

正会員 〇徳光 善治 (九州大学 工学部)
 正会員 松下 博通 (九州大学 工学部)

1. まえがき

近年、良質な河川砂の枯渇と採取規制の強化に伴い、新たなコンクリート用細骨材の開発が望まれており、なかでも、岩石を破砕して人工的に製造される砕砂をコンクリート用細骨材として利用する気運が高まってきた。しかしながら、砕砂は角ばりの程度が著しく、微粉末の含有量が多いなどの天然細骨材と異なった物性を有しており、コンクリート用細骨材として用いるためには、これらの物性がコンクリートに及ぼす影響を明確にし、砕砂独自の品質規準、使用規準を確立する必要がある。以上の観点から、本研究は、まず数種類の砕砂の物理試験およびモルタルのフロー試験により砕砂の粒形判定、微粉末混入限界量の指標を求め、次に硬化したモルタルの圧縮、曲げ強度試験、および乾燥収縮量の測定を行ない、砕砂の物性並びに微粉末含有量がモルタルの品質に及ぼす影響について検討したものである。

2. 砕砂の一般的性質

砕砂は岩石を破砕して製造するため、製砂機の種類(粉砕機ではロッドミル、ハンマークラッシュなど、分級機ではスパイラル、エアスクリーンなど)や母岩の岩質などにより、その粒度分布、粒径、微粉末量などが大きく異なる。図-1は本実験に供した砕砂の製造時の粒度分布である。分級の有無にもよるが0.15mm以下の微粉末量は5~15%と大きくまた1.2~2.5、2.5~5.0

表-1 細骨材の物理的性質

種類	母地	岩質	比重	吸水量 (%)
砕砂	熊本産	安山岩	2.65	1.97
	熊本産	角閃岩	2.73	1.85
砂	久山産	安山岩	2.65	1.16
	久山産	角閃岩	2.91	1.65
	金澤産	花崗岩	2.59	1.94
	金澤産	花崗岩	2.59	1.68
	金澤産	花崗岩	2.61	1.69
	福山産	花崗岩	2.59	1.25

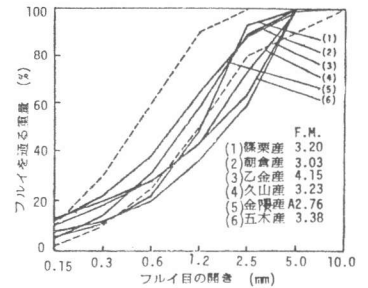


図-1 砕砂の製造時粒度分布

mmの粗粒部分も多く、実際に使用する場合には、適当な粒度調整方法が必要であることを示している。表-1に砕砂の母岩の種類および比重、吸水量を示す。比重は約2.60~2.90、吸水量は全て2.0%以下で天然細骨材と比較して何ら劣ることはない。砕砂の母岩は、一般に、安山岩、玄武岩、花崗岩が主であるが、風化花崗岩は「マサ」と呼ばれるバラバラの状態になりやすく、吸水すると粘性を帯び必要単位水量が増加するため、岩質の検討も必要である。

3. 砕砂の物性がモルタルのコンスタンスに及ぼす影響

砕砂の粒形、微粉末混入量がモルタルのコンスタンスに及ぼす影響を調べるために細骨材の単位容積重量試験、ドライコンスタンス試験およびモルタルのフロー試験を行ない、砕砂の物性の定量化を試みた。ドライコンスタンス(D.C.)とは図-2に示すスランフコーンを底板の中央に置き、絶乾試料をコーンの中に2層に分けて、各層を15回突き棒で一様に突

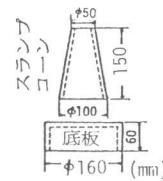


図-2 D.C.試験装置

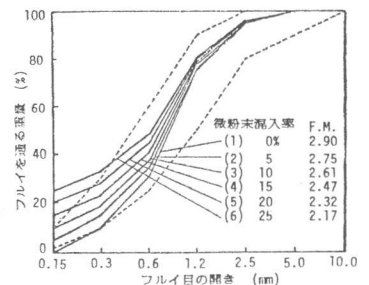


図-3 調整砂の粒度分布

きコーンを静かに引き上げたときの、底板から試料頂点までの高さを表わすものである。粒形の判定にはJISの標準網ふるいを用いた。砕砂と海砂の中間の値を求めるために久山産砕砂と海砂を重量比1:1で混合した混合砂を用いた。その際、海砂、混合砂には久山産砕砂の微粉末を用いた。なお、砕砂の表乾判定方法は、連続粒度の砂については、5mm以上0.15mm以下の部分を跨いで従来のフローコーンにより、また単一粒の砂については、フローコーンや試料の握り締めた場合の手のひらへの付着状態などから判定した。モルタルのフロー試験は連続粒度の細骨材を用いて、w/c=40、50、60%で行なった。

(2) 砕砂の形状(粒形)の影響および粒形判定方法

図-4は粒径別の単一粒度実積率を示したものである。単一粒度の実積率は同一細骨材では粒形によらずほぼ一定であり、砕砂の粒形を表わす指標になり得ることを示唆している。図-5に単一粒度実積率の平均値とモルタル試験から得られたフロー値220を得るための必要単位水量との関係を示すが、いずれのW/Cにおいても実積率の増加に伴い単位水量が直線的に減少する傾向が見られ、砕砂の粒形を判定する指標として単一粒度の実積率が適当であるといえる。ただ金隈産の砕砂にみられるように、風化花崗岩質砕砂は、単位水量が著しく大きくなり、その取り扱いには十分な注意を要する。次にD.C.であるが図-6に示すように、粒径によらずほぼ同じ範囲の値を示し、実積率の変化に比べてその変化は非常に小さい。各細骨材のD.C.と実積率を図-7に示すがD.C.には細骨材の種類による顕著な差は見られず前述のように、各骨材間で同一コンスタンシーを得るための必要単位水量がかなり異なることを考慮すれば、D.C.は粒形判定には不適当であると考えられる。

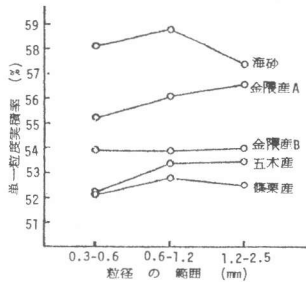


図-4 粒径別実積率

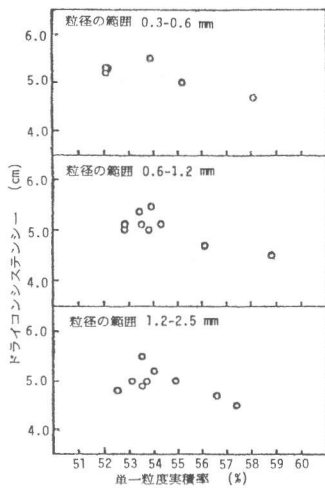


図-6 粒径別の実積率とD.C.の関係

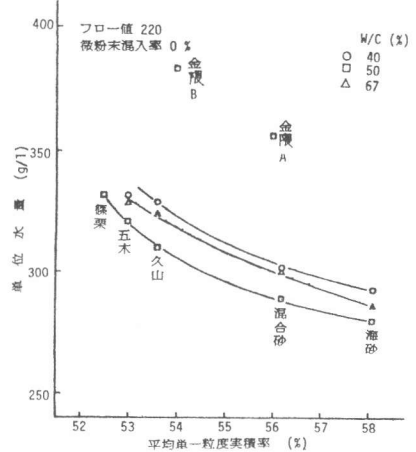


図-5 単一粒度実積率と単位水量の関係

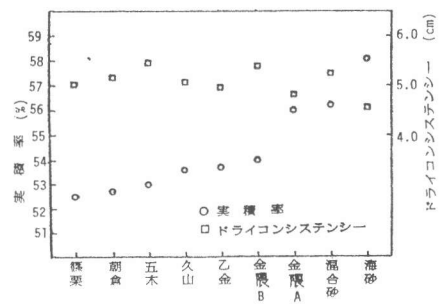


図-7 細骨材の種類別単一粒度実積率とD.C.

(3) 微粉末混入の影響および微粉末混入限界値の推定方法

図-8に微粉末混入率と同一フローを得るための必要単位水量の関係の一例を示すが、微粉末混入率が増加するとともに単位水量は下に凸の曲線を描きながら増加している。ただ水量が急増する混入率(限界混入率)は、W/Cにより異なる傾向が見られ、W/C=67%のような貧配合において、混入率5~10%程度まで逆に単位水量が減少する例もみられた。この微粉末混入率と実積率およびD.C.の関係を図-9、図-10に示す。いずれにおいても、図-8にみられる変化と同様の傾向はみられない。すなわち、混入率の増加に伴い、実積率は上に凸の曲線を描き、混入率20~25%で最大値をとる。D.C.は混入率10~15%で変曲点を生じ、急激に増大している。したがって、連続粒度の細骨材による実積率およびD.C.によって微粉末混入による単位水量の変化を捉えることは困難であると考えられる。そこで、細骨材にセメントを混入した試料(モルタル配合より水を除いた部分)の実積率 G_H とD.C.を求めた。D.C.試験で

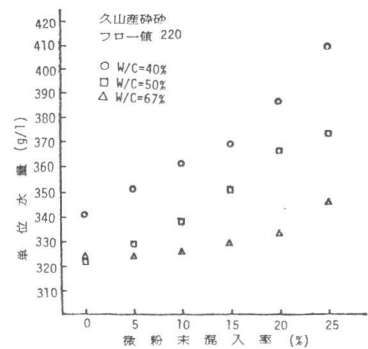


図-8 微粉末混入率と単位水量の関係

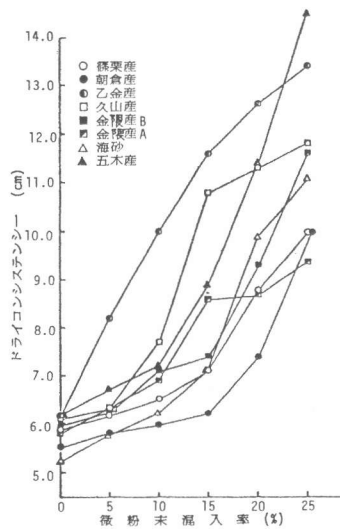


図-9 微粉末混入率とD.C.の関係

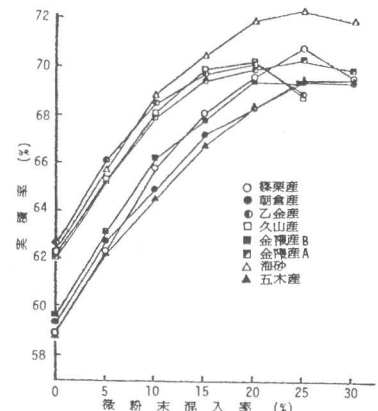


図-10 微粉末混入率と実積率の関係

は試料がスランブせず、D.C.による判定は不適当であると思われる。一方、フロー値220を得るための実積率 G_M と微粉末混入率との関係を図-11、図-12に示すが W/C が一定の場合、実積率 G_M は微粉末混入率の増加と共に直線的に減少している。この結果とモルタルのフロー試験結果から、同一細骨材では W/C の変化にか

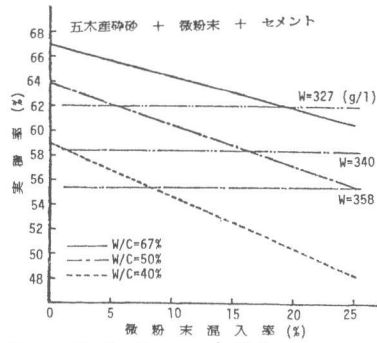


図-11 微粉末混入率と実積率 G_M の関係

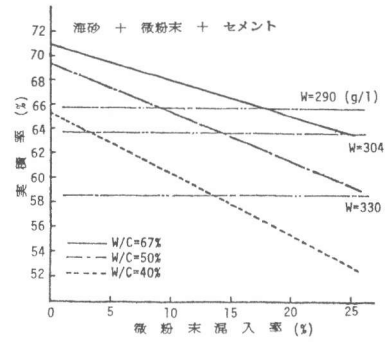


図-12 微粉末混入率と実積率 G_M の関係

かわらず実積率 G_M が等しい時、同一水量で同一フローを得る事が判明した。以上のことから実積率 G_M により、微粉末混入による単位水量の変化を捉えることが可能であると考えられるが、この点については今後の実験データの蓄積によるさらに深い検討が必要である。

4. 砕砂を用いた硬化モルタルの性質

(a) 強度

図-13～図-18はフロー値220の配合で打設したモルタルの C/W と圧縮強度および曲げ強度の関係である。 $\%$ の微粉末混入量の変化による強度の変化は細骨材の種類によらずほぼ下差ない。図-19、図-20は $W/C=50\%$ 、材令

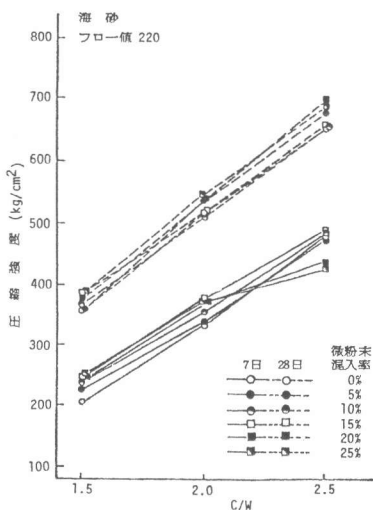


図-13 セメント水比と圧縮強度の関係

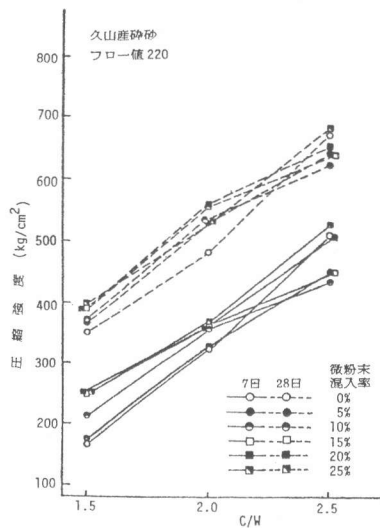


図-15 セメント水比と圧縮強度の関係

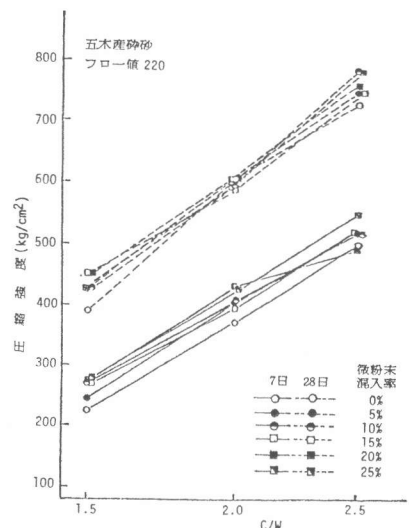


図-17 セメント水比と圧縮強度の関係

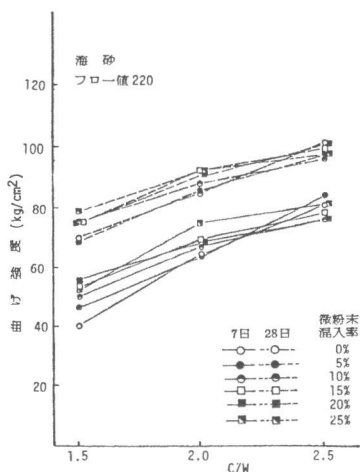


図-14 セメント水比と曲げ強度の関係

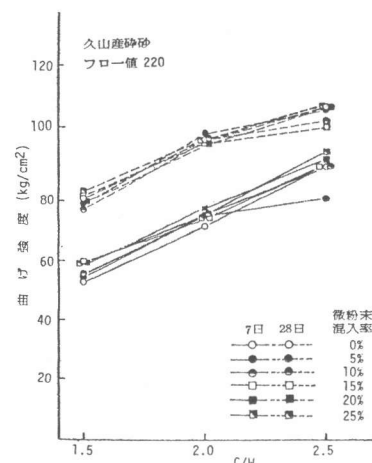


図-16 セメント水比と曲げ強度の関係

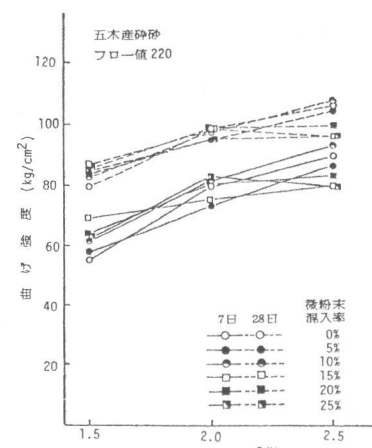


図-18 セメント水比と曲げ強度の関係

28日での細骨材の種類別の微粉末混入率と圧縮、曲げ強度の関係で、海砂と比較して砕砂は、同等かそれ以上の強度を示しており、他のW/Cにおいても同様の関係がみられる。金沢産砕砂は岩質が前述したトマサユであり、微粉末混入率が大きくなると、単位水量が400g/l以上となり大きくなるため、曲げ強度が低下していると思われる。図-21、図-22は、五木産砕砂でフロー値200の配合で打設したモルタルの微粉末混入率と圧縮、曲げ強度の関係である。圧縮強度は微粉末混入率の増加に伴い増加しているが、長期材令になると、その増加率は緩やかになる。また曲げ強度は、初期材令では、微粉末の混入により影響はほとんど受けないが、長期材令では、微粉末混入率が20%以上になると低下する傾向がある。

(8) 乾燥収縮

五木産砕砂を用い、微粉末量を変化させたモルタルの乾燥収縮量の測定結果から、乾燥収縮量曲線 $f = \frac{r}{a+bx}$ を求め、図-23に示す。この曲線式は測定値とよく一致している。この曲線から7日、28日、91日および最終の収縮量を求め、使用細骨材、微粉末混入率、W/C毎に表-2に示す。モルタル中のセメント量、水量、微粉末量が収縮量に及ぼす影響を検討するため、

$$f = pW + qC + rD$$

P, q, r ; 水、セメント、微粉末1gあたりの収縮量

D ; 微粉末量

として、各材令毎に p, q, r の値を求めると、表-3に示すとおりである。この表示式は実験値ともよく一致し、相関係数も高い。この結果は、短期材令においては微粉末混入率の増加により収縮量が大きくなり、長期材令においては微粉末混入率の影響は小さく、水量による影響が顕著となることを示している。長期材令における傾向は久山産砕砂について行った実験でも同様であった。このことから微粉末混入率は、短期材令においては収縮量を増大させるが、長期材令においては直接収縮量を増大させるものではなく、混入率増大による水量の増加が間接的に収縮量を増大させると考えられる。また、微粉末の岩質により水1gあたりの収縮量 p の値が異なるという結果が得られており、岩質がモルタル収縮に及ぼす影響についても今後、検討されなければならないと予想される。

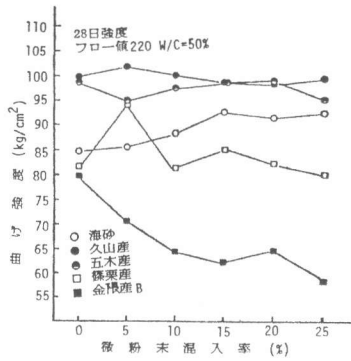


図-19 細骨材別の微粉末混入率と曲げ強度の関係

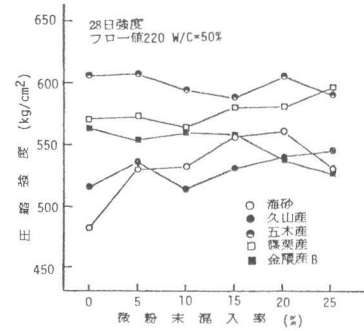


図-20 細骨材別の微粉末混入率と圧縮強度の関係

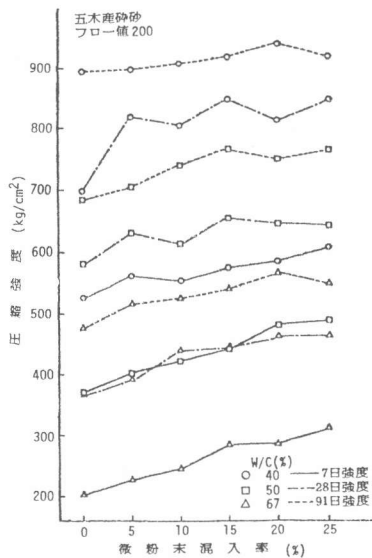


図-21 W/C、材令別の微粉末混入率と圧縮強度の関係

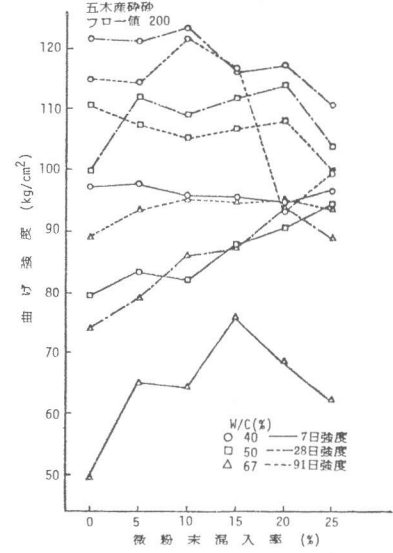


図-22 W/C、材令別の微粉末混入率と曲げ強度の関係

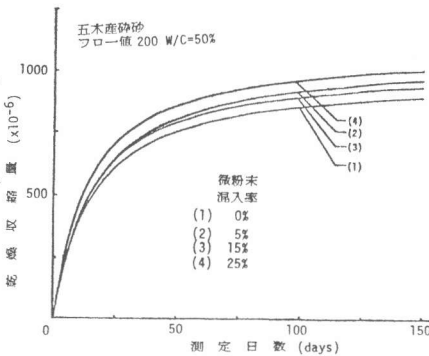


図-23 乾燥収縮量曲線

表-2 実験式で求めた各材令の収縮量

材令	W/C	微粉末混入率 (%)	実験式の定数		乾燥収縮量 (x10 ⁻⁵)			
			a	b	f ₇	f ₂₈	f ₉₁	f _∞
40	50	0	0.0149	0.000886	331	705	952	1129
		5	0.0156	0.001015	308	636	843	985
		15	0.0126	0.000936	365	721	931	1068
		25	0.0108	0.000774	431	861	1120	1292
50	67	0	0.0154	0.000964	315	660	882	1037
		5	0.0227	0.001148	228	511	716	871
		15	0.0170	0.001116	282	580	767	896
		25	0.0138	0.000895	350	721	956	1117
67	91	0	0.0203	0.001322	237	498	647	756
		5	0.0174	0.001392	250	497	632	718
		15	0.0136	0.001305	308	559	689	768
		25	0.0128	0.001251	325	586	719	799
91	108	0	0.0154	0.000858	327	710	974	1166
		5	0.0189	0.000952	274	615	862	1050
		15	0.0154	0.000912	322	684	925	1096
		25	0.0116	0.000827	403	806	1048	1209
108	131	0	0.0157	0.001019	307	633	839	981
		5	0.0156	0.000934	316	670	905	1071
		15	0.0150	0.000970	322	665	881	1031
		25	0.0128	0.000913	365	730	949	1095
131	164	0	0.0188	0.001217	256	530	703	822
		5	0.0200	0.000925	265	611	874	1081
		15	0.0143	0.001060	322	637	822	943
		25	0.0135	0.000992	342	678	877	1008

表-3 p, q, r および相関係数 R

骨材の種類	p	q	r	R	
海砂	7	0.583	0.188	0.161	0.883
砕砂	28	0.956	0.533	0.129	0.859
	91	1.103	0.806	0.029	0.010
砕砂	7	0.669	0.136	0.201	0.944
	28	1.438	0.301	0.255	0.946
	91	1.970	0.413	0.195	0.921