

高分子吸水剤により改良された建設汚泥及び建設発生土の力学特性

福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 福岡大学大学院 学生員 ○濱 寿紀 (株) 素鶴園 長浜 武知

1. はじめに

現在、建設汚泥は増加の一途を辿っており、環境保全や循環型社会の構築という側面からも再利用の推進は急務である。建設汚泥は廃棄物処理法に規定される産業廃棄物に該当するため、同法に基づいて処分されている。しかし、再生利用が可能なものが多く、法律に基づき、適正な処理を行い、地盤環境に留意しつつ再生利用することが必要である。

著者ら¹⁾はこれまでに、高分子吸水剤と生石灰を用いた改良工法を高含水比の建設発生土に適用させ、改良土について様々な力学試験を行い、その土質材料としての有効性を明らかにしてきた。そこで本研究では、これまでの研究結果を踏まえ、産業廃棄物である建設汚泥にもこの工法を適用し、その改良効果と力学特性について研究を行った。また、建設汚泥を改良するにはコストがかかるため、これを市場で取引する場合、品質同等品である建設発生土より市場性が著しく劣る状況にある。ここで、建設汚泥の利用用途は建設発生土とほぼ同一であり、利用先が競合しているという現状を打破する為、建設汚泥と建設発生土を混合したもの（以下、汚泥混合土）の改良実験も行った。

2. 実験概要

2-1 試料の物理特性

今回用いた建設汚泥は、福岡市東区の下水道工事で推進工法により発生した掘削物（以下、スラッジ水）と、採石場からでる石粉の処理水を脱水処理して生じる脱水ケーキを実験用の汚泥として用いた。また、建設発生土として福岡市内の建設工事現場で発生した土を用いた。改良土作製フローチャートを図-1に示す。改良土作製における試料の含水比の限界が、過去の研究¹⁾より60%前後であることがわかっている。そこで今回は、試料それぞれの入手時の自然含水比15~30%で改良を行った。しかし、自然含水比が400%以上のスラッジ水に関しては、水槽内で汚泥を沈殿させ、上水を吸水ポンプで排水した。その後、自然乾燥させ、含水比を130%前後まで落とした。さらに、含水比18%前後の建設発生土を混合することにより、含水比を30%前後に調整した。混合方法は、スラッジ水及び建設発生土を、重量比1:4の割合で、パワーショベルで攪拌し、それを汚泥混合土とした。また、従来の発生土の改良方法に合わせ、生石灰及び高分子吸水剤の添加量は、それぞれ試料の重量の3.0及び0.1%とした。

改良前後の試料を写真-1~4に示す。また、それぞれの物理特性を表-1、粒径加積曲線を図-2に示す。改良前の脱水ケーキは、細粒分含有率が90%以上の粘性土であることがわかる。しかし、改良後の試料（以下、脱水ケーキ改良土）は、細粒分含有率が6%以下に激減している。また、スラッジ水については、簡便な排

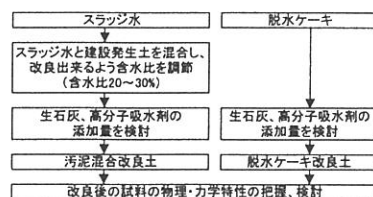


図-1 改良土作製フローチャート

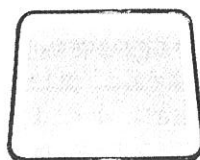


写真-1 スラッジ水



写真-2 脱水ケーキ

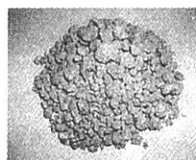
写真-3 汚泥混合土
(改良後)写真-4 脱水ケーキ
(改良後)

表-1 試料の物理特性

実験試料	スラッジ水	汚泥混合土 (改良後)	脱水ケーキ (改良後)	建設発生土 (改良後)	建設発生土 (改良後)
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.610	2.647	2.985	2.911	2.631
自然含水比 w (%)	412.3	-	30.9	-	19.4
最大粒径 D_{max} (mm)	0.075	19	0.075	19	25.5
50%粒径 D_{50} (mm)	0.0017	3.134	0.0102	2.585	0.840
細粒分含有率 (%)	100.0	1.18	94.0	5.87	26.1
均等係数 U	-	7.72	-	7.18	120.4
曲率係数 U_c	-	1.18	-	1.62	2.29
液性限界 w_L (%)	55.5	-	36.0	-	30.5
塑性限界 w_p (%)	22.5	-	22.8	-	19.7
塑性指数 IP (%)	33.0	-	13.2	-	10.8
コーン指数 C_u (N/m ²)	-	1464.0	-	1724.1	491.5

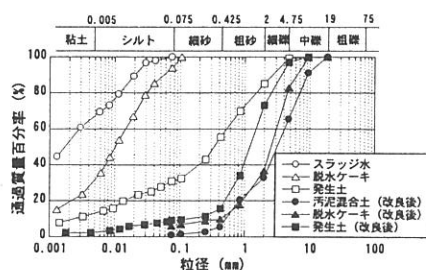


図-2 改良前後の粒径加積曲線

水、乾燥処理を施した後、発生土を混合し、改良する（以下、汚泥混合土）ことにより、細粒含有率が2%以下まで減少している。この結果は、いずれの改良土も粒径が砂質土に近い性状となり、改良により粒径が変化していることを示している。また、福岡市で定められている埋戻し基準の管周り及び路床、路体の品質基準は、それぞれ値細粒分含有率10、25%以下であり、これを十分満たしている。また、同時に建設発生土の改良前後の粒径加積曲線も示している。ほぼ同程度の改良が行われていることがわかる。

2-2 力学試験（修正 CBR 試験）

汚泥混合改良土および脱水ケーキ改良土の路盤材及び埋戻し材の品質評価として、修正 CBR 試験を行った。試料は、福岡市で定められている埋戻し基準の最大粒径13mm以下を用いた。また、試料は締固め試験E-b法で求めた最適含水比に調整したものをを用いた。供試体は、各層17、42、92回の3層で突固めた。この3種類の供試体を各3個ずつ作製した。これらの供試体を用いて吸水膨張試験及び貫入試験を行い、修正 CBR 値を求めた。

2-3 溶質試験

環境影響評価として、改良土に用いたスラッジ水及び建設発生土の溶質試験を行った。項目における重金属のうち、特にZn、Cd、Pb、Cu、に着目し測定を行った。実験で用いた分析器はフレームレス原子吸光機である。溶質試験の概要を表-2に示す。

3. 実験結果及び考察

図-3、4に、95%修正 CBR 値の比較のグラフを示す。改良前の汚泥混合土及び脱水ケーキは、修正 CBR 値を得ることが出来なかった。また、実験に用いた発生土に関しても福岡市の埋戻し基準95%修正 CBR 値20%以上を満足することが出来なかった。しかし、改良後の試料に関しては、いずれも95%修正 CBR 値20%を大きく超える結果を得た。また、汚泥混合改良土および脱水ケーキ改良土は、発生土の改良土を上回る結果が得られた。このことより、従来の発生土改良土と比較しても、汚泥混合土及び脱水ケーキを用いた改良土は十分に改良効果が得られる結果となった。また、道路における下層路盤及び路床の修正 CBR に関する材料規定の品質規定も十分に満たしている。

表-2に現在の主なる環境基準と溶質試験結果を示す。スラッジ水及び建設発生土には、環境基準を超える重金属は検出されなかった。

4. まとめ

今回の脱水ケーキ改良土及び汚泥混合土改良土において、以下の2点が挙げられる。①細粒分含有率10%以下となり、福岡市で定められている埋戻し基準の管周り及び路床、路体の品質基準を満たす。②福岡市の埋戻し基準95%修正 CBR 値20%以上を満足し、道路における下層路盤及び路床の品質規定を満たす。また、汚泥混合改良土の試験結果より、建設汚泥を建設発生土と混合することで脱水処理するコストを削減出来、市場性も十分確保出来ると考えられる。改良前のスラッジ水は環境基準を超える重金属は検出されなかった。

表-2 溶質試験概要

試験名称	環境省告示46号試験
試料性状	<2mm
試料重量 (容積)	100g
溶媒	脱イオン水 HClで初期pHを 5.8-6.3に調整
液固比 (L/kg-ash)	10
抽出容器	2Lポリボトル
抽出・攪拌方法	平行振とう
抽出時間 (h)	6時間
固液分離方法	0.45μmMF

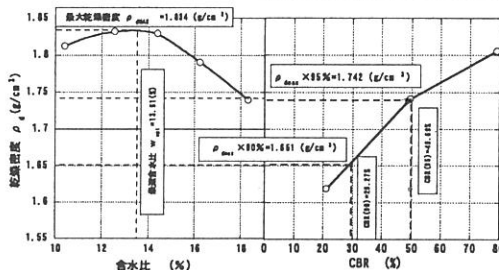


図-3(a) 修正 CBR 試験結果（汚泥混合改良土）

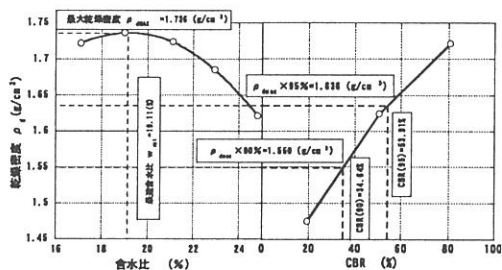


図-3(b) 修正 CBR 試験結果（脱水ケーキ改良土）

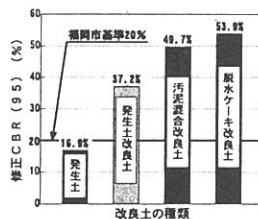


図-4 修正 CBR の比較

表-2 現在の主なる環境基準と溶質試験結果

項目(成分)	T-Cr	環境基準		水道水基準	排水基準	溶質試験結果	
		水質汚濁	土壌の汚染			スラッジ水	建設発生土
全クロム	T-Cr	—	—	—	2以下	—	—
六価クロム	Cr6+	0.05以下	—	0.05以下	0.5以下	—	—
鉄	Fe	—	—	0.05以下	10以下	—	—
亜鉛	Zn	—	—	1.0以下	5以下	0.006	N.D
カドミウム	Cd	0.01以下	—	0.01以下	0.1以下	0.0005	N.D
鉛	Pb	0.01以下	—	0.05以下	0.1以下	0.0004	N.D
水銀	Hg	0.0005以下	—	0.0005以下	0.005以下	—	—
銅	Cu	—	125mg未満 (農用地)	0.05以下	3以下	0.002	N.D

*N.Dは定量下限値以下