

論文 再生細骨材を用いた流動化コンクリートの流動化効果

戸堀 悦雄*¹・細田 高明*²・嵩 英雄*³

要旨：再生骨材，特に再生細骨材の構造体コンクリートへの適用可能性を把握するために，骨材に付着しているセメント分の異なる再生細骨材を用い，流動化コンクリートの流動化効果及び硬化性状に及ぼす影響について検討した。その結果，再生細骨材中のセメント分が増加，あるいは細骨材量が増加するにつれて流動化効果が低下したが，粉碎処理により骨材中のセメント分を低減した再生細骨材では普通細骨材とほぼ同等の流動化効果が得られることが明らかになった。また硬化性状は，再生細骨材の品質に影響されずほぼ同等の性能を有することが確認された。

キーワード：再生細骨材，流動化コンクリート，流動化効果，付着セメント量

1. はじめに

コンクリート構造物の解体に伴って発生するコンクリート塊を再生骨材として利用する研究が数多くなされており，再生粗骨材については高品質の製造法が開発されている^{1)・2)}。しかし，高品質の再生粗骨材は収率が低く，同時に発生する再生細骨材及び微粉末の利用も促進されなければならない。昨年度報告した実験^{3)・4)}及び既往の研究⁵⁾から，再生細骨材の品質がコンクリートの品質（フレッシュ及び硬化物性）に大きく影響を与えることが確認されているが，再生細骨材の品質と，フレッシュ性状や化学混和剤との関係についてはあまり検討されていない。

本研究は，種々の再生細骨材を使用したコンクリートについて，化学混和剤として流動化剤を取り上げ，流動化効果に及ぼす再生細骨材の品質の影響及び硬化性状について検討し，再生細骨材コンクリートの利用可能性を評価することを目的とする。

2. 使用材料

セメントは市販の普通ポルトランドセメント

を3銘柄等量混合して使用した(比重=3.16, 比表面積=3310cm²/g)。

再生細骨材試料として3種類の再生細骨材を用いた。これら再生細骨材の製造方法を表-1に，骨材の性状を表-2に示す。再生Bに対し二次処理を行った再生細骨材(再生A)は，再生Bと比較して吸水率が低く比重が増加しており，細骨材としての品質が向上している。一方，再生Bに再生微粉を加えた再生細骨材(再生C)は，吸水率が増加及び比重が低下しており，低品質の細骨材と見なすことができる。

表-1 再生細骨材の製造方法

種類	製造方法
再生A	再生Bを高温処理(150℃, 6h)した後、可傾式ミキサで碎石を媒体として15分間高速攪拌。さらに0.15mm以下の再生微粉を取り除いた
再生B	プラントで製造されたものをそのまま使用
再生C	再生Bに、二次処理で発生した再生微粉を15%混合

表-2 細骨材の性状

細骨材種類	表乾比重	吸水率 (%)	洗い損失量 (%)	実績率 (%)	粗粒率
山砂	2.58	4.3	2.0	65.7	2.65
再生A	2.32	8.7	2.1	73.4	2.92
再生B	2.27	11.9	7.8	74.4	2.78
再生C	2.24	17.7	16.4	78.2	2.46

*1 ライオン(株) 研究開発本部 化学品研究所(正会員)

*2 ライオン(株) 研究開発本部 化学品研究所

*3 工学院大学教授 工学部建築学科 工博(正会員)

再生粗骨材は、細骨材と同様のプラントで製造されたものをそのまま使用した（最大寸法20mm, 表乾比重2.44, 吸水率5.15%, 実績率61.0%, 粗粒率6.72）。比較として使用した普通骨材には山砂及び碎石（最大寸法20mm, 表乾比重2.72, 吸水率0.54%, 実績率60.1, 粗粒率6.63）を使用した。

またベース混和剤としてリグニン系のAE減水剤を使用し、流動化剤にはポリスチレンスルホン酸系の粉体流動化剤（標準形）を用いた。

3. 流動化効果に及ぼす再生細骨材種類の影響

3.1 実験概要

再生細骨材の種類及び量が流動化効果に及ぼす影響を検討するため、モルタルによる流動化実験を行った。表-3に実験の要因及び水準を示す。実験は、細骨材種類の影響を調べるために同一の原骨材からなり、品質の異なる再生細骨材（再生A, B, C）と比較用の山砂について行った。また細骨材量の影響を調べるため、水セメント比を60%, 50%の2段階、及びベース（ミニ）スランブを4cm, 6cm, 7.5cmの3段階変化させた。

表-3 実験の要因及び水準

要因	水準
細骨材	山砂, 再生A, 再生B, 再生C
水セメント比	50%, 60%
Λ-スランブ	4cm, 6cm, 7.5cm

3.2 モルタルの調合

モルタルの調合は、あらかじめコンクリート調合を計算し、粗骨材を除いたものとした。各細骨材について同一AE減水剤量にてそれぞれのスランブが得られるように、砂/セメント比を変化させた。モルタルの調合を表-4に示す。

3.3 実験方法

(1)モルタル実験

モルタルには2.5mmふるいを通過した表乾状態の細骨材を使用した。流動化はベースモルタル練り上がりから15分後に流動化剤を添加し、60秒攪拌した。流動化前後のモルタルの流動性評価はJIS A 1173のミニスランブ試験により行い、

表-4 モルタルの調合

細骨材種類	Λ-スランブ (cm)	水/セメント比 (%)	砂/セメント比	AE減水剤 (Cx%)
山砂	4.0	60	3.21	0.20
	6.0		3.00	
	7.5		2.86	
	6.0	50	2.37	
再生A	4.0	60	2.88	0.20
	6.0		2.70	
	7.5		2.57	
	6.0	50	2.13	
再生B	4.0	60	2.74	0.20
	6.0		2.56	
	7.5		2.44	
	6.0	50	1.97	
再生C	4.0	60	2.31	0.20
	6.0		2.15	
	7.5		2.05	
	6.0	50	1.68	

空気量はJIS A 1128に準じた方法で測定した。

(2)再生細骨材の付着セメント量の測定

再生骨材中の付着セメント量を試験するため、所定粒度の絶乾状態の再生細骨材50gに5%塩酸水溶液200gを加え、細骨材に付着したセメント分を溶解させた。毎日塩酸水溶液を取り替え、5日後の質量減少量を付着セメント量とした。

(3)細骨材に対する流動化剤吸着量の測定

絶乾状態の再生細骨材とアルカリ水(pH=13)を1:1で混合し15分間攪拌した後、流動化剤を所定量添加して15分間吸着処理させた。細骨材を濾過し、濾過液中の流動化剤濃度を紫外可視吸光光度計により測定し、吸着量を求めた。

3.4 結果及び考察

(1)再生細骨材を用いたモルタルの流動化効果

ベースのミニスランブ6cm, 水セメント比60%での流動化剤添加量とスランブ増大量（流動化後スランブ-ベーススランブ）の関係を図-1に示す。全ての細骨材について、流動化剤の添加によりモルタルスランブはほぼ直線的に増加した。細骨材種類によりスランブ増加量が変化し、流動化効果は再生細骨材の吸水率の増加に伴い減少することが確認された。また、全ての実験において流動化前後のモルタル空気量は

±1%程度の増減であり、再生細骨材の種類及び調合による特異な傾向は見られなかった。

再生細骨材を二次処理した再生Aは、普通骨材と同程度の流動化効果を示し、二次処理を行うこと、すなわち再生細骨材表面のセメント分を低減することにより、普通骨材の品質に近づくことがわかった。

図-2に同様の実験をW/C=50%で行った結果を示す。W/C=60%の場合と比較して、全ての再生細骨材について、流動化効果が大きい結果となった。普通骨材系の流動化効果はモルタル・コンクリートの調合により変化しないことが報告されており⁶⁾、この現象は再生細骨材に起因するものと考えられる。

この現象を詳細に検討するため、各細骨材について、ベーススランプを変化させた場合、すなわち砂/セメント比を変化させた場合の流動化剤添加量とスランプ増大量を測定し、スランプ増大量が5cmになる流動化剤添加量を砂/セメント比(体積%)に対してプロットしたものが図-3である。図より、再生細骨材の品質低下に伴い、流動化剤添加量に対する砂/セメント比の影響が顕著に現れていることがわかる。

(2)流動化効果に及ぼす影響因子

再生細骨材を用いた場合に流動化効果が低下するのは、再生細骨材表面に付着したセメント分であると考えられる。表-5は使用した再生細骨材をふるい分けし、各粒度における5%塩酸溶解量を付着セメント量として測定した結果である。各再生細骨材において、全体として約20~30%程度のセメント分が含まれており、また粒度の小さいものほどセメント分を多く含むことが確認された。

二次処理を行った再生細骨材Aは全粒度範囲で付着セメント量が減少しているが、比較的大きい細骨材のセメント分が低下していることがわかる。一方、再生微粉を加えた再生細骨材Cは粗粒子におけるセメント分はあまり変化せず、小さい粒度においてセメント分が増大している。

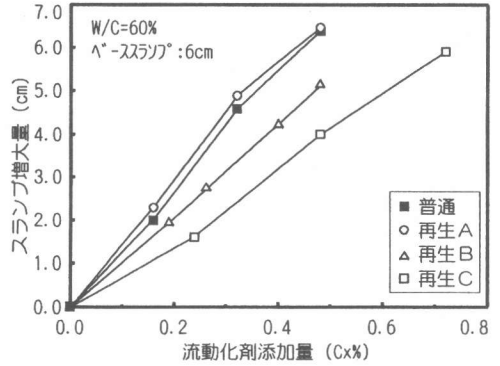


図-1 流動化剤添加量とスランプ増大量の関係(W/C=60%)

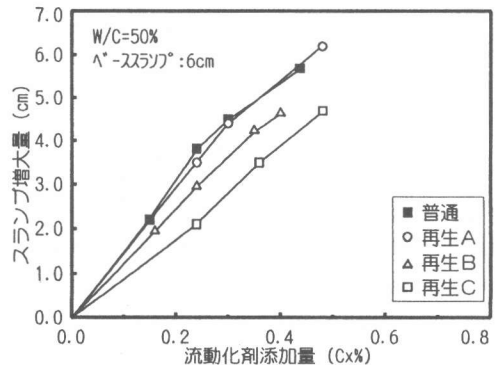


図-2 流動化剤添加量とスランプ増大量の関係(W/C=50%)

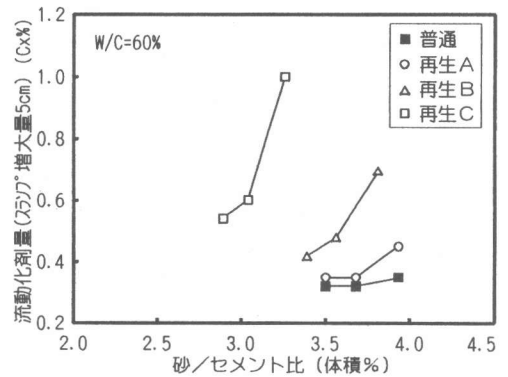


図-3 砂/セメント比(体積比)とスランプ増大量5cmでの流動化剤添加量の関係

表-5 細骨材中の付着セメント量 単位:%

種類	粒度0.15 ~0.3	0.3 ~0.6	0.6 ~1.2	1.2 ~2.5	2.5 ~5	5 ~10	骨材 全体
山砂	2.5	2.1	1.4	0.7	0.7	0.5	1.3
再生A	29.9	23.5	20.2	18.5	15.5	10.8	19.7
再生B	32.0	29.9	27.2	26.7	25.2	24.5	27.6
再生C	55.1	33.5	30.2	27.4	27.2	24.5	33.0

これら細骨材に付着しているセメントと流動化剤の作用について考察するため、各細骨材に対する流動化剤吸着量を測定した。その結果を図-4に示す。普通骨材では全ての粒度において流動化剤はほとんど吸着しないのに対し、再生細骨材では特に0.15~0.6mmの細骨材において非常に高い吸着性を示すことがわかった。これは小さい粒度の骨材には付着セメント分が多いこと、またこの範囲に含まれる付着セメント分や遊離再生微粉の比表面積が大きいことに起因していると考えられる。

以上の結果より、流動化効果の低下は、再生細骨材中のセメント分に流動化剤が吸着し、実際のセメントの分散に寄与する流動化剤量が減少するために、再生細骨材の付着セメント分が多い場合や再生細骨材量の多い場合におこることがわかった。すなわち、再生細骨材の品質や調査の違いにより流動化効果が大きく影響を受けることを意味する。本研究では流動化剤について検討したが、AE減水剤や高性能AE減水剤についても同様の傾向が得られると考えられ、これら化学混和剤の使用にあたってはさらなる検討が必要である。

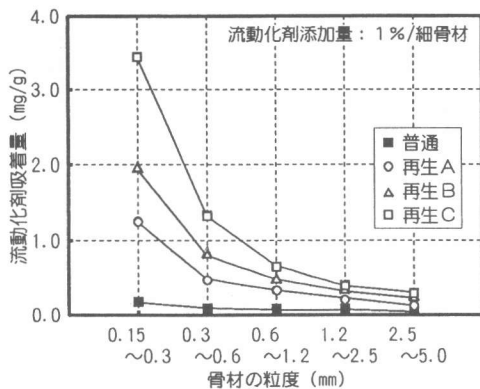


図-4 流動化剤の細骨材への吸着量

4. 再生細骨材を用いた流動化コンクリートの物性

4.1 実験概要

モルタルによる再生細骨材の流動化効果をコンクリートで確認すること、また品質の異なる再生細骨材を使用した流動化コンクリートのフレッシュ及び硬化性状について検討するため、コンクリート実験を行った。

実験は、再生粗骨材と再生細骨材3種類を組み合わせたもの、及び比較として普通骨材(山砂+碎石)について行った。これらの系におけるフレッシュコンクリート及び硬化コンクリートの物性を、表-6の試験項目により評価した。

4.2 コンクリートの調査及び練り混ぜ

コンクリートの調査を表-7に示す。ベースコンクリートのスランプは12cm、空気量4.5%とし、流動化後のスランプは21cmに設定した。水セメント比は60%に固定し、AE減水剤は全ての調査で一定量とした。またコンクリートの練り混ぜはパン型ミキサにより行い、ベースコンクリートの試験後コンクリートを可傾式ミキサに移し替え、練り上がり15分後に流動化剤を所定量添加し、60秒間攪拌して流動化コンクリートを製造した。

表-6 試験項目と方法

項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101
空気量	JIS A 1128
フリーズ・イック量	JIS A 1123
凝結時間	JIS A 6204
圧縮強度	JIS A 1108
静弾性係数	JIS 原案
乾燥収縮率	JIS A 1129

表-7 コンクリートの調査

調査No.	骨材の組合せ		スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
	細骨材	粗骨材					W	C	S	G	ad
1	山砂	碎石	12	4.5	60	46.5	172	287	830	1000	2.15
2	再生A	再生粗骨材	12	4.5	60	46.5	172	287	747	904	2.15
3	再生B	再生粗骨材				46.1	175	292	720	904	2.19
4	再生C	再生粗骨材				43.6	190	317	659	904	2.38

表-8 フレッシュコンクリート試験結果

調合 No.	骨材の 組合せ	ベースコンクリート		流動化 剤量 (Cx%)	流動化コンクリート			フリー ティング (cc/cm ²)	凝結時間	
		スランプ (cm)	空気量 (%)		スランプ (cm)	スランプ70- (mm)	空気量 (%)		始発 (min.)	終結 (min.)
1	山砂+	12.5	5.2	—	—	—	—	0.128	420	620
	碎石	12.0	4.5	0.38	21.0	365x350	4.8			
2	再生A+	11.0	5.1	—	—	—	—	0.073	435	600
	再生粗骨材	11.5	5.5	0.41	20.0	320x340	5.3			
3	再生B+	11.5	4.7	—	—	—	—	0.071	400	590
	再生粗骨材	11.5	4.5	0.44	21.5	370x365	4.9			
4	再生C+	11.5	4.8	—	—	—	—	0.043	370	660
	再生粗骨材	12.5	4.8	0.50	21.0	385x360	5.4			

4. 4 結果及び考察

(1)フレッシュコンクリートの物性

表-8 にフレッシュコンクリートの試験結果を示す。再生微粉を混合した再生細骨材Cを用いた場合、単位水量を増加させ、細骨材率を低下させることで所定のベーススランプを得た。モルタル実験と同様、スランプ21cmに流動化するのに必要な流動化剤量は、再生A系は普通骨材系と同程度であったが、再生B、再生Cでは増大することが確認された。昨年の報告³⁾で流動化効果に対する再生粗骨材の影響は無いことが確認されており、再生細骨材中のセメント分の影響により流動化効果が低下したものと考えられる。

また、普通骨材系と比較して再生骨材系ではブリーディングが低下する傾向が見られ、この傾向は再生細骨材中の吸水率の増加と相関している。また、流動化剤添加量の増加に伴うブリーディング量の増大は認められなかった。凝結時間は流動化剤添加量が増加しているにもかかわらず、再生A、再生B、再生Cの順で短くなり、流動化剤添加に基づく凝結遅延の程度も同様の順で小さくなった。これらの傾向は再生骨材中の付着モルタル、セメント分に起因すると考えられる。

(2)圧縮強度及び静弾性係数

5℃及び20℃で養生した各材齢における圧縮強度と材齢28日における圧縮強度比（流動化コンクリート/ベースコンクリート）を図-5に示す。図からわかるように、各材齢において、

普通骨材系に比較して再生骨材系では圧縮強度が小さいが、圧縮強度に及ぼす再生細骨材の種類の影響は小さいことがわかる。また、強度の発現傾向も細骨材種類や養生温度に影響されないことが確認された。

また、各コンクリートの圧縮強度比は100±5%の範囲で推移し、圧縮強度に対して流動化剤添加量の影響、及び再生骨材の品質の影響はほとんどないといえる。

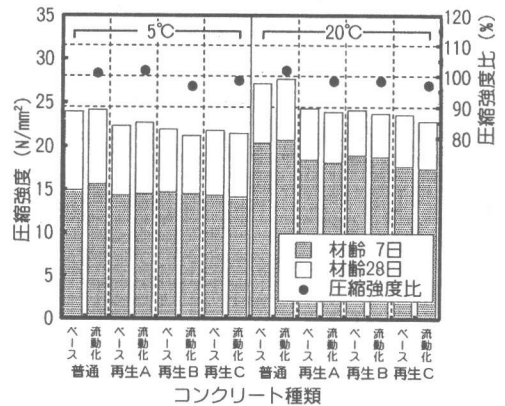


図-5 圧縮強度及び圧縮強度比

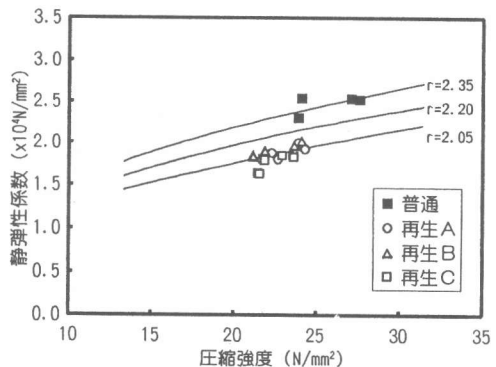


図-6 圧縮強度と静弾性係数の関係

図-6に各コンクリートの材齢28日における圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。日本建築学会の静弾性係数評価式における単位容積重量を2.05~2.35に変化させた際の計算値を同時に示したが、再生骨材系も建築学会式と良く一致し、かつ再生細骨材種類の影響も認められない。

(3) 乾燥収縮

図-7に各コンクリートにおける乾燥収縮率の測定結果を示す。各骨材の組合せにおいて、ベースコンクリートと流動化コンクリートの乾燥収縮率はほぼ等しく、流動化剤添加の影響は認められなかった。再生細骨材の吸水率の増加に伴って乾燥収縮率は増大するが、単位水量の増加も寄与していると考えられる。また、二次処理した再生細骨材Aにおける乾燥収縮率の低下度合いは小さく、再生粗骨材の吸水率が乾燥収縮率に影響を与えるとの報告⁵⁾を裏付ける結果となった。

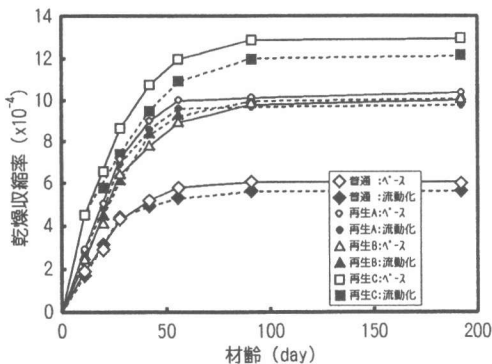


図-7 乾燥収縮量の測定結果

5. まとめ

付着セメント量の異なる再生細骨材を使用し、流動化コンクリートの流動化効果及び硬化性状に与える影響について検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 流動化効果は、再生細骨材中のセメント分が増加、あるいは細骨材量が増加するにつれて低下する。
- (2) 流動化効果が低下する原因は、再生細骨材中

のセメント分に流動化剤が吸着し、実際のセメントの分散に寄与する流動化剤量が減少するためである。

- (3) 再生細骨材に二次処理を施し細骨材表面のセメント分を低減すると、流動化効果は普通骨材系の流動化コンクリートとほぼ同等になる。
- (4) 再生細骨材の品質は流動化コンクリートのブリーディング、凝結、及び圧縮強度に大きく影響を与えない。
- (5) 乾燥収縮率は再生細骨材の吸水率の増加に伴って増大したが、その程度は小さく、再生粗骨材が与える影響が大きいと考えられる。

参考文献

- 1) (財)国土開発技術研究センター：再生コンクリートの利用技術の開発報告書，pp. 38-44，1997
- 2) 難波篤志・阿部道彦・前田弘美：再生コンクリートの力学特性および乾燥収縮に及ぼす再生粗骨材の品質の影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 18，No. 1，pp. 1047-1052，1996
- 3) 戸堀悦雄・嵩英雄・竹間一郎・入田雅文：再生コンクリートを用いた流動化コンクリートの諸性質に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 19，No. 1，pp. 1093-1098，1997
- 4) 嵩英雄ほか：再生骨材を用いた流動化コンクリートの諸性質（その1 流動化効果），日本建築学会学術講演梗概集，pp. 247-250，1997
- 5) 新井暢・中村成春・柘田佳寛・阿部道彦：再生細骨材コンクリートの強度及び変形性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 19，No. 1，pp. 1081-1086，1997
- 6) 嵩英雄・池田正志・大竹隆夫・浅井敏雄：高性能減水剤の遅延添加による高流動コンクリート，セメント・コンクリート，No. 359，pp. 1-9，1977