われており,ここでは,粒子径の小さな細骨材を

対象に高品質な再生細骨材を得る方法について

図 - 1 に本研究の全体プロセスと本報告範囲

について示す。図中左側のコンクリート廃材か

ら,比重選別方式を用いて再生粗骨材を製造す るフローは,商用プラントとして実用化されて

検討した結果を報告する。

2.1 湿式選別法概要

2. 全体プロセスと実験概要

## 報告 湿式選別法による高品質再生細骨材の製造

松村 宇<sup>\*1</sup>・伊藤正澄<sup>\*2</sup>・平島 剛<sup>\*3</sup>・桂 修<sup>\*4</sup>

要旨:アトリッションミルとジグ,ハイドロサイクロンを組み合わせた湿式選別法を用いて, 再生細骨材の製造実験を行った。アトリッションミルにより原細骨材と硬化セメント分の剥離 処理を行った後,ジグ及びハイドロサイクロンを用いそれらの分離を行った。その結果,粒径 0.6mm以上の再生細骨材では密度及び吸水率はほぼJISの品質を満たすものを回収できた。粒 径0.6mm未満の再生細骨材は-5mmコンクリート廃材と比較し,品質が向上した。また,再生 細骨材の迅速品質評価法として蛍光X線分析の適用可能性が示された。

キーワード:コンクリート廃材,リサイクル,湿式選別法,再生細骨材,蛍光X線分析

1. はじめに

建設廃棄物のうち,コンクリート廃材は約4割 を占める。コンクリート廃材のリサイクル率は 96%と極めて高いが,現状での用途は,路盤材や 埋め戻し材など非構造体への利用が主である。

今後,高度成長期に建設された建築物が更新 時期を迎え,建物解体に伴う建設廃棄物発生量 は増加することが予測されている<sup>1)</sup>。

コンクリート廃材の再利用用途として,再生 骨材を利用した再生コンクリートの建築構造体

への適用が一部で行われて いる。しかし,建築構造体 への使用可能な高品質再生 細骨材の適用例は少ない。

著者らは,現在,コンク リート廃材を高度処理し, 再生骨材と微粉分を取り出 し,コンクリート用骨材と セメント原料として利用す る全量リサイクル技術の検 討を行っている<sup>2)</sup>。湿式選 別法による再生粗骨材の製 造は既に実機プラントで行



図 - 1 全体プロセスと本報告の範囲

- \*1 北海道立北方建築総合研究所 生産技術部技術材料開発科 (正会員)
- \*2 アグロ技術(株) 代表取締役
- \*3 北海道大学大学院 工学研究科 環境資源工学専攻 工博
- \*4 北海道立北方建築総合研究所 生産技術部 博士(工学)(正会員)

いる<sup>3),4)</sup>。本報告の範囲は図中実線で囲った再生 細骨材の高度処理の部分であり,実線で表すフ ローを各段階で行ったものである。

再生細骨材の性状改善の方法として用いた湿 式選別法は,剥離処理を行うアトリッションミ ル<sup>5)</sup>,比重選別を行うジグ<sup>5),6)</sup>及びハイドロサイ クロン<sup>5),6)</sup>を組み合わせている。

アトリッションミルは,ミル内に配置された クロスヘッドが高速回転し,羽根部分が粒子を 弾き飛ばし,粒子とミル容器,粒子同士が衝突 し,原骨材より強度の低い付着硬化セメントを 剥離する作用を与える機器である。

剥離処理後の試料は原骨材粒子と硬化セメン ト粒子,その両方が付着した粒子が混在した状 態にあり,これらはジグ及びハイドロサイクロ ンを用いて選別される。

ジグは,固定ふるい上の粒子層に上下に脈動 する水を通過させることにより,粒子を比重の 大小に従って成層させ,分離する装置である。

また,ハイドロサイクロンは自由渦を生じさ せ,粒子に働く遠心力を利用して分級する装置 で,粒子密度が同じ場合は粒子径が大きい粒子 を,また,粒子径が同じ場合は密度の大きい粒子 をアンダーフロー産物として,それ以外をオー バーフロー産物として回収するものである。

これらの装置を組み合わせた湿式選別法によ り,コンクリート廃材に含まれる原骨材と硬化 セメント分の剥離及びその分離回収を行う。本 法の特徴として,次のことが挙げられる。

・アトリッションミルを用いた湿式剥離処理によ り,原細骨材を主とする再生細骨材と硬化セメ ント分起源の成分に富んだ再生微粉末に単体分 離する。

・5mm から 0.6mm までの粒度区間産物をジグ選

別することで,一定比重以上の再生細骨材のみ を回収できる。このことは,全数検査を行うこと に等しく,再生細骨材の品質を管理する上で有 効である。また,一定比重未満の再生細骨材は剥 離プロセスまで戻し,再度処理を行うことで品 質を向上させることが可能である。

・0.6mm未満の産物をハイドロサイクロン分級することで,アンダーフロー産物として再生細骨材を,オーバーフロー産物として再生微粉末を得ることが可能である。

2.2 実験概要

使用した原コンクリートは表 - 1 に示すよう に,呼び強度,AE剤使用の有無,養生条件の異 なる4水準とし,材齢1年程度のものとした。原 コンクリートをジョークラッシャーにて粗破砕 し,5mmふるいを通過するものを-5mm コンク リート廃材として実験に用いた。使用した原コ ンクリートの調合及び原細骨材,-5mm コンク リート廃材の性状を表 - 1 に示す。

アトリッションミルによる剥離処理を終えた 試料は,0.6mmのふるいを用い湿式ふるい分け を行った。0.6mm ふるい上試料はジグ選別試験 に,0.6mm ふるい下試料はハイドロサイクロン 試験に使用した。

ジグ選別試験による試料は,所定時間選別後, ジグ底面からの高さが一定になるよう,最上層, 上層,中層,下層の4層に分けて回収した。層厚 は上層3cm,中層4cm,下層4cmとした。最上層 は試料により得られた量が異なり,A1は3cm,A2 及びB1は4cm,B2は2cmとなった。

ハイドロサイクロン試験は,径の異なる2種類 のハイドロサイクロンを用い,0.6mm以下の試 料中の比較的粗粒子の分級用に4インチハイドロ サイクロン,微粒子の分級用に2インチハイドロ

表 - 1 原コンクリート調合及び原細骨材,-5mm コンクリート廃材性状

記号	呼び強度 (N/mm <sup>2</sup> )	W/C (%)	空気 量 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )								原細骨材(平均)			-5mmコンクリート廃材		
				セメント	水	混和剤	粗骨材1 (砕石)	粗骨材2 (陸砂利)	細骨材1 (陸砂)	細骨材2 (陸砂)	水準	表乾 密度	絶乾 密度	吸水率 (%)	表乾 密度	絶乾 密度	吸水率 (%)
A1	40	38.4	4.5	419	161	0.84	847	212	278	409	AE	2.65	2.61	1.14	2.28	2.05	11.10
A2	40	42.0	2.0	381	160	-	847	212	318	470	Non-AE				2.28	2.05	11.10
B1	21	58.5	4.5	286	167	0.72	-	1009	409	416	気中養生	2.64	2.59	1.75	2.22	1.95	14.45
B2											水中養生				2.21	1.94	14.16

サイクロンを使用した。まず 0.6mm ふるい下試 料の全量を4 インチハイドロサイクロンで処理 し,アンダーフロー産物とオーバーフロー産物 を回収後,オーバーフロー産物を2インチハイド ロサイクロンのフィードとして処理し,アン ダーフロー産物とオーバーフロー産物を回収し た。4インチハイドロサイクロン試験はスラリー 濃度 10wt%, Voltex Finder Cap(VF) 径を 35mm, Spigot Cap(SC) 径を 15mm とし,2インチハイド ロサイクロン試験は,スラリー濃度 5wt%,VF径 を 11mm, SC 径を 9.4mm とした。

回収した試料は,JIS A1109による密度及び吸 水率試験,JIS A1102によるふるい分け試験,蛍 光X線分析による CaO の定量分析を行った。蛍 光X線分析に用いた試料は105 乾燥後,微粉砕 したものを,Fundamental Parameter法により定量 分析を行った。

## 3. 実験結果及び考察

## 3.1 ジグ産物実験結果

ジグにより得られた再生細骨材の各層別の絶 乾密度と吸水率の関係を,原コンクリート毎に 図-2に示す。-5mmコンクリート廃材と比較 し,全ての試料で絶乾密度及び吸水率の品質は 向上しており,アトリッションミルによる剥離 効果が得られている。

また,回収した層により絶乾密度及び吸水率 が異なり,下層に向かうに従い,絶乾密度及び吸 水率の品質が向上する。このことから,ジグによ る選別が粒径の小さな細骨材においても有効に 機能することが明らかとなった。

A2の下層及びB1の下層は,JIS A5308に規定 される細骨材の絶乾密度及び吸水率の条件を満 たし,他試料の下層もJIS範囲外ではあるが,そ れに近いものが得られている。

試料により最上層から下層までの各層間の絶 乾密度及び吸水率の差に大小が見られる。これ は,原コンクリートの強度などがアトリッショ ンミルの剥離効果に影響を及ぼしたためと考え られるが,本実験の範囲では明確ではない。





図 - 3 にジグにより得られた各試料の粒度構 成の一例を示す。なお,参考までに-5mmコンク リート廃材の粒度構成を同図中に示す。下層へ 向かうに従い,5~2.5mmの粒子が増加し,1.2 ~ 0.6mm の粒子は減少する傾向にある。これは 比重と同時に粒径に影響を受けるジグの性質に よるものと考えられる。

今後,最適剥離条件を検討するとともに,しき い値となる比重値を設定した選別を行い,しき い値を越える再生細骨材はアトリッションミル



へ戻し,再処理することで更に高品質の再生細 骨材が得られるものと考えられる。

3.2 ハイドロサイクロン産物実験結果

4インチハイドロサイクロンアンダーフロー産 物の絶乾密度と吸水率の関係について図 - 4 に 示す。いずれの試料でも,-5mmコンクリート廃 材と比較し絶乾密度及び吸水率は向上するが, JIS 範囲外であった。



フロー産物粒度構成



図 - 6 ジグ下層産物 + 4インチハイドロサイ クロンアンダーフロー産物の絶乾密度と 吸水率の関係





図 - 5に4インチハイドロサイクロンにより得 られたアンダーフロー産物の粒度構成を示す。 原コンクリートの違いにより0.075mm 未満の試 料構成に違いが認められ,図 - 4より明らかな ように,0.075mm 未満の試料量が多いものほど 密度及び吸水率は低下している。このことは 0.075mm 未満の試料には硬化セメント起源の成 分が多く含まれていることで説明される。

今後,八イドロサイクロン分級条件4)を適切に 調節し,微粒子分を除去することで密度及び吸 水率はJIS範囲により近づくものと推察される が,詳細な条件については今後の課題となる。 3.3 湿式選別方式による再生細骨材

ジグ下層と4インチハイドロサイクロンアン ダーフロー産物を等量混合した場合の絶乾密度 と吸水率の関係について図 - 6に示す。いずれ の試料でも-5mmコンクリート廃材と比較し,絶 乾密度及び吸水率は向上するが,JIS範囲外で あった。

ジグ下層と4インチハイドロサイクロンアン

ダーフロー産物を等量混合した場合の粒度分布 について図 - 7 に示す。一度のバッチ処理で得 られた産物の合計では,JIS A5308 に規定される 粒度分布より大きく外れる。特に2.5mm 未満か ら0.6mm 以上の粒子が少なく,これは図 - 3 に 示すようにジグの特性から比較的大きな粒子が ジグ下層に集中したためと考えられる。

3.4 各フローでの歩留り

投入した-5mmコンクリート廃材を100とした 場合の各試料での歩留りを図 - 8 に示す。

本実験ではジグの試料採取は層別に行ったが, 想定する実プロセスでは比重のしきい値を設定 し連続的に分離を行い,しきい値以下の産物は アトリッションミルに戻し再度処理される。そ のため,実際の歩留りとは異なるものの,ジグに よる0.6mm以上試料の下層は約13~17%,八イ ドロサイクロンによる0.6mm 未満試料のアン ダーフロー産物は約35~40%程度となった。 3.5 再生細骨材中の硬化セメント割合

ジグにより得られた再生細骨材中の硬化セメ



ント割合を蛍光 X 線分析結果より推定した。再 生細骨材中の CaO はセメントのみに由来し,セ メントの CaO を 65%,セメント質量の 20%の水 が反応したと仮定した<sup>7)</sup>。

ジグ各層での硬化セメント割合と吸水率の関係の一例を図 - 9 に示す。各層に含まれる硬化 セメント割合は下層に向かうに従い減少し,それに伴い吸水率は減少する。

硬化セメント割合と吸水率の関係を図 - 10 に示す。図中実線及び点線は,再生細骨材中に硬 化セメント分を含まない場合の吸水率がそれぞ れの原細骨材の吸水率となるように近似した直 線である。

硬化セメント割合が増加すると吸水率は大き くなる傾向が見られる。原コンクリートの違い により近似直線の傾きは異なる。これは表 - 1 に示した原コンクリートの水セメント比の違い によるものと考えられる。

補外であるが,近似直線より推定すると吸水 率がJIS範囲を満たす硬化セメント割合は,A1, A2の場合約12%以下,B1,B2の場合約7%以下 となる。

蛍光X線分析は密度及び吸水率試験と比較し て短時間で結果を得ることができるため,再生 細骨材の迅速品質評価法として用いることが可 能と考えられる。

更に,ハイドロサイクロンからのオーバーフ ロー産物である再生微粉末をセメント原料とす る検討も行っており,この観点からの再生細骨 材と再生微粉末の品位バランスを考慮した検討 が課題となる。

4. まとめ

湿式選別法により再生細骨材を試験的に製造 した結果,次のことが明らかとなった。

(1)湿式剥離処理後,5mm~0.6mmまでの試料に ついてジグ選別を行うことで,絶乾密度及び吸 水率がほぼJISの品質を満たす再生細骨材が得ら れる。

(2)0.6mm 未満試料を4インチハイドロサイクロ



図 - 10 硬化セメント割合と吸水率の関係

ンで分級し,微粒子部分をオーバーフロー産物 として除去することで,アンダーフロー産物の 絶乾密度及び吸水率をJISの品質に近づけること が可能である。

(3) 蛍光X線分析による硬化セメント割合の推定 は,再生細骨材の迅速品質評価法として適用で きる可能性がある。

今後,しきい値を設定した連続的な選別,その 際のフィードバックプロセス,再生骨材と再生 微粉末の品位バランス,再生細骨材の粒度バラ ンスの検討が必要である。

参考文献

- 平成12年度 建設副産物実態調査結果 国 土交通省
- 2) 平島剛ほか: コンクリート廃材のリサイク ル,資源・素材学会北海道支部春季講演会要旨 集,pp.23-24,2002
- 3) 長岡茂徳: 生コン用再生骨材製造システム 骨材資源, No.109, pp.36-43, 1996
- 4) 立松一彦ほか:比重選別による高品質再生
  骨材の製造とコンクリートの性質,セメント・
  コンクリート, No.634, pp.8-14, 1999
- 粉体工学用語辞典第2版,日刊工業新聞社, 2000
- 6) 産業リサイクル事典 産業調査会辞典出版センター,2000.1
- (初日一彦ほか:セメントを含めたコンクリートのリサイクル,コンクリート工学論文集,Vol.11,No.3,pp.139-144,2000