

論文

[1006] 砕石粉のコンクリートへの有効利用に関する研究

正会員 ○田村 博 (日本建築総合試験所)

正会員 高橋利一 (日本建築総合試験所)

五十嵐千津雄 (日本建築総合試験所)

1. はじめに

骨材資源の枯渇に伴って、砕石・砕砂が活用されているが、それに伴って産出される砕石粉は有効利用されないばかりか、放置されて環境汚染の原因ともなっている。また、砕石粉の産出量も相当量に上り、近畿砕石協同組合の最近の調査結果によれば、大阪府近郊の砕石工場35工場では合計50万t/年にも達し、それら一工場当たりの平均砕石生産量63万t/年にはほぼ匹敵する量となっている。

我が国では、洗い試験を行い、細骨材中の微粉末量を規制している。泥分量が過大な骨材をコンクリートに使用すると、単位水量が増大する、乾燥収縮量が増大する、強度が低下する、プラスチックひびわれが生じ易いなどの悪影響がでるためである。しかし、洗い試験は有害な膨張性の粘土量だけを評価する方法ではなく、無害な石粉量も含んで評価してしまう。有害な粘土を評価する方法としては、粉末X線回折や示差熱分析等の岩石学的調査の他、砂当量試験やメチレンブルー法などがある。我が国でも、砂当量試験がASTM D 2419 を手本にして1989年、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）として標準化された。砂当量試験は細骨材に凝集剤溶液を加え、細骨材中に含まれる粘土質物質を分散、綿毛化させて分離沈降させ、粘土質物質層上面の読みに対する砂層上面の読みによって砂当量（SE値）を求めるものであり、洗い試験より簡便で迅速な試験方法であるとともに、細骨材に含まれる有害な微粉末量の指標を得ることが出来る、有効な試験方法である。

一方、海外の事情は次のとおりである。ドイツでは、砕石粉をコンクリート用混和材として規定するとともに、コンクリート中の最大許容微粉量（セメント量+砕石粉量+その他の混和材量）を規定しており、砕石粉を使い易い環境が出来上がっている。英国では、岩石を砕いて生産した砕砂の場合には、天然砂や天然砂利を砕いた細骨材の場合の5倍の微粉量を許容している（日本の規定の3倍を許容している）。これはおそらく、砕砂中の微粉末には、有害な粘土等の量が、他の細骨材に比べて少ないことを考慮したためと推測される。フランスでも、砂当量試験やメチレンブルー法を用いて微粉末中の泥分量を制御しながら、微粉末を有効に利用している。スペインでも、最近細骨材の微粉末に関する新しい規定を作るために実施した J.L.Ramirezらの研究があり、砂当量やメチレンブルー値は、細骨材中の微粉末量や粘土量をコンクリートに無害な範囲に制御するための、有効な指標であるとしている〔1〕。

我が国でも微粉末に関する研究は、山崎寛司氏の研究〔2〕の他数多く行われてきたが、微粉末をコンクリートに有効利用するまでには到っていないのが現状である。

本論文は、以上のような背景のもとに、当試験所が1989年より自主研究として取り組んでいる、砕石粉のコンクリートへの有効利用に関する研究の成果の一部を述べたものであり、山砂、砕砂および砕石粉を混合した細骨材の砂当量試験結果ならびに、砕石粉使用モルタルのアルカリ骨材反応性に関する実験から成っている。

2. 山砂、砕砂および砕石粉を混合した細骨材の砂当量試験結果

2.1 使用材料

山砂および砕砂は、生コンクリート工場のベルトコンベヤ上から採取した、各26試料計52試料を用いた。砕石粉には、砕石および砕砂の製造過程で発生したもの計11試料を用いた。

2.2 試験項目および試験方法

(1) 洗い試験：山砂と砕砂について、JIS A 1103 骨材の洗い試験によって行った。

(2) 砂当量試験：JIS A 1801によって行った。試験には、山砂、砕砂の他、洗い試験の操作によって微粉末を除去した山砂に砕石粉(110℃で定量となるまで乾燥させた後、74 μ mふるいを通過したもの)をそれぞれ7.0%混入したものを供した。試験に先立って、試料を48時間吸水させ、水がしたたり落ちない程度の表面水を含む程度に含水状態を調整した。

(3) 粒度分布の測定：同一産地の砕砂4試料の洗い試験の際に採取した74 μ mふるいを通過するもの、ならびに砕石粉2試料について、コールターカウンター法によって、粒度分布を測定した。

(4) 粉末X線回折：砕砂10試料の洗い試験の際に採取した74 μ mふるいを通過するもの、ならびに砕石粉について粉末X線回折を行い、含有鉱物の同定を行った。

2.3 試験結果

本試験により、次のようなことが明らかとなった。

(1) 山砂の砂当量、洗い試験で失われる量(以下、洗い損失量という)は、それぞれ73～86、1.80～3.68であり、比較的狭い範囲に分布し、産地による明瞭な差異は認められなかった(図-1)。

(2) 砕砂の砂当量、洗い損失量は、それぞれ31～75、4.38～12.68であり、広範囲に分布し、産地による差異が認められた(図-1)。

(3) 山砂は、洗い損失量が3%未満のものはすべて砂当量が70以上であり、特に問題はなかったが、砕砂は、洗い損失量が7%未満のものでも砂当量が70%未満のものが多数認められ、検討を要することが判った(図-1)。

(4) 砂当量が小さいほど、方解石、緑泥石の含有量が多い傾向が認められた(表-1, 2)。

(5) 砕石粉を7%混入した細骨材の砂当量はいずれも70以上であり、同一産地の砕砂から洗い試験により採取した微粉末のそれに比べて大きい値を示し、産地による差は僅かであった(図-1)。また、砕石粉と、同一産地の砕砂から洗い試験により採取した微粉末の粒度を比べた場合、後者の方が小さい粒度のものが多かったが(図-2)、含有鉱物の種類や量に差は認められなかった(表-1, 2)。

以上のことから、砕石粉について次のようなことがいえる。

(1) 砕石粉は、山砂や砕砂に含まれる微粉末より粒度が粗く、砕石粉混入細骨材は、山砂や砕砂に含まれる微粉末より同一洗い損失量に対する砂当量が高い傾向がある。

(2) 上記のことは、砕石粉が山砂や砕砂に含まれる微粉末より、コンクリートに有害な粘土等の不純物が少ない傾向を示しており、砕石粉をコンクリート用混和材として利用できる可能性が高い。

3. 碎石粉使用モルタルのアルカリ骨材反応性に関する実験

3.1 使用材料

砕砂：化学法ならびにGBRC促進法により「有害」と判定されたチャート（記号：A）および安山岩（記号：B）と、「無害」と判定された砂岩（記号：C）の計3種類を用いた。それらの骨材は、5 mm以下に粉碎した後、5～2.5 mm：2.5～1.2 mm：1.2～0.6 mm＝3：4：3（質量比）に粒度調整し試験に供した。各砕砂のアルカリシリカ反応性試験結果を表-3に示す。碎石粉：安山岩砕砂と砂岩砕砂をそれぞれ0.15 mm以下に粉碎した2種類の碎石粉（記号：b, c）を使用した。その他、豊浦標準砂および普通ポルトランドセメント（ $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq.}}=0.54\%$ ）を使用した。

3.2 モルタルの調合

セメント600 g，水300 g（W/C＝50%），砕砂600 g，豊浦標準砂＋碎石粉600 gの調合とし、砕砂の種類（A，B，C）碎石粉の種類（b，c）ならびに豊浦標準砂に対する碎石粉の混入率（0%，25%，50%）を変化させたモルタル供試体を作製した。

3.3 実験項目および実験方法

本実験により、次のようなことが明らかとなった。

（1）碎石粉の物性試験：2種類の碎石粉について、コールターカウンターによる粒度分布の測定、砕砂に2種類の碎石粉を25%あるいは50%添加した碎石粉混入砕砂の洗い損失量および砂当量試験を行った。

（2）促進膨張試験：a）モルタルバー法・・・JIS A 5308附属書8 に準じて試験を行い、アルカリシリカ反応による膨張を促進し、材令6ヵ月までの長さ変化を測定した。b）生コンGBRC促進法・・・生コンGBRC促進法に準じて試験を行った。すなわち、練り混ぜ直後のモルタルに粒状NaOHをモルタル中のアルカリ量が 9 kg/m^3 となるよう後添加し、再びモルタルを練り混ぜて供試体を作製した。供試体は、成型後24時間型枠中で湿空養生した後脱型し、さらに20℃の水中で24時間養生した。水中養生を終えた供試体の一次共鳴振動数を測定した後、111℃（ゲージ圧 0.5 kgf/cm^2 ）で2時間煮沸し、アルカリシリカ反応を促進した。徐冷後、再び一次共鳴振動数を測定し、煮沸前後の相対動弾性係数を求め、モルタルのアルカリシリカ反応性を調べた。なお、モルタル供試体の形状・寸法は $4\times4\times16\text{ cm}$ の直方体とし、供試体数は各調査ごとに3体ずつとした。

3.4 実験結果および考察

（1）碎石粉の物性試験：碎石粉bおよびcの $74\text{ }\mu\text{m}$ 以下の粒子量は、いずれも47%程度であり、碎石粉bの方がcに比べ、粒径の小さなものが多かったが砂当量は大きかった。同一洗い損失量に対する砂当量は、前述の山砂、砕砂および碎石粉に比べて、大きい傾向を示し（洗い損失量7%のとき砂当量83～85），碎石粉の中でもコンクリートに悪影響を及ぼす危険性が少ないものと考えられた。

（2）促進膨張試験：a）モルタルバー法・・・碎石粉b（アルカリシリカ反応性あり）の場合には、使用量が増大するほど膨張率が小さくなり、アルカリシリカ反応の抑制効果が認められた（図-3）。碎石粉c（アルカリシリカ反応性なし）の場合には、膨張率に対する使用量の影響はなかった（図-4）。b）生コンGBRC促進法・・・碎石粉を使用しないときに相対動弾性係数の低いものは、いずれの碎石粉を添加しても、相対動弾性係数が高くなり、碎石粉を使用し

表-1 洗い試験により74 μ mを通過するものの粉末X線回折結果

記号	産地記号	砂当量	洗い損失量 (%)	検出された鉱物					
				長石	石英	角閃石	雲母	緑泥石	方解石
■	A	1	69	◎	◎	×	×	○	×
		2	53	◎	◎	×	×	○	×
		3	51	◎	◎	○	×	○	○
▲	B	1	61	◎	◎	×	×	○	×
		2	73	◎	◎	×	○	○	○
□	C	1	48	◎	◎	×	○	○	◎
△	D	1	52	◎	◎	×	○	○	◎
▣	E	1	66	◎	◎	×	×	○	×
△	F	1	67	◎	◎	×	○	○	×
⊠	G	1	31	◎	◎	×	○	○	○

表-2 碎石粉の粉末X線回折結果

記号	産地記号	砂当量	検出された鉱物						
			長石	石英	角閃石	雲母	緑泥石	方解石	
■	A	4	81	◎	◎	×	○	○	×
		5	81	◎	◎	×	×	○	×
		6	75	◎	◎	×	○	○	×
□	C	2	73	◎	◎	×	○	○	◎
		3	74	○	◎	×	○	○	◎
△	D	2	84	◎	◎	×	○	○	◎
		3	79	◎	◎	×	○	○	◎
・	H	76	◎	◎	×	○	○	×	
・	I	78	◎	○	×	×	×	×	
・	J	77	◎	◎	×	×	○	○	
・	K	74	◎	◎	×	○	○	◎	

注) 検出された
鉱物の記号は、
鉱物の含有量
を示す。

◎: 多い
○: 普通
○: 少ない
×: 存在せず

表-3 骨材のアルカリ・シリカ反応性試験結果

砕砂の種類	J I S 化学法			G B R C 促進法		
	S _c (mmol/l)	R _c (mmol/l)	判定	超音波伝播 速度率(%)	相対動弾性 係数(%)	判定
A (チャート)	109	50	無害でない	91.3	71.8	アルカリ 反応性あり
B (安山岩)	422	188	無害でない	88.4	66.7	アルカリ 反応性あり
C (砂岩)	34	42	無害	96.4	90.0	アルカリ 反応性なし

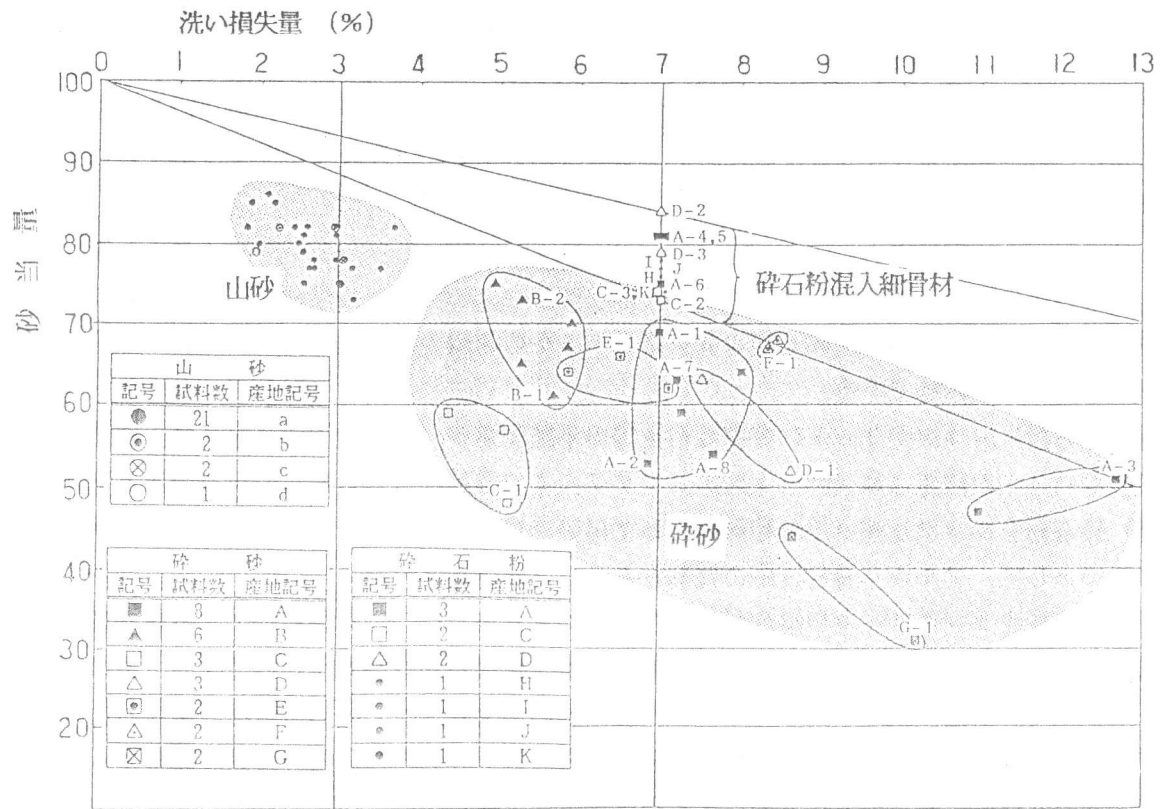
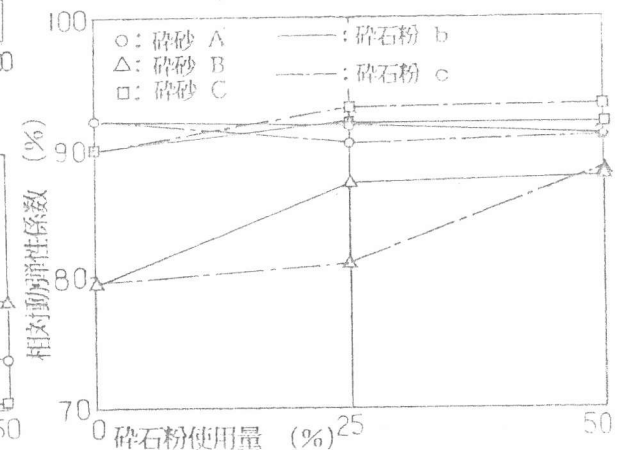
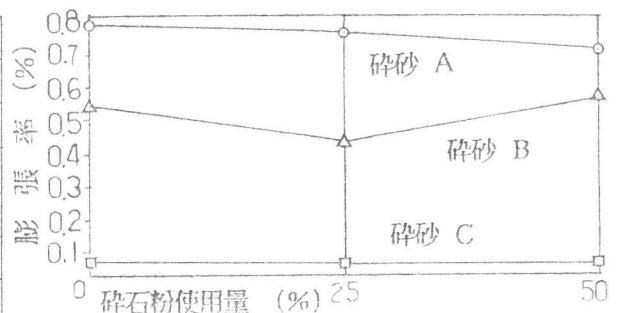
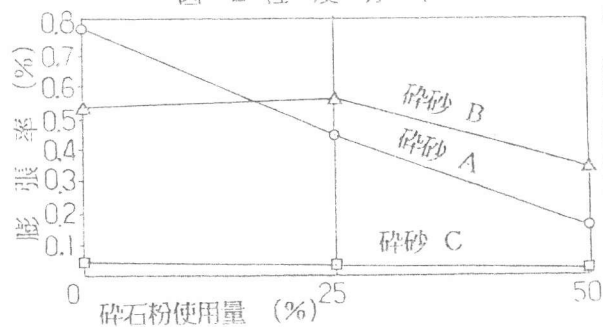
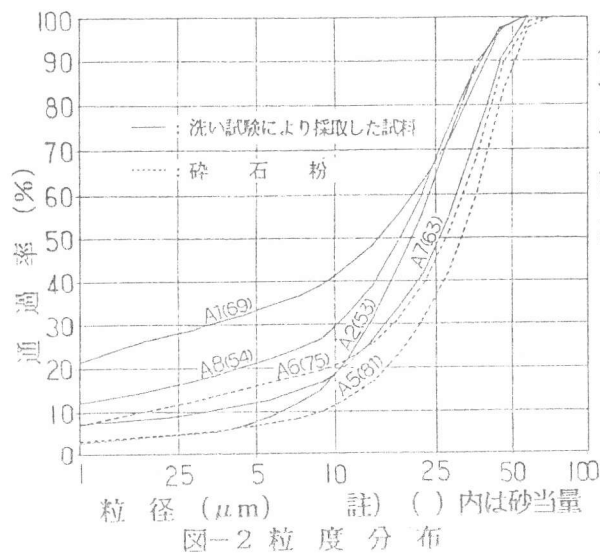


図-1 砂当量と洗い損失量の関係



ないときに相対動弾性係数の高いものは、いずれの碎石粉を添加しても、相対動弾性係数は変化しなかった（図-5）。以上のことから、アルカリシリカ反応性のあるモルタルでは、碎石粉を使用することによりアルカリシリカ反応が抑制され、アルカリシリカ反応性のないモルタルでは、碎石粉がたとえアルカリシリカ反応性のあるものであっても、アルカリシリカ反応を起こす可能性は低いと判断された。

4. おわりに

以上の実験結果に基づき、碎石粉のコンクリートへの利用の可能性ならびに今後の課題を要約すると、以下のとおりである。

(1) 碎石粉は、コンクリートに有害な粘土等の不純物量が、山砂や砕砂に含まれる微粒分に比べて少ないことが確認され（図-1）、コンクリート用混和材料として利用可能である。

(2) 碎石粉をコンクリート用混和材料として用いた場合に期待できる効果は種々考えられるが、その1つとして、アルカリ骨材反応の抑制があることが確認された。

(3) 碎石粉をコンクリート用混和材料として用いるためには、先ず碎石粉の品質評価試験方法を確立する必要がある。砂当量試験やメチレンブルー試験が同試験方法として有望である。したがってまず、砂当量試験、メチレンブルー試験や岩石学的調査を、国内の各種岩種碎石粉ならびに、各種生産工程により生産される碎石粉について行い、碎石粉の品質の実態を調査する必要がある。同調査結果に基づいて代表的な碎石粉を選定し、碎石粉を使用したコンクリートに関する各種実験を行い、碎石粉使用コンクリートの性能を確認するとともに、碎石粉の品質評価規準ならびに同コンクリートの調合設計・施工指針を策定するのがよい。

生コンクリート業界では、細骨材中あるいはコンクリート中の微粒分を補うため、品質が良好であれば、碎石粉を使用したいと考えている。また最近では、高強度コンクリート、RCD、RCCPやハイパフォーマンスコンクリートなどの多種多様なコンクリートの検討が盛んに行われているが、それらのコンクリートについても微粉末の影響は大きく、碎石粉の活用が充分考えられるところである。一方、碎石粉の品質評価試験方法の一つとして有望な砂当量試験もJIS規格として規定された。碎石粉の利用は、資源の有効利用ならびに大気環境保全の見地から、一般社会からも強く望まれている。

以上要するに、碎石粉をコンクリートへ利用するための環境は充分熟しており、残された課題を関係者挙げて、積極的に研究することが必要であろう。

〔参考文献〕

- 1) Ramirez, J.L., et al. : Proposal for limitation and control of fines in calcareous sands based upon their influence in some concrete properties, Materials and Structures, Vol.23, No.136, pp.277-288, July 1990
- 2) 山崎寛司：鉱物質微粉末がコンクリートのウォーカビリティーおよび強度におよぼす効果に関する基礎研究，コンクリート・ライブラリー8号，土木学会，1963.7