

論文 高品質再生粗骨材の研究

柳橋邦生¹, 米澤敏男², 神山行男³, 井上孝之¹

要旨: 偏心回転する内筒部と外筒部の間で生ずるすりもみ作用を原理とする処理装置を製作し、コンクリート塊から再生粗骨材を製造した。製造した再生粗骨材は、JASS 5 に規定される砂利や JIS A 5005 の碎石の比重や吸水率を満足するものが得られた。同再生粗骨材を使用したコンクリートは、単位水量が少なく、通常の粗骨材を用いたコンクリートと同等の硬化物性や構造体強度を示すことが確認された。

キーワード: 再生骨材, 比重, 吸水率, 強度, 乾燥収縮, 凍結融解抵抗性, 中性化

1. はじめに

建設副産物の多くを占めるコンクリート塊は、平成7年で年間3700万t発生し、1300万tが処分されている。コンクリート塊の再利用方法は主として路盤材や埋め戻し材であるが、再利用率向上や資源の有効利用の観点から、より高度な処理を行って構造体コンクリート用の粗骨材として利用することが望ましい。筆者らは、高品質の再生粗骨材を得ることを目的として堅型の偏心ローター式再生粗骨材製造装置を製作した。本報では、本装置を紹介すると共に製造した再生粗骨材の品質、及びこの再生粗骨材を使用したコンクリートの特性についてまとめる。

2. 再生粗骨材製造装置の概要

処理装置の原理を図-1に、外観を写真-1に示す。処理される原コンクリートは、外筒部と高速で偏心回転する内筒部の間を上部から下部へ通過中に原コンクリートに付着しているモルタル分がすりもみ作用を受け、粗骨材とモルタル分に分離される。装置下部から排出されたものを5mmのふるいで分級することにより、再生粗骨材を取り出すことができる。

本装置の場合、25~5mm, または 20~5mm の粒度の粗骨材を製造することが可能である。

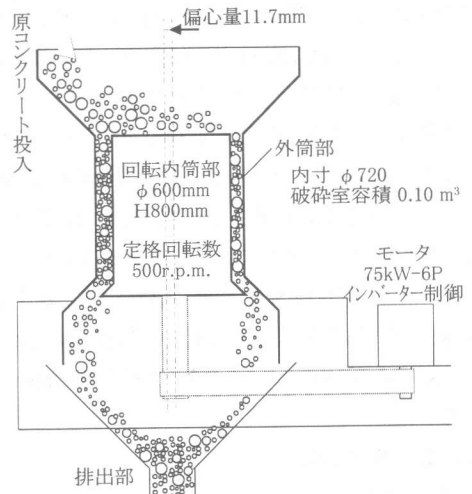


図-1 処理装置原理図

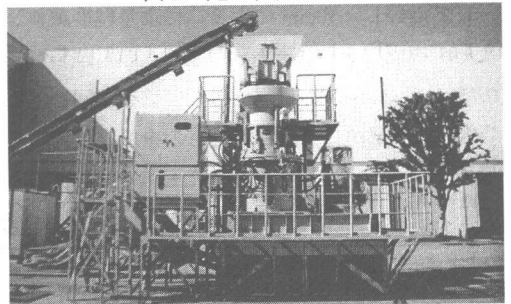


写真-1 処理装置の外観

¹(株)竹中工務店 技術研究所 生産研究開発部 材料グループ (正会員)
²(株)竹中工務店 技術研究所 生産研究開発部 材料グループ 主任研究員 Ph.D. (正会員)
³(株)竹中工務店 技術研究所 生産研究開発部 材料グループ 主任研究員 工学博士 (正会員)

3. 処理した再生粗骨材の品質

開発した偏心ローター式処理装置の性能を確認するため、実験的に製作したコンクリート塊、及び2箇所の作業所から入手したコンクリート塊をそれぞれジョークラッシャーにて破碎したものを原コンクリートとして1~2回処理を行い、得られた再生粗骨材の品質を調べた。

3.1 原コンクリート

使用した原コンクリートの性質を表-1に示す。表中の絶乾比重及び吸水率はJIS A 1110に従って測定した値を、モルタル付着率は、塩酸5%溶液にてモルタル分を溶解させ、その重量減少率から求めた値を、コア強度はJIS A 1107に従って測定した値を示した。表2は、原コンクリートに含まれる粗骨材の状態を、模擬塊の場合は使用した粗骨材の試験値、作業所A、Bの場合は塩酸にてモルタル分を除去し、5mm以上にふるいわけたものを粗骨材として行った試験の値で示した。

模擬塊は、表-2の川砂利と川砂を使用し、単位水量157kg/m³、水セメント比50%、細骨材率44.0%の条件で練混ぜて土間を打設し、材齢42日で解体・破碎したものである。フレッシュコンクリートのスランプは12.5cm、空気量は3.6%、標準水中養生の供試体の圧縮強度は材齢28日で32.4N/mm²、解体を行った材齢42日で35.7N/mm²であった。

3.2 処理方法

表-1の各コンクリート塊をジョークラッシャーにて破碎し、50mmのふるいにより粒度調整したものを原コンクリートとして2.の処理装置に0.75t/分の速度で投入した。処理回数を2回とする場合は、下部から排出されたものを再度投入して処理を行った。処理を完了したものを5mmのふ

表-1 使用した原コンクリートの性質

	絶乾比重	吸水率 (%)	モルタル付着率 (%)	コア強度 (N/mm ²)
模擬塊	2.27	5.00	27.8	29.0
作業所 A	2.25	6.60	26.4	21.1~39.8
作業所 B	2.21	7.11	29.3	—

表-2 各原コンクリートに含まれる粗骨材の品質

	形状	絶乾比重	吸水率 (%)
模擬塊	砂利	2.61	1.14
作業所 A	砂利	2.53	1.26
作業所 B	砂利	2.50	3.59

表-3 再生粗骨材の試験項目と試験方法

試験項目	試験方法
ふるいわけ	JIS A 1102
実積率	JIS A 1104
絶乾比重、吸水率	JIS A 1110
粘土塊量	JIS A 1137
微粒分量	JIS A 1103

るいにかけて、留まったものを再生粗骨材とした。

3.3 試験項目及び試験方法

得られた再生粗骨材について、表-3の各試験、及びモルタル付着率を測定した。モルタル付着率は、110℃にて乾燥させた骨材を塩酸5%溶液に1週間浸漬した後、再び110℃にて乾燥し、浸漬前後の重量差をモルタル付着量としてその比率を求めた。

3.4 試験結果

表-4及び図-2に処理した再生粗骨材の試験結果を示す。原コンクリートに含まれていた粗骨材の吸水率がJASS5の基準を超えていた作業所Bの場合を除き、処理した再生粗骨材の絶乾比重、吸水率、粘土塊量、および微粒分量は、JIS Z 8401の数値の丸め方に従って判定すれば、JASS5の砂

表-4 再生粗骨材の試験結果

原コンクリート	処理回数	絶乾比重	吸水率 (%)	粘土塊量 (%)	微粒分量 (%)	モルタル付着率 (%)	実積率 (%)
模擬塊	1	2.47	2.43	0.0	0.93	11.0	60.7
	2	2.53	1.80	0.0	0.90	5.8	61.8
作業所 A	1	2.45	2.87	0.0	0.97	16.1	62.4
	2	2.46	2.75	0.0	0.92	12.0	62.4
作業所 B	1	2.40	5.30	0.0	1.04	18.0	60.2
JASS5基準	—	2.5以上	3.0以下	0.25以下	1.0以下	—	—

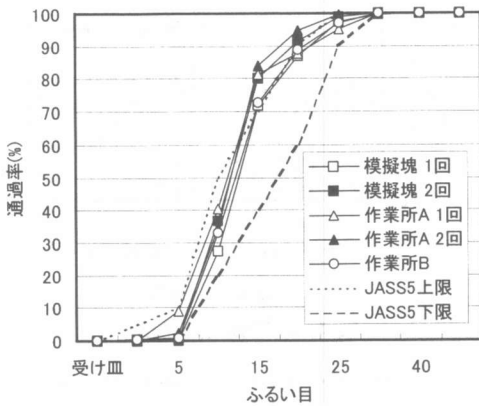


図-2 再生粗骨材のふるい分け試験結果

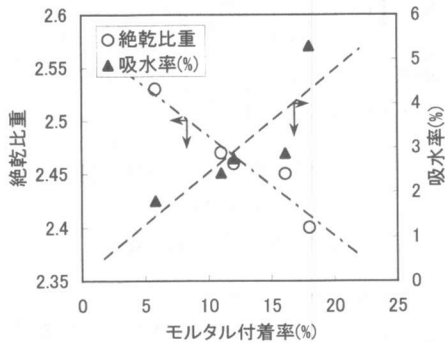


図-3 モルタル付着率と絶対比重、吸水率の関係

の基準を満足している。高品質の再生粗骨材を製造する際は、原コンクリート中の粗骨材の品質を事前調査し、原コンクリートとして採用の可否を判断することが必要であると考えられる。

ふるい分け試験の結果は、全般的に粒径 15~20mm の範囲のものが多く、原コンクリートの種類や処理回数により、JASS 5 の最大寸法 25mm の砂利の粒度範囲外となるものがあつた。製造した再生粗骨材を 15mm 程度でふるい分けて粒度調整を行うことは、可能であるが、資源有効利用の観点からは全量を使用すべきであり、再生粗骨材の粒度は、別途基準を設けることを提案したい。

図-3 にモルタル付着率と各再生粗骨材の絶対比重、吸水率の関係を示す。モルタル付着率として概ね 12~13% 以下にすれば、絶対比重 2.45 以上、吸水率 3.0% 以下の高品質な再生粗骨材が得られる。

4. 再生粗骨材コンクリートの特性

3. の実験で得られた模擬コンクリート塊を 1 回処理して得られた再生粗骨材を使用してコンクリートを練混ぜてその特性を調べた。

4. 1 実験の因子と水準

一般の建築物に利用されると考えられるスランプ 18cm、水セメント比 50~60% のコンクリートを想定し、再生粗骨材を使用する場合と砂利を使用する場合のコンクリートの特性を調べることを目的として表-5 の因子と水準により、実験を行った。

表-5 実験の因子と水準

因子	水準
粗骨材の種類	砂利, 再生骨材
水セメント比	50%, 55%, 60%

4. 2 使用材料及び割合

使用材料と割合を表-6~7 に示す。使用した砂利は、再生粗骨材の原コンクリートに使用したものと同一である。割合の結果、再生粗骨材を使用したコンクリートの単位水量は 6~7 kg/m³ 大きくなったが、一般の碎石を使用したコンクリートの単位水量に比べれば、やや少ないか同程度と考えられる。

4. 3 練混ぜ

練混ぜには 50ℓ の強制練りパン型ミキサーを使用し、セメント及び細粗骨材を 15 秒空練りした後、水・混和剤を加えて 90 秒攪拌した。

4. 4 試験項目及び試験方法

練りあがったコンクリートについて、表-8 の各試験を実施した。

4. 5 試験結果

(1) スランプ及び空気量

各コンクリートともスランプで目標値 ±1.5cm、空気量で目標値 ±0.5% の値が得られた。

(2) 圧縮強度、弾性係数、引張強度

材齢 1 週及び 4 週の圧縮強度、弾性係数、引張強度の各試験結果を図-4~6 に示す。圧縮強度及び弾性係数は、同一水セメントで再生粗骨材を使用した場合と砂利を使用した場合の差はほとん

表-6 コンクリートの使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 比重 3.15
粗骨材 (川砂利)	表乾比重 2.64, 絶乾比重 2.61, 吸水率 1.14%
粗骨材 (再生)	表乾比重 2.53, 絶乾比重 2.47, 吸水率 2.43%
細骨材 (川砂)	表乾比重 2.61, 絶乾比重 2.57, 吸水率 1.49%
混和剤	AE 減水剤
水	水道水

表-8 実施した試験項目及び試験方法

試験項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101
空気量	JIS A 1118
圧縮強度, 弾性係数	JIS A 1108
引張強度	JIS A 1113
乾燥収縮	JIS A 1129
凍結融解抵抗性	JIS A 6204 附属書 2
促進中性化	高耐久性鉄筋コンクリート 造設計施工指針 付 1.

ど見られなかった。水セメント比 50~55%での引張強度は、再生粗骨材を使用した場合、若干低下する傾向が見られた。

(3) 乾燥収縮

乾燥収縮の測定結果を図-7 に示す。再生粗骨材を使用したコンクリートの乾燥収縮は、砂利を使用したコンクリートの乾燥収縮と比較して材齢 26 週において 50~100 μ 程度大きくなる傾向がある。一般に、現在流通している砕石を使用した場合は、砂利を使用した場合より単位水量で 10kg/m³ 程度大きくなると考えられることから、再生粗骨材を使用した場合の乾燥収縮は、砕石の場合と同程度か若干少ない程度と考えられる。

(4) 凍結融解抵抗性

水セメント比 60%の場合の凍結融解抵抗性試験結果を図-8 に示す。再生粗骨材を使用したコン

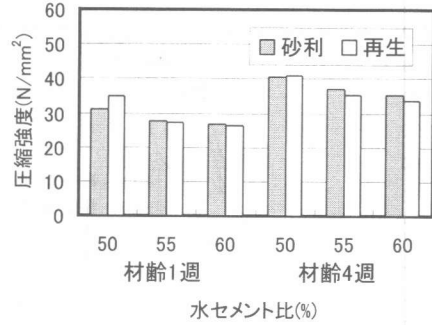


図-4 圧縮強度試験結果

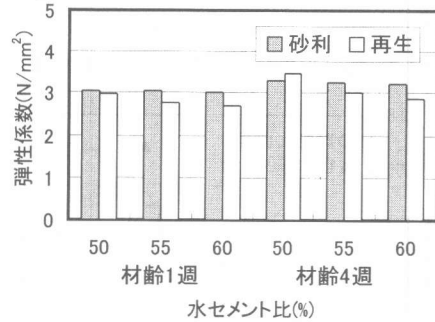


図-5 弾性係数試験結果

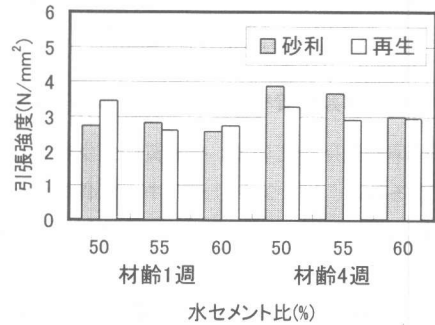


図-6 引張強度試験結果

クリートは、十分な耐久性を示した。

(5) 中性化深さ

促進中性化深さの測定結果を図-9 に示す。同一

表-7 コンクリートの調査

調査 No.	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	骨材最大寸法 (mm)	S/a (%)	単位水量 (kg/m ³)	重量(kg/m ³)			混和剤 (Cx%)
							セメント	細骨材	粗骨材	
V50	18	4.5	50	25	43.5	166	332	778	1019	0.2
V55			55		44.8	162	295	817	1019	0.2
V60			60		45.6	162	270	840	1016	0.2
R50	18	4.5	50	25	43.5	172	344	765	964	0.2
R55			55		44.8	169	307	806	958	0.2
R60			60		45.6	169	282	827	959	0.2

水セメント比において、再生粗骨材を使用したコンクリートの中性化深さは、砂利を使用したコンクリートの中性化深さより、若干大きかった。ただしその差は1mm程度であり、耐久性に及ぼす影響はほとんどないと考えられる。

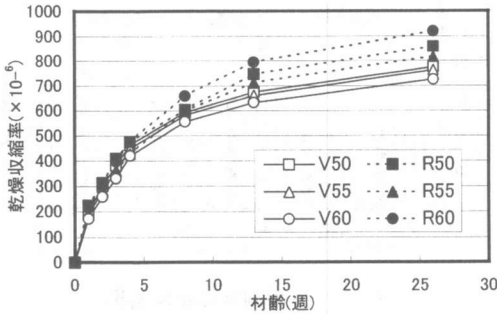


図-7 乾燥収縮測定結果

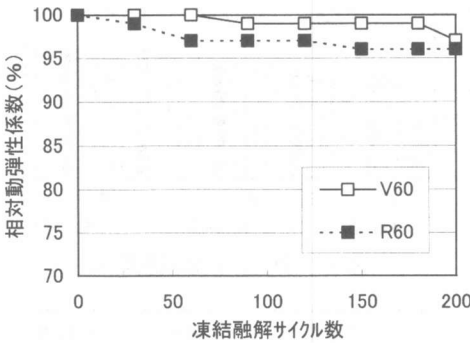


図-8 凍結融解抵抗性測定結果

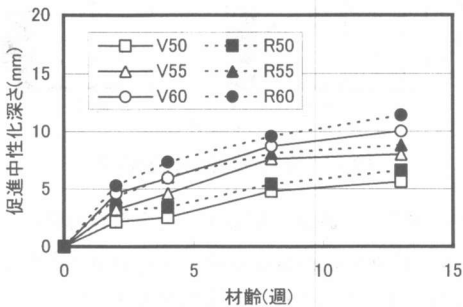


図-9 中性化促進試験の結果

5. 壁試験体による構造体強度の確認

再生粗骨材を使用したコンクリートの構造体強度特性を把握する目的で壁型試験体を製作し、コアを採取して強度特性を調べた。

5.1 試験体の形状及び寸法

試験体の形状及び寸法を図-10に示す。主筋にはD13を使用し、150mmピッチのダブル配筋とした。試験体は再生粗骨材を使用したコンクリートと砕石を使用したコンクリートを用いて2体製作した。

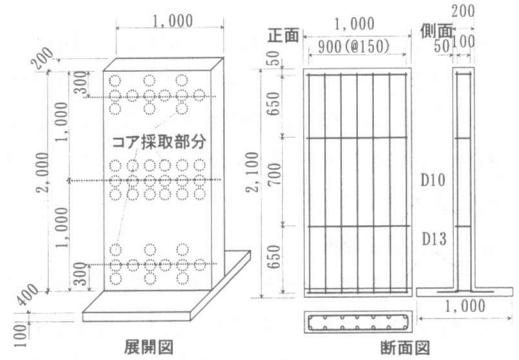


図-10 試験体概要図

5.2 コンクリートの使用材料及び割合

使用材料及び割合を表-9~10に示す。

5.3 試験体製作方法

レディーミクストコンクリート工場にて各コンクリートを製造し、アジテータ車にて運搬、ポンプ車により打設を行い、脱型後材齢1週までで散水養生を行った。同時に供試体を採取し、現場水中養生、封緘養生及び標準水中養生とした。

荷卸時のスランプ、空気量、及びコンクリート温度は、再生粗骨材コンクリートでは各々18.5cm、4.5%、24.0℃、砕石コンクリートでは各々16.7cm、4.7%、22.5℃であった。

5.4 試験方法

JIS A 1107に従って、図-10のように試験体の上、

表-9 コンクリートの使用材料

セメント	ポルトランドセメント 比重 3.15
粗骨材 (砕石)	表乾比重 2.65, 絶乾比重 2.62, 吸水率 1.18%
粗骨材 (再生)	表乾比重 2.53, 絶乾比重 2.47, 吸水率 2.43%
細骨材 (陸砂 70%)	表乾比重 2.59, 絶乾比重 2.55, 吸水率 1.55%
細骨材 (砕砂 30%)	表乾比重 2.62, 絶乾比重 2.56, 吸水率 2.24%
混和剤	AE 減水剤
水	地下水

表-10 コンクリートの調査

調査 No.	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	骨材最大寸法 (mm)	S/a (%)	単位水量 (kg/m ³)	重量(kg/m ³)			混和剤 (Cx%)
							セメント	細骨材	粗骨材	
砕石	18	4.5	55	20	47.6	182	331	827	928	1.0
再生	18	4.5	55	25	44.7	173	315	793	954	1.0

中、下部よりコアを採取した。採取した現場水中及び標準水中養生の供試体と共に表-8 の方法で圧縮強度、弾性係数、引張強度を測定した。試験材齢は、圧縮強度と弾性係数は1週、4週、13週、引張強度は4週とした。

5. 5 試験結果

試験結果を図-11~13 に示す。圧縮強度及び弾性係数の測定結果は、標準水中養生と現場水中養生、現場封緘養生の場合で、差はほとんど認められなかった。上部~下部のコア強度も標準水中養生の供試体と大きな違いは認められなかった。コアの引張強度は、標準養生供試体よりやや低い傾向があった。下部から採取したコアの圧縮強度、弾性係数、及び引張強度は、上部や中部から採取したコアよりもやや高い傾向が認められた。

以上の傾向は、再生粗骨材を使用した場合と砕石を使用した場合で差は認められなかった。

6. まとめ

以下に実験結果をまとめる。

- ・偏心ローター方式の処理装置により、原コンクリートに含まれる粗骨材の品質を事前調査しておくことにより、JASS 5 の品質を満足する再生粗骨材が製造可能である。

- ・製造した再生粗骨材を使用したコンクリートの物性は、砂利を使用したコンクリートと比較して引張強度は若干小さく、乾燥収縮や中性化は若干大きくなるが、ほぼ同程度の性能であることが確認できた。

- ・製造した再生粗骨材を使用したコンクリートの構造体強度は、砕石を使用したコンクリートと同一の特性であった。

今後、構造体コンクリートへの採用をねらいとし、長期の物性データについても蓄積していきたい

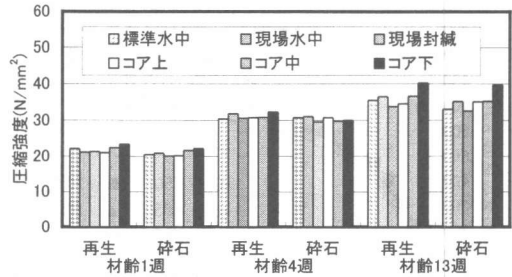


図-11 圧縮強度の試験結果

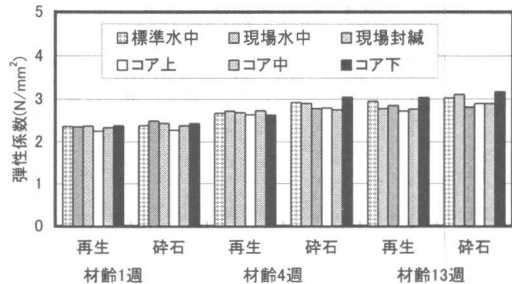


図-12 弾性係数の試験結果

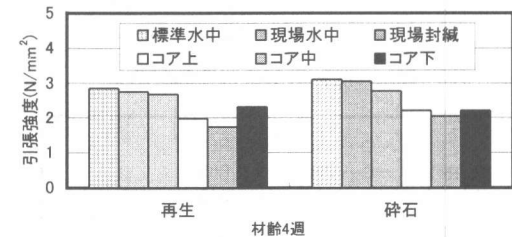


図-13 引張強度の試験結果

い。また、本論文で提案する再生粗骨材製造装置では、処理量の約70%が微粉を含む粉体として発生するが、この粉体の再生利用方法についても検討していきたい。最後に、本研究は、大阪市立大学の山田優教授に多大な御援助・御指導をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1) 友澤史紀, 毛見虎雄, 環境調和型建築の設計と施工, 技術書院, 1997年