

発電所リプレース工事における発生土活用の推進に向けた流動化処理土の適用
Application of fluidized soil-cement mixture to promote surplus soil use
in renewal project of thermal power station

石井裕泰¹，松井秀岳¹，小川智孝²，大石俊広³

- 1 大成建設株式会社・技術センター hiroyasu.ishii@sakura.taisei.co.jp
2 株式会社 J E R A
3 中部電力株式会社

概 要

本報では、武豊火力発電所リプレース工事で実践した多様な発生土の活用実績を紹介する。旧発電所建設前に造成された埋め立て地盤における施工に際して、構造物設置に先立ち生じる掘削土、液状化対策目的での砂杭打設に伴う盛り上がり土など、広範囲から得る多様な発生土の有効利用が必要となった。流動化処理土としての活用を前提に行った事前検討を通しては、i)掘削土、盛り上がり土の特性は埋め立て材として用いられた埋め土とフライアッシュの混合材料として統一的に扱えること、ii)簡易な試験により発生土特性を確認し流動化処理土の配合調整に反映できること、を確認した。これらの知見を活用した製造・管理計画を立案し、現地製造プラントを用いた試行適用と本施工（合計約9,000m³）を、練り上がり性状と固化後強度を満足しながら完遂した。

キーワード：地盤改良，安定処理土，セメント，製造管理

1. はじめに

流動化処理（写真1参照）は、建設発生土の有効利用と埋め戻し作業の効率化を両立する技術として、i)多様な現場から発生土を受け入れ任意の現場への提供にあたる固定商業プラント方式、ii)特定工事に伴う発生土を活用し場内での利用にあたる現場プラント方式、の双方で広く普及が進む。数多くの研究と施工適用実績に基づき配合設計法、製造方法、施工管理方法が確立されるとともに¹⁾、力学特性などの調査・研究から各現場での適用に関する技術的な成果が、例えば文献2), 3), 4)等にまとめられている。

一方、本報の実地検討・適用箇所となる武豊火力発電所においては、運転開始から40年が経過した火力発電所設備を最新鋭の発電設備にリプレースすることが計画され、2022年3月の運転開始に向けた工事が進められている²⁾。一連の施工における地盤工学的取組みとしては、大規模液状化対策や沈下・変形抑止のための地盤改良、場内掘削や液状化対策により得られる発生土の有効活用が必要となった。そこで、現地プラント方式にて流動化処理土を製造し、旧施設やその周辺の埋め戻し材料として活用することが計画に盛り込まれ実施にあたった。

本報では、上記流動化処理土に関する一連の取組みとして、発生土の基本特性、流動化処理土としての配合検討と現場プラントでの製造計画、および製造結果について報告



(a) シリンダーフロー (C.F.=約200mm)



(b) 旧構造物の埋め戻しに際しての打設状況

写真1 武豊火力リプレース工事で用いた流動化処理土

する。とりわけ発生土が埋立て造成に用いられたフライアッシュと埋め土からなる特異な性状であったことを踏まえ、材料・配合管理の合理化を図った技術的取組みを解説する。

2. 発生土の基本特性

表 1 に施工に先立つ調査・検討用に採取した発生土 5 試料の一覧を、写真 2 にはこのうち 2 試料を抜粋して外観を示す。流動化処理土に用いる発生土としては、埋立て造成に用いられたフライアッシュ、埋め土が想定された。一方、本試料採取に先立ち工事計画の一環で実施された土質調査結果では、各箇所フライアッシュ、埋め土のどちらが主体かについては明瞭な区分は明示されていなかった。結果的に本検討に際しては、表中左欄に示すような目視分類にて準備にあたった。

これらの基本物性の抜粋を表 1 右欄と図 1 に示す。土粒子密度 G_s については、2.2, 2.4, 2.6 程度の 3 水準に分類され、FA 主体 a については、5 種のフライアッシュを扱

表 1 検討用に採取した試料

目視分類	呼称	基本物性		
		G_s (g/cm ³)	細粒分 含有率(%)	D_{50} (mm)
フライアッシュ主体	FA 主体 a	2.17	70.5	0.034
	FA 主体 b	2.44	18.6	0.221
埋め土主体	BA 主体 a	2.64	21.1	0.413
	BA 主体 b	2.66	22.7	0.641
混合土	*盛上り土	2.45	33.2	0.284

※ 砂杭打設に際して地中より排出した土砂



写真 2 検討対象土

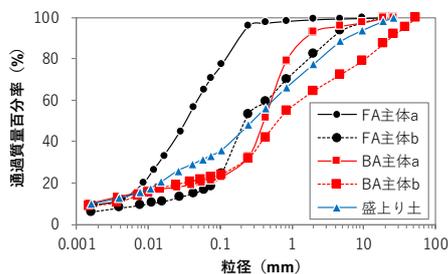


図 1 粒径加積曲線

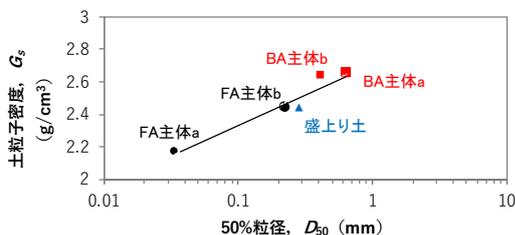


図 2 G_s と D_{50} の関係

った既往の文献6)に示された $G_s=2.06\sim 2.16\text{g/cm}^3$ の土粒子密度範囲と $0.01\sim 0.1\text{mm}$ の割合が卓越する粒度分布特性に整合する。他の 4 試料について、 G_s は土砂として標準的な水準 (2.6 程度) と土砂とフライアッシュの中間的な水準 (2.4 程度) となり、粒径加積曲線は 0.5mm 粒径付近で重なる共通した分布を呈する。一方、全 5 試料に対しては、50%粒径 D_{50} と G_s の間に図 2 のような明瞭な相関が見られる。

以上の結果から当該発生土については以下のことが言える。

- ・ 発生土がフライアッシュと埋め土が任意の割合で混合されたものであることが基本物性から裏付けられる。
- ・ フライアッシュ主体、埋め土主体か否か、あるいは両者の混合比の度合いは目視では明確に判断できない。

3. 流動化処理土の配合検討

配合検討にあたり、前出の表 1 の採取試料を複数の割合で混合・準備の上、室内試験に供した。本報で抜粋して試験結果を示す 3 試料を、混合比率に応じて算定できる計算密度 G'_s と共に表 2 に示す。流動性の傾向を把握するにあたり、流動化処理土 (以下、処理土) としたの単位セメント量を $50, 100, 150\text{kg/m}^3$ の 3 水準に設定し、泥水密度

表 2 配合検討用の試料

分類	呼称	表 1 中試料の構成	計算 G'_s
埋め土	埋め土	「BA 主体 a, b」を均等に混合	2.65
混合土	混合 A	全 BA, FA を均等に混合	2.50
	混合 B	「盛上り土」をそのまま利用	2.45

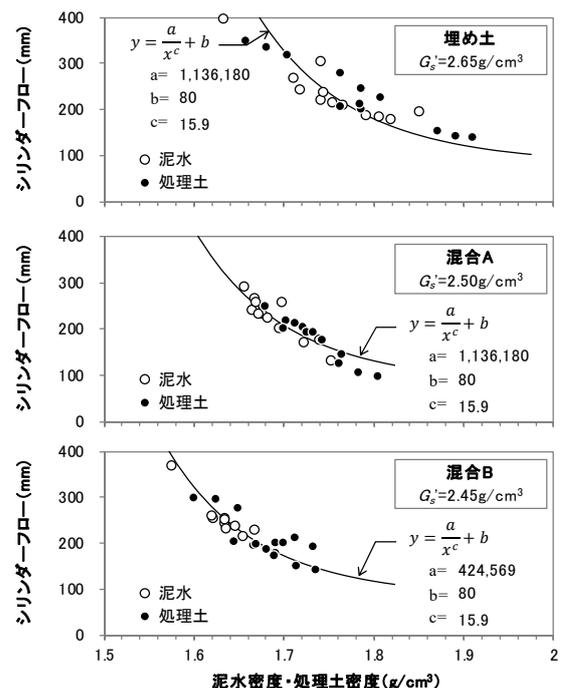


図 3 泥水・処理土密度とシリンダーフローの関係

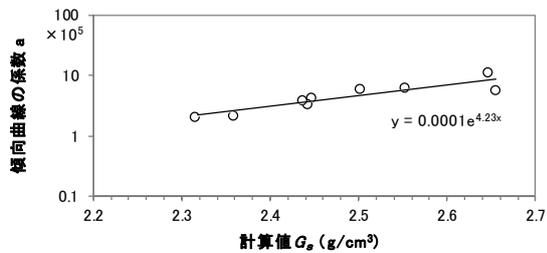


図 4 計算 G_s と係数 a との関係

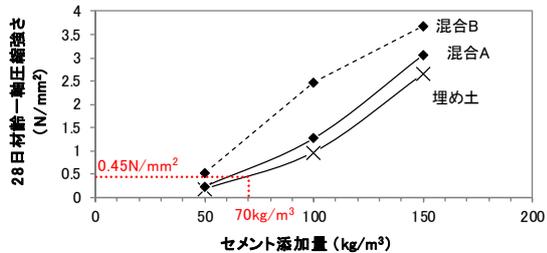


図 5 セメント添加量と28日材齢強度の関係

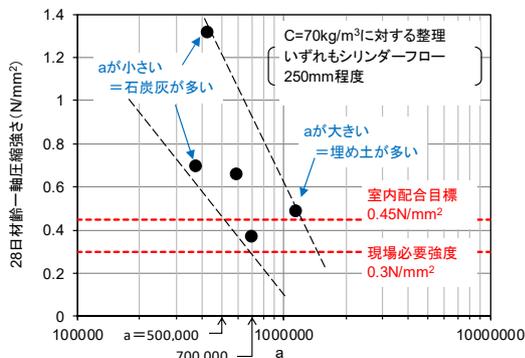


図 6 係数 a と28日材齢強度の関係

を変化させながらシリンダーフローを測定した。強度については、このうちシリンダーフロー200mm程度を確保できる配合を選定して28日材齢(20°C, 湿空養生)での一軸圧縮強さを測定した。

図3に、泥水密度・処理土密度とシリンダーフローの関係を示す。各々の試料に対しては、泥水、処理土の双方とも同一の傾向線上にプロットされ、その位置は計算 G_s に応じて横軸方向に推移するように見受けられる。図中に示した近似曲線では、密度の増大に伴うシリンダーフローの収束値(係数 b)は試料が自立した場合に相当する80mmとし、いったん一通りの近似曲線を特定した上で係数 c を平均的な値で固定し、最終的に係数 a のみを変数として実測値に関連付けた。検討試料一通りについて、 a と計算 G_s との関係にまとめると図4のような相関となり、図3の近似曲線は、土粒子密度に依存する関数と見なすことができる。さらに土粒子密度の大小は、フライアッシュと埋め土の混合割合を反映するものと考えられることから、ある程度の精度でその混合比を把握できることになる。

図5にはセメント水比 C/W と一軸圧縮強さ q_u の関係を示す。一般的なセメント系材料と同様に、 C/W に対する q_u の増加傾向を確認するとともに、埋め土の混入度合いが

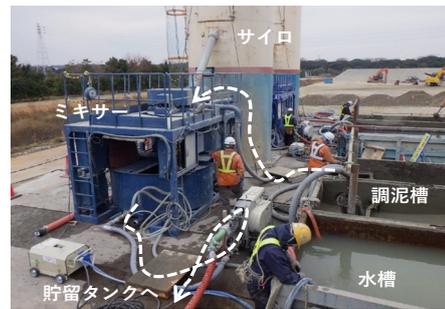


写真 3 現場導入プラント

多くなるほど強度が低下する傾向が見られた。本結果から、配合目標強度として定めた 0.45N/mm^2 に対して、セメント量を 70kg/m^3 に設定した。ただし、検討配合に対してシリンダーフロー200mm程度を前提とした以上の結果では、厳密には強度に対する加水量やフローの許容範囲を特定できない。そこで後述のように、i)施工時には流動化処理土製造に用いる発生土に極力フライアッシュ分を含有させること、ii)先行打設する $2,000\text{m}^3$ を試行適用と位置づけ、製造・管理方法の妥当性を検証することとした。

4. 製造・管理計画

一般的な流動化処理土の製造では、使用する発生土の特性に変化が見られれば、基本物性等を確認し、配合の再設定にあたるのが基本となる。本件の適用に際しては、前記配合検討に基づく知見を活用し、泥水製造に先立ち前出の図3で確認した近似線の特性から発生土の利用適否を確認する方法を採用した。すなわち、i)必要に応じて発生土をフライアッシュ主体土、あるいは埋め土主体土と混合調整したのち、ii)調整した土と水を混合した泥水の密度・シリンダーフローを測定する、iii)両者の関係を図3の曲線式で近似することで特定される係数 a (b, c は固定値として設定) から適否を判断した。データ数は限られるが、シリンダーフロー値250mm程度を前提に追加で調査した強度確認結果(図6)を参考に、係数 a の管理目標を700,000以下として製造管理を実施した。

以上の前処理と確認・判断を経た後の製造に関しては、汎用機械を用いた以下の手法を採用した(写真3参照)。

- 泥水の製造は 20m^3 タンクを用いた調泥槽でバックホウ混合により行う、
- 泥水はサンドポンプで輸送し、 1m^3 の強制攪拌型ミキサーにてセメントとバッチ混合して処理土を製造する、
- 処理土はスクイーズポンプにより貯留タンクあるいは運搬車に輸送する。

5. 製造結果

主に掘削土由来の発生土を用いた先行施工として、1ヶ月間で約 $2,000\text{m}^3$ を製造し、製造・管理方法の妥当性判断にあたった。

写真4に泥水・処理土のシリンダーフロー測定状況を、



写真4 泥水(左)と処理土(右)のシリンダーフロー測定

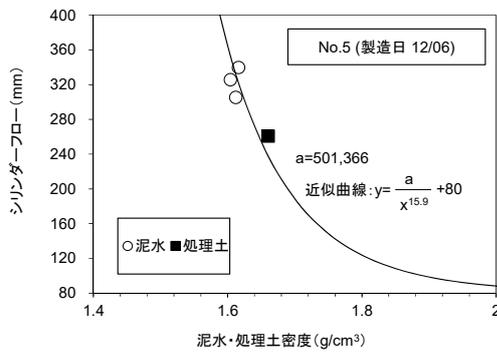


図9 密度とシリンダーフローの測定例

図9に着手初期に確認した密度・フローの関係を例示する。泥水段階で確認した3点と、セメント混合後の処理土段階で確認した1点が室内配合検討で想定した傾向線上にプロットされることが確認でき、発生土特性の指標として特定した係数 $a=501,366$ が管理規定内 ($<700,000$) にあることがわかる。同測定による確認は、着手直後は泥水製造ごとに、その後は品質の安定性が確認できたことを受けて半日に一回を目処に行った。得られた係数 a の頻度分布は図7のようになり、管理規定内に収めることができた。

図8には、同先行施工期間に得た28日材齢強度の頻度分布を示す。発生土特性が一樣でない条件において、必要強度 0.3N/mm^2 をすべて満足できたことは、上記判断を導入した成果と考えられる。

先行施工から約10ヶ月の間をおき、盛上り土由来の発生土を主に用いて、約3か月にわたる本施工で約 $7,000\text{m}^3$ を打設した。上記を踏襲した施工管理の結果、先行施工に比べて泥水と処理土のシリンダーフロー差が大きくなる傾向が見られたものの、先行施工と同様の強度品質を確保しながら施工を完遂することができた。

6. まとめ

流動化処理土の製造管理に際して、標準的には発生土特

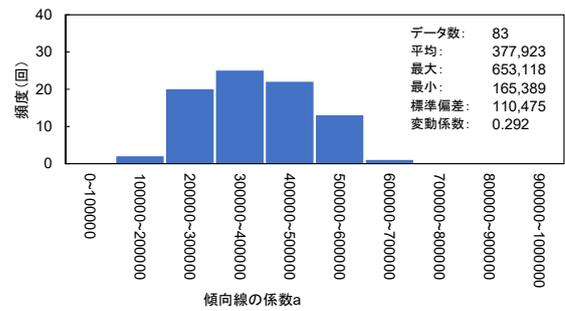


図7 施工管理で確認した係数aの頻度分布

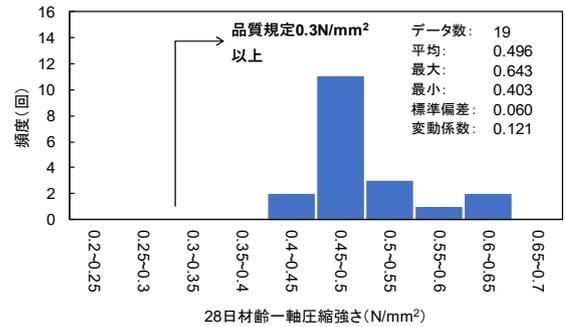


図8 施工管理で得た28日材齢強度の頻度分布

性の変化に応じて配合検討と再設定を繰り返すことになる。本事例では、事前の調査を通して、多様な発生土を一元的に取り扱い、現場での簡易な試験で使用の適否を判断する方法を考案・実践した。その結果として、追加の配合検討・再設定を行うことなく、練り上がり性状と固化後強度の適正管理を実現したものと考えられる。現場における土質特性の見極めや現場導入プラントの製造管理の合理化事例として、今後の実施検討の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 土木研究所: 流動化処理土利用技術マニュアル, 技報堂出版, 2008.
- 2) 成岡正祥, 井下一郎, 松山祐介, 富山竹史: 石炭灰を用いた流動化処理土の検討(その2・実施工への適用性), 第41回地盤工学研究発表会, pp. 581-582, 2006.
- 3) 木幡行宏: 流動化処理土の力学特性と今後の課題, 土木学会論文集, Vol.62, No.4, pp.618-627, 2007.
- 4) 西山綾香, 堤知明, 石井裕泰: 鹿島火力7号系列増設工事に伴う土木工事の設計・施工の概要 ~フライアッシュを活用した気泡モルタル系流動化処理土の適用~, 電力土木, No.366, pp.39-43, 2013.
- 5) 西牧孝洋, 丹羽強, 中下太陽: 武豊火力発電所5号機リプレース計画のうち土木工事の概要, 電力土木, No.396, pp.73-77, 2018.
- 6) 川上晃, 李昇憲, 坂井悦郎, 大門正機: 未燃カーボンを多量に含んだフライアッシュと高性能AE減衰剤の作用, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.127-132, 1999.