

川崎製鉄技報
KAWASAKI STEEL GIHO
Vol.7 (1975) No.3

鉾滓のコンクリート用細骨材としての強度特性

Properties of Slag for Fine Concrete Aggregate

嶋 文雄(Fumio Shima) 浜田 敬之介(Keinosuke Hamada) 松尾 弘一(Hiroichi Matsuo)

要旨：

鉾滓をコンクリート用細骨材に使用する場合、骨材として必要な強度が得られるかどうか
が問題となる。この実験では、川崎製鉄（株）水島製鉄所で製造している鉾滓を用い、ふ
るい分け試験を行って細骨材に最適な混合粒度を選択し、これにより破砕試験、衝撃試験、
モルタル試験、コンクリート試験を行い、天然砂の場合と比較した。この結果、鉾滓をコ
ンクリート用細骨材として使用することは物理的（破砕、衝撃）に支障なく、また天然砂
の粒度補正にも大いに役立つことがわかった。また本実験による鉾滓は、強度試験の結果
天然砂よりも良い結果を示した。

Synopsis：

In using slag for fine concrete aggregate, an important point is whether necessary
strength can be obtained or not. In this study, slag turned out at Mizushima Works was
subjected to a sieve analysis test in order to select an optimum grading for fine
aggregate which was then put to crushing test, impact test, mortar test and concrete
test. For comparison with slag, natural sand was also put to the same tests. The results
show that slag presents no problem in crushing and impact properties as basic material
for fine concrete aggregates. Slag is also found to be a considerable help in
compensating the grading of natural sand. The slag used in this study shows higher
strength than that of natural sand.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

鉾滓のコンクリート用細骨材としての強度特性

Properties of Slag for Fine Concrete Aggregate

嶋 文 雄*

Fumio Shima

浜 田 敬之介**

Keinosuke Hamada

松 尾 弘 —***

Hiroichi Matsuo

Synopsis :

In using slag for fine concrete aggregate, an important point is whether necessary strength can be obtained or not. In this study, slag turned out at Mizushima Works was subjected to a sieve analysis test in order to select an optimum grading for fine aggregate which was then put to crushing test, impact test, mortar test and concrete test. For comparison with slag, natural sand was also put to the same tests. The results show that slag presents no problem in crushing and impact properties as basic material for fine concrete aggregate. Slag is also found to be a considerable help in compensating the grading of natural sand. The slag used in this study shows higher strength than that of natural sand.

1. ま え が き

わが国の建設工事は年々大型化し、その主材料であるコンクリートの需要も増加している。

昭和48年度のセメント生産量は約7500万tで、このうち使用量の最も多いのは生コン用で約4500万t、セメント製品用約1200万tである。これらをコンクリート量に換算すれば約2億5000万m³であり、これに要する粗骨材は3億t、細骨材は2億t、合計5億tが必要であると推定される。

このような需要の増大のもとにあって、天然骨材は枯渇化の一途をたどり、その価格は高騰が続けている。このような骨材不足の折、鉄鋼製造時

の副産物である鉾滓を粉砕処理して、耐久的な良質のコンクリート用細骨材が得られるならば、鉾滓の有効利用がはかられる。

しかし、鉾滓をコンクリート用細骨材として使用する場合、骨材としての強度が得られるか、十分試験を行って確認しておく必要がある。

ここでは、鉾滓をコンクリート用細骨材に利用できるかどうかについて、天然砂と比較しながら各種実験を行ったのでその結果について報告する。

2. 鉾滓について

鉾滓は、鉄鉄を製造するときの副産物であり、出滓量は鉄鋼石の品位によって異なるが、普通出

* エンジニアリングセンター建設開発部土木開発技術室部長

*** エンジニアリングセンター建設開発部土木開発技術室

** エンジニアリングセンター建設開発部土木開発技術室部長

鉄量の約30%である。したがって、当社の昨年の実績では約500 t 万弱が出産したことになる。

熔融鉍滓を急冷した場合、結晶化に必要な時間が与えられないため非結晶のガラス質となる。これを急冷滓（水滓）といっている。

急冷滓は、組織が不安定でエネルギーの一部を残し、刺激に逢えばエネルギーを放出して安定化する傾向を有する。すなわち、水と石灰質を加えると鉍滓の水硬性が呼び起こされ良く硬化する。この性質を利用して水滓を微粉化してポルトランドセメントと混合したものが高炉セメントである。現在、ポルトランドセメント0.3、水滓0.7の混合割合のもの（高炉セメントC種）まで実用されている。

一方、徐冷した場合は最初小さな核を生じ、次第に大きな結晶となる。これを徐冷滓といってい

る。したがって、その結晶は安定しており水と石灰質を加えてもそれほど水硬性は発揮されず、非常に硬く岩石と同程度である¹⁾。この徐冷滓は、道路用バラス、港湾の埋立用、鉄道の道床、コンクリート用粗骨材、肥料等に使用されている。

この徐冷滓をバラスに破碎する際、5 mm以下の粒体が発生するが、これを乾燥し、ふるい分けをして2 mm以上のものはさらに粉碎して2 mm以下としたものが、珪カル肥料として販売されている。しかし、珪カル肥料の需要は全国で60万 tといわれており比較的少ない。したがって、これらの製品をコンクリート用細骨材として使用できれば鉍滓の有効利用の拡大がはかれることになる。

鉍滓（徐冷滓）の製造過程を 図 1 に、鉍滓の化学成分の一例を 表 1 に示す。

当社の鉍滓は、図 1 に示す製造過程で製品にさ

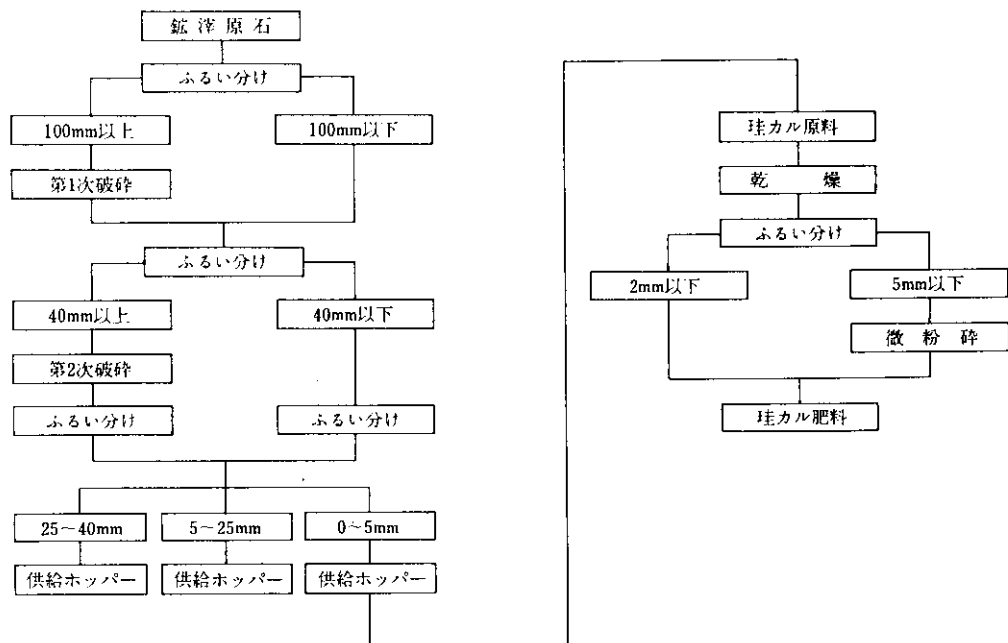


図 1 鉍滓（珪カル肥料）製造工程

表 1 鉍滓の化学成分

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	MnO	塩基度
鉍 滓（徐冷滓）	31.3	15.7	0.5	40.3	5.7	0.4	1.0	1.97
全国各社の鉍滓 （徐冷滓）の平均値 ²⁾	34.0	14.8	0.5	40.7	5.3	0.2	0.8	1.77

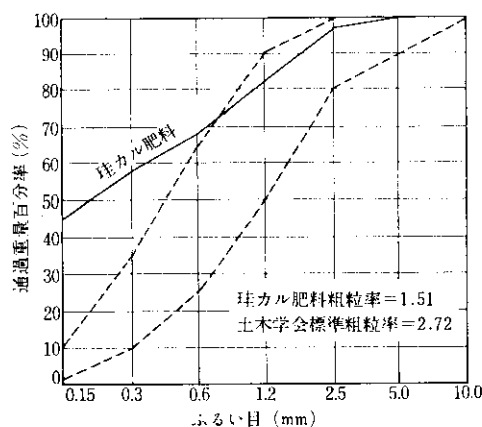


図2 珪カル肥料の粒度曲線

れているが、ここでコンクリート用細骨材として使用できるのは珪カル工場へ送られた珪カル原料（5mm以下）である。珪カル原料がコンクリート標準示方書（土木学会）³⁾に規定する粒度分布とどの程度の差があるか、ふるい分け試験を行って調べた結果を図2に示す。0.15mm以下の微粒子が45%と特に多い。標準示方書の粒度分布とかなり差があることがわかる。したがって珪カル原料をコンクリート用細骨材として適用するためには、珪カル原料を何種類かにふるい分けて、これらを適宜組合せてコンクリート標準示方書の標準粒度に近いものを求めなければならない。

3. 物理試験（破碎および衝撃試験）

コンクリート用細骨材は、5mmのふるい目を90～100%通過するものと規定してあるので、個々の粒子は小さく、これらを強度試験することは不可能である。

鉾澤は、その性質上組織の緻密なものから多孔質のものと変化が著しく、強度の変動もはげし

い。したがって、この鉾澤の強度特性を試験する必要があるが、日本ではこの試験方法が確立されていないため、British Standard Specification 812に記載されている試験方法⁴⁾（破碎試験、衝撃試験）に準じて行った。その結果を天然砂と比較検討してコンクリート用細骨材としての適否を判定することにした。

3.1 使用材料

鉾澤（当社水島製鉄所で製造したもの）

山砂（愛知県瀬戸地方産）

川砂（愛知県矢作川産）

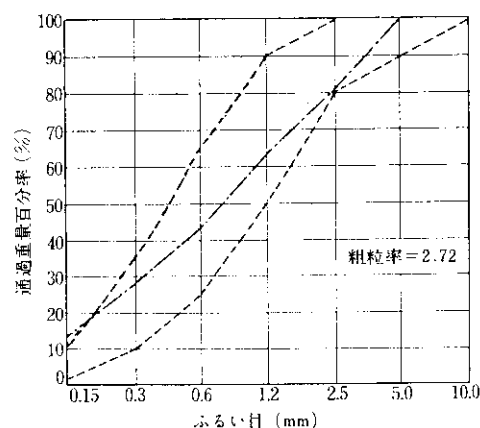


図3 供試鉾澤の粒度曲線

鉾澤は珪カル原料を2mm以下（細という）と5mm（粗という）にふるい分け、細と粗を適当に配合して、コンクリート標準示方書の標準粒度に合うようにした。その粒度分布を表2、図3に示す。なお化学成分は表1のとおりである。

3.2 試験方法

各材料を5～2.5mm, 2.5～1.2mm, 1.2～

表2 供試鉾澤の粒度分布

	ふるい目の大きさ (mm)							粗粒率	摘 要
	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	Pan (0.15以下)		
各ふるいの残留量	0	19	18	20	15	15	13	2.72	粗（粗粒率 3.17）70
残留量累計	0	19	37	57	72	87	100		細（" 1.69）30

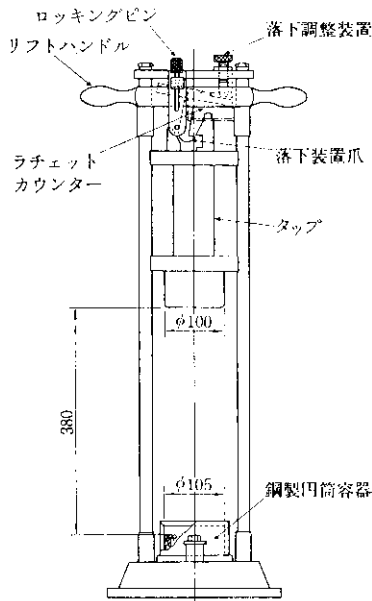


図4 管材衝撃試験器

0.6mm, 0.6~0.3mm, 0.3~0.15mm, 0.15mm以下の6種類にふるい分け, それぞれについて破碎試験および衝撃試験を行った。破碎試験の場合は, ふるい分けした試料を鋼製円筒容器(径77mm, 高さ80mm)につめ, これに最大10tまで荷重をかけ, 荷重ごとの沈下量と加圧による破碎率を求めて, 各材料間の比較を行った。

衝撃試験の場合は, 粒度別にふるい分けした各試料を鋼製円筒容器(径105mm, 高さ51mm)につめ, 重量13.6kgの金属製ハンマー(タップ)を垂直ガイドに沿って約380mmの高さより15回落下させ, ハンマーの衝撃により破碎された試料をふるい分けしてその破碎率を求めて比較検討した。この試験機概略を図4に示す。

3.3 試験結果

荷重と沈下量の関係を図5(a)~(d)に示す。こ

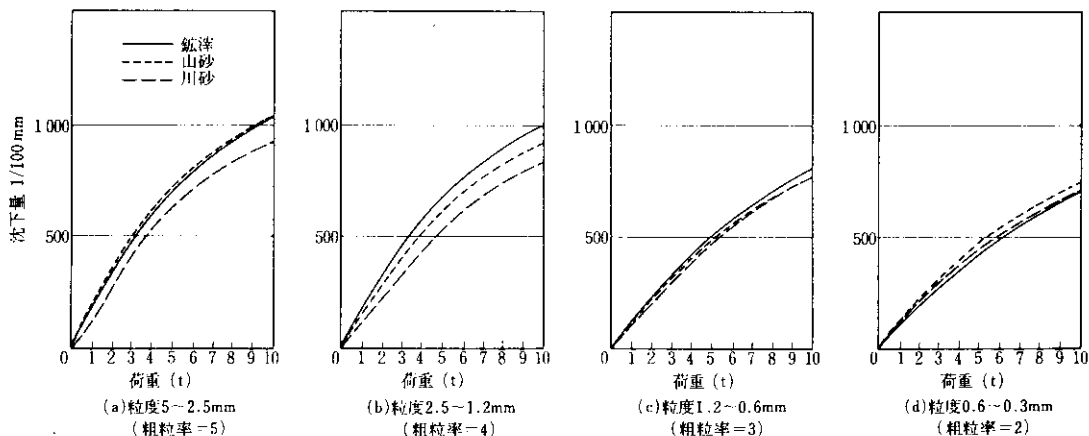


図5 破碎試験による沈下量

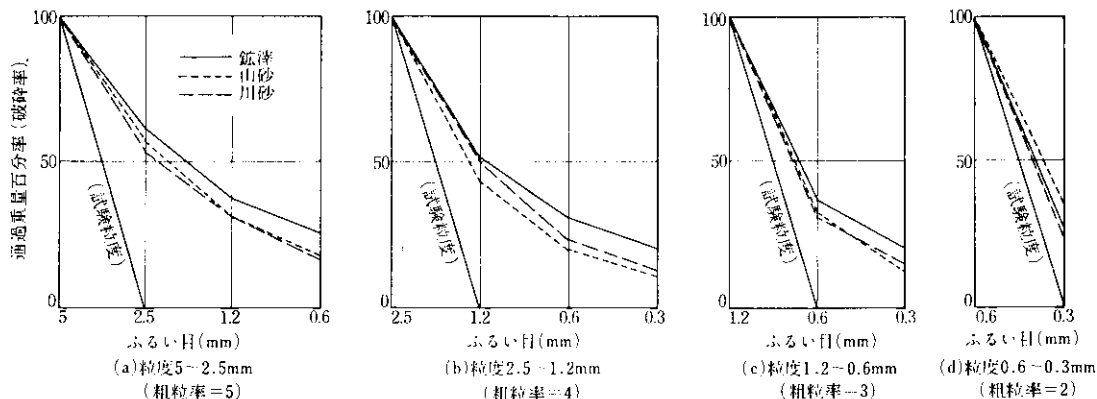


図6 破碎率

のうち、(a), (b)は細骨材としては粗粒のものであり、その沈下量は天然砂に比較して鉍滓の方がいくぶん大きい、(c), (d)と粒径が小さくなるとその差はほとんどなくなることがわかる。

一方、載荷によって破碎した粒子をそれぞれの大きさにふるい分け、どの程度破碎されたかを比較したのが図6である。この結果から、鉍滓は天然砂より破碎率は平均10%程度大きい、粒径が0.6mm以下であれば全く変らないことがわかる。

衝撃による粒度別破碎率を図7に示す。鉍滓、山砂、川砂ともにその曲線は近接しほぼ同様の結果を示すものと考えられる。

4. モルタル試験

物理試験の結果、鉍滓は天然砂と同程度の物理的性質があることがわかった。ここではモルタル試験を行って、鉍滓をモルタルに用いた場合の強度特性について調べた。

4.1 使用材料

普通のポルトランドセメント

細骨材 鉍滓

山砂

川砂

なお細骨材は物理試験に使用したものと同じである。

4.2 試験方法

細骨材をモルタルに使用する場合、細粗粒子の混合の程度が強度に影響を与えるので、その影響を除き主として骨材の強度を判定する意味で、粒度別モルタル試験も行った。セメントと細骨材の配合割合と供試体寸法を表3に示す。圧縮強度は材令7日と28日で測定した。

4.3 試験結果

粒度別、材料別モルタル圧縮強度試験結果を

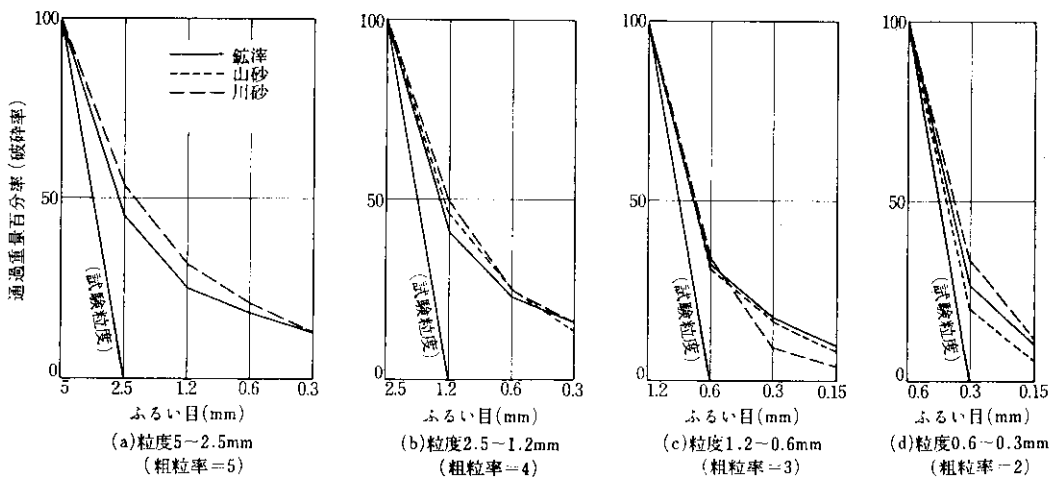


図7 衝撃試験による破碎率

表3 モルタル強度試験配合表

試験項目	セメント	細骨材	水セメント比 (W/C)	供試体寸法 (cm)
粒度別モルタル強度試験	1	3	0.65	4×4×16 φ5×10
材料別モルタル強度試験	1	2	0.60	4×4×16 φ5×10

表 4 粒度別モルタル圧縮強度

粒子の大きさ (mm)	水セメント比 (W/C)	使用材料	圧 縮 強 度 (kg/cm ²)				粗粒率
			4 × 4 × 16cm		φ5 × 10cm		
			σ_7	σ_{28}	σ_7	σ_{28}	
5~2.5	0.60	鉱 滓	167	255	152	220	5
		山 砂	157	285	113	231	
2.5~1.2	0.60	鉱 滓	185	290	168	253	4
		山 砂	152	261	132	247	
		川 砂	128	253	--	272	
1.2~0.6	0.60	鉱 滓	211	253	180	246	3
		山 砂	135	208	171	261	
		川 砂	124	207	158	215	
0.6~0.3	0.60	鉱 滓	149	185	161	208	2
		山 砂	68	131	94	129	
		川 砂	78	127	72	141	

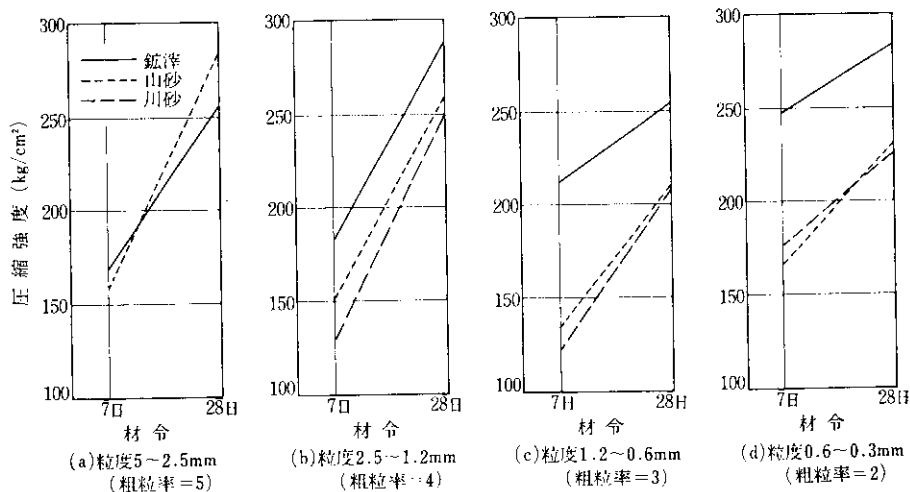


図 8 粒度別モルタル圧縮強度試験結果 (供試体寸法4cm×4cm×16cm)

表 4, 図 8 および表 5, 図 9 に示す。いずれの場合も鉱滓を細骨材として使った方が天然砂を使ったものよりすぐれた圧縮強度を示した。したが

って鉱滓をモルタル用細骨材として使用することは何ら支障はないことがわかる。

表 5 材料別モルタル圧縮強度

使用材料	水セメント比 (W/C)	フ ロ ー (mm)	圧 縮 強 度 (kg/cm ²)	
			σ_7	σ_{28}
鉍 滓 (15mm以下)	0.65	236	275	344
鉍 滓 (2mm以下)	0.65	232	281	348
山 砂	0.65	(大にして測定不能)	170	286
山 砂	0.60	257	219	330
川 砂	0.65	254	216	291
標 準 砂	0.65	231	211	305

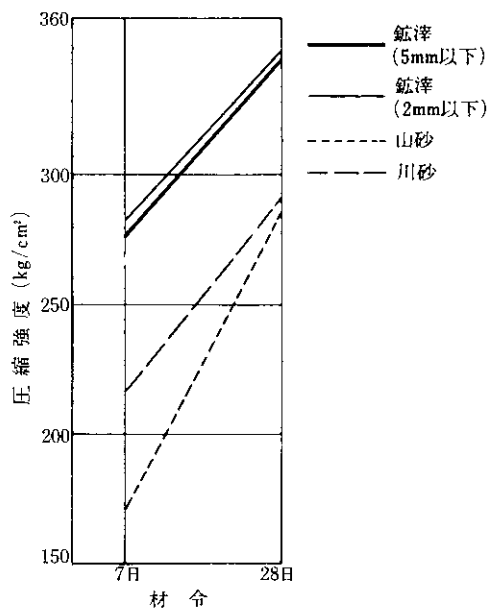


図 9 材料別モルタル圧縮強度試験結果

5. コンクリート強度試験

鉍滓のコンクリート用細骨材としての性能を確認するため天然砂の場合と比較試験した。

5.1 使用材料

細骨材 鉍滓
山砂

粗骨材 山砂利(愛知県瀬戸地方産)

セメント 普通ポルトランドセメント

なお鉍滓および山砂は物理試験に用いたのと同じものである。

5.2 試験方法

セメント、山砂利は一定にして、細骨材、水セメント比、単位水量を変え、表 6 に示す 8 種類の

表 6 コンクリート強度試験材料組合せ表

セメント	粗骨材	細骨材	水セメント比 (W/C)	単位水量 (kg/m ³)	供試体寸法 (cm)
普通ポルトランド セメント	山砂利 (瀬戸地方産)	鉍滓(粗粒率2.72)	0.50	180, 200	φ15×20
			0.60	180, 200	
		山砂(粗粒率2.84)	0.50	180, 200	
			0.60	180, 200	

組合せで供試体を製作した。圧縮強度は7日、28日、100日で測定した。

5.3 試験結果

試験結果を表7、図10に示す。これから明らかなように、鉾澤を細骨材として使用したコンク

リートの圧縮強度は山砂を使ったそれに比べて大きい。

この試験結果で、7日強度が28日強度から想定して大きすぎるが、これは供試体を8月に製作したため、混合用水（水道）の温度が27°～30°Cと高くその影響があったものと思われる。

表7 配合および圧縮強度（供試体 10cmφ×20cm）

細骨材別	水セメント比 (W/C)	コンクリート 1 m ³ 当り材料 (kg/m ³)				スランブ (cm)	圧縮強度 (kg/cm ²)		
		水 W	セメント C	砂 利	砂		σ_7	σ_{28}	σ_{100}
山砂	0.50	180	360	1159	710	1.5	256	295	349
鉾澤					790	1.4	315	349	395
山砂	0.60	180	300	1191	730	2.1	193	230	314
鉾澤					812	2.3	241	275	356
山砂	0.50	200	400	1105	678	10.8	202	240	320
鉾澤					755	8.0	230	278	366
山砂	0.60	200	333	1140	700	16.0	165	213	290
鉾澤					780	12.0	179	240	338

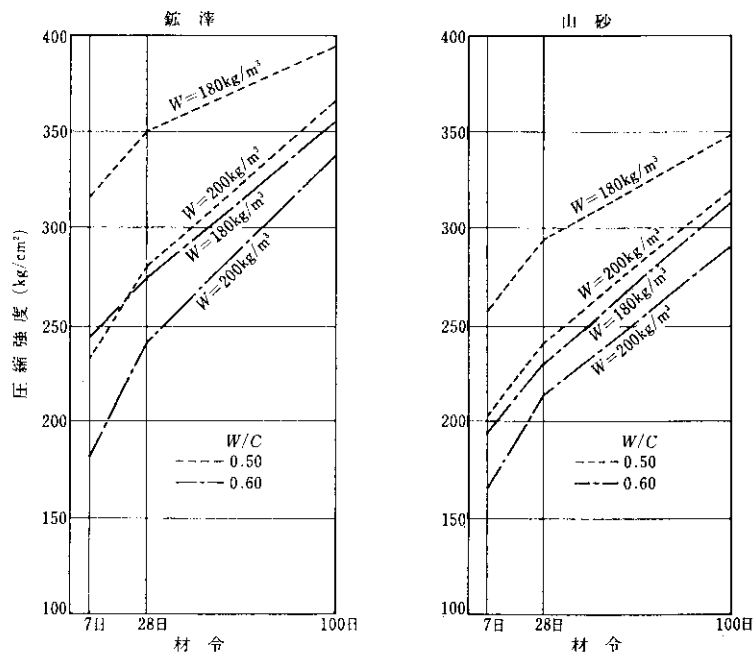


図10 コンクリート圧縮試験結果

6. 単位容積重量

鉍滓は、その組織の粗密によって単位容積重量にかなりの変動があると考えられる。これを調べるため天然砂の場合と比較した。鉍滓と天然砂はいずれも物理試験に使用したものと同じものである。

まず試料を粒度別にふるい分け（5水準）、絶対乾燥状態にしたあと粒度別に棒突き法によりつきかため計量した。この結果を表 8 に示す。鉍滓

と天然砂との差はほとんどないことがわかる。

7. む す び

当社で製造している鉍滓のコンクリート用細骨材としての特性を調べるため、天然砂と比較しながら各種試験を行った。その結果、鉍滓はコンクリート用細骨材として天然砂よりすぐれた特性を示すことがわかった。しかし出荷された鉍滓はコンクリート打設現場において、ある期間放置されて使用される場合が多いと考えられる。また、鉍滓を鉄筋コンクリートに使用した場合、鉄筋の腐食に対する影響が問題である。これには5～10年の歳月が必要である。したがって、経時変化した鉍滓の強度試験とあわせて鉄筋の腐食に対する鉍滓の影響について現在実験中である。これらの試験結果についていずれ報告する予定である。

各種試験を進めるにあたってご指導くださった摂南大学久保直志教授、愛知工業大学院生津幡健一氏、川鉄鉍業㈱藤沢部長、巻口部長の諸氏に深く感謝します。

表 8 単位容積重量

		(kg/m ³)		
材 料	粒子の 大きさ (mm)	鉍 滓	山 砂	川 砂
	5~2.5			
	2.5~1.2	1 516	1 499	
	1.2~0.6	1 531	1 501	1 415
	0.6~0.3	1 521	1 402	1 377
	0.3 以下	1 488		1 367

参考文献

- 1) 藤崎桃一郎：舗装，(1970) 9，15～19
- 2) 阪本好央：セメントコンクリート，(1974) 331，108～114
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書，(1974)，101
- 4) British Standard Specification 812，71～83