

PFBCフライアッシュを併用した浚渫粘土の段階的な地盤改良について Gradual soil stabilization for dredged mud by combinational use of PFBC fly ash

○近藤文義¹ 永井勘太² 高木雄史²

○KONDO Fumiyoshi¹, NAGAI Kanta² and TAKAKI Yushi²

I. はじめに 軟弱地盤の改良に関する施工および研究事例は古くから国内外に多々あり、原位置での地盤改良においては、石灰またはセメントを主体とした改良材が一般的に使用されている。しかし、土の物理・化学的性質が地域性に由来する多種多様なものであるため、適正な改良材の配合量や複数の改良材の配合による施工に関してはほとんど検討されておらず、土の物理・化学的性質を考慮して複数の改良材を併用する改良法が確立されていない問題がある。また、産業廃棄物としての微細石炭灰（フライアッシュ）を使用した地盤改良材に関する研究事例は少なく、特に石炭火力発電所の加圧流動床複合発電方式のボイラーから排出されるPFBCフライアッシュ（PFBC灰）の地盤改良材としての研究事例は皆無のようである。本研究は、PFBC灰を併用した浚渫粘土の段階的な地盤改良に関して検討を行ったものである。

II. PFBCフライアッシュについて 石炭火力発電所の加圧流動床複合発電方式のボイラーから排出される石炭灰がPFBC灰である。石炭燃焼の際、ボイラー内部で硫酸化物を除去する炉内脱硫を行うために石灰石粉末が投入されることから、排出される石炭灰はCaOやSO₃を多量に含んだものとなる。PFBC灰は自硬性がある（近藤ら，2014）ため、通常のJISフライアッシュとは異なり入手が制約される欠点はあるが、石灰やセメントと同等の地盤改良材としての可能性を有している。本実験で使用したPFBC灰は九州電力苅田発電所排出物であり、主な化学組成は、CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃であった。

III. 試料土の性質と実験方法 試料土として、佐賀県神埼市千代田町のクリーク改修現場から採取した底泥（浚渫土）を使用した。自然含水比は約150%、土粒子密度は2.66g/cm³、強熱減量は12.7%、陽イオン交換容量は30.6cmol/L、液性限界は116%、塑性限界は48%であった。粒度組成は、砂分(>75μm) 8%、シルト分(75μm~5μm) 47%、粘土分(5μm~2μm) 20%、コロイド分(<2μm) 25%であった。粘土分以下の含有量が多く、自然含水比が液性限界より高い点においては佐賀平野に広く分布する有明粘土としての特徴に類似している。

改良土の作製と養生は、前報（近藤ら，2019）を参考にし、含水比を液性限界に調製した底泥の湿潤重量をベースにして、PFBC灰、生石灰および普通ポルトランドセメントの3種類の改良材の内から2種類を併用し、現地での標準添加量50(=25+25)kg/m³に準じた。その際、硬化のメカニズムを考慮し、石灰→セメント、石灰→苅田灰、苅田灰→セメント、の2段階添加とした。一軸圧縮試験の供試体は直径4cm、高さ10cmの円筒モールドに充填して作製し、底部に水を張った湿潤箱に常温で保管した湿潤養生とした。脱枠は約2日後に行い、一軸圧縮試験（JIS A 1216）を行った。スレーキング試験は農業土木学会（1983）の方法を参考にし、材齢28日経過後の供試体を水温40℃の水中に沈めて湿潤状態にし、約24時間経過後に40℃の恒温乾燥機内で約24時間乾燥状態に晒した。これをスレーキング試験の1サイクルとした。

¹佐賀大学全学教育機構 (Organization for General Education, Saga University)

²佐賀大学農学部 (Faculty of Agriculture, Saga University)

キーワード：地盤改良，一軸圧縮強さ，スレーキング

IV. 実験結果および考察 **Fig.1**

は、一軸圧縮試験の結果を示したものである。図中のエラーバーは、3個のデータの標準偏差を示している。最も高い一軸圧縮強さ (q_u) を示したのは石灰→セメントの改良ケースであるが、湿潤養生のみで乾燥履歴がないため第3種建設発生土基準 (q_u 換算値で 47.6kN/m^2) (セメント協会, 2012) を満たすことはできなかった。元来、石灰の硬化メカニズムは吸水作用による含水比低下、セメントの硬化メカニズムは水和化合物生成であることが知られている。一方、PFBCフライアッシュの硬化メカニズムは不明であるが、通常のJISフライアッシュとは異なりCaO含有量が多く、加水による自硬性も認められるため、石灰とセメントの中間的な性質を有する材料であると推定される。このため、本試料土のような高含水比の浚渫粘土の改良においては、石灰を添加して短時間で含水比を減じた後にセメントを添加して長期的な硬化の増進を図るための2段階施工による地盤改良は有効であると考えられる。

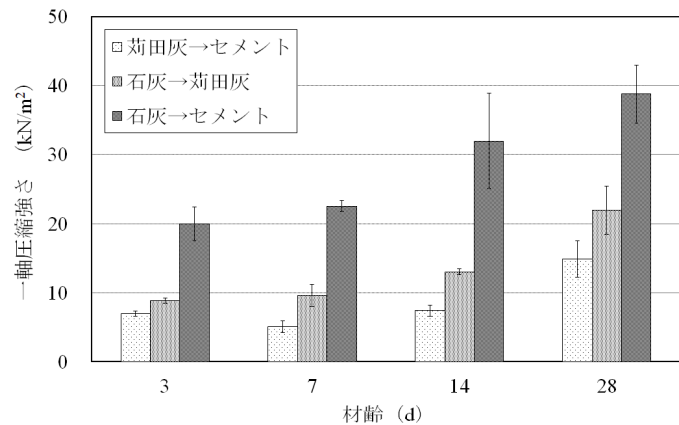


Fig.1 Unconfined compression strength

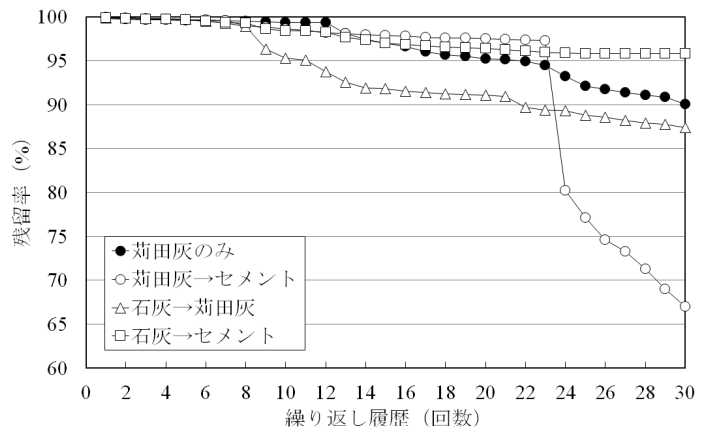


Fig.2 Residual rate in slaking test

次に、**Fig.2**は、改良土のスレーキング残留率を示したものである。30回の乾湿繰り返し履歴において、石灰→セメントの改良ケースが最も高い残留率を示し、スレーキング抵抗性は高いと判断されるが、一方で荊田灰のみの改良ケースにおいても次に良好な結果を示した。この理由の詳細は現時点では未解明であるが、荊田灰自体の吸水性と水和反応との相乗効果によるものと推定される。ただし、2021年4月以降、国内での主なPFBC灰の排出元である九州電力荊田発電所新1号機は計画停止状態となっており (日本経済新聞社, 2021)、経常的な入手が困難となりつつある状況にある。以上の結果から、 q_u の実験結果 (**Fig.1**) と併せて、石灰→セメントによる2段階施工による地盤改良はスレーキングによる長期的な抵抗性増加にも有効であることが明らかとなった。また、荊田灰を使用する場合においては、石灰を第1段階の改良材とすることで、比較的良好な地盤改良の効果を得ることができた。

引用文献 1) 近藤文義ら (2019) : 2019年度農業農村工学会大会講演要旨集, 408-409. 2) 近藤文義ら (2014) : 農業土木学会論文集, 294, 101-107. 3) 日本経済新聞社 (2021) : 日本経済新聞, 2021年3月2日, 第4面. 4) 農業土木学会 (1983) : 土の理工学性実験ガイド, 明善印刷, 123-124. 5) セメント協会 (2012) : セメント系固化材による地盤改良マニュアル第4版, 技報堂, 239-242.