

県産鑄物砂の基礎性状について

機械金属室 石原金盛
 国吉和男
 比嘉真嗣
 比嘉敏勝
 長山純朗

1. ま え が き

従来、県内の鑄物業界は地元で鑄物砂があることを知りながら、その基礎データがないために、県外産のけい砂を年間約 200 t 移入して使用している。しかし、この移入けい砂についても基礎データは把握されていないため、工場における砂管理技術は確立されていない。筆者らはこれらについての技術指導の必要性を痛感し、県産砂の基礎性状に関する各種試験を実施する中で砂管理技術を研究し技術指導を行うこととした。

県産砂についての研究は琉球大学平敷兼貴教授によってその先便がつけられている。すなわち「琉球の鑄物砂について」(1966)および平敷・屋良共著「沖縄本島の鑄物について」(1973)の二報文があり、これらの報文には県産砂の分布、化学組成および粒度分布等についての研究結果が報告されている。

筆者らはこれらの報文を踏まえながら、更に試験項目を追加して、県産砂の基礎性状を広くとらえるように努力した。

なお、本研究は国の技術開発研究費補助事業（共同研究）として実施されたものの一部であり、最終的なまとめについては「技術開発研究費補助事業成果普及講習会用テキスト」にまとめられることになっているので、ここでは研究結果の概要を報告することにどめたい。

2. 実験用試料

試料採取地点は図1のとおりである。また試料番号と採取地点との関係を表1に示した。同一地域から枝番号を付して採取した試料は層ちがい（垂直方向）によるものや水平方向の分布の違いによるものであり、基礎性状にちがいがあるかどうかをみるために採取したものである。これらの試料のうち、吉原砂（№12）および大原砂（№13）の2試料が天然けい砂とみなされるものであり、その他はみな山砂である。

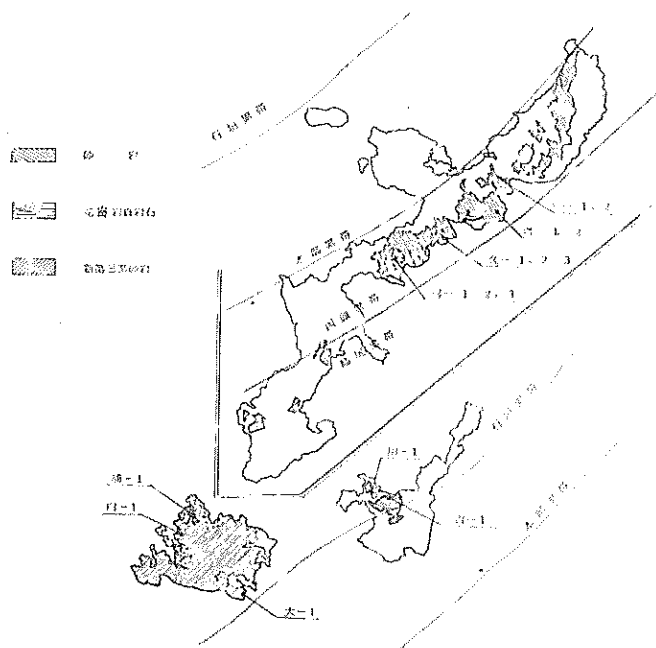


図1 沖縄県の地質構造区分と試料採取地点

表 1 試料番号と試料採取地点

採取地	連番号	枝番号	採取地点及び摘要
喜瀬武原	№-1	喜-1	喜瀬武原部落北側（公民館裏）
	№-2	喜-2	喜瀬武原上組部落北側（アンテナ近く）
	№-3	喜-3	喜瀬武原上組部落北側、喜-2と層ちがい
久 志	№-4	久-1	久志部落入口南側
	№-5	久-2	久-1と層ちがい（久-1の上層）
	№-6	久-3	久志国道沿西側
嘉 陽	№-7	嘉-1	久志村嘉陽部落北側峠
	№-8	嘉-2	久志村嘉陽
平 良	№-9	平-1	平良横断道路沿い、南側
	№-10	平-2	平良横断道路沿い、北側、越地原
川 平	№-11	川-1	川平部落入口三叉路南側
吉 原	№-12	吉-1	吉原部落南側
大 原	№-13	大-1	西表大原部落南側
浦 内	№-14	浦-1	浦内大橋北側
白 浜	№-15	白-1	白浜部落入口、峠

3. 試験方法

3・1 化学分析、JIS M8854—耐火粘土分析方法に準拠した。

3・2 耐火度：JIS M8512—耐火物原料の耐火度試験方法—によって測定した。ただし、試料の調整においては、鋳物砂を粉砕せず、そのままの粒度で水とアラビヤゴムを加え、粘りをつけて規定の形状寸法にした。粉砕せずに試料を調整した理由は、実際の粒度・粒形の方が実用時の耐火度により近い値が得られると判断したためである。

3・3 長石分析：試料を塩酸で洗浄後フッ酸で試料表面を腐食し、コバルト亜硝酸ナトリウムで着色する方法により、黄色の粒子を長石として分類し、重量%を算出した。

3・4 X線回折：試料は砂粒子をメノウ乳鉢で粉砕したものと、粘土分（2μ以下）のみを抽出してスライドガラス上に薄膜化したものとの2種類を用いた。使用した機器は理学電気社製X線回折装置である。

3・5 粘土分試験および粒度試験：粘土分はJIS Z2601により、また粒度試験はJIS Z2602により試験した。

3・6 通気度試験、強度試験、表面安定度試験：試料10kgをシンプソン型ミックスマールに入れて約2分間空練りし、水分を調整して合計15分間混練した。水分量は混練の終了前に迅速水分計で実測し、目標水分値の近傍に調整した。それぞれの試験方法はJIS Z2603（通気度試験法）、JIS Z2604（強度試験方法）および自動車鋳物（株）のSSI法（表面安定度試験法）に従った。

3・7 流動性試験：鋳物砂の流動性試験は規格化されていないがディタートの方法が一般に実用化されているので、この方法に拠った。すなわち、はじめにJIS規定の試験片つき固め機によって通気度や抗圧力試験片のように3回つき固めを行って、試験片の高さを規定どおり50mmとする。更に4回、5回とつき固めて4回目と5回目との高さの差を測って砂の流動性を次式により求めた。

$$\text{流動性（％）} = \left(100 - \frac{1,000 \times a}{25.4} \right)$$

a：4回目と5回目との高さの差（mm）

なお物理性状試験試料の造型条件は表2のとおりである。

3・8 破砕性試験：破砕性については、山砂および天然けい砂の代表的なもの、山砂のうち特に角ばったものから4試料を選んで試験を行った。試験方法はシン

表2 物理性状試験用砂の配合条件

種別	条件		混合時間(min)
	水分(%)	ベントナイト添加量(%)	
山砂	2 ~ 12	—	15
天然けい砂	1 ~ 6	5, 7, 9	15

プソン型ミックスマラーに試料10kgを入れ、これを既に定められた適性水分量に調整し、合成砂についてはベントナイトも添加して、10分間および25分間混練での破砕性を試験した。粘土分および粒度分布はJISにもとずいて求め、混練前の試料と比較した。

4. 試験結果および考察

4・1 巢味砂の基礎性状

4・1・1 化学組成および耐火度：化学分析結果および耐火度の測定結果を表3に示した。

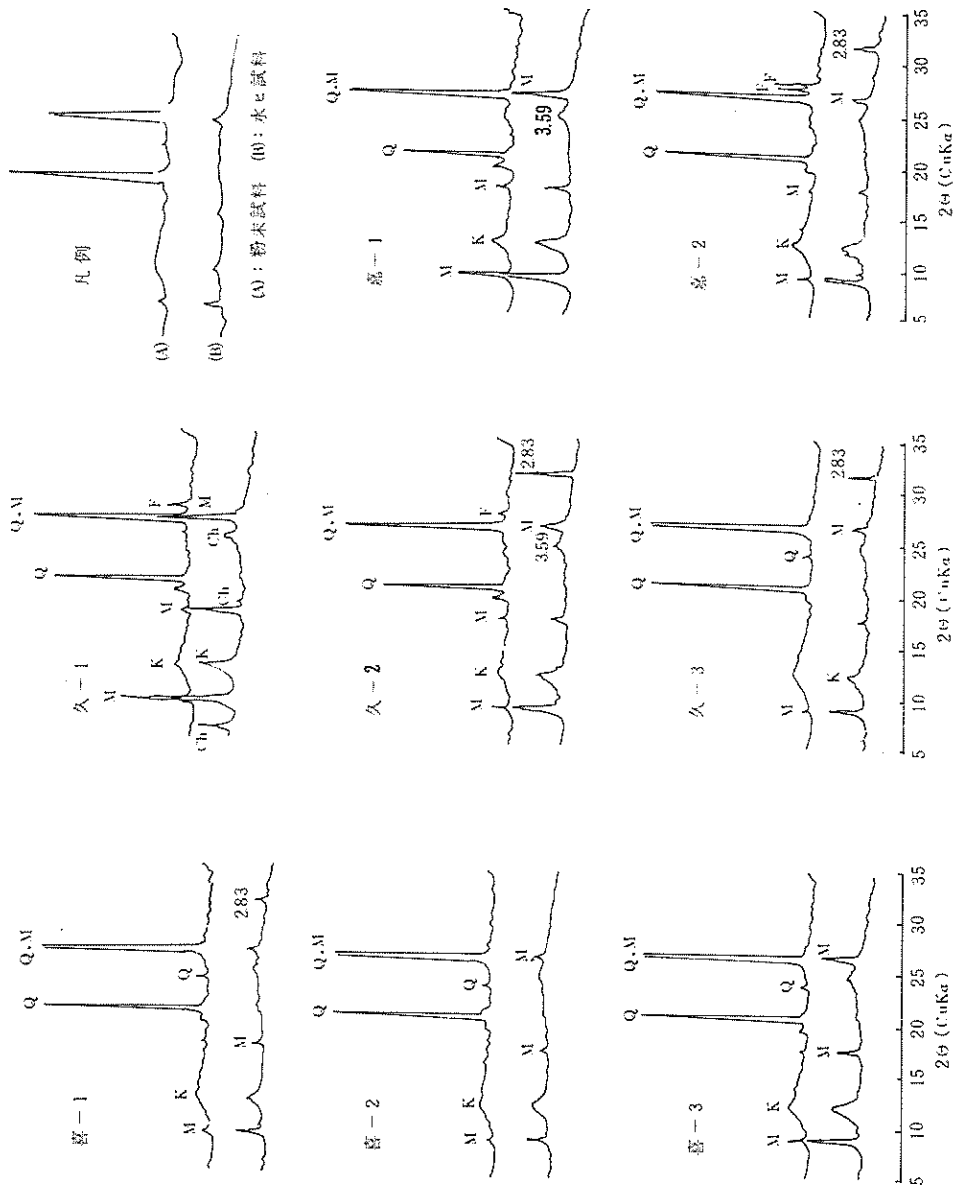
表から、№4、№7、№10、№11の4試料はそれぞれ①SiO₂が低い、②粘土分が多い、③Fe₂O₃

表3 化学分析値および耐火度

採取地	連番	枝番	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Ig. loss	Total	耐火度
喜瀬武原	№1	喜-1	85.77%	5.65%	0.29%	2.47%	0.09%	0.03%	0.07%	0.95%	2.26%	97.58%	1530℃
	№2	喜-2	86.90	4.91	0.24	4.31	0.05	0.02	0.07	0.86	2.58	99.94	1580
	№3	喜-3	88.16	5.84	0.21	2.51	0.05	0.02	0.05	0.82	2.20	99.86	1580
久志	№4	久-1	76.52	11.85	0.42	3.72	0.07	0.09	0.31	2.37	4.04	99.39	1320
	№5	久-2	84.01	7.46	0.39	2.75	0.06	0.03	0.06	1.13	3.79	99.68	1520
	№6	久-3	89.07	4.59	0.18	1.68	0.06	0.03	0.04	0.77	2.17	98.59	1650
嘉陽	№7	嘉-1	73.54	14.18	0.44	3.10	0.09	0.07	0.05	2.99	4.23	98.69	1500
	№8	嘉-2	77.86	10.91	0.32	1.58	0.07	0.09	0.18	3.74	3.87	98.62	1500
平良	№9	平-1	84.96	5.93	0.23	3.66	0.05	0.03	0.05	0.71	3.11	98.73	1580
	№10	平-2	65.21	15.61	0.72	5.99	0.09	0.04	0.32	1.63	5.67	95.28	1435
川平	№11	川-1	75.81	12.51	0.18	1.30	0.07	0.02	0.82	5.94	2.76	99.41	1435
吉原	№12	吉-1	89.10	4.79	0.07	0.51	0.21	0.00	0.60	3.01	1.21	99.50	1730
大原	№13	大-1	97.31	0.44	0.08	0.96	0.03	0.00	0.07	0.43	0.44	99.76	1750
浦内	№14	浦-1	84.44	8.26	0.23	0.78	0.09	0.02	1.01	2.41	2.01	99.25	1650
白浜	№15	白-1	84.28	8.27	0.21	0.90	0.08	0.02	1.03	2.45	2.03	99.27	1500

以下の不純物含量が多い、④耐火度が低い等の理由から、鑄物砂としては適当でないと考えられる。これら4試料を除けば、シリカ分は山砂で77~89%となり、耐火度も1520℃(SK19)から1650℃(SK29)と高い。また天然けい砂とした吉原砂、大原砂についてみるとシリカ分、耐火度ともに高く良い砂といえる。

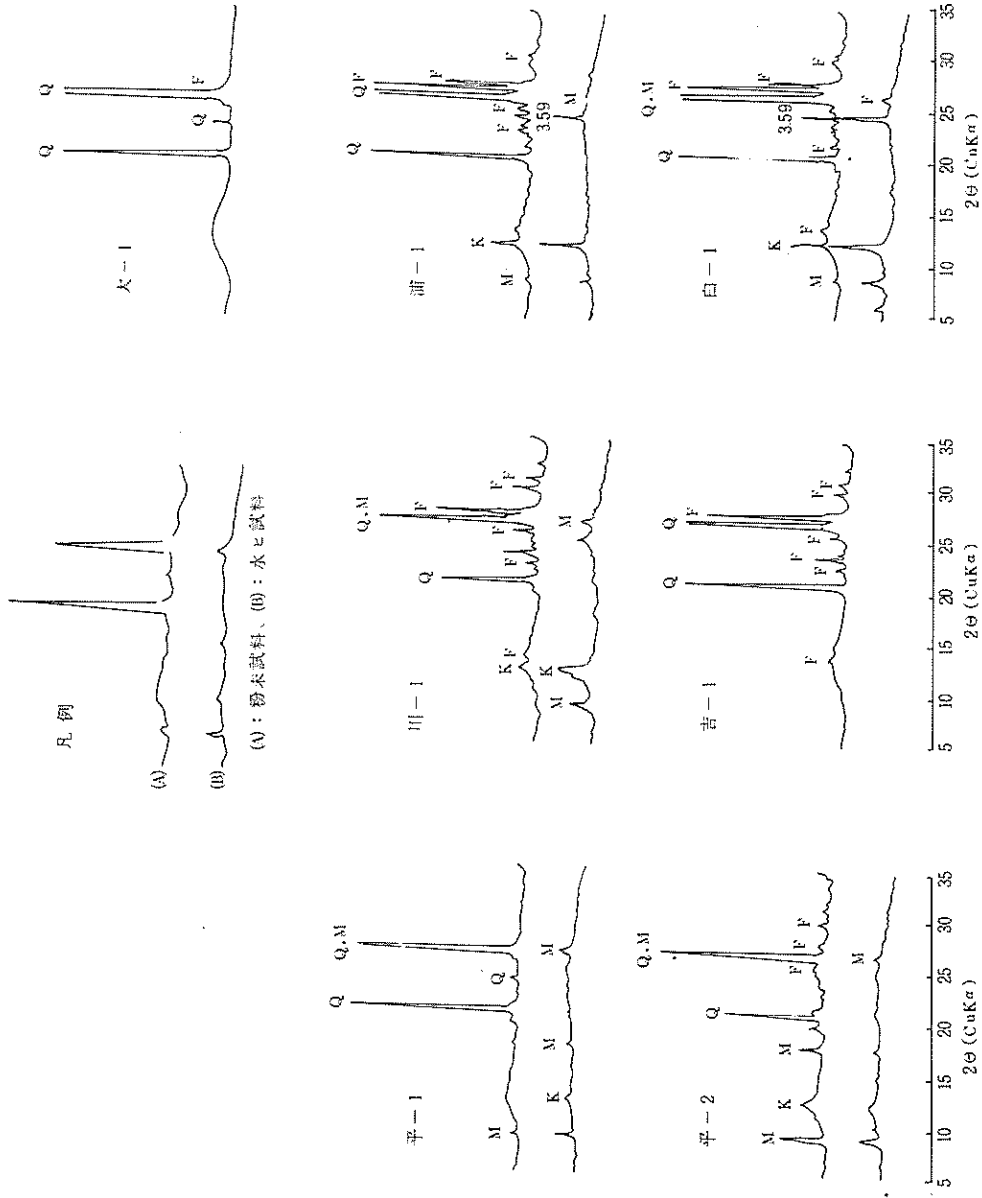
4・1・2 鋳物組成：X線回折の結果(図2—(a)(b))、石垣、西表の砂は長石分が多く、沖縄本島の砂は少いことがわかった。長石は正長石(K₂O・Al₂O₃・6SiO₂)や曹長石(Na₂O・Al₂O₃・6SiO₂)など多くの種類が存在し、融点が低く、鑄物砂の耐火度を下げる原因になるのでできるだけ少い方がよい。ここでは石垣、西表の砂について長石粒子の定量を行い、表4のような結果を得た。



測定条件：電圧30KV、電流20mA、時定数1.5マイクロ秒、スリット系1-0.35-1、走査速度2°/min

Q：石英、F：長石、M：雲母粘土鉱物、K：カオリン粘土鉱物、Ch：緑泥石、

図2-(c) X線回折図



測定条件：電圧30KV、電流20mA、時定数1、スリット系 $\Gamma-0.35-1^\circ$ 、走査速度 $2^\circ/\text{min}$

Q：石英、F：長石、M：珩母粘土鉱物、K：カオリン族粘土鉱物

図 2 - (b) X線回折図

表 4 長石分析結果

項目 \ 試料	川-1	吉-1	大-1	浦-1	白-1
長石(%)	25.3	14.4	7.4	15.8	9.3
石英(%)	74.7	85.6	92.6	84.2	90.7

4・1・3 粘土分および粒度分布：粘土分ならびに粒度分布は鑄物砂として最も基本的な性質であり、化学成分とともに鑄物砂の格付けに広く利用されている。図3に供試料の粘土分および粒度分布を棒グラフで表わし、それぞれのコメントを表5にまとめた。

一般に沖縄県産の鑄物砂のうち、山砂は粘土分15~16%で65メッシュをピークとする粗粒砂が多いといえることができる。

表 5 各試料の粘土分と粒度分布の評価

試料	粘土分	ピークメッシュ 粒 度	集 中 性	200 [#] アンダー (微粉)	備 考
喜-1	18% 中粘土	150 [#] 細粒砂	65 [#] ~150 [#] : 58.9% やや良い	16%	
喜-2	18% 中粘土	65 [#] 粗粒砂	48 [#] ~100 [#] : 56% 良い	9%	
喜-3	16% 中粘土	65 [#] 粗粒砂	48 [#] ~100 [#] : 46% わるい	8%	
久-1	25% 高粘土	150 [#] 細粒砂	細粒側にかたよる	42%	
久-2	22% 高粘土	150 [#] 細粒砂	細粒側にかたよる	39%	
久-3	15% 中粘土	65 [#] 粗粒砂	48 [#] ~100 [#] : 60% 良い	9%	
嘉-1	36% 高粘土	65 [#] 粗粒砂	わるい	15%	
嘉-2	16% 中粘土	65 [#] 粗粒砂	わるい	16%	
平-1	10% 中粘土	35 [#] 粗粒砂	良 い	5%	
平-2	19% 中粘土	65 [#] 粗粒砂	やや良い	11%	
川-1	11% 中粘土	100 [#] 中粒砂	65 [#] ~150 [#] : 68% やや良い	19%	
吉-1	4% 低粘土	48 [#] 粗粒砂	良 い	3%	JIS 5種相当
大-1	1% 低粘土	65 [#] 粗粒砂	良 い	2%	JIS 2種相当
浦-1	8% 低粘土	65 [#] 粗粒砂	良 い	8%	
白-1	10% 低粘土	65 [#] 粗粒砂	良 い	10%	

4・1・4 破碎性：試験結果は図4のとおりである。

山砂(久-3、浦-1)の傾向としては70メッシュ以下の粒度について破碎が進行している。しかし、10分と25分との差はさほど大きくなく、混練時間の延長による破碎の進行はそれほど大でないと推定される。粒子の粗くて角ばった嘉-2は予想されたとおり10分と25分の破碎差が大きく、混練を続ければまだ破碎が進行するものと思われる。

天然けい砂としての大原砂は混練時間による粒度分布の差が殆んどなく破碎しにくい砂といえよう。

4・1・5 物理性状：本試験は天然けい砂を除く山砂について、各特性値に最適値を与える水分量を把握することを目的として実施した。試験結果は図5に示すとおりである。

適性水分値は次のようにして求めた。例えば喜-1において、表面安定度と流動性とは逆相関的な関係にあり、この二つの交点から横軸に垂線をおろせば、抗圧力、剪断力、通気度の最大値と概ね一致するため、このときの水分値を適性水分値とみなした。このような方法で大体的場合適性水分値を求めることができたが、いくつかの例外もみられた。例えば久-1などのように10%以上の高い水分域ではいったん下りかけた特性値がまた上昇するなど、ピーク値が明らかで

凡 例

番 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
メッシュ	6	8	10	14	20	28	35	48	65	100	150	200	270	PAN	clay

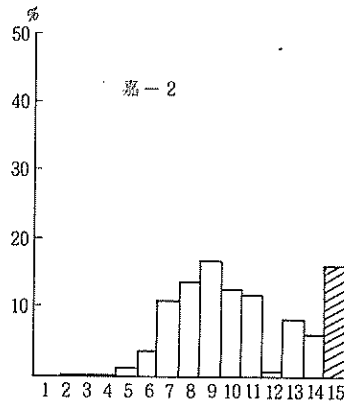
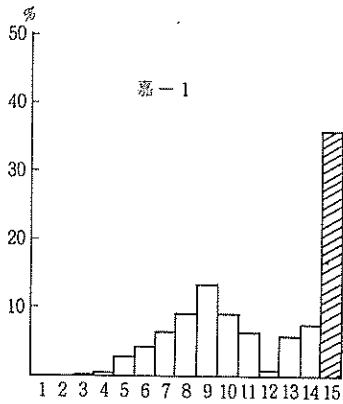
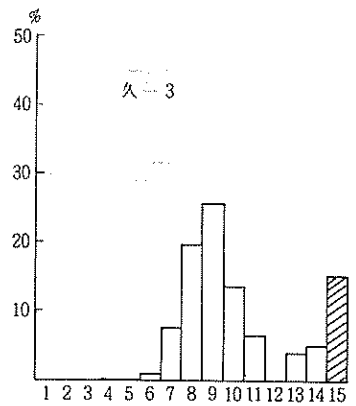
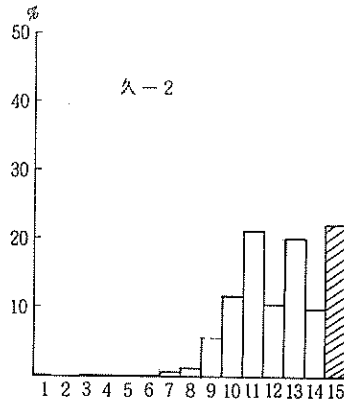
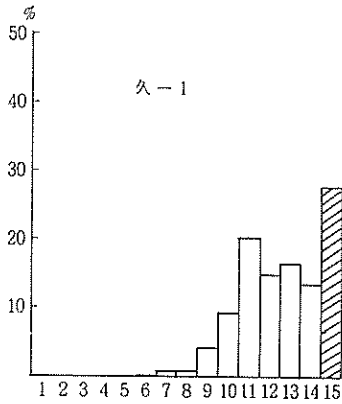
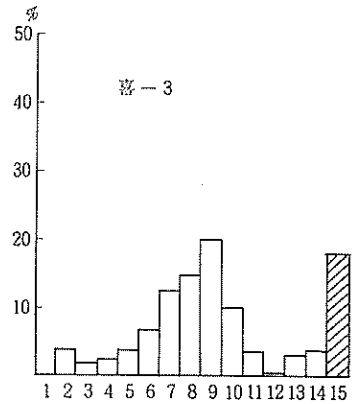
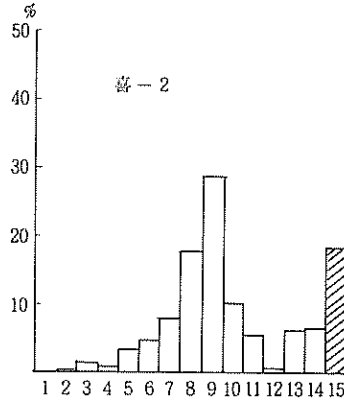
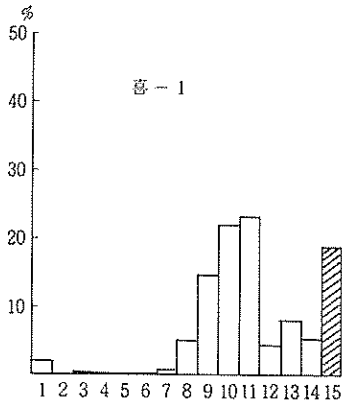


図 3 - (a) 粒度分布
図 3 - (a)

凡 例

番 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
メッシュ	6	8	10	14	20	28	35	48	65	100	150	200	270	PAN	clay

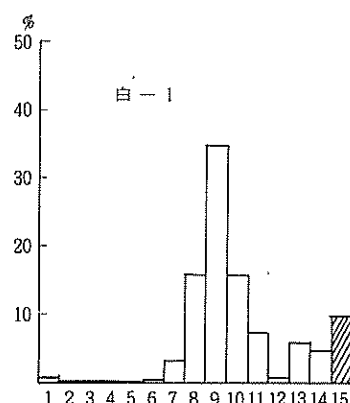
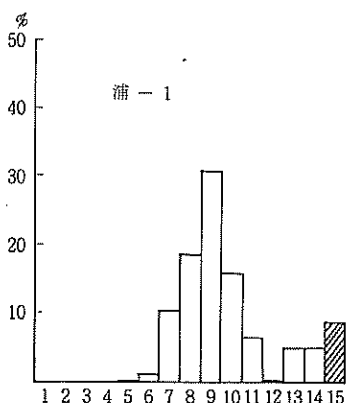
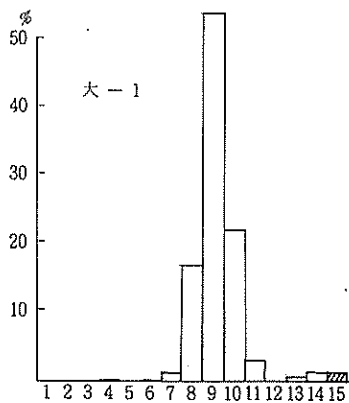
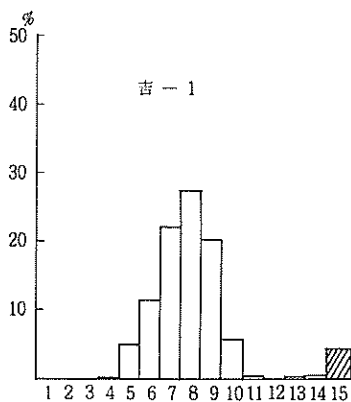
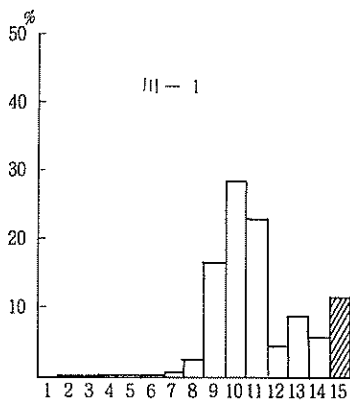
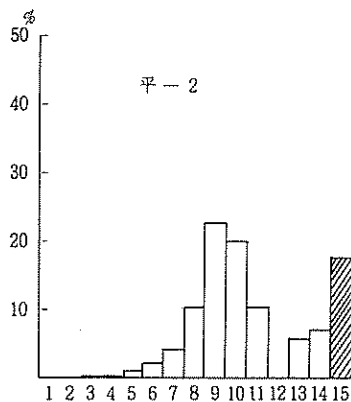
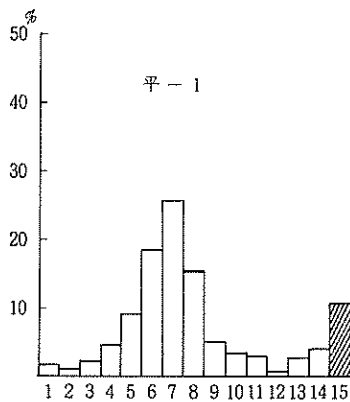


図 3 - (b) 粒度分布

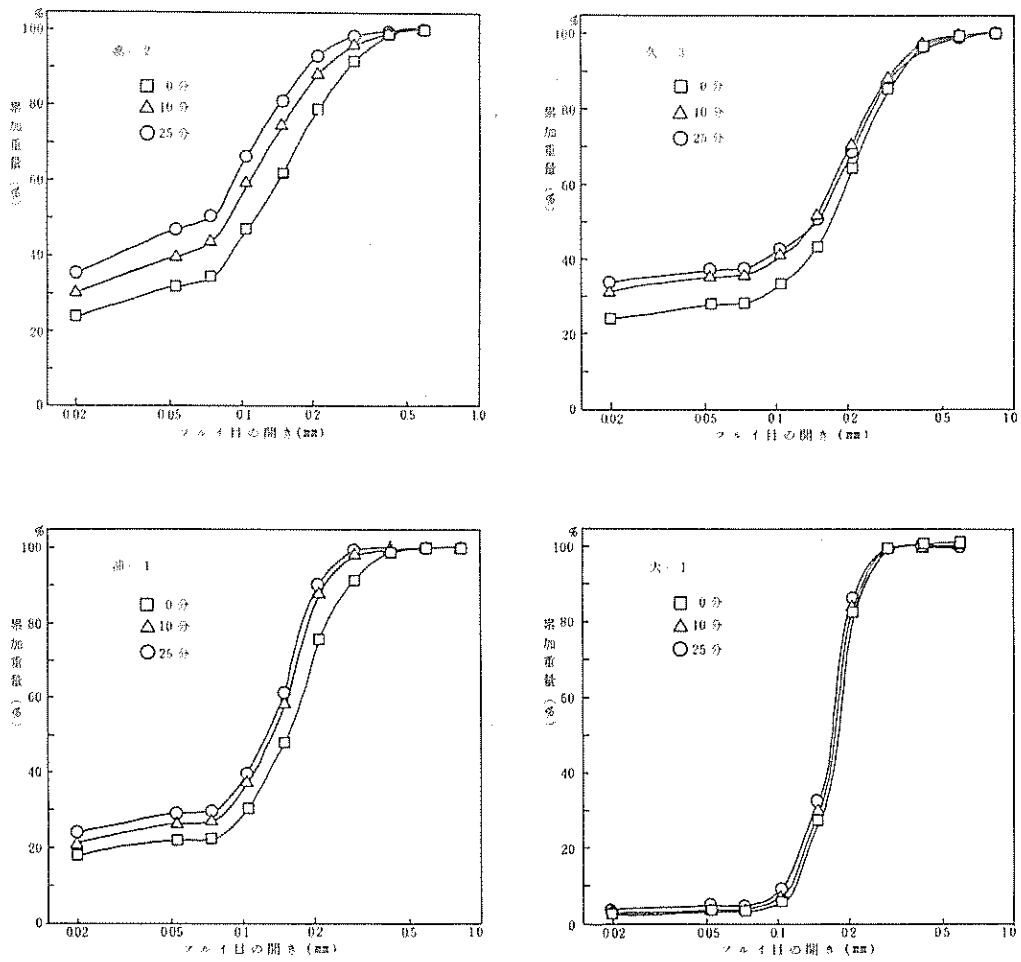


図 4 破砕試験結果

表 6 山砂の適性水分値とそのときの物理特性

摘要 試料名	適性 水分値 %	適性水分値における			摘要 試料名	適性 水分値 %	適性水分値における		
		抗圧力 kg	通気度 cc/min	表面安 定度 %			抗圧力 kg	通気度 cc/min	表面安 定度 %
喜-1	9.0	1.1	13	64	平-2	9.0	1.0	20	60
喜-2	7.0	1.2	24	66	嘉-1	9.0	1.4	0	65
喜-3	8.0	1.2	17	70	嘉-2	7.0	1.3	10	65
久-1	9.0	1.3	5	70	川-1	8.0	1.1	20	70
久-2	8.0	1.1	10	65	浦-1	7.0	0.7	45	70
久-3	9.0	1.2	15	50	白-1	7.0	0.7	50	70
平-1	6.0	1.1	0	30					

ないが、山砂の臨界水分量は2~8%ともいわれているので、高水分域における特性値の再上昇は砂が団粒を形成することにもよるのではないかと判断して、これを無視した。その他平-1のように、流動性と表面安定度との交点と各特性値のピーク値とが全く関係のない結果も得られたが、各特性値の動きから判断して全体として表6のように適性水分値を決定した。

なお、本試験の結果から、抗圧力は 1.0 Kg/cm^2 以上で不安はないが、通気度がかなり低いことが指摘される。ただ浦-1、白-1は抗圧力はむしろ低めであるが、通気度はいずれも 50 cc/min と逆に高い傾向を示している。

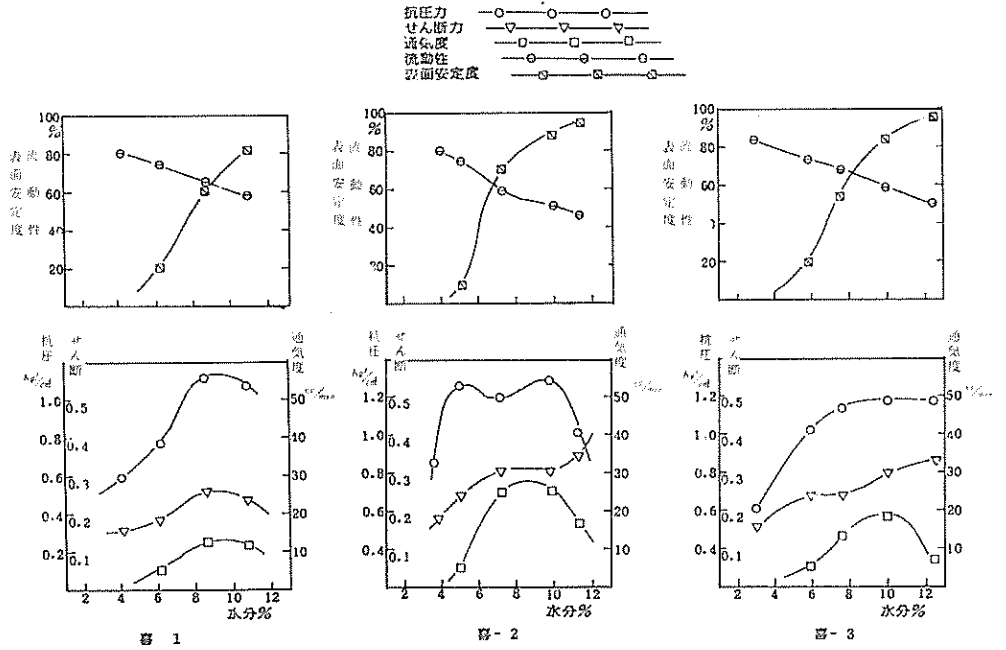


図5-(a) 山砂の物理性状試験結果

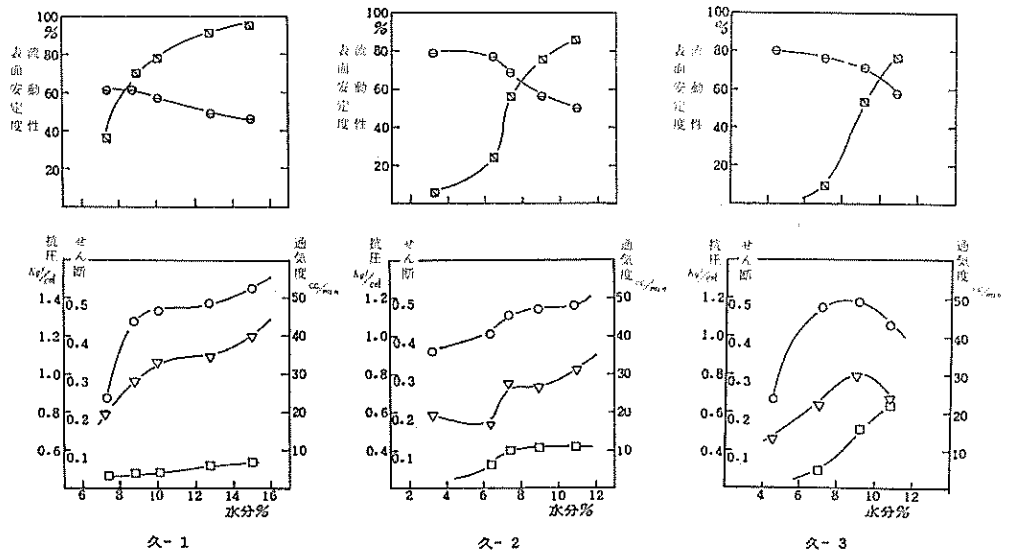


図5-(b) 山砂の物理性状試験結果

抗圧力 ○—○—○—
 せん断力 △—△—△—
 透気度 □—□—□—
 流動性 ○—○—○—
 表面安定度 □—□—□—

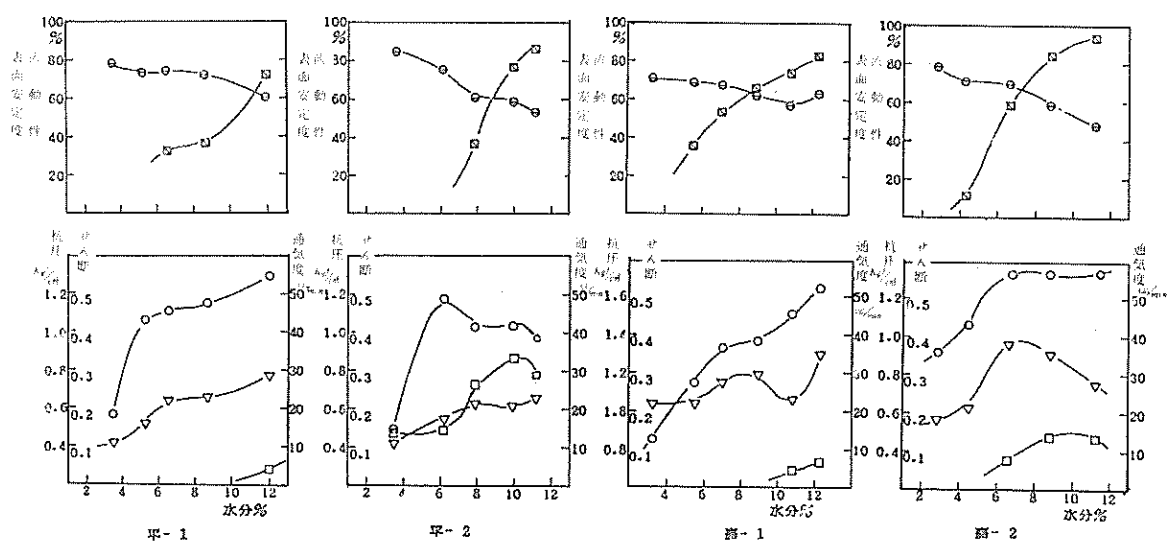


図5 - (c) 山砂の物理性状試験結果

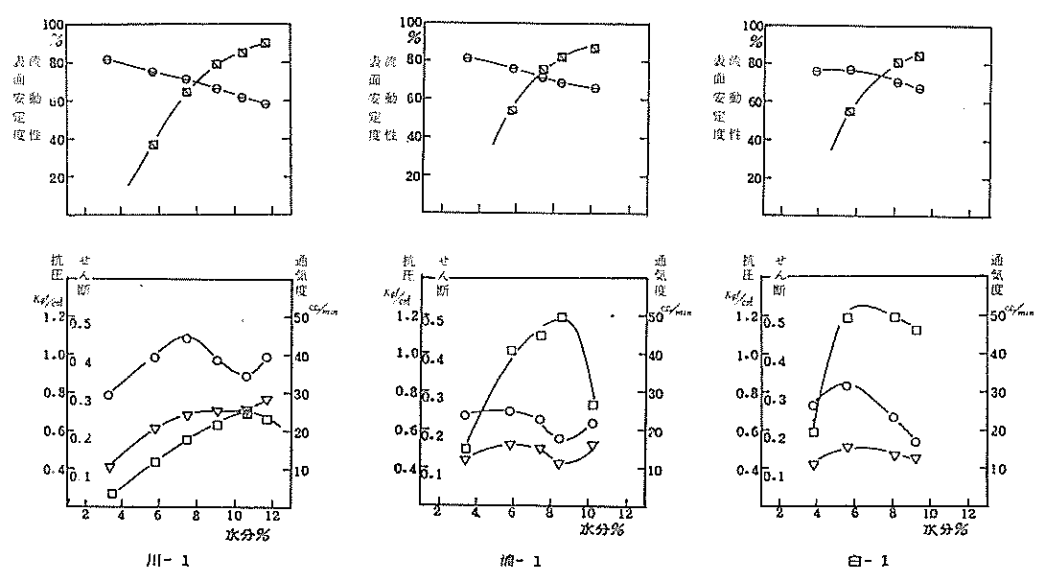


図5 - (d) 山砂の物理性状試験結果

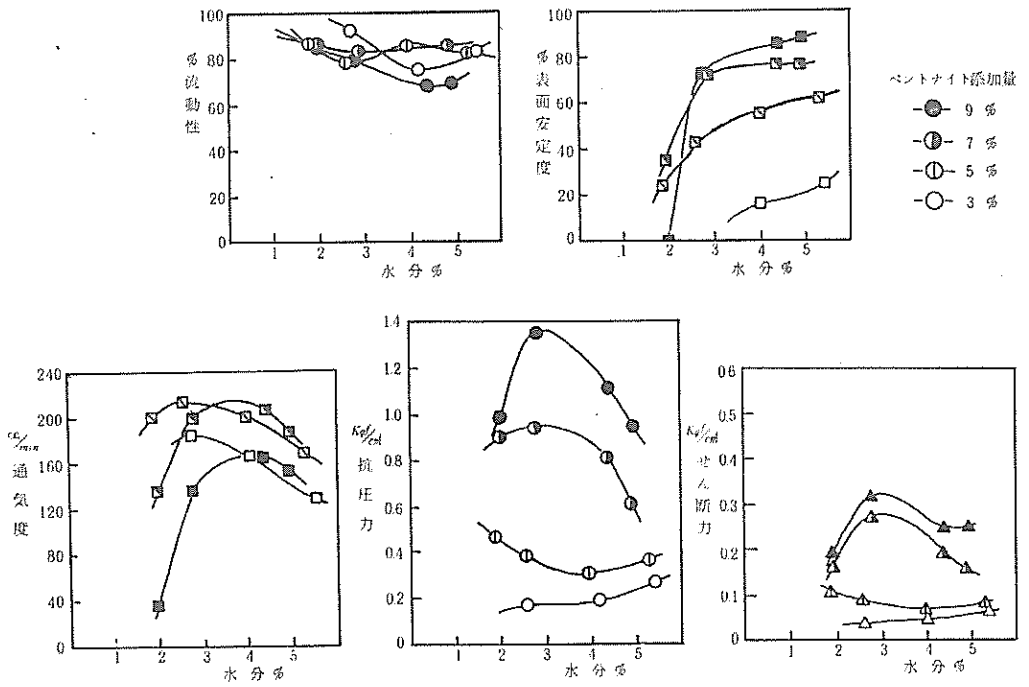


図 6 合成砂の物理性状 —大原砂 + ベントナイトA—

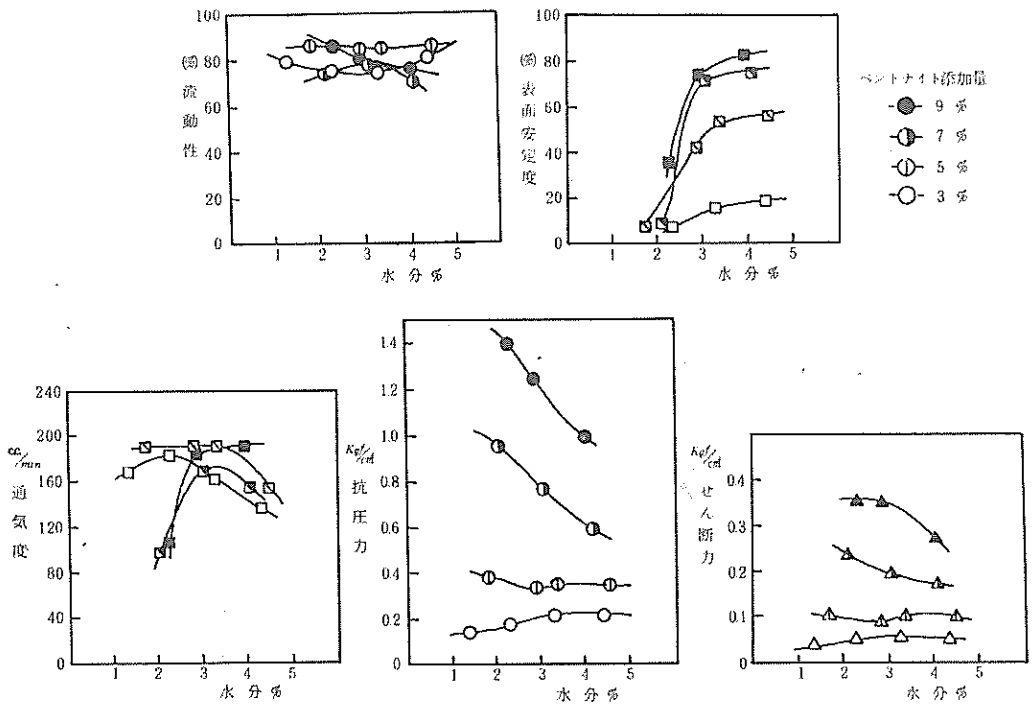


図 7 合成砂の物理性状 —大原砂 + ベントナイトB—

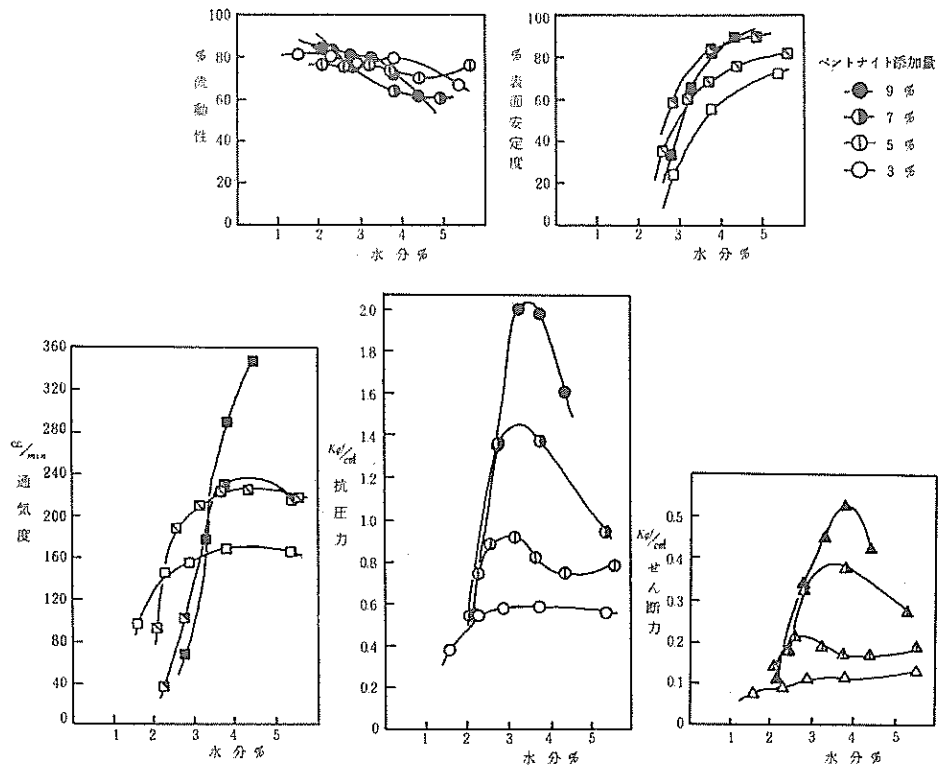


図 8 合成砂の物理性状 —吉原砂 + ベントナイト A—

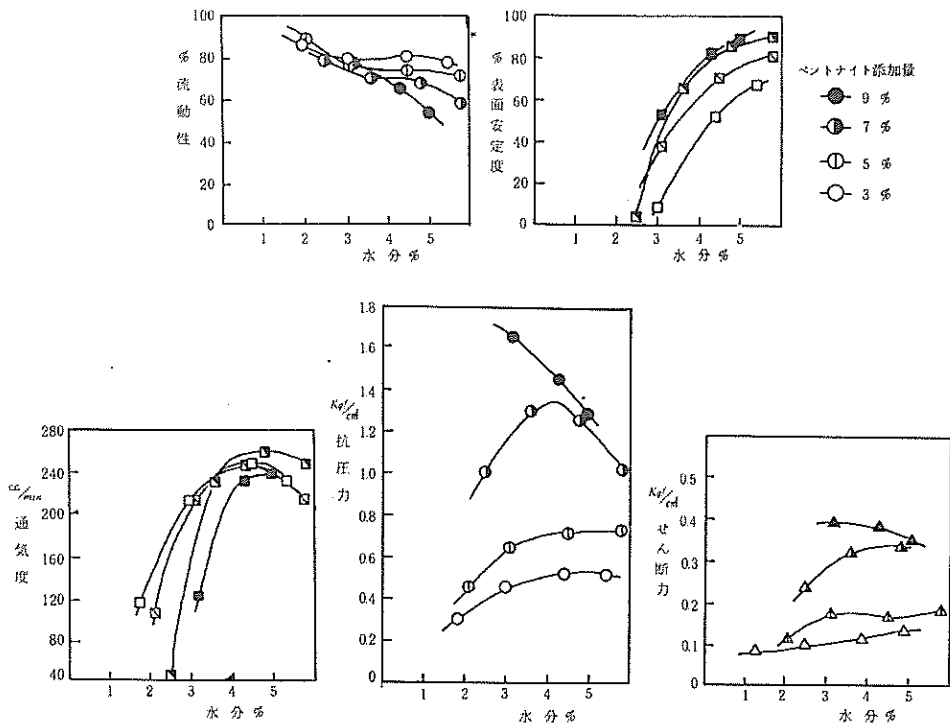


図 9 合成砂の物理性状 —吉原砂 + ベントナイト B—

4・2 合成砂の基礎性状

合成砂用試料は天然けい砂として取扱った吉原砂と大原砂の2試料である。また粘結剤のベントナイトは県内工場で使用されている輸入品(ベントナイトA)と国産の代表的銘柄(ベントナイトB)の2種を用いた。ベントナイトの添加量は3、5、7、9%とし、水分を2~5%と変化させてその物理性状を測定した。測定結果は図6~図9に示すとおりである。

4・2・1 大原砂について：ベントナイトA添加の場合についてみると、適性ベントナイト量は3%前後である。またベントナイト添加量の変化による特性値の動きをみると9%の場合が抗圧力1.4 ㏩と最大値を示すが、通気度も考慮すると7%添加で良いと判断される。

4・2・2 吉原砂について：ベントナイトA添加の場合、水分値としては3%でよいと判断される。流動性は水分量の増加に伴って80~60%と右下りの傾向を示している。表面安定度は、大原砂の場合だとベントナイト量の増加によって安定するが、吉原砂はあまり敏感ではない。これは原砂の粘土含有量に関係しているものと思われる。

5 まとめ

以上をまとめると次に列挙するとおりである。

- (1) 県内の実用的鑄物砂のシリカ分は山砂で77~89%、天然けい砂で89~97%である。
- (2) 試験に供した実用的鑄物砂の耐火度は、山砂で1,500~1,650℃(SK 19~SK 29)、天然けい砂で1,750℃(SK 34)前後である。
- (3) 鉍物組成では沖縄本島の砂は長石の含有量が少く、石垣、西表島の砂は逆に多い傾向にある。
- (4) 県産鑄物砂(山砂)は粘土分15~16%で、65メッシュをピークとする中粘土粗粒砂が多い。
- (5) 破碎試験の結果では天然けい砂の大原砂は破碎しにくい砂であり、山砂の嘉陽砂は破碎しやすい砂であることがわかった。
- (6) 山砂の物理性状に最適特性値を与える水分量は7~9%である。このときの特性値は、抗圧力0.7~1.3 ㏩、通気度10~50 cc/min で通気度が低い傾向にある。
- (7) 天然けい砂を用いる合成砂においては水分とベントナイトの適性添加量は、それぞれ3%および7%である。このときの特性値は抗圧力0.8~1.3 ㏩、通気度200 cc/min 前後である。

6. 参考文献

- ① 木下、竹本：鑄物用珪砂の鉍物組成に関する一考察、鑄物、37、596(1964)
- ② 平敷兼貴：琉球の鑄物砂について、琉大農家政工学部報告、13、208(1966)
- ③ 平敷、屋良：沖縄本島の鑄物砂について、琉大理工学部紀要、6、7(1972)
- ④ 吉村、藤原等：県内鑄物砂の実用性について、島工試(1966)
- ⑤ 浜住松二郎：鑄物砂と鑄型材料(1962)

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターにご連絡ください。