

論文 コンクリート用再生骨材の実用化に関する基礎的研究

矢村 潔*¹・坂田 一隆*²・愛甲 秀行*²

要旨：本研究は、現在稼働している複数のコンクリート用再生骨材プラントで製造されている再生骨材およびそれを用いたコンクリートの実験を通して、プラント特性、再生骨材の変動とそのコンクリートに与える影響、再生コンクリートの力学特性、耐久性等について明らかにしたものである。再生コンクリートの特性は、再生骨材の製造原料の影響を大きく受ける可能性のあること、再生骨材の変動に伴う再生コンクリートの強度の変動は、使用した骨材の骨材平均吸水率で補正することによって小さくすることができること等が明らかになった。

キーワード：再生骨材、再生コンクリート、強度、耐久性、建設廃棄物中間処理場

1. はじめに

現在、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からコンクリート用再生骨材を製造することは、増加する建設廃棄物の処理と骨材資源の枯渇の面から重要視されつつある。しかし、コンクリート用再生骨材に関しては、かなりの研究実績もあり、その可能性は認められつつも、現状ではコンクリート解体廃棄物の大部分が路盤材、裏込め材としてのみ再利用されているにすぎない。この原因の一つとして、コンクリート解体廃棄物の品質、排出状況の多様性に伴う再生骨材の安定性、信頼性があげられる。このような観点から、本研究では、現在稼働しているコンクリート用再生骨材製造プラントで製造されている再生骨材の品質とその変動、再生骨材を用いたコンクリートの特性と変動、骨材特性との関係等について実験的に明らかにし、コンクリート用再生骨材の本格的実用化への基礎資料を得ることを目的としている。

2. 使用骨材および実験計画

2.1 使用骨材

本実験で使用した再生骨材は以下に示すよう

に状況の異なる再生プラントで製造された3種類である。

- Ra：いわゆる建設廃棄物中間処理場で稼働している再生骨材プラントで製造されたもので、原料としては多くの工事現場から集積された多種、多様のコンクリート塊が土砂と混合した状態になっている。
- Rb：生コンおよびコンクリート2次製品工場に付随する再生骨材プラントで製造されたもので原料としては、主として生コンの戻りコンクリート、コンクリート2次製品の不良品、回収品等である。
- Rc：Rbと同じ施設で、路盤材用として製造されたもので、旧コンクリートのセメント硬化体の除去を特に行わないで破碎のみしたものを実験室で分級したもの。

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3種)
コンクリートの配合要因	W/C (%) : 50、55、60、65
	再生細骨材の置換率 (%) : 0、20、50、100
	Slump : 8 ± 1 cm Air : 6 ± 1 %

*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

表-2 骨材の物理的性質

種類	性質		粗粒率 (FM)	密度 (kg/l)	吸水率 (%)	実積率 (%)
	記号					
普通	細骨材	N-S	2.56	2.59	1.33	62.4
	粗骨材	N-G	6.76	2.71	0.69	58.0
再生 a種	細骨材	Ra-S	2.84~3.18	2.35~2.41	6.52~8.56	63.5~66.4
		Ra-G	6.73~7.05	2.52~2.60	2.59~3.37	60.0~61.2
	粗骨材	Ra-S	2.84~3.18	2.35~2.41	6.52~8.56	63.5~66.4
		Ra-G	6.73~7.05	2.52~2.60	2.59~3.37	60.0~61.2
再生 b種	細骨材	Rb-S	3.28	2.35	8.77	69.1
	粗骨材	Rb-G	6.71	2.51	3.77	58.5
再生 c種	細骨材	Rc-S	3.12	2.24	11.80	65.5
	粗骨材	Rc-G	6.56	2.39	5.86	58.2

また、比較用の普通骨材には川砂（淀川産）、碎石（大阪茨木産）を使用した。

2.2 実験計画

本実験では、まず各プラントから得られた再生骨材の基本特性およびそれらを用いたコンクリートの特性を明らかにしプラント特性の把握を試みる。次に、最も変動が問題となることが予想される Ra 骨材について定期的なサンプリングによってその変動とコンクリートに及ぼす影響について検討する。さらにこの種再生骨材の力学特性、耐久性を明らかにし、その問題点、有効利用方法について検討する。本実験で用いた主たる要因、水準を表-1 に示す。なお、再生細骨材の置換に関しては、粗骨材はすべて再生骨材を使用し、細骨材に関して普通細骨材を再生細骨材で置換（体積比）した率を示したものである。

3. 再生骨材および再生骨材使用コンクリートの特性とプラント状況

3.1 各再生骨材の基本特性

各再生骨材の物理的性質を普通骨材とともに表-2 に示す。また、各骨材の吸水率と密度の関係を図-1 に示す。図より、骨材の吸水率と密度の間には、細・粗骨材ともプラント状況にかかわらず普通骨材を含めて、明確な直線関係が認められ、密度と吸水率の組み合わせが、再生骨材に含まれる旧コンクリートのセメント硬化物の量と質を表している。

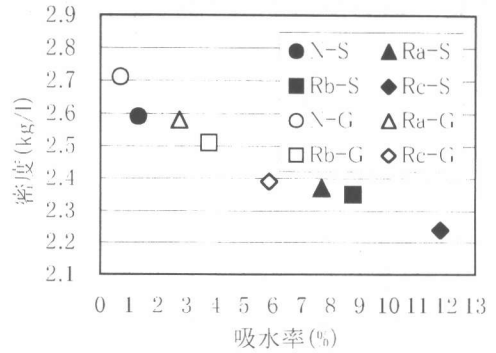


図-1 骨材の吸水率と密度の関係

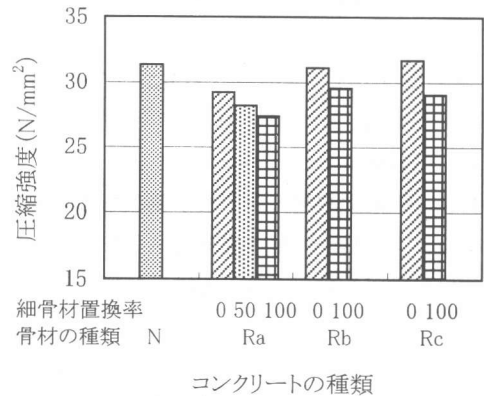


図-2 再生骨材使用コンクリートの圧縮強度 (W/C=55%)

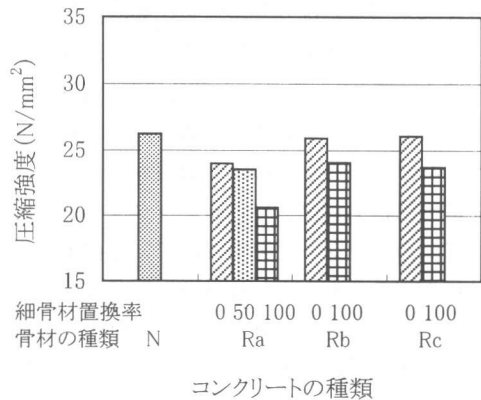


図-3 再生骨材使用コンクリートの圧縮強度 (W/C=65%)

3.2 各再生骨材使用コンクリートの強度

各再生骨材使用コンクリートの材齢 28 日における圧縮強度を図-2、図-3 に示す。なお、コンクリートの配合は、土木学会示方書に準じて試し練りによって決定した。これらの図から再生骨材使用コンクリートは、再生骨材の使用

量が増加するほど普通コンクリートと比較して圧縮強度が低下しているが、Ra 骨材と Rb, Rc 骨材を比較すると、吸水率が大きく密度の小さい Rb, Rc 骨材使用コンクリートの方が圧縮強度低下の割合が小さくなっている。図-4 に各コンクリートの圧縮強度と使用骨材の平均吸水率（コンクリート中の骨材の総質量に対する骨材の総吸水量）の関係を示す。この図から圧縮強度と骨材平均吸水率の間には、普通骨材をふくめて Ra 骨材および Rb, Rc 骨材でそれぞれほぼ直線関係が認められ、Rb, Rc 骨材の場合の方が骨材平均吸水率の増加に対する圧縮強度の低下割合が小さい。この原因としては、両者の再生骨材の原料となるコンクリート廃棄物の相違によるものと考えられる。すなわち、Ra 骨材ではコンクリート解体廃棄物が大部分を占めており、材齢が古いのに対して、Rb, Rc 骨材ではきわめて材齢の新しいコンクリート塊を原料としており、コンクリート中で再生骨材に含まれている旧コンクリートのセメント硬化体

の水和反応が若干進行することが考えられる。

4. 再生骨材特性の変動とその影響

4.1 再生骨材特性の変動

2000年6月から同10月までの間に実稼働中の Ra 骨材製造プラントから8回のサンプリングを行い、骨材試験を行った。骨材の密度、吸水率の変動を図-5, 図-6に示す。

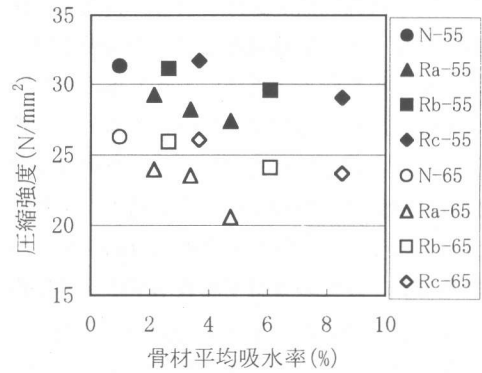


図-4 コンクリートの圧縮強度と骨材平均吸水率との関係

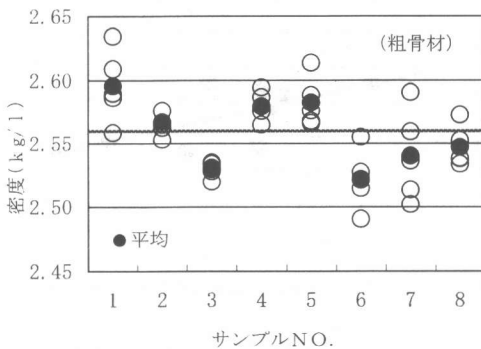
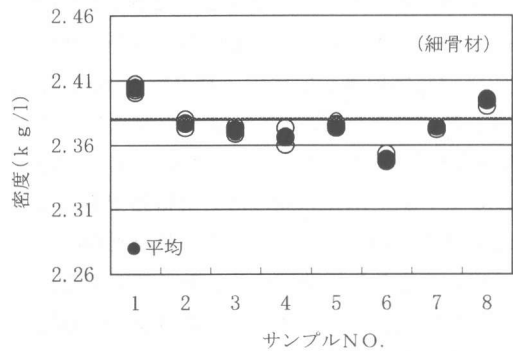


図-5



密度の変動

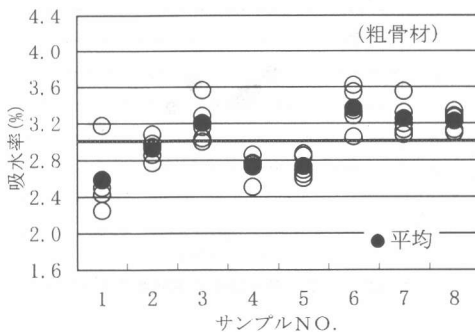
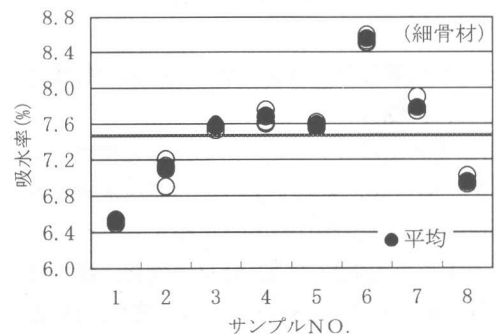


図-6



吸水率の変動

4.2 再生骨材の品質変動がコンクリートに及ぼす影響

各サンプルの再生骨材を用いたコンクリート（細・粗骨材とも100%再生骨材使用）の材齢28日における圧縮強度および動弾性係数を図-7, 図-8に示す。さらに、再生骨材の骨材平均吸水率とコンクリートの圧縮強度、動弾性係数（各サンプルでの平均値）の関係を図-9, 図-10に示す。図-9, 図-10いずれの場合も両者の間に直線関係が認められる。いま図-9のコンクリートの圧縮強度と骨材平均吸水率の間の回帰直線を最小2乗法によって求めると図中の実線となる。この関係を用いて図-7の各サンプルにおける圧縮強度の平均値を使用した再生骨材の骨材平均吸水率による補正（骨材平均吸水率のサンプル間での平均値（4.88%）からの各サンプルでの骨材平均吸水率のずれに相当する圧縮強度の差を補正する）を行った。その結果を補正前と併せて図-11に示す。この図から補正によってサンプル間でのコンクリートの圧縮強度の変動はかなり小さくなることが明らかである。本実験では、補正前のサンプル間での圧縮強度のばらつきの変動係数が6.62%であったのに対して、補正後は5.37%となった。

再生骨材使用コンクリートにおいても、圧縮強度とセメント水比の間には実用範囲で明確な直線関係が認められており、この骨材平均吸水率の違いによる圧縮強度の差をセメント水比に転嫁して配合設計を行えば、再生骨材の変動に伴う再生骨材使用コンクリートの圧縮強度の変動を低く押さえることが可能である。

5. 再生骨材使用コンクリートの力学特性と耐久性

再生骨材使用コンクリートの圧縮強度は、図-2, 図-3にも示すように、同一水セメント比の普通コンクリートと比較するとかなり低下する。本実験の Ra 骨材の場合、細・粗骨材ともすべて再生骨材を用いた場合、15%程度圧縮強度が低下した。しかし、再生コン

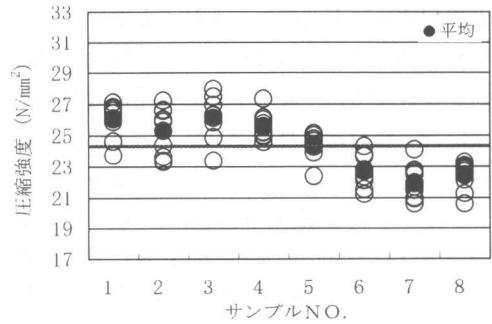


図-7 コンクリートの圧縮強度の変動 (W/C=65%)

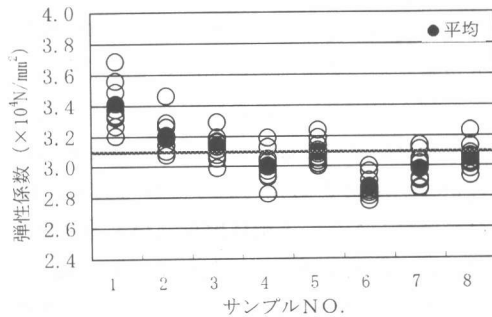


図-8 コンクリートの弾性係数の変動 (W/C=65%)

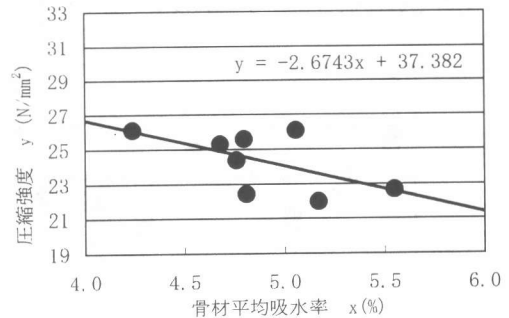


図-9 骨材平均吸水率と圧縮強度の関係 (W/C=65%)

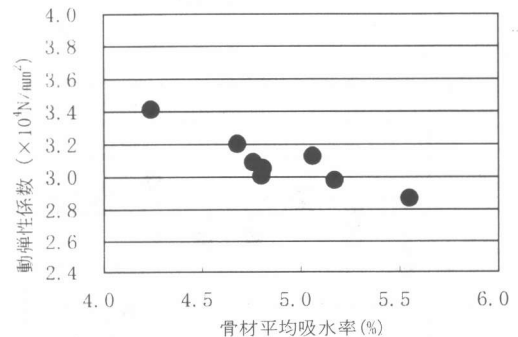


図-10 骨材平均吸水率と動弾性係数の関係 (W/C=65%)

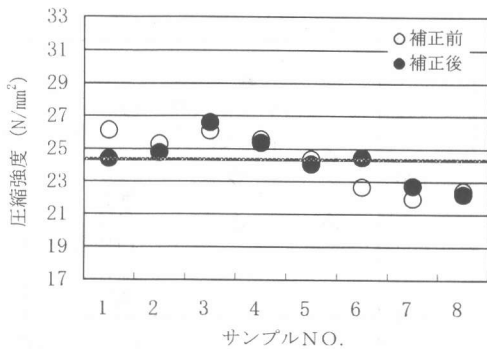


図-11 コンクリートの圧縮強度の骨材平均吸水率による補正 (W/C=65%)

クリートにおいても圧縮強度とセメント水比の間には、普通コンクリートの場合とほぼ平行な右上がりの直線関係が認められており、实用範囲内程度の圧縮強度に対しては、水セメント比を低下させることで対応できる。したがってここでは、再生骨材使用コンクリートの力学特性、耐久性を同一圧縮強度を有する普通コンクリートと比較検討する。検討項目、測定条件等は以下の通りである。

引張強度、動弾性係数

耐硫酸塩性試験：10 × 10 × 40cm 角柱供試体を材齢 28 日間水中養生後、炉乾燥し、硫酸ナトリウム飽和溶液中に浸け動弾性係数の変化を測定する。

中性化試験：供試体寸法 10 × 10 × 40cm、材齢 28 日で炉乾燥後、炭酸ガス濃度 10%、温度 30 °C、湿度 50%の槽内に 28 日間保存し測定した。

乾燥収縮ひずみ：供試体寸法 10 × 10 × 40cm、打設翌日から、温度 20 °C、湿度 50%の恒温、恒湿槽内に保存

以上の試験を主として Ra 骨材を用いた再生コンクリートについて行った。試験結果を圧縮強度との関係で、図-12～図-16に示す。これらの図から、引張強度および中性化深さに関しては、すべてのコンクリートでほぼ共通の回帰直線に乗っており問題ないと考えられる。耐硫酸塩抵抗性に関しては、若干再生骨材使用コンクリートの方が抵抗性に劣っており、再生骨材が

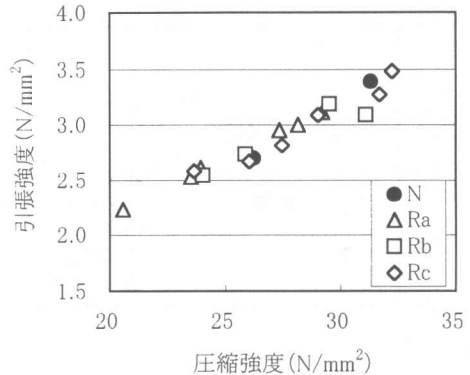


図-12 コンクリートの引張強度と圧縮強度との関係

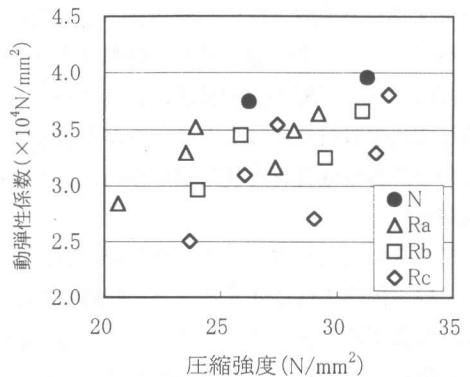


図-13 コンクリートの動弾性係数と圧縮強度との関係

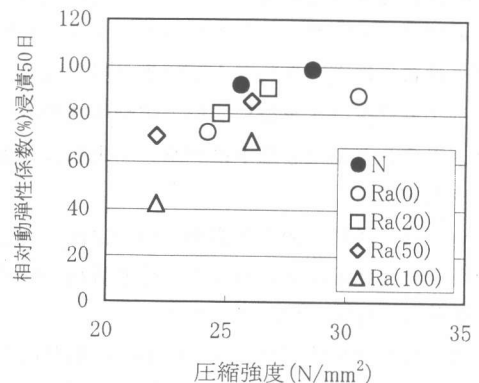


図-14 コンクリートの耐硫酸塩抵抗性と圧縮強度との関係

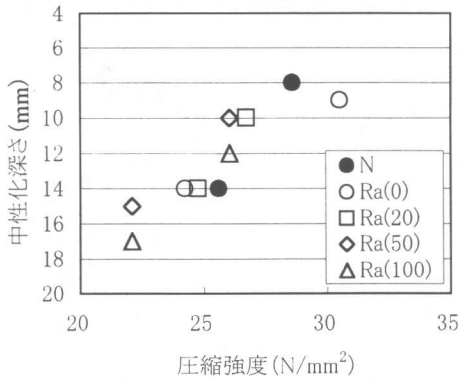


図-15 コンクリートの中性化深さと圧縮強度との関係

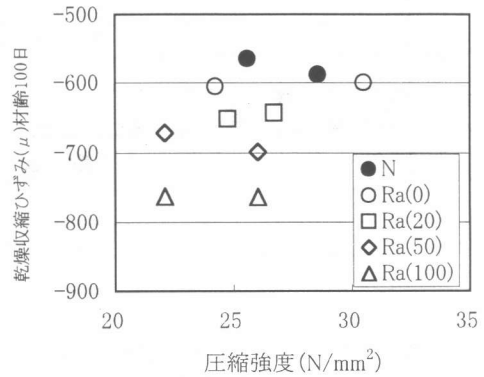


図-16 コンクリートの乾燥収縮ひずみと圧縮強度との関係

コンクリートの耐久性に不安があることを伺わせる。一方、乾燥収縮ひずみ、動弾性係数に関しては、同一圧縮強度の普通コンクリートと比較して再生骨材使用コンクリートがかなり劣っており、再生細骨材の使用量が多いほどこの傾向が強い。

これらのことから、この種再生骨材は、変形および一部耐久性に関することに配慮すれば、かなり広範囲に普通コンクリートとほぼ同様の取り扱い手法で利用できるものと考えられる。

6. まとめ

現在実稼働しているコンクリート用再生骨材製造プラントで製造されているコンクリート用再生骨材の性質、変動および再生骨材使用コンクリートに及ぼす影響について実験的に検討した。得られた結果を以下に列挙し、本研究のまとめとする。

(1) 再生骨材の密度と吸水率の間には、製造プラントの状況に関わりなく、普通骨材を含めて明確な直線関係が認められる。

(2) 再生骨材使用コンクリートの圧縮強度と使用骨材の平均吸水率の間には使用原料の状況に応じてそれぞれ固有の直線関係が認められる。

(3) 同一プラントで製造される再生骨材を用いたコンクリートの圧縮強度の変動は、使用再

生骨材の骨材平均吸水率で補正することによりかなり小さくすることが可能である。

(4) 本実験に関する限り、中間処理場に集積されるコンクリート塊を原料とする再生骨材はコンクリートの変形特性および一部耐久性に配慮すれば、かなり広範囲に普通骨材使用の場合とほぼ同様の手法で利用できる。

なお、本研究は、著者の一人に与えられた平成 12、13 年度文部省科学研究費補助金で行った研究の一部である。

参考文献

- 1) 建設省・(財) 国土開発技術センター：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) 建設省：建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発概要報告書、1997
- 3) 矢村潔・岡本晋作・坂田一隆：土砂を含むコンクリート廃棄物の再利用に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.21, No.1, 1999
- 4) 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