

再生石膏添加 PS 灰の地盤改良材としての力学・化学的特性評価

長崎大学工学部 学生会員 ○原田 拓
長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静

長崎大学大学院 フェロー会員 棚橋 由彦
長崎大学工学部 正会員 杉本 知史
長崎大学大学院 学生会員 真田 伸行

1.はじめに

現在日本では、古紙の再生に伴って発生する産業廃棄物「製紙スラッジ」（以下PS灰）が年間 400 万トン以上発生している。このうち一部は有効利用されているが、多くは、有償で焼却・埋立処分を行っている¹⁾。このような処理にかかる費用の問題や、環境問題への意識の高まりから、PS灰に半水石膏・フライアッシュ・生石灰を混合することで再生石膏添加PS灰（以下GP灰）が開発された。本研究では建設発生土であり、九州地区に多く存在する佐賀粘土と有明粘土（以下蓮池粘土）に、このGP灰を混合することで新地盤材を開発改良し、産業廃棄物の有効利用を目指すものである。

2.改良地盤材に関わる各種材料特性

今回地盤改良材として使用した GP 灰は PS 灰に生石灰・半水石膏・フライアッシュを、それぞれに使用目的を持たせて、一定の割合で混合したものである。

表-1 に使用目的と混合割合を、表-2 に本研究で使用した高含水比粘性土である有明粘土、蓮池粘土の物性値を示す。また、表-3 に既往の重金属溶出試験の結果²⁾を示す。有害重金属等環境に影響を及ぼす物質の含有量が、環境基準値未満であることが確認済みである。

3.改良土の力学的特性評価

3.1 試験概要

GP灰と発生土を混合攪拌し、高さ 10cm、直径 5cmのモールドで供試体を作成して規定の材齢において一軸圧縮試験を行う。供試体を作成した後は、温度 25℃、湿度 90%の恒湿槽において養生を行う。また、本改良地盤材は、一般盛土材料としての使用を考えており、一般の粘土の場合、コーン指数 (q_c) と一軸圧縮強度 (q_u) の間には $q_c = 5 \cdot q_u$ という関係がある。盛土としての適用用途標準を満たす第 3 種建設発生土として求められるコーン指数は 400 kN/m²であるため、本研究での目標強度は 100kPaと定めた。また、今回使用した発生土の自然含水比は 180%前後であったため、固化材を混合する前に、佐賀粘土と有明粘土の含水比を 180%に調節して、固化材を混合した。このときの添加量、養生日数の試験ケースは表-4 のように設定した。このとき、GP灰 (GP) を蓮池粘土 (H) に添加するケースをGPH、GP灰 (GP) を有明粘土 (A) に添加するケースをGPAとする。

表-1 GP 灰の成分表

成分	割合 (%)	使用目的
PS 灰 (紙の焼却残渣)	60	フッ素の抑制
生石灰	15	
半水石膏	15	固化
フライアッシュ	10	吸着効果

表-2 対象土の物性値

物性試験項目		有明粘土	蓮池粘土
土粒子の密度 (g/m ³)		2.59	2.52
自然含水比 (%)		187	172
粒度分布	砂 (%)	16	11
	シルト (%)	40	39
	粘土 (%)	44	50
液性限界 (%)		181.4	115.5
塑性限界 (%)		65.2	44.1
塩化物イオン濃度 (mg/kg)		26600	66.6

表-3 重金属溶出試験結果²⁾

	Cr ⁶⁺	Cd	Pb	As	Se	T-Hg	F	B
環境基準値	0	0.01	0.05	0.01	0.01	0	0.8	1
有明粘土	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.5	0.45
佐賀粘土	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

(単位: mg/l、N.D.: 検出せず)

表-4 試験ケース

Case	建設発生土	固化材	添加量 (kg/m ³)	材齢 (日)
GPH	蓮池粘土	GP 灰	50,100	1,3,7,28
GPA	有明粘土		200,300	

3.2 実験結果と考察

今回の実験結果では、すべてのケースで、蓮池粘土より有明粘土で大きな強度を得た。これは、蓮池粘土に含まれる有機物がフライアッシュやPS灰の水和反応を阻害し、強度の発現に悪影響を及ぼすためであると推測される³⁾。図-1(a)と図-1(b)に示される添加量と一軸圧縮強度の関係のグラフより、GP灰添加量 50kg/m^3 と 100kg/m^3 では、養生日数によって大きな強度の差は見られなかったが、添加量が 200kg/m^3 や 300kg/m^3 になると、養生日数 1~7 の間に、大きな強度の増加が確認できた。この結果から、180%という高含水比の条件で、GP灰が固化材として盛土としての一般目標強度 100kPa を満たすためには、添加量 100kg/m^3 以上必要であることが分かった。また、図-2(a)と図-2(b)に示される養生日数と一軸圧縮強度の関係より、添加量が $50\text{kg/m}^3 \sim 100\text{kg/m}^3$ であれば、養生日数を長くしても、大幅な強度の増加は得られないことが分かった。これは、添加量が少ないため、発生土中の固結機能に対する余剰水分が多くなり、水和反応が短い期間で完結してしまうためと考えられる。上記のように添加量 100kg/m^3 以上の条件であれば、有明粘土で養生 3 日、蓮池粘土では養生 7 日で盛土材としての目標強度 100kPa を満たすことが分かった。今回の結果より、養生 3 日から養生 7 日で急激に強度が上昇しており、この期間で水和反応が急速に進行していると考えられる。

4. おわりに

一軸圧縮試験の結果、GP 灰は、使用した建設発生土を固化する作用があり、その効果は、添加量が大きく、養生日数を長くするに伴い強度発現が大きくなることが分かる。

今後は、重金属溶出試験と pH 試験を行い、有害重金属等環境に及ぼす物質の含有量を調べ、実地盤での使用可能性を確かめていく予定である。

謝辞: 本研究の遂行にあたり、(株)環境科学上川畑照実氏、佐賀中部農林事務所大串秀治氏他関係者のご協力に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 社団法人愛媛県紙パルプ工業会：製紙スラッジ再資源化技術開発
http://www.shikoku.meti.go.jp/soshiki/skh_b7/1_sesaku/040416/info/seishisurajji.pdf#search=製紙スラッジ
- 2) 吉田友則，棚橋由彦，蔭 宇静，杉本知史，鈴木良太：再生石膏中性固化材の地盤改良材としての適用性評価，土木学会第 64 回年次学術講演会概要集(CD-ROM)，3-459，pp.917-918，福岡(2009.9)
- 3) 日本工営株式会社：高有機質地盤に対するセメント安定処理効果：<http://www.n-koei.co.jp/>

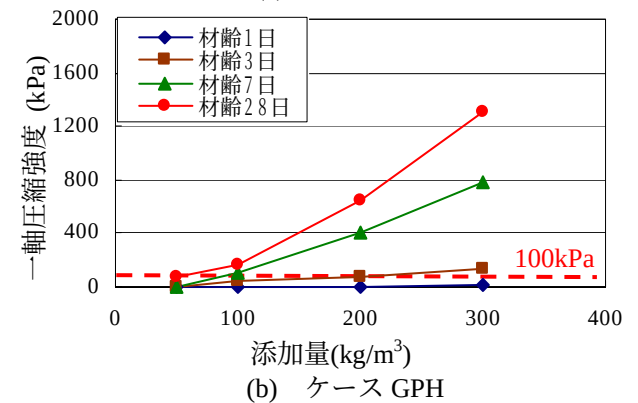
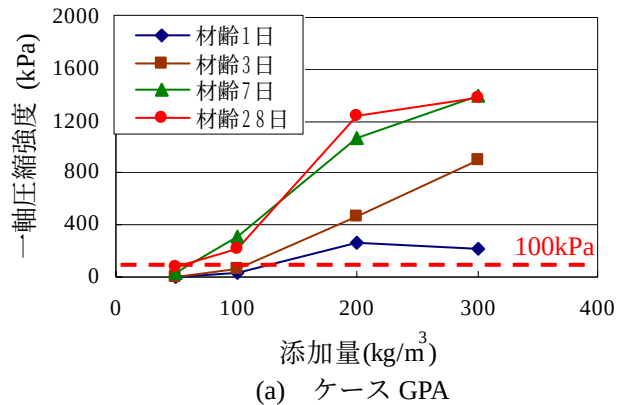


図-1 添加量と一軸圧縮強度の関係

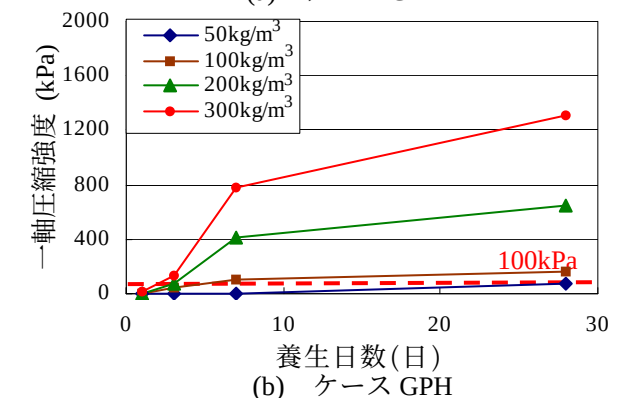
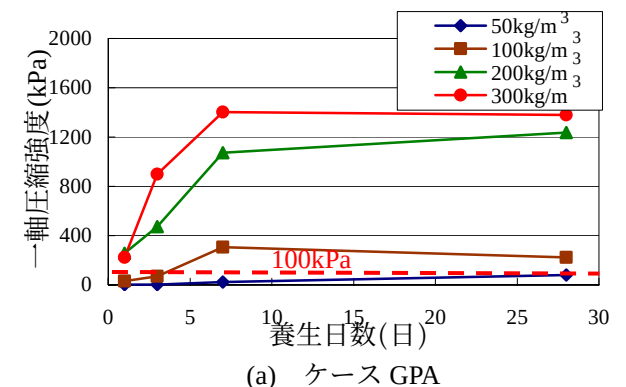


図-2 養生日数と一軸圧縮強度の関係