

# 粒形改善砕砂生産時に発生する微石粉の コンクリートへの有効利用に関する研究

賀 谷 隆 人<sup>※)</sup> 橋 本 勝 由<sup>※)</sup>  
山 本 春 行<sup>※※)</sup>

## 1. はじめに

環境保全・資源の枯渇等の問題により天然砂に代わる粒形を改善された良質な砕砂の需要は増加傾向にあるが、粒形を改善することは副産物である微石粉発生率の上昇につながる。JIS A5005では、0.15mm以下は上限15%、特にコンクリートに悪影響をおよぼすと考えられている微粒分量 (0.075mm以下) は上限7%と規定されている。したがって、生産段階で発生した微石粉を多量に除去する必要があり、製品化率の低下につながる。さらに生産現場ではその除去された微石粉の用途開発に苦慮し、廃棄処分されているのが現実である。

現在までに有効利用を目的として、粒形改善砕砂に微石粉を多量混入したコンクリートの諸性質の研究を行ってきた。<sup>1) 2)</sup> その結果、混入量の増加に伴いフレッシュコンクリート性状が低下 (主にコンクリートの流動性低下) する傾向が見られたが、多くの有効性も確認された。

本研究はさらなる効果的な方法として、粒形改善砕砂 (以降は改善砕砂と記す) を使用したコンクリートに対して微石粉を分離して混入粒度をコントロールすることで、多量混入してもコンクリートのフレッシュ性状およびその他の諸性質に悪影響をおよぼさない微石粉の利用方法を確立することを目的とした。

## 2. 実験方法

改善砕砂生産工程で発生する微石粉を75 $\mu$ m以上、40 $\mu$ m以上、20 $\mu$ m以上に空気分離したもの、および未分離のものをおのの改善砕砂に混入しコンクリートの試験練りを同一配合で行う。調査項目はスランプ、フロー、空気量、ブリーディング、圧縮強度とし、それぞれを比較検討する。表1に試験番号とその試験練り用細骨材の

表1 試験練り用細骨材の概要

試験 No.	試験練り用細骨材	微粒分量 (%)
①	基準砂 (改善砕砂)	4.3
②	微石粉から 75 $\mu$ m 以上のものを分離し、基準砂に混入したもの	6.9
③	微石粉から 40 $\mu$ m 以上のものを分離し、基準砂に混入したもの	12.0
④	微石粉から 20 $\mu$ m 以上のものを分離し、基準砂に混入したもの	13.9
⑤	基準砂に微石粉の全粒度を混入したもの	17.8

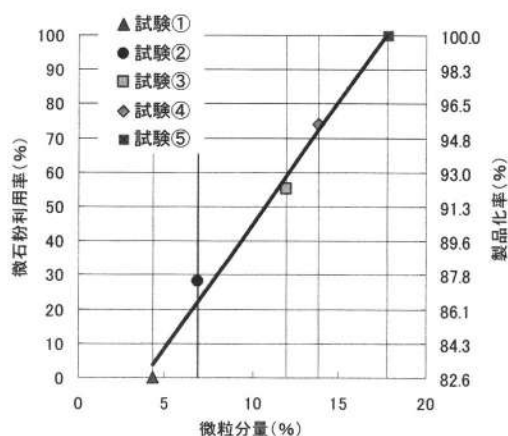


図1 微粒分量と微石粉利用率の関係

概要を示す。図1に各試験練り用細骨材の微粒分量と微石粉利用率との関係を示す。たとえば、試験④の場合、微石粉利用率は74.1%となり、製品化率が試験① (基準砂) の82.6%から95.5%となる。

なお、本論文では各試験結果をJISで定められている微石粉量で表示することとした<sup>3)</sup>。

### 3. 使用材料および配合表

表2に、本試験で使用した材料を示す。また、図2は各試験の基準とした改善砕砂の粒度分布と、図3にはそれぞれの試験において基準砂に混入する微石粉の粒度別の混入率を、図4には混入する微石粉の粒度を示している。なお、図2にはJIS A5005で規定されている粒度分布の範囲も併記している。さらに、表3はコンクリート試験練りの配合表をまとめて示したものである。

表2 試験に使用した材料

セメントの種類		普通ポルトランドセメント
混和剤の種類		ボゾリス 15S (C×1%添加)
細骨材	種類	改善砕砂 (砂岩)
	表乾密度	2.61 (g/cm <sup>3</sup> )
	吸水率	1.05%
	①基準砂	比表面積 172 cm <sup>2</sup> /g
	②75 μm以上	比表面積 191 cm <sup>2</sup> /g
	③40 μm以上	比表面積 220 cm <sup>2</sup> /g
	④20 μm以上	比表面積 260 cm <sup>2</sup> /g
	⑤全粒度	比表面積 457 cm <sup>2</sup> /g
微石粉の混合		基準砂への内割混合
粗骨材	種類	砕石 2005 (砂岩)
	表乾密度	2.61 (g/cm <sup>3</sup> )
	吸水率	1.05%

注：比表面積（ブレーン値）は空気透過法にて測定した。

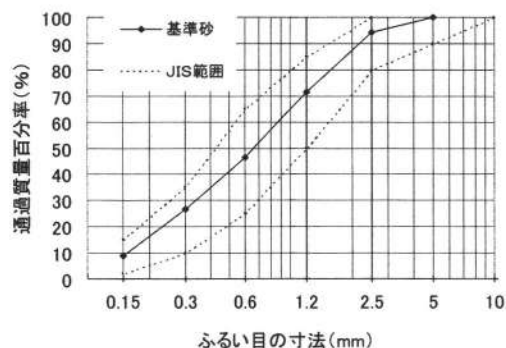


図2 基準砂（改善砕砂）の粒度

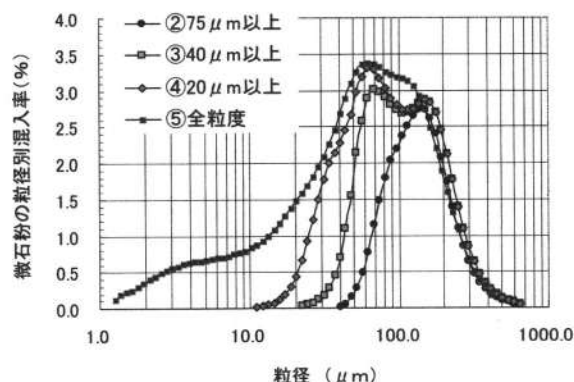


図3 混入する微石粉の粒度分布

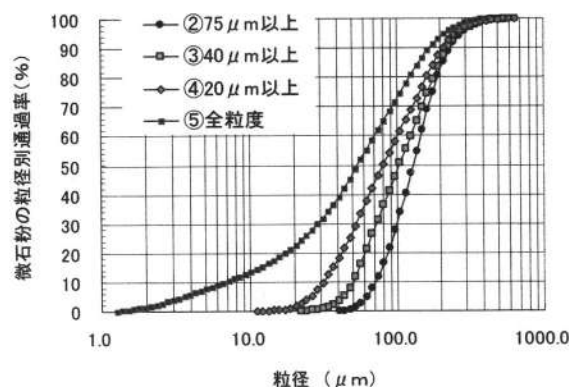


図4 混入する微石粉の粒度

表3 コンクリート試験練り配合表

試験 No.	配 合 表					
	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
			セメ ント	改善砕砂 [%]	微石粉 [%]	砕石
①	57	49.1	184	850 [100]	0 [0.0]	890
②				803 [94.4]	47 [5.6]	
③				762 [89.6]	88 [10.4]	
④				735 [86.5]	115 [13.5]	
⑤				702 [82.6]	148 [17.4]	

## 4. 試験結果とその考察

まず、表4に試験結果をまとめて示す。これらの結果より、微石粉の粒度や混入率がスランプ・空気量・ブリーディング率・圧縮強度に与える影響について検討する。

表4 試験結果表

試験 No.	試験結果					
	スランプ (cm)	フロー (cm)	空気量 (%)	ブリーデ ィング率 (%)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	
					1W	4W
①	18.5	25	5.0	3.34	30.7	41.9
②	20.0	31	4.6	2.82	29.5	41.5
③	19.5	29	4.5	2.79	30.4	42.6
④	19.0	26.5	4.2	2.56	29.7	41.4
⑤	14.5	23	2.0	1.73	30.7	43.3

### 4. 1 スランプへの影響について

図5に各試験体のスランプと微粒分量との関係を示す。同図から、試験①から④では、ほぼ同じスランプ値であるが、試験⑤の場合には、スランプ値が急激に低下していることが分かる。これは、20 $\mu$ m以下の微粒子が存在していることの影響と考えられる。

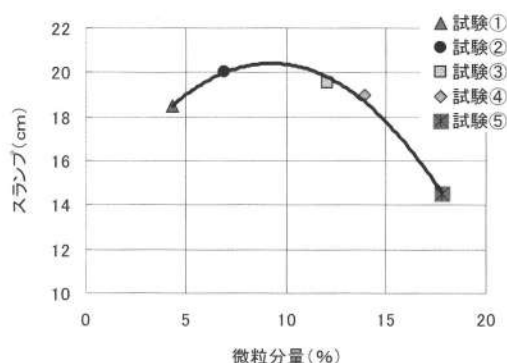


図5 スランプと微粒分量の関係

図6にスランプフローと微粒分量の関係を示す。スランプフローはスランプと同様に試験②が最も良く、試験⑤のみ試験①の基準砂よりもフロー値が低下する結果となった。全粒度の微石粒を混入することにより、比表面

積の大きい20 $\mu$ m以下の粒子が増え、濡れ面積の増大によりフレッシュコンクリートの粘性が上昇したためと考えられる。流動性の傾向としては図5、図6から75 $\mu$ mと40 $\mu$ mの中間あたりの55~60 $\mu$ m以上の微石粉の混入が最も良い可能性が考えられる。

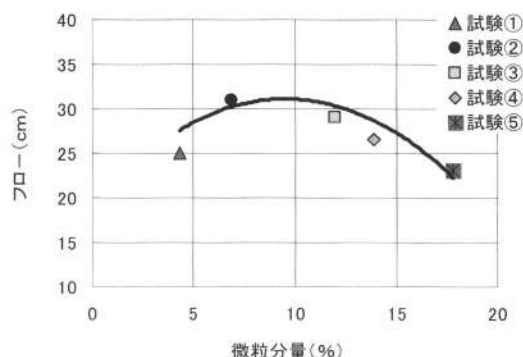


図6 スランプフローと微粒分量の関係

図7から図11に、それぞれの試験体のスランプ試験の状況を示す。図7は試験①のスランプ試験状況であり、この基準となる試験体においては、スランプ値は目標の18cmが得られているものの、フローの拡がりやや小さい結果となった。図8は試験②のスランプ試験状況であり、基準砂に75 $\mu$ m以上の微石粉を混入したことで試験体①と比較して、スランプ値およびフローの拡がりが大きく、スランプ形状からワーカビリティも改善されている。図9は試験③のスランプ試験状況である。基準砂に40 $\mu$ m以上の微石粉を混入したことで試験体①の場合よりもスランプ値は大きい、試験②の場合と比較すると、スランプ値およびフローの拡がりやや小さくなった。またスランプ形状から、粘性もやや大きくなっていることが分かる。図10は試験④のスランプ試験状況である。基準砂に20 $\mu$ m以上の微石粉を混入したことで試験体①の場合よりもスランプ値はわずかに大きくなり、さらに試験③の場合と比較してもスランプ値の差は殆どない。しかし、フローの拡がり小さく、スランプ形状から粘性が大きくなっていることが分かる。図11は試験⑤のスランプ試験状況であり、基準砂に全粒度の微石粉を混入したことで他の試験体の場合とはかなり異なっている。すなわち、前述のようにスランプ値が4cmも小さく、



図7 試験①のスランプ試験状況

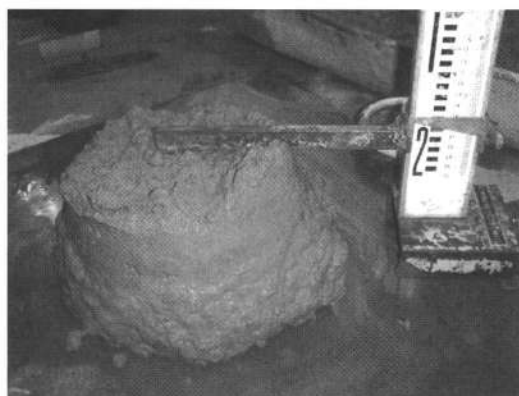


図10 試験④のスランプ試験状況



図8 試験②のスランプ試験状況

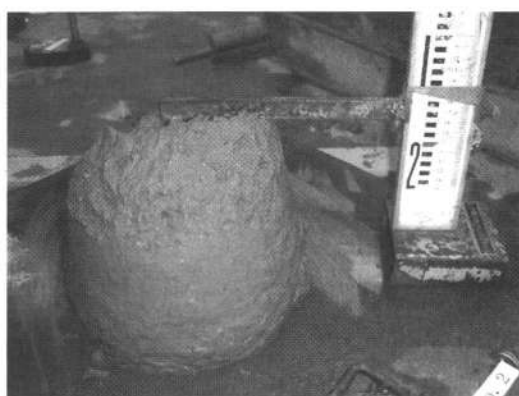


図11 試験⑤のスランプ試験状況

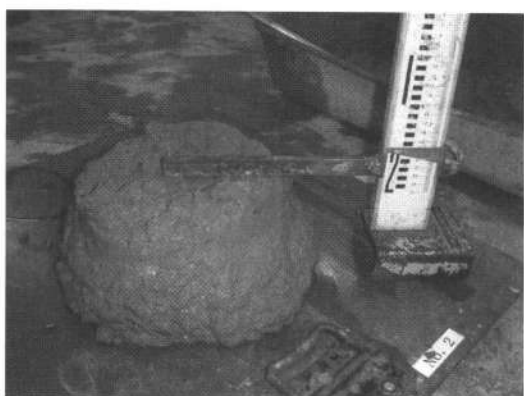


図9 試験③のスランプ試験状況

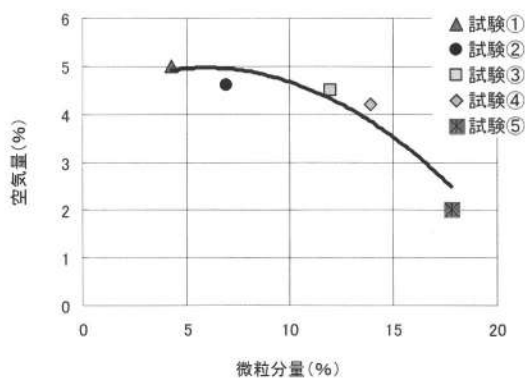


図12 空気量と微粒分量の関係

粘性が非常に大きくなっていることが分かる。

#### 4. 2 空気量への影響について

空気量と微粒分量との関係を図12に示す。補助A E剤

の添加量を一定にした結果から、試験②から試験④のように微石粉を混入することで、やや空気量は減少する傾向にあることが分かる。さらに、全粒度の微石粉を混入

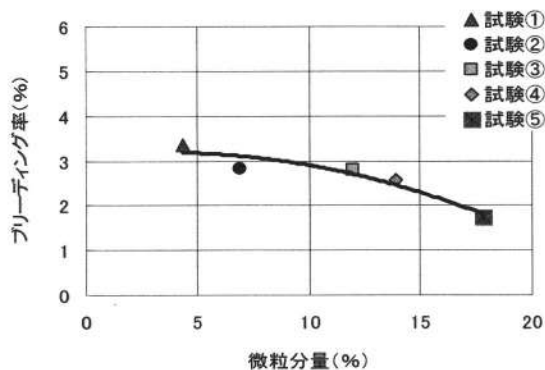


図13 ブリーディング率と微粒分量の関係

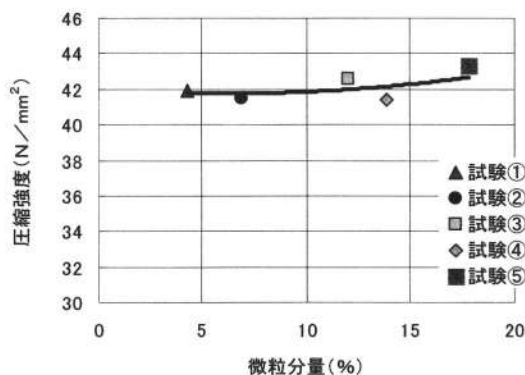


図14 圧縮強度 (4 W) と微粒分量の関係

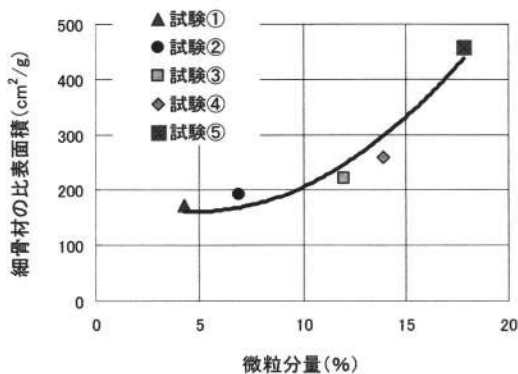


図15 試験別細骨材の比表面積比較

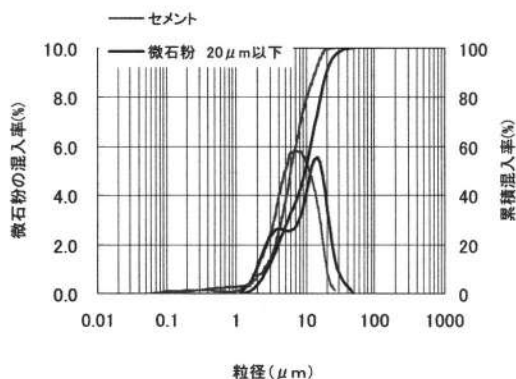


図16 20μm未満の微石粉の粒度

した試験⑤の場合には空気量が大きく減少しており、スランプ値やフロー値への影響と同様に、空気量へも20μm以下の微粒子が比表面積の増加をもたらした粘性増に影響を与えているものと考えられる。

#### 4. 3 ブリーディング率

ブリーディング率と微粒分量との関係を図13に示す。試験②から試験④のように分離した微石粉を混入することでブリーディング率はやや減少する傾向にあり、試験⑤の場合にはさらに減少している。このことにより空気量への影響と同様に、主に20μm以下の微粒子が比表面積の増加をもたらした粘性増と保水効果に影響しているものと考えられる。

#### 4. 4 圧縮強度

圧縮強度と微粒分量との関係を図14に示す。同図から、圧縮強度は試験①から試験④の場合にはほぼ同等となり、

試験⑤の場合にわずかではあるが増加する傾向にあることが分かる。この圧縮強度が増加する要因として、ブリーディング水が減少すれば粗骨材の下面に生じる欠陥部が減少し、コンクリート供試体の内部がより密になるためと考えられる。

#### 4. 5 20μm以下の微石粉がコンクリートの諸性状に及ぼす影響

20μm未満を含む全粒度の微石粉を混入した試験⑤の場合にはスランプ、空気量、ブリーディング率共に減少した。これらの要因として、図15の試験別細骨材の比表面積比較で示すように、試験⑤の全粒度の微石粉混入の場合には試験①の場合に比べ2.7倍の比表面積となり濡れ面積の増大により粘性が増加したためと考えられる。さらに図16の20μm未満の微石粉の粒度のごとく、セメントとほぼ同粒子サイズであるが、混和材として使用さ

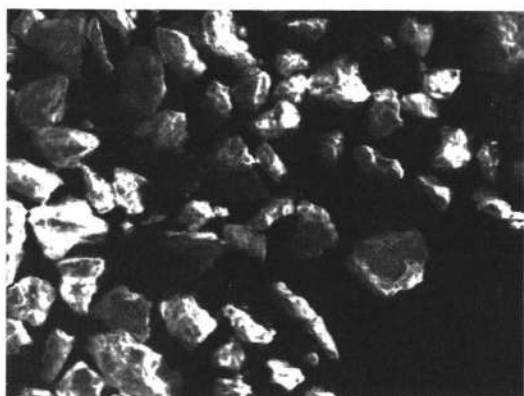


図17 20 $\mu$ m 付近の微石粉の走査電子顕微鏡写真

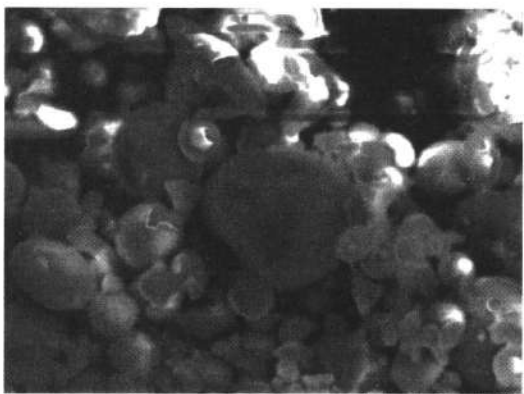


図18 フライアッシュの走査電子顕微鏡写真

れるフライアッシュのように球状ではなく薄片状のため、保水性が高く試験⑤の場合ではワーカビリティへ悪影響を及ぼしたものと推測される。参考までに図17に20 $\mu$ m 付近の微石粉と図18にフライアッシュの走査電子顕微鏡写真を示す。

以上のように、粒形改善砕砂生産時に発生する微石粉は、試験④のごとく20 $\mu$ m未満の微石粉を取り除くことで、コンクリートのフレッシュ性状およびその他の諸性

質に悪影響をおよぼさず、利用できる可能性があることが確認できた。その際の微石粉利用率は約74%であり大幅の廃棄処分量の削減ならび資源の有効利用につながる。

## 5. 結 論

粒形改善砕砂生産時に発生する微石粉を有効利用するために、微石粉の混入粒度を変えたコンクリート試験体のスランプ・空気量・ブリーディング率・圧縮強度等について調べた。本研究の主要な結果は以下のとおりである。

(1) 流動性に関しては75 $\mu$ m以上の微石粉を混入した場合が最も良い結果となった。さらに40 $\mu$ m以上や、20 $\mu$ m以上の微石粉を混入した場合のように分離した微石粉の混入量が増加するに伴い平均粒子が小さくなり、フレッシュ性状の粘性がやや増加したが、スランプの低下は殆ど認められなかった。

(2) 20 $\mu$ m未満を含む全粒度の微石粉を混入した試験の場合にはスランプ、空気量、ブリーディング率などが減少した。

(3) 20 $\mu$ m未満を含む全粒度の微石粉を混入した試験の場合には圧縮強度はわずかに増加傾向となった。

(4) 微石粉は20 $\mu$ m未満を取り除くことで、コンクリートのフレッシュ性状およびその他の諸性質に悪影響をおよぼさずに利用できる可能性があることが確認できた。

## 参考文献

- 1) 賀谷隆人：粒形改善砕砂に微石粉を多量混入したコンクリートの諸性質、土木学会中国支部第54回研究発表会、V-22, pp. 551-552, 2002
- 2) 米倉亜州夫：粒形改善砕砂を用いたコンクリートの微石粉多量添加による品質改善、平成16中国地方建設技術開発交流会、pp. 39-44, 2004
- 3) JIS A 1103-2003：「骨材の微粒分試験方法」