

1. 再焼成PS（ペーパースラッジ）灰を用いた泥土改良システム

○ (株)フジタ 北山 圭造
(株)フジタ 富来 正

1. はじめに

建設事業において、環境への負荷が少ない循環型社会形成への様々な取り組みが積極的に実施されている。

建設発生土の利用基準として平成16年3月31日に国土交通省所管事業を対象に出された通達を表1に示す。これによると、盛土その他に適用するには第4種建設発生土以上、出来れば第3種建設発生土以上が望ましいことがわかる。

当社は、これまで古紙リサイクル過程で産業廃棄物

として発生したPS（ペーパースラッジ）灰を再処理することにより製造される再焼成PS灰（マッドキラー）の高い吸水性に着目し、建設分野への有効利用を図ってきた。

本稿では、建設汚泥や泥土として処理されているものを、建設発生土として取扱うことが可能な品質（第4種建設発生土以上）に改良することができるシステムの概要と、泥土圧シールド工事に適用した事例を報告する。

表1 土質区分基準と適用用途標準（抜粋、各適用には別途留意事項有り）

区分 (国土交通省令)	細区分	コン 指数 kN/m ²	大分類	含水比 (地山)	工作物 の 埋戻し	土木構 造物の 裏込め	道路 (路床) 盛土	道路 (路体) 盛土	一般 堤防	公園 緑地 造成
第1種建設発生土 (砂、礫及びこれらに 準ずるもの)	第1種	-	礫質土 砂質土	-	◎	◎	◎	◎	○	◎
	第1種改良土		人工材料	-	◎	◎	◎	◎	○	◎
第2種建設発生土 (砂質土、礫質土及び これらに準ずるもの)	第2 a 種	800 以上	礫質土	-	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	第2 b 種		砂質土	-	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	第2種改良土		人工材料	-	◎	◎	◎	◎	◎	◎
第3種建設発生土 (通常の施工性が確保 される粘性土及び これに準ずるもの)	第3 a 種	400 以上	砂質土	-	○	○	○	◎	◎	◎
	第3 b 種		粘性土	40%程度以下	○	○	○	◎	◎	◎
			火山灰質粘性土	-						
	第3種改良土		人工材料	-	○	○	○	◎	◎	◎
第4種建設発生土 (粘性土及びこれに 準ずるもの(第3種建設発 生土を除く))	第4 a 種	200 以上	砂質土	-	○	○	○	○	○	○
	第4 b 種		粘性土	40～80%程度	△	△	△	○	○	○
			火山灰質粘性土	-						
			有機質土	40～80%程度						
	第4種改良土		人工材料	-	△	△	△	○	○	○
泥土	泥土 a	200 未満	砂質土	-	△	△	△	○	○	○
	泥土 b		粘性土	80%程度以上	△	△	△	△	△	△
			火山灰質粘性土	-						
			有機質土	80%程度以上						
	泥土 c		高有機質土	-	×	×	×	△	×	△

◎ (そのまま使用可能なもの)

○ (適切な土質改良を行えば使用可能なもの)

△ (○と比較して土質改良にコスト時間が必要なもの)

× (使用が不適なもの)

2. 建設工事からの排出物の取扱い

シールド工事の場合、掘削物が土砂か汚泥かの判断は、掘削工事（一体の施工システム）にともなって排出される時点で行なうものとされている。

シールド工事における一体の施工システムの範疇は、泥水循環工法（泥水シールド）と泥水非循環工法（泥土圧シールド）によって違いがあるが、ここでは泥土圧シールド工法に関して述べる。

泥土圧シールド工法ではホッパー等の貯留設備から排出される時点までを一体の施工システムととらえ、ここからの排出物が泥状を呈するかどうかで判断している。ここで、泥状を呈するとは、標準仕様ダンプトラックに山積みができず、また、その上を人が歩けない状態をいい、この状態を土の強度を示す指標でいえば、コーン指数がおおむね 200 kN/m^2 以下又は一軸圧縮強度がおおむね 50 kN/m^2 以下である。また、運搬中の練り返しにより泥状を呈するものも汚泥として取扱う。

本改良システムは、泥土圧シールド工法の泥土を一体の施工システム内で、瞬時に建設発生土として取り扱うことが可能な品質（第4種建設発生土以上）に改良し、ピットから搬出される時点で泥状を呈さない性状とするものである。

3. 再焼成PS灰

本システムで改良材として使用する再焼成PS灰は、古紙から再生紙を作る過程で発生するペーパースラッジ（PS）灰を処理して製造したもので、化学的に非常に安定した無機多孔質な材料である（写真1）。

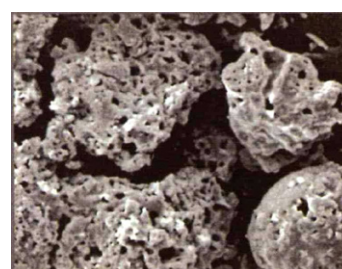


写真1 電子顕微鏡写真

また、再焼成PS灰は、pHが中性域であるとともに、有害物質を含まず動植物に害を与えない環境負荷の低い材料である。再焼成PS灰粒子の無数の微細孔は、高い吸水能力を有しており、泥土を瞬時に改良することができ、養生時間が不要といった特徴がある。

表2は、再焼成PS灰と既存の改良材を比較したものである。

表2 再焼成PS灰の特徴

項目	再焼成PS灰	石灰系	セメント系	高分子系
改良原理	吸水効果による物理的改良。	吸水、発熱により含水比を低下させる改良。	セメントの水和・固結化作用により、土の強度増加を図る改良。	泥土の自由水に作用し水分吸着、固定化、土表面の被覆による改良。
改良効果	再焼成PS灰が行き渡らない部分も吸水作用による改良効果が期待できる。	石灰が行き渡らない部分も吸水作用で改良効果が期待できる。	セメントが行き渡らない部分は固まらないため、改良効果にムラがしやすい。	添加量が少量のため、均一な改質効果を得るため液体タイプを使用。高価である。
適用可能土質	粘性土、砂質土をはじめ、腐植土にも適用可能である。	粘性土の改良に適している。	砂質土系の改良に適している。粘土および有機物の含有量が改良効果に影響する。	粘土、シルトの泥土に適している。土の含水比が高い場合注意が必要である。
適用可能含水比	高含水比の土であっても適切に添加することにより、十分な改良効果が期待できる。	石灰を混合した後も泥状となる土には改良効果は期待できない。	高含水比の土であっても適当なセメント添加量によって硬化し、改良固化が期待できる。	砂の場合は含水比50%程度粘土の場合は100%程度までしか改良効果が期待できない。
環境影響	中性から弱アルカリ域で改良ができ、動植物に対する影響が極めて少ない。	消石灰は消防法で危険物第3種に指定。pHは上がり強アルカリとなる。発熱する。	六価クロムの溶出に対する不安がある。pHは上がり強アルカリになる。	中性域で毒性がなく長時間放置しても問題がない。
施工性	瞬時に改良できるため、養生期間が必要ない。	固化に必要な数日程度の養生期間が必要である。貯蔵、施工時の取り扱いに注意。	固化に必要な数日程度の養生期間が必要である。	養生期間はいらないが、改良土の強度が低く盛土材等としての利用ができない。

4. 施工機械

本改良システム施工機械は、以下の装置等で構成される。

- ・ 改良材貯蔵設備（サイロ）
- ・ 改良機
- ・ 運転制御システム

4-1. 改良材貯蔵設備

改良材は、小規模改良の際はフレキシブルコンテナでの運用もあるが、通常ジェットパック車で搬入する。陸上の場合縦型、地下空間の場合横型のサイロを数基設置する。そこより必要量をロータリーフィーダ、スクリュウコンベヤ等を用いて改良機内に添加する。

4-2 改良機

再焼成 PS 灰はコンクリート製造等のミキシングと異なり完璧さを要求しないという特徴がある。よって、高価なミキシングプラントを使用する必要が無く、比較的安価で単純な構造の専用機械を開発した。

改良装置は、2種類のスクリュウにより定量切出、

攪拌、排出を連続して行なう機構となっており、

- ・ ストレート型（図1）
- ・ 折り返し型（図2）
- ・ 大処理量用（図3）

の3種類の基本形状を基に、現地状況に応じて柔軟にシステムを構築している。

特長として次のような点を有している。

- ・ 改良土量の変動にもスクリュウ回転数を変えることで連続的に対応可能である。
- ・ バッチ処理に比して大容量化が容易い。
- ・ 密閉されたケーシング内で混合攪拌するため、粉塵や騒音の発生が少ない
- ・ 広範囲な土質性状に対応可能である。

4-3. 運転制御システム

本施工機械、機械の運転、制御、データ保存等を現場ごとの要求に合わせてカスタマイズしている。

基本的には、機械の単独運転、連動運転制御、機械稼動データ保存が可能であり、その他ベルトスケールとの組合わせ等の実績がある。

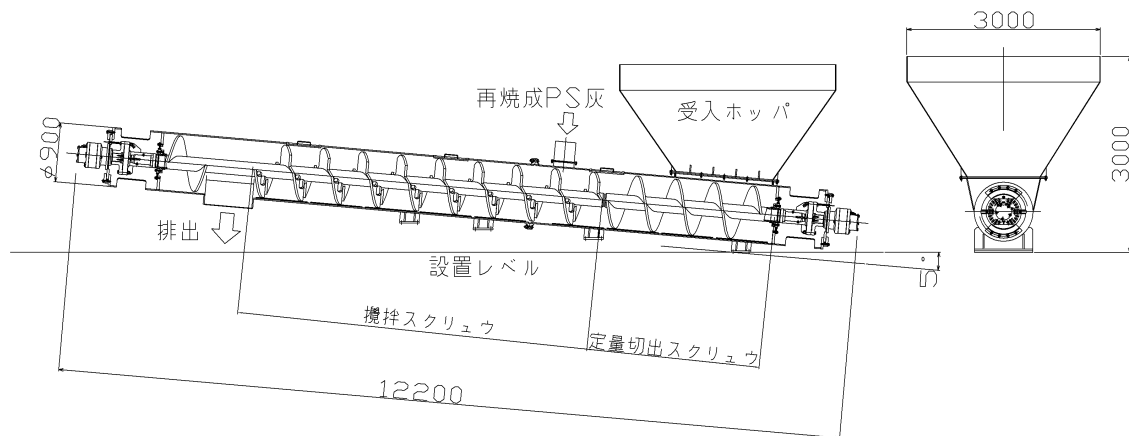


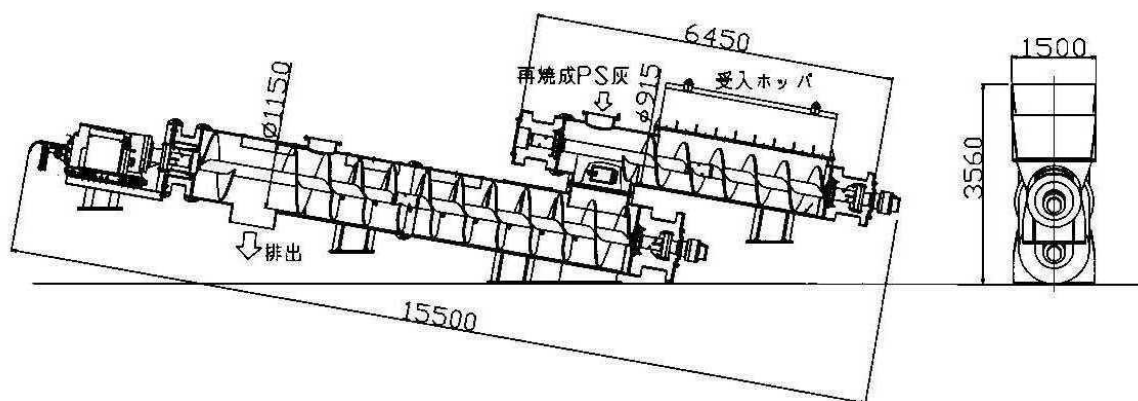
図1 改良機（ストレート型）

ストレート型は円筒形のケーシング内に定量切出用スクリュウコンベヤ1列と、攪拌用スクリュウコンベヤ1列を直線状に配置した改良機基本の形状である。全ての形状に共通する改良の流れは

- ① 受入ホッパにベルトコンベヤ、バックホウ等を用いて泥土等を投入する。
- ② 定量切出スクリュウコンベヤによりホッパ下部よりケーシング先端方向へと泥土等を定量搬送する。
定量切出スクリュウコンベヤは可変速である。

-

折り返し型は定量切出用スクリュウコンベア1列と、攪拌用スクリュウコンベア1列が上下2段に配置されている狭隘な場所用の改良機である。シールド立坑内等で設置面積が非常に限られる際に適用する。上段と下段はフランジ接続であるため、平面上の折り返し角度を自由に設定して設置可能である(図は180度折返し)。



大処理量用は浚渫、大断面シールド工事に適用すべく製作した機種であり、図は 200 m³/h 級（処理能力は土質性状による）の改良機である。スクリュウを片端支持としてストレート型と違い、大処理量用ではスクリュウが大型であるため両端支持としている。よってケーシング 2 段の形状となっている。

5. 施工事例

5.1 工事概要

工 法：泥土圧推進工法

呼 び 径： $\phi 3,000\text{mm}$

延 長： $L=72.0\text{m} \times 4 \text{本}=288.0\text{m}$

土かぶり：29.2m

掘削土量：3,085 m^3

5.2 地質概要

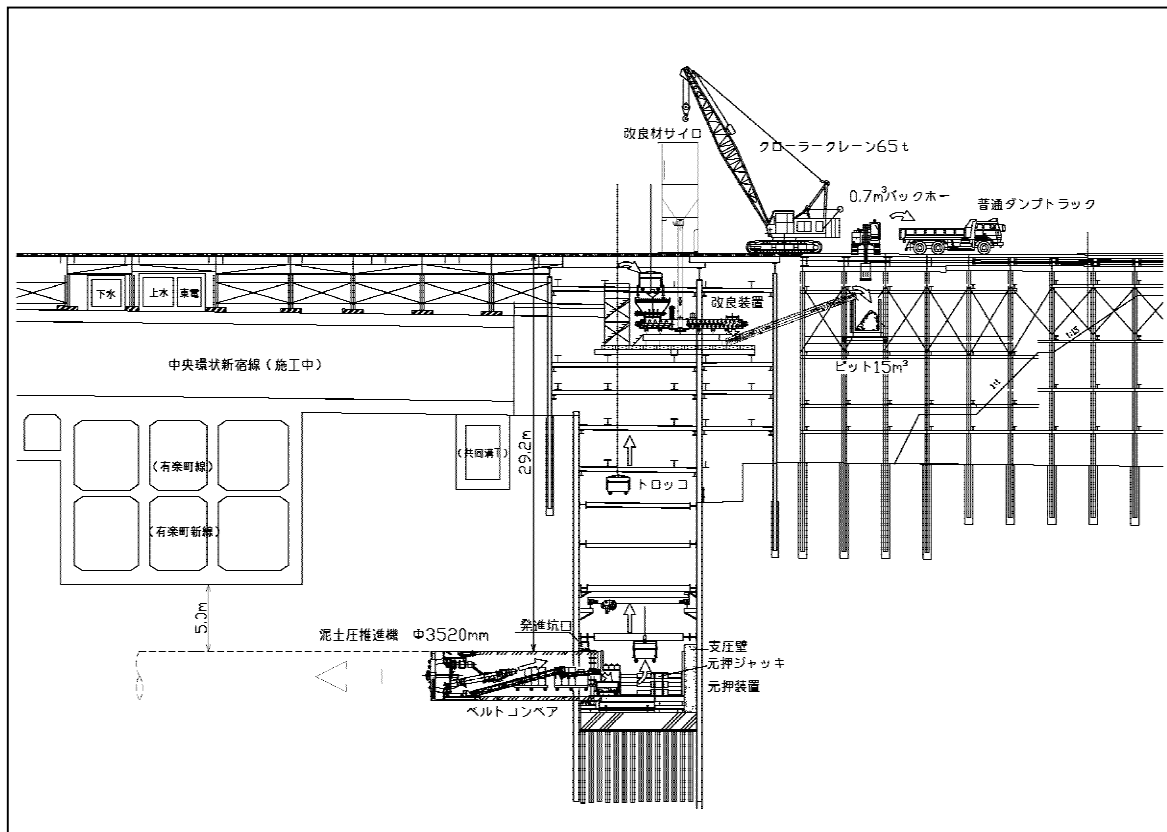
本地域は、洪積の武蔵野台地に位置し、地表面より6m 付近までは沖積層が分布するが、それ以深には洪積層が武蔵野礫層、東京層、東京層群の順で分布してい

る。

推進通過位置は、管中心で地表より 31m 付近となり、全線にわたり東京層群の粘性土層(Tkc)の掘削となる。この粘性土層は層厚が 15m 程度有り、平均N 値 20 程度の均一な固結シルトとなっている。

5.3 改良機器設置

作業基地が都市部での主要幹線道路交差点の狭隘な場所であるため図4に示すように改良材サイロを除いて発進立坑の中段に設置した。



5.4 改良材添加量

掘削土の含水比は、地下水や切羽に注入する添加材等によって変化するため、改良材添加量(以下、添加量と称す)もそれに応じて調整する必要がある。そこで事前に、含水比を変化させた掘削土に対して、所定のコーン指数管理値 (200 kN/m^2 以上) を満足する添加量を室内試験で決定した(図5)。

掘進時は、掘削土の含水比に応じて添加量を調整した。

5.5 改良効果

4本の推進工は、土質が均一であったため、ほとんど同様な施工状況であった。また、泥土改良についても同様であり、ここでは掘削土の含水比が比較的大きか

った初期掘進時（50%から60%）でも改良効果は、第4種建設発生土以上（コーン指数 200 kN/m^2 以上）の品質を満足した。写真2、3は改良前、改良後の状況である。一連の処理の流れの中で直ちに改良が行われていることが明確に見て取れる。

泥土改良の品質管理は、セメントや石灰を用いて有効利用を目的とする場合には養生時間が必要で煩雑となることがあるが、本システムでは瞬時に均一の改良が可能であることから改良直後のコーン指数試験によって直ちに品質を確認することが可能であった。

また、養生時間を必要とするものは、その養生のためのストック設備が必然的に多大となり、都市部等での狭隘な環境では、これが一体の施工システム内での改良の成立を妨げる要因となる場合があると考えられる。

本泥土改良システムは、処理土の養生のためのストック設備が不要であることから都市部での適用範囲が大きいといえる。

泥土圧推進の泥土を一体の施工システム内において瞬時に泥状を呈さない第4種建設発生土以上の性状に改良し、盛土材として有効利用することができた。

6. おわりに

現状では発注者毎に産業廃棄物に対する考え方に相違が見られる。たとえばシールド工事からの排出物は土質改良の実施、未実施にかかわらず、すべて産業廃棄物と判断される場合がある。こうした場合でもリサイクルを容易にする本システムは有効性が認められている。

また、本改良システムはシールド工事にとどまらず、浚渫土等の改良工事にも多数適用されており、泥土の発生抑制および有効利用は、無駄な廃棄物を出さないゼロエミッション社会に貢献できる技術であると考察する。

今後も効率的なリサイクル推進に取組み、環境への負担の軽減に寄与する所存である。

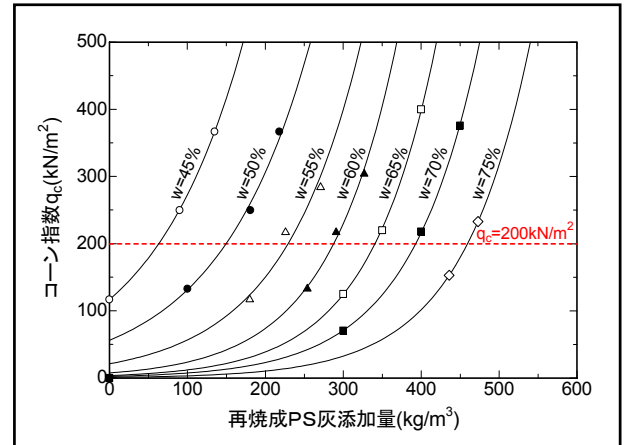


図5 含水比変化に対する改良土のコーン指数試験



写真2 推進機ゲートから排出される固結シルト



写真3 改良土（第4種建設発生土以上）