

粒状固化工法による建設汚泥の再資源化システム

—捨てるものと捨てるものから有用物を—

野口 真一・鶴田 稔

高圧噴射系の地盤改良工に伴って大量の建設汚泥が発生する工事において、当初は全て産業廃棄物として処分する計画であったが、環境負荷軽減や限りある資源の有効利用の観点から、飛鳥建設株式会社は、建設汚泥を再生利用することで関係当局と協議を進めるとともに、再生利用技術の開発に取り組んだ。

本再資源化システムは、移動式粒状固化装置を用いて、建設汚泥に高分子凝集剤と、火力発電所の産業副産物であるフライアッシュを添加、混合することにより、建設汚泥を土質材料として再生利用できるように改質する技術であり、捨てるものと捨てるものから有用物を造り出すゼロエミッション型の技術である。

キーワード：環境、建設汚泥、産業廃棄物、リサイクル、安定処理工法、粒状固化工法、フライアッシュ

1. はじめに

平成12年度の建設副産物実態調査によれば、建設汚泥（以下、汚泥と記す）の発生量は約800万tといわれている。従来は管理型最終処分地に埋めたり、海洋投棄されていたが、環境問題や処分場の逼迫している現状を踏まえ、減量化や再生利用するための技術開発が行われている。

勿論、廃棄物処理の最優先は発生量抑制であるが、発生量をゼロにすることは現実には難しく、一方、減量化は最終処分場の延命対策にはなるが、根本的な解決策とはならない。

したがって、廃棄物処理の目指すところは、リサイクル体制の確立と言えよう。

汚泥のリサイクルに際しては、再生利用に係わる許認可と、再生利用できるように処理する技術の二つの大きな問題があるが、いずれも確立されたとは言えない。

本報文は、地盤改良工から発生した汚泥の再生利用技術について述べるものであり、実験ベースではあるが、本システムの有用性を実証することができた。

2. 開発経緯

(1) 工事概要

日光川4号放水路工事（排水機場躯体工）は、洪水対策としての排水機場を構築するもので、工事場所は

軟弱な沖積土が堆積している河川の後背湿地である。

構築する構造物は地下2階建てで、掘削規模は平面積6,000m²、掘削深さ15mである。

工事区域周辺には民家が林立し、掘削に伴う周辺への影響を軽減するために、高圧噴射攪拌方式の地盤改良工（底盤改良工）が計画されていた。

当該工法は信頼性が高く、施工に伴う振動や騒音が少ない工法であるが、その機構上、大量の汚泥が発生し、原設計におけるその数量は60,000m³に及んでいる。

これを全て処分することは、環境的にも工事費的にも大きな問題があるため、汚泥をリサイクルすることを目的として、その処理方法を検討した。

(2) 汚泥のリサイクル技術

汚泥をリサイクルするための処理技術は表1のように分類される。また、それぞれの処理工法の特性は表2のとおりである。

比較検討の結果、安定処理工法により汚泥を改質することとした。

表1 汚泥の処理技術と利用用途例

処理方法	処理後の形状	主な用途
焼成処理	粒状～粉状	二次製品
脱水処理	脱水ケーキ	土質材料
乾燥処理	団塊～粉体	土質材料
安定処理	粉体～粒状	土質材料

表—2 汚泥処理工法比較

処理方法	利 点	欠 点
焼成処理	・製品として扱える	・施設の設置許可を要する ・施設が大掛かりとなる ・処理費用が高価
脱水処理	・減量化ができる	・施設の設置許可を要する ・濾材の目詰まりの恐れがある ・解砕を必要とする
乾燥処理 (天日乾燥)	・処理費用が安い ・原理はいたってシンプル	・施設の設置許可を要する ・広大な用地を必要とする ・処理に時間を要する ・天候の影響を大きく受ける
安定処理	・施設の設置許可を必要としない ・処理に伴う副産物が発生しない ・添加量によって品質を制御できる	・品質のばらつきが生じやすい ・処理コストが比較的高い ・汚泥の性状に大きく左右される

(3) 安定処理工法

安定処理工法とは、軟弱な土にセメントや石灰等の固化材を添加混合して、土の工学的性質や施工性を改善する化学的な処理技術である。固化材の添加量によって強度の制御が可能であり、地盤改良工で多用されている。

当該技術は汚泥処理にも適用されており、粒状固化工法、或いは造粒固化工法と呼ばれ、設備は比較コンパクトで処理時間も短い、以下のような課題があった。

- ① バッチミキサを用いているため処理能力が低い
- ② 混練がパドル方式であるため均質性が劣る
- ③ 固化材はバーজন材料を用いているため処理コストが高い
- ④ 汚泥の性状変化にフレキシブルに対応できない

(4) 課題の解決

平成3年にリサイクル法が施行された時に、リサイクル原則化のルールが定められ、リサイクル重視の観点から経済性は二の次とし、環境を保護して限りある資源を有効に使おう、ということで進められてきた。

しかし、経済性を無視してリサイクルは浸透しないため、粒状固化工法による汚泥処理の目標を表—3のように設定した。

表—3 汚泥処理技術の開発目標

項 目	目 標
処 理 費	産業廃棄物処分費と同程度
品 質	建設汚泥再生利用技術基準(案) ¹⁾ に適合
環 境 基 準	土壌環境基準 ²⁾ に適合

目標の中で最も難しい課題は処理費であるが、これをクリアするためには処理効率を向上させ、処理費に占める割合が大きい固化材の材料費を縮減することが

必須であった。

まず、処理装置であるが、効率だけを考えればピットを設けてバックホウで混合する方法が考えられるが、粉塵の問題や混合の均質性に疑問があった。また、バッチミキサの出力やパドルを増加する方法も考えたが、汚泥の投入、改質土の排出時には混練は停止せざるを得ないため、断続処理の能力には限界があった。

検討の結果、連続ミキサ方式の処理機(型式:TKR-1)³⁾を採用することとした。

これは汚泥を連続的に供給し、そこに2種類の添加材を定量供給しながら混練、搬送するもので、一連の作業を連続的に行うものである。特にミキサ部は、移動翼と攪拌翼からなり、汚泥と固化材を混練しながら搬送するもので、処理効率と混練の均質性が向上することが期待された。

一方、固化材については添加量と効果の関係があるため、必ずしも安価な固化材を選定することが有利になる訳ではない。

そのような折に筆者らは、産業副産物であるフライアッシュを主成分とする固化材(商品名:アッシュスター)⁴⁾に着目した。これは普通ポルトランドセメントよりは高いものの、軟弱地盤用の土質改良材よりは安価であり、循環型社会構築の観点からも意義の高いものと思われた。

3. 予備実験

(1) テーブルテスト

汚泥の性状をある指標をもって定量的に表わすことは、管理上極めて重要なことである。

汚泥は基本的には土と水の混合物であるから、土の物理的性質を示す含水比によって汚泥の性状を表わすことができる。しかし、含水比測定は時間を要するうえに、本件のような自硬性汚泥(汚泥中にセメント等が混入しており、放置すると固結する汚泥)の場合、汚泥の性状は含水比だけではなく、水和反応の影響も受けると予測された。

そこで、これら両者の影響を含め、汚泥の性状を比較的如実に表現できる指標としてフロー値を採用した。

粒状固化工法の場合、汚泥に含まれる成分によっては固化が阻害されることがあり、また、汚泥性状に対する所要添加量を把握するためにテーブルテスト(配合試験)を行った。

図—1はフロー値、固化材添加量をパラメータとして、養生時間とコーン指数との関係を示したものであり、図—1から以下のことが分かる。

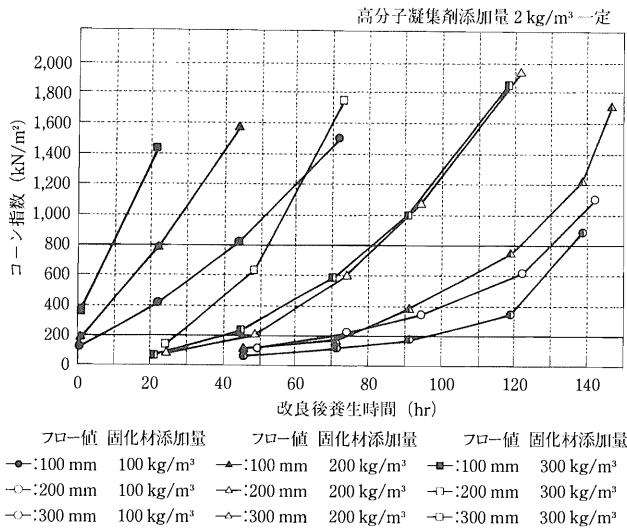


図-1 改質土のコーン指数

- ① 汚泥のフロー値が大きくなるにつれて必要な固化材添加量が増える
- ② 固化材添加量が増えるにつれて強度は高くなる
- ③ 混練後の時間経過とともに強度は増加する
- ④ フロー値が大きくなるにつれて強度発現までに時間を要する

テーブルテストの結果、本工事から発生する汚泥と固化材の相性は問題なく、また、改質目標と汚泥性状に応じた添加量を把握することができた。

(2) 実機による模擬実験

テーブルテストに引き続き、施工に先立って実機によるテストを行ったが、固化材の供給制御が効かない、というトラブルが生じた。

固化材の供給は、固化材ホップ底の中寄せスクリーンによってホップ中心に集められ(写真-1)、スクリーンフィーダによって混練装置に供給される(写真-2)。

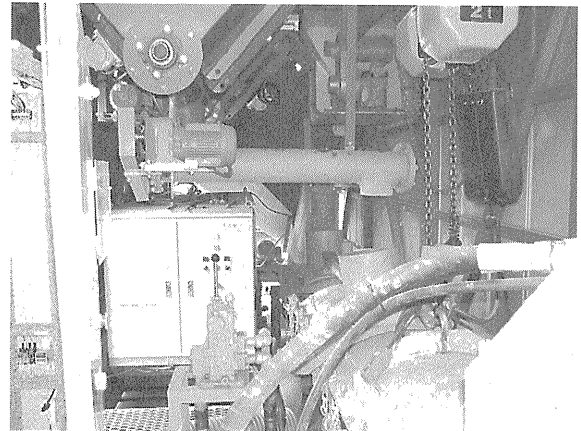


写真-2 標準固化材供給装置 (スクリーンフィーダ)

しかしアッシュスターの主成分であるフライアッシュは球形微粒子であるため、ホップ内に貯蔵されている固化材の圧力により、スクリーンフィーダのブレード部を流体のように逸走してしまうため、供給制御が効かないと考えられた。

そこでホップ内の圧力がフィーダ部に伝わらないように、中寄せフィーダ部にルーバを設けた。ところが、間隔が広いと効果はなく、狭いと固化材が落下しないため、スリット間隔を可変できる構造とし、固化材性状に応じて変える必要が生じた。しかし、固化材の落下状況を検知し、自動的にスリット間隔を変える装置は多額の費用と膨大な時間を要するものであった。

そこで、本体外部に固化材のレシーバタンク(写真-3)と登り勾配のスクリーンフィーダ(写真-4)を設置し、固化材を上から押上げる形で混練装置に供給することとした。

この改善により、ホップ内の固化材の圧力によってスクリーンフィーダ内の固化材が押出されることはなくなり、固化材供給制御が可能となった。



写真-1 標準固化材供給装置 (固化材ホップ)



写真-3 改善固化材供給装置 (レシーバタンク)

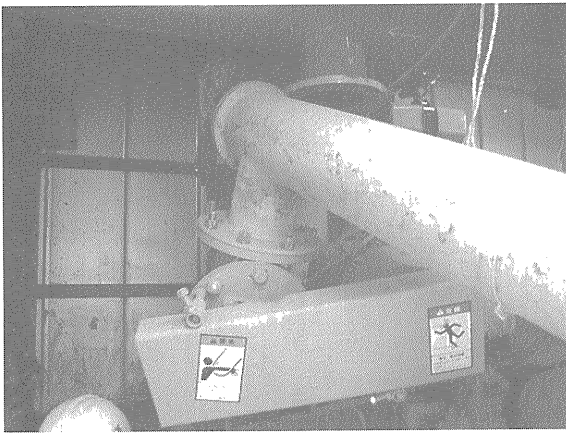


写真-4 改善固化材供給装置（スクルーフィーダ）

4. 施工手順

施工手順を図-2に、汚泥改質の現場全景を写真-5に示す。

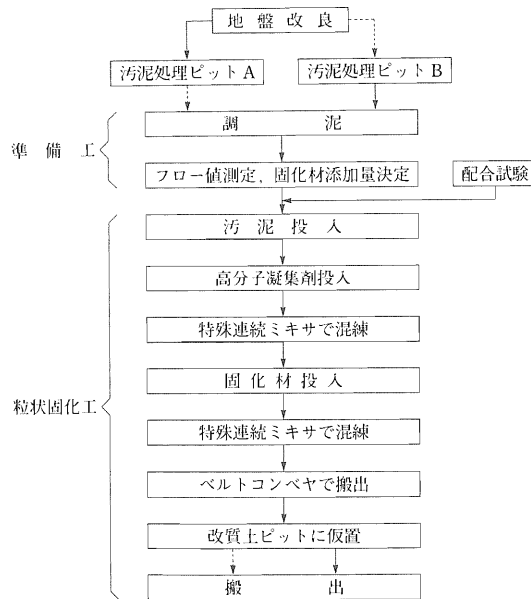


図-2 施工フロー



写真-5 汚泥改質全景

(1) 貯 泥

予備実験から、所定の品質の改質土を得るのに対して、汚泥のフロー値が小さくなるに従って添加する固化材量を低減できることが分かった。固化材費が処理費に占める比率が大きいため、固化材添加量を低減することは、コスト軽減策として極めて有効な策である。

発生直後の汚泥（原泥）は、フロー値が 300 mm 以上（写真-6）であり、ブリージング試験の結果（写真-7）固液分離が起こることが確認されたため、写真-8 に示すように、発生した汚泥をピットに貯泥して上澄みを取除き、含水比を低下させることでフロー値を小さくした。なお、この上澄みは削孔水として再利用した。

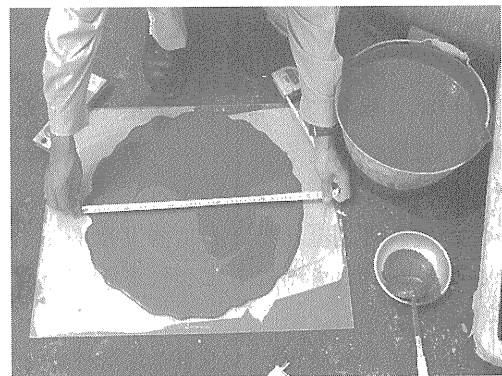


写真-6 原泥フロー試験



写真-7 ブリージング試験



写真-8 貯泥状況

(2) 調 泥

高圧噴射攪拌方式の地盤改良工から発生する汚泥は、作業工程、対象地盤等によって変化し、一定性状のものではないが、泥土の性状に応じて固化材添加量を逐次変えることは煩雑である。また、自硬性汚泥の場合、放置すると写真-9に示すように凝結、団塊化するが、この状態で固化材を添加、混練しても、均質な改質土を得ることはできない。



写真-9 汚泥凝結状況

汚泥のフロー値は図-3に示すように、静置すると時間の経過とともに減少して次第に固化するが、これを再攪拌すると再び流動性を帯びてフロー値が増加する。

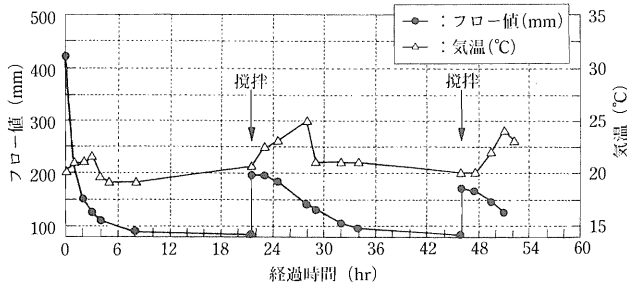


図-3 汚泥フロー値経時変化

そこで、次工程の混練が効率的かつ均質化されることを目的として、貯泥した汚泥の性状をほぼ一様にするために攪拌（調泥）した（写真-10）。これにより



写真-10 調泥状況

汚泥は再び流動性を帯びるが、原泥のフロー値よりは小さくなり、1日貯泥（水切り、凝結）することによりフロー値は150 mm前後（写真-11）となった。

調泥は写真-12に示すロータを装着したスケルトンバケットを使用した。

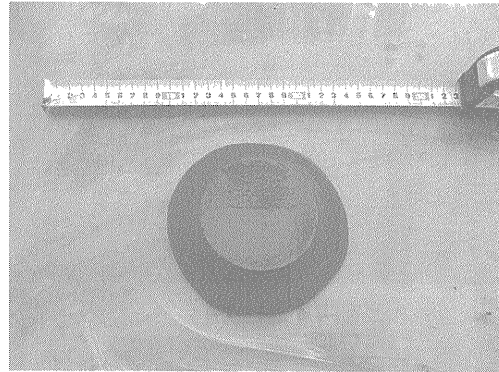


写真-11 調泥後フロー試験

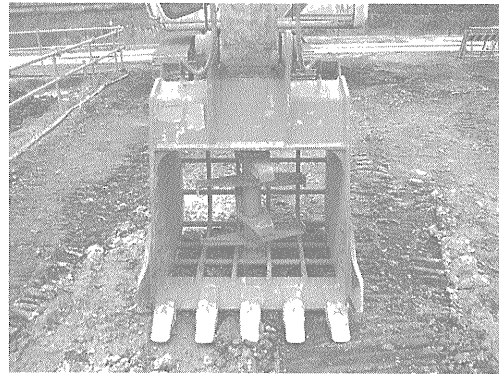


写真-12 ロータ付きスケルトンバケット

(3) 添加・混練

調泥した汚泥は写真-13に示すように、バックホウによって移動式粒状固化装置の泥土ホッパに投入し、ホッパ内の汚泥は泥土供給装置により連続ミキサへ搬送される。

連続ミキサ内に入った汚泥には、高分子凝集剤、固化材の順に添加され、ミキサ内で攪拌されながら吐出

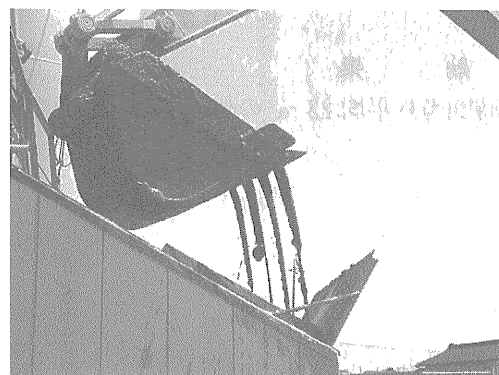


写真-13 汚泥投入状況

口へ搬送され、ベルトコンベヤによって機外に排出される（写真-14）。

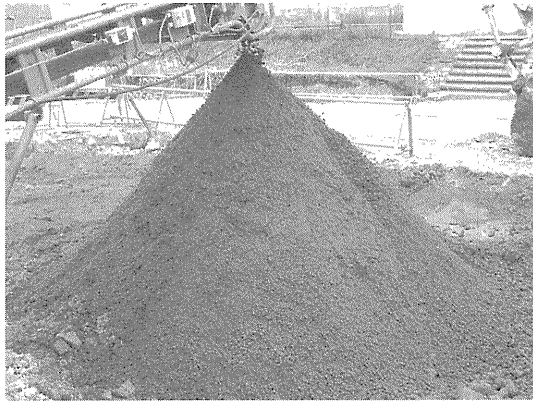


写真-14 改質土

汚泥投入から改質土排出までの所要時間は約1分である。

5. 本再資源化システムの特徴と効果

以下に本再資源化システムの特徴と効果を述べる。

(1) 特徴

- ① 汚泥性状の評価指標として簡単、迅速なフロー値を採用
- ② 貯泥、調泥作業を組込むことによるコストダウンと品質向上
- ③ リサイクル型固化材を使用することによるコストダウンと環境負荷軽減
- ④ 特殊連続ミキサ使用による処理能力と品質向上
- ⑤ 固化材性状に影響されることなく、添加量を定量化供給
- ⑥ 要求品質に応じて添加量を変えるシンプルな方法
- ⑦ スラリー状の汚泥を粒状に改質するのに要する時間は約1分

(2) 効果

- ① 時間当たり平均 23 m³ の処理能力（最大 30 m³/h）

- ② 第2種処理土に改質するのに、従前工法に比べて30～40%のコストダウン
- ③ 固化材ロス率2%（供給制御、過剰添加不要）

6. おわりに

当初は全ての汚泥を再生利用することを考えたが、現行の法律では調整がつかず、実際に再生利用できたのは3,000 m³であった。

このため、今回の実証実験で改質した汚泥は5,000 m³に留まったが、装置のトラブルもなく、改質土の品質も全て基準をクリアした。

本再資源化システムにおける粒状固化機も固化材も既存技術であり、それぞれ既往技術の課題を改善するために開発されたものであったが、両者の組合せによる汚泥処理は初めてのことであった。予備実験では相性が合わずに上手くいかなかったが、装置の改善等により、技術を確立するとともに、経済的な問題もクリアすることができた。

なお、本再資源化システムは特許出願中（特願2002-353357）である。

JCMA

《参考文献》

- 1) 建設省技調査第71号、第71号の2、平成11年3月29日
- 2) 「土壌汚染に係る環境基準について」平成3年環境庁告示第46号別表
- 3) 特許公報(A)特開2002-102892
- 4) 特許公報(A)特開2000-176493

【筆者紹介】

野口 真一（のぐち しんいち）
飛鳥建設株式会社
名古屋支店
日光川排水機場作業所
現場代理人



鶴田 稔（ときたみのる）
飛鳥建設株式会社
名古屋支店
日光川排水機場作業所
工事課長

