

建設汚泥リサイクルシステムの開発

塩田 耕司* 椎名 貴彦**
 齊藤 到*
 池田 省三** 杉原 広晃**

要 旨

近年、建設汚泥は処分費用の高騰や不法投棄の増大など様々な問題を抱えており、実用的なリサイクル技術が求められている。当社においては、セメントと水溶性ポリマーを混合した特殊固化材を用い、専用のミキサで建設汚泥と混合攪拌を行う「建設汚泥リサイクルシステム」を実用化した。これは、高含水の建設汚泥を脱水・乾燥処理を行うことなく、水溶性ポリマーによりみかけの含水比を低下させ、ポリマーの凝集効果により建設汚泥とセメントを粒状化し、砂の代替材としてリサイクルする技術である。

1. はじめに

産業廃棄物である建設汚泥のリサイクル率は 32% (平成 11 年度)であり、他の建設廃棄物に比べ低く、その多くが管理型の最終処分場に産廃処理されている。一方、産業廃棄物の最終処分場は 1998 年 6 月に廃棄物処理法が改正されて以来、新規立地が極端に減少し、その残余容量も 3.3 年(平成 11 年 4 月現在)と試算されている。以上の背景から、建設汚泥のリサイクル技術の開発は急務であると言える。

従来、基礎工事やシールド工事などで発生する高含水の建設汚泥は、脱水や乾燥処理後にセメント固化する方法が用いられてきた。しかしこの方法では大型プラントの設置や広い処理ヤードが必要であること、また廃棄物処理法上における施設の設置許可が必要であること、リサイクルするための有価物として認可されないことから、建設現場でのリサイクルは困難となる場合が多かった。

今回開発した建設汚泥リサイクルシステムは、脱水・乾燥処理することなく数分で造粒し、土木建築資材などとしてリサイクルするシステムである。

本稿では、建設汚泥リサイクルシステムの概要と、これにより改良された造粒物の物理特性、強度特性を把握し、砂の代替材としての適性について述べる。

2. 建設汚泥リサイクルシステムの概要

2.1 造粒固化のメカニズム

従来の建設汚泥をセメント固化する方法では、改良後のハンドリングが悪く、改良地盤の掘削や杭打ちが困難であった。また、高含水の建設汚泥を改良するためには含水比を低下させる前処理が必要であった。

本システムでは、高含水の建設汚泥を脱水・乾燥を行うことなく改良するために、水溶性ポリマーを使用して



写真 - 1 改良前

写真 - 2 改良後

表 - 1 改良土の土質区分基準¹⁾

基準値 区分	コーン指数 q_c (kN/m ²)	備 考
第 1 種処理土	-	固結強度が高く礫、砂状を呈するもの
第 2 種処理土	800以上	
第 3 種処理土	400以上	
第 4 種処理土	200以上	

みかけの含水比を低下させる。このポリマーをセメントに数%混合した特殊固化材を用いて、写真 - 1 のような建設汚泥と特殊固化材を造粒ミキサで 30 ~ 60 秒混合攪拌することにより、改良後には写真 - 2 のように粒状にすることができる。

本システムでは粒状に改良するためハンドリングがよく、短時間で表 - 1 に示す第 4 種処理土以上の強度となるため、早期に利用可能である。また、所要の養生により固結強度の高い砂・礫状である第 1 種処理土となり、盛土材、路床材、ドレーン材など砂の代替材として幅広く利用することができる。

本システムで使用する水溶性ポリマーは天然系のものを主成分としており、環境に及ぼす影響の小さい材料である。

*環境研究所 **技術研究所

造粒固化の流れを以下に示し、概要を図 - 1 に示す。

建設汚泥と特殊固化材を造粒ミキサに投入。
 水溶性ポリマーが建設汚泥中の水分と反応しゲル状となる。
 ゲル状のポリマーが土粒子・セメントを吸着しながら団粒化。
 造粒ミキサのせん断力により粒状に改良。
 粒状の改良土を造粒ミキサより排出。
 セメントの水和反応などにより粒状で固化。

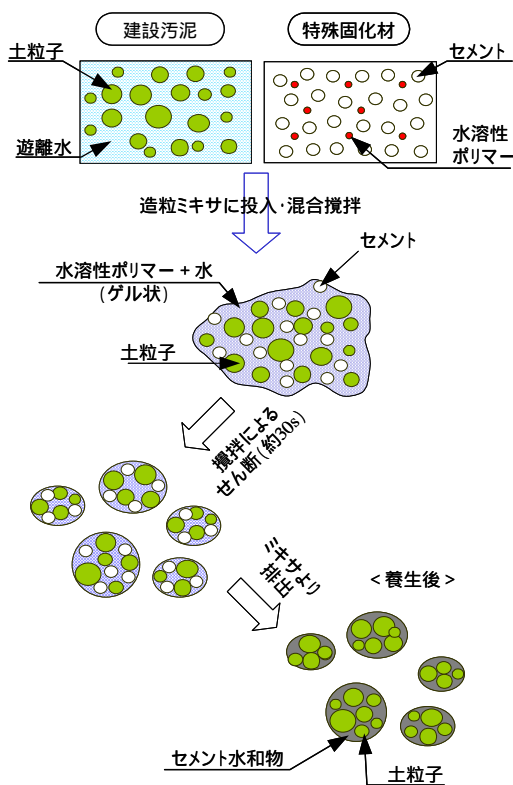


図 - 1 造粒の概要

2.2 造粒ミキサの概要

本システムで利用するバッチ式造粒ミキサ(HF ミキサ)の概要を図 - 2 に、内部の形状を写真 - 3 に示す。ミキサは外羽根と内羽根が同心 2 軸で逆回転する機構の搅拌翼で構成されている。内羽根はスクリー状となっており、高速回転(約 500rpm)により投入材料にせん断力を与えるととも上方外側への流れをつくり、低速回転(約 50rpm)の外羽根が投入材料を内側へ掻き込み、ミキサ内では図 - 2 のような対流が起こる。この内羽根のせん断力により、ポリマーによって団粒化された建設汚泥とセメントを粒状にし、対流により投入材料を均一に混合できる。

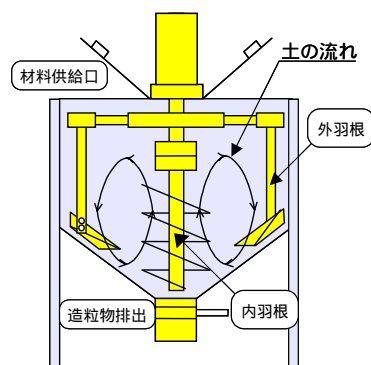


図 - 2 造粒ミキサ(HF ミキサ)の概要



写真 - 3 造粒ミキサ(HF ミキサ)の内部

このミキサの使用により一般のセメントミキサに比べ造粒状態が良好で、ミキサへの付着の少ない混合攪拌を行うことができる。

2.3 システムの概要

システムは造粒プラントとバックホー、特殊固化材サイロ、ベルトコンベアなどで構成されている。造粒プラントは、1 バッチ当たり 0.2m³(造粒能力約 5m³/h)と 1.0m³(約 25m³/h)のものを保有しており、処理量やヤードによって選択する。それぞれの全景を写真 - 4、5 に示す。0.2m³プラントは 10t トラックで可搬可能であり、15m 四方の小スペースで改良可能である。

建設汚泥は、発生場所から直接もしくは貯泥槽に仮置後、バックホーでプラント内に投入される。その際、ふるいにより大きな礫、木材などの雑物を取り、そこを通過したものが造粒ミキサに投入される。所定の重量分の汚泥が投入された時点で重量計測を行い、その重量に対して事前配合試験で決定した特殊固化材を添加する。その後、造粒ミキサの中で 30~60 秒分間混合攪拌を行い、造粒された再生材がベルトコンベアにより排出される。バックホーにより汚泥投入を開始してから再生材が排出される時間は、3~4 分である。排出後、造粒物どうしの付着がないように 1 日後にほぐし、数日から 7 日以上養生後に土木材料として使用する。



写真 - 4 システムの全景 (0.2m³級プラント)



写真 - 5 システムの全景 (1.0m³級プラント)

3. 改良土の物理、力学的特性

3.1 改良前後の物理試験

本システムの有効性を確認するために、表 - 2 に示す 2 種類の試料を用いて改良を行い、改良土の特性を検討した。試料 1 は土中水分の塩分濃度が 3.1% という海成粘土で含水比が高く、細粒分の割合も 96% と多い。セメント固化の海水での実績は多いが、ポリマーに関する実績は少ない。今回の改良で海水においても造粒が可能であることが確認できた。試料 2 は推進工事の立坑掘削時に発生する汚泥であり、礫および砂分が 65% のシルト質砂である。

表 - 2 未改良土の物性値

物性名	単位	試料 1	試料 2	
含水比	%	152.0	49.1	
土粒子密度	g/cm³	2.641	2.672	
湿潤密度	g/cm³	1.34	1.76	
液性限界	%	121.0	N P	
粒度分布	礫分	%	0.2	10.1
	砂分	%	3.2	55.2
	シルト分	%	42.1	21.4
	粘土分	%	54.5	13.3
強熱減量	%	12.5	4.6	
塩分	%	3.1	0.0	
日本統一土質分類		粘土	シルト質砂	

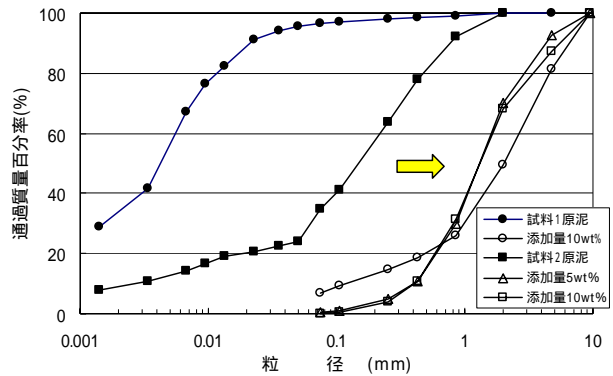


図 - 3 改良前後の粒径過積曲線

改良前と改良後の粒度試験結果を図 - 3 に示す。図より、未改良土では細粒分が試料 1 で 96%、試料 2 で 34% あるが、本システムによる再生材は細粒分が 10% 以下となっており、細粒分が造粒され、粒度分布は粒径の大きい右側へスライドし、“砂”や“礫”の性状へと変化している。また、本システムで改良された再生材はどれも同じ様な粒度分布になっていることがわかる。

特殊固化材の添加量を 5wt% と 10wt% で改良した試料 2 において、添加量の違う改良土の粒度分布を比較すると、対象とする汚泥が同じであれば添加量が変化しても粒度分布の違いは小さいことがわかる。このことから、造粒に必要な特殊固化材の添加量以上では、特殊固化材の差異による粒度分布の変化は少なく、造粒ミキサの性能に依存していると言える。

3.2 コーン試験

表 - 3 に改良後の経過時間別でのコーン指数の変化を示す。コーン試験は「建設汚泥リサイクル指針」に示される方法²⁾で行う。両試料共に改良の 2 日後には貫入不可となっており、試料 2 では 2 時間後に 800 kN/m² を越えている。これは表 - 1 に示す土質区分基準の第 2 種改良土と判断され、盛土、路床、堤防築堤、造成など様々な用途の土木資材として早期に利用が可能であることがわかる。

表 - 3 コーン貫入試験結果

試料名	固化材添加量 (wt%)	コーン指数 qc (kN/m²)		
		2 時間後	1 日後	2 日後
試料 1	10	458	1,114	貫入不可
試料 2	5	803	貫入不可	-

3.3 透水試験

改良土の透水性能を把握するために、28日養生後の試料を用いて、締め固めた改良土の定水位透水試験を行った。試験結果を表-4に示す。試験結果として透水係数は 10^{-3} cm/s以上の結果を得ており、一般的な砂および礫の透水係数が 10^{-3} ~ 10^0 cm/sであることから、締め固めた改良土が砂と同程度の透水性を確保していることがわかる。また、従来のセメント系固化材のみで改良された地盤の透水係数が 10^{-5} ~ 10^{-7} cm/s³であることから、本システムにより透水性のよい地盤の形成が可能であると言える。

表-4 透水試験結果

試料名	固化材添加量 (wt%)	養生日数 (日)	透水係数 (cm/s)
試料1	10	28	2.6×10^{-3}
試料2	5	28	4.8×10^{-3}

3.4 CBR試験

路床材としての適応性を確認するために、28日養生後に締め固めた改良土のCBR試験を行った。結果を表-5に示す。結果として両試料共にCBR値が20%以上を示しており、舗装厚を検討する際の設計CBR値の最高値である20%を越えている。よって、改良土は路床材として十分に利用が可能であると言える。

また、膨張率は両試料共に低く、良好な地盤の膨張率1%以下という規定から判断して、改良体の膨張性が低いことがわかる。このことから本システムによる改良地盤が水を吸って体積膨張などを起こすことはない判断できる。

表-5 CBR試験結果

試料名	固化材添加量 (wt%)	養生日数 (日)	膨張比 (%)	設計CBR値 (%)
試料1	10	28	0.32	21.6
試料2	5	28	0.19	37.3

3.5 乾湿繰り返し試験

改良土が雨水、地下水などによる乾燥・湿潤を繰り返すことにより再泥化を起こさないかを確認する。実験方法は、日本道路公団「スレーキング試験方法」(KODAN 110-1985)に基づき、改良直後の試料を乾燥と湿潤を24時間毎に行い、これを1サイクルとして5サイクルさせた改良土の粒度試験を行い、乾湿繰り返し前の粒度分布と比較した。

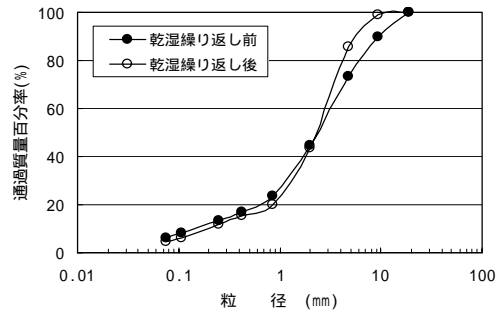


図-4 乾湿繰り返し前後の粒径過積曲線

実験結果を図-4に示す。実験に使用した試料は試料1である。実験前後の粒度分布を見ると、大きな変化は無くほぼ同じ粒度分布になっている。このことから、改良体を用いた地盤が、雨水や地下水位による湿潤や乾燥の作用を受けても再泥化は起こらないと言える。

3.6 締め固め後の粒度試験

改良土が施工時の締め固めなどで発生する攪乱エネルギーによって粒子の細粒化が起こらないかを確認する。実験方法は試料1の改良土をゴムスリーブに入れ、高さ1.5mから所定の回数で自由落下させ攪乱し、攪乱後に粒度試験を行い攪乱前と比較する。

落下回数は、位置エネルギーが落下によりすべて試料に吸収されたとして次式により求める。また、落下エネルギーは $E_c = 2,500 \text{ kJ/m}^3$ とする。これは、地盤工学会基準「突固めによる土の締め固め試験方法」(JGS T 711)から路盤の締め固め仕事量に相当する数値である。

$$E_c = (W_r \times H \times N) / V$$

$$E_c : \text{落下エネルギー} = 2,500 \text{ kJ/m}^3$$

$$W_r : \text{試料重量} = 10.3 \text{ N}$$

$$H : \text{落下高さ} = 1.5 \text{ m}$$

$$V : \text{試料体積} = 773 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$N : \text{落下回数 (回)}$$

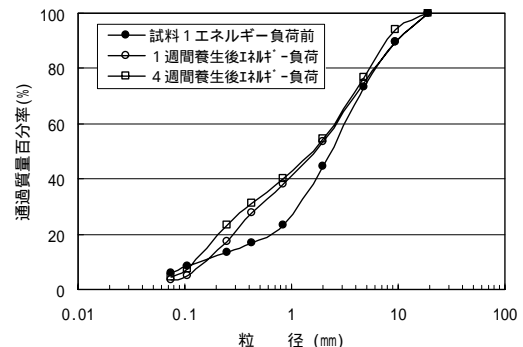


図-5 エネルギー負荷前後の粒径過積曲線

上記の式より落下回数Nを求める。上記の試料の体積、重量の場合、落下回数は125回となる。

図-5に試料1の攪乱前と攪乱後の粒度分布を示す。この図より路盤施工時のエネルギーの負荷により細粒分の増加はなく、エネルギー負荷前後での粒度分布の変化はほとんどないことがわかる。また、1週と4週養生後の粒度分布の変化がなく、1週間の養生により締固めエネルギーで造粒物が破砕しない強度が発生していることがわかる。以上のことから1週間程度の養生期間をおくことで、改良土が締固め施工時のエネルギーにより細粒化はしないという結果が得られた。

4. 改良実績

4.1 現場改良

本システムの建設現場における改良実績を表-6に示す。表のように本システムは建築の杭基礎工事や推進・シールド工事を主に改良を行っている。また、建設汚泥ではない浚渫土でも埋立地などの受け入れ場所がない場合に、本システムで改良を行った。

また、本システムによる改良土は、施工を行った各自治体で有償物と認められており、処理方法は現場内で処理する“自ら利用”を中心に、別現場などで利用する“有償売却”による改良も行っている。

表-6 改良実績

工事名	数量	処 理 土	処理方法	改良土の利用先
○ポンプ場新設工事	160m ³	河川浚渫土	自ら利用	構造物周辺の埋戻材
T老人保健施設建築工事	190m ³	杭基礎工事発生汚泥	自ら利用	構造物周辺の埋戻材
S建築工事	1,500m ³	杭基礎工事発生汚泥	自ら利用	構造物周辺の埋戻材 駐車場の路床材
H雨水増補管築造工事	600m ³	泥濃式推進工事発生汚泥	有償売却	宅地造成盛土材
H大橋下部工事	1,300m ³	浚渫土	自ら利用	路体材
H工場新築工事	32,500m ³	地中連壁及び杭基礎工事発生汚泥	自ら利用	盛土材
E新築工事	467m ³	杭基礎工事発生汚泥	自ら利用	盛土材
M污水幹線工事	400m ³	泥濃式推進工事発生汚泥	有償売却	リサイクル混合材
U污水幹線布設工事	1,000m ³	泥土圧シールド発生汚泥	自ら利用	立坑埋戻材

4.2 建設汚泥リサイクル工場

わが社の関連会社であるジャイワット(株)では、本技術を用いて、平成12年6月より仙台市に建設汚泥の中間処理工場「仙台エコランド」を設立した。本施設では、40m³/hの固定式プラント(写真-6)を設置し、仙台市およびその周辺から発生する建設汚泥を受け入れ、改良したものを販売している。処理量は平成13年度で約1.8万tである。

また、各地の自治体で移動式産廃処理業の免許を取得しており、保有する可搬式プラント(10m³/h)により各地の建設現場での中間処理を行っている。



写真-6 固定式造粒プラント

5. おわりに

以上のようにポリマーを配合した特殊固化材により、汚泥の細粒分が造粒固化され、砂の性状を示す改良体となることが確認できた。また、改良された土は砂の代替材として有効に利用できる。

今後は、中性域での改良や古紙などの吸水材の併用、造粒固化による汚染土壌の不溶化など適応範囲を広げていく。

【参考文献】

- 1)(財)先端建設技術センター：建設汚泥リサイクル指針、41p、1999.
- 2)(財)先端建設技術センター：建設汚泥リサイクル指針、42p、1999.
- 3)(社)セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル(第二版)、42p、1994.