

論文 再生骨材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

戸堀悦雄*¹ 嵩英雄*² 竹間一郎*³ 入田雅文*³

要旨：再生骨材の利用促進を図るため、普通骨材及び再生骨材を用いた流動化コンクリートについて、流動化効果及び流動化前後の諸性質を比較検討した。砂・再生粗骨材を用いた場合、流動化効果及び硬化性状は普通骨材と同等であった。再生細骨材及び再生粗骨材を使用した場合、流動化効果が小さく所定の流動性を得るためには流動化剤添加量を増加させる必要があるが、流動化前後のコンクリートの品質に大きな違いはなく、流動化コンクリートが適用できることが確認された。

キーワード：再生骨材、流動化コンクリート、粉体流動化剤、乾燥収縮

1. はじめに

高性能減水剤を現場添加する流動化コンクリートは、現在プラント添加型の高性能AE減水剤コンクリートに置き換えられつつある。しかし、流動化コンクリートは品質、施工性及び経済性において優れたコンクリートであり[1]、特に近年開発された粉末パック型の流動化剤[2]はそのハンドリングや添加方法が改良されており、現場での実績も増加している。

一方、建設廃棄物量の低減を目的として、コンクリート構造物の解体に伴って生ずる再生骨材を、構造体コンクリートに適用するための研究が数多くなされている[3]。我々は、再生骨材コンクリートを高品質化する手段として、流動化コンクリートの適用を考えた。この際、①再生骨材中の微粉末、特に未水和のセメント粉末による流動化効果の低下(流動化剤添加量の増加)、②流動化による空気量の増減、③添加量の増加に伴うブリーディング量の増加や凝結遅延、及び硬化物性への影響などが懸念される。このため、再生骨材を使用した流動化コンクリートについて、流動化効果や硬化性状を、普通骨材の流動化コンクリートの場合と比較検討した。

2. 実験概要

流動化効果に及ぼす再生骨材の影響を把握するため、通常の砂・碎石系(Cシリーズ)、粗骨材を再生骨材に置換した系(R1シリーズ)、及び細骨材・粗骨材とも再生骨材に置換した系

(R2シリーズ)についてスランプ8cm及び12cmのベースコンクリートを製造し、流動化剤の種類や流動化剤添加量を変化させた際の流動化前後のコンクリートの諸物性を測定した。なお、流動化剤添加量は0から過大量まで変化させた。また、各シリーズともスランプ18cmの軟練りコンクリートを標準コンクリートとした。実験の要因及び水準を表-1に示す。

表-1 実験の要因及び水準

要 因	水 準
骨 材	砂+碎石、砂+再生粗骨材、再生細骨材+再生粗骨材
スランプ [°]	8 cm、12 cm
流動化剤種類	A(粉体;ホ [°] リスチレン系)、B(液体;ナフタレン系)

3. 使用材料

セメントは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)。細骨材には陸砂と砕砂の混合砂および再生細骨材を、粗骨材には碎石および再生粗骨材

*1 ライオン(株)研究開発本部化学品研究所(正会員)

*2 工学院大学工学部建築学科教授、工博(正会員)

*3 工学院大学工学部建築学科

を使用した。骨材性状を表-2に示す。再生骨材の原コンクリートは、AE剤無添加で川砂利・川砂を使用したものである。

また、ベースコンクリートの練混ぜにはリグニンスルホン酸系のAE減水剤を使用した。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(A)及びナフタレンスルホン酸系の液体流動化剤標準形(B)を用いた。

4. コンクリートの調合

ベースコンクリートのスランブは8cm及び12cm、標準コンクリートのスランブは18cmとした。空気量はベーススランブ12cmおよび標準コンクリートの場合4.5%、ベーススランブ8cmの場合2.0%に設定した。水セメント比は60%に固定し、全てAE減水剤を使用した。コンクリートの調合を表-3に示す。

表-3 コンクリートの調合

調合種類		空気量 (%)	スランブ (cm)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)							
使用骨材	種別					記号	W	C	S	Sr	G	Gr	ad*
砂+砕石	Λ [*] -ス	C-12	4.5	12	60.0	46.5	170	283	841	—	1008	—	1.06
	標準	C-18	4.5	18	60.0	46.5	180	300	822	—	986	—	1.13
砂+	Λ [*] -ス	R1-12	4.5	12	60.0	46.5	170	283	841	—	—	923	0.85
	再生粗骨材	標準	R1-18	4.5	18	60.0	46.5	180	300	822	—	—	902
再生細骨材	Λ [*] -ス	R2-8	2.0	8	60.0	50.0	162	270	—	798	—	908	0.54
	+	Λ [*] -ス	R2-12	4.5	12	60.0	48.0	170	283	—	728	—	897
再生粗骨材	標準	R2-18	4.5	18	60.0	48.0	180	300	—	712	—	877	0.60

*ad: AE減水剤

5. 実験方法

5.1 コンクリートの練混ぜ及び流動化

ベースコンクリート及び標準コンクリートの練混ぜには、100ℓのパン型強制練りミキサーを使用し、モルタルを40秒混練した後、粗骨材を投入し120秒練り混ぜて排出した。練り上がり量は50ℓとした。

ベースコンクリートの試験後、100ℓの可傾式ミキサーに移し替え、練り上がり15分後に流動化剤を添加し、60秒間攪拌して流動化コンクリートを製造した。

5.2 コンクリートの試験方法

実施した試験項目及び方法を表-4に示す。スランブ、空気量及び圧縮強度試験は全試料について行い、それ以外の試験は、標準コンクリート、ベースコンクリート及びスランブ12cmを21cmまで流動化した流動化コンクリートについて行った。また、試験は全て20±2℃の恒温室で行った。

6. 実験結果と考察

6.1 フレッシュコンクリート

(1)流動化剤添加量とスランブ・空気量

表-2 骨材性状

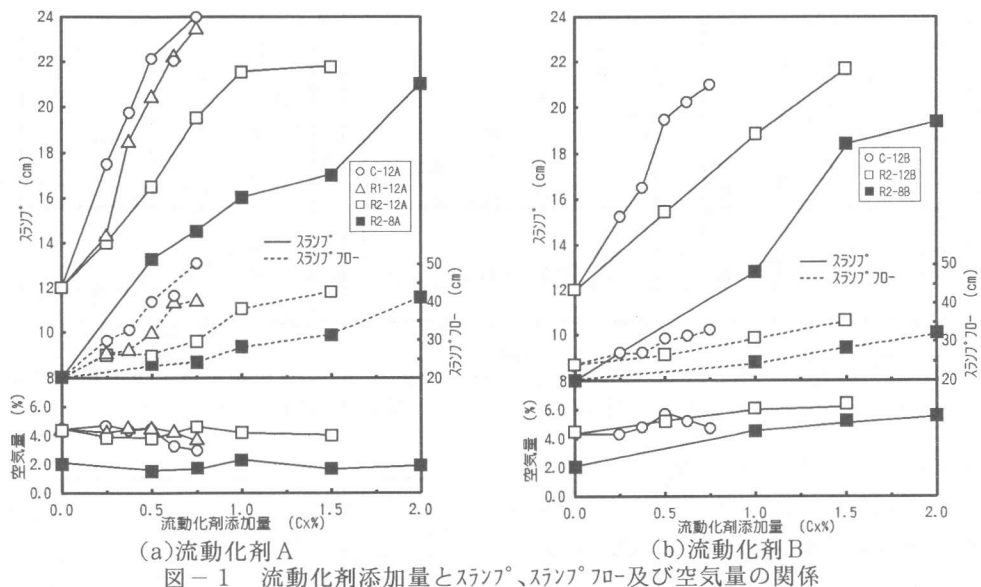
記号	骨材試料種類	絶乾	表乾	吸水率	洗い	実績率 (%)	粗粒率
		比重	比重	(%)	損失 (%)		
S	砕石(君津産)/砕砂(豊産)	2.58	2.60	0.85	1.09	68.3	2.59
Sr	再生粗骨材(東京産)	1.96	2.18	11.10	7.73	74.4	3.21
G	砕石(豊産)	2.69	2.71	0.74	0.28	59.5	6.62
Gr	再生粗骨材(東京産)	2.36	2.48	5.30	1.22	58.4	6.63

表-4 試験項目及び方法

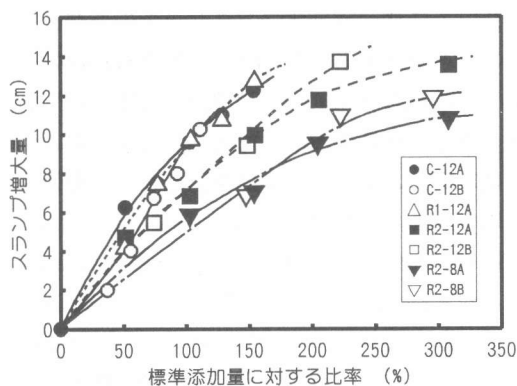
試験項目	方法	頻度	
フコ	スランブ(フロー値)	JIS A 1101	全試料
レン	空気量(単位容積重量)	JIS A 1128	全試料
ック	スランブ・空気量の経時変化	JIS A 6204	*1
シリ	(15, 30, 45, 60, 75分)		*1
ユイ	ブリーディング量	JIS A 1123	*1
ト	凝結時間	JIS A 6204	*1
硬	圧縮強度(1, 4, 13W)	JIS A 1108	全試料
化ク	静弾性係数(4W)	(JIS原案)	*1
コリ	引張強度(4W)	JIS A 1113	*1
ン	乾燥収縮率	JIS A 1129	*1
ト	凍結融解抵抗性	JIS A 6204	*1

1: 標準コンクリート、Λ^{}-スコンクリート及び21cmの流動化コンクリートについて試験

図-1に、流動化剤A及びBの添加量に対するスランプ、スランプフロー及び空気量の変化を示す。いずれの骨材を使用した場合でも、流動化剤添加量の増加に伴いスランプ及びスランプフローは増大したが、使用した骨材の種類によりスランプ及びスランプフローの増加量は変化した。また流動化前後の空気量は、流動化剤Aでは骨材の種類によらずほぼ一定であったが、流動化剤Bでは添加量の増加に伴い空気量が1～2%程度増加した。



ここで、普通骨材系でスランプ12cmから21cmの流動化に要した流動化剤量を標準添加量と定義し、流動化剤添加量の標準添加量に対する比率とスランプ増大量の関係を図-2に示す。同一骨材では流動化剤AとBは流動化効果はほぼ同等であった。骨材に砕砂及び再生粗骨材を使用した場合(R1シリーズ)、流動化効果は普通骨材系(Cシリーズ)と同程度であった。一方、再生細骨材と再生粗骨材の組み合わせの場合(R2シリーズ)は、流動化効果が小さく、同一スランプを得るための流動化剤添加量が増大した。これは、再生骨材中の微粉、特に未水和のセメント粒子に流動化剤が吸着したためと考えられる。またベーススランプ8cm、空気量2%に設定したR2-8シリーズでは、流動化効果がさらに小さくなった。普通骨材系では流動化効果に対するベースコンクリートの種類の影響はないことが報告されており[4]、この現象は単位水量の低下により再生骨材の割合が増加し、再生骨材中の微粉に流動化剤が吸着したためであると考えられる。



(2) スランプ、空気量の経時変化

スランプ、空気量の経時変化の測定結果を図-3に示す。ここで、流動化剤の添加量はCシリーズ

及びR 1 シリーズは0.5Cx%、R 2 シリーズは1.0Cx%である。標準コンクリートは骨材の種類によらずほぼ一定のスランプロスを示すのに対し、流動化コンクリートでは再生骨材を使用した場合、スランプロスが大きく、流動化後60分で標準コンクリートと同程度までスランプが低下した。また、同一骨材では、流動化剤Aは流動化剤Bと比較してスランプロスが小さい結果となった。一方、空気量の経時変化は骨材の種類によらず標準コンクリート、流動化コンクリートとも同様の傾向を示した。

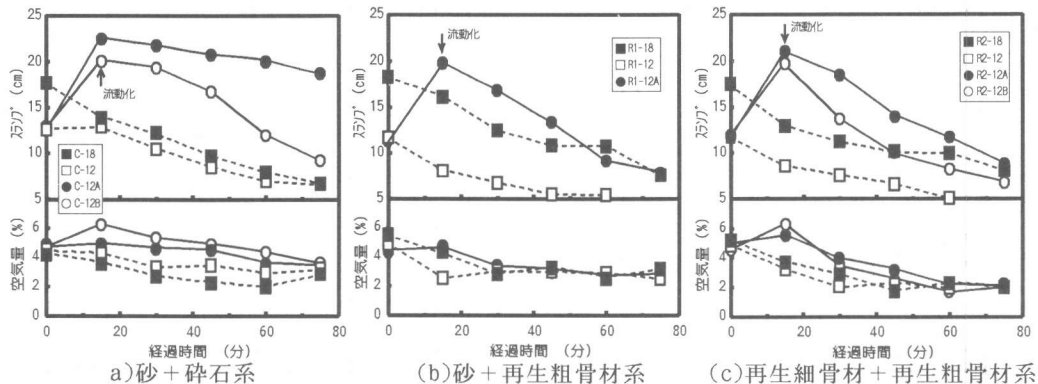


図-3 各種骨材を使用したコンクリートのスランプ、空気量の経時変化

(3) ブリーディング量及び凝結時間

図-4に各種条件におけるブリーディング量及び凝結時間の測定結果を示す。流動化剤添加量は図-3と同様である。骨材の種類によらず、標準コンクリートに比べ流動化コンクリートの方がブリーディング量が低下した。また、再生細・粗骨材を使用した場合流動化剤が多量添加されているが、ブリーディング量の増加は認められなかった。

凝結時間はいずれの骨材でも流動化剤Aを使用した場合遅延したが、流動化剤が多量添加された再生細・粗骨材の場合でも著しい凝結遅延は認められなかった。これらブリーディング及び凝結時間の傾向は再生骨材中の未反応のセメント分が活性化し、ブリーディング量の低下や凝結時間の促進に寄与したためと考えられる。

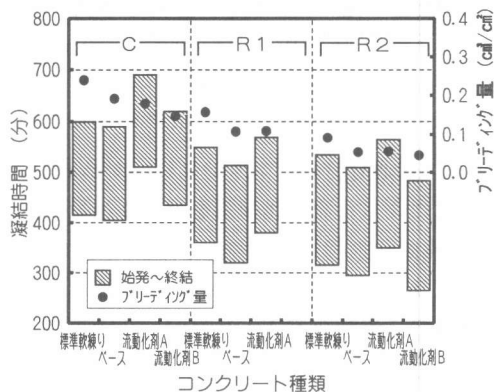


図-4 ブリーディング量及び凝結時間

6. 2 硬化コンクリート

(1) 圧縮強度及び静弾性係数

図-5に各材齢における圧縮強度及び材齢4週での静弾性係数の測定結果を示す。それぞれのシリーズにおいて、標準コンクリートと流動化コンクリートとはほぼ同等の圧縮強度及び静弾性係数を示した。また、R 1 シリーズの圧縮強度はCシリーズとほぼ同等であったが、R 2 シリーズの圧縮

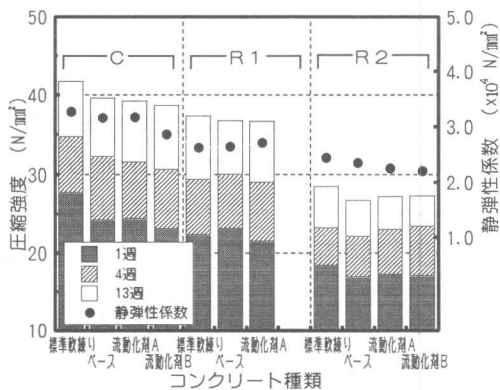


図-5 圧縮強度及び静弾性係数

強度はCシリーズに比べ2/3程度となり、長期材齢においても強度の増加は小さい傾向を示した。これらの傾向は既往の研究結果と一致している[5]。流動化剤添加前後の圧縮強度の比較を図-6に示す。図より、全ての骨材の組み合わせにおいて、流動化による圧縮強度の変化はないと判断される。また、標準添加量に対する流動化剤添加量の比と材齢4週でのベースコンクリートに対する圧縮強度比の関係を図-7に示す。圧縮強度比は $100 \pm 10\%$ で推移し、流動化剤の多量添加が圧縮強度へ及ぼす影響はほとんどないことがわかる。

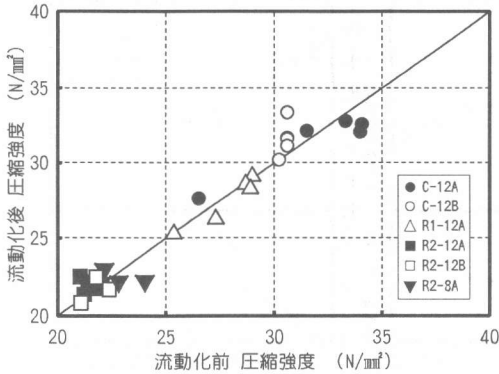


図-6 流動化前後の圧縮強度の比較

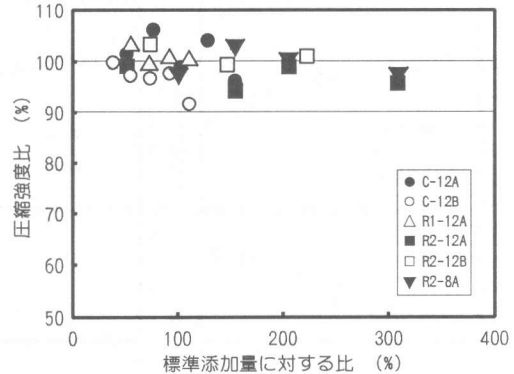


図-7 標準添加量に対する比と圧縮強度比

(2) 引張強度

図-8に標準コンクリート及び流動化コンクリートの材齢4週での引張強度の測定結果を示す。同一骨材の組み合わせでは、標準コンクリートと流動化コンクリートはほぼ同程度の引張強度を示した。また、再生細・粗骨材系では引張強度が低下しているが、引張強度に対する圧縮強度の比は全てのシリーズでほぼ同等であった。

(3) 乾燥収縮

図-9に標準コンクリート及び流動化コンクリートの各材齢における乾燥収縮率の測定結果を示す。材齢13週時の乾燥収縮率は、普通骨材系と比較しR1シリーズで $3 \sim 4 \times 10^{-4}$ 、R2シリーズで $4 \sim 5 \times 10^{-4}$ 程度増加した。これは再生骨材の吸水率が大きい(再生粗骨材:5.3%、再生細骨材:11.1%)ことに起因すると思われる[5]。しかし同じ骨材の組み合わせで比較すると、流動化コンクリートでは標準コンクリートに比べ、乾燥収縮率は $1 \sim 2 \times 10^{-4}$ 程度低下する傾向が見られた。これは、流動化コンクリートの適用により単位水量が低減されたためであり、乾燥収縮率の低減を目的とした流動化コンクリートの適用は有効であると考えられる。

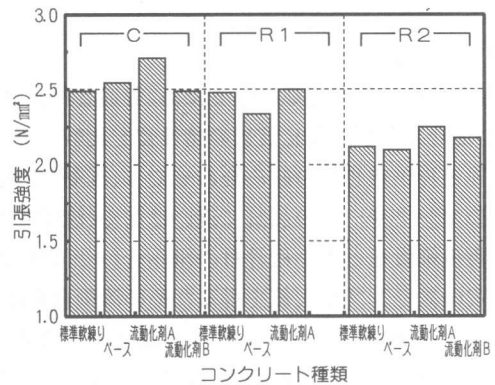


図-8 引張強度

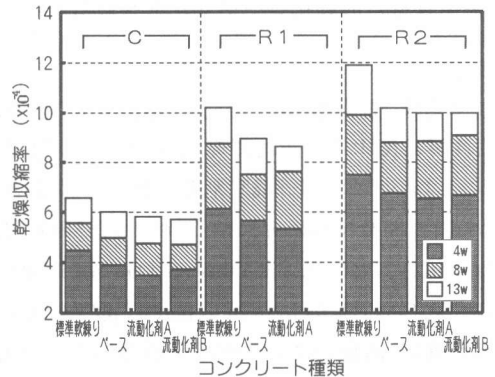


図-9 乾燥収縮率

(4)凍結融解

図-10にそれぞれのシリーズにおける凍結融解抵抗性の試験結果を示す。砂・再生粗骨材系と普通骨材系では凍結融解抵抗性に大きな差はなく、また流動化前後の凍結融解抵抗性に変化は観察されなかった。しかし、再生細・粗骨材系では標準コンクリート、流動化コンクリート共に凍結融解抵抗性が低下し、また質量減少率の結果からスケーリングが増大していることがわかる。これは、使用した再生細骨材の吸水率が大きいためであると考えられる。

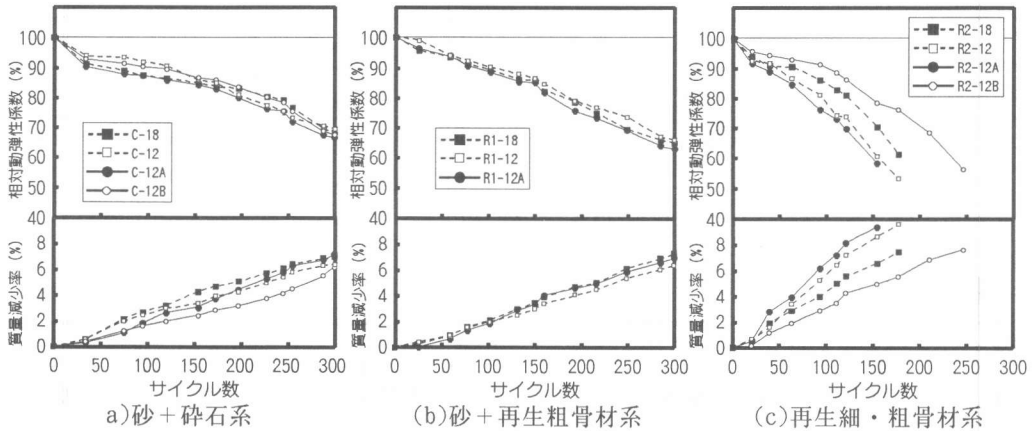


図-10 凍結融解試験結果

7. まとめ

再生骨材の利用促進を図るため、普通骨材及び再生骨材を用いた流動化コンクリートについて、流動化効果及び流動化前後の諸性質を比較検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1)砂と再生粗骨材の組み合わせでは、流動化効果は普通骨材とほぼ同等であった。また流動化前後のコンクリートの品質に違いはなく、流動化コンクリートの適用が可能である。
- (2)再生細骨材と再生粗骨材の組み合わせでは、骨材中の微粉の影響により流動化効果が低下し、所定のスランプ増大量を得るための流動化剤添加量は普通骨材に比べ約2倍必要であった。しかし、流動化剤の多量添加による硬化物性の変化は認められない。
- (3)再生骨材を使用した場合、流動化コンクリートのスランプの経時変化は普通骨材系と比較して大きくなる。
- (4)再生骨材に流動化コンクリートを適用することで乾燥収縮率を低減できる。

【参考文献】

- [1]友澤史紀, 高英雄, 岡田英三郎, 池田正志, 石橋敏, 押田文雄: 流動化コンクリート及び普通コンクリートの工学的性質に関する実験的研究(その4), 日本建築学会大会学術講演会梗概集, pp.207-208, 1985.10
- [2]㈱シーエムシー: コンクリート混和剤の開発と最新技術, pp40-57, 1995.9
- [3](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, 平成7年度報告書, 1995.3
- [4]Kasami H., Ikeda T. and Yamae S.,: On Workability and Pompability of Superplasticized Concrete, ACI SP-62, Superplasticizers in Concrete, pp67-85, Feb.1979
- [5]南波篤志, 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, pp1047-1052, 1996