

論文 高品質再生細骨材の製造技術に関する研究

柳橋邦生^{*1}

要旨：通常の細骨材と同等の再生細骨材を製造することを目的として、偏心ロータを用いてその改良方法と、運転条件に関する研究を行った。模擬装置を用いた実験の結果、処理時間の長時間化と媒体の併用が有効であることが確認でき、この結果を偏心ロータ装置に反映して改良した。改良した装置で、1.2～5mmの粒径範囲で通常の細骨材と同等の再生細骨材を得るための製造条件を把握することができた。

キーワード：再生骨材、細骨材、絶乾密度、吸水率、すりもみ処理

1. はじめに

建設副産物のうちコンクリート塊は、国土交通省の平成12年度実態調査によれば、前回の調査よりリサイクル率の向上は認められたものの、依然として排出量が多い。また、そのリサイクルの内訳のほとんどは、埋め戻し材料や路盤材料としての利用であり、今後、新設の道路工事の減少や道路改修工事での場内リサイクルの推進、ごみ溶融スラグなどの他産業の副産物の道路用材への利用促進が予想されることから、コンクリート塊の利用先としてコンクリート用骨材としての転換が必要である。近年、再生コンクリートの標準情報 TR A 0006 が公開され、再生骨材のコンクリート用途としての普及が図られたが、比較的低品質の再生骨材を用いた低強度のコンクリートを対象としたため需要が少なく、普及が進んでいない。

筆者らは、以前より通常のコンクリートと同等に扱うことのできる再生コンクリートの提供を目指し、偏心ロータを用いた再生粗骨材の製造技術の研究を通じ、普通粗骨材とほぼ同等の品質の再生粗骨材が製造可能であることを示してきた¹⁾。本報では、偏心ロータを改良し、普通細骨材と同等の品質の再生細骨材の製造を試みた結果をまとめた。

2. 偏心ローターによる再生細骨材処理原理

再生骨材を通常と同程度の品質に高めるためには、セメントモルタル分を骨材表面から剥離させる必要があり、そのためにはすりもみ作用を処理物であるコンクリート塊に与える必要がある。すりもみ作用を与える装置として本研究では、図-1に示す機構を有する偏心ローター式処理装置を採用した。本装置の処理原理は、図-2のように主として偏心回転する内筒の揺動によるすりもみ作用の付与による。再生粗骨材の処理では、この機構のみで普通骨材と同等の品質の再生粗骨材を得ることができたが、再生細骨材の処理では、対象となる処理物の表面積が大きくなるため、すりもみ作用の増強が必要になると考えられた。

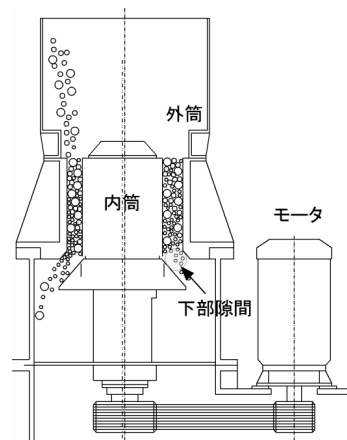
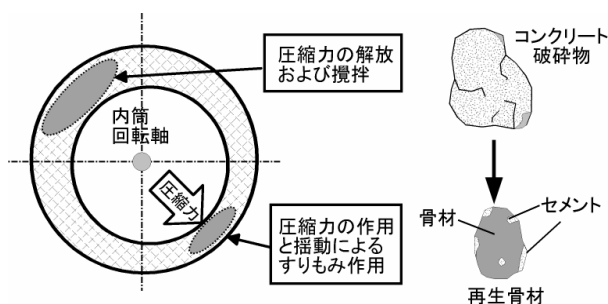


図-1 偏心ローター式処理装置の例

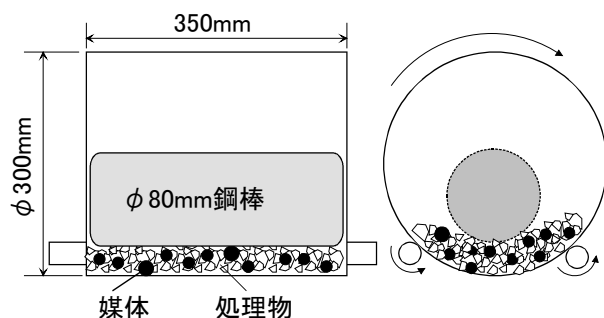
^{*1} (株)竹中工務店 技術研究所先端研究開発部フロンティア技術部門主任研究員（正会員）



図－２ 偏心ロータによるすりもみ処理の原理

3. 処理時間と媒体に関する実験

再生細骨材を処理する偏心ロータ式処理装置のすりもみ効果の増強を図るため、処理物のすりもみ合う相手として硬質の材料（媒体）の混合と、処理時間を変えた場合の効果を検討した。



図－３ すりもみ効果の増強実験装置

3.1 実験の因子と水準

実験の因子と水準を表－１に示す。媒体とし

ては、入手が比較的容易な鉄球とアルミナ球を用い、鉄球は球径も変化させた。媒体の処理物に占める体積は 50%までの範囲で、処理時間は 10 分までの範囲で水準を設定した。

表－１ 実験の因子と水準

因子	水準
媒体の種類	鉄球(ϕ 10mm, ϕ 15mm, ϕ 20mm), アルミナ球(ϕ 20mm)
媒体体積比率	0%, 30%, 50%
処理時間	5 分, 10 分

3.2 実験方法

(1) 使用材料

解体現場で粗破碎後に鉄筋等を除去した原コンクリートを、ジョークラッシャで 50mm 以下の粒度に破碎した後、5mm の振動フルイを通過したものを使用した。

(2) 処理方法

偏心ロータを模擬した装置として図－３の装置を製作し、1000cm³を目安に試料と媒体を因子と水準に従って投入し、所定の時間回転させる。回転を止めた後、下記の評価項目に従って処理後の骨材試験を実施した。なお、回転数は毎分 50 回とした。

表－２ 絶乾密度の測定結果（単位：g/cm³）

処理時間	粒径範囲	媒体種類・媒体量								
		なし	鉄球(φ10)		鉄球(φ15)		鉄球(φ20)		アルミナ球(φ20)	
		0%	30%	50%	30%	50%	30%	50%	30%	50%
5min	>0.6mm	2.58	2.58	2.59	2.58	2.59	2.59	2.61	2.59	2.61
	>1.2mm	2.59	2.60	2.60	2.61	2.61	2.62	2.64	2.60	2.62
10min	>0.6mm	2.58	2.60	2.62	2.61	2.63	2.62	2.64	2.61	2.63
	>1.2mm	2.62	2.64	2.66	2.64	2.70	2.66	2.72	2.63	2.68

表－３ 吸水率の測定結果（単位：%）

処理時間	粒径範囲	媒体種類・媒体量								
		なし	鉄球(φ10)		鉄球(φ15)		鉄球(φ20)		アルミナ球(φ20)	
		0%	30%	50%	30%	50%	30%	50%	30%	50%
5min	>0.6mm	9.18	7.78	6.96	7.6	5.24	7.28	5.22	7.44	5.73
	>1.2mm	7.82	6.32	5.74	6.14	3.91	5.98	3.75	7.05	4.41
10min	>0.6mm	8.28	7.61	6.65	7.02	4.23	6.7	4.01	6.93	4.94
	>1.2mm	6.19	5.22	4.8	4.58	2.62	4.57	2.51	4.78	3.11

(3) 評価方法

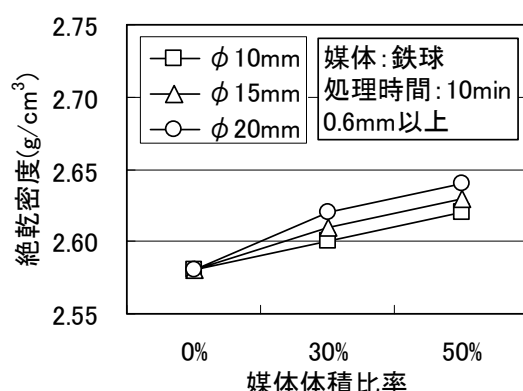
処理後の試料のうち 1/4 を分取してふるいにかけて採取した 0.6mm 残留物と、別の 1/4 を分取してふるいにかけて採取した 1.2mm 残留物について JIS A 1109 に従って、細骨材の絶乾密度と吸水率を測定した。

3.3 実験結果と考察

(1) 絶乾密度

絶乾密度の試験結果を表－2 に示す。今回処理した再生細骨材の絶乾密度の値は元々含まれている細骨材の絶乾密度が高いためか、すべて JIS A 5308 附属書 1 で規定されている細骨材の絶乾密度の基準を満足した。

表－2 の結果のうち、媒体として鉄球を用い、10 分間処理した 0.6mm 残留物の媒体体積比率と絶乾密度の関係を図－4 に示す。いずれの径の媒体を使用した場合も、体積比率が増加するほど絶乾密度が高くなる傾向が見られた。また、媒体の径は大きいほど、絶乾密度が高くなる傾向が見られた。これらの傾向は、処理時間 5 分の場合や 1.2mm 残留物の場合も同様であった。媒体に鉄球を用いた場合とアルミナ球を用いた場合では、質量の大きい鉄球の方が、同一処理時間で絶乾密度が高くなる傾向が見られた。

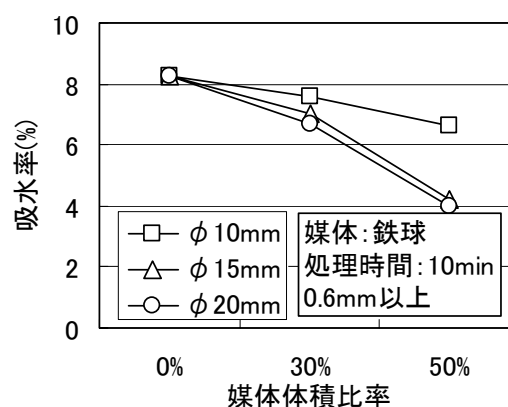


図－4 媒体体積比率と絶乾密度の関係
(媒体:鉄球,処理時間:10 分,0.6mm 残留物の場合)

(2) 吸水率

吸水率の試験結果を表－3 に示す。表中の網掛け部分は、JIS A 5308 の普通骨材の吸水率の基

準を満足してており、その条件は処理時間で 10 分、粒径 15mm 以上の鉄球または粒径 20mm のアルミナ球を 50%混合した場合の 1.2mm 残留物であった。表－3 の結果のうち、媒体として鉄球を用い、10 分間処理した 0.6mm 残留物の媒体体積比率と吸水率の関係を図－5 に示す。いずれの径の媒体を使用した場合も、媒体の量が増加するほど、吸水率は低くなる傾向が見られた。また、媒体の径は大きいほど、吸水率が低くなる傾向が見られた。これらの傾向は、処理時間 5 分の場合や 1.2mm 残留物の場合も同様であった。媒体に鉄球を用いた場合とアルミナ球を用いた場合では、質量の大きい鉄球の方が、同一処理時間で吸水率が低くなる傾向が見られた。



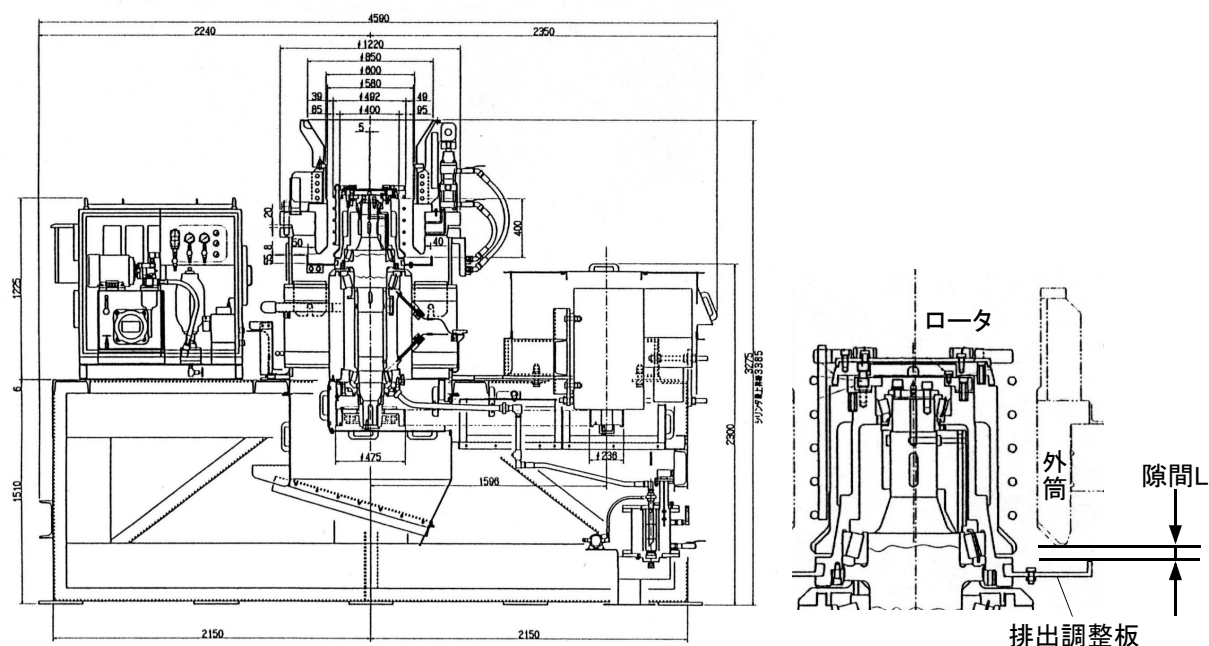
図－5 媒体体積比率と吸水率の関係
(媒体:鉄球,処理時間:10 分,0.6mm 残留物の場合)

(3) 再生細骨材の高品質化条件

今回製作した模擬試験装置では、普通細骨材と同等の品質の再生細骨材を得るには、媒体の利用と毎分 50 回転で 10 分間の処理を要した。偏心ロータで同様の再生細骨材を得るには、第一に媒体の混合、または媒体の代替物を組み込む必要である。第二に処理時間に関しては、偏心ロータは通常毎分 500 回転で運転されるため、10 分よりは短時間化できると考えられるが、処理時間が長期化も必要と考えられる。

4. 改良型偏心ローターによる実験

上述の実験結果をもとに、処理時間の調整が



図－6 改良型の偏心ロータ式処理装置断面図およびロータ主要部詳細断面図

できるように排出調整板を組み込んだ図－6の偏心ロータを設計・製作した。媒体は、球状のものを混合すると媒体の回収が別途必要であることと、排出調整板上の隙間が媒体に干渉するため、球状の媒体の替りにロータに箆状の治具を取付けることとした。治具の鋼材体積は、上記2の実験では処理物に対して30%より50%が適しているが、処理物の通過性を考慮し30%を目安とした。製作した装置により、下記の方法で再生細骨材の試製造を行い、処理した細骨材を評価した。

4.1 実験の因子と水準

改良した偏心ロータは、内筒下部に排出調整板を取付けたため、定常回転数が低いと処理速度の低下が、高いと排出速度が過剰となり、十分なすりもみ効果が得られない。また、排出調整板通過部分の隙間も、すりもみ処理時間を左右するため、これらを実験因子として実験を行った。ここで言う隙間Lとは、排出調整板端部

の上端と外筒部分の下端の差を示し、0mmの場合で実際の排出調整板部分の隙間9mmに相当する。

4.2 実験方法

(1) 使用材料

解体現場で粗破碎後に鉄筋等を除去した原コンクリートを、ジョークラッシャで50mm以下の粒度に破碎した後、振動フルイで8mmを通過し、かつ1.2mmに留まったものを使用した。

(2) 処理方法

図－6の装置を用い、因子の各水準に従って、運転条件を変化させて処理を行った。処理中に偏心ローター上部に原料がオーバーフローする場合は、適宜低速運転のフィーダーを停止させた。

(3) 評価方法

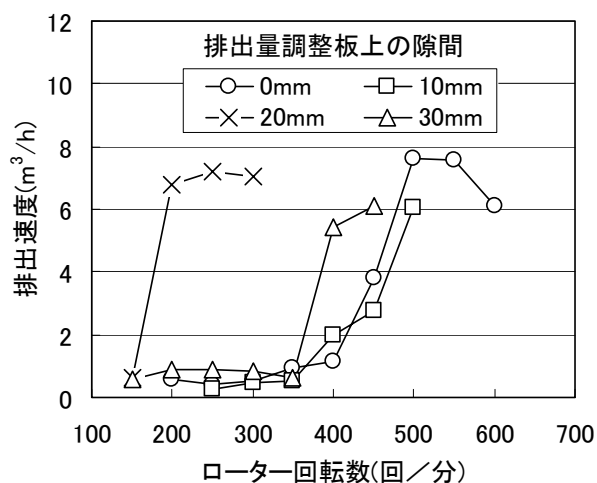
処理状況を目視で観察し、セメント分がすりつぶされている場合に、排出ベルトコンベアーから排出された処理物を一定時間ポリ容器に受けて、そのみかけの体積を調べて、排出速度を算出した。さらに、処理物を1.2mmの網ふるいで分離し、ふるい上に留まったものをJIS A 1109「細骨材の密度および吸水率試験方法」に準拠して絶乾密度および吸水率を測定した。

表－4 実験の因子と水準

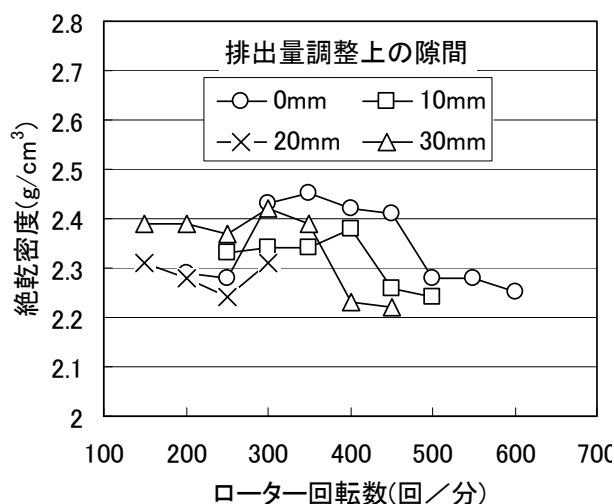
因子	水準
ロータ回転数 (回/min)	150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600
隙間 L(mm)	0, 10, 20, 30

4.3 実験結果と考察

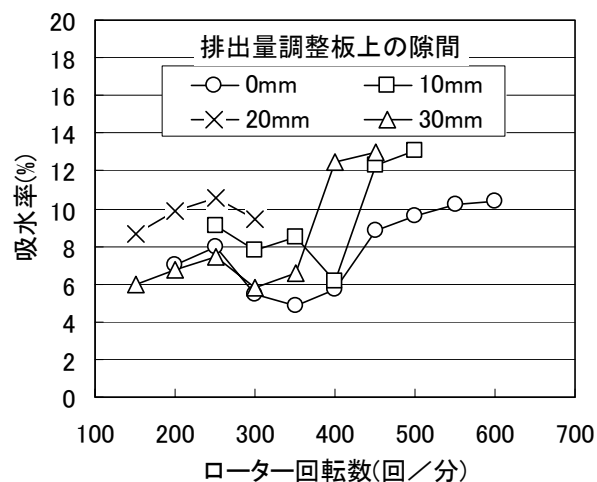
排出速度、絶乾密度、および吸水率の測定結



図－7 排出速度の測定結果



図－8 絶乾密度の測定結果

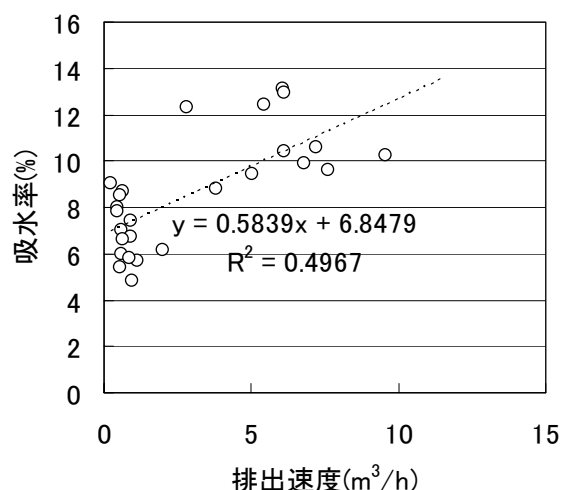


図－9 吸水率の測定結果

果をそれぞれ図－7～図－9に示す。排出速度は、排出量調整板上の隙間ごとにある回転数以上で上昇する傾向が得られた。絶乾密度は、排出速度が遅い範囲の回転数で高くなり、吸水率は、排出速度が遅い範囲の回転数で低くなる傾向があった。

図－10に排出速度と吸水率の関係を示すが、ある程度相関があることが確認できる。同様の関係は、排出速度と絶乾密度についてもある。

図－8～図－9の比較的絶乾密度が高く、吸水率の低い範囲に着目すると、本装置におけるすりもみ処理は、300回/分～450回/分の範囲で為されると考えられる。



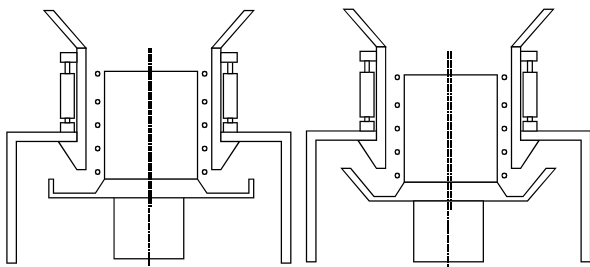
図－10 排出速度と吸水率の関係

5. 改良型偏心ローターの処理回数と排出制限板の形状に関する実験

上述4の実験では、絶乾密度および吸水率がJIS A 5308の細骨材の基準を満足していない。そこで、さらにすりもみ処理時間の長時間化を図るため、処理回数の効果と、排出調整板外周部を跳ね上げた形状に加工した場合の効果調べた。図－11に排出調整板の形状の概要を示す。左が4の実験で用いたものを、右が跳ね上げた形状に加工したものである。

5.1 実験の因子と水準

実験の因子と水準を表－5に示す。



図－１１ 偏心ロータ主要部の断面図

(左：水平型、右：跳ね上げ型)

表－５ 実験の因子と水準

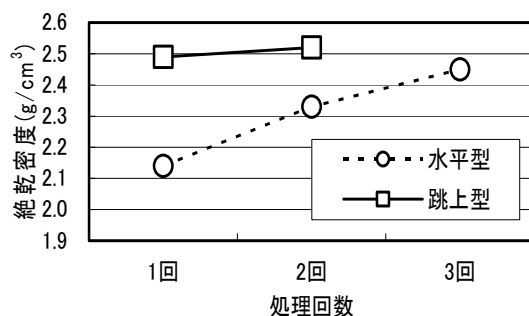
因子	水準
排出調整板の形状	水平型、跳上型
処理回数	1,2,3

5.2 実験方法

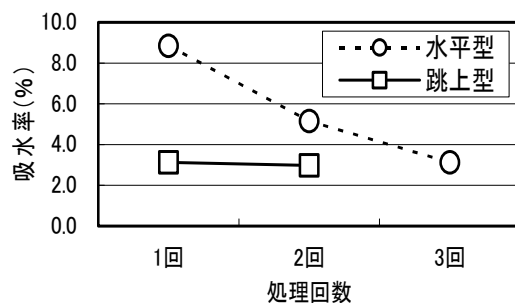
使用材料および処理方法は4.2に従った。ただし、偏心ロータの回転数は、排出調整板の形状が水平型の場合で毎分400回転、跳上型の場合で350回転とした。評価は、処理物を1.2mmの網ふるいで分離し、ふるい上に留まったものをJIS A 1109「細骨材の密度および吸水率試験方法」に準拠して絶対乾密度および吸水率を測定して行った。

5.3 実験結果と考察

絶対乾密度および吸水率の測定結果を図－12



図－１２ 絶対乾密度の測定結果



図－１３ 吸水率の測定結果

～図－13に示す。水平型の排出調整板の場合は、絶対乾密度や吸水率は、処理回数とともに改善され、3回目の処理でJIS A 5308の細骨材の基準を満足した。跳上型の排出調整板の場合は、1回目と2回目で大きな差はなく、1回目の処理でJIS A 5308の細骨材の基準を満足した。排出調整板が水平型と跳上型の場合で、1回目の処理時の排出速度は、それぞれ1.13m³/h、および0.846m³/hであり、跳上型のすりもみ作用を受ける時間は、水平型の場合の1.3倍程度と、処理回数ほどの差はなかった。跳ね上げ型の場合は、外筒の下端を取り囲む形状となっており、内筒－外筒間の部分と、この部分の両方でもすりもみ作用を受けたため、再生細骨材の品質が向上したと考えられる。

6. まとめ

以上の実験の結果、得られた知見をまとめる。

- ・ 偏心ロータを模擬した装置による実験結果より、媒体の混合あるいは媒体の代替品を組み込み、かつ処理時間の長時間化が必要であることがわかった。
- ・ 上記の改良点を反映して排出調整板とロータ周囲に治具を組み込んだ偏心ロータは、毎分300～450回転で処理することにより、すりもみ効果が得られた。
- ・ 水平型排出調整板を組み込んだ偏心ロータで3回、跳上型排出調整板を組み込んだ偏心ロータで1回処理することにより、1.2～5mmの粒径範囲で普通細骨材と同等の品質の再生細骨材が得られた。

なお、この研究は、平成14年度の経済産業省次世代住宅技術開発（資源循環型住宅に係るものに限る。）に関する委託研究成果によるものであり、関係者各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 米澤敏男他, 高品質再生粗骨材製造技術の研究, 材料, pp.835-842, Vol.50, No.8, 2001年8月