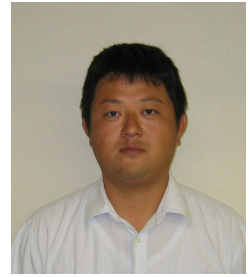


砕砂の微粒分を多く含んだコンクリート性状について



所属名：中国技術事務所
品質調査課

発表者：木村 守

1. はじめに

本調査は、乾式による砕砂の製造に伴って発生する微粒分について、中国地方における代表的な岩種を対象に、JIS 規格を越える量の微粒分を含んだ砕砂（以下「MF (Micro-Fine) 砕砂」）を使用したコンクリート（以下「MF (Micro-Fine) 砕砂コンクリート」）のフレッシュ性状、硬化特性、耐久性を評価し、品質管理、配合設計、施工に関する手引き（案）を作成したものである。

砕砂の微粒分量は、JIS 規格値以上は処分の対象となっており、その処分量は、中国地方で年間約 50 万トンに達すると推定されている。近年の研究において、砕砂の製造に伴って発生する微粒分は、粘土鉱物やシルトなどの有害物質でない石の粉であり、これらのコンクリートへの適正量の混入はむしろ、材料分離抵抗の改善、ワーカビリティの向上、コンクリート強度の増加、緻密性の向上など、コンクリート品質の向上になるということが報告されている。本調査ではコンクリートの品質向上を目的として砕砂の微粒分の活用にあたっての以下に示すような技術的課題について調査・試験を実施した。

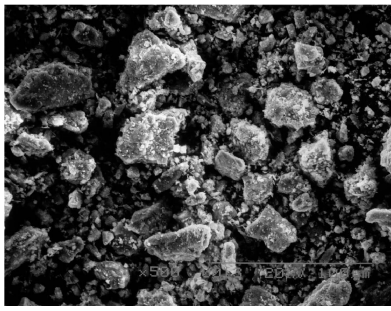
- 1) 微粒分が有する物理・化学的特性の評価
- 2) 微粒分混入量とコンクリートのフレッシュ性状、硬化特性、耐久性の評価
- 3) 品質管理の方法の設定

2. 砕砂の微粒分の特性について

2. 1 微粒分の物理的な特性

微粒分を多く含んだ砕砂とは、具体的には岩石をクラッシャなどで粉碎し、粒度調整した、微粒分量が 7% を超えて 12% までの乾式で製造された微粒分が細骨材にそのまま付着したような状況にある砕砂のことである。

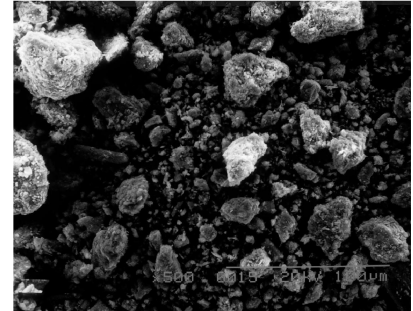
砕砂および微粒分の電子顕微鏡観察結果を写真-1 に示す。微粒分の形状は岩種が相違しても、形状は相似であることが確認された。また、微粒分の物理特性を表-1 に示す。分析に用いた微粒分は、中国地方で使用されている代表岩種として挙げられる安山岩、砂岩および粘板岩の砕砂から採取した、75 μ m 以下の粒径の微石粉である。分



(a)安山岩



(b)砂岩



(c)粘板岩

写真-1 微粒分の電子顕微鏡写真 (500倍拡大)

析試験の結果、砕砂に含まれる微粒分は、粉末度が $4000\text{cm}^2/\text{g}$ 程度、50%粒径が $20\mu\text{m}$ 程度であり、普通ポルトランドセメントと同程度の幾何形状であることが把握された。微粒分の化学成分を表-2に示す。微粒分の主な構成成分は、二酸化ケイ素 (SiO_2) と酸化アルミニウム (Al_2O_3) であり、通常の岩石と同じような成分であった。

表-1 微粒分の物理特性の一例

	湿分 (%)	密度 (g/cm^3)	粉末度 (cm^2/g)	強熱減量 (%)	50%径 (μm)
安山岩	0.3	2.74	4330	1.9	19.151
砂岩	0.3	2.77	3860	3.2	22.957
粘板岩	1.0	2.71	4260	3.2	18.564

表-2 微粒分の化学成分の一例

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	NaCl
安山岩	65.98	15.57	4.08	4.08	1.95	1.15	2.09	1.10	0.003
砂岩	65.06	14.06	6.53	6.53	2.32	0.01 未満	1.39	1.22	0.003
粘板岩	64.71	16.48	3.72	3.72	1.77	0.01 未満	1.04	1.93	0.002

2. 2 微粒分に含まれる粘土鉱物について

砕砂の微粒分量の規格値を緩和した場合、コンクリートに悪影響を及ぼす鉱物が混入する場合も想定されるため、粘土鉱物としてスメクタイトを微粒分に 25%混ぜ合わせた試料を用意し、日本ベントナイト工業会の方法 (JBAS-107-91) と石粉の品質規格 (TR A 0015) の2つの試験方法で試験を行い、検出した粘土鉱物量を比較することとした。メチレンブルー吸着量試験結果を表-3に示す。石粉の品質規格を用いた場合には、ほとんど粘土鉱物は検出が出来ず、日本ベントナイト工業会の方法であれば、精度良く、粘土鉱物量を定量できることが把握された。なお、日本ベントナイト工業会の方法の場合には、ピロリン酸ナトリウム溶液を使用することによって粘土鉱物を分散させる試験方法となっているが、石粉の品質規格は、試料の攪拌を水で行うため粘土鉱物が分散されず、試験誤差が生じるものと考えられる。メチレンブルー吸着量と砂当量の関係を図-1に示す。微粒分だけの場合には、メチレンブルー吸着量が $3\text{mg}/\text{g}$ 程度となり、ほとんど、粘土鉱物が含まれないことが把握された。微粒分に粘土鉱物が含まれる場合には、図-1に示すように、砂当量が小さくなり、メチレンブルー吸着量が大きくなる傾向にあることが把握された。よって、微粒分の品質は、メチレンブ

ルー吸着量と砂当量で、判定可能であることが確認された。

表-3 メチレンブルー吸着量試験結果

	メチレンブルー吸着量 (mg/g)	
	TRA0015-2002	JBAS-107-91
安山岩 (100%)	3.3(0.6%)	3.0 (0.6%)
粘板岩 (100%)	3.5(0.7%)	3.0 (0.6%)
安山岩(75%)+スメクタイト(25%)	19.0 (3.6%)	123.4 (23.6%)
粘板岩(75%)+スメクタイト (25%)	19.2 (3.7%)	127.2 (24.3%)

[] 内：粘土鉱物の構成比率

3. MF 砕砂コンクリートの性状について

3. 1 配合

岩種、微粒分量をパラメータとして、表-4 に示す配合を用いた、コンクリート試験を実施した。

3. 2 フレッシュコンクリート性状

砕砂の微粒分が多いコンクリートの場合においても、スランプ及び空気量の練混ぜ直後からの経時変化は、微粒分が少ない場合と同程度であった。ブリーディング量は、図-2 に示すとおり、最大微粒分混入(微粒分量が 12.3%のもの)では、基準微粒分と場合(微粒分量が 4.4%のもの)に比べて概ねブリーディング量が半分程度となっており、微粒分が増加すると、ブリーディング量が少なくなる傾向が把握された。微粒分量の増加することは、粉体の増加となり、材料分離抵抗性が向上することが把握された。

3. 3 硬化コンクリート特性

3. 3. 1 力学特性

圧縮強度とセメント水比の関係を図-3 に示す。砕砂の微粒分を多く含んだコンクリートの方が、圧縮強度が若干増加する傾向が得られた。なお、曲げ強度、引張強度および静弾性係数についても、砕砂の微粒分を多く含んだコンクリートの方が若干増加する傾向が得られた。

3. 3. 2 耐久性

中性化深さと微粒分量の関係を図-4 に示す。中性化深さは、砕砂の微粒分量が相違しても、ほとんど差異がないことが把握された。乾燥収縮による長さ変化率と微粒分量の関係を図-5 に示す。乾燥収縮ひずみは、岩種や砕砂の微粒分量が相違してもほと

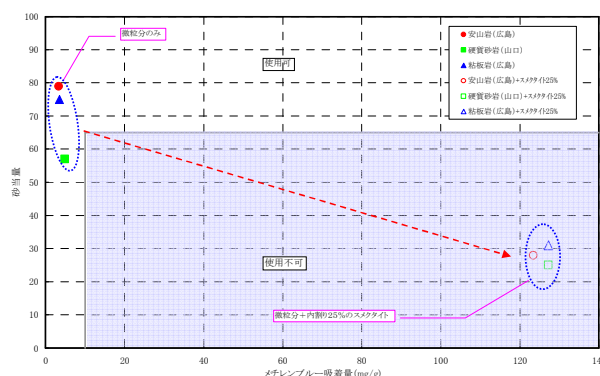


図-1 メチレンブルー吸着量試験結果と砂当量試験結果の相関図

表-4 配合条件

項目	内容
セメントの種類	高炉セメントB種
細骨材	微粒分の規定以外はJISA5005に準拠
水セメント比	45%、50%、55%、60%
微粒分量	JIS規格相当(5%程度)、12%程度
砕砂の岩種	安山岩、砂岩、粘板岩
スランプ	8±1.0cm、15±2.5cm(室内試験)
空気量	4.5±1.0(室内試験)
粗骨材最大寸法	20mm
単位水量	170kg/m ³
混和剤	高性能AE減水剤、AE減水剤

んど差異がないことが把握された。また、凍結融解抵抗性についても、砕砂の微粒分量が相違しても、ほとんど差異がないことが把握された。よって、MFコンクリートの耐久性は、岩種および微粒分が相違しても、通常のコンクリートと同等であると判断された。

4. 環境負荷軽減効果について

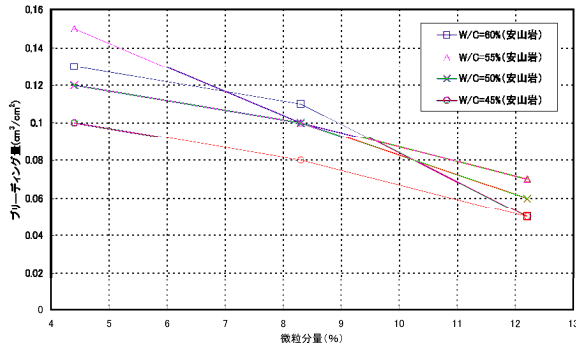


図-2 微粒分量とブリーディング量
の関係

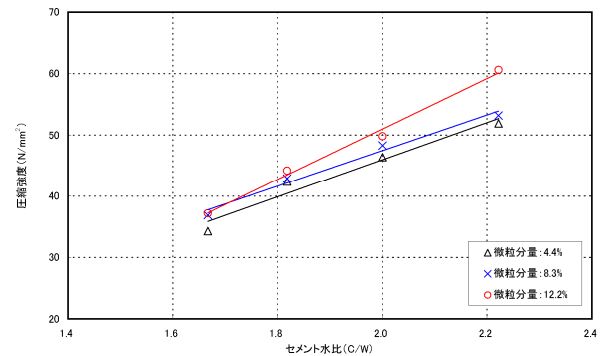


図-3 セメント水比と圧縮強度の関係
(安山岩の場合の例)

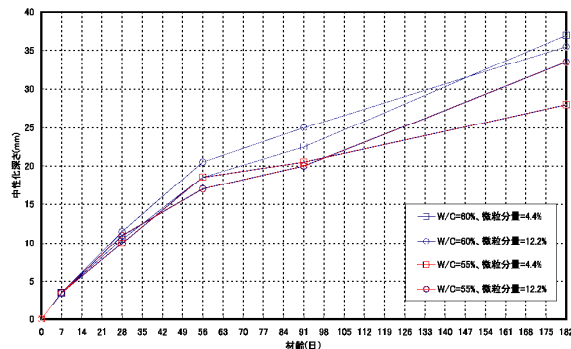


図-4 中性化深さと微粒分量の関係
(安山岩の場合の例)

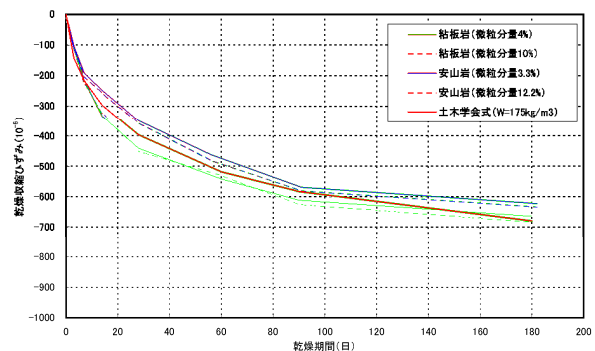


図-5 MF砕砂コンクリートの
長さ変化率試験結果

乾式による砕砂の製造工程をインベントリ分析し、二酸化炭素 (CO₂) の排出量を算出した。従来まで廃棄されている微粒分を、12%まで使用できると仮定した場合、砕砂 1t を製造するにあたり 9% (0.64(CO₂-kg/砕砂-t)) 程度の CO₂ 排出を削減できることが試算された。砕砂の工程や砕く岩の硬さなどによる影響などによって、骨材製造に伴う CO₂ 排出量は、ある程度、変動することも予想されるが、微粒分を活用することは環境負荷軽減の効果があることが把握された。

5. まとめ

- 砕砂に含まれる微粒分は、ほとんど石の粉であり、粒径などの物理特性は、セメント粒子と相似である。
- 微粒分中の粘土鉱物量については、日本ベントナイト工業会の方法 (JBAS-107-91) に示されているメチレンブルー吸着量試験を実施することで、粘土鉱物量が定量できることが確認され、品質管理の手法として使用できることが把握された。
- 中国地方の砕石・砕砂の生産トン数の上位 3 岩種 (安山岩・硬質砂岩・粘板岩) を用いたコンクリート試験結果から、12%程度までの微粒分が混入しても悪い影響は

及ぼさず、むしろ、ブリーディングが抑制され、微粒分がコンクリートの品質向上に寄与することが把握された。

- 学識経験者・関係機関からなる「微粒分活用研究会」において、MF砕砂コンクリートの適用の範囲、品質、材料、配合、製造、施工など、MF砕砂コンクリートを利用する際に留意すべき基本的な事項について、手引き（案）をとりまとめた。
- コンクリート用骨材の実態から、地域事情を考慮して有効に活用することが望まれており、中国地方では、砕砂の微粒分を多く含んだコンクリートの利用も骨材の有効活用の一環として、大きな期待ができる。