規定
- 鑄物砂は主に**0.1~0.6mm間**の粒径サイズを使用する。
- メッシュは篩の網目を表しており、各篩目の寸法(mmもしくは μm)と対応している。
- 粒度分布,粒度の粗細は 鑄型成型性、鑄肌、充填密度、通気度などに影響する
- 粒度指数(AFS,JIS)で粒度粗細をあらわす。

Mesh	18	26	36	50	70	100	140	200	281	PAN
μm	850	600	425	300	212	150	106	75	53	0
AFS 係数	10	20	30	40	50	70	100	140	200	300
JIS 係数	22	31	44	63	89	125	178	249	355	631

粒度分布測定と粒度指数AFS計算 ベトナム産6号

Mesh	18	26	36	50	70	100	140	200	281	PAN	合計
μm	850	600	425	300	212	150	106	75	53	0	
%		0.1	1.5	19.5	43.9	26.0	6.7	2.1	0.1	0.1	100
AFS 係数	× 10	20	30	40	50	70	100	140	200	300	58.56
% × AFS 係数		2	45	780	2195	1820	670	294	20	30	5856
AFS 計算	$\% \times \text{AFS係数の合計} (5856) \div \text{重量合計}\% (100)$ $= \text{AFS } 58.56$										

AFS	30~40	50	60	70~80	80~100	100以上
号数	4~5号	5.5号	6号	7号	8号	9号
用途	フラン	フラン	一般	鑄肌	鑄肌	塗型用
欠点	鑄肌が悪い		中間	ガス抜け悪い、強度低い		微粉

粒度分布測定と粒度指数JIS計算 ベトナム産6号

Mesh	18	26	36	50	70	100	140	200	281	PAN	合計
μm	850	600	425	300	212	150	106	75	53	0	
%		0.1	1.5	19.5	43.9	26.0	6.7	2.1	0.1	0.1	100
JIS 係数	×22	31	44	63	89	125	178	249	355	631	=各粒度 cm ² /g
%× JIS係 数		3.1	66	1228.5	3907. 1	3250	1192.6	522.9	35.5	63.1	10268. 8
JIS 計算	$\% \times \text{JIS係数の合計} (10268.8) \div \text{重量合計}\% (100)$ $= \text{JIS } 102.688$										

「砂粒子 1gあたりの表面積の総和 cm²/g」を表す。

※ただし前提条件として

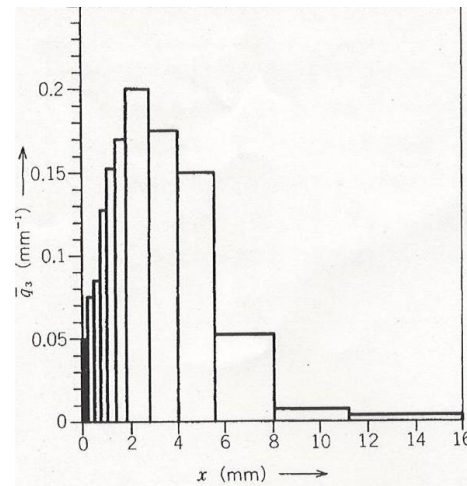
石英の比重2.65、粒形は球体、

各メッシュ平均粒子径を同一直径 (70メッシュなら $(212+300) \div 2 = 256\mu\text{m}$)

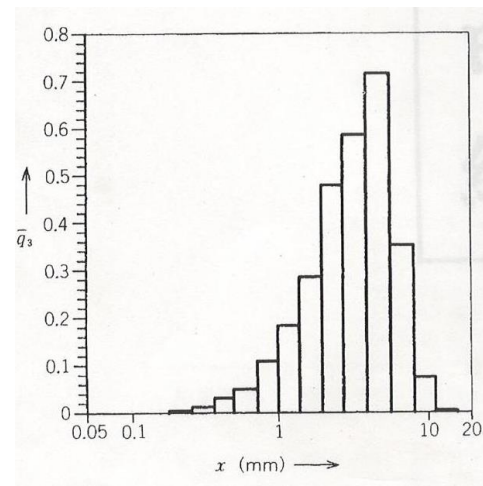
JIS Z 8819 粒子径結果の表現

平均粒子径

名前		ベトナム6号	粒子径区間の最大粒子径	記号A	記号B	秤量値	積算分率	頻度
シート		1						
mesh	フルイ目	分布(%)			代表粒子径と相対粒子量 ($\Delta Q_{3,i} \times 100$)の積の和	$\Delta Q_{3,i}$	Q_{3i}	q_{3i}
14	1180	0.0	x_i	X_i のLog				
18	850	0.0						
26	600	0.1	mm			実数値		
36	425	1.5	0.02					
			0.053	-1.27572	0	0	0	0
50	300	19.5	0.075	-1.12494	-0.11249	0.001	0.001	0.00288
70	212	43.9	0.106	-0.97469	-2.04686	0.021	0.022	0.060702
			0.15	-0.82391	-5.52019	0.067	0.089	0.192974
100	150	26.0	0.212	-0.67366	-17.5153	0.26	0.349	0.751552
			0.3	-0.52288	-22.9544	0.439	0.788	1.264415
140	106	6.7	0.425	-0.37161	-7.24642	0.195	0.983	0.559851
			0.6	-0.22185	-0.33277	0.015	0.998	0.043498
200	75	2.1	0.85	-0.07058	-0.00706	0.001	0.999	0.002871
			1.18	0.071882	0	0	0.999	0
対数平均粒子径				μ	-0.55735			
実数変換平均粒子径				(mm)	0.277106			
				μm	277			



図A.1 普通方眼紙にプロットした
質量基準ヒストグラム $\bar{q}_3(x)$



図A.3 横軸を対数とする質量基準
ヒストグラム $\bar{q}_3(\ln x)$

粒度分布測定の見

- 粒度分布の結果を表す指標として粒度指数があるが、AFS粒度指数は鑄物砂JISG5901表記3～8号砂と感覚的に一致していて粒度の粗細を即判断するのに向いていると思われる。
- JIS粒度指数は砂の1g当りの表面積総和(cm^2/g)であり、同粒度指数と全粘土分測定を併用すると、200メッシュ以下の微粒子の増減をより細かく管理できると思われる。
- ふるい法では粒子径の区間が均一ではない。
- 実際には同じ70メッシュでも $300\mu\text{m}$ に近い粒子が多いか、 $212\mu\text{m}$ に近い粒子が多いかで、鑄物砂の特性は変わってくるかもしれない。
- 「JISZ8819粒子結果の表現」に規定される計算方法等を参考に画像解析粒度分布測定とふるい法の結果の比較や検討を行っていくことも必要ではないかと思われる。

2.2 化学成分

【規格】

◆ JIS G5901-2016 鋳型用けい砂 引用規格

JISM8852 、 JISR2212 、 JISR2216(蛍光X線分析法)

◆ シリカプログラム

1978.5 JACTニュース (ジョージフィッシャー社 フランツ ホフマン博士) 鋳
 鋳物砂化学(組成)分析方法 一覧(例)

	化学成分(定量分析)	鋳物回析(定性分析)	シリカプログラム
主な分析方法	蛍光X線分析	X線回析	湿式法
原理	<p>JAIMA 一般社団法人 日本分析機器工業会より</p>		
結果の表示例	SiO ₂ 95% Al ₂ O ₃ 3%	チャートから確認 正長石(K ₂ O・Al ₂ O ₃ ・6SiO ₂)	石英分 70% オーリテックス 20%
何を知る?	各鋳物砂化学成分値 = 鋳物の推定	鋳物(結晶)の同定	生型砂中 オーリテックス量

鑄物砂の化学成分と特性

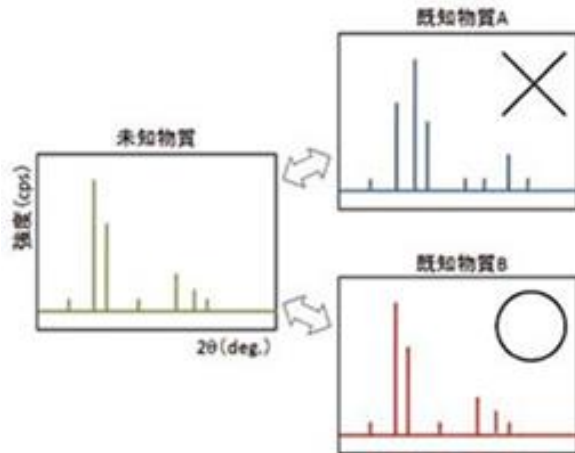
品名	主鉱物名	化学成分	比熱 J/kg·K	熱伝導率 W/m·k	かさ密度	耐火度°C
けい砂	石英(SiO ₂)	SiO ₂ 90~99%	870	0.6	1.5	1730
けい砂中 不純物	長石(K ₂ O・Al ₂ O ₃ ・ 6SiO ₂ 他)	SiO ₂ 65% Al ₂ O ₃ 18% K ₂ O 17%				1200
人エムライトサ ンド	ムライト(3 Al ₂ O ₃ ・ 2SiO ₂)	SiO ₂ 37% Al ₂ O ₃ 61%	770	0.55	1.6	1850
ジルコンサンド	ジルコン(ZrSiO ₄)	ZrO ₂ 66% SiO ₂ 33%	630	0.8	2.9	2200
クロマイト	クロマイト(Cr ₂ O ₃)	Cr ₂ O ₃ 45%	770	0.7	2.9	2000
中国産 人工アルミナサ ンド	コランダム(Al ₂ O ₃)	Al ₂ O ₃ 75%	820	0.75	2.0	1850
スラグ系砂	エンスタタイト (MgSiO ₃)等	MgO 25% SiO ₂ 55%	900	0.5	1.7	1400
ベントナイト	モンモリロナイト (Al ₂ O ₃ ・4 SiO ₂ ・6H ₂ O)	SiO ₂ 53% Al ₂ O ₃ 23% H ₂ O 24%				1000~ 1200

鉱物 (結晶)

⇔ 諸特性 . . . 耐火度、熱膨張率、密度、熱特性 (比熱、熱伝導率)

X線回析による鋳物砂中の鋳物組成の同定

① X線回析測定後 既知物質から鋳物を同定する

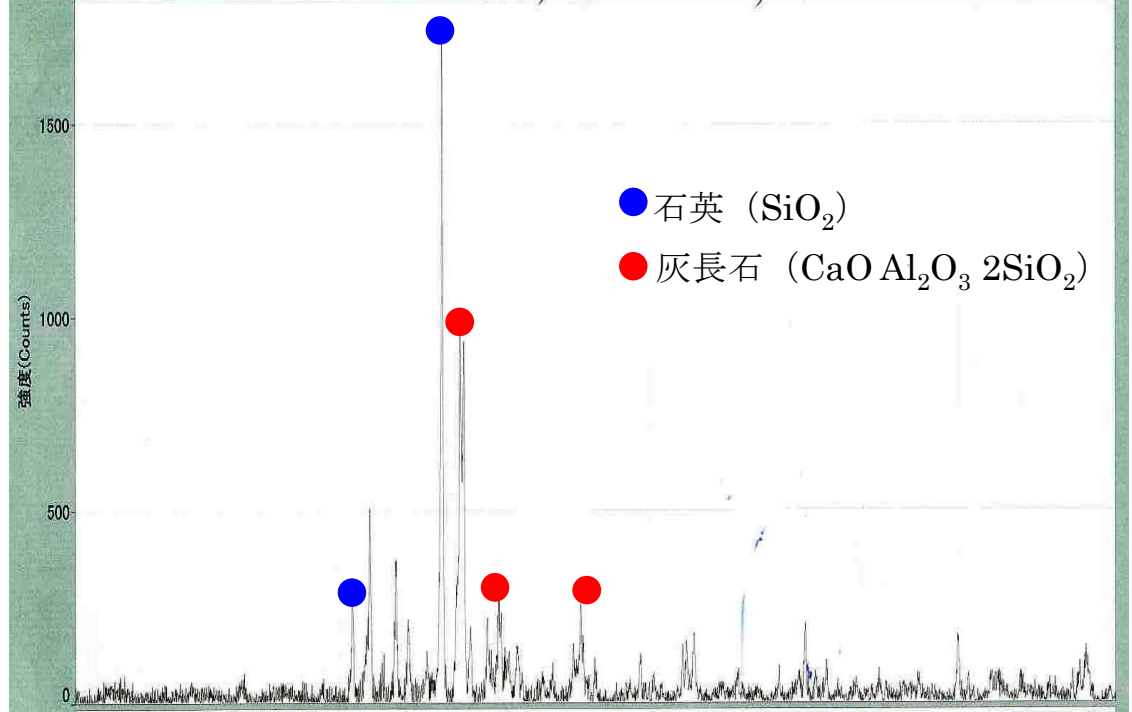


② 同定の結果から

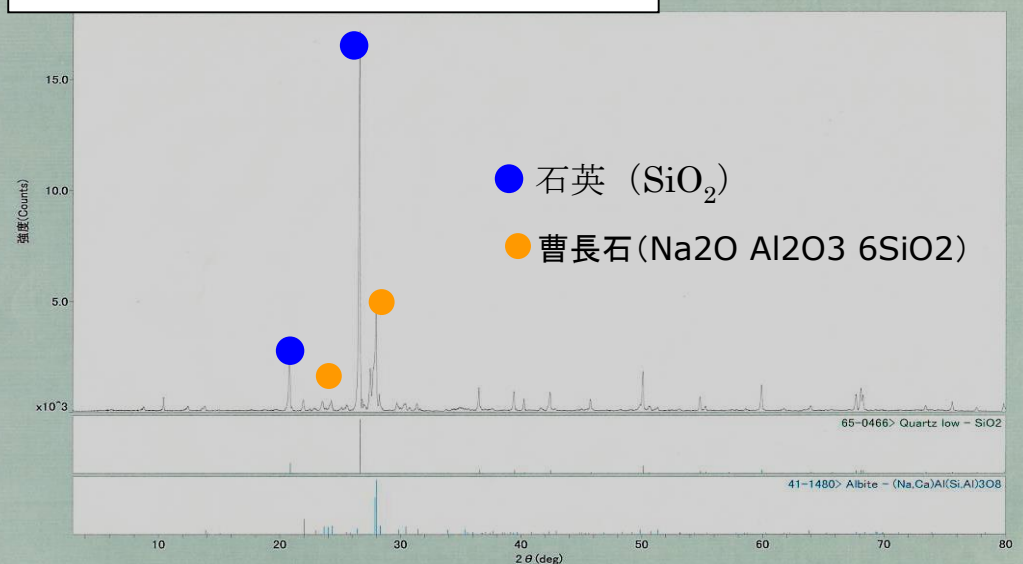
青森県産砂は石英と灰長石が主成鋳物
浜岡産砂は石英と曹長石が主鋳物

以上のように判断。

青森県産砂 X線回析



浜岡産砂



化学成分からノルム計算による鉱物含有量の計算

化学成分(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	lg.loss
浜岡産砂	76.7	12.3	2.28	2.28	1.93	2.05	1.09

各鉱物組成と成分比率		K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	H ₂ O	Fe ₂ O ₃
正長石	K ₂ O · Al ₂ O ₃ · 6SiO ₂	1			1.08	3.83		

• 浜岡産砂ノルム計算例

*X線回析により鉱物を同定・・・石英、長石

*K₂Oは正長石から全て導入源と過程し成分比率に応じて各成分を差し引く計算を行う

*上記化学成分表のK₂O 2.28%時の正長石量を成分比率より計算する

$$(2.28\% \times \text{K}_2\text{O 比率}1) + (2.28\% \times \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ 比率}1.08) + (2.28\% \times \text{SiO}_2 \text{ 比率}3.83) = 13.5\% (\text{正長石})$$

$$\text{同じようにNa}_2\text{O}1.93\% (1.93 \times 1) + (1.93 \times 1.645) + (1.93 \times 5.825) = 16.3\% (\text{曹長石})$$

・
・
・

*その他長石、粘土分、鉄分を計算していき、残りのSiO₂分を石英として計算する

各鑄物砂の化学成分値よりノルム計算結果と考察

青森県産砂(砂落ち良、焼付き小)



浜岡産砂(砂残り、焼付き大)



化学成分値	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Ig·loss	Fe ₂ O ₃
浜岡産砂化学成分	76.7	12.3	2.28	1.93	2.05	1.09	2.28
青森県産砂化学成分	70.8	15.7	0.61	2.08	5.81	0.81	2.58
ノルム計算による鉱物量	正長石	曹長石	灰長石	長石総数	粘土質	石英	鉄分
浜岡産砂化学成分	13.5	16.3	10.7	40.5	7.8	48.1	2.3
青森県産砂化学成分	3.6	17.6	30.3	51.6	5.8	39.6	2.6

青森県産砂融点の高い
灰長石の含有率が高い

各長石の融点(鑄物砂とその処理 久垣、河野著)より

砂のX線回析、化学成分からノルム計算
→ 鉱物組成を分析



鑄造時の焼付き、バラシ性
要因解析の一つとして利用できた。

長石名	融点(°C)
正長石($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$)	1170
曹長石($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$)	1080
灰長石($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)	1550

鑄物用けい砂 化学成分結果とノルム計算値 シリカプログラム結果の比較

化学成分(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Ig.loss
豪州産けい砂	99.84	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06
ベトナム産けい砂	97.7	0.9	0.2	0.49	0.19	0.2	0.14
青森県産砂	70.8	15.7	2.58	0.61	2.08	5.81	0.81
浜岡産砂	76.7	12.3	2.28	2.28	1.93	2.05	1.09

	ノルム計算値				シリカプログラム		
	石英	長石	粘土質	鉄分	石英分	オーリティック分	金属分
豪州産けい砂	99.5	0.2	0.4	0.0	90.2	6.6	2.4
ベトナム産けい砂	93.8	5.5	1.0	0.2	85.3	12.8	1.0
青森県産砂	39.6	51.5	5.8	2.9	51.6	44.3	3.2
浜岡産砂	48.1	40.5	7.8	2.3	50.7	45.3	2.4

化学成分所見

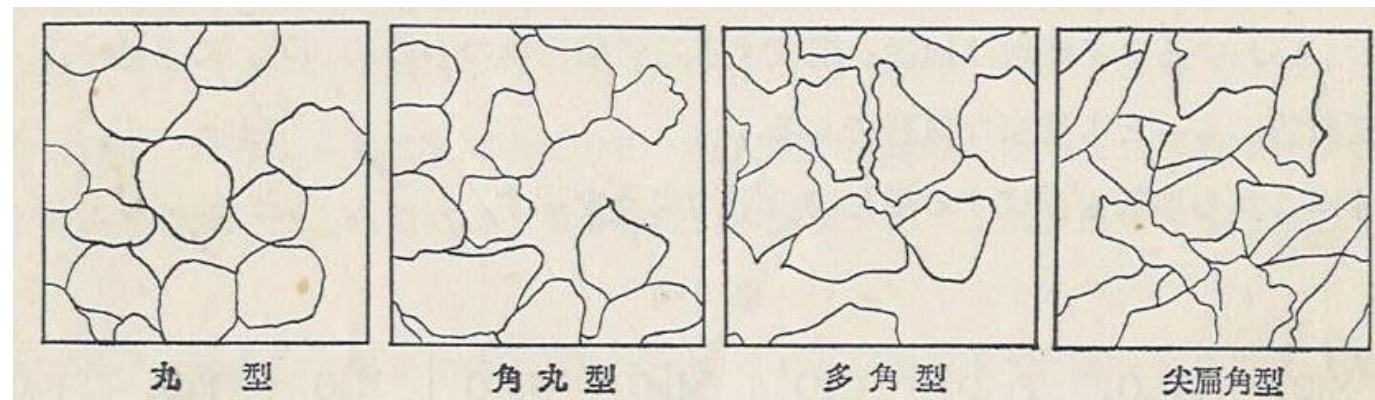
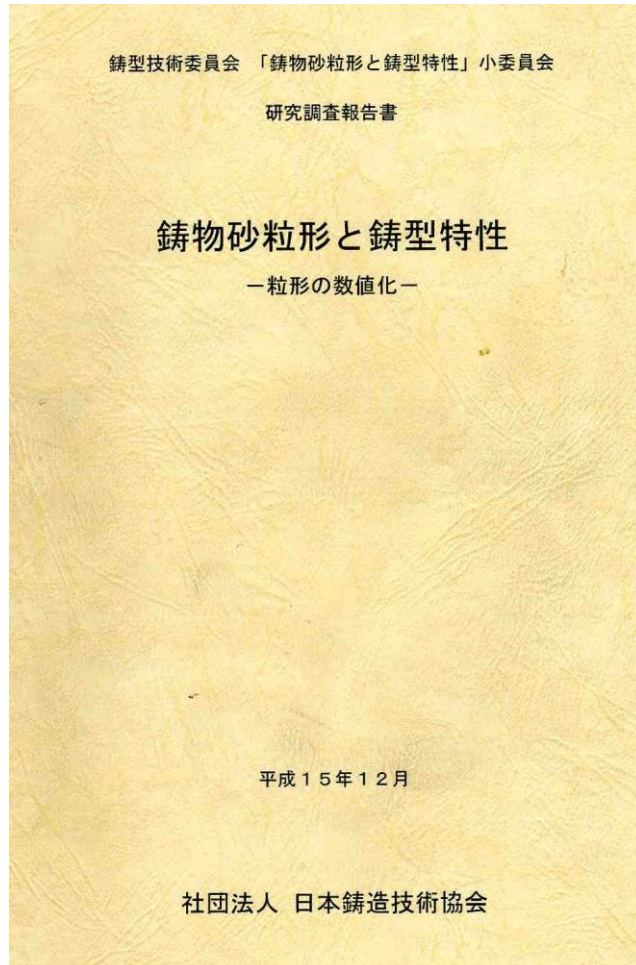
- 鋳物砂化学成分測定と生型シリカプログラム測定は、評価目的が違うため区別して整理が必要である。
- けい砂の場合 主鉱物が石英= SiO_2 であり、化学成分の SiO_2 重量%結果で耐火度、熱膨張率が推定することができた。
- 違う鉱物組成の人工砂や多種類鉱物の混合物である生型砂の場合は、X線回析等によって鉱物同定を行って解析する必要があると思われる。
(耐火度、熱膨張、比熱、密度等に影響)

2.3 鑄物砂の粒形

【規格】

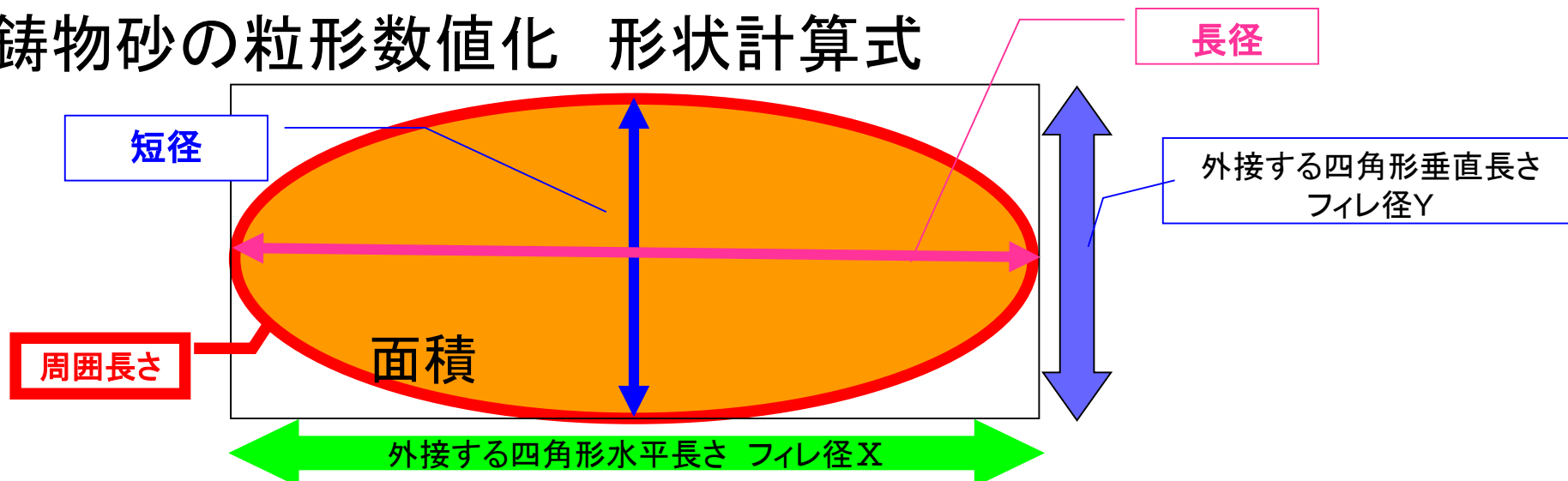
特になし

- ◆ 図による分類(丸型、多角型等)
- ◆ 日本鑄造技術協会 「鑄物砂粒形と鑄型特性」



鑄物砂とその処理(昭和40年5月 久垣、河野著)

鑄物砂の粒形数値化 形状計算式

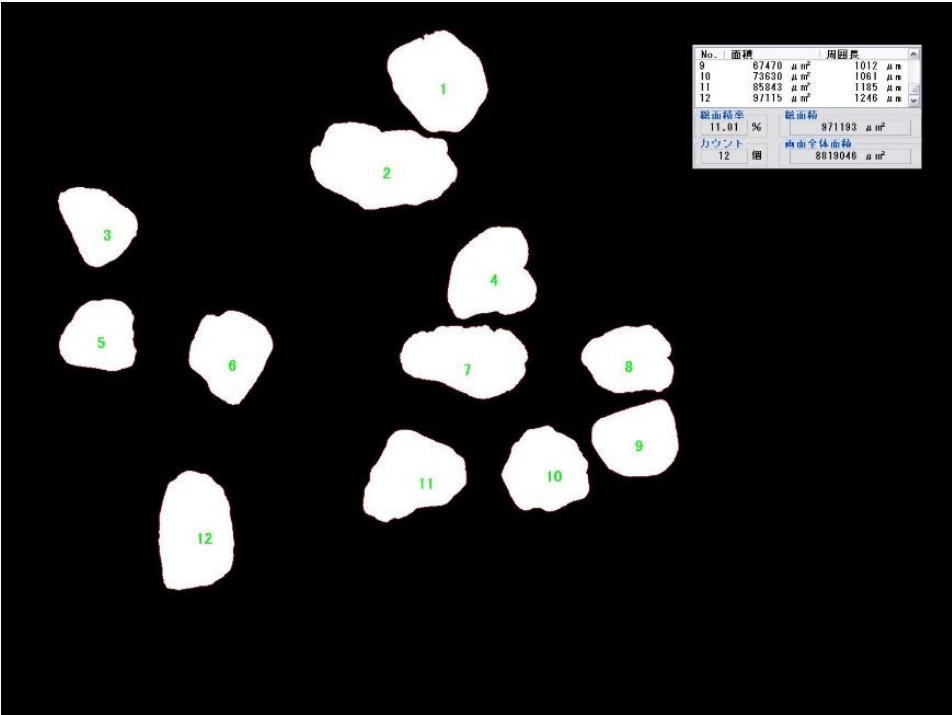
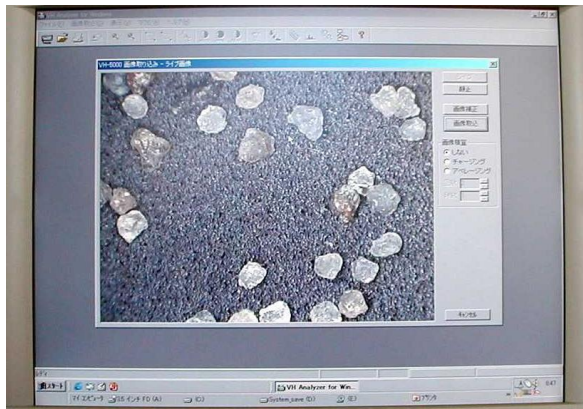


	形状表現	計算式	評価
①	凹凸度合い	$(\text{周囲長さ})^2 \div (4\pi \times \text{面積})$	1 = 円 1 < 凹凸
②	円らしさ	$(\pi \times (\text{長径} + \text{短径})) \div (2 \times \text{周囲長さ})$	1 = 円、楕円 1 > 不規則形状
③	丸さ度合い	$((\text{長径})^2 \times \pi) \div (\text{面積} \times 4)$	1 = 円、楕円 1 < 不規則形状
④	長方形度合い	$(\text{長径} \times \text{短径}) \div \text{面積}$	1 = 長方形 1 > 不規則形状
⑤	占有率	$\text{面積} \div (\text{フィレ径X} \times \text{フィレ径Y})$	1 = 占有率100% 1 >

鑄物砂粒形をあらわす計算式は①(凹凸度合い)を採用

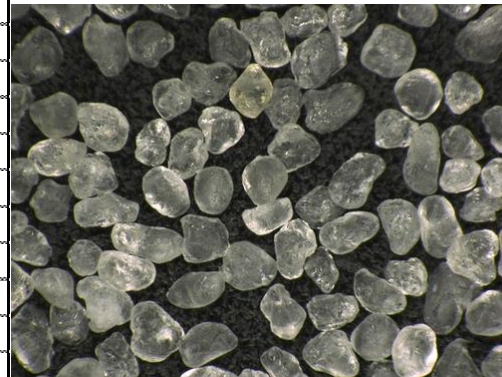
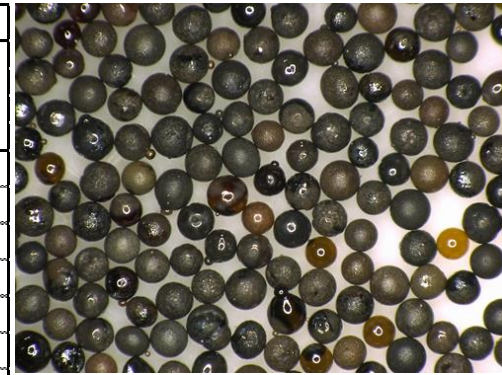
鑄物砂の粒形係数測定手順

- 粒形写真から周囲長、面積などのデータを取り込む
- N数は20～100粒子
- 粒形写真より採取した砂粒の周囲長、投影面積を以下の式にて粒形係数を算出する。
- 粒形係数 = (砂粒の周囲長)² ÷ (4π × 砂粒の投影面積)



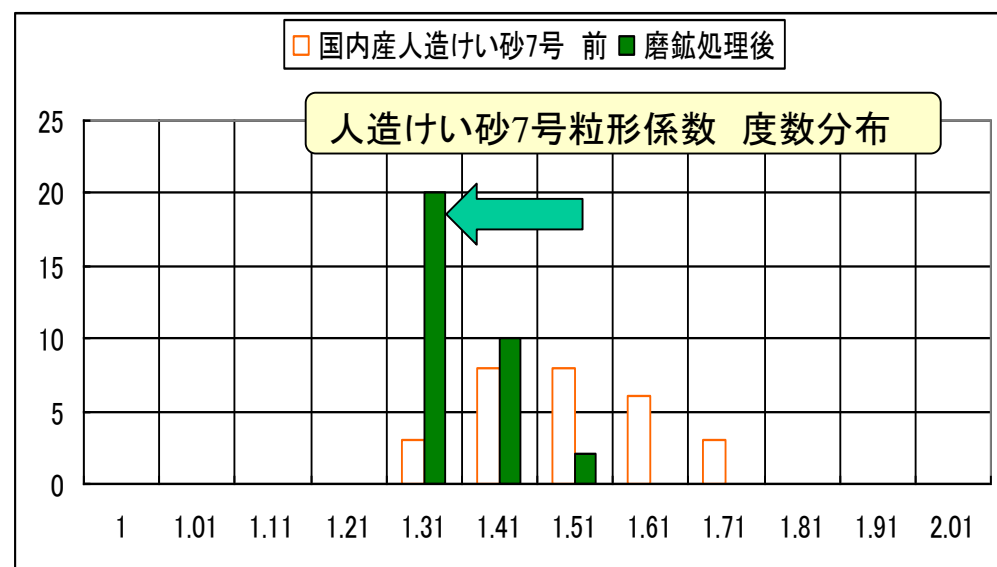
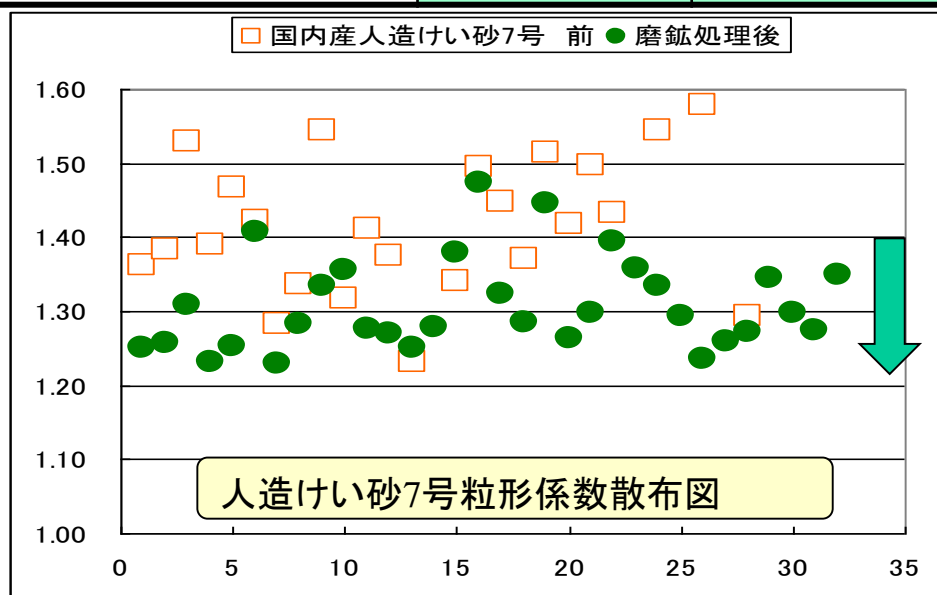
鑄物砂粒形係数の計算例

人工砂				球形の良い天然けい砂				一般の天然けい砂			
Object #	面積 (μm ²)	周囲長 (μm)	粒形係数 ①	Object #	面積 (μm ²)	周囲長 (μm)	粒形係数 ①	Object #	面積 (μm ²)	周囲長 (μm)	粒形係数 ①
1	44922	802	1.14	1	80474	1165	1.34	1	66832	1053	1.32
2	46488	826	1.17	2	94589	1185	1.18	2	75476	1138	1.37
3	46433	812	1.13	3	81085	1094	1.18	3	55321	951	1.30
4	41215	757	1.11	4	94837	1250	1.31	4	71319	1083	1.31
5	41119	763	1.13	5	84782	1128	1.19	5	67695	1085	1.38
6	56869	892	1.11	6	90882	1191	1.24	6	55790	929	1.23
7	57103	900	1.13	7	83721	1207	1.39	7	43820	825	1.24
8	64958	966	1.14	8	77915	1114	1.27	8	86339	1208	1.35
9	58743	915	1.13	9	94975	1172	1.15	9	52717	945	1.35
10	50893	861	1.16	10	82123	1112	1.20	10	79982	1159	1.34
11	56791	899	1.13	11	82458	1172	1.33	11	71871	1042	1.20
12	55964	898	1.15	12	87313	1139	1.18	12	64420	993	1.22
13	54343	895	1.17	13	71558	1067	1.27	13	109535	1322	1.27
14	59382	913	1.12	14	106361	1268	1.20	14	76712	1056	1.16
15	71705	1010	1.13	15	51702	879	1.19	15	61752	967	1.21
16	59244	921	1.14	16	59506	945	1.19	16	81200	1108	1.20
17	50282	864	1.18	17	53420	880	1.15	17	78062	1117	1.27
18	57535	903	1.13	18	101258	1265	1.26	18	69886	1056	1.27
19	63098	1002	1.27	19	91286	1220	1.30	19	92306	1230	1.30
20	59965	942	1.18	20	71512	1061	1.25	20	72555	1126	1.39
21	56488	899	1.14	21	126007	1455	1.34	21	90271	1290	1.47
22	62330	943	1.14	22	69900	1018	1.18	22	109241	1358	1.34
23	51155	851	1.13	23	90657	1161	1.18	23	57898	962	1.27
24	53126	866	1.12	24	127807	1488	1.38	24	131748	1579	1.51
25	59721	946	1.19	25	124128	1416	1.29	25	72031	1092	1.32
26	52588	862	1.12	26			#DIV/0!	26	75486	1139	1.37
27	65004	960	1.13	27			#DIV/0!	27	78701	1169	1.38
28	53686	872	1.13	28			#DIV/0!	平均	75888	1110	1.294
29	51490	849	1.11	29			#DIV/0!				
30	54127	872	1.12	30			#DIV/0!				
31	54719	880	1.13	31			#DIV/0!				
平均	55209	888	1.138	平均	87210	1162	1.233				

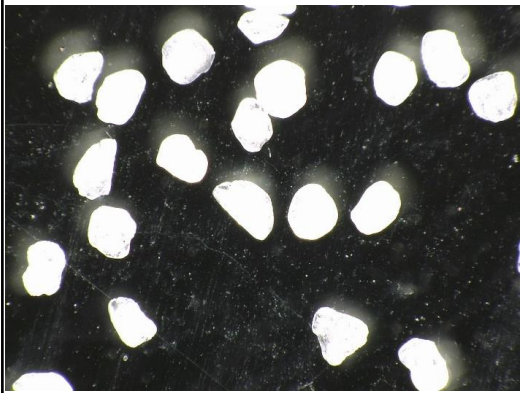
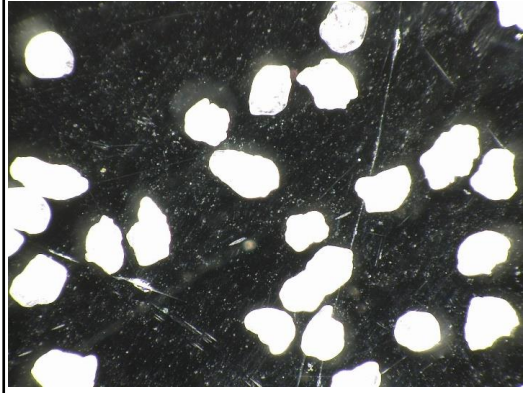
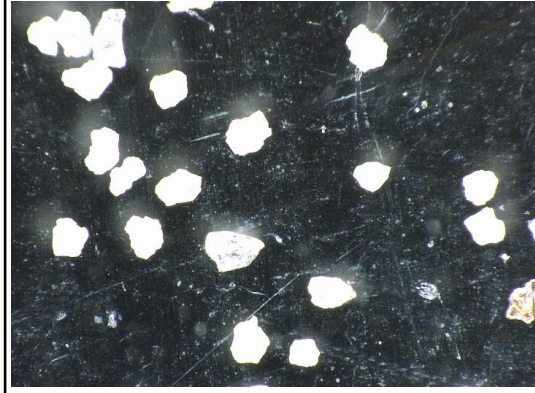


各鑄物砂の粒形改善の効果

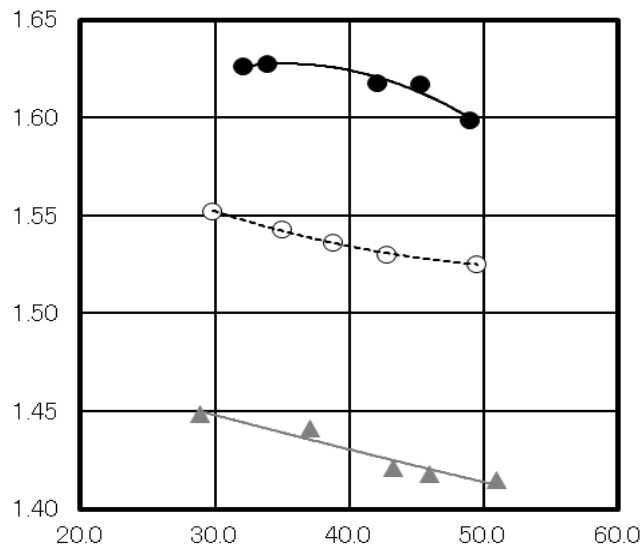
処理	①外国産天然6号		②外国産天然5号		③国内産人造7号	
	なし	磨鋳	なし	磨鋳	なし	磨鋳
AFS	62.2	65.3	41.9	41.5	83.1	86.0
濁度(0~1000NTU)	66	86	282	263	1798	406
かさ比重	1.424	1.436	1.484	1.508	1.275	1.412
粒形係数	1.352	1.349	1.301	1.282	1.447	1.308
(粒形測定n数)	40	36	28	31	28	32
粒形係数標準偏差	0.094	0.097	0.085	0.067	0.116	0.062
レジン量	1.5%	1.5%	1.0%	1.0%	1.5%	1.5%
シェル強度kg/cm²	74.4	82.9	39.6	42.4	48.4	79.3



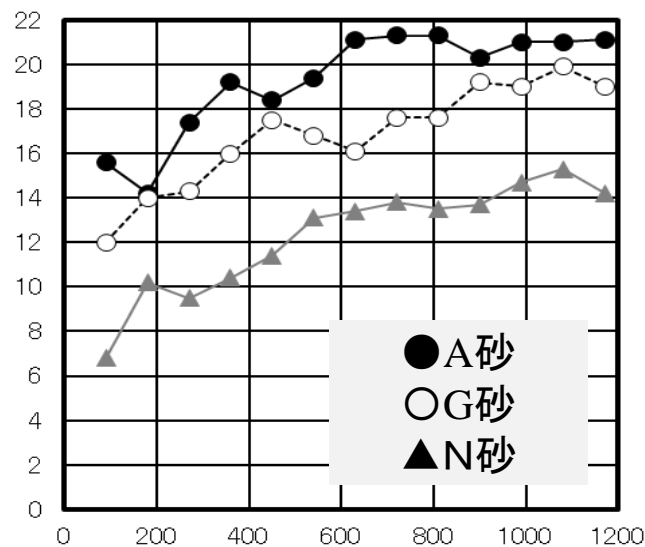
各鑄物砂の粒形係数と生型特性

試料砂	A砂 外国産天然6号	G砂 外国産天然6号	N砂 国内産人造砂6号	
化学成分(%)	SiO ₂	99.40	99.80	97.90
	Al ₂ O ₃	0.05	0.09	0.60
	Fe ₂ O ₃	0.02	0.10	0.30
全粘土分 (%)	0.08	0.16	0.14	
粒度指数 (AFS)	66.9	62.1	62.2	
粒形係数 1=球形	1.23	1.29	1.32	
粒形写真				

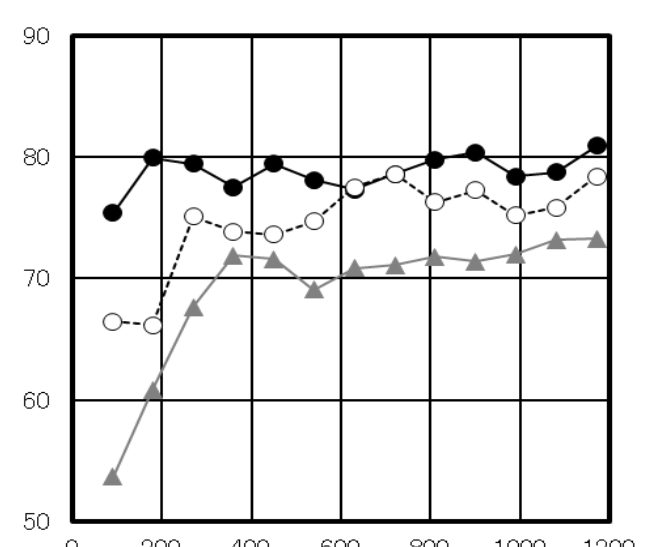
CB(X)充填密度(Y)



延混練時間(秒)と抗圧力



延混練時間(X)とSSI(Y)

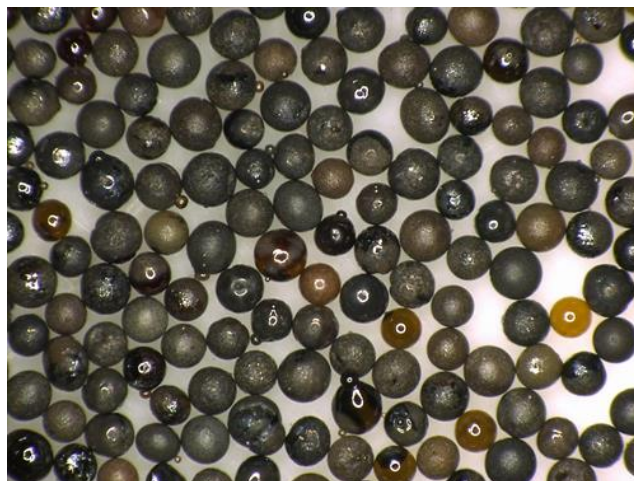


鑄物砂の粒形 所見

- 鑄物砂の粒形は鑄型強度、充填密度に影響する。
- 重要な因子である鑄物砂粒形の規定が定まっていな
いと考えられるが、一定の評価方法を決めていくこと
が望ましいと思われる。
- 後述するが、中国では人工砂に対する粒形の度合い
を標準化しているようである。

3.人工砂

中国における標準化の現状



- 熔融人工砂の工程
- JB標準 鑄造用球形陶粒砂
(Special ceramic sand used for foundry)
- CFA標準 鑄造用熔融陶粒砂
(Fused ceramic sand for foundry)

3.1 溶融人工砂の工程

Melting and Prilling



Fine Screening and Mixing



Packing and Delivery



中国 人工砂の標準化

- GB規格（日本のJISに相当する）

- JB標準（機械工業標準）

- 鑄造用球形陶粒砂

- (Special ceramic sand used for foundry)

- CFA標準（中国鑄造協会規格）

- 鑄造用熔融陶粒砂

- (Fused ceramic sand for foundry)

人工砂の標準化 所見

- 日本でも人工砂に関する書籍発行例はある。
「鑄鉄工場への人工砂導入のための指針と事例」
(日本鑄造協会H24.5)
- けい砂以外の鑄物骨材使用例は多くなってきており、最近の事例をまとめていくことも必要かと思われる。