

リサイクルコンクリート微粉末のモルタルへの有効利用

笠井 洋志*, 小野 博宣** 愛知 五男*** 田澤 生匡****

Recycle use of Fine Powder for Cement Mortar Produced by Crashed Concrete

Hiroshi KASAI*, Hironobu ONO **, Itsuo AICHI***, Ikumasa TAZAWA

(Received June 16, 2004)

Recycling of concrete is urgent for the effective use of natural resources and the “zero emission” of industrial wastes. A lot of studies have been done on the recycled use of coarse and fine aggregate made from old concrete blocks. However, these have been few studies concerning fine powder which is produced when concrete blocks are crushed and which accounts for 30% to 40% of the crushed concrete.

In this paper the nature of the cement mortar with the use of fine powder has been examined by the following procedures : 1) : comparison of the rivers sand aggregate and recycled fine aggregate as to their fresh and hardened properties, and 2) : effectiveness of content ratio of fine powder for mechanical properties of cement mortar. From the test results we can confirm the effectiveness of the combinatory use of both recycled fine aggregate and fine powder for cement mortar. We should also consider application of fine powder of recycled for concrete concrete members.

Keywords : cement mortar, compressive strength, recycled concrete, recycling fine powder, flow test

1. まえがき

建設リサイクル法が施行され、基本方針の中に2010年にコンクリート廃材の再資源化目標値を95%にする事が定められている。現在、天然骨材の枯渇化、最終処理場での許容限界など問題が発生し、取り壊されたRC構造物のコンクリート塊の有効利用が求められている。再生粗骨材、細骨材の利用もさることながら砕時に生じた微粒成分が図-1に示すように約40%とかなりの比率を占めるのが現状である。今後、再生コンクリート用骨材製造時に発生する微粉末の有効利用は拡大すると予想され、その有効利用を図るためにその微粉末の物性を調査しモルタルやコンクリートへの適用性を検討した。

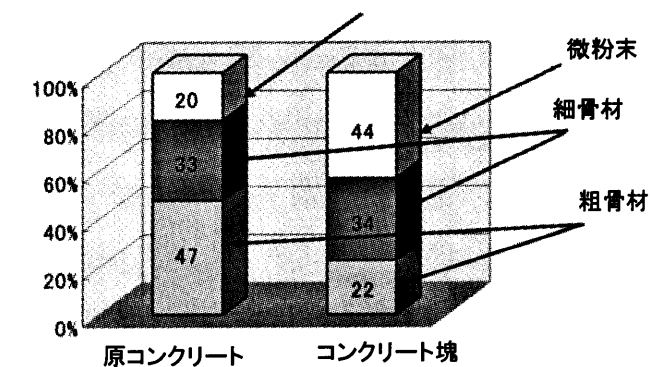


図-1 コンクリート及びコンクリート塊の材料割合

* 建設工学専攻大学院生 (Graduate Student, Constructional Engineering)

** 建築学科 (Department of Architecture)

*** 都市建設工学科 (Department of Civil Engineering)

**** トヨタ T&S 建設(株) (Toyota T&S Construction Co. LTD)

2. 研究方法

2.1 目的

コンクリート廃材を有効利用するための研究は資源の有効利用の点からも欠かせないものとなってきた。加熱すりもみ法など再生骨材高度処理、高品質化することや、セメント原料として微粉末を焼成するなどは莫大なエネルギーがかかってしまう。しかし再生骨材の高度処理を行わずにそのまま細骨材として利用しようという研究はあまりみられない。本研究では再生骨材を高度処理せずに細骨材（川砂）との混合利用範囲を明らかにすることはエネルギーの消費を抑えることとなり、さらに焼成していない微粉末をセメント、細骨材置換して混合利用範囲による効果を明らかにすることで、コンクリート構造物の再生利用につながると考え、微粉末の物性を解明し、流動性、強度の面から検討することを目的とする。

3. 実験方法

3.1 使用骨材の品質

(1) 細骨材の品質

本実験で使用する再生細骨材の品質は表 - 1 に示す。密度は 2.3g/cm^3 で、JASS5 の品質基準 2.5g/cm^3 より低い値となった。吸水率は 8.8% で、JASS5 の品質基準 3.0% に対して 2.9 倍と高い。しかし、実績率は長良川産細骨材とほぼ同じで JASS にほぼ適合している。

表 - 1 細骨材の品質

	長良川産 (NS) (天然細骨材)	木曽川産一次 (RS) (再生細骨材)
表乾密度 (g/cm^3)	2.6	2.3
容積質量 (kg/ℓ)	1.66	1.43
吸水率 (%)	2.4	8.8
実績率 (%)	65.4	66.3
空隙率	34.6	33.7
付着微粒量 (%)	0	16

(2) 微粉末の品質

表 - 2 に示すとおり粉末は木曽川産のコンクリートの 1 次リサイクル 2.55g/cm^3 、プレーン空気透過装置による比表面積は $3205\text{cm}^2/\text{g}$ 、ふるい寸法 $45\mu\text{m}$ 以下とし、ほぼ普通ポルトランドセメントと同等の比表面積とした。

表 - 2 微粉末の品質

品目	密度 (g/cm^3)	比表面積 (cm^2/g)
普通ポルトランドセメント(OP)	3.15	3215
微粉末(FP)	2.55	3205

3.2 配合

実験 1

表 - 3 は $W/C=50\%$ 、60%、70%の細骨材の一部を微粉末で置換し、細骨材に 0%、25%、50%、75%、100%の再生細骨材を置換したモルタルの調査。

表 - 3 再生細骨材置換モルタルの調査

W/C (%)	RS置換率 (%)	Weight(kg/m^3)			
		OP	W	S	
				NS	RS
50	0	507	254	1522	0
	25	500	250	1124	375
	50	492	246	738	738
	75	485	242	363	1090
	100	478	239	0	1433
60	0	483	290	1448	0
	25	476	285	1070	357
	50	469	281	703	703
	75	462	277	347	1040
	100	456	273	0	1367
70	0	461	322	1382	0
	25	454	318	1022	341
	50	448	314	672	672
	75	442	309	331	994
	100	436	305	0	1308

実験 2

表 - 4 は $W/C=50\%$ 、60%のモルタルに微粉末をセメントの一部に 20%置換し、細骨材に 0%、50%、100%の再生細骨材を置換したモルタルの調査。

表 - 4 セメント置換モルタルの調査

W/C (%)	RS置換率 (%)	Weight(kg/m^3)				
		C		W	S	
		OP	FP		NS	RS
50	0	504	126	315	1260	0
	50	491	123	307	614	614
	100	479	120	300	0	1199
60	0	474	119	356	1186	0
	50	463	116	347	579	579
	100	452	113	339	0	1131

実験 3

表 - 5 は $W/C=50\%$ 、60%の細骨材の一部に 30%、50%の微粉末を置換し、細骨材に 0%、50%、100%の再生細骨材を置換したモルタルの調査。

表 - 5 再生微粉を細骨材置換モルタルの調合表

W/C (%)	微粉置換率 (%)	RS置換率 (%)	Weight(kg/m ³)				
			OP	W	S		
					NS	RS	FP
50	30	0	630	315	882	0	378
		50	614	307	430	430	368
		100	599	300	0	839	360
60	30	0	593	356	830	0	356
		50	579	347	405	405	347
		100	565	339	0	792	339
	50	0	593	356	593	0	593
		50	579	347	290	290	579
		100	565	339	0	566	566

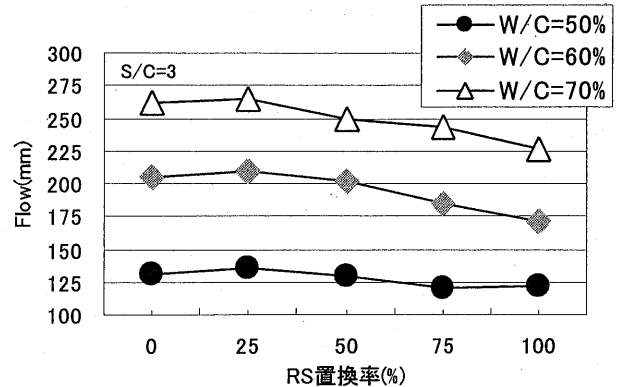


図-2 RS置換率によるFlow値の変化

3.3 実験のやり方

供試体は計画した材料をモルタルミキサーにより空練り5分、加水後1分間練り混ぜフロー試験を行い4cm×4cm×16cm型枠に詰め表面をならした供試体を作成し、打設後1日で脱型を行った。28日間水の中(温度20±1℃)で養生した。所定の養生後、曲げ、圧縮強度試験を行った。

4. 結果と考察

4.1 再生細骨材の混合比率を変えたモルタルの物性

(1) モルタルの物性

本研究の微粉末の有効利用の前段階の予備実験として細骨材への再生細骨材適用〈一次〉について実験を行った。再生細骨材を川砂〈細骨材〉に置換したモルタルの性状を明らかにするため、モルタルの基本調合を水セメント比3水準の置換混合比率50%、60%、70%について再生細骨材0%、25%、50%、75%、100%と天然細骨材への検討をする。

(2) モルタルの流動性

水セメント比の増加につれてFlow値は大きくなる。しかし、再生細骨材を細骨材〈川砂〉の代わりに一部置換させると、図-2からわかるように再生細骨材25%置換した場合には川砂細骨材100%使用のFlow値を上回り25%以上では少しずつ低下する傾向にあった。よって、フロー試験に関しては再生細骨材置換率50%までならば、再生細骨材を川砂細骨材に置換して起こる影響は少ないと考えられる。この理由として、再生細骨材25%置換程度であれば再生細骨材の粒度が川砂の粒度より大きいためと考えられる。それに対して再生細骨材置換率25%以上になると、再生骨材に付着している微粉末が水分を多く吸収することが粒度による改善をさまたげ低下したと考えられる。

(3) 硬化モルタルの基礎物性

再生細骨材置換率が増加するにつれてモルタル密度は小さく、圧縮強度も小さくなる。この理由は、再生細骨材の密度(2.3g/cm³)が細骨材〈川砂〉の密度(2.6g/cm³)に比べて小さいためである。また、その密度低下に合わせ強度も低下していると考えられる。また当然のことながら水セメント比が増大するにつれて、モルタル密度は小さく、圧縮強度も低下する傾向にあった。

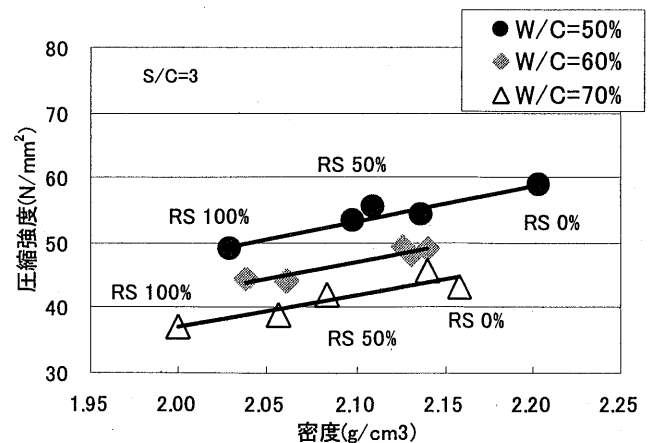


図-3 水セメント比別の密度と圧縮強度の関係

4.2 セメントに再生微粉末を置換したモルタルの物性

(1) モルタルの物性

リサイクル微粉末は非常に微細で、わずかながら水硬性硬化性があることからセメント成分への適用について検討する。ここでは、コンクリートリサイクル微粉末を20%セメント置換したモルタルのフレッシュ性状、硬化後の強度試験を行い、モルタルの品質を検討する。さ

らに、再生細骨材を川砂（細骨材）に混入することで再生微粉末と再生細骨材の両方のリサイクル材料の複合利用範囲を検討する。水セメント比 50%、60%の再生細骨材置換モルタル（表 - 4 参照）にセメントの内割質量比で 20%の再生微粉末を混入し、モルタルを 6 水準製作する。フレッシュモルタルの Flow 試験後供試体を打設、成型し恒温室に保存した。28 日まで水中（20℃）養生したあとに圧縮強度試験を行った。また、微粉末をセメントに置換したことによる影響を的確に把握するため、標準砂を用いたセメント強さ試験を行った。

(2) モルタルの流動性

図 - 4 にセメント細骨材比 (S/C=2) の再生細骨材置換率別による水セメント比 2 水準における Flow の関係を示す。この図よりプレーンモルタル同様、セメント 20% 微粉置換したモルタルの Flow 値は水セメント比が増加するにつれて大きくなり、骨材が再生細骨材に 50%、100%置換しても同様の結果を示した。モルタルの Flow 値に関する限り再生細骨材置換率が 50%までならば、再生細骨材を川砂（細骨材）に置換して起こる Flow 値低下の影響は少ないと思われる。この理由は微粉末の粉末度がほぼセメント (OP) と同値であるためであると考え

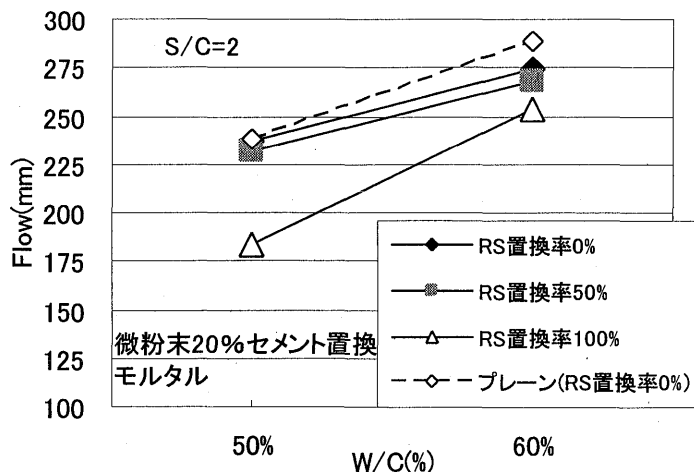


図-4 RS置換率別の水セメント比とFlowの関係

(3) 硬化モルタルの基礎物性

図-5 にセメント細骨材比 : S/C=2 の供試体密度と圧縮強度の関係を示す。セメント 20%微粉置換してもプレーンモルタルと同様に、再生細骨材置換率が増加すると密度は小となり、圧縮強度は減少する。また水セメント比が 50%から 60%に変われば密度と圧縮強度の低下率

はより顕著となる。

セメント 20%微粉置換したモルタルをプレーンモルタルと比較してみると、セメントに微粉置換することで、供試体密度はセメントの密度 (3.15g/cm³) と微粉末の密度 (2.55g/cm³) の差だけ小さくなる。圧縮強度では水セメント比 50%で 14%~23%、水セメント比 60%で 22%~35%程度プレーンモルタルに比べ低下するものの、強度上コンクリートへの適用があることが認められる。

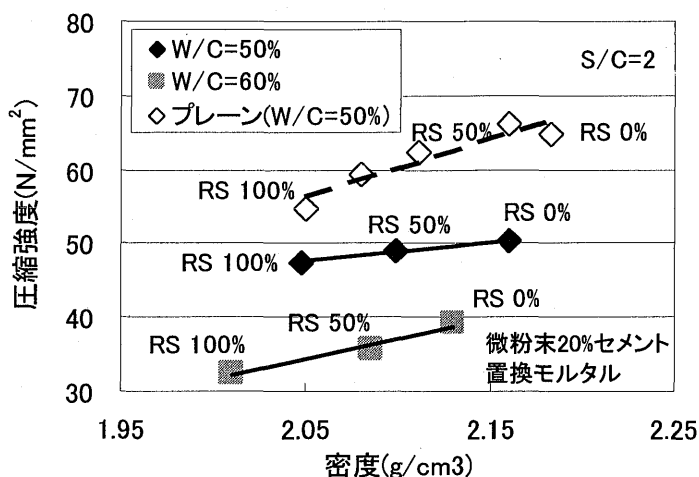


図 - 5 水セメント比別の密度と圧縮強度の関係

4.3 再生微粉末を細骨材の一部に置換したモルタルの物性

(1) モルタルの物性

ここでは、リサイクル微粉末の細骨材としての適用性について検討する。微粉末を細骨材の 30%置換したモルタルの Flow 試験、圧縮強度試験を行い、モルタルの品質を検討する。再生微粉末を細骨材と外割り置換することで微粉末と再生細骨材の両リサイクルコンクリート再生材料の利用範囲が拡大するものと考え検討する。調査を水セメント比 2 水準 50%、60%のセメント細骨材比 : S/C=2 に設定し、骨材質量の 30%を微粉末に置換する。さらに残りの細骨材の内割質量比で 0%、50%、100%再生細骨材置換した場合について実験した。フレッシュモルタル練混ぜ後 Flow 試験を行い型枠に充填成型し供試体を作成。材齢 28 日まで水中 (20℃) 養生後に、圧縮強度試験を行った。微粉末を細骨材置換すると骨材に比べ表面積の多い微粉末の混入率の増加によりフレッシュモルタルの流動性が著しく低下することが明らかとなった。再生微粉を多量に置換出来ても流動性の低下を防

ぐことは再生コンクリートの利用上重要な点であるといえる。そのため流動性改善の目的で微粉末を細骨材置換したモルタルに AE 減水剤の利用を実験し、比較した。実験は調合（水セメント比 60%、骨材比 S/C=2）に AE 減水剤をセメントの質量の 1.5% 添加した。

(2) モルタルの流動性

図 - 6 に微粉末を細骨材の 30% 置換したモルタルの水セメント比と Flow の関係を示す。この図よりプレーンモルタル同様、細骨材 30% 微粉置換モルタルでも Flow 値は水セメント比が 50% から 60% に増加するにつれて約 50mm 大きくなり、この傾向は骨材が再生細骨材に変化しても同様である。再生細骨材の置換率が Flow 値も 30~40mm 低下するものの、再生細骨材を川砂(細骨材)に置換してさらに微粉を混入して起こる影響は大きいと思われる。

図 - 7 に細骨材の 30% 及び 50% 再生微粉で置換したモルタルに高性能 AE 減水剤を添加混入したときの Flow 値の改善効果を示す。AE 減水剤(無添加)モルタルの Flow 値は再生細骨材置換率を増加させるにつれて低下する傾向にあるのに対して、AE 減水剤を混入させることによって再生細骨材置換率を増加させても Flow 値を一定に保つことが出来た。再生細骨材置換率 100% では再生細骨材にも骨材表面に微粉末が付着しているため AE 減水剤無混入の場合には Flow 値が低下してしまう。よって、AE 減水剤は再生細骨材と微粉混入が増加するモルタルの流動性改善に一定の効果があるといえる。

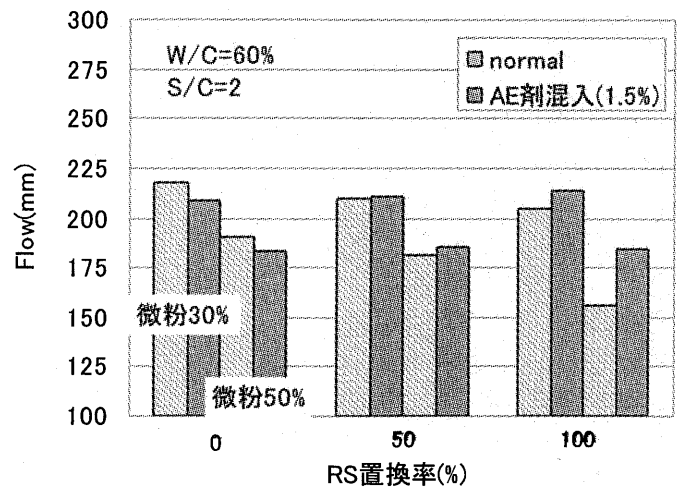


図-7 AE減水剤のFlow値改善への効果

(3) 硬化モルタルの基礎物性

図 - 8 に供試体の密度と圧縮強度の関係を示す。水セメント比が 50%~60% に増大すると密度と圧縮強度も減少する傾向にあるのはプレーンと同様である。再生細骨材置換率が増加するにつれて密度は小さくなるものの、圧縮強度は逆に大きくなる。これは微粉末中にセメントの未水和反応成分と反応したこと、再生細骨材と微粉末との付着効果が影響したものと考えられる。

プレモルタル細骨材置換のモルタル強度を比較する。微粉末の密度 (2.55g/cm³) と再生細骨材の密度 (2.35g/cm³) の関係から密度が増加し、強度も増大する傾向にあると思われる。また、再生細骨材置換率 0% ではプレモルタルとの差異はあまり無いが、再生細骨材置換率を増加させるにつれて、プレーン材との圧縮強度の差異は大きくなる傾向を示した。一方、図 - 9 に W/C=60% 細骨材の 30% 及び 50% を微粉により置換し、高性能 AE 減水剤を添加混入させたときのモルタル密度と圧縮強度の関係を示す。再生細骨材置換率が 0%、50%、100% と変化するにつれて密度は小さくなるものの、圧縮強度は大きくなる傾向は AE 減水剤無混入とほぼ同じである。微粉置換率 30% では、AE 減水剤を混入させると密度はほぼ 2.15~2.17(g/cm³) とほぼ一定になるが、圧縮強度は変わらず密度が増加しても強度の増加は認められなかった。しかし、微粉置換率 50% では置換率 30% より密度は低下するものの、強度は増加している。このことより、微粉を多く置換した場合するほど AE 減水剤の効果は大きいのではないかとと思われる。

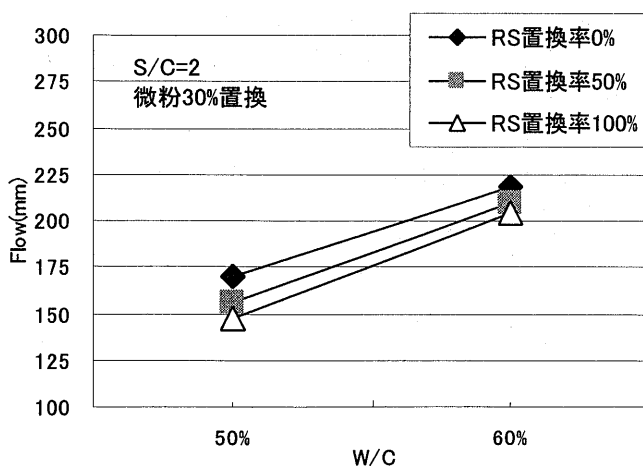


図-6 RS置換率別の水セメント比とFlow値の関係

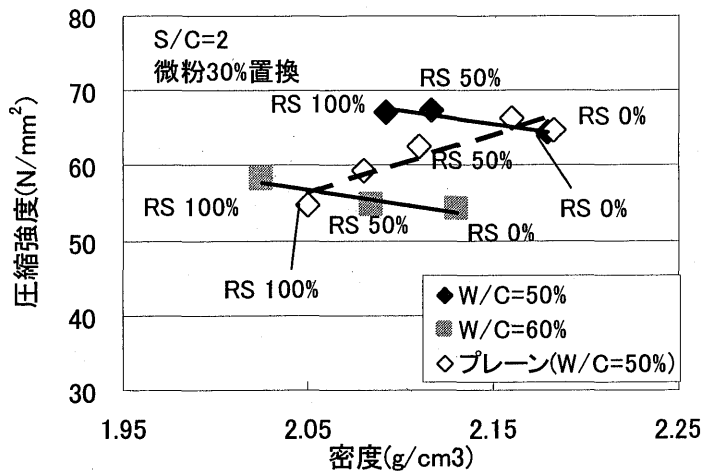


図-8 水セメント比別の密度と圧縮強度の関係

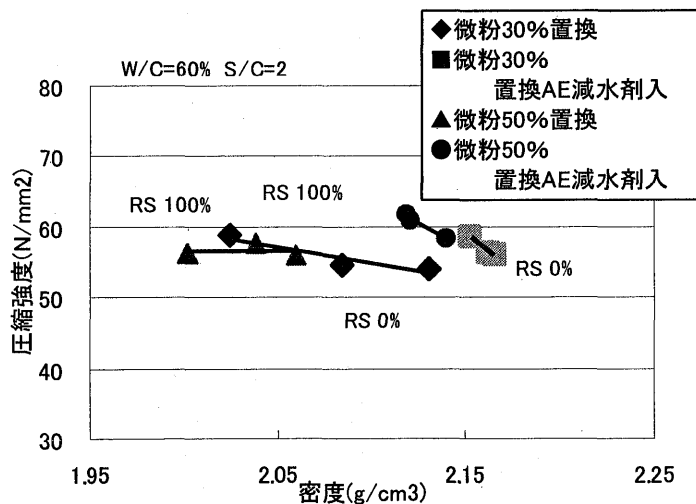


図-9 AE減水剤混入による密度と圧縮強度の変化

4. まとめ

- 1) 川砂(細骨材)へ再生細骨材の置換率は25%までFlow値がわずかに増加する傾向にあり、強度の低下も少ない。これ以上の置換は、 36N/mm^2 以上の高強度コンクリートには使用上品質の低下傾向が見られるので検討が必要となる。
- 2) 微粉末をセメントに20%置換したものはFlow値に変化がないものの強度が著しく低下するので、高強度を目的としないコンクリート構造物やブロックなどの2次製品への使用が望ましい。
- 3) 微粉末を細骨材置換する場合には再生細骨材の置換率が増えると、強度も増加した。しかしフロー値が著しく低下するため施工性に問題があり、混入率は10%程度と置換率に限界があると考えられる。AE減水剤を添加した場合はいずれの調合も再生細骨材置換率を変えてもフロー値が変わらず、微粉の置換率が高いものの方が強度は高くなる。プレーンと比較すると密度はほぼ変わらずに強度は大きくなったがフロー値に問題が残る。AE減水剤の添加量のある程度増やすことにより解決が出来る考える。

〈謝 辞〉 本研究では中部大総合研究所の補助によるものであり、実験には卒研生畔柳匡洋君、小出剛君、柳原拓也君の支援を得たものである。記して謝意を表す。

〈参 考 文 献〉

- 1) 石倉 武 他 : 再生骨材製造副産微粉の利用技術, Vol. 41, No. 6, pp26 - 35, 2003
- 2) 柳 啓 他 : 再生骨材を混合使用したコンクリートの性質に関する実験的研究, pp37 - 42, 2002
- 3) (株)セメント協会建設副産物利用促進専門委員会 : コンクリート塊から発生する微粉末の有効利用, pp52 - 57, 1998
- 4) 松下 博通 他 : 再生骨材コンクリートの強度および乾燥収縮特性に関する一検討, No. 54, pp476 - 483, 2000