

正会員 石川達夫 (佐賀大学 理工学部)

1. ま え が き

コンクリート用細骨材の天然砂については、川砂、山砂の払底にともない、海浜砂、海底砂などのいわゆる海砂が用いられてきているが、海砂は比重、吸水量、粒度、形状は川砂、山砂と同じであるが、海から採取されるということのため塩分を含有し、貝がらを混入している。実際に使用されている海砂の塩分含有量は、細骨材の絶乾重量に対して0.02~0.3%(NaClとして)の範囲にある。塩分含有の問題はコンクリート中の鉄筋の発錆を促進するという重要なことだけに、長期の観察と調査とを必要とする。地下鉄工事のコンクリートでは、それに加えて電蝕の問題もあり塩分を含有する海砂の使用を避けたいようである。

いずれは砕砂も碎石と同様一般用コンクリート工事に骨材として用いられてくるであろうが、ここでは砕砂を用いたコンクリートの性質を知るため行なった実験とそれらの結果を検討したことについて述べる。

2. 砕砂を用いたモルタルの実験

2-1. 使用材料

セメント：普通ポルトランドセメント

細骨材：天然砂 海底砂；砕砂 人工砕砂（緑色片岩）

混和剤：減水剤 AおよびB

細骨材の粒度は、細粗粒が適当に混ざり合っているものが、粒度が片よっているものよりも良い品質のコンクリートを経済的につくることになり、細骨材の望ましい粒度の範囲として土木学会コンクリート標準示方書に示されている。

本実験では天然砂と砕砂とを用いたモルタルの性質を比較するため、天然砂の粒度と砕砂の粒度とを合わせることにした。ここに用いた砕砂はとくにこの実験用としてボールミルで破碎したもので5~2.5mm、2.5mm以下の2種類にふるい分けをしたものである。

細骨材の物理試験結果を表-1に示す。この試験結果において、砕砂の比重と吸水量が同じ原石から破碎したのに粒度が5~2.5mmのものと2.5mm以下のものとで異なっている。これは表面乾燥飽水状態をフローコーンより求めているからであり、砕砂の場合角ばっているためスランプしにくい傾向があり、また砕砂に付着している岩石微粉末の影響もあると考えられる。天然砂と砕砂の粒度をなるべく一致させるため、砕砂の5~2.5mmと2.5mm以下を重量比で9:1で混合して用いることにした。以下砕砂とはこの混合砕砂のことを指し、この砕砂の粗粒率は2.80である。これらの粒度を図-1に示す。

2-2. モルタルの配合および強度試験結果

天然砂と砕砂とを用いた場合のモルタルの性質の相異を調べるために、同一配合で細骨材を天然砂と砕砂との2種類に変えることにした。配合はセメント砂比、水セメント比、減水剤の種類および添加量を変化させてある。モルタル供試体はセメント強さ試験用の4×4×16cmである。配合を表-2に示す。モルタルの練り混ぜは手練りで行ない(2分間空練り、注水後3分間練り混ぜ)、フロー値を測定し、型枠に詰めた。フロー試験の結果を表-3~6に示す。モルタルの曲げ強度試験結果と圧縮強度試験結果を表-7~10に示す。

表-1 細骨材の物理試験結果

種 類	比 重	吸 水 量 (%)	単 位 容 積 重 量 (kg/l)	実 績 率 (%)	粗 粒 率
天然砂 海底砂	2.57	1.11	1.57	61.1	2.79
砕砂 5~2.5mm	2.65	2.02	1.49	56.2	4.37
砕砂 2.5mm以下	2.76	1.84	1.62	58.7	2.64

2-3. 考察

水セメント比一定の場合、砕砂モルタルは天然砂モルタルよりも曲げ強度、圧縮強度とも大きく上廻っている。砕砂は角ばっていたり、細長かったり、扁平であったりしてお互いのカムアイが良いが、このためモルタルのワーカビリティは低下してくるし、破碎時に付着する微粉末もまたワーカビリティの低下につながる。ここでは実験はモルタルで行なったので、ワーカビリティはフロー値で検討した。

検討する項目として

- (I) 同一圧縮強度をうるためのフロー値
- (II) 同一曲げ強度をうるためのフロー値
- (III) 同一フロー値における曲げ強度および圧縮強度

を取り上げる。

(I) 同一圧縮強度の値として C:S=1:2 で 360Kg/cm², C:S=1:3 で 320Kg/cm² と決め表-4~10 をグラフ化したものから拾い上げて表-11 に示す。

(II) 同一曲げ強度の値として C:S=1:2 で 78Kg/cm², C:S=1:3 で 72Kg/cm² と決め表-4~10 をグラフ化したものから拾い上げて表-12 に示す。

(III) 同一フロー値として C:S=1:2 で 260mm, C:S=1:3 で 220mm と決め、表-3~10 をグラフ化したものから拾い上げて表-13 に示す。このフロー値に対する強度がグラフ上にない場合は、延長して推定した値を採用した。

これらの結果をまとめてみると

- 1) 砕砂モルタルと天然砂モルタルとでは、同一配合のもとで、後者の方が前者よりもフロー値で 20~40mm (10~20%) 大きい。これは砕砂の形状微粉末の付着などの影響と思われる。
- 2) 同一配合のもとで砕砂モルタルと天然砂モルタルとでは、28日曲げ強度で 15~30%, 28日圧縮強度で 20~30% 前者の方が大きい。これは砕砂の形状からくるカムアイの良さの影響と思われる。
- 3) 同一フロー値をうるためには、同一配合で砕砂モルタルに減水剤を使用するか、または砕砂モルタルに水を 10~15% 増やせばよい。どちらの場合も強度は砕砂モルタルの方が大きくなる。

表-2 モルタルの配合表

セメント砂比 C:S	水セメント比 W/C (%)	1型枠中の量 (g)			減水剤
		セメント(C)	水(W)	砂(S)	
1:1	50	1000	500	1000	A C×0.25%
	65	520	338	1040	なし
	60	520	212	1040	A C×0.25%
	55	520	286	1040	B C×0.25%
	50	520	260	1040	B C×0.75%
1:2	65	500	325	1500	なし
	60	500	300	1500	A C×0.25%
	55	500	275	1500	B C×1.5%
	50	500	250	1500	B C×3%
	65	400	400	260	1600
1:4	65	400	260	1600	A C×0.25%
					B C×1.5%
					B C×3%

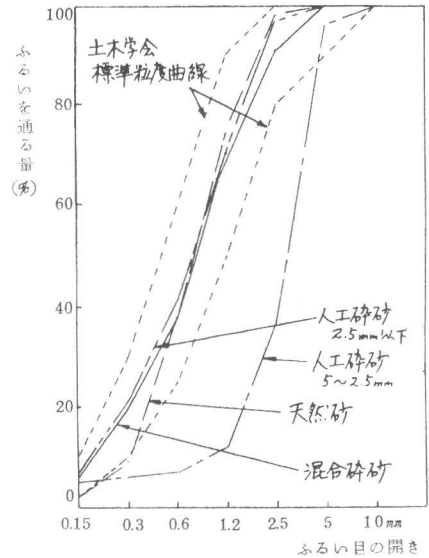


図-1 細骨材の粒度曲線

表-3 フロー試験結果

水セメント比 W/C (%)	セメント比 C:S=1:1		減水剤
	天然砂	砕砂	
50	測定不能	測定不能	A C×0.25%

表-4 フロー試験結果

水セメント比 W/C (%)	セメント砂比 C:S=1:2		減水剤
	天然砂	砕砂	
65	289	261	なし
60	279	244	
55	272	232	
50	248	210	
65	288	270	A C×0.25%
60	286	261	
55	274	236	
50	267	226	
65	285	267	B C×0.25%
60	285	254	
55	269	234	
50	248	216	
65	291	273	B C×0.5%
60	290	266	
55	282	253	
50	256	226	
65	298	275	B C×0.75%
60	290	264	
55	287	245	
50	260	217	
65	298	289	B C×0.5%
60	296	287	
55	298	268	
50	295	242	

表-5 フロー試験結果

水セメント比 W/C (%)	セメント砂比 C:S=1:3		減水剤
	天然砂	砕砂	
65	217	198	なし
60	196	164	
55	161	134	
50	132	112	
65	232	215	A C×0.25%
60	200	190	
55	171	154	
50	147	125	
65	241	211	B C×1.5%
60	218	180	
55	187	144	
50	156	123	
65	214	220	B C×3%
60	194	197	
55	167	157	
50	134	137	

表-6 フロー試験結果

水セメント比 W/C (%)	セメント砂比 C:S=1:4		減水剤
	天然砂	砕砂	
65	122	117	なし
65	152	125	A C×0.25%
65	148	119	B C×1.5%
65	139	122	B C×3%

表-7 曲げ強度および圧縮強度試験結果 (W/C=50%)

セメント 砂 比 C:S	天 然 砂						砕 砂						減 水 剤
	曲げ強度 (kg/cm ²)			圧縮強度 (kg/cm ²)			曲げ強度 (kg/cm ²)			圧縮強度 (kg/cm ²)			
	3日	7日	28日	3日	7日	28日	3日	7日	28日	3日	7日	28日	
1:1	37.8	63.6	75.8	100	176	359	37.2	53.2	80.0	112	207	391	A C×0.25% B C×0.25% B C×0.5% B C×0.75% B C×1.5%
1:2	40.7 46.8 42.4 43.8 40.9 44.2	59.0 63.0 60.3 54.4 59.2 60.0	85.4 76.5 82.1 79.7 76.2 77.9	130 166 144 137 141 182	214 248 222 203 216 288	368 370 382 348 354 353	39.6 42.8 39.3 41.5 39.4 44.8	65.9 67.6 62.6 64.6 66.6 64.3	85.1 90.1 89.9 88.2 93.9 81.6	152 163 157 174 166 189	298 261 284 314 302 332	457 469 458 477 458 447	A C×0.25% B C×0.25% B C×0.5% B C×0.75% B C×1.5%
1:3	35.4 46.5 35.4 45.6	52.1 58.5 47.5 61.8	67.9 74.5 66.1 76.1	124 172 135 237	175 254 217 386	306 376 350 407	38.4 45.2 38.1 46.1	61.6 61.4 62.8 63.9	74.5 91.6 89.1 86.4	140 158 158 203	204 246 247 308	338 411 422 447	A C×0.25% B C×0.25% B C×0.5% B C×3%

表-8 曲げ強度および圧縮強度試験結果 (W/C=55%)

セメント 砂 比 C:S	天 然 砂						砕 砂						減 水 剤
	曲げ強度 (kg/cm ²)			圧縮強度 (kg/cm ²)			曲げ強度 (kg/cm ²)			圧縮強度 (kg/cm ²)			
	3日	7日	28日	3日	7日	28日	3日	7日	28日	3日	7日	28日	
1:2	35.6 40.9 38.4 35.0 35.9 44.6	53.0 55.2 53.1 55.9 52.0 64.8	75.8 78.8 79.8 74.8 74.8 88.4	103 120 107 108 117 192	182 199 176 170 174 282	328 319 327 319 304 375	32.0 36.9 37.1 34.0 39.8 39.8	56.5 59.4 56.4 59.3 58.3 61.0	83.5 85.1 83.9 85.8 82.6 92.8	115 131 133 126 147	252 241 255 248 284 261	448 404 451 451 420 399	A C×0.25% B C×0.25% B C×0.5% B C×0.75% B C×1.5%
1:3	32.2 42.3 38.2 39.9	50.1 54.9 47.2 52.6	64.9 72.9 68.0 67.9	118 156 118 181	170 225 187 247	292 338 300 330	33.4 38.0 36.0 40.9	53.9 53.5 56.5 62.8	83.3 76.0 91.9 84.7	114 124 127 163	187 190 221 268	344 352 390 402	A C×0.25% B C×0.25% B C×0.5% B C×3%

表-9 曲げ強度および圧縮強度試験結果 (W/C=60%)

セメント 砂 比 C:S	天 然 砂						砕 砂						減 水 剤
	曲げ強度 (kg/cm ²)			圧縮強度 (kg/cm ²)			曲げ強度 (kg/cm ²)			圧縮強度 (kg/cm ²)			
	3日	7日	28日	3日	7日	28日	3日	7日	28日	3日	7日	28日	
1:2	38.8 42.2 31.8 32.8 27.4 31.0	46.8 54.6 47.4 46.8 43.0 52.3	67.7 72.5 75.8 70.0 70.0 64.8	87 133 95 93 94 127	162 194 160 145 147 194	308 351 322 261 304 276	29.1 33.5 31.5 33.2 30.5 34.7	50.0 57.0 52.0 54.2 53.5 57.9	80.1 87.7 83.3 89.4 82.0 86.9	92 109 106 108 99 120	210 207 202 201 211 219	388 368 420 412 381 356	A C×0.25% B C×0.25% B C×0.5% B C×0.75% B C×1.5%
1:3	27.8 39.1 28.5 35.5	42.7 52.5 42.2 49.1	64.2 72.1 60.6 63.9	95 118 105 142	139 194 169 216	273 320 274 294	28.6 28.0 31.2 37.0	49.5 47.6 49.2 54.7	79.2 67.1 82.9 76.7	88 91 95 137	156 147 177 228	312 292 338 360	A C×0.25% B C×0.25% B C×0.5% B C×3%

表-10 曲げ強度および圧縮強度試験結果 (W/C=65%)

セメント 砂 比 C:S	天 然 砂						砕 砂						減 水 剤
	曲げ強度 (kg/cm ²)			圧縮強度 (kg/cm ²)			曲げ強度 (kg/cm ²)			圧縮強度 (kg/cm ²)			
	3日	7日	28日	3日	7日	28日	3日	7日	28日	3日	7日	28日	
1:2	27.2 30.3 28.7 28.0 26.1 25.2	44.7 49.0 42.6 43.9 40.6 39.6	66.0 64.0 70.0 67.1 63.8 57.6	88 97 87 88 78 101	132 160 138 147 141 153	280 298 285 290 260 242	25.0 27.3 27.6 27.6 27.1 26.3	44.6 45.2 45.4 48.0 45.8 46.6	77.7 81.6 79.7 76.9 74.2 76.3	73 82 82 88 81 94	176 167 175 161 163 187	358 354 373 362 324 316	A C×0.25% B C×0.25% B C×0.5% B C×0.75% B C×1.5%
1:3	27.3 31.6 24.9 32.9	40.8 48.0 36.5 42.8	60.3 62.1 50.5 63.1	86 94 83 126	131 162 138 184	257 302 248 291	27.0 21.9 26.7 31.4	41.4 39.6 43.5 46.8	73.7 60.6 76.9 71.5	77 71 82 113	130 130 150 192	304 309 307 324	A C×0.25% B C×0.25% B C×0.5% B C×3%
1:4	21.5 25.2 24.2 25.5	32.5 37.8 31.5 32.0	46.3 58.6 46.4 46.8	84 89 85 98	122 144 131 144	182 235 196 197	21.0 27.1 26.5 27.6	37.2 41.6 39.0 41.1	59.9 64.4 61.8 64.3	74 86 86 96	121 146 139 160	228 268 248 273	A C×0.25% B C×0.25% B C×0.5% B C×3%

表-11 同一圧縮度をうるためのフロー値

セメント 砂 比 (kg/cm ²)	同一圧縮 強 (kg/cm ²)	フロー値 (mm)		減 水 剤
		天然砂	砕 砂	
1:2	360	249	260	なし
		269	266	A C×0.25%
		257	270	B C×0.25%
		240	274	B C×0.5%
		256	268	B C×0.75%
297	285	B C×1.5%		
1:3	320	104	155	なし
		200	173	A C×0.25%
		175	194	B C×1.5%
		175	224	B C×3%

表-12 同一曲げ強度をうるためのフロー値

セメント 砂 比 C:S	同一圧縮 強 (kg/cm ²)	フロー値 (mm)		減 水 剤
		天然砂	砕 砂	
1:2	78	266	259	なし
		262	272	A C×0.25%
		276	270	B C×0.25%
		264	273	B C×0.5%
		220	270	B C×0.75%
		297	289	B C×1.5%
1:3	72	102	206	なし
		201	170	A C×0.25%
		154	234	B C×1.5%
		151	218	B C×3%

表-13 同一フロー値における圧縮強度および曲げ強度

セメント水比 C:S	同一フロー値 (mm)	強 度 (kg/cm ²)				減 水 剤
		天 然 砂		砕 砂		
		曲 げ	圧 縮	曲 げ	圧 縮	
1:2	260	79.8	345	77.9	360	なし A C×0.25% B C×0.25% B C×0.5% B C×0.75% B C×1.5%
		78.0	380	87.6	370	
		80.6	353	81.8	400	
		79.0	344	92.2	430	
		76.2	354	83.6	390	
89.2		89.2	415			
1:1	220	60.0	255	70.0	295	なし A C×0.25% B C×1.5% B C×3%
		66.0	309	59.0	245	
		58.0	268	75.0	295	
		63.0	290	71.5	327	

表-14 コンクリートの配合

配合	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					備考
					セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G	減水剤	
1	20	10.6	5.4	35	318	172	666	1,253	A C×0.25%	砕砂
2	20	10.0	5.4	38	318	172	723	1,194	A	
3	20	8.2	5.4	40	318	172	761	1,155	A	
4	20	8.0	5.4	42	318	172	799	1,117	A	
5	20	1.8	5.4	45	318	172	855	1,061	A	
I	20	16.0	5.4	35	318	172	614	1,253	A C×0.25%	天然砂
II	20	13.8	5.4	38	318	172	667	1,194	A	
III	20	12.0	5.4	40	318	172	702	1,155	A	
IV	20	9.2	5.4	42	318	172	737	1,117	A	
V	20	7.0	5.4	45	318	172	789	1,061	A	

4) 強度を同一にする条件なら、天然砂モルタルの配合より砕砂モルタルは貧配合にできる。

5) 同一フロー値に対する減水剤の効果は、曲げ強度よりも圧縮強縮に大きく表われて10~30%増となっている。減水剤AよりはBの方が減水効果は大でありBを一番多く用いたセメント量の3%の場合とくに強度増進が大きい。

3. 砕砂を用いたコンクリートの実験

3-1. 使用材料

粗骨材：砕石 2-1の砕砂と同じ母岩から採取

最大寸法 20mm, 比重 2.86

吸水量 0.86%, 粗粒率 6.79

単位容積重量 1.6kg/l

これ以外は2-1と同じである。

用意した砕砂の量に制限があり、砕砂コンクリートとして多くの実験を行なうことはできなかった。

3-2. コンクリートの配合および強度試験結果

細骨材率 s/a のワーカビリティへの影響をみるために単位セメント量、単位水量を一定にし、s/a を 35, 38, 40, 42, 45% と変化させて砕砂と天然砂の場合についてスランブ試験を行ない、そのうち s/a = 35, 40, 45% については φ10×20cm 円柱供試体で強度試験を行なった。この配合を表-14に、細骨材率とスランブの関係を図-2に、強度試験結果を表-15に示す。

次にスランブを 8cm 一定とし、細骨材率を 45%、単位セメント量を 270, 318, 350kg と変え、また減水剤をそれぞれ2種類用いた6配合の強度試験結果の平均値を表-16に示す。

3-3. 考察

1) 細骨材率 s/a の1%の増加に対しスランブ低下は天然砂コンクリートも砕砂コンクリートも同じく1cm程度であるが、同一配合条件で両コンクリートのスランブの差は2~5cmである。

2) 細骨材率 s/a の変化による強度差はあまりみられないが、同一配合条件で砕砂コンクリートが15~35%の強度増加となっている。

3) 単位セメント量 318kg/m³、細骨材率 s/a = 45%、スランブ 8cm を狙った単位水量は、天然砂コンクリートで 172kg/m³ であり、砕砂コンクリートでは 15kg/m³ 増の 187kg/m³ であった。

4) スランブを一定にすると砕砂コンクリートは単位水量が増えるため圧縮強度は材令とともに天然砂コンクリートより低下してくるが、引張強度は骨材のカミアイが良いためか、圧縮強度ほどの低下はみられない。

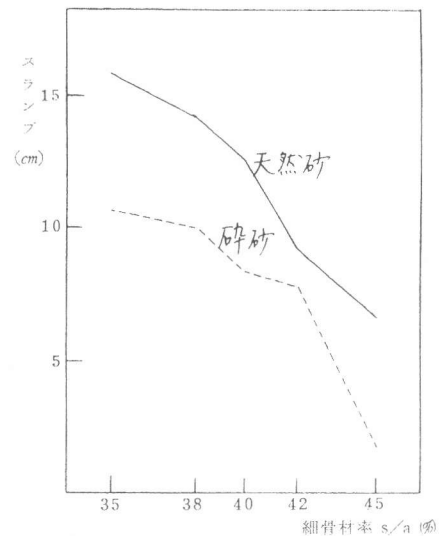


図-2 細骨材率とスランブとの関係

表-15 コンクリート強度試験結果

配合	圧縮強度 (kg/cm ²)			引張強度 (kg/cm ²)			備考
	3日	7日	28日	3日	7日	28日	
1	65	127	251	—	—	—	砕砂
3	72	131	257	10.9	19.6	30.3	
5	104	157	278	13.5	21.6	30.3	
I	51	112	216	—	—	—	天然砂
III	55	113	218	9.5	18.4	26.9	
V	73	139	204	12.7	20.0	26.7	

表-16 スランブ 8cm とした強度試験結果 (6配合の平均値)

	圧縮強度 (kg/cm ²)			引張強度 (kg/cm ²)		
	3日	7日	28日	3日	7日	28日
天然砂	111	197	290	12.4	19.9	34.7
砕砂	118	178	252	14.2	20.5	34.0