

高機能化回収水処理システムを用いた再資源処理技術の実用化に関する研究開発

佐藤 吉・柳 明洋・佐藤 嘉昭*

工業化学部・*大分大学工学部

Development of Practical Application of Integrated Solid Waste Recycling Technique
Using Highly Developed Equipment for Waste Water

Atsushi SATO・Akihiro YANAGI・Yoshiaki SATO*

Industrial Chemical Division・*Faculty of Engineering, Oita Univ.

要旨

大分大学を中心とした NEDO 地域コンソーシアム「高機能化回収水処理システムを用いた再資源処理技術の実用化に関する研究開発」において、コンクリートスラッジの有効利用の方法を確立する為、当センターにおいては完全リサイクルシステムの実用化に必要な基礎データを得ることを目的として検討を行なった。具体的には、(a)湿式サイクロンによる洗い廃水中の微砂の効率的な除去(b)ハイパーサイクロンによる安定した粒径で、かつ、丸みを帯びた微粒子の製造(c)製造した微粉碎乾燥スラッジの成分について確認できた。また、コンソーシアム全体としては、(1)スラッジ水に関しては、固形分量 5%程度までは十分に利用可能であること、また、場合によっては 10%程度のスラッジ水も利用できること、(2)乾燥スラッジを混入したコンクリートに関しては、外割混入(セメント量の 3,5,7,10%)および内割混入(10,20%)の場合ともに十分に使用に耐えるコンクリートを製造できること、などがわかった。

1. はじめに

コンクリート構造物は、我が国で 1882 年に初めて建造された。以来100年余りが経過しているが、コンクリートは建設材料における基幹材料としての役割を果たし、その使用量も膨大な量に達している。ここ数年は、建物の建て替え等の時期に至ったことから、解体されたコンクリート塊の再資源化に向けての動きが活発である。「廃棄物の処理および清掃に関する法律」で分類された産業廃棄物の中で安定 5 品目の 1 つにあげられている建設廃材は、「再生資源の利用の促進に関する法律」において、有効利用を促進し、リサイクル率を高めるように品質などを工夫すべき副産物に指定されている(指定副産物)。

一方、そのコンクリートを供給した側(生産者)の環境対策の状況は充分であるとは言い難い。コンクリートが工場で生産されるようになったのは戦後の1949年のことである。以来、高度成長期と相前後して、全国各地に建設されるようになり、大分県におけるレディーミクストコンクリート産業は、66社75工場となっている。しかしながら、業界の構成は中小企業が多い。これらの工場は環境問題の 1 つは、ミキサーやアジテータ車の洗い廃水や、戻りコン等を処理した廃水に含まれる固形分の処理である。「廃棄物処理法」では、この固形分は汚泥の範疇に属し、最終処分する場合は管理型の埋立処分場に持ち込むことが義務づけられている。産業廃棄物の排出量に関する平成7年

度の統計データによれば、建設廃材は約 1 億トンに達し、その内、建設汚泥は1,000万トンである。これに対して、コンクリートスラッジの年間排出量は推定で約400万トンと言われ、建設汚泥の40%を占める状況にある。このコンクリートスラッジはコンクリートを製造する時に用いられた各種材料の残渣で、未水和セメント粒子や水和生成物、骨材微粒分からなっており、コンクリートスラッジそのものは安全で、再生資源としての有効利用の可能性が高い廃棄物と言える。

本研究開発は廃棄物ゼロのレディーミクストコンクリート工場の実現を目指して、工場から排出される廃棄物を再生資源として処理する実用的な技術を導入した工場内での廃棄物の処理を行なうことを目的としている。

従来からセメントメーカーが自社ブランドの拡販を図るため、ユーザーである生コンメーカーを支援してきたが21世紀にはその余裕がないということで、支援体制の打ち切り策が提示された。この様に生コン業界を取り巻く環境は低迷状況を予想させる時期を迎えており、経営基盤の強化や経営の自立が緊急の課題となっている。

さて、大分県は独自の企画として、大分県環境基本計画「豊の国エコプラン」を1998年～2010年までの13年間にわたって実施することにしている。自然環境の保全並びに快適環境の創造を目的にしたもので、自然と人間の共生を図り、環境負荷の少ない持続的発展が可能な地域社会づくりを

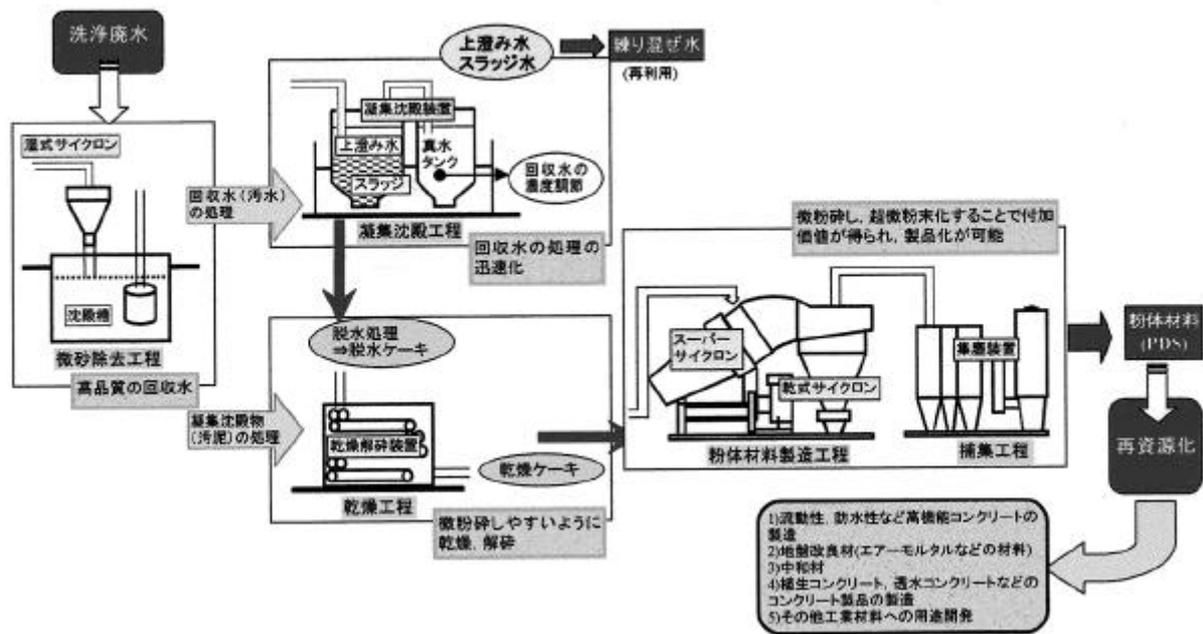


Fig.1 コンクリートスラッジの再資源処理装置

目指している。これを強力に推進するために、資源を循環使用する社会システムの転換に向けて、技術的な面はもちろんのこと、循環型社会への意識改革の普及啓発活動を行うことにしている。産業政策上の関係から、廃棄物の発生の抑制と適正処理はその重要な課題の一つに位置付けられている。一方建設関連業界では高機能コンクリートや地盤改良材用の良質な微粉末材料が要求されており、本研究はコンクリートスラッジの再資源処理技術とその利用技術および用途開発を目指した研究である。

2. 実験及び結果

コンクリートスラッジの再資源処理装置の概要は Fig.1 のとおりである。ミキサーやアジテータ車の洗い水や、戻りコン等の廃水を湿式サイクロンで微砂の除去を行い、高速沈殿処理で、上澄水を回収し練り混ぜ水として再利用する。高濃度スラッジ水はフィルタープレスで脱水し、水は練り混ぜ水とし脱水ケーキは乾燥工程で乾燥する。乾燥したケーキはハイパーサイクロンで粉砕する。粉砕された微粉末は（微粉砕乾燥スラッジ、Pulverized Dry Sludge、以下 PDS と言う）乾式サイクロンで 5 段階に分級される。

本検討においては、1) 洗浄廃水中のスラッジ固形分中の砂分測定、2) PDS の粒度分布の測定、3) PDS の形状観察、4) PDS の成分分析、5) X 線回折装置による結晶構造解析を行なった。

2.1 洗浄廃水中のスラッジ固形分中の砂分測定

湿式サイクロンによる砂の除去率を調べるため、湿式サイクロン前後の含砂率を調べた。

砂分含有率試験方法 (ウェットスクリーニングによる方法) 全国生コンクリート工業連合会の規格 ZKT-103(1980) を参考にし測定した。試験方法は下記のとおりである。

試料をよく攪拌して 1% 分取し、ふるいを上 0.15mm 下 0.074mm に重ね、ウェットスクリーニングした。

ふるい残分をふるい通過分の上澄水を用いて十分洗浄した。

ふるい残分を各々 105 ~ 110 ℃ で定質量となるまで乾燥した。

ふるい通過分の水をブフナーロートを用い、吸引濾過し、105 ~ 110 ℃ で定質量となるまで濾過物を乾燥した。

乾燥物を放冷したのち、それぞれ質量をはかる。

次式により、スラッジ固形分中の砂分含有率 (Sr) を求め整数に丸めた。

$$Sr (\%) = (S(100-Q) - C \cdot Q) / ((100-P-Q)(S+C)) \times 100$$

Sr : スラッジ固形分中の砂分含有率 (%)

S : 0.074mm ふるい残分の乾燥質量 (g)

C : 0.074mm ふるい通過分し吸引濾過分の乾燥質量 (g)

P : 使用した砂の 0.15mm ふるい通過分中の 0.074mm ふるい通過分の質量百分率 (%)

Q : 使用したセメントの 0.074mm のふるい残分の質量百分率 (%)

Su : スラッジ固形分中の 0.15mm ふるい通過残分の乾燥質量 (g)

(注) 試料のスラッジ固形分中に 0.15mm ふるい残分がある場合は、砂分含有率を S_{ru} とし、次式を用いて修正する

$$Sru(\%) = \frac{\frac{(S+C)Sr}{100} + Su}{S+C+Su} \times 100$$

測定結果は下記のとおりであった (Table.1) .

Table.1 含砂率の測定結果

	S(g)	C(g)	Su(g)	P(%)	Q(%)
処理前	45.6	70.2	39.0	3.5	3.5
処理後	5.2	66.4	4.0	3.5	3.5

	Sr(%)	Sru(%)
処理前	39	64
処理後	4	6

砂の除去率は

$$\frac{64 - 6}{64} \times 100 = 91\%$$

2.2 PDSの粒度分布の測定

PDSは5個の排出口があり、各排出口の粒度分布をセイシン企業製のレーザー回折粒度分布装置 (SK LASER MICRON SISR PRO-7000s) を用い乾式で測定した。平均粒子径の結果は下記のとおりであった。

Table.2 平均粒子径の結果

排出口	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
粒子径 μm	22.2	12.4	3.2	13.4	3.0
排出量 %	5	15	10	60	10

各排出口によって平均粒子径および排出量が異なり、生コンクリートの出荷品質や量によっても多少異なった。

2.3 PDSの形状観察

走査型電子顕微鏡で形状を観察した結果は以下のとおりであった。Fig.2 に排出口 No.4 より得られたPDSの電子顕微鏡写真を示す。

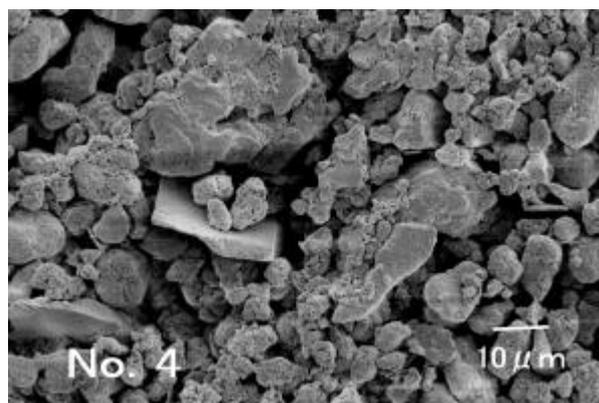


Fig.2 排出口 No.4 の PDS (平均粒径 13.4 μm)

No.4 の排出口からの PDS は数十～数 μm の大きさで、10 μm 以上の粉体は角張っており、骨材の粉碎物である。それ以下のサイズの方は丸みを帯びた形状をしておりセメント系の微粉末であ

る。

排出口 No.5 より得られた PDS は角張った微分粉末が少ないことがわかった (Fig.3)。

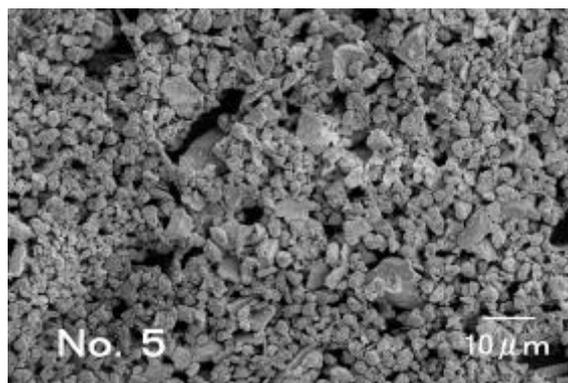


Fig.3 排出口 No.4 の PDS (平均粒径 3.0 μm)

2.4 比重の測定

PDSの比重測定はJIS R-5201 (セメントの物理試験法)で行った。結果はTable.3のとおりであった。

Table.3 各排出口の比重

排出口	No.2	No.3	No.4	No.5
比重	2.34	2.19	2.30	2.12

比重は、平均粒子径の大きい PDS は比重も大きく、径の小さい PDS は比重も小さい。これはセメント系の微粉末より骨材の微粉末の方が比重が大きいことに起因すると考えられる。

2.5 PDSの成分分析

試料を数 μm 程度まで粉碎し、乾燥器で 110 5 時間乾燥した。冷却後 $2\text{t}/\text{cm}^2$ でプレス成形し蛍光 X 線分析装置で測定した。装置はフィリップス PW2400 を用い、測定方法は F P 法 (Fundamental Parameter Method) を用いた。結果は Table.4 に示す。

Table.4 分析結果

出口	No.2	No.3	No.4	No.5
CaO	49.09	52.48	52.19	53.53
SiO ₂	32.33	26.47	29.74	26.12
Al ₂ O ₃	7.70	7.47	7.74	7.25
Fe ₂ O ₃	4.09	4.49	3.87	4.14
MgO	2.44	2.26	2.41	2.34
SO ₃	2.42	4.85	2.53	4.86
K ₂ O	0.74	0.61	0.58	0.60
TiO ₂	0.63	0.58	0.55	0.55
P ₂ O ₅	0.17	0.28	0.24	0.28
MnO	0.16	0.15	0.15	0.13
BaO	0.036	.022	0.033	0.020
SrO	0.038	.029	0.030	0.030
Cl	0.044	.041	0.056	0.040
Cr ₂ O ₃	0.014	0.014	0.012	-

上記結果から各排出口より得られた PDS は特

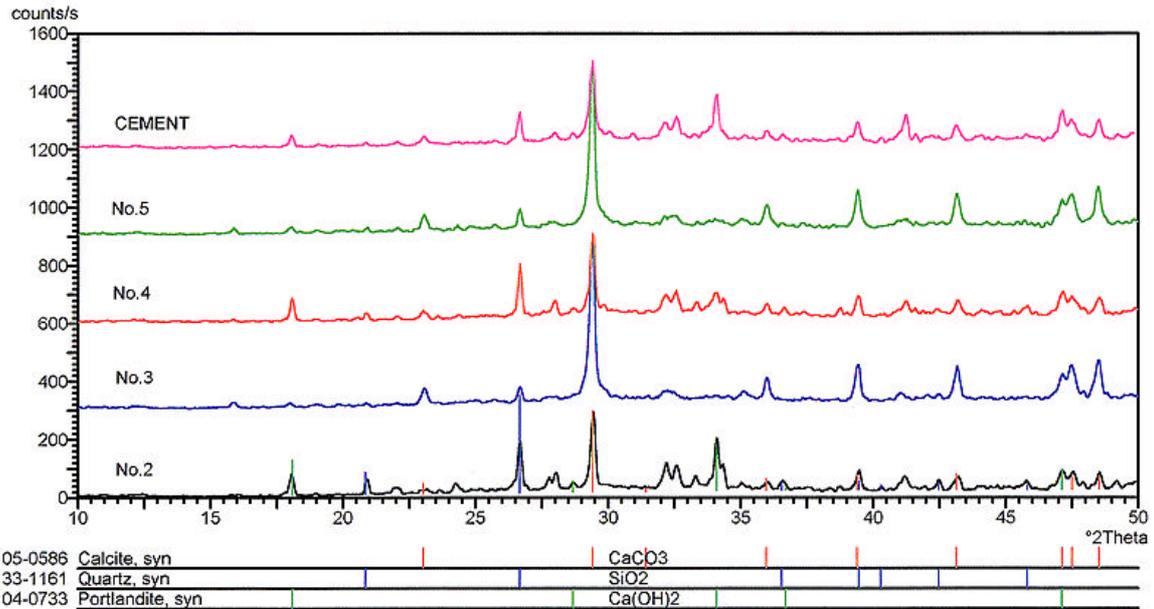


Fig.4 X線回折パターン

異なる成分の差異が見られなかった為、各々のPDSが骨材由来かセメント由来かの同定には至らなかった。

2.6 X線回折装置による構造解析

測定方法は粉末法で行った。装置はフィリップス製(X'Pert)、測定条件は管球銅 50KV x 40mA 測定角度 2 (10 ~ 50度)、Step size 0.05、Time per step 1.5、Receiving slit 0.15mm、測定試料面 10 x 10mm 一定で測定した。

測定結果は Fig.4 のとおりであった。平均粒子径の小さい No.3 と No.5 は SiO₂ と CaCO₃ の比が大きく、セメント系と骨材中の CaCO₃ の混合物である。それに対し No.2 と No.4 はセメントに比べ SiO₂ が大きく骨材中の SiO₂ を多く含有していることが判明した。

2.7 アルカリ度の測定

2.7.1 測定方法

試料を W g 秤量し、蒸留水 5 ml を加えた。指示薬 PP(pH9)を加え 0.5NHCl で滴定した。

滴定量(Pml)

指示薬 MO(pH3)を加え 0.5NHC で滴定した。

滴定量(Mml)

計算

イ. PP(pH9)の滴定値(P)は Ca(OH)₂ として計算した。(Pアルカリ)

$$74 \times 1/2 \times 0.5N \times P / W \times 100$$

ロ. PP(pH9)と MO(pH3)の滴定値差を CaCO₃ として計算した。(Mアルカリ)

$$100 \times 1/2 \times 0.5N \times (M - P) / W \times 100$$

ハ. MO(pH3)の滴定値を CaCO₃ として計算した。

$$100 \times 1/2 \times 0.5N \times M / W \times 100$$

アルカリ分の測定結果を Table.5 に示す。

	イ	ロ	ハ
No2	22.9	11.1	40.1
No3	14.2	34.0	53.2
No4	30.1	7.9	53.2
No5	12.5	7.9	48.5

Table.5 アルカリ分の結果

3. おわりに

当センターにおいて生コン工場から排出されるコンクリートスラッジをコンクリート用材料として利用するために必要な基礎データを収集することができた。コンソーシアム全体としては、以下の成果を得ることが出来た。レディーミクストコンクリート工場からコンクリートスラッジを採取し、これを脱水、乾燥、粉碎処理して微粉末(PDS)を製造した。PDSを混入したコンクリートを製造し、その各種性状を無混入のコンクリートと比較した。さらに、最近開発された高流動コンクリートの粉体材料としての利用の可能性について検討するため、広範囲な調合に対してコンクリートを製造し、従来の高流動コンクリートの各種性状と比較した。その結果、PDSを混和材料並びに粉体材料として利用したコンクリートは十分に良い性能を備えていることがわかった。

PDSは酸性土壌の中和材、エコ・コンクリートおよび透水コンクリート用資材として環境に優しい材料としての用途が考えられるので、供給体制を整備することができれば環境保全を包含した新規事業への展開が可能になる。

