

1. まえがき

近年コンクリート用細骨材として砕砂の利用が提議されている。これは品質良好な河川砂から山砂、海砂へと転換しつつあることと、その生産形態が需要に対する供給能力に懸念があるためである。砕砂はその製造過程から粒形と微粉分の存在などが従来の河川砂と様相を異にしている。とくに微粉量の許容範囲の定め方によっては砕砂の生産効率にも、またコンクリートの品質にも大きな影響を与えるものと考えられる。他方これら砕砂の石質および粒度についてはかなり安定しており細骨材として利用しやすいものと思われる。

砕砂には砕石生産の際に生ずる細粒物を用いるものと、初めから砕砂として強制破碎して生産し用いるものの2種に分けられるが、本実験においては、道路用砕石として生産されている単粒度砕石7号およびスクリーニングスを用い、適度の混合割合による粒度を選び砕砂として使用した。実験は、モルタルおよびコンクリートに関する諸試験を行なって砕砂としての利用を検討するために行なった。

2. 砕砂の一般的性状

細骨材の諸物性は、その石質および品質の影響を受けている。砕砂も同様と考えられるが、破碎設備の機種によって表面形状、粒度が異なり微粉量の差異が生ずる等の要因が加わるため、十分な品質管理の製品の供給が望まれる。実験に使用した砕砂の品質は硬質砂岩であり、破碎機はインペラグレーカーによっている。原砕砂に関する物理試験結果を表1に示す。原砕砂の全

表1 原砕砂の物理的性質

項目	記号	比重	吸水率 (%)	単粒度重量 (%)	粗粒率	ふるい分け							
						ふるい残留百分率 (%)							
						0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	
原砕砂	7号砕石	S-5	2.67	0.71	1590	482			100	98.2	838	6.4	0
	スクリーニングス	F-25	2.53	4.68	1880	217	760	601	503	26.9	34	0	

量に対する単粒度砕石7号のスクリーニングスに対する混合率を重量比で表わし0, 20, 30, 50, 100%とした粒度分布を図1に示す。

3. モルタルによる実験

3.1. 実験概要 実験にとり上げた要因と水準を表2に示す。実験は、原砕砂の単粒度砕石7号とスクリーニングスの重量比を0, 20, 30%としたものを砕砂とし、川砂および川砂と砕砂をそれぞれ混合したものについても、同一の粒度に調整しいずれも気乾状態で使用した。

表2 要因および水準

要因	水準
A. 水比	47%, 55%, 65%
B. フロー値	170 ^{mm} , 190 ^{mm} , 210 ^{mm}
C. 細骨材の種類	川砂, 川砂+砕砂, 砕砂
D. 粗粒率	2.17, 2.70, 2.97

モルタルは1バッチ量の細骨材容積中に、セメントペーストを増加させたフロー試験をあらかじめ行ない、所定の軟度を得られるペースト量の増減を測定し砕砂の性状を検討した。軟度を得られた配合にもとづいて強度性状についての測定を行なった。

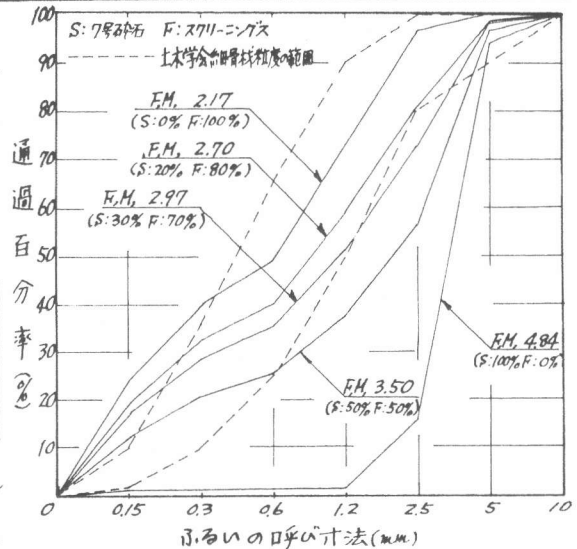


図1 実験に用いた細骨材の粒度曲線

3.2. 使用材料 セメントは麻生社普通ポルトランドセメントを用いた。川砂は淀川産(比重2.55, 吸水率1.43%, 粗粒率2.62)砕砂は表1に示したものをを用いた。

3.3. 試験項目と試験方法

3.3.1. フロー試験 実験に使用した各々の細骨材は、粒度を一定に保つ必要から各ふるい目毎にふるい分け、所定の粒度となるよう再混合して用いた。モルタルの練り混ぜは、各材料別に計量の後容量4ℓのモルタルミキサーを用い2分間空練りをした後、水量を加え3分間練り混ぜを行ない、フロー試験を行なってフロー値

を測定した。所定の軟度に達しないときは、各々の水セメント比のセメントペーストをあらかじめ作っておき、これをモルタル中に一定量ずつ加え、所定軟度になるよう繰り返してペースト量を測定した。

3.3.2. 圧縮強度試験 フロー試験を行なって得られたフローとペースト量の関係より各々のモルタルの配合を決めた。表4にモルタルの配合を示す。配合に従い各材料を別々に計量し、1バッチ量28ℓでJIS R 5201 に準じて練り混ぜを行なった。供試体の成形は $\phi 5 \times 10^{cm}$ の円柱型枠を用いた。型枠への打ち込みは2層に分けて詰め、一層につき $\phi 9$ の突き棒で25回突き、上面は型枠頂面より2~3mm下げた。翌日キャッピングを行ない脱型した。供試体は所定材令まで標準養生を行なった。所定材令3日、7日、28日、91日で圧縮強度試験を行なった。

3.4. 試験結果

3.4.1. フロー試験 実験にとり上げた要因と水準の組み合わせによりフロー試験を行なった。所定のフロー値を得るのに必要なペースト量の増加は一樣ではなかったが、ペースト量とフロー値との比例関係が得られた。これを水量との関係で示したのが図2である。図2より川砂モルタルに比較し、砕砂モルタルの水量の増加は大きい、さらに粒度についても、粗粒率2.97はいずれの細骨材においても水量の増加となっている。

実験を行なって得られたモルタルのペースト含有量を百分率で表示し、ペースト含有率として分散分析を行なった。結果を表3に示す。図3より(A)水セメント比との関係は、水セメント比が大きくなるに従いペースト含有率は減少した。水セメント比47%と65%との差は9%であった。(B)フロー値との関係は、フロー値を170~210mmと変えるとペースト含有率も増加した。フロー値170mmと210mmのペースト含有率の増加は5.5%と傾向は小さい。(C)細骨材との関係は、川砂に比較し砕砂を用いた場合、ペースト含有率は10%程度多くなった。このことは、砕砂を用いて所定フロー値を得るのに川砂を用いる場合より10%程度ペースト量が必要であることを示している。(D)粒度との関係では、粗粒率を2.17, 2.70, 2.97と変えるとペースト含有率は減少した。減少の傾向は一樣でなく、粗粒率2.17と2.70間が大きい。これは粗粒率2.17の粒度は細粒が多く、他の粒度に比較して空隙が1.3%ほど大きかったためと考えられる。しかし粗粒率2.17と2.97のペースト含有率の差は4.7%でありほとんど一定と考えられるため、このような粒度であれば細骨材として使用可能である。(BxC)フロー値と細骨材の種類によるペースト含有率と関係は、同一水セメント比のフロー

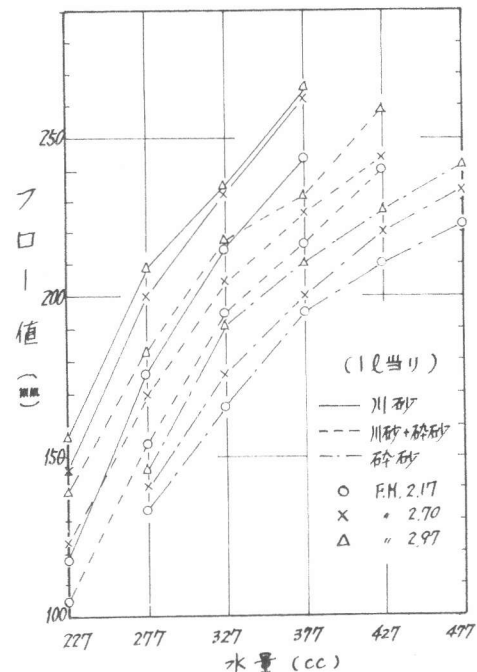


図2 水量とフロー値の関係

表3 ペースト含有率分散分析

要因	S	ϕ	V	F ₀	判定
A	379.555	2	189.7775	244.09	**
B	138.888	2	69.444	39.32	**
C	470.888	2	235.444	302.82	**
D	100.666	2	50.333	64.74	**
AxB	11.555	4	2.888	3.72	
AxC	20.888	4	5.222	6.72	*
BxC	34.888	4	8.722	11.22	**
Er	4.665	6	0.7775		

値170~210mmを得るのに必要なペースト含有率が、川砂の場合はほぼ変化しないのに対し、砕砂の場合は、フロー値を210mmと大きくするた

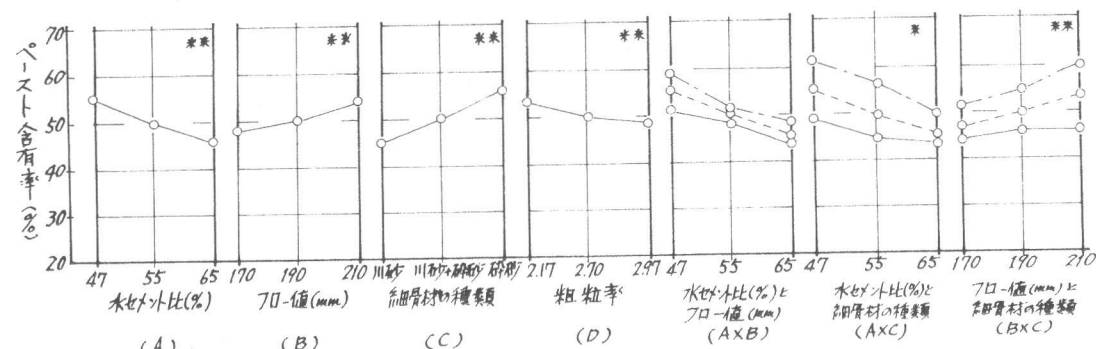


図3 要因効果

めには8.3%のペースト含有率の増加であった。また、細骨材の種類に関してはフロー値170^{mm}の川砂に対し、砕砂は77%、同じく190^{mm}では9%、210^{mm}では14%のペースト含有率の増加であった。これらペースト含有率の差は、細骨材の種類に関係なく一定のフロー値を得るためにペーストを増加させた結果による差であり、本質的にはモルタルの軟度とペーストの濃度との関係も検討の余地があるが、本実験では細骨材はそれぞれ粒度を揃えてあり、細骨材に含まれる微粉(0.074^{mm}以下)が量的に同じであることから、骨材の粒形の劣るもの程その骨材を包むペースト量は多くなるためやはり粒形による影響と考えられる。

3.4.2. 強度試験 表4 モルタルの配合および強度

圧縮強度試験結果は表4に示した。各材令について、要因の分散分析を行なった。

水セメント比の影響については、材令のいかに問わす水セメント比47%が強度の発現がよく、水セメント比65%に比較し平均31%の強度増である。しかし材令の伸びについては、水セメント比65%の方が水セメント比47%を上廻した。分散分析の結果からは各材令共有意となった。

No	配合 (g)			空隙率 (%)	圧縮強度 (MPa)			
	W	C	S		3日	7日	28日	91日
1	293	198	510	35.7	242	306	382	461
2	304	206	491	29.3	231	373	379	500
3	325	219	456	26.8	186	378	454	507
4	292	197	511	32.9	152	243	294	306
5	318	216	466	28.5	169	215	319	351
6	382	250	360	27.3	259	357	402	410
7	291	197	513	31.8	172	290	364	390
8	370	250	380	29.9	238	339	421	451
9	395	267	338	26.6	255	334	415	432
10	269	155	575	33.3	167	229	304	351
11	284	164	552	28.1	198	253	365	355
12	351	203	446	27.7	245	316	469	537
13	277	160	564	32.2	167	260	325	351
14	326	188	487	30.3	231	371	385	509
15	340	196	464	26.2	246	369	411	507
16	291	168	581	35.7	137	244	294	391
17	324	187	488	28.9	169	205	382	466
18	356	206	438	26.1	153	300	341	472
19	270	132	598	31.0	144	251	270	308
20	312	153	535	29.1	201	262	354	391
21	313	153	534	24.6	171	254	331	430
22	304	148	547	35.3	137	219	273	323
23	299	146	554	28.9	135	213	269	360
24	316	154	530	26.7	173	259	337	347
25	288	140	572	32.2	95	185	230	261
26	305	149	546	27.7	126	203	289	342
27	385	188	427	27.7	185	268	383	476

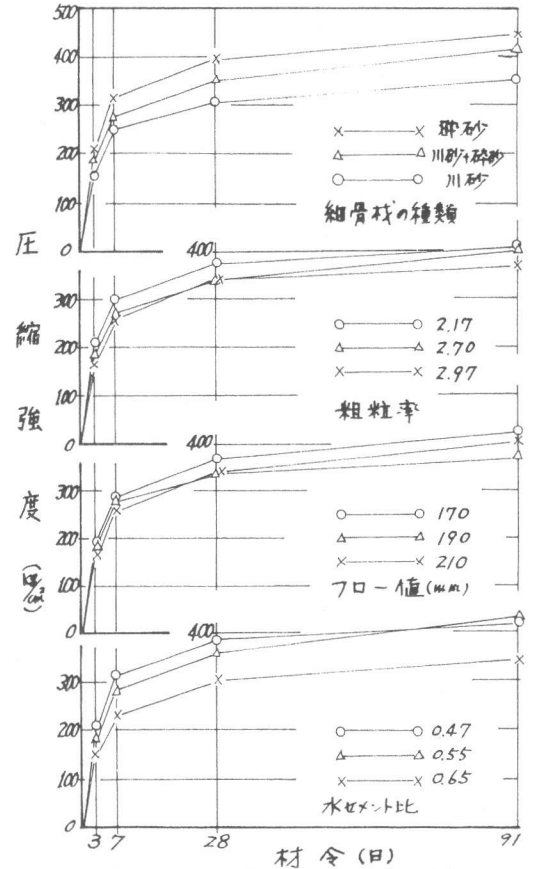


図4 要因別 材令と圧縮強度の関係

フロー値の影響については、材令3日、7日の短期材令のフロー値を大きくしたことによる強度の減少は明瞭であるが、長期材令では傾向としての減少が示された。このことはフロー値190^{mm}の水量決定が非常にむずかしかったことが原因と考えられる。各材令におけるフロー値170^{mm}に対するフロー値210^{mm}の強度の減少は平均9%である。材令の伸びについては、フロー値210^{mm}の方が良好である。

細骨材の種類の影響については、川砂が各材令共強度は低く、砕砂の圧縮強度の77%であった。このような関係は各材令共に明瞭で、粒形の相異による影響と考えられる。材令の強度の伸びは、川砂と砕砂の1/2混合の場合が小さく、他はほぼ同じであった。また分散分析の結果各材令共有意となった。

粗粒率の影響については、フロー値の場合と同様な傾向を示している。材令3日の粗粒率2.97に対する粗粒率2.17の強度増加の26%を省くと、他の材令では粗粒率2.17が平均11%の強度増である。材令の伸びは、粗粒率2.97が良好で、粗粒率2.17の伸びより25%上廻った。各材令毎の分散分析を行なった主効果の組合せを図4に示す。

4. コンクリートによる実験

実験は、細骨材の粒度の相異がスランブに及ぼす影響と強度性状について求めることを目的とした。

4.1. 使用材料 セメントおよび細骨材はモルタルの実験に用いたものと同じものを用いた。粗骨材は硬質砂岩(比重2.70, 粗粒率7.21, 単位容積重量1580^{kg/m³}, 最大おさ25^{mm})を用いた。

4.2. 試験項目と試験方法

4.2.1. スランブ試験 実験に使用した骨材はすべて一旦ふるい分けした後再混合して用いた。コンクリートの配合は、水セメント比55%, スランブ8±1^{cm}とし、細骨材は川砂と砕砂とを併用した。スランブ試験は試的

配合に従って1バッチ量の各材料を計量ののちアイツヒ型ミキサーを用い、2分間空練りをした後、水量を加えて3分間練り混ぜた。ミキサーから排出したコンクリートはスランptestを行なって、スランptestを測定した。所定のスランptestに達しない時は、水量の調整をして所定スランptestになるよう行なった。

4.2.2. 圧縮強度試験 スランptest試験を行なって得たスランptest値と水量の関係より、コンクリートの配合を決めた。表5にコンクリートの配合を示す。配合に従い1バッチ量10ℓで練り混ぜを行なった。供試体の成形はφ10×20^{mm}の円柱型枠を用いた。型枠への打込み、キャッピング、養生方法はJIS A 1132 に準じた。所定材令7日、28日にJIS A 1108に準じ圧縮強度試験を行なった。

4.3. 試験結果 表5 コンクリートの配合および試験結果

4.3.1. スランptest試験

5種の粗粒率を用いて、所定スランptest(8±1^{cm})になるよう水量調整を行なった砕石コンクリートの修正単位水量は、川砂のそれと比較してすべて15~70kgの増量となった。これを増加率

スランptest (cm)	粗粒率	細骨材の種類	単位量 (kg/m ³)				スランptest (cm)	空気量 (%)	単位容積重量 (kg/m ³)	圧縮強度(N/mm ²)		粗粒率の比		
			水	セメント	細骨材	粗骨材				7日	28日			
8	4.84	川砂	37.8	55.1	140	370	1043	899	—	6.3	2300	163	230	0.83
	3.50		48.2	48.5	175	355	879	892	7.5	1.8	2420	208	255	0.92
	2.97		52.4	45.8	184	351	823	1031	7.5	1.5	2440	231	264	0.95
	2.70		51.9	45.9	182	351	822	1027	7.3	1.6	2400	212	271	0.97
	2.17		52.4	48.1	184	351	865	987	8.1	1.8	2400	194	278	1.00
	4.84	砕砂	58.8	58.3	210	357	1052	762	—	2.2	2350	86	164	0.50
	3.50		58.5	51.8	209	357	912	883	8.3	1.8	2250	211	331	1.01
	2.97		55.1	58.8	199	361	868	942	7.6	2.3	2250	237	320	0.98
	2.70		58.5	48.2	209	357	846	937	7.7	1.5	2260	281	339	1.04
	2.17		52.2	55.4	219	352	895	875	8.2	1.5	2260	287	327	1.00

で示すと8~50%とかなり多い。一般に言われているコンクリート用細骨材粒度は、粗粒率が2.00~3.43であり、当然ながら粗粒率4.84については川砂、砕砂ともスランptestの測定は不能であった。粗粒率4.84を除いた砕砂の使用水量は、平均209kgで川砂と比較し15%増を示した。このため、使用セメント量は平均9kg増加した。川砂に対する砕砂のセメント増加率は1.4%で差はあまりないが、水セメント比は7%の増となった。細骨材率も砕砂使用では平均51%で、川砂の47%に対し4%の増になった。これら粗粒率の単位水量の増加は、粒子中に含まれる微粉量との相関が認められる。粗粒率3.50については、0.3~0.6^{mm}の粒子が他の粒度に比べて少ないため、粗粒率2.17と同様な傾向を示したと考える。

4.3.2. 強度試験

材令7日、28日の圧縮強度試験結果を表5に示す。川砂コンクリートと砕砂コンクリートを比較すると、いずれの砕砂も川砂の強度を上廻った。粗粒率による圧縮強度の影響は、砕石コンクリートの材令7日において顕著であり、7号砕石の混合率の増加との相関が認められる。各々の粗粒率と砕石コンクリートに対する川砂コンクリートの比との関係からは、材令7日では1.48~0.53と強度のバラツキが多いのに対し、材令28日では1.38~0.71であった。しかも粗粒率4.84を除けば1.18~1.38と安定している。さらに砕石コンクリートと川砂コンクリートを同一粗粒率で比較すると、すべて砕石コンクリート寄りに位置する。これらのことより、同一スランptestを得るのに砕砂特有の表面形状による単位水量の増加や、セメント量の川砂増加平均13%に対する、砕砂のそれの3割弱にもかわらず材令28日における川砂に対する砕砂の平均23%の強度増から、実験に用いた砕砂は石質もよく、一部標準粒度を外れる粒度分布ではあったが、細骨材として十分良好と認められる。

5. まとめ

- 1) 道路用砕石7号のスクリーニングスに対する混合割合を0, 20, 30%とした砕砂モルタルのペースト含有率は、川砂のそれと比べ10%多くなる。
- 2) モルタルの圧縮強度については、砕砂使用の方が川砂使用に対して平均29%増で、混合率による影響は0%が30%より平均15%の増加となった。
- 3) 混合率0, 20, 30, 50%とした砕砂コンクリートの単位水量は、川砂のそれと比べて8~19%増となり、混合率の30%の単位水量増加が少なく、0%に対し11%の水量減少であった。
- 4) コンクリートの圧縮強度については、砕砂使用が川砂使用に対して、材令7日で12%、28日で23%の強度増である。混合率については、混合率20%の強度が他を上廻った。