

九州工業大学大学院 学生会員 ○齊藤惣一郎
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

福岡県内の最終処分場では、残余年数が残りわずかであることから搬入された廃棄物を用いて、埋立完了後、高さ 30m の嵩上げ盛土を造成して埋立容量の確保を行い、処分場を延命化することについて検討している。しかし、最終処分場に搬入される廃棄物のうち、汚泥は軟弱なためそのまま地盤材料として用いることが困難であり、搬入量の約 3 割を占めていることから、汚泥とその他の廃棄物の混合による強度増加を図ることが必要である。そこで本研究では、汚泥にその他の廃棄物を混合したのちに改良材を添加して、締固めた土のコーン指数試験によりそれぞれの混合廃棄物の強度変化について比較検討することで強度発現のメカニズムを明らかにすることを目的としている。

2. 使用試料について

試料として汚泥、鉍滓、碎石を用いた。表 1 に物理的性質を示す。汚泥は含水比、液性・塑性限界がともに高い値である。また、鉍滓、碎石については含水比が低く、液性・塑性限界がともに NP であることより汚泥の性質とは異なっている。汚泥と鉍滓の土粒子密度は一般的な土に比べ高い値となっている。

3. 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。脱硫スラグには酸化カルシウムCaOが47.98%含まれているのに対し、脱リンスラグにはそれが22.8%しか含まれていない。一方、二酸化ケイ素SiO₂の含有量は脱硫スラグで9.81%に対し、脱リンスラグでは22.3%と脱リンスラグの方が高い値を示している。

4. コーン指数と含水比の関係

図1に汚泥のコーン指数と含水比の関係を示す。これより、汚泥の含水比が低くなるほどコーン指数は大きくなっていることが読み取れる。特に、含水比が塑性限界以下になるとコーン指数は急激に増加している。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。

5. 混合試料の材齢経過に伴うコーン指数変化

汚泥とその他の廃棄物を混合し締固めた土のコーン指数試験を実施した。試験方法は湿潤重量比にてその他の廃棄物の混合割合を増加させ、ダンプトラックのトラフィカビリティーを確保するためのコーン指数 $q_c = 1200\text{kN/m}^2$ (以下、目標強度とする。) が得られるまで試験を行うものである。コーン試験を行うにあたっては、28日間気密養生をし、材齢経過による強度変化について比較検討を行った。図2に試験結果を示す。これより、養生による強度増加はみられず、目標強度にも達していないことが確認できる。

表 1 物理的性質

試料名	含水比 w (%)	土粒子密度 ρ_s (g/m ³)	液性限界 w _L (%)	塑性限界 w _p (%)	塑性指数 I _p
汚泥	160	3.525	209	109.1	99.9
鉍滓	8.0	3.224	NP	NP	-
碎石	0.0	2.770	NP	NP	-

表 2 成分表

成分	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO
含有率(%)					
脱硫スラグ	47.98	9.81	4.44	12.06	1.59
脱リンスラグ	22.80	22.30	3.98	36.30	2.49
鉍滓微粉末	29.60	23.40	10.60	18.20	9.62

成分	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
含有率(%)				
脱硫スラグ	0.17	0.12	0.08	0.31
脱リンスラグ	4.56	0.07	0.13	1.00
鉍滓微粉末	1.05	0.09	0.09	0.81

成分	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	SO ₃	CaF ₂
含有率(%)				
脱硫スラグ	0.08	0.07	4.28	1.24
脱リンスラグ	3.04	0.19	0.65	-
鉍滓微粉末	0.51	3.15	0.42	-

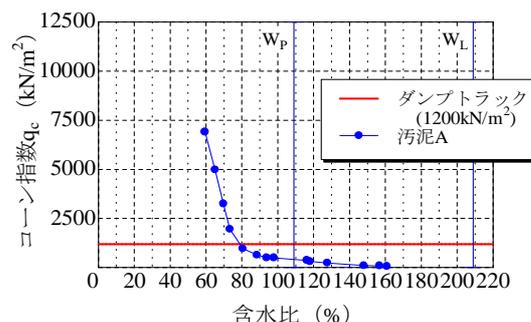


図 1 コーン指数と含水比の関係

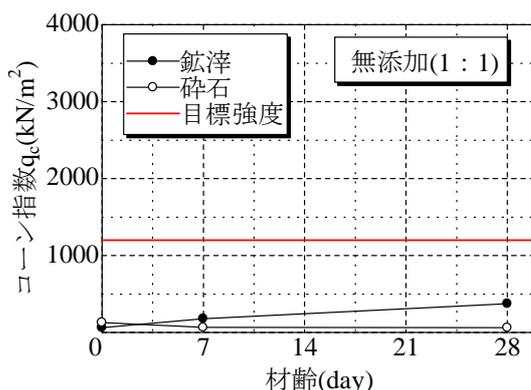


図 2 材齢経過に伴うコーン指数変化

6. 改良剤を添加した場合の材齢経過に伴うコーン指数変化

汚泥と鈇滓，汚泥と碎石を混合したものを対象に脱硫スラグ，高炉スラグ微粉末，脱リンスラグ，鈇滓微粉末を添加して28日間の気密養生を行い，材齢経過による強度変化について比較検討を行った。各ケースのコーン指数と材齢の関係を図3～図5に示す。脱硫スラグと高炉スラグ微粉末を添加したケースでは，汚泥と鈇滓を混合した試料の方が早期に目標強度に達している。これは，高炉スラグ微粉末が銑鉄を製造する際に得られるスラグを水で急激に冷却し，粉末状にしたものであり，非晶質の網目構造をしていることからアルカリオンと接触して水和反応を起こしたことによると考えられる。したがって，碎石に含まれるCaOが5.92%に対し，鈇滓にはそれが29.60%と多く含まれているためアルカリオンの供給量も増加し，強度増加も大きくなったと考えられる。また，脱リンスラグと高炉スラグ微粉末，鈇滓微粉末と高炉スラグ微粉末を添加したケースでは，早期の強度増加が急激であることが共通している。しかしその後の増加傾向については，前者が養生7日目から28日目までの強度増加が確認されないのに対し，後者は7日目以降も緩やかに強度が増加していることがわかる。これは，早期の強度発現に影響を与えるCaOの含有量が脱リンスラグと鈇滓微粉末では同程度なので，7日目までの強度増加の傾向が類似していると考えられる。また，7日目から28日目の強度増加の傾向が異なるのは Al_2O_3 とCaOのポズラン反応によって生じる，カルシウム・シリケート水和物が原因であると考えられる。このカルシウム・シリケート水和物が生成されることで混合試料は硬化するため， Al_2O_3 を多く含む後者の方が長期にわたり強度増加したと考えられる。以上より，混合試料に添加する改良材が異なると，強度増加の傾向も異なることがわかる。そのため，早期の強度増加を行いたい場合は，アルカリ環境を形成するCaOの含有量の高い改良材と高炉スラグ微粉末を用いることが適していると考えられる。また， Al_2O_3 を多く含む改良材と，CaOを含む改良材を添加し養生することで長期の強度発現を行うことも可能であると考えられる。

7. まとめ

産業廃棄物の中で，汚泥と鈇滓，汚泥と碎石を混合し，それらの混合廃棄物のコーン指数に及ぼす化学成分や改良材の影響を調べた。その結果として以下のような知見が得られた。(1)汚泥と鈇滓，汚泥と碎石を混合した場合，材齢経過によるコーン指数の変化はなく，目標強度に到達しないことが明らかとなった。(2)改良材を添加することで材齢経過に伴い強度増加の傾向が異なることがわかった。(3)具体的には，CaO含有量が高い改良材を用いることで早期の強度を発現し， Al_2O_3 とCaOを含む改良材を用いることで長期の強度増加が見込めることが明らかになった。このことから，試料の含水比や化学成分を把握することで適した改良材，養生日数などの条件で混合を行うことでいずれの試料も目標強度を有する埋立材として利用できることが確認できた。

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。

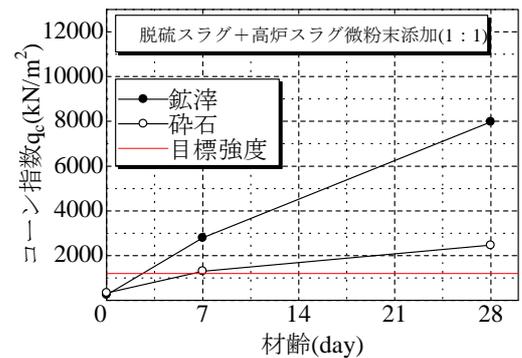


図3 材齢経過に伴うコーン指数変化

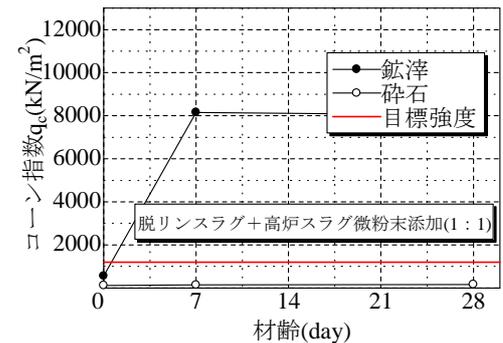


図4 材齢経過に伴うコーン指数変化

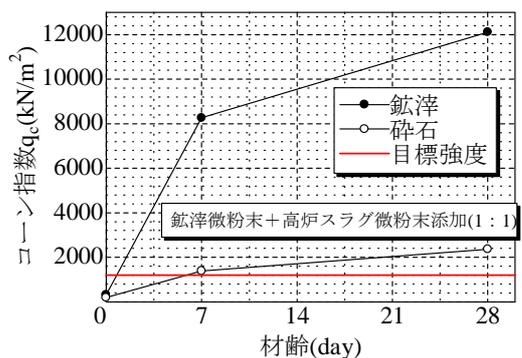


図5 材齢経過に伴うコーン指数変化