コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 20, No. 2, 1998

# 論文　再生骨材の品質がコンクリートの諸特性に及ぼす影響

中本純次*1・戸川一夫*2・三岩敬孝*3・吉兼亨*4

**要旨：** 解体コンクリート塊から再生粗骨材および再生細骨材を製造し，それらを用いた再生コンクリートの諸特性を砕石と川砂を用いた普通コンクリートと比較検討した。本実験においては，再生骨材の吸水率の低減を品質改善の指標と位置付け、再生粗骨材では吸水率を２％程度まで，再生細骨材では４％程度まで低減させて，フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの諸特性に及ぼす効果を実験的に検討した。その結果，再生骨材の品質改善は，同一スランプで比較するとコンクリートの単位水量を減少させ，また，力学特性の向上，乾燥収縮および中性化の低減につながることが明らかになった。

**キーワード：** 再生粗骨材，再生細骨材，吸水率，スランプ，力学特性，乾燥収縮，中性化

## 1. はじめに

コンクリート構造物の解体にともなって排出されるコンクリート塊を再利用して資源の有効利用と環境保全を図ろうとする機運が高まっている。解体コンクリート塊をコンクリートの再生骨材として再利用する目的で，それらを用いた再生コンクリートについて建設省等[1)]で実用化に即した研究が開始されているが，再生コンクリートを今後普及させるためには，さらに研究成果の蓄積が必要であると考えられる。

本研究は，再生粗骨材および再生細骨材の品質の改善が再生コンクリートのスランプ特性，圧縮強度，静弾性係数，乾燥収縮および中性化に及ぼす影響を実験的に検討した。

**表－１再生骨材製造方法と品質**

| | 項　目 | 処　理　方　法 | 粒　度 | 吸水率（%） | 安定性（%） |
|---|---|---|---|---|---|
| 再生粗骨材 | 一次破砕処理（インパクトクラッシャ） | 40～0mm 使用，フルイ分け，建設省再生３種[2)]相当 | 20～5mm（建設省粒度範囲外） | 5.94 | 28.0 |
| | 二次処理（すりもみ方式） | 建設省再生２種[2)]相当 | 20～5mm（建設省粒度範囲内） | 3.78 | 11.9 |
| | 三次処理（媒体を用いたすりもみ方式） | 建設省再生１種[2)]相当 | 20～5mm（建設省粒度範囲内） | 2.16 | 6.0 |
| 再生細骨材 | 一次破砕処理(インパクトクラッシャ） | 40～0mm 使用，フルイ分け，建設省再生２種[2)]相当 | 5mm～（建設省粒度範囲外） | 9.94 | 11.7 |
| | 二次処理（媒体を用いたすりもみ方式） | 建設省再生２種[2)]相当 | 5mm～（建設省粒度範囲内） | 5.30 | 11.0 |
| | 三次処理（媒体を用い振動を与えたすりもみ方式） | 建設省再生１種[2)]相当 | 5mm～（建設省粒度範囲内） | 3.92 | 7.7 |

＊１　和歌山工業高等専門学校　環境都市工学科助教授　工博（正会員）
＊２　和歌山工業高等専門学校　環境都市工学科教授　工博（正会員）
＊３　和歌山工業高等専門学校　環境都市工学科助手　工修（正会員）
＊４　大有建設（株）取締役副社長　工博（正会員）

## 2. 実験計画

再生骨材の品質改善を図るためにすりもみ方式を採用した。再生骨材の原コンクリートは道路版コンクリート（推定材齢 20～30 年）を使用した。原コンクリートの圧縮強度は 31.9N/mm$^2$，静弾性係数は 26.2kN/mm$^2$ である。再生骨材の製造方法と品質を表－1に示す。これらの再生粗骨材と再生細骨材を組み合わせて用いた再生コンクリートの諸特性を普通コンクリートと比較検討した。表－2に実験した骨材の組み合わせを示す。

## 3. 実験方法

### 3.1 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント（比重 3.15）を用いた。川砂は比重 2.54，吸水率 1.33%，粗粒率.2.97，砕石は硬質砂岩で比重 2.64，吸水率 1.12%，粗粒率.7.27 であり，使用に際して 20～13mm と 13～5mm を 50%ずつ混合した。混和剤として，AE 減水剤（標準形）はリグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体，空気量調整剤はアルキルアリルスルフォン化合物系イオン界面活性剤，消泡剤はポリアルキレングリコール誘導体を使用した。

表－2　コンクリートに供した骨材の組み合わせ実験計画

| 組合せ番号 | 使用粗骨材 | 使用細骨材 |
|---|---|---|
| 1 | 砕石 | 川砂 |
| 2 | 再生粗骨材一次処理 | |
| 3 | 再生粗骨材二次処理 | |
| 4 | 再生粗骨材三次処理 | |
| 5 | 砕石 | 再生細骨材一次処理 |
| 6 | 再生粗骨材一次処理 | |
| 7 | 再生粗骨材二次処理 | |
| 8 | 再生粗骨材三次処理 | |
| 9 | 砕石 | 再生細骨材二次処理 |
| 10 | 再生粗骨材一次処理 | |
| 11 | 砕石 | 再生細骨材三次処理 |
| 12 | 再生粗骨材一次処理 | |

なお，再生骨材は混合前に 24 時間のプレソーキングを行い，使用時に表乾状態に調整して用いた。

### 3.2 配合

表－2に示す 12 組の骨材の組合せに対してコンクリートの配合設計を行った。目標スランプ 12cm，W／C=60%，空気量 6%，粗骨材最大寸法 20mm とし，それぞれのグループ毎に細骨材率を一定にして配合を決定した。表－3に示方配合を示す。

表－3　コンクリートの示方配合

| グループ | 組合せ番号 | 細骨材率 s／a(%) | 単位量（kg／m$^3$） | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 水 W | セメント C | 細骨材 S | 粗骨材 G | AE 減水剤※1 | 空気量調整剤 |
| Ⅰ | 1 | 42 | 161 | 270 | 739 | 1061 | 2.70 | 5.400※2 |
| | 2 | 42 | 156 | 260 | 747 | 981 | 2.60 | 3.120※2 |
| | 3 | 42 | 150 | 250 | 753 | 1046 | 2.50 | 2.750※2 |
| | 4 | 42 | 148 | 247 | 756 | 1052 | 2.47 | 2.717※2 |
| Ⅱ | 5 | 49 | 163 | 272 | 762 | 929 | 2.72 | 4.896※2 |
| | 6 | 49 | 161 | 268 | 765 | 853 | 2.68 | 3.216※2 |
| | 7 | 49 | 152 | 253 | 781 | 885 | 2.53 | 3.542※2 |
| | 8 | 49 | 150 | 250 | 783 | 933 | 2.50 | 3.500※2 |
| Ⅲ | 9 | 47 | 161 | 268 | 734 | 972 | 2.68 | 4.824※2 |
| | 10 | 47 | 160 | 267 | 736 | 887 | 2.67 | 3.204※2 |
| | 11 | 47 | 159 | 265 | 764 | 974 | 2.65 | 1.060※3 |
| | 12 | 47 | 158 | 263 | 767 | 892 | 2.63 | 1.052※3 |

※1 AE 減水剤：4倍液，※2 空気量調整剤：100 倍液，※3 消泡剤：100 倍液

### 3.3 長さ変化測定

10×10×40cm の角柱供試体を材齢 28 日まで水中養生し，その後恒温恒湿室(温度 20°C，湿度 60%)で乾燥収縮試験に供した。

### 3.4 促進中性化試験

中性化試験は材齢 28 日まで水中養生した供試体（10×10×40cm）をその後２週間乾燥し，中性化深さを測定する一側面だけを残して樹脂系塗料を塗布した。その後 $CO_2$ 濃度 15%，温度 30°C，湿度 70%の条件下で中性化試験を行った。

## 4. 実験結果および考察

### 4.1 再生骨材の品質

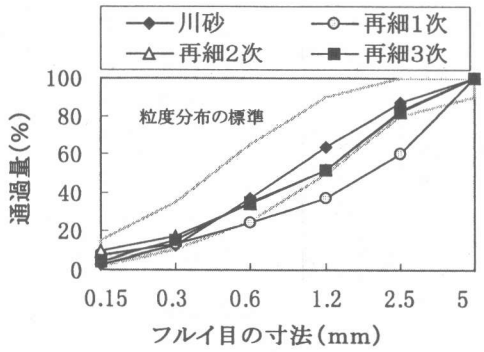
再生骨材の品質改善結果を図－１に示す。

①比重および吸水率；　再生骨材の比重は処理回数を増やすことで増加し，吸水率は減少する 。吸水率については，粗骨材では三次処理することで２％程度，細骨材では同じく４％程度になり，それぞれ建設省暫定基準(案)[2] に示されている１種骨材に相当する。

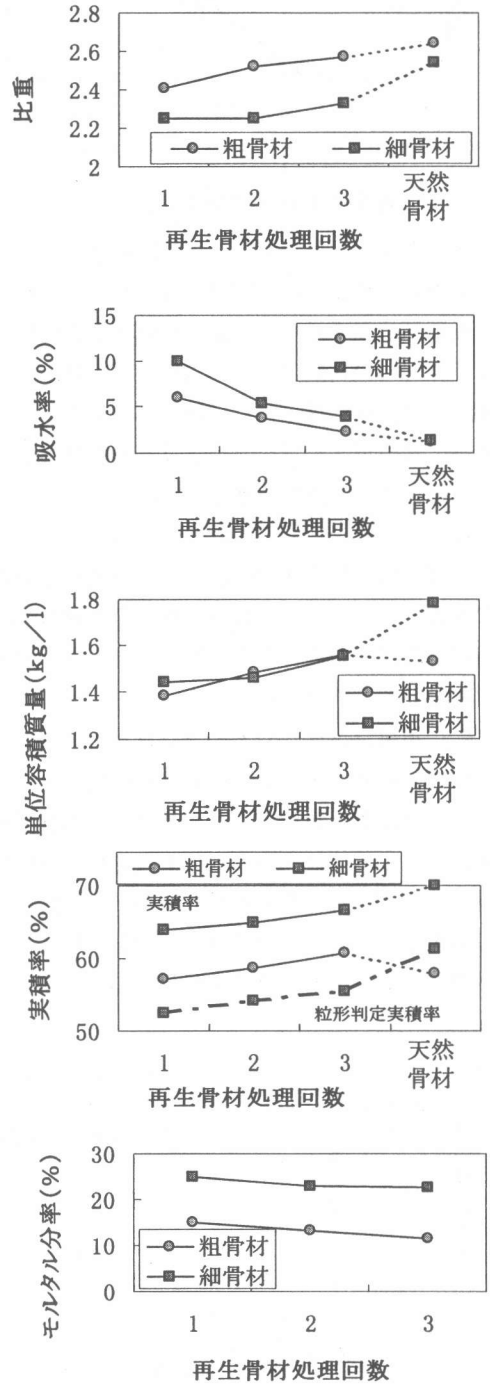
②単位容積質量および実積率；　単位容積質量は，粗骨材，細骨材ともに処理回数を増やすことで大きくなる。また，実積率も処理回数を増やすことで高くなる。特に三次処理した粗骨材の実積率は砕石より高くなった。細骨材の粒形判定実積率も実積率と同様の結果となった。

③モルタル分；　再生骨材を絶乾にし，５日間塩酸(一級試薬，濃度 36%）に浸漬してモルタル分を求めた。再生骨材中のモルタル分は処理回数を増やすことで減少することが認められた。なお，細骨材の方が粗骨材よりもモルタル分は多い。

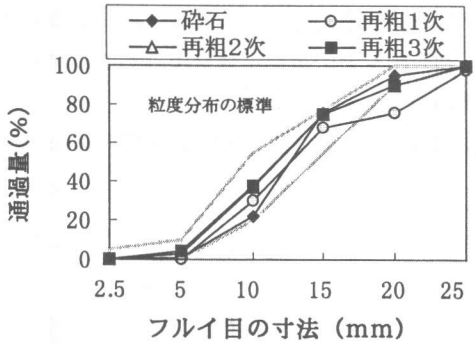
④粒度分布；　粒度分布曲線を図－２および図




図－２　再生細骨材の粒度分布




図－１　再生骨材の品質



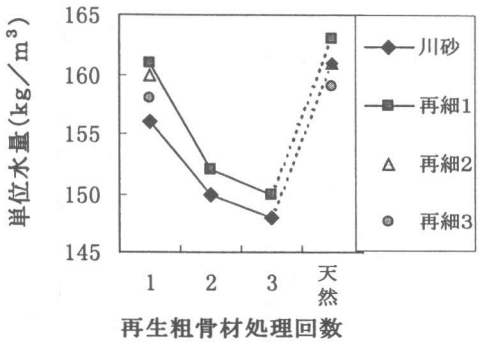

図－3　再生粗骨材の粒度分布

－3に示す。再生粗骨材，再生細骨材ともに一次処理品は粒度範囲の標準から外れているが二次処理品，三次処理品は標準の粒度範囲内にある。なお，二次処理品と三次処理品の粒度分布は粗骨材，細骨材ともにほぼ同じである。すなわち二次処理すれば原コンクリートの使用骨材の粒度にかなり近づくと考えられる。

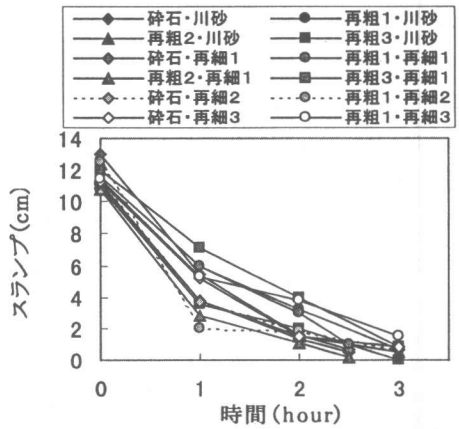
以上のことから，いずれの特性についても単一処理回数と複数処理回数との間の差異が非常に大きいことが明らかになった。再生骨材のある程度の品質を確保するには二次処理以上の処理が必要であろう。

### 4.2 再生コンクリートのコンシステンシー

図－4に同一スランプにおける各種コンクリートの単位水量を示す。グループ毎に細骨材率を同一にして比較すると，再生粗骨材の処理回数を増やすことで単位水量は減少する。図－5は再生コンクリートのスランプロスに関する結果である。スランプロス特性については再




図－4　再生コンクリートの単位水量

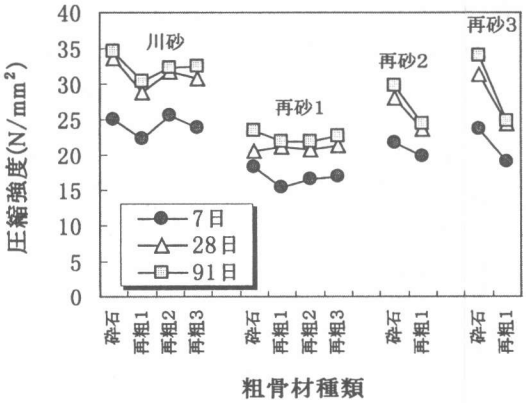



図－5　再生コンクリートのスランプロス

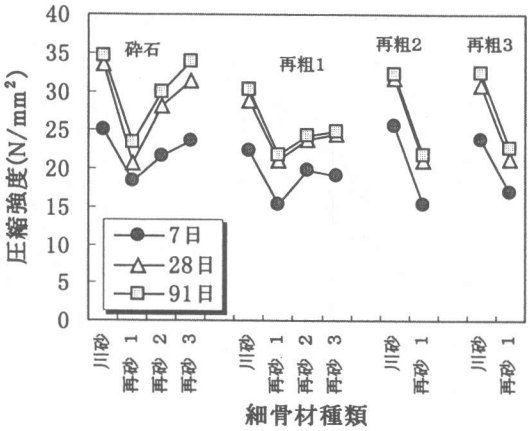
生コンクリートと普通コンクリートとの間に大きな差はないと考えてよい。

### 4.3 力学特性

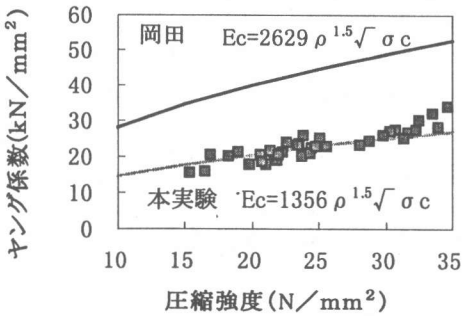
コンクリートの圧縮強度に関する実験結果を図－6および図－7に示す。圧縮強度は川砂と砕石を組み合わせた普通コンクリートが一番高く，処理回数の低い再生骨材を組合わせたコンクリートほど強度は低い。そして再生粗骨材よりも再生細骨材の品質改善が圧縮強度の増加に効果的であることがわかる。本実験内ではすべてのコンクリートは建設省暫定基準(案)[2]の再生コンクリートⅡ種以上（圧縮強度 15.7N/mm² 以上）の圧縮強度を得た。したがって，砕石を用いた場合より再生粗骨材（特に処理回数が多い再生粗骨材）を用いた場合の方がコンシステンシーが低下することから，配合毎の最適細骨




図－6　再生コンクリートの圧縮強度




図－7 再生コンクリートの圧縮強度

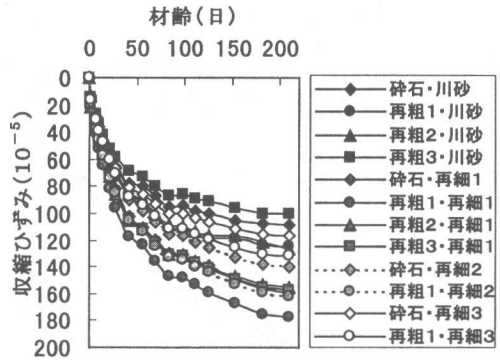



図－8 圧縮強度とヤング係数との関係

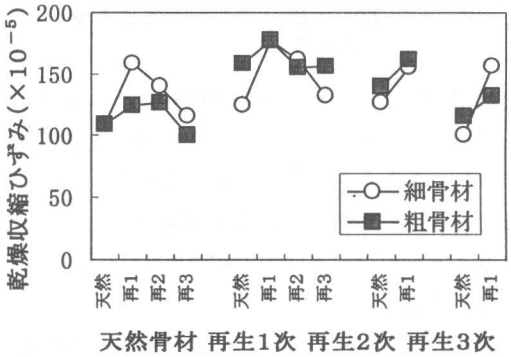
材率および等セメント量で対比すれば，水セメント比をさらに小さくできることから圧縮強度の増加が期待できる。図－8に圧縮強度と静弾性係数との関係を示す。再生コンクリートの静弾性係数は普通コンクリートに関する岡田[3)]の結果と比較すると，同一圧縮強度に対してかなり低いことがわかる。

### 4.4 乾燥収縮特性

各種コンクリートの乾燥収縮ひずみと材齢との関係を図－9に、また、乾燥材齢200日における乾燥収縮ひずみと骨材種類との関係を図－10に示す。材齢経過に伴う乾燥収縮ひずみの増加は再生コンクリートの方が普通コンクリートに比べて非常に大きいが，粗骨材および細骨材ともに処理回数の多い再生骨材を用いたコンクリートほど乾燥収縮は小さくなる。そしてそれらの影響は，細骨材の処理レベルの影響の方が粗骨材の場合よりも大きいと言える。これら

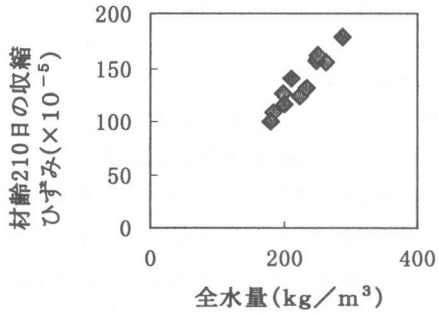



図－9 再生コンクリートの乾燥収縮ひずみ

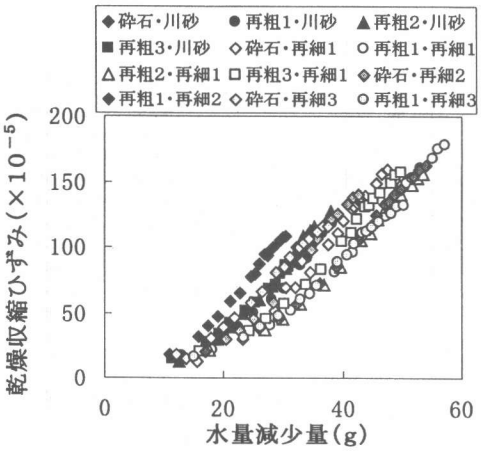



図－10 再生コンクリートの乾燥収縮ひずみ

乾燥収縮ひずみとコンクリートの示方配合における全水量（骨材中の水量も含む）との関係を示したのが図－11であるが，全水量の少ないコンクリートほど乾燥収縮は小さくなるといえる。図－12にはコンクリート供試体の水分逸散量と乾燥収縮ひずみとの関係を示している。乾燥収縮応力は主にゲル水の逸散によりもたらされるが，水量の多い再生コンクリートについ




図－11 コンクリート中の全水量と収縮ひずみとの関係




図－12　乾燥収縮ひずみと水量減少量との関係

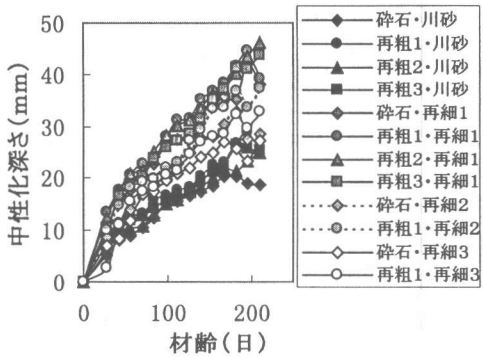
てはポーラスになり，収縮に関与しない水分の逸散も多くなるとともに，ゲル水の逸散が容易になる。すなわち，同一乾燥収縮ひずみで比べると再生コンクリートの方が普通コンクリートよりも水分逸散が多いことがわかる。

### 4.5 中性化

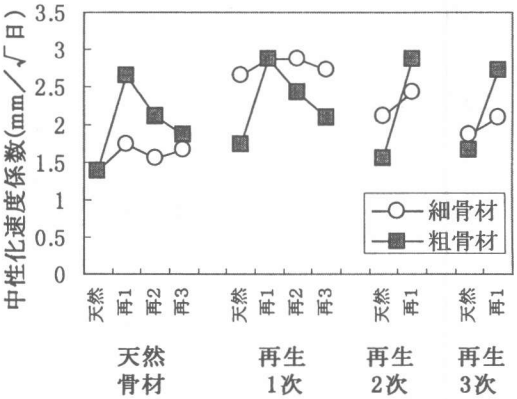
図－13 および図－14 は中性化深さに関する実験結果である。なお，中性化速度係数は中性化深さ－材齢関係が$\sqrt{t}$ 則に従うものとして求めた。中性化深さは普通コンクリートが最も小さく，処理回数の最も少ない再生骨材の組み合わせを用いた再生コンクリートが最も大きい結果となった。また，再生骨材の品質を改善することで中性化深さを普通コンクリート程度までに低減できることが明らかになった。特に粗骨材の処理レベルを高める方が細骨材の場合より効果的である。

## 5. まとめ

解体コンクリート塊をコンクリート用の再生粗骨材および再生細骨材として利用する目的でそれらを用いた再生コンクリートの諸特性を実験的に明らかにした。再生骨材の品質を改善することで再生コンクリートは同一スランプを得るために単位水量を低減でき，また圧縮強度も増大し，普通コンクリートと同程度得ることは




図－13　再生コンクリートの中性化深さ




図－14　再生コンクリートの中性化速度係数

可能である。その際強度増加には再生粗骨材よりも再生細骨材の品質の改善が効果的であることがわかった。再生コンクリートは普通コンクリートと比べて静弾性係数は低く，乾燥収縮および中性化深さは大きいが再生骨材の品質を改善することでいずれの性質も改善できることが明らかになった。

### 参考文献


1）阿部道彦・南波篤志：再生骨材の生産比率と品質に及ぼす製造方法の影響，セメント・コンクリート論文集, No.49, pp.330-335, 1995

2）建設大臣官房技術調査室長通達：「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準(案)」，建設省技調発第 88 号，4 月，1994

3）岡田清：高炉スラグ・高炉セメント系貧配合超硬練りコンクリートの調査研究，日本材料学会 3, 1986