

論文 再生コンクリートの品質改善に関する実験

南波篤志*¹・阿部道彦*²・棚野博之*³・前田弘美*⁴

要旨：コンクリート解体物を原料として製造された再生骨材に関して、それを用いたコンクリートの品質改善方法を検討した。実験の結果、再生コンクリートの強度や耐久性は、高度処理して吸水率を小さくした再生粗骨材であれば、普通のコンクリートと同等な値となることがわかった。また、高性能A E減水剤を用いることによって、再生コンクリートでも他の骨材の場合と同様にその品質を改善できることがわかった。

キーワード：再生骨材、高度処理、吸水率、高性能A E減水剤

1. はじめに

コンクリート構造物の解体時に発生するコンクリート塊の再利用率は現在 50%程度であり、その用途のほとんどが基礎の裏込めや路盤材となっている。しかしながら、解体コンクリート量は今後増加する一方と予想されており、再利用率を高めるためには建築物の躯体への利用を促進する必要がある。これまで、通常の処理レベルの再生骨材を普通骨材に混合した場合については多くの研究が行われてきたが、近年の破碎技術の進歩によって高度処理された骨材を用いたコンクリートに関する研究はいまだ不十分であるといえる。また、減水性の高い混和剤の適用性についても検討が行われていない。

本研究では、再生コンクリートの品質を改善することを目的として、従来の水セメント比を低減した場合や再生骨材に普通骨材を混合した場合の他、再生骨材を高度処理した場合や高性能A E減水剤を使用した場合について、実験的検討を行なった。

2. 実験計画

再生コンクリートの品質を改善する手段として、図-1のようなことが考えられる。

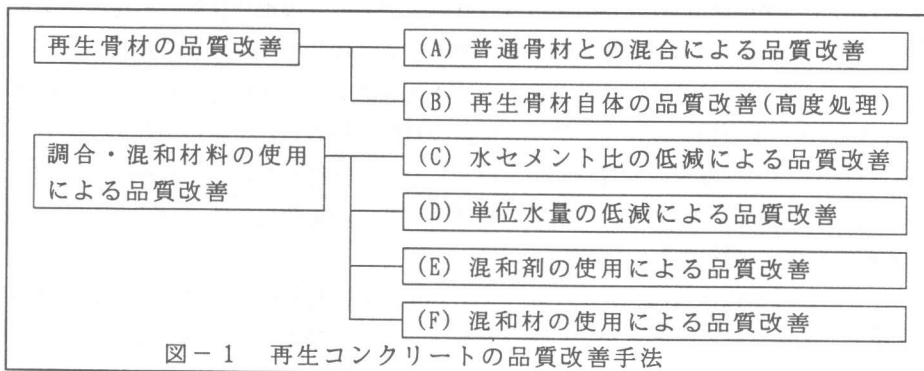


図-1 再生コンクリートの品質改善手法

*1 建設省建築研究所第二研究部無機材料研究室、工修（正会員）

*2 建設省建築研究所第四研究部施工技術研究室、工博（正会員）

*3 建設省建築研究所第二研究部無機材料研究室、工博（正会員）

*4 建設省建築研究所第二研究部無機材料研究室

このうち(A)と(C)は従来すでに検討されているものであるが、今回新たに(B), (D), (E) について検討を行った。(B)では再生骨材の製造工程において、処理回数を増加することによって品質を改善するのであるが、今回対象とした再生骨材の品質は、吸水率で約3%、5%、7%の3種類とした。(D)及び(E)では混和剤としてA E減水剤と高性能A E減水剤を使用した場合を比較した。また、水セメント比は通常の強度から高強度まで含めて40%、45%、55%、および65%の4水準とした。表-1に実験の要因と水準を、表-2に実験の範囲を示す。

普通骨材として碎石と砂利の2種類を用いたのは、再生骨材の品質評価を行う場合に比較用の骨材の品質の位置付けが重要である¹⁾ため、再生骨材と同程度の実積率を持ち、かつ吸水率の小さい碎石と、実積率は小さいが吸水率はやや大きい砂利を選定した。

表-1 実験の要因と水準

要因	水準
粗骨材の種類	砂利、碎石、再生骨材(吸水率3%、5%、7%)、碎石と再生骨材(7%)の混合
混和剤の種類	A E減水剤、高性能A E減水剤
水セメント比	4.0、4.5、5.5、6.5 (%)

表-2 実験の範囲

W/C (%)	混和剤の種類	粗骨材の種類 (カッコ内は吸水率の概略値)						記号
		砂利 (3%)	碎石 (1%)	再生 (3%)	再生 (5%)	再生 (7%)	混合 (3%)	
4.0	A E減	◎	◎○△	◎○△	◎	◎○△	◎	◎
	高性能	◎□◇	◎□◇	◎□◇	◎□◇	◎□◇	◎□◇	◎□
4.5	A E減	◎	◎○	◎	◎	◎○	◎	
5.5	A E減	◎□◇	◎○□◇△	◎○□◇△	◎□◇	◎○□◇△	◎□◇	◎□
	高性能	◎	◎□◇	◎□◇	◎□◇	◎□◇	◎	◎□
6.5	A E減	◎	◎○	◎	◎	◎○	◎	

3. 実験方法

3.1 使用材料

表-3に粗骨材の物理試験結果を示す。再生骨材の原料は、昭和48年に施工され、設計基準強度 $F_c=180(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 、コア強度 $184(\text{kg}/\text{cm}^2)$ のコンクリートであり、現場で破砕した後、再生骨材製造工場でインペラ破砕し、その後高度処理のための軟石処理機²⁾で1~3次処理したものである。本実験には、このうちインペラ破砕だけのもの、1次処理のものおよび3次処理のものを再生粗骨材として使用した。比較用の骨材として、青梅産硬質砂岩碎石と秋田産川砂利を使用した。セメントは普通ポルトランドセメント3銘柄等量混合したものを使用した。混和剤はリグニンスルホン酸系A E減水剤と、ポリカルボン酸系高性能A E減水剤を使用した。

3.2 実験の概要と試験項目

コンクリートの練混ぜには強制パン型ミキサー(容量100ℓ)を用い、砂とセメントを空練りした後、水を投入して1分練り、それから粗骨材を投入して2分練混ぜた。練り量は1バッチ60ℓとした。

調査はスランプ18cm、空気量を4.5として表-4に示す方法で単位水量を設定した。単位粗骨材かさ容積は、骨材の種類や水セメント比、混和剤の種類にかかわらず一定($0.62\text{ m}^3/\text{m}^3$)とした。

コンクリートの供試体の作製および試験については、JISのあるものはそれぞれ当該JISに準じて行った。表-5に試験項目と試験方法を示す。

表-3 骨材の物理試験結果

試料		略称	絶乾比重	表乾比重	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)	安定性 (%)	粗粒率	
粗骨材	再	高度処理3回	再生3%	2.48	2.55	2.94	1.53	61.8	5.2	6.62
		高度処理2回	再生5%	2.36	2.47	4.90	1.45	61.3	8.6	6.61
		イパ°ラブレカ破碎のみ	再生7%	2.24	2.38	6.87	1.36	60.8	18.4	6.62
	比	混合 (30% : 70%) 再生7%+碎石	混合	2.51	2.57	2.56	1.52	60.7	7.3	6.63
		青梅産硬質砂岩碎石	碎石	2.63	2.65	0.72	1.56	59.3	2.6	6.63
		秋田産川砂利	川砂利	2.49	2.56	2.90	1.68	67.5	6.9	6.67
細骨材	大井川水系陸砂 ₁	-	2.57	2.61	1.70	1.78	69.4	-	2.75	
	大井川水系陸砂 ₂	-	2.56	2.60	1.54	1.78	69.5	-	2.77	

表-4 コンクリートの調合条件

コンクリートの種類	混和剤の種類	目標スランプ	目標空気量	単位水量の定め方	単位粗骨材かさ容積
砂利コンクリート	A E減水剤 C*0.25 (%)	18.0 (cm)	4.5±1 (%)	調合設計指針 ³⁾ に準じる	0.62 (m ³ /m ³)
碎石コンクリート				調合設計指針 ³⁾ に準じる	
再生コンクリート				碎石コンクリートと同じ	
砂利コンクリート	高性能A E減水剤			160 (kg/m ³)	
碎石コンクリート	C*0.9 (%)			170 (kg/m ³)	
再生コンクリート				碎石コンクリートと同じ	

4. 実験結果と考察

4.1 調合およびフレッシュコンクリートの性状

コンクリートの調合は表-4の方法で定めたが、再生粗骨材の高度処理により実積率はやや増加するものの単位水量に影響するほどではなく、単位水量は碎石コンクリートとほぼ等しい値となった。また、高性能A E減水剤を使用した場合は碎石コンクリートと同じ単位水量としたが、ほぼ所定の性状のコンクリートを得ることができた。

再生骨材を用いた場合と碎石を用いた場合のコンクリートのスランプ形状や取り扱いやすさを比較した結果、再生骨材の方がやや粘りのある感じで、水セメント比の高いところではむしろワーカビリティが良好であった。この理由としては、再生粗骨材に付着していた微粉分がセメントペーストの粘性を高めたこと、再生粗骨材に付着していたモルタル分が破碎されて細骨材が

表-5 試験項目と方法

試験項目	試験方法	備考
練り上がり温度	————	アルコール温度計を使用
スランプ	JIS A 1101	スランプ°プロ-も測定
空気量	JIS A 1128 圧力法	骨材修正係数により修正
単位容積質量	JIS A 1116	圧力法の容器を使用
ブリーディング	JIS A 1123	
圧縮強度	JIS A 1108	材齢7, 28, 91日
引張強度	JIS A 1113	材齢28日 10φ*20cm
動弾性係数	JIS A 1127	材齢28日
静弾性係数	————	材齢28日 ゴング°レツリメ-タを使用
凍結融解抵抗性	JIS A 6204 付属書2	300サイクルまで
乾燥収縮	JIS A 1129	材齢26週まで

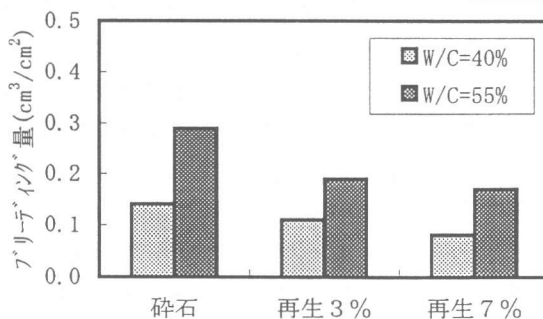


図-2 粗骨材の種類とブリーディング量の関係

増加したのと同様な効果が得られたこと、セメントペーストと粗骨材粒子との付着が碎石に比べて良いことなどが考えられる。

図-2は粗骨材の種類とブリーディング量の関係を比較したものであるが、ブリーディング量は再生骨材を用いたものの方が少なくなり、吸水率の高い、すなわち処理回数の少ない再生骨材ほど少ないという結果を得た。これは再生骨材に付着するモルタルの量に起因すると考えられる。

4.2 セメント水比と圧縮強度の関係

図-3はセメント水比と圧縮強度の関係を示したものであり、図中の直線は回帰直線である。再生コンクリートはセメント水比を大きくしていても圧縮強度の増加の割合が小さく、特に再生7%ではセメント水比を2.5にしても400(kgf/cm²)に達していない。いずれのコンクリートでも吸水率が大きくなると圧縮強度は小さくなる傾向にある。

4.3 粗骨材の吸水率と圧縮強度の関係

図-4には、粗骨材の吸水率とA E減水剤を使用した場合の圧縮強度の関係を示す。図中の直線は再生コンクリートについて、吸水率と圧縮強度の関係を回帰したものである。再生コンクリートを比較すると、W/C=40においては吸水率が1%増加するごとに圧縮強度が約23(kg/cm²)減少し、W/C=45においては、約8(kg/cm²)減少するという結果を得た。しかし、W/C=55~65%では吸水率が増加しても圧縮強度はほとんど変わらなかった。

4.4 混和剤の種類による比較

図-5は、A E減水剤と高性能A E減水剤を使用した場合のコンクリートの圧縮強度を比較したものである。これらの値は強度が低い領域ではほぼ等しいが、強度が大きくなるほど高性能A E減水剤を用いた方が高くなる。この傾向は骨材の種類に関わらず認められることから、再生コンクリートにおいても高性能A E減水剤によって圧縮強度の改善が可能であることを示している。

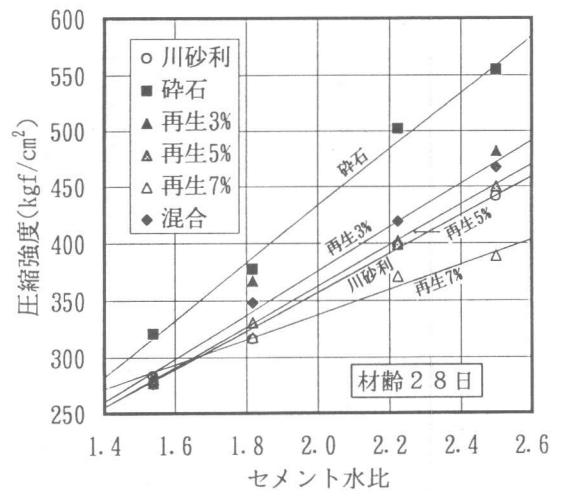


図-3 セメント水比と圧縮強度の関係

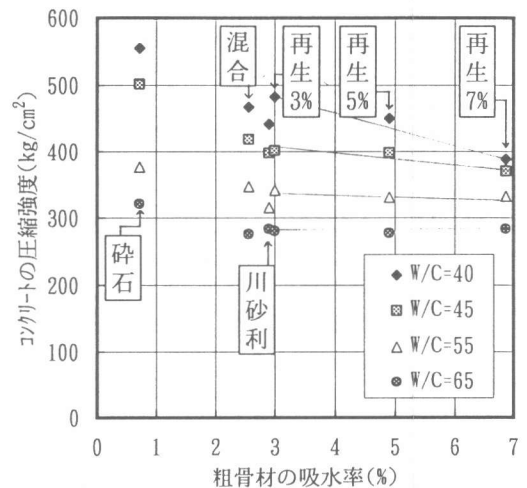


図-4 吸水率と圧縮強度の関係

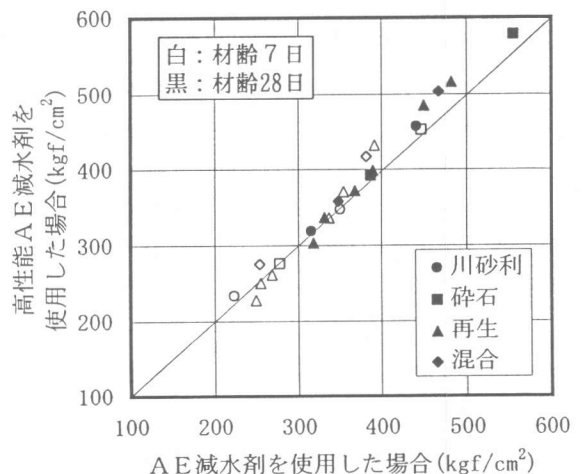


図-5 混和剤の種類による圧縮強度の比較

4. 5 圧縮強度と静弾性係数の関係

図-6に圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。同一圧縮強度に対する静弾性係数は砕石がもっとも高く、以下ほぼ吸水率が高くなるにつれて低い値になった。吸水率5%の再生骨材を使用したコンクリート(比重2.24)は日本建築学会式に近い値を示したが、再生7%を使用したもの(比重2.20)はその式よりかなり低い値となった。これは、再生コンクリート用の静弾性係数を検討する必要があることを示している。

4. 6 凍結融解抵抗性

凍結融解試験を行った再生コンクリートの供試体には、スケーリングやポップアウト等、外観上も多くの劣化が見られた。また、川砂利コンクリートもポップアウトやひび割れが目立った。

図-7に粗骨材の吸水率と耐久性指数の関係を示すが、川砂利を除き、吸水率3%以内で十分な耐久性を示した。3%を越えると耐久性指数は低下の傾向を示すが、吸水率5%までの範囲では、調合によって耐久性指数の値が左右されるといえる。また、図-8に調合別による耐久性指数の関係を示している。水セメント比による影響はあまり見られないが、高性能AE減水剤を用いたものはAE減水剤を用いたものに比べて耐久性が改善されている。

4. 7 乾燥収縮

粗骨材の吸水率と乾燥収縮率の関係は図-9に示す通りである。吸水率7%の再生コンクリートの収縮は極めて大きく、いずれの調合でも改善は困難であると思われる。しかし、再生3%の方は砕石と同等の値を示しており、再生5%や混合は川砂利と同等な結果となった。図-10に調合と乾燥収縮率の関係を示すが、調合による影響はあまり見られなかった。乾燥収縮については、骨材の種類に関係なく吸水率によってほぼ決まるといえる。

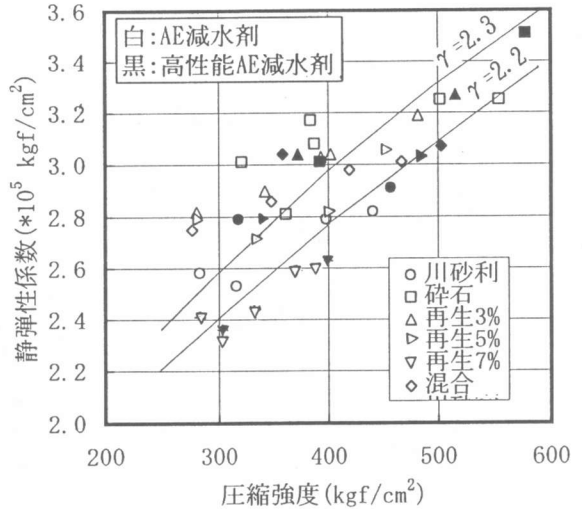


図-6 圧縮強度と静弾性係数の関係

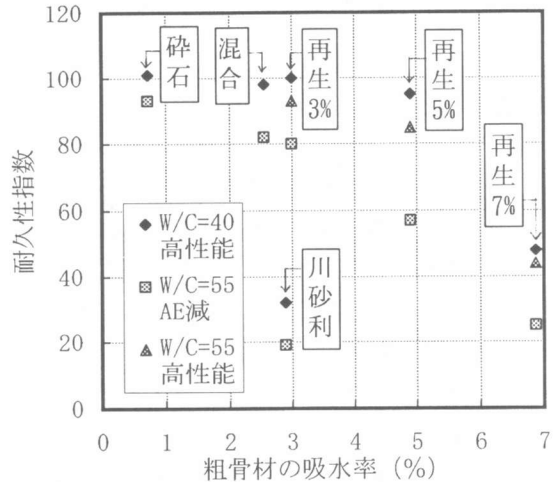


図-7 吸水率と耐久性指数の関係

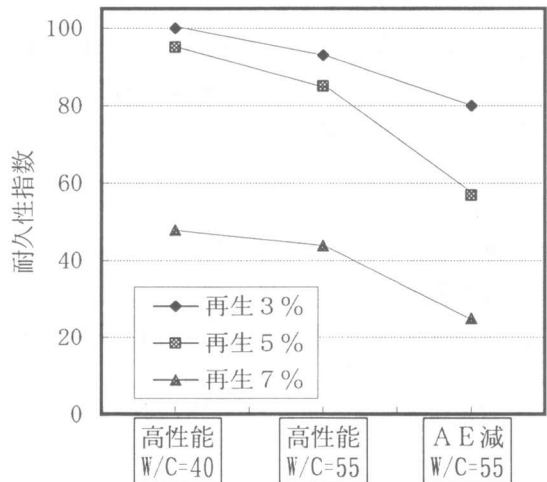


図-8 調合と耐久性指数の関係

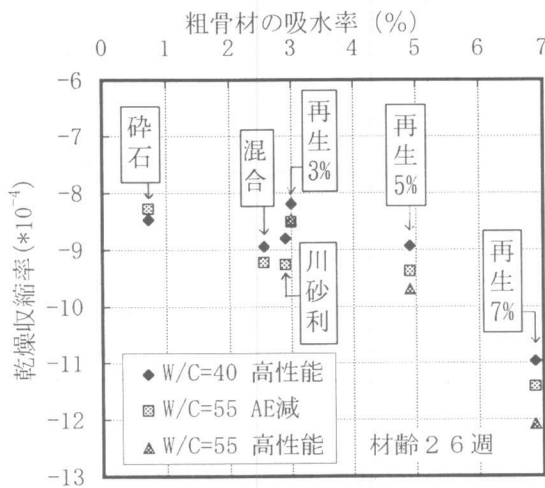


図-9 吸水率と乾燥収縮率の関係

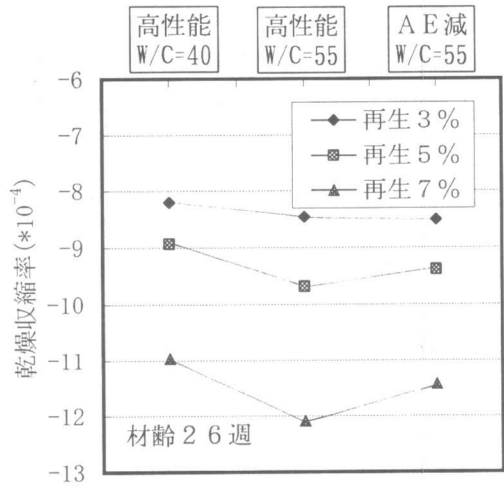


図-10 調合と乾燥収縮率の関係

5. まとめ

- (1) 再生コンクリートの調合を定める場合、単位水量は碎石と同様に考えてよく、日本建築学会の実積率による補正方法を用いることができる。また、高性能A E減水剤を使用した場合の減水効果には骨材の種類の差は認められなかった。
- (2) 水セメント比が大きい場合、再生コンクリートのワーカビリティは碎石コンクリートよりもむしろ良好であった。これは、骨材の表面に付着しているモルタルや微粉分の影響であると思われる。
- (3) 再生コンクリートのブリーディングは、碎石コンクリートより小さかった。
- (4) 再生コンクリートの圧縮強度は、粗骨材の吸水率によって左右され、吸水率が7%となると水セメント比を小さくしても圧縮強度に限界がある。
- (5) 高度処理した吸水率5%以下の再生骨材を用いたコンクリートはその静弾性係数を日本建築学会式で推定できる。
- (6) 凍結融解試験では、吸水率3%で十分な耐久性が得られた。吸水率5%では、調合によって左右され、高性能A E減水剤の使用による改善効果が認められた。
- (7) 乾燥収縮試験でも、吸水率5%以内であれば一般の骨材と同等の結果を得ることができた。

[参考文献]

- 1) 阿部道彦：再生骨材と再生コンクリートの品質に関する文献調査結果、日本建築学会学術講演梗概集、pp. 345-346、1994. 9
- 2) 萩原達雄・山室秀司：骨材プラントにおける軟石処理機械の開発と実績、建設の機械化、pp. 29-31、1986. 7
- 3) 日本建築学会：コンクリートの調合設計指針・同解説、1994. 1