

報告 砕石粉の品質評価試験方法ならびに品質規準に関する検討

大橋正治*1・寺田早苗*2・関口賢二*3・田村 博*4

要旨：砕石粉の品質評価値として、SE(砂当量：3 μ m以下の微粒分量と関係する)ならびにMB(メチレンブルー吸着量：比表面積と関係する)が有効である。また、砕石粉をコンクリート用混和材として用いる場合、SE：65以上あるいはMB：10mg/g以下であれば、コンクリートに悪影響を及ぼさないことを確認した。さらに、コンクリートの配合設計の際に必要な、骨材の吸水率に対応する、砕石粉の“吸着水率”を提案した。

キーワード：砕石粉，砂当量，メチレンブルー吸着量，吸着水率。

1. はじめに

砕石・砕砂の製造過程で発生する乾燥状砕石粉(図-1参照)を、コンクリート用混和材として有効利用するための検討を続けている[1]。本報では、①砕石粉の品質評価方法として、砂当量ならびにメチレンブルー吸着量の品質規準についての検討結果を述べるとともに、②実際のコンクリートに使用する際に必要となる、砕石粉の“吸着水率”を提案する。

なお本報では、以下、砂当量を“SE”，メチレンブルー吸着量を“MB”と記述する。

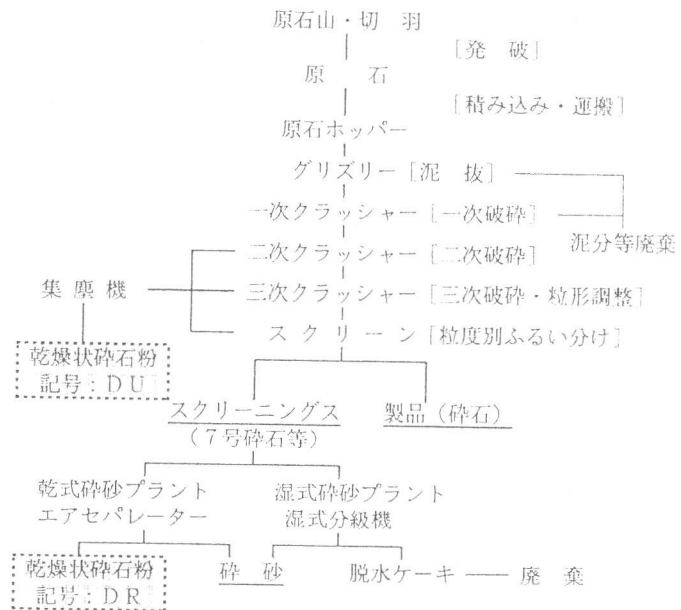


図-1 砕石粉生産工程の一例

2. SEおよびMBの品質規準の検討

2.1 試験に供した石粉および品質

試験には、合計24種類の石粉を用いた。その内訳は、近畿砕石協同組合傘下の11工場で産出された12種類の砕石粉、コンクリートに使用しても問題がないとされている石灰石粉、コンクリートに使用した場合に支障があると考えられる2種類の粘土粉(スメクタイトあるいはカオリン鉱物)および、石灰石粉あるいは砕石粉と粘土粉を混合した9種類の石粉とした。

石粉の種類および品質試験結果を表-1に示す。

なお、SEはSE試験試料中の3 μ m以下の微粒分量に、MBは試料の粒度分布から算出した比表面積にそれぞれ関係することを、石粉の試験結果から確認した(図-2および図-3参照)。

一方、フランスではコンクリート用細骨材に、SEとMBの品質規定(NF P 18-301)がある。同規定の砕砂に対する規準(SE：65以下あるいはMB：10mg/g以下であれば「使用可」)を、今回使用した石粉にあてはめた場合、石灰石粉と12種類の砕石粉のいずれもが「使用可」、2種類の粘土粉は「使用不可」と評価された(図-4参照)。

*1:(財)日本建築総合試験所 材料試験室主査(正会員)

*2:近畿砕石協同組合 技術委員長

*3:大阪兵庫生コンクリート工業組合 常務理事 技術委員長

*4:(財)日本建築総合試験所 材料試験室室長、工博(正会員)

表-1 石粉の種類および品質試験結果

石粉の種類	岩質名	比重	比表面積 (ブレン) (cm ² /g)	砂当量	メチレンブルー 吸着量 (mg/g)	粒径 (μm) 通過率 : (%)													比表面積 (cm ² /g)		
						2500	1200	600	300	150	75	44	32	21	12	9	6	3		1	
砕石	DR-1	2.71	2210	73.2	3.7	—	—	—	100	95	76	46	37	28	20	17	15	12	7	4312	
	DR-3	2.63	1280	75.4	2.2	—	100	96	85	68	50	3	2	2	1	1	1	1	1	717	
	DR-4	2.61	1540	59.4	6.2	100	99	98	95	86	70	33	29	23	19	17	16	13	11	5834	
	DU-4	2.70	5050	71.9	5.1	—	—	—	100	97	92	85	70	55	46	40	27	17	10070		
	DU-5	2.74	3160	77.1	4.8	—	—	—	100	98	91	76	65	50	38	34	27	19	13	7445	
	DU-6	2.73	2710	76.8	3.9	—	—	—	100	97	94	78	57	40	34	29	21	13	7766		
	DU-7	2.70	4640	79.5	1.6	—	—	—	100	99	95	90	78	64	46	39	31	21	13	8003	
	DU-8	2.73	2170	75.9	2.0	—	—	—	100	98	91	75	49	44	35	26	22	19	14	5610	
	DU-11	2.62	5340	64.9	9.8	—	—	—	—	100	99	95	90	76	65	54	33	20	12559		
	DU-13	2.66	4210	76.4	5.9	—	—	—	100	99	94	84	76	61	45	38	32	22	13	8155	
	DU-14	2.76	4020	84.0	2.5	—	—	—	100	99	96	90	82	68	50	34	23	16	14	7719	
	DU-19	2.64	1660	71.1	3.8	83	65	49	47	45	37	19	16	13	10	9	8	6	5	2720	
	FL-1 (石灰石粉)	石灰岩	2.71	5350	80.0	0.1	—	—	100	98	86	74	36	33	30	26	22	18	8	5	3515
	比較用石粉	Fc-1 (粘土粉)	2.46	4690	50.0	42.8	—	—	—	100	96	95	93	88	76	70	63	46	31	18489	
		FL-1+Fc-1 (12.5%)	2.68	5340	73.3	5.4	—	—	100	98	89	77	46	43	40	34	30	25	18	11	6567
		FL-1+Fc-1 (25%)	2.65	5360	66.8	10.9	—	—	100	99	91	79	53	51	48	41	37	31	22	14	8231
		FL-1+Fc-1 (50%)	2.56	5040	54.3	21.6	—	—	100	99	96	85	68	66	62	54	50	42	28	20	11636
		Fc-2 (カリシ鉱物)	2.59	3340	29.5	14.2	100	98	80	75	70	64	42	40	39	34	32	29	25	20	10390
		FL-1+Fc-2 (12.5%)	2.70	5190	74.6	1.7	—	—	100	98	96	84	72	37	35	33	28	24	21	15	9
FL-1+Fc-2 (25%)		2.68	4980	67.8	4.1	—	—	100	96	93	82	71	39	37	34	29	26	22	17	12	6626
DR-4+Fc-1 (25%)	2.65	4730	47.8	7.8	100	99	91	88	78	69	41	39	36	31	28	25	19	14	7607		
DR-4+Fc-1 (25%)	2.57	2360	53.1	14.7	100	99	99	97	92	76	49	45	41	35	31	26	20	16	8784		
DU-11+Fc-1 (25%)	2.58	5130	58.0	17.5	—	—	—	—	100	99	98	94	90	78	68	58	38	26	15288		
DU-13+Fc-1 (25%)	2.61	4370	65.0	14.6	—	—	—	—	100	99	94	87	79	67	54	47	40	31	19	11314	

註)

1. 比重および比表面積 (ブレン) は、JIS R 5201 セメントの物理試験方法に準拠して求めた。
2. 砂当量試験は、洗い試験によって失われる量 (75μm以下の微粒分量) が7%となるよう、砕石粉と珪砂 (5mm~75μm) を混合したものを試験用試料とし、JIS A 1801 コンクリート生産工程管理用試験方法 (コンクリート用細骨材の砂当量試験方法) に準拠して求めた。
3. メチレンブルー吸着量試験は、濃度250ppmのメチレンブルー溶液を用い、吸着時間を5分とし、CAUS 1-61 フライアッシュのメチレンブルー吸着量試験方法に準拠して求めた。
4. 粒径通過率は、JIS A 1204 土の粒度試験方法に準拠した。また、各粒度区分毎に平均等価半径をもつ球形粒子群と仮定して、砕石粉の比表面積を算出した。

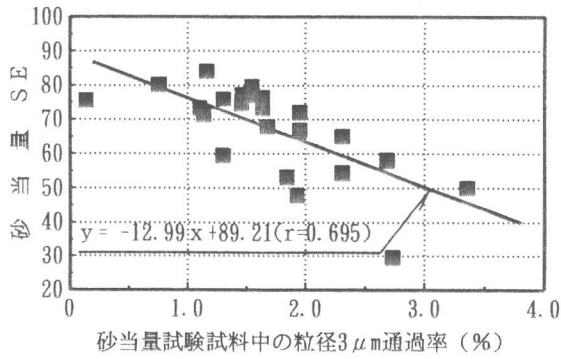


図-2 砂当量試験試料中の微粒分量 (3 μm以下)と砂等量の関係

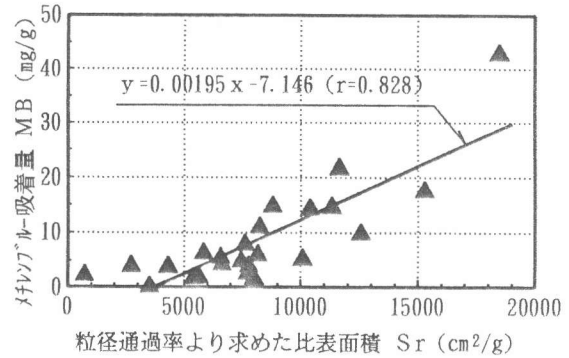


図-3 粒形通過率から求めた比表面積とメチレンブルー吸着量の関係

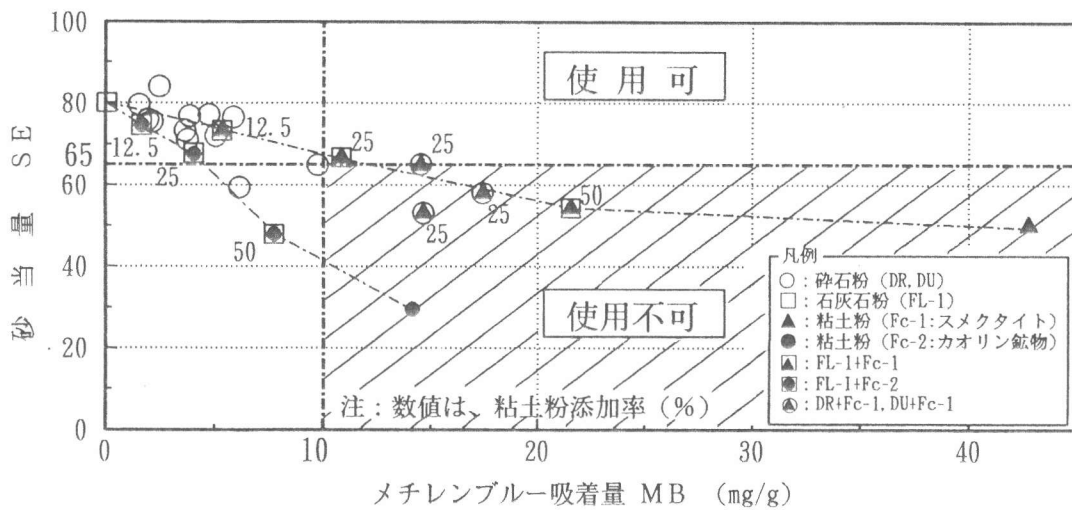


図-4 砂当量とメチレンブルー吸着量による砕石粉の評価

2.2 試験概要

砕石粉の有効利用法として、①単位水量を低減した高減水コンクリートで、呼び強度210(水セメント比:60%)程度の、比較的細粒分が少なく分離しやすいコンクリートの、分離抵抗性を向上する目的に砕石粉を少量使用する、②高流動コンクリートに比較的少量の砕石粉を使用する、という二通りを想定し、それぞれの場合に対応するモルタルとコンクリートを練り混ぜ、圧縮強度試験(JIS A 1108)および乾燥収縮試験(JIS A 1129)を行った。

モルタルおよびコンクリートの使用材料を表-2、配合を表-3にそれぞれ示す。

2.3 試験結果

モルタルおよびコンクリートの試験結果を表-4に示す。また、石灰石粉を用いた場合に対する比率とSEあるいはMBの関係を図-5に示す。

同図より、石粉が“SE:65以上あるいはMB:10mg/g以下”を満足しない場合に、それらを使用した高減水配合あるいは高流動配合のモルタルまたはコンクリートの一部に、①同一スランプ(あるいはスランプフロー)を得るために必要な混和剤使用量の比が増大する。②圧縮強度比が低下する。③長さ変化比が過大となる(ただし、コンクリートについては乾燥期間3ヵ月までの試験結果であり、現在試験継続中)。というような悪影響が確認された。

表-2 使用材料

セメント	C	3製造社の普通ポルトランドセメントを等量ずつ混合
水	W	上水道水
細骨材	S ₁	珪砂：絶乾比重:2.59, 吸水率:0.77%, FM:2.69
	S ₂	海砂：岡山県日比産, 絶乾比重:2.54, 吸水率:1.48%, FM:2.37
	S ₃	山砂：静岡県小笠産, 絶乾比重:2.58, 吸水率:1.67%, FM:2.95
粗骨材	G ₁	碎石(2005)：大阪府長尾山産, 絶乾比重:2.69, 吸水率:1.48%, FM:6.84
	G ₂	碎石(2005)：兵庫県宝塚産, 絶乾比重:2.62, 吸水率:0.76%, FM:6.70
混和剤	A ₁	高性能AE減水剤：ポリカルボン酸系
	A ₂	高性能減水剤：ナフタリンスルホン酸系

表-3 モルタルおよびコンクリートの配合

種類	スランブ あるいは スランブフロー (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	水粉体 量比 W/(C+F) (%)	細骨材率 S/a (%)	使用量*1 (kg)						混和剤 [C+F]×%			
						水 W	セメント C	碎石粉 F	細骨材			碎石		A ₁	A ₂
高減水 コンクリート 配合	モルタル	—	60	52.6	—	180	300	42*3	805	—	—	—	—	—	
	コンクリート	18±1				4.5±1	52.3*4	47.5*2	—	—	44*4	—	791	—	975
高流動 コンクリート 配合	モルタル	—	50	32.0	—	170	340	191	—	—	*5 755	—	—	—	1
	コンクリート	65±5				4.5±1	—	47.6*5	—	—	—	—	—	—	—

- 注) *1: モルタルの場合は質量割合を、コンクリートの場合は単位量 (1m³あたりの質量) を表す。
 *2: 高減水コンクリートの場合、碎石粉を細骨材の一部を考慮して、細骨材率を算出した。
 *3: 碎石粉を細骨材の一部として考えた場合、洗い試験によって失われる量が5% (生コンJIS規定値の上限) となるように設定 (ただし、碎石粉の比重:2.7, 粒径75μm通過質量百分率:100%と仮定)。
 *4: 碎石粉を細骨材の一部として考えた場合、洗い試験によって失われる量が5%となるように (ただし、碎石粉の比重:2.7, 粒径75μm通過質量百分率:90%と仮定)、使用する碎石粉の容積を一定 (16.2ℓ/m³) としたため、碎石粉の種類によっては値が異なる。
 *5: 碎石粉の種類によっては値が異なる。
 *6: 目標とするスランブあるいはスランブフローが得られるように使用量を調整したため、碎石粉の種類によっては値が異なる。

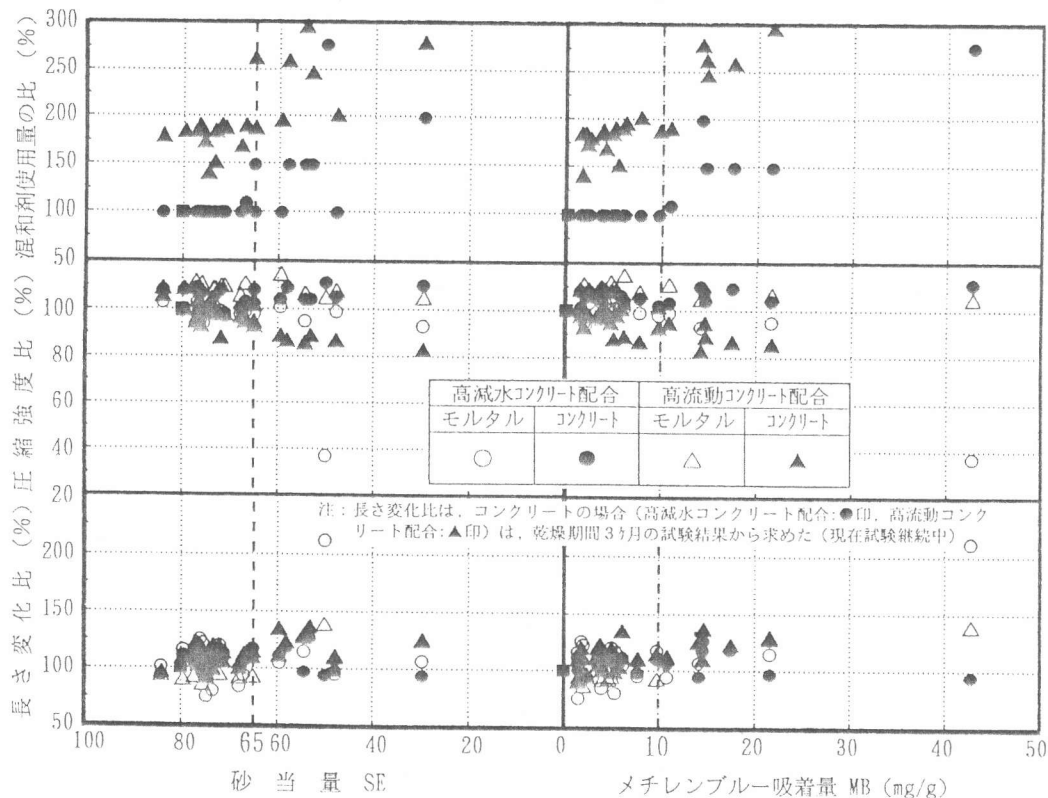


図-5 石灰石粉 (FL-1) を使用した場合に対する比率と砂当量ならびにメチレンブルー吸着量の関係

表-4 モルタルおよびコンクリートの試験結果

コンクリートあるいはモルタルに使用した石粉の種類	混和剤の使用量 (kg/m ³)		圧縮強度 (材齢:28日, kgf/cm ²)				乾燥収縮率 (×10 ⁻⁴) (乾燥期間:モルタル:6ヶ月, コンクリート:3ヶ月*)			
	高減水 コンクリート	高流動 コンクリート	高減水配合 モルタル	高減水 コンクリート	高流動配合 モルタル	高流動 コンクリート	高減水配合 モルタル	高減水 コンクリート	高流動配合 モルタル	高流動 コンクリート
砕石	DR-1 硬質砂岩	3.44 (100)	17.53 (183)	565 (98)	316 (105)	410 (108)	16.77 (107)	7.24 (110)	12.31 (112)	8.37 (118)
	DR-3 硬質砂岩	3.42 (100)	16.47 (172)	540 (94)	293 (98)	398 (105)	19.12 (122)	6.27 (95)	9.19 (84)	7.77 (109)
	DR-4 硬質砂岩	3.42 (100)	18.59 (194)	583 (101)	312 (104)	433 (114)	16.54 (105)	7.30 (111)	12.08 (110)	9.44 (133)
	DU-4 硬質砂岩	3.44 (100)	18.06 (189)	571 (99)	325 (108)	411 (109)	18.85 (120)	7.28 (111)	10.27 (93)	8.31 (117)
	DU-5 硬質砂岩	3.44 (100)	17.53 (183)	577 (100)	324 (108)	418 (111)	17.88 (114)	7.16 (109)	10.00 (91)	8.06 (113)
	DU-6 硬質砂岩	3.44 (100)	17.53 (183)	594 (103)	327 (109)	410 (108)	17.88 (114)	6.84 (104)	11.42 (104)	8.62 (121)
	DU-7 硬質砂岩	3.44 (100)	17.53 (183)	576 (100)	322 (108)	408 (108)	18.27 (116)	7.30 (111)	9.65 (88)	7.65 (108)
	DU-8 硬質砂岩	3.44 (100)	17.53 (183)	545 (95)	320 (107)	415 (110)	19.62 (125)	7.10 (108)	12.04 (109)	8.39 (118)
粉	DU-11 流紋岩	3.42 (100)	17.80 (186)	566 (98)	306 (102)	384 (101)	18.42 (117)	7.24 (110)	10.00 (91)	8.02 (113)
	DU-13 石英斑岩	3.43 (100)	18.06 (189)	581 (101)	319 (106)	388 (103)	17.12 (109)	7.03 (107)	12.58 (114)	7.21 (101)
	DU-14 硬質砂岩	3.45 (100)	17.00 (178)	591 (103)	323 (108)	407 (108)	15.92 (101)	6.17 (94)	10.08 (92)	6.77 (95)
	DU-19 流紋岩	3.43 (100)	17.80 (186)	558 (97)	293 (98)	411 (109)	17.15 (109)	7.44 (113)	12.31 (112)	7.37 (104)
	FL-1 (石灰石粉)	3.44 (100)	9.56 (100)	575 (100)	300 (100)	378 (100)	15.69 (100)	6.58 (100)	11.00 (100)	7.11 (100)
	Fc-1 (粘土粉)	9.51 (277)	**	214 (37)	334 (111)	392 (104)	33.04 (211)	6.17 (94)	15.08 (137)	**
	FL-1+Fc-1 (12.5%)	3.43 (100)	14.34 (150)	580 (101)	295 (98)	406 (108)	12.50 (80)	6.99 (106)	12.50 (114)	6.89 (97)
比較用石粉	FL-1+Fc-1 (25%)	3.77 (110)	18.06 (189)	569 (99)	309 (103)	416 (110)	14.81 (94)	6.99 (106)	12.23 (111)	7.78 (109)
	FL-1+Fc-1 (50%)	5.13 (149)	28.16 (295)	549 (95)	311 (104)	400 (106)	18.04 (115)	6.37 (97)	13.85 (126)	9.09 (128)
	Fc-2 (粘土粉)	6.84 (199)	26.56 (278)	532 (93)	330 (110)	393 (104)	16.85 (107)	6.21 (94)	13.69 (124)	8.71 (123)
	FL-1+Fc-2 (12.5%)	3.44 (100)	13.28 (139)	569 (99)	303 (101)	384 (101)	11.81 (75)	6.56 (100)	10.19 (93)	6.37 (90)
	FL-1+Fc-2 (25%)	3.43 (100)	15.94 (167)	567 (98)	301 (100)	397 (105)	13.15 (84)	6.61 (100)	9.88 (90)	6.98 (98)
	FL-1+Fc-2 (50%)	3.43 (100)	19.13 (200)	571 (99)	315 (105)	404 (107)	14.92 (95)	6.46 (98)	11.96 (109)	7.69 (108)
	DR-4+Fc-1 (25%)	5.12 (149)	23.38 (245)	—	312 (104)	—	—	8.26 (126)	—	9.60 (135)
粉	DU-11+Fc-1 (25%)	5.12 (149)	24.70 (258)	—	328 (109)	—	—	7.77 (118)	—	8.59 (121)
	DU-13+Fc-1 (25%)	5.13 (149)	24.97 (261)	—	325 (108)	—	—	7.71 (117)	—	7.68 (108)

註) 1. ()内の数値は、石灰石粉(FL-1)を用いた場合に対する比率(%)を示す。
 2. * : 現在試験継続中。
 3. ** : 今回の配合条件では、高流動コンクリートの練り混ぜができなかった。

3. 吸着水率の提案

3.1 吸着水率の考え方

砕石粉は、生産時の気象条件等により、多少の水分を含んだ状態で集められ、また、保存時にも水分の吸着状態が変化する。図-6に粉粒体(単一粒子)における水の存在状態を示した[2]。同図では、一定の状態(風乾状態)で保持する水分までを結合水としている。我々は、砕石粉を使用したコンクリートの有効水量を考える場合には、湿気飽和状態(RH:100%)で保持する水分までを砕石粉の結合水とするのが良いと考えた。すなわち、砕石粉が湿気飽和状態下で一定質量となった状態を、普通骨材という表面乾燥飽水状態と位置づけることとし、普通骨材の含水率に相当する、砕石粉の“吸着水率”を以下に提案する。

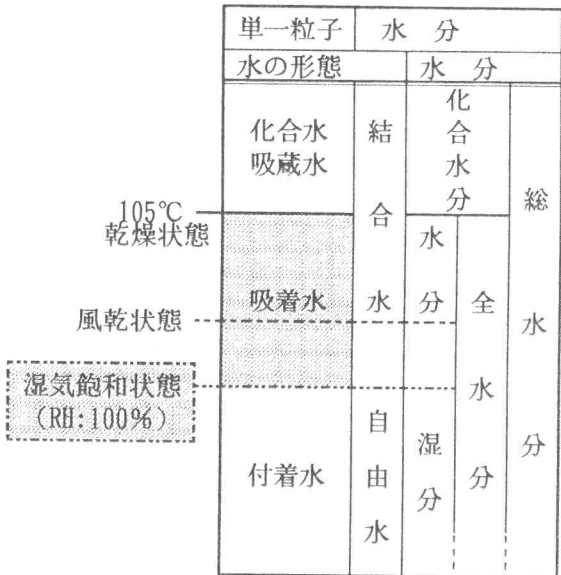


図-6 粉粒体(単一粒子)における水の形態

$$\text{吸着水率 (\%)} = \frac{\text{砕石粉を20°Cの湿気飽和状態で一定量となったときの質量} - \text{砕石粉を105°Cで乾燥させたときの質量}}{\text{砕石粉を105°Cで乾燥させたときの質量}} \times 100$$

3.2 吸着水率の測定方法および測定結果

石粉約100gを105°Cで乾燥して、質量測定の後、温度20±2°C、相対湿度95%以上の多湿状態で保持し、質量変化を測定した。

吸着水率は石粉の種類によって異なり、砕石粉は0.8~2.5%の範囲、石灰石粉は0.3%と小さな値、反対に粘土粉は8.2%(スメクタイト)および3.8%(カオリン鉱物)と大きな値を示した(図-7参照)。

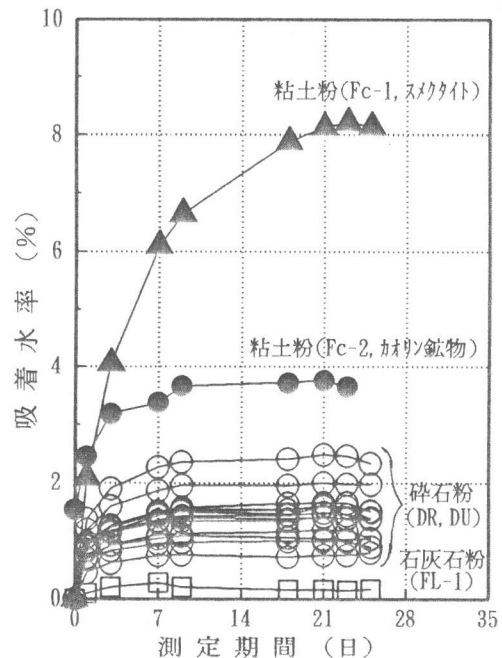


図-7 砕石粉の吸着水率試験結果

4. おわりに

今回の検討結果より、以下のようなことが明らかとなった。さらに検討を続けたい。

- ① 砕石粉の品質評価値として、SE(砂当量: 3μm以下の微粒分量と関係する)とMB(メチレンブルー吸着量: 比表面積と関係する)が有効である。
- ② 砕石粉に対する規定値として、フランスでの砕砂に対する規定値(NF P 18-301のSE:65以上あるいはMB: 10mg/g以下)が適用できる可能性が高い。
- ③ 実際に砕石粉を使用する場合、提案した吸着水率をもとに水量補正するのが良い。

<参考文献>

- 1) 大橋, 寺田, 関口, 和泉, 北山, 田村ほか: 砕石粉を用いた高強度高流動コンクリートに関する研究(その1~その6)、日本建築学会学術講演梗概集、pp.549-560、1994.9
- 2) 粉体工学学会編、粉体工学便覧、日刊工業新聞社、p.185、1986