

シールド泥土改良システムの開発

The development of soil improvement system for construction sludge from shield tunnel.

大井隆資^{*}・北山圭造^{**}・藤森一弘^{***}・藤田一彦^{****}

Takatugu OI, Keizou KITAYAMA, Kazuhiro FUJIMORI and Kazuhiko FUJITA

The mud pressure balance shield tunnel method is used for a large number of urban tunnel projects.

Generally muddy soil from the mud pressure balance shield tunnel method is categorized as construction sludge.

This article reports effectiveness of the soil improvement system which can transform characteristics of muddy soil instantaneously to be categorized as construction soil and further efforts.

key word: Shield tunnel method, Muddy soil, Improvement, Minimize the amount of construction sludge, Effective utilization

1. はじめに

大都市圏での地下空間の創出にあたっては、シールド工事が主力となり中でも泥水式や土圧式の密閉型シールド工法が有力な工法とされている。しかし、これらの工事に伴い副次的に発生する大量の土砂や汚泥(以下「発生土」と称す)の処理は、受入適地の不足、不法投棄等の不適正処分、住民苦情等の問題等から、事業の計画・設計段階から発生量の抑制や建設資材としての有効利用等が求められている。

本稿では、シールド・推進工法で最も多用されている泥土圧シールドにおける建設汚泥の発生抑制と有効利用を目的としたシールド泥土改良システム(以下「本システム」と称す)の開発について報告する。

本システムは、泥土圧シールドから発生する泥土に改良材である再焼成 PS 灰を一体の施工システム内で混合攪拌することによって、養生時間無し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)に性状を改良するものである。

2. 建設汚泥のリサイクルの現状

政府は2000年を「循環型社会元年」と位置づけ、循環型社会形成推進基本法等の法律を公布した。そして我国は、これらの法律の一体的運用とあいまって「大量生産・大量消費・大量廃棄」という一方通行のシステムから循環型の社会経済システムへと転換しつつある。

建設産業から発生する建設廃棄物は、産業廃棄物の排出量の約2割、最終処分量の約3割を占めており、その責務は非常に重く、建設副産物のリサイクル推進が不可欠とされている。

建設廃棄物の品目別再資源化率の状況を図-2.1に示す。建設廃棄物全体として再資源化・縮減率は一定の

「キーワード」シールド工法、泥土、改良、建設汚泥の発生抑制、有効利用

- * 正会員 (株)フジタ 土木本部土木技術統括部
- ** (株)フジタ 土木本部機械部
- *** 正会員 (株)フジタ 首都圏土木支店土木部
- **** (株)フジタ 大阪支店土木部

成果をあげているが、建設混合廃棄物や建設汚泥のリサイクルが低迷している。中でも建設汚泥は270万トン(平成14年度)が最終処分されている。

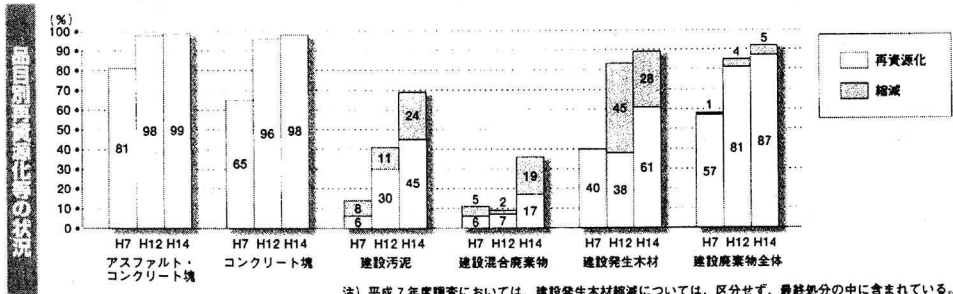


図-2.1 品目別再資源化等の状況¹⁾

土質区分基準による区分

区分	性状、強度
第1種建設発生土	礫及び砂状
第2種建設発生土	コーン指数 800kN/m ² 以上
第3種建設発生土	コーン指数 400kN/m ² 以上
第4種建設発生土	コーン指数 200kN/m ² 以上
泥土	コーン指数 200kN/m ² 未満

建設廃棄物処理指針
(廃棄物処理法による分類)

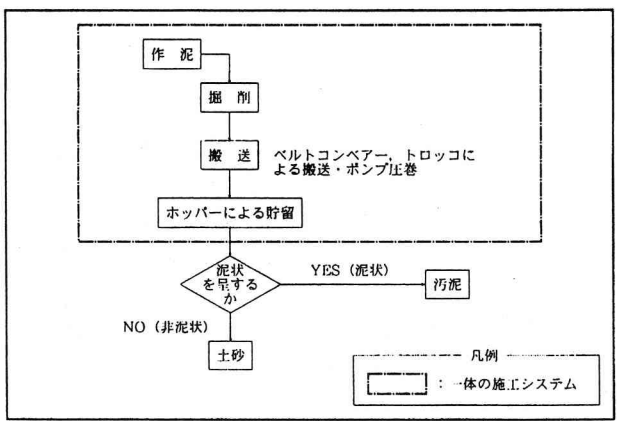
土砂及び土砂に準ずるもの	建設汚泥
・建設汚泥以外の土砂 ・地山掘削により生じる掘削物 ・浚渫土	標準仕様ダンプトラックに山積みできず、その上を人が歩けないような流動性を呈する状態のもの。 おおむね200kN/m ² 以下。 なお、地山の掘削により生じたものは土砂。

* 建設汚泥：掘削工事から生じる泥状の掘削物および汚水を泥土といい、このうち廃棄物処理法に規定する産業廃棄物として取り扱われるものを建設汚泥という

国土交通省は建設副産物対策として様々な施策・取組を展開しているが、発生土の適正な利用の促進を図ることを目的として、平成16年3月31日に通達「発生土利用基準について」を関係機関に通知した。その技術的な解説である「建設発生土利用技術マニュアル」によると発生土を建設工事の土木材料として利用する場合の分類が図-2.2のように示されている。

図-2.2 発生土の分類²⁾

一方、建設汚泥は「廃棄物の処理及び清掃に関する法律(廃棄物処理法)」の産業廃棄物に位置づけられ、その取扱いについては、環境省「建設廃棄物処理指針(以下「指針」と称す)」に示されている。



泥水非循環工法の一例
(泥土圧シールド工法)

図-2.3 泥水非循環工法の一例

指針によると土砂か汚泥かの判断は、泥土圧シールド工法の場合、図-2.3に示すように掘削作業からホッパーによる貯留までを一体の施工システムとし、この一体となるシステムから排出される時点で泥状を呈するか否かで行うとされている。

しかし、建設汚泥の判断や処理、リサイクルについては、廃棄物処理法を遵守した上で、その運用は自治体の裁量に委ねられているのが現状である。

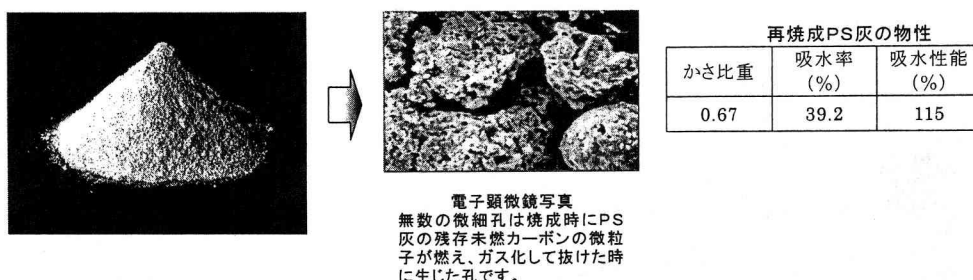
3. シールド泥土改良システムの概要

泥土圧シールド等の掘削で発生する泥土は、その性状から一般に建設汚泥として取扱われているが、貴重な建設資源であることから建設工事での自ら利用や工事間利用等の促進が求められている。

本システムは、指針に準拠し一体の施工システム内で改良材である再焼成 PS 灰を攪拌混合することにより、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、建設汚泥の発生抑制と盛土等への有効利用を図るものである。

(1) 改良材

本システムで使用する改良材の再焼成 PS 灰は、古紙から再生紙を製造する過程で発生するペーパーラッジ (PS) 灰を高温で再焼成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－3.1）。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にやさしい材料である。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。



写真－3.1 再焼成PS灰の粒子および物性

表－3.1 に、再焼成 PS 灰と既存の改良材との比較を示す。

表－3.1 既存改良材との比較

項 目	再焼成PS灰	石 灰 系	セメント系	高分子系
危 険 性	中性域で毒性がなく、長期間放置しても問題ない。	生石灰は消防法で危険物第3種に指定。貯蔵、施工時の取扱いに注意。発熱する。高いpHを示す。	危険物ではないが、六価クロムに対する不安がある。高いpHを示す。	中性域で毒性がなく、長期間放置しても問題ない。
改良原理	吸水により土の含水比を低下させる物理的改良である。	吸水、発熱により土の含水比を低下させる物性改良である。	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である。	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である。団粒化。
改良効果	再焼成PS灰が行きわたらない部分も吸水作用による改良効果が期待できる。 養生時間が不要で瞬時の改良が可能である。	石灰が行きわたらない部分も吸水作用による改良効果が期待できる。 強度発現に養生時間が必要である。	セメントが行きわたらない部分は固まらないため改良効果にムラがでやすい。 強度発現に養生時間が必要である。	添加量が少量のため、均一な改良効果を得るための対策が必要である。 養生時間は不要だが、処理土の固化強度が低い。
土質への適応性	粘性土、砂質土、砂礫等、広範囲な土質に適している。	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。粘土及び有機物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。

(2) 泥土改良システム

本システムは、次の改良機等で構成される。

- ・改良機、運転制御システム
- ・改良材ストック設備
- ・処理土ストック設備

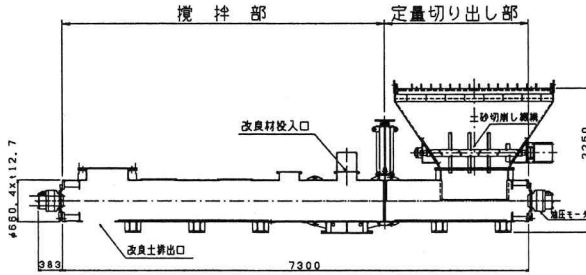


図-3.1 ストレートタイプ改良機 (50m³/h)

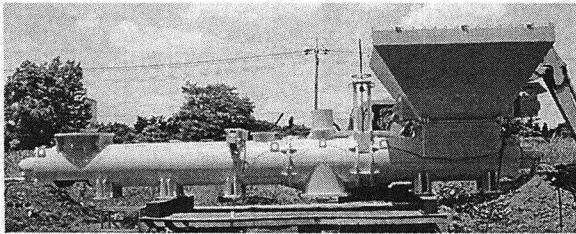


写真-3.2 ストレートタイプ改良機 (50m³/h)

泥土と改良材を混合攪拌する改良機は、一軸のスクリーコンベヤを用いており、攪拌部の特殊な攪拌翼が瞬時の改良効果を高めている。

また、次のような特徴も有している。

- ・広範囲な性状の泥土に適応可能（攪拌部直径の 1/3 程度の礫も可能）
- ・連続した改良、性状の調整が可能
- ・密閉された状態で混合攪拌するため、粉塵や騒音の発生が非常に少ない
- ・シンプルな構造のため維持管理が容易

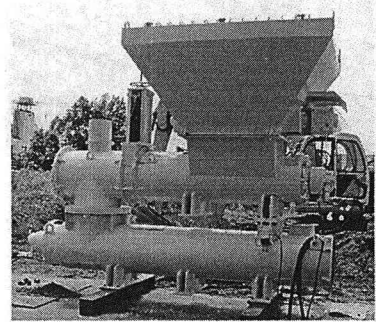


写真-3.3 折返しタイプ改良機 (50m³/h)

(3) 改良効果実験

施工に先立って実施した、高含水の泥土（礫混じり砂質シルト：含水比 80%、100%）を用いた改良効果実験状況を以下に示す。図-3.2 から判るように本システムに使用する再焼成 PS 灰は、数%の添加量の増加で第 4 種建設発生土から第 3 種、第 2 種建設発生土にコーン指数を高める特徴も有している。

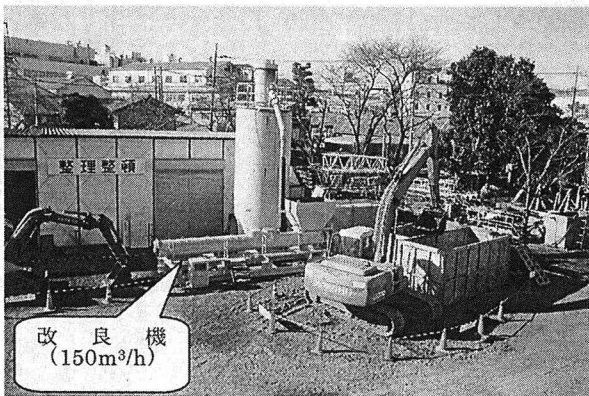


写真-3.4 改良効果実験全景

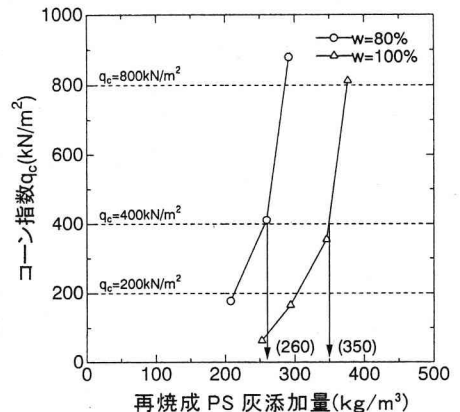


図-3.2 再焼成PS灰の室内配合試験

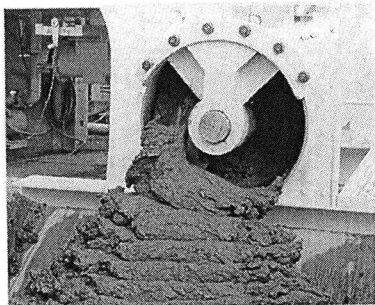


写真-3.5 改良前 泥土状況
(含水比 100%)

再焼成 PS 灰
混合攪拌



写真-3.6 改良後 処理土状況
(第3種建設発生土)

4. 施工例 1³⁾

(1) 工事概要

- ・ 工事場所：東京都内
- ・ 推進工法：泥土圧推進工法（回収型）
- ・ 掘削外径： $\phi 3,520\text{mm}$
- ・ 延 長：72m $\times$ 4本=288m
- ・ 掘削土質：東京層群の固結シルト(Tkc)
- ・ 施工環境：施工場所は交通量の非常に多い幹線道路の交差点である。そして周辺には、病院、食堂、マンション等が密集している。



写真-4.1 施工場所全景

(2) 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。事前の配合試験で、掘削土の含水比を変化させ第4種建設発生土の基準であるコーン指数 200 kN/m^2 以上を満足する添加量を求めた(図-4.1)。その結果、含水比 $w=55\%$ に対して添加量は 230 kg/m^3 と想定した。

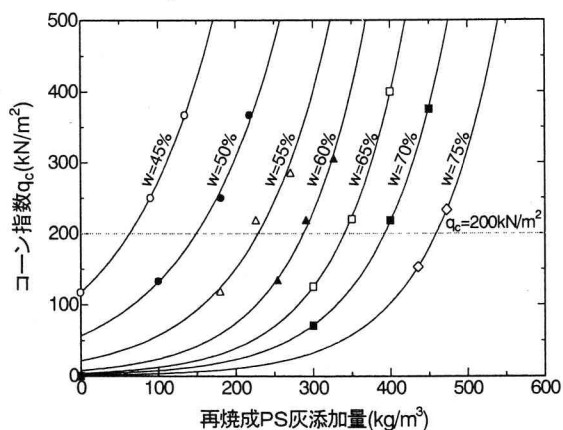


図-4.1 再焼成PS灰の室内配合試験

(3) 泥土改良システム

本システムの設置は、交差点での施工のため図-4.2に示すように改良材サイロを除いて路面下の発進立坑中段に設置した。

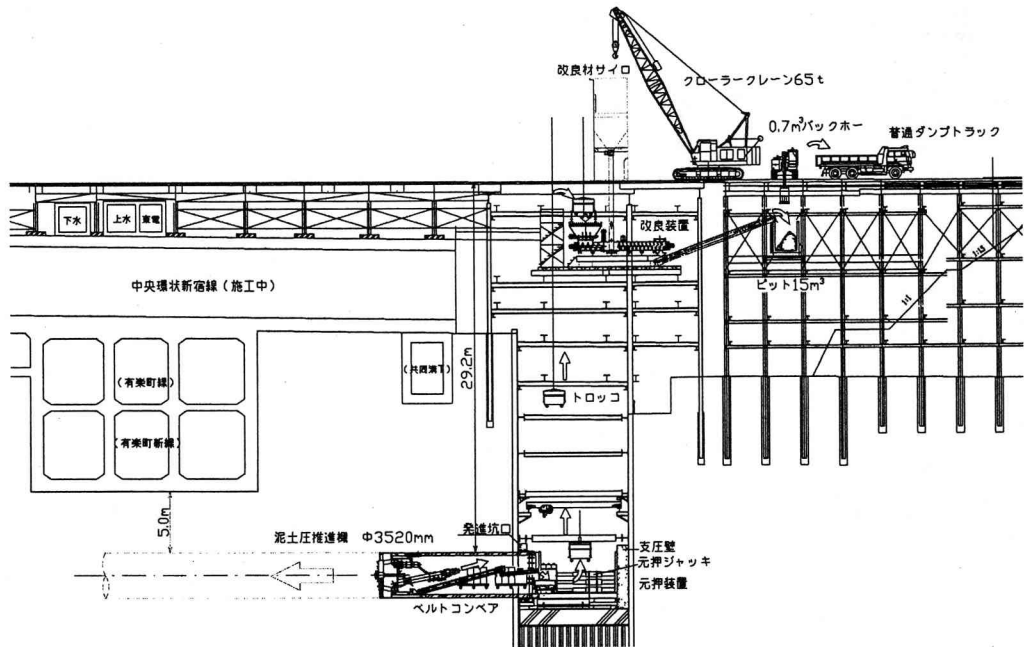


図-4.2 泥土改良システム概要

(4) 改良効果

4本の推進機は、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。泥土改良については掘削土の含水状況によってコーン指数も変動したが、ここでは掘削土の含水比が比較的高かった初期掘進時の改良について述べる。初期掘進時の掘削土の含水比は、50%から60%の範囲でほぼ想定したものであり、その添加量とコーン指数試験の結果を図-4.3に示す。本システムにより泥土の性状を改良した処理土は、第4種建設発生土以上（コーン指数 200 kN/m^2 以上）の品質を満足していることが判る。

泥土改良の品質管理は、セメントや石灰等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タイムリーな管理ができたといえる。

本工事では、今まで建設汚泥（東京都では「建設泥土」と称す）として処理していた掘削土を一体

の施工システム内で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、(財)東京港埠頭公社に普通ダンプトラックで搬出し盛土材として有効利用することができた。

本システムは、養生のためのストック設備が不要であることから、今回のような都市部等の狭隘な施工条件での適用効果は非常に大きいといえる。本システムによる泥土改良状況を写真-4.2に示す。

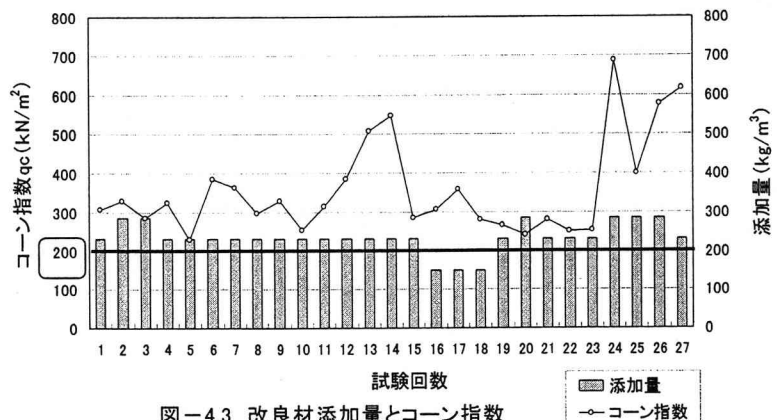
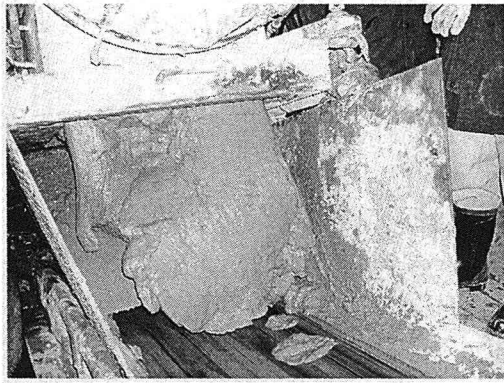


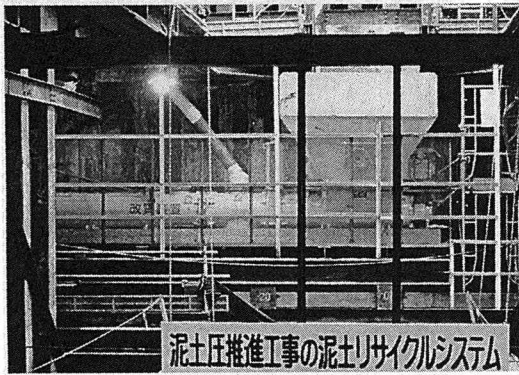
図-4.3 改良材添加量とコーン指数



① 推進機ゲートから排出される固結シルト



③ 第4種建設発生土以上の処理土



② 改良機(ストレートタイプ)



④ 普通ダンプトラックへの積み込み

写真-4.2 泥土改良状況

5. 施工例 2

(1) 工事概要

- ・工事場所：京都府内
- ・推進工法：泥土圧シールド工法
- ・掘削外径：φ4,630mm
- ・延長：594.5m
- ・掘削土質：砂礫層にレンズ状の粘性土を含む
- ・施工環境：非常に閑静な住宅地域

(2) 改良材添加量

本工事の掘削土は農地の嵩上げ盛土工事に使用するもので、改良目標強度は普通ダンプトラックでの運搬に支障がない程度から盛土の必要条件に応じた性状までとし、おおむね第4種建設発生土相当として添加量を設定した。

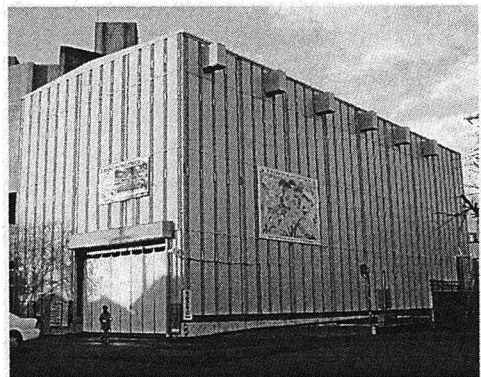


写真-5.1 発進基地防音ハウス

(3) 泥土改良システム

発進基地として使用できる敷地は約570m²と非常に狭く、昼作業にて昼夜掘進の掘削土を即時に搬出す

る必要があった。また、閑静な住宅地域における防音ハウス内での泥土改良が必要であり、騒音・振動・粉塵等の面から、従来のバックホウ攪拌によるセメント・石灰系改良に代わる方法として本システムを採用した。なお、本工事の改良機には狭隘な発進基地の関係から写真-3.3の折返しタイプを採用した。

(4) 改良効果

砂礫の改良は、礫径 200mm 以上の粗大礫は改良機ホッパー上部のスクリーンで除去したが、それ以外は本改良機にて粘性土同様に瞬時の改良が可能であった。添加量は地山と受入先の状況に応じて設定し、 $130\sim160\text{kg/m}^3$ にて現在施工中である。

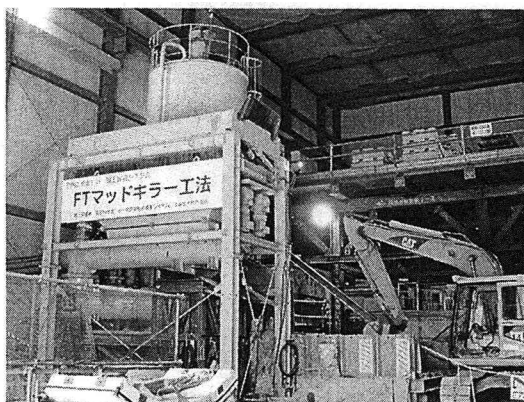


写真-5.2 泥土改良システム

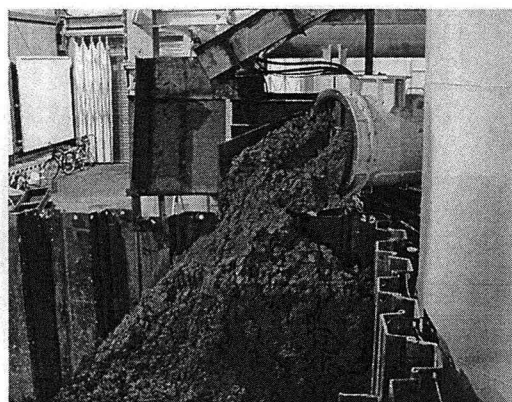


写真-5.3 瞬時に改良された処理土

6. おわりに

建設産業は、関係法令や要綱・指針等に従い、建設副産物のリユース、リデュース、リサイクルの積極的な推進が廃棄物の適正処理とあわせて求められている。建設汚泥についても 2010 年度の再資源化・縮減率 75%の目標達成に向け、従来の施策の見直しや工事の企画・設計段階から施工段階における具体的取組みの充実・強化が必要とされている。

今回、泥土圧シールド対応の泥土改良システムを開発し、粘性土と砂礫における泥土の改良を実施した。その結果、期待どおり養生時間無しに建設発生土として取り扱うことが可能な品質への改良、盛土などへの有効利用、狭隘な作業環境での有効性等を検証することができた。

大都市での地下空間建設において建設汚泥の発生抑制と有効利用は不可欠であり、今後もリサイクルの質をさらに向上させる技術開発を推進し、ゼロエミッション化に貢献していくものである。

7. 参考文献

- 1) 建設副産物リサイクル広報推進会議：「よくわかる建設リサイクル」平成 16 年度版，pp. 6
- 2) 独立行政法人 土木研究所：「建設発生土利用技術マニュアル」（第 3 版），2004 年 9 月，pp. 5
- 3) 馬上信一・藤森一弘：「超接近 4 連大口径（ $\phi 3000$ ）推進工事と建設リサイクル」，月刊推進技術 Vol. 18 No. 7 2004，pp. 81～90