

## 論文 土砂を含むコンクリート廃棄物の再利用に関する研究

矢村 潔\*<sup>1</sup>・岡本晋作\*<sup>2</sup>・坂田一隆\*<sup>3</sup>

**要旨：**本研究は、多くの比較的小規模な建設工事現場から搬入されてくる土砂を含んだコンクリート廃棄物からコンクリート用再生骨材を製造するシステムの確立に向けて、再生骨材の特性およびその変動、再生骨材使用コンクリートの基本的特性を実験的に明らかにしようとするものである。現在実稼働中の廃棄物処理工場で製造される再生骨材に関する実験を通して、再生骨材の品質には原コンクリートのセメント硬化体の量と質がかなり影響すること、品質の変動を含めてもかなり広範囲に実用出来るコンクリートを製造しうる再生骨材の製造は可能であること、等が明らかになった。

**キーワード：**リサイクル, 再生骨材, 再生コンクリート

### 1. はじめに

建設廃棄物の中でも主要なものの一つであるコンクリート解体廃棄物の再利用方法として、コンクリート用再生骨材としての利用に関しては、かなりの調査・研究の結果があり、それらを基に建設省は暫定使用基準を定めている。しかし、本格的な実用化には至っていない。その原因の一つとして、まとまったコンクリート解体廃棄物が出ることはまれで、そのかなりの部分が比較的小規模な工事現場から土砂の混入した状態で排出されていることによると考えられる。リサイクルシステムにとって、再生品の資源価値の高いこと、安定した需要が望めることに加えて安定した原料（廃棄物）の供給がきわめて重要である。

本研究は、このような土砂を含んだコンクリート廃棄物からコンクリート用再生骨材を製造・利用していく上での問題点を実験的に明らかにし、コンクリート解体廃棄物のリサイクルの実用化に向けての基礎資料を得ることを目的としている。

### 2. 実験概要

#### 2.1 再生骨材の原料及び製造

本研究で対象としているコンクリート解体廃棄物は、現在実稼働している土砂、コンクリート塊処理工場に搬入されてくる土砂・コンクリート塊混合物である。搬入されている原材料の状況を写真-1に示す。このような原材料を破碎・セメント硬化物の除去・分級、微粒分の除去（水洗）の工程を経て得られた再生骨材について各種の実験を行った。

#### 2.2 実験計画

本実験における主たる目的は、得られた再生骨材の品質の変動の把握とこれらを用いたコンクリートの基本的特性の把握である。再生骨材のサンプリングはおおむね一ヶ月毎に行い、同一サンプル内での変動、サンプル間での変動を明らかにし、その原因および評価方法について検討する。また、平均的な再生骨材（粗骨材：G-10、細骨材：G-7）を用いたコンクリートの基本的特性を実験で明らかにする。それぞれの試験項目をまとめて表-1に示す。モルタル含有率の測定は、再生粗

\*1 摂南大学教授 工学部土木工学科 工博（正会員）

\*2 摂南大学大学院 工学研究科社会開発工学専攻

\*3 摂南大学 工学部土木工学科

骨材について5mmふるいでふるい、留まるものを塩酸（濃度：15～20%）に浸漬しモルタルが碎けてなくなるのを目視で確認し水洗後5mmふるいでふるい、減った量をモルタル含有量とした。ペースト含有率は、再生細骨材について0.15mmふるいでふるって同様の塩酸浸漬処理を行って再び0.15mmふるいでふるい、その減量をペースト含有量とした。なお、比較のため碎石（比重：2.70, 吸水率：0.95%, 実積率：58.8%）、川砂（比重：2.57, 吸水率：1.46%, FM:2.65, 実積率：63%）を用いたコンクリートについても同様の実験を行った。

### 3. 実験結果とその考察

#### 3.1 再生骨材の品質とその変動

再生骨材の骨材試験結果をサンプリング間との関係で図-1に示す。横軸のサンプル記号の数字はサンプリングした月を示している。なお、粗骨材の最大寸法は20mmであり、細骨材とも、おおむね土木学会の標準粒度内に収まっている。

再生骨材の比重は、細骨材・粗骨材とも標準的な普通骨材（碎石、川砂）と比較して0.1～0.2程度小さくなっている。吸水率は細骨材で6～8%、粗骨材で2～3%程度である。これは建設省の暫定品質基準では細骨材が2種、粗骨材が1種に相当するものである。再生骨材の実積率は粗骨材では普通骨材と比較してかなり大きくなっている。これは再生骨材の製造工程でモルタルを除去する際に骨材粒の角がとれて丸みをおびるためと、原骨材に川砂利が含まれていることによるものと考えられる。いずれの指標においてもサンプリング間の変動は、同一サンプル内での変動よりかなり大きくなっており、搬入原料の変動の影響がかなり大きいことが伺える。また、同一サンプル内でのばらつきも標準的な普通骨材と比較してかなり大きい。

再生粗骨材は、15～20%程度のモルタルを含んでいる。これらは旧骨材に付着した状態



写真-1 原料の状況

表-1 実験計画

骨材の種類	碎石, 川砂 (各1種) 再生骨材 (細骨材, 粗骨材: 各5種)
骨材試験	比重, 吸水率 ふるい分け, 単位容積質量 安定性 モルタル (ペースト) 含有率
コンクリートの配合	W/C(%): 50, 55, 60, 65 Slump: $8 \pm 1$ cm air: $5 \pm 1$ %
硬化コンクリート	圧縮強度, 引張強度 静弾性係数, 動弾性係数 凍結融解抵抗性

およびモルタル塊として存在し、粒径の小さい部分での混入率が相対的に大きくなっている。再生細骨材には、20%前後のセメントペーストが含まれている。これらは原コンクリートの細骨材に付着しているというよりはモルタルおよびペースト粒として存在するものが大部分である。原コンクリートのモルタル部分から細骨材をセメントペーストと分離して取り出す事は非常に困難でかつ多くのエネルギーを必要とする。従って基本的には、再生細骨材は、原コンクリートの破砕過程で微粉末化したセメントペーストの一部を除いた原コンクリートのモルタルおよびペースト粒と5mm以下に碎けた原コンクリートの粗骨材から構成されており、かなり多くのセメント硬化体（セメントペースト）を含んでいる。このセメント硬化体は吸水率が極めて大きいため再生細骨材の吸水率が大きくなっている。

なお、本研究での再生骨材製造システムではコンクリート塊と混じって搬入されてくる土砂からも細骨材が水洗・分級過程を経て再生細骨材に取り込まれる。結果的にこの部分は再生細骨材の品質を向上させることになる。一方再生粗骨材中に含まれている原コンクリートのモルタルは、その中にかなりの原コンクリートの細骨材を含んでおりセメント硬化体ほど吸水率が小さくなく、モルタル混入率がかなり大きい割には再生粗骨材の吸水率はそれほど大きくなり結果となっている。特に本システムでは水洗・分級しているため骨材粒に付着して混入するセメントペースト

微粉末が極めて少ないためモルタル混入量の割には吸水率が小さくなっている。各再生骨材の比重と吸水率の関係を図-2, 図-3に示す。これらの図から、細骨材、粗骨材とも吸水率が小さくなると比重が大きくなる相関関係が明確に認められる。さきにも述べたようにサンプリング時期によって再生骨材の比重、吸水率はかなり異なるが、比重と吸水率の間には同一サンプル内およびサンプル間を通してほぼ同一の相関関係が認められる。

次に、吸水率とペーストおよびモルタル含有率の関係を図-4, 図-5に示す。なお、本実験ではペースト、モルタル含有量試験を

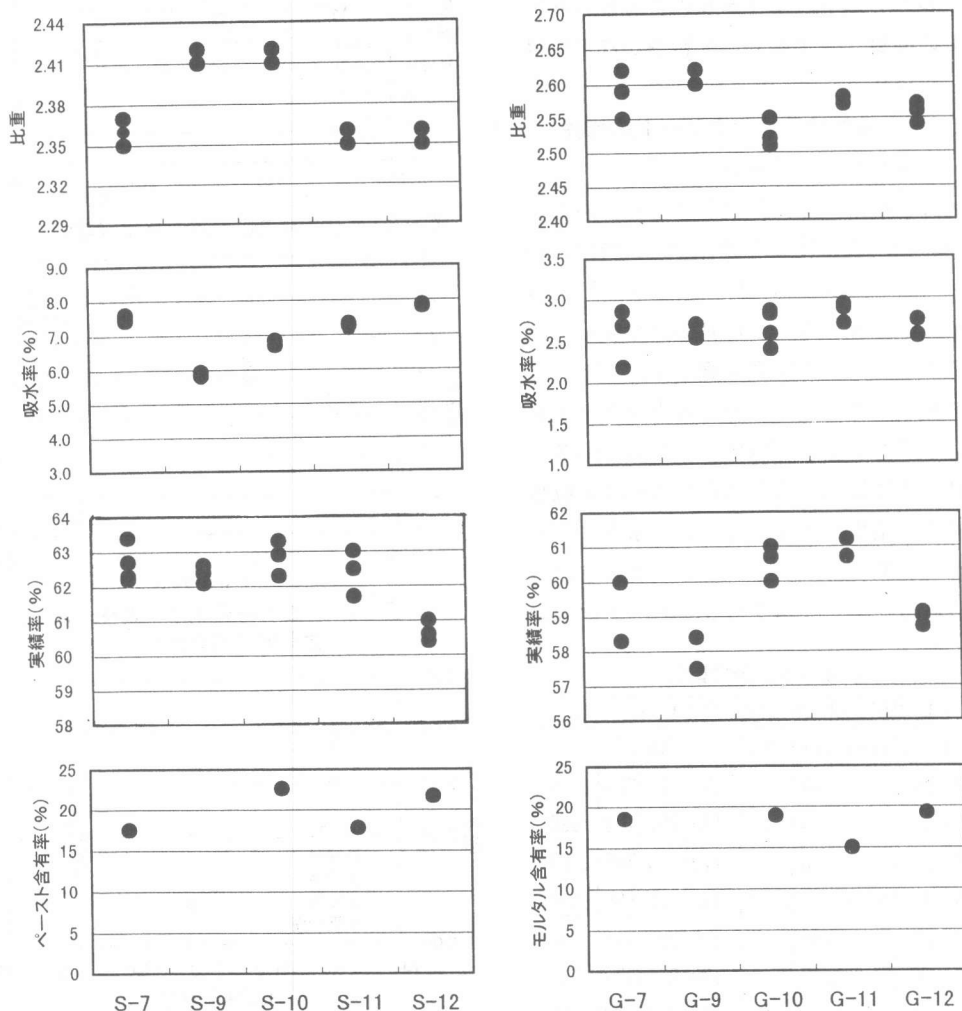


図-1 骨材試験結果

吸水量を測定した試料とは別の試料で行っており、図では各サンプルでの平均のペースト、モルタル含有率の位置にそのサンプルで得られた吸水率の値をプロットしている。これらの図から、ペースト、モルタル含有量が増加するにつれて吸水率が増加すると判断するには細・粗骨材それぞれ例外的なサンプル（細骨材：S-10、粗骨材：G-11）があり、両者の間には明確な相関関係が認められない。ペースト、モルタル含有率試験でペースト、モルタルを除去した原骨材の吸水率を測定するとおおむね1~2%前後でほぼ一定であった。このことから、再生骨材の吸水率は、原コンクリートのペースト、モルタルの含有量のみならずその品質（吸水率）の影響をかなり受けることが伺える。

### 3.2 再生骨材使用コンクリートの特性

#### (1) コンクリートの配合

普通骨材使用コンクリート（N）、再生骨材使用（細、粗骨材とも100%再生骨材使用）コンクリート（R）についてスランプ $8 \pm 1$ cm、空気量 $5 \pm 1\%$ となるように試し練りを行い配合を決定した。示方配合を表-2に示す。これによると再生コンクリートの単位水量が普通コンクリートより10kg少なくなっている。これは、先に述べたように再生粗骨材の粒形が良好で実積率が大きいことと、水洗によって細骨材の微粒分が少ないことによるものと考えられる。また、再生コンクリートの細骨

表-2 コンクリートの示方配合

記号	W/C	Slump	s/a	air	W C S G			
	(%)	(cm)	(%)	(%)	kg/m <sup>3</sup>			
N-50	50	8±1	44	5±1	170	340	760	1016
N-55	55				170	307	778	1028
N-60	60				170	283	798	1025
N-65	65				172	265	820	1012
R-50	50		46		160	320	747	948
R-55	55		47		160	291	774	943
R-60	60		48		160	267	799	935
R-60	65		49		162	249	820	922

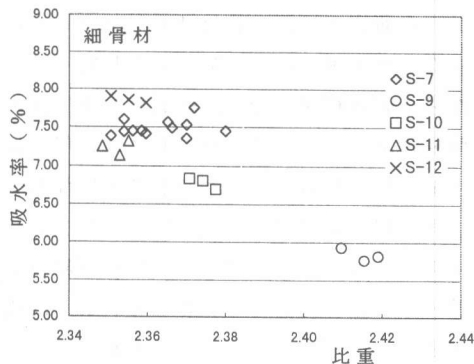


図-2 再生骨材の吸水率と比重（細骨材）

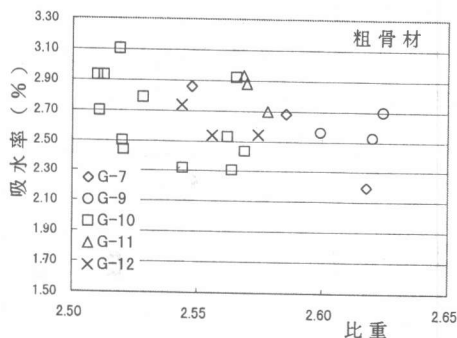


図-3 再生骨材の吸水率と比重（粗骨材）

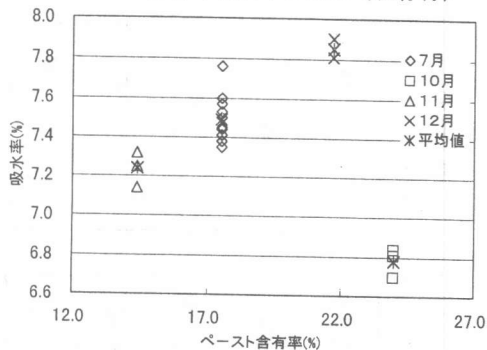


図-4 再生骨材の吸水率とペースト含有率（細骨材）

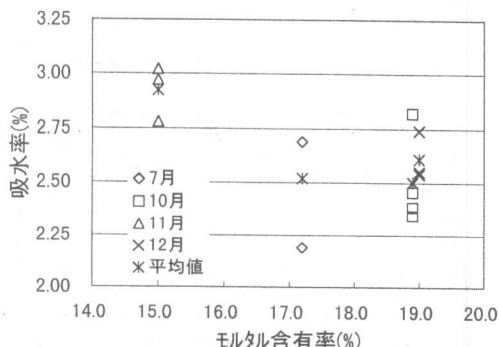


図-5 再生骨材の吸水率とモルタル含有率（粗骨材）

材率が大きくなっているのは、再生細骨材の粗粒率が大きい(3.05)ことによる。

### (2) 硬化コンクリートの特性

材齢28日におけるコンクリートの圧縮強度とセメント水比の関係を図-6に引張強度とセメント水比の関係を図-7に示す。再生コンクリートにおいても普通コンクリートと同様圧縮強度とセメント水比との間にはほぼ直線関係がみられ、本実験では同一の水セメント比の普通コンクリートと比較して圧縮強度が10~15%低い結果となった。また、同一条件での圧縮強度のばらつきの変動係数は普通コンクリートで3~4%であったのに対し、再生コンクリートでは7~8%とかなり大きく、再生コンクリートのばらつきが大きいことを示している。このばらつきの大きさは、バッチ内変動を示したもので、これから直接定量的に示すことはできないが、この程度の変動であれば、先に述べた通り強度とセメント水比の間に明確な右上りの直線関係が認められることから、配合設計において設計基準強度に対する配合強度の割り増し係数の増加

(水セメント比を小さくする)で十分対応出来るものと考えられる。引張強度については再生、普通コンクリートで平均強度の差はほとんど認められない。また、変動係数は再生コンクリート5~8%に対し、普通コンクリート4~5%とやはり再生コンクリートのばらつきが大きい結果になった。

図-8、図-9に再生コンクリートの静弾性係数、動弾性係数をセメント水比の関係で普通コンクリートと比較して示す。これによると再生コンクリートでは静、動弾性係数とも普通コンクリートと比較して、同一水セメント比で約20%、同一圧縮強度で約10%程度低くなっている。また、それぞれのコンクリートの配合から粗骨材を除いたモルタルの試験から得られた静・動弾性係数の値は再生骨材モルタルは普通骨材モルタルより同一の水セメント比で約25%低下していた。これらを

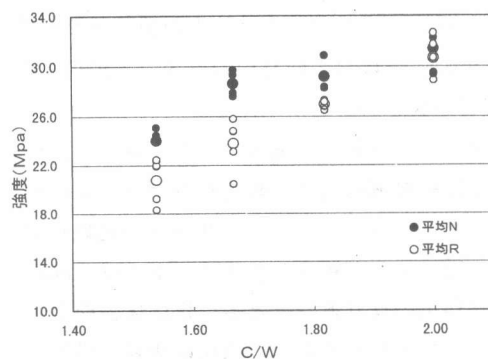


図-6 コンクリートの圧縮強度

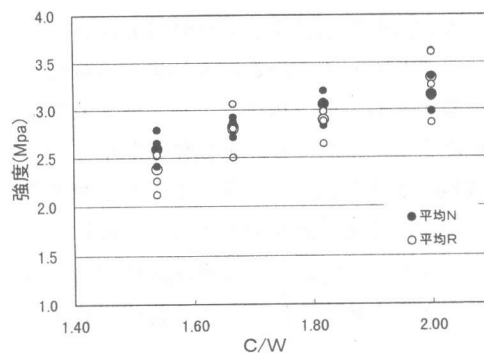


図-7 コンクリートの引張強度

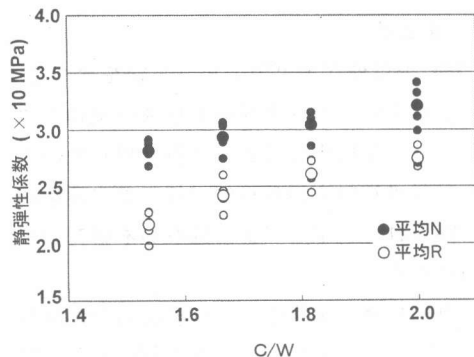


図-8 コンクリートの静弾性係数

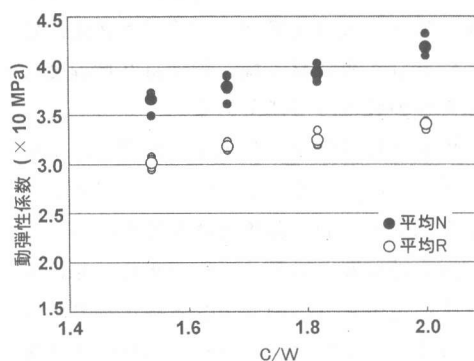


図-9 コンクリートの動弾性係数

合わせて、再生コンクリートの弾性係数の低下の原因には再生骨材中のセメント硬化体の影響が大きいことが伺える。

水セメント比65、55%のコンクリートについて凍結融解抵抗性試験を行った結果を再生コンクリート、普通コンクリートを比較して図-10に示す。再生コンクリートでは、凍結融解作用の繰り返しとともに供試体表面からのポップアウト等の局部損傷は比較的早期から見られたが、動弾性係数の低下は比較的遅く、凍結融解作用による抵抗性は普通コンクリートよりむしろよいという結果が得られた。この原因としては、再生コンクリートの単位水量が少なかったこと、弾性係数が小さいので凍結による膨張圧が小さいことなどが考えられるが、従来の結果と必ずしも一致しておらず、また本実験における供試体間のばらつきも大きく今後さらにデータの蓄積が必要である。

#### 4. まとめ

比較的小規模な工事現場から土砂を含んで搬入されているコンクリート解体廃棄物をコンクリート用再生骨材として再利用していく上での基礎資料を得る目的で行った実験を通して得られた結果を以下に列挙し本研究のまとめとする。

- (1) 再生骨材の品質は、原料の変動をかなり受け、同一サンプル内、採取時期によってばらつきはかなり大きい。しかし、ばらつきを加味しても、実用化範囲内で建設省暫定品質基準における粗骨材1種、細骨材2種程度の再生骨材の製造は可能である。
- (2) 再生骨材の比重と吸水率との間には明確な相関が認められるが、ペースト、モルタル量と吸水率との間の関係は曖昧である。
- (3) 再生骨材製造の最終工程で水洗、分級する方法は再生骨材中のセメント硬化物の含有量を減らし、またコンクリートの単位水量を減少させる上で効果的である。

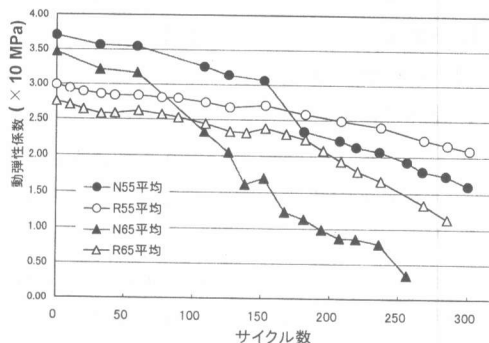


図-10 コンクリートの凍結融解試験結果

- (4) 再生骨材の品質評価に関して、原コンクリートのセメント硬化体の量、質が有力な指標になる可能性がある。
- (5) 本実験では、再生骨材使用コンクリートでは同一の水セメント比を有する普通骨材使用コンクリートと比較して圧縮強度で10~15%、弾性係数で20%程度低下した。
- (6) 本実験では、再生コンクリートの凍結融解抵抗性は、同等の普通コンクリートと比較してむしろ若干優れている結果となった。

本研究を遂行する上で(株)協和の協力をいただいた。また本研究は、近畿建設協会研究助成によって行った研究の一部である。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1)建設省・(財)国土開発技術開発センター：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)，1994
- 2)菅沼輝人・佐藤良一ほか：再生粗骨材を用いたコンクリートの力学的特性に関する実験的検討，土木学会第53回年次学術講演会講演概要，V-227，1998.10
- 3)Nishibayashi, S, Yamura, K : Mechanical Properties and Durability of Concrete from Recycled Coarse Aggregate Prepared by Crushing Concrete, Proc. of the 2nd Int. RILEM Symp., 1988.11