

汚泥再生資源化システムによる 建設用原材料の開発および利用等について

INDUSTRIAL WASTEWATER RECYCLE SYSTEM

高崎三晴*・福田敏**・工藤定實***

by Mitsuharu TAKASAKI, Satosi FUKUDA
and Sadami KUBO

1. はじめに

近年、都市整備基盤の拡充に伴う地下利用掘削工事が増加傾向にある。施工上の確実性・安全性、あるいは騒音などの二次公害防止の観点から、工事技術としては掘削工法が現在主流となっており、地下連続壁・泥水シールド・推進工法から大量のベントナイトを含んだ高含水建設汚泥が排出されている。このことから、汚泥の排出量増大による設置困難な管理型最終処分場の残余年数短命化とともに、大量不法投棄による自然環境破壊が進んでおり、大きな社会問題になっている。

そこで筆者らは、大量に発生しているがいまだに再生資源化技術が確立していない性状不安定な汚泥を、短時間で原料として再生資源化可能なレベルまで品質を向上させる汚泥再生資源化システムの開発を行ってきた。ここでは、システムの概要とシステムで再資源化した汚泥再生物の試験例を報告する。

2. 既存技術の現状

従来における汚泥等の再生資源化は、物理的（水切天日乾燥・機械脱水・良質土混合）技術と化学的（セメント系・石灰系・高分子系）技術を使用して、路盤材の埋め戻しとして、総排出量1億6800万トン（平成3年度実績）のうちわずか2%が再利用されているだけである。

排出される汚泥の大部分は性状が不安定であるため再利用が難しく、これまでは処理困難な産業廃棄物として管理型最終処分場へ搬入するための基準つまり含水率85%以下にする汚泥処理技術の開発が主であった。

近年、汚泥の焼成や熔融により、材質を変化させて資材化したり固化してブロック等に成形する再生資源化の事例が研究されているが、膨大なエネルギーを消費するわりには製品の大量生産が困難であるためコスト高となり、現実的な経済性を考慮すると、企業化が非常に厳しい状況になっている。

3. 汚泥再生資源化システムとは

(1) 目的

汚泥の発生場所が工事により異なり掘削工法も工事現場の工事内容によって排出される汚泥性状はきわめて性状不安定なものになる。このため多種多様な汚泥の性状特性に対応でき、かつ75 μ m未満の細かい土粒子であるシルト及び粘土質の含水率の高い産業廃棄物汚泥を3分から5分で75 μ m以上の粗砂・細砂に人工的に造粒調質し、均一の高付加価値製品を生産可能ならしめて、建設・土木資材へ再生資源化するプラントシステムである。

(2) システムの概要

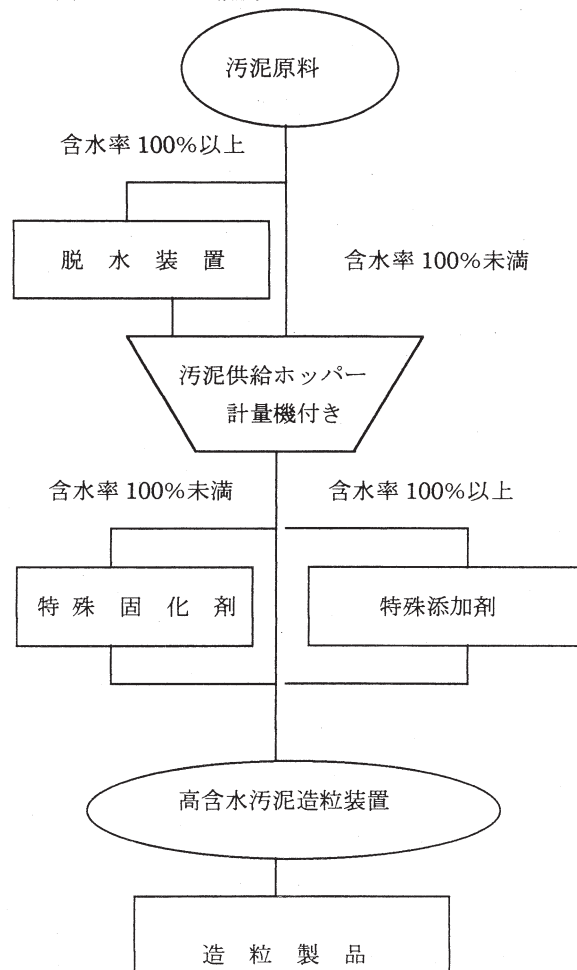


図-1 汚泥造粒システムのフロー図

* (株) アクシード専務(981-31 宮城県仙台市泉区高森2-1-40), ** (株) アクシード研究開発課長(981-31 宮城県仙台市泉区高森2-1-40), *** (株) ポリス物産次長(980 宮城県仙台市青葉区一番町3-1-1)

① 特殊固化剤の特徴

セメント系と石灰系の混合剤であり、汚泥原料 1t あたりに対して 1%~20%の配合設計になる。

② 特殊添加剤の特徴

高分子系の添加剤で、水だけ吸水する性質を持っている。汚泥原料 1t あたり 100cc~ 500cc の添加量である。

③ 造粒方式

転動サラ型のパンタイプの造粒装置で、傾斜角が 5 度から 15 度ある。回転数は、分 30~300 回のインバーター制御である。遠心圧密造粒方式である。

(3) 能力及び性能

- ① ワンバッチ 3 分から 5 分で 75 μ m 未満のシルトから粘土質の汚泥を再生資源化
- ② 移動 (2~10t トラック積載) ができる。
- ③ 時間あたりの処理能力が、100kg~120t まで可能
- ④ 低含水率から高含水率汚泥を、極力機械脱水処理装置を使用しないので、プラント構成がシンプル
- ⑤ 汚泥造粒固化による再生資源化製品の均一の品質の確保

(4) 開発技術の特徴

- ① 特殊添加剤の併用による高付加価値再生資源化が可能
- ② 造粒物の品質が均一なのでリサイクル可能
- ③ 添加剤が自由に選択できるので、高付加価値製品が生産できる。
- ④ 人工的に細かい粒子を造粒するので、任意の強度を持つ骨材ができる。

(5) 対象物

電気集塵灰・汚泥・へどろ・鉱さい・洗石廃泥
生コンスラッジ・不良残土等の細粒物

4. 汚泥造粒製品の品質

4-1 土質…生コンスラッジの場合

① 造粒前後における汚泥粒子の粒度変化

10mm アンダーの汚泥粒子の粒度の変化を表-1 に示す。表から 5mm ふるいに留まる量は、0%

から 0.5%へ増加した。

2.5mm に留まる量は、40.6%へ、1.2mm に留まる量は、0%から 9%へと劇的に増加した。

特に、0.074mm に留まる汚泥粒子が、造粒する前と後では、2 倍近く増加した。

視点を変えて造粒前後における汚泥粒子の通過率からみると、0.074mm のふるいの通過率が造粒前では 49%だが、造粒した後は 0%である。

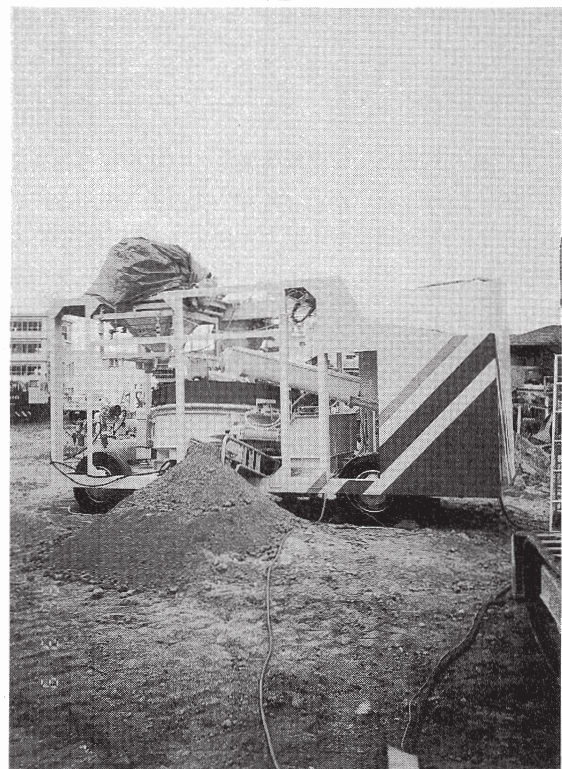
この表全体から、効率的に細かい粒子が人工的に造粒されることがわかる。

また、粗粒率が 0.27 から 4.08 へと増加した。

表-1 汚泥粒子の粒度変化

ふるい寸法 (mm)	ふるいに留まる量 (%)	
	造粒前	造粒後
10	0	0
5	0	0.5
2.5	0	40.6
1.2	0	76.9
0.6	2	93.7
0.3	7	97.5
0.15	18	98.8
0.074	51	100

写真-1 汚泥造粒プラント



5. 埋め戻し材としての活用

5-1 埋め戻し材としての活用の検討

生コンスラッジを造粒固化したものを、埋め戻し材として再利用の可能性を確認した。建設発生土を利用するにあたっての判断基準は、建設省土質選定基準（表5-1）にて定めてある。

表5-1建設省土質選定基準

	修正CBR (%)以上	塑性指数 (%)以下	一軸圧縮 強度 (kgf/cm ²)	コーン 指数 (kgf/cm ²)
第1種	10	10	5.0	-
第2種	5	-	2.0	8
第3種	-	-	1.0	4
第4種	-	-	0.5	2

表5-2建設省土質選定基準における利用対象

	利用対象
第1種	工作物の埋め戻し材 裏込材、道路盛り土材料 宅地造成用材料
第2種	土木構造物の裏込材 道路盛り土材料 河川築堤材料、 宅地造成用材料
第3種	土木構造物の裏込材 路体用盛り土材料、河川築堤材料 宅地造成用材料
第4種	水面埋め立て用材料

第4種建設発生土の一軸圧縮強度が0.5(kgf/cm²)以上、コーン指数が2(kgf/cm²)以上であり、それを下回るものが産業廃棄物（廃棄ペントナイト安定液）ということになる。試験の結果、生コンスラッジを造粒固化した物の修正CBR値は43.5であった。第1種建設発生土における修正CBR値は10であり、埋め戻し材としてうえでは問題の無いものであった。

6. 路盤材としての活用の検討

6-1 下層路盤材としての活用

埋め戻しに使用することは何ら問題がない。そこでさらに上の基準である下層路盤材としての活用を試みた。

下層路盤材の土質基準として、アスファルト舗装要綱（日本道路協会）によれば、修正CBRが30以上、塑性指数が6以下であり、本造粒物は問題は無い。造粒物の塑性指数はN.P（Non Plastic）である。これは測定不能であったことであり、言い換えれば粘土分がほとんど含まれて

いなかったこととなる。

6-2 上層路盤材としての活用

次に上層路盤材としての再利用を試みてみた。すなわち砕石中間処理業者から採取した再生砕石（RC-40）と、生コンスラッジを造粒固化した物を、50%, 25%, 10%の割合で混ぜ合わせて上層路盤材として使用できるかどうかを試みた。

表6-1 ふるい分け試験

造粒物の 混入割合	10% 試験値	25% 試験値	50% 試験値	規格値
粒 度	53	100	100	100
	37.7	98.3	98.4	98.6
	31.5	95.2	96.7	96.3
	26.5	93.1	90.8	92.3
	19	87.7	84.8	85.2
	13.2	78.7	77.2	76.1
	4.75	57.9	55.1	52.0
	2.36	41.9	44.9	42.2
	0.42	13.7	14.6	16.5
	0.075	3.2	3.5	3.9

表6-1における規格値は、アスファルト舗装要綱によるものである。粒度に関して規格値内に設定することができる。

表6-2 比重および吸水率の試験

造粒物の混入割合	10%	25%	50%	
比 重	見かけ	2.62	2.61	2.57
	表乾	2.23	2.25	2.14
	かさ	1.98	2.03	1.87
吸水率 (%)	12.3	11.0	14.7	

比重、吸水率に関して路盤材料の場合、特に基準は無いが、表6-2に示すように造粒物が非常に吸水率が高いため、その影響で吸水率の数値が高い。

表6-3 単位体積質量等の試験

造粒物の混入割合	10%	25%	50%
単位体積質量 (t/m ³)	1.409	1.405	1.399
すりへり減量 (%)	44.3	40.4	40.0
自然含水比 (%)	11.3	12.4	13.7
塑性指数	N.P	N.P	N.P
最大乾燥密度 (t/m ³)	1,750	1,672	1,575
最適含水比 (%)	16.3	17.6	18.7

☆規格値・・・すりへり減量 50以下

塑性指数 4以下

(アスファルト舗装要綱 日本道路協会)

表6-4 修正CBRの試験

	10%	25%	50%
修正CBR	177.7	159.2	125.2

☆規格値・・・修正CBR 80以上

(アスファルト舗装要綱 日本道路協会)

表6-3, 6-4において、すりへり減量、塑性指数、修正CBRの値で、規格値をクリアしている。修正CBRの値に関しては、50%造粒物を混入しても125.5という高い数値を出しており、再生粒調砕石としても再利用可能であることがわかった。これらのことにより造粒物を再生砕石(RC-40)に混入させることで、再生粒調砕石として十分活用可能である。

7. 生コンスラッジを使用した造粒物のモルタル試験

コンクリート廃棄物等の再生利用は大半が下層路盤材として用いられているに過ぎない。より付加価値の高い再生利用に、多くの期待が寄せられている。そこで、再生生コンの骨材の一部として再利用を試すため、造粒物の配合量を変化させた場合のモルタルの性状の確認と圧縮強度の試験を行った。

表7-1 造粒物と人工軽量骨材、火山礫砂との比較

	絶乾比重	表乾比重 24h吸水	24h吸水率
造粒物	1.64	2.00	22.4
人工軽量砂	1.5~1.8	1.6~1.9	10
大島火山礫砂	2.1	2.3	7
浅間火山礫砂	1.7	2.0	15

※造粒物とは生コンスラッジを造粒固化したもの

表7-2 W/C比を一定にした場合のモルタルの配合

細骨材		W/C	C	W	造粒物	天然砂
(造)	(天)	(%)	(g)	(g)	(g)	(g)
100	0	55	1300	715	2600	0
50	50	-	1178	648	1300	1300
25	75	-	1109	610	650	1950
0	100	-	1036	570	0	2600

※(造)は生コンスラッジ造粒物

(天)は天然砂

表7-3 W/C比を一定にした場合のモルタルの試験結果
(水セメント比は一定。W/C=55%)

細骨材		フロー (mm)	圧縮強度(N/mm ²)			
(造)	(天)		1w	2w	3w	
100	0	190	6.25	7.93	9.94	①
50	50	206	18.4	22.7	24.3	②
25	75	204	25.3	31.9	34.4	③
0	100	204	25.8	32.0	36.4	④

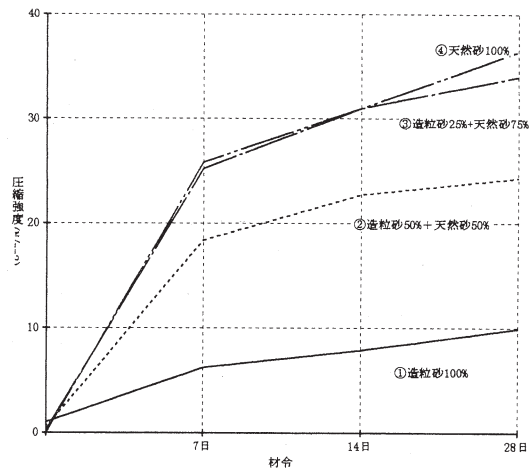


図7-1 使用率変化によるモルタル圧縮強度

- ①造粒物100%
- ②造粒物50%+天然砂50%
- ③造粒物25%+天然砂75%
- ④天然砂100%

モルタル試験における考察

造粒物の比重は人工軽量骨材、火山礫と同程度であるが、吸水率は22%であって、かなり大きい値となっている(表7-1)それは吸水性を生かしたようなコンクリートを造る際には、メリットとなるであろう。

モルタル試験におけるフロー値と水量の関係性は造粒物100%使用時は、天然砂100%に比べて1.25倍、50%使用時で1.14倍、25%使用時で1.07倍の水量で同程度のフロー値となった(表7-2, 表7-3)。造粒物100%においては、粗粒率が大きい(FM=4.08)分離ぎみであったが、25%使用時には天然砂100%とほとんど変わらないワーカビリティであった。

圧縮強度は、水セメント比一定で、造粒物100%使用の場合、4週で約10N/mm²で小さい値となったが、50%使用時において24N/mm²。特に25%使用時には34N/mm²となり、天然砂100%使用時と近い強度となった(表7-3, 図7-1)。

実験により造粒物が約25%程度であれば、再生生コン骨材として、天然砂に混合することにより、重要でない用途のコンクリートへの使用が可能と思われる。また、特性を生かして軽量、吸水、吸音材としての製品化も可能である。高強度を目的とした造粒砂の使用率と水セメント比を変化させた場合の性状、洗石廃泥造粒砂、およびその他の試験も継続中である。他にも軽量盛土および埋め戻し材の骨材として造粒骨材（造粒砂を含む）を使用した流動化処理工法にも適用を検討している。

8. 今後の可能性

8-1 酸性土に対しての中和効果

近年、酸性雨による様々な環境問題がある。pH5.6以下の雨が、酸性雨であり、ほぼ全国で観測されている状況である。生コンスラッジを造粒させた原料のpHが、高アルカリ性を示す。この造粒物を酸性土壌に添加することで中和効果することも考えられる。

8-2 様々な利用法

本システムは、添加剤が自由に選択できるので、様々な用途に応じた造粒製品をつくることができる。

①色々な固化剤を添加する事で、強度の低いものや高強度の製品をつくる事が可能である。

②除草剤を添加する事で、街路樹の表面盛り土に利用すればそのまま除草効果も得られる。

③顔料と固化剤を添加すれば、カラフルな砂をつくることも可能である。公園やグラウンドなどにおいて利用できると思われる。

④固化剤に気泡剤を添加すれば、細かい穴のあいた造粒物ができる。それをモルタルに用いれば吸音性のある壁が作れると思われる。

(1996年8月23日受付 9月27日受理)