

九州工業大学大学院 学生会員 ○有國允人

九州工業大学大学院 正会員 永瀬英生 廣岡明彦 三井清志

1. はじめに

福岡県内にある最終処分場では残余年数の減少を受け、搬入された産業廃棄物を用いて埋立を完了させた後、高さ 30m の嵩上盛土を造成することで埋立容量を確保し、最終処分場の延命化を図ることが検討されている。しかし、その処分場へ搬入される産業廃棄物の約 3 割を汚泥が占め、また、その汚泥は単体では軟弱であり地盤材料として用いることが困難である。そのため、汚泥と搬入される他の廃棄物を混合させることで必要な強度を確保することが考えられている。本研究では、強度発現の特徴を把握するという目的のもと、汚泥とその他の廃棄物を混合した混合材料を作製したのち、数種類の改良材を添加した試料について締固めた土のコーン指数試験を実施し、材齢に伴う試料の強度変化について比較検討を行った。

2. 使用試料

1) 混合材料について

混合材料として搬入量の約 3 割を占める汚泥と最も搬入量の多い鉍滓を用いた。表 1 と図 1 にそれらの物理的性質、図 1 に粒径加積曲線をそれぞれ示す。表 1 を見ると、汚泥は含水比、液性・塑性限界がともに高い値を示している。また、鉍滓については含水比が低く、液性・塑性限界がともに NP であり、汚泥の性質とは異なることが分かる。なお、汚泥と鉍滓の土粒子密度は、共に一般的な土に比べ高い値となっている。粒径加積曲線に着目すると、汚泥は粘土やシルトからなる細粒分の割合がおよそ 8 割と高いことが分かる。一方、鉍滓はほとんどが粗粒分で構成されており、汚泥との大きな違いが見受けられる。

図 2 に汚泥のコーン指数と含水比の関係を示す。これより、汚泥単体でも汚泥の含水比が低下するほどコーン指数は増加し、ダンプトラックのトラフィカビリティを確保するための目標強度 1200 kN/m^2 を達成することが読み取れる。特に、含水比が塑性限界を下回るとコーン指数は急激に増加しているのが分かる。これは汚泥が塑性状態から半固体状態になったためであると考えられる。

2) 改良材について

本研究で用いた改良材の成分を表 2 に示す。ただし、この表には消石灰とセメント系固化材の成分は示していない。成分表から、脱硫スラグの酸化カルシウム CaO の含有量が 47.98% で、高炉スラグ微粉末においても 39.80% と多くなっている。一方、脱燐スラグ、鉍滓微粉末の CaO 含有量は 22.80%、29.60% と他の改良材と比較すると少なくなっている。二酸化ケイ素 SiO_2 の含有量は、脱硫スラグに比べ、脱燐スラグや高炉スラグ微粉末、鉍滓微粉末の方が多くなっていることも見て取れる。また、酸化鉄(III) Fe_2O_3 を見ると、脱燐スラグでの含有量が他の改良材と比べて高い値を示している。なお、混合材料として用いた鉍滓の成分は、表 2 に示す鉍滓微粉末と同一である。

表 1 汚泥と鉍滓の物理的性質

試料名	含水比 $w_n(\%)$	土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	液性限界 $w_L(\%)$	塑性限界 $w_P(\%)$	塑性指数 I_P
汚泥	160.0	3.53	209.0	109.1	99.9
鉍滓	8.0	3.22	NP	NP	-

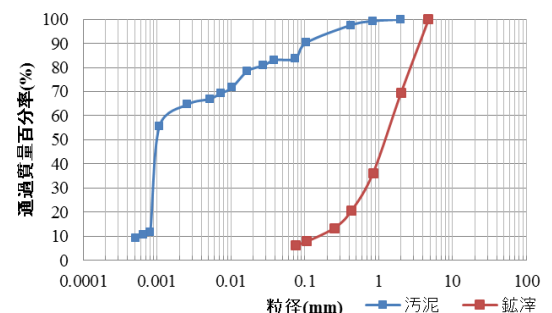


図 1 汚泥と鉍滓の粒径加積曲線

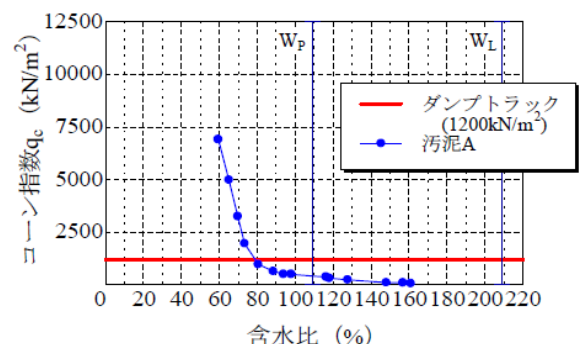


図 2 汚泥のコーン指数と含水比の関係

表 2 改良材の成分表

改良材	成分含有率(%)												
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	SO ₃	CaF ₂
脱硫スラグ	47.98	9.81	4.44	12.06	1.59	0.17	0.12	0.08	0.31	0.08	0.07	4.28	1.24
脱磷スラグ	22.80	22.30	3.98	36.30	2.49	4.56	0.07	0.13	1.00	3.04	0.19	0.65	-
高炉スラグ微粉末	39.80	30.70	14.40	0.35	5.71	0.19	0.22	0.32	0.49	0.00	0.00	1.91	-
鉍滓微粉末	29.60	23.40	10.60	18.20	9.62	1.05	0.10	0.09	0.81	0.51	3.15	0.42	-

3. 試験結果と考察

汚泥と鉍滓を1:1で混合した試料に7通りの改良材を添加した場合のコーン指数と材齢の関係を表3、および図3示す。目標強度を達成できていないものは、無添加と

表 3 試験結果

材齢 (日)	コーン指数 (kN/m ²)							
	無添加	消石灰	セメント系 固化材	脱硫スラグ	高炉スラグ 微粉末	脱硫スラグ+ 高炉スラグ微粉末	脱磷スラグ+ 高炉スラグ微粉末	鉍滓微粉末+ 高炉スラグ微粉末
0	63	131	183	339	162	249	425	527
7	181	659	1344	3861	2174	2793	902	1089
28	375	846	4036	5177	6639	7980	4438	4690

消石灰を添加した場合の2ケースであった。それに対し、養生7日目での早期的な強度増加が見られたものは、セメント系固化材、脱硫スラグ、高炉スラグ微粉末、さらに脱硫スラグと高炉スラグ微粉末をそれぞれ添加した場合の4ケースとなった。その中で脱硫スラグを添加したケースにおいては、他の3ケースと比べ、7日目以降の強度増加が緩やかである傾向が確認された。脱硫スラグは成分の約50%が酸化カルシウムであり、これが材料中の水分と反応することで水酸化カルシウムCa(OH)₂を生成する。その後、生成した水酸化カルシウムは二酸化炭素を吸収し、炭酸カルシウムとなって固まる。この反応は早期的であり、そのため、酸化カルシウムを多く含む脱硫スラグにおける強度増加が早期に生じたと考えられる。セメント系固化材や高炉スラグ微粉末を改良材として使用しているケースでは、継続的な強度増加が確認されている。セメント系固化材は、セメント中のケイ素SiやアルミニウムAlを含む化合物が水と水和反応を起こし、セメント水和物を生成することで強度が発現すると考えられる。また、高炉スラグ微粉末は潜在水硬性があり、アルカリ環境下で水と反応し水和物を生成し、生成された水和物が粒子間を充填することで緻密化し強度を得る。これらの反応は、

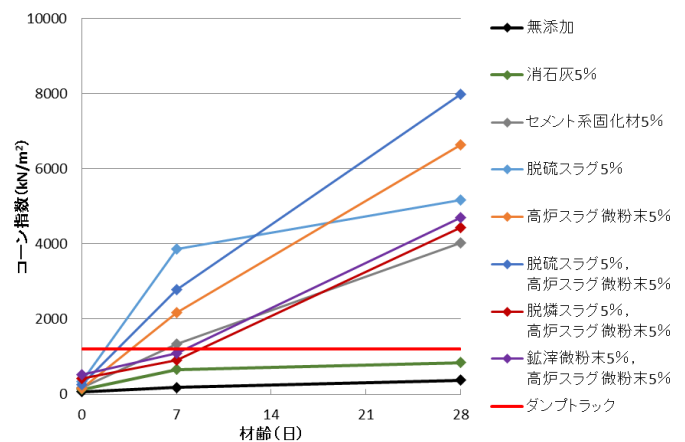


図 3 材齢に伴うコーン指数の変化

先述した酸化カルシウムと水の反応とは異なり、長期的に反応が進行するために、強度増加が継続すると考えられる。高炉スラグ微粉末を脱磷スラグや鉍滓微粉末と併せて添加した際には、高炉スラグ微粉末単体の際よりもコーン指数が低い値を取っていることも見て取れる。この原因は今のところ明らかではないが、脱磷スラグや鉍滓微粉末の添加により、各成分の割合が変化して早期強度の発現効果が減少したのではと考えられる。脱硫スラグと高炉スラグ微粉末を添加したケースでは、両試料による反応が同時に進行し、早期において高炉スラグ微粉末単体の際よりも強度増加が大きくなったと考えられる。

4. まとめ

最終処分場に搬入される汚泥と鉍滓を混合し、それに改良材を添加してコーン試験を実施することでコーン指数に及ぼす化学成分や改良材の影響を調べた。その結果として(1)脱硫スラグを添加すると早期強度が得られ、(2)セメント系固化材や高炉スラグ微粉末を添加すると、水和反応によって継続的な強度増加が見られることが分かった。

参考文献

二宮健人ら:産業廃棄物の地盤材料としての強度特性, 第47回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.1935~1936, 2012.