

P S 灰混入石炭灰の軟弱土改良効果について

(株) フジタ 正 ○竹田 慎二 田中 知樹
 正 齊藤 悦郎 岡野 幹雄
 正 望月美登志 吉野 広司

1. 概 要

近年産業廃棄物の増大に伴い、廃棄物の発生抑制、再使用、再生利用等が推進され循環型社会の形成が求められている。筆者らはこれまで製紙工場の廃棄物であったペーパースラッジ（P S）灰の有効利用方法について研究・開発を行うなかで、それを副生する過程の違いにより多種多様の P S 灰が存在することを確認してきた。本報告は P S 灰混入石炭灰について、他の P S 灰との比較を行いながら、その特性等について述べるものである。

2. 試験概要

本報告で試験に供した P S 灰は、再焼成炉から焼成される再焼成灰、流動床炉より焼成される流動床灰、そしてペーパースラッジを焼却する際に石炭を同時に燃焼させてできた P S 灰混入石炭灰の 3 種である。P S 灰混入石炭灰の軟弱土改良材としての適否を確認するため、公共土木工事において実績のある再焼成灰との改良効果比較を行った。また併せて流動床灰にて改良を行ったものとの比較も行った。なお P S 灰混入石炭灰には 10% 程度の CaO が含まれている。改良効果比較は対象土にそれぞれ P S 灰を混練しコーン貫入試験を行って判断した。また流動床灰、P S 灰混入石炭灰については混練締固め後、24 時間養生したものについてもコーン貫入試験を行った。改良の対象土として藤森粘土を用いた。表 1 に試験に供した試料の物性値を示す。また図 1、2 に藤森粘土、P S 灰の粒度分布を示す。藤森粘土はその 90% 以上がシルト・粘土分である。また再焼成灰はほとんどが砂分であるのに対し、他の 2 種の灰は粒度分布が似ており 50% 近くがシルト・粘土分である。図 3 に藤森粘土の含水比変化によるコーン指数の値を示す。表 1 より藤森粘土の液性限界は 41.5% であり、図 3 より含水比が 44.5% でコーン指数が 0 kN/m^2 である。今回は改良対象土とするために 45% に含水比調整を行って試験に供した。

3. 試験結果

図 4 に改良直後のコーン貫入試験結果を示す。流動床灰による改良が最も効果を発揮しているのがわかる。他 2 種の P S 灰により第 4 種改良土 ($q_c \geq 200\text{ kN/m}^2$) とするためには、流動床灰のほぼ倍の添加量が必要である。また今回の試験では再焼成灰と P S 灰混入石炭灰の改良効果に有意の差は認められなかった。この試験結果から、再焼成灰と同等の改良効果を示した P S 灰混入石炭灰は、強度という観点からは改良材となり得るものといえる。

キーワード：コーン貫入試験、含水比、改良土

連絡先：〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1 (株)フジタ技術センター 土木研究部 TEL046-250-7095

表 1 試料の物性値

試験名	単位	軟弱土	再焼成灰	流動床灰	PS灰混入石炭灰
含水比	%	45	0	0	0
土粒子の密度	g/cm^3	2.700	2.400	2.553	2.551
粒度	礫分	0.0	0	0	0
	砂分	6.0	4	55.4	52.8
	シルト分	64.3	96	44.6	47.2
	粘土分	29.7			
液性限界	%	41.5	NP	NP	NP
塑性限界	%	24.5			
塑性指数		17.0			

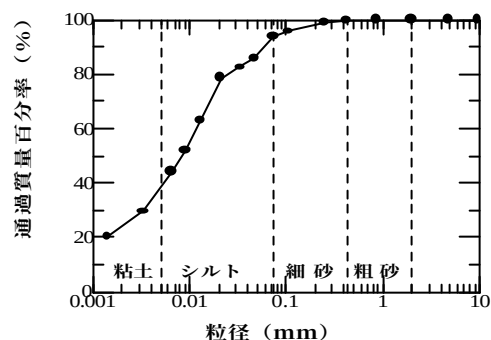


図 1 藤森粘土粒度分布図

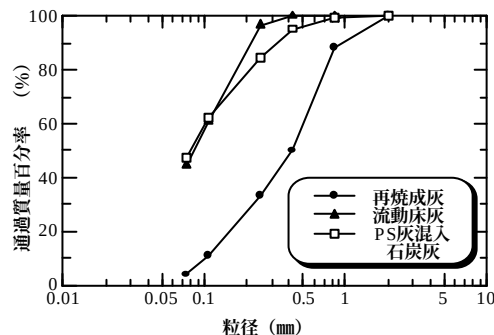


図 2 P S 灰粒度分布図

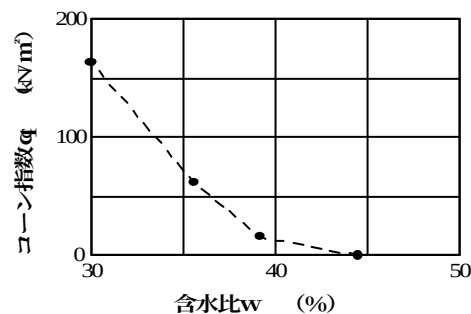


図 3 藤森粘土コーン貫入試験結果

次に流動床灰とP S灰混入石炭灰について、前述対象土と混練締固後、24 時間気中養生したものをコーン貫入試験に供した。混練後即時にコーン貫入試験を行ったものとの強度比較を図 5 に示す。何れの場合においても強度増加が認められたが、特にP S灰混入石炭灰は顕著に現れている。強度増加率=24 時間養生後強度/改良後即時強度、とするとその結果は表 2 のようになる。双方とも添加量の増加に伴い強度増加量は増えているが、強度増加率は減少傾向にあるのがわかる。しかしながらP S灰混入石炭灰は流動床灰に比べ、ほぼ倍の強度増加率を示している。またP S灰混入石炭灰を添加した供試体は養生前後で質量の変化が認められなかった。つまり水分の蒸散による含水比低下はなかったといえる。したがってこの強度増加は当該灰の自硬性の影響を受けていると考えられる。

P S灰混入石炭灰の自硬性を確認するために、この試料に加水し供試体作成後 24 時間養生を行ったものを一軸圧縮試験に供した。結果を図 6 に示す。図中加水率は試料の重量に対する水分の重量を示す。今回の試験では加水率 70%でその一軸圧縮強度が最大となり、 $q_u=183.7\text{kN/m}^2$ であった。このときの供試体は引張り破壊をおこしているため、この結果が直ちに非排水せん断強さ c_u には結びつかないことを付け加えておく。しかしながらこの試験結果から今回のP S灰混入石炭灰は自硬性を持つことが確認できたと言える。このことにより 24 時間養生後の改良土は著しい強度増加を示したと言える。

4. 考 察

以上の試験結果より、強度という観点から見るとP S灰混入石炭灰は再焼成灰と同等の土壌改良効果を持ち、養生することでその自硬性により著しい強度増加を観ることができた。再焼成灰の改良原理である吸水という物理作用¹⁾に対し、P S灰混入石炭灰の改良原理は化学変化による効果が大きいと言える。今回は 24 時間養生の強度変化の確認を行っているが、化学変化の場合、セメントの水和反応のように徐々に進行する可能性も考えられるので、必要強度に見合った適切な添加量を決定する上で、それらの性質の把握が重要である。

5. まとめ

製紙工場から副生するP S灰は、工場によりそれぞれ違った工学的性質を示す。また同じ工場から発生するP S灰においても品質にバラツキが認められる²⁾など課題は多く残っている。しかしながら吸水性に優れるものや、今回の試料のように自硬性を有するものなど建設分野への有効利用に期待のもてる材料といえる。今後は種々のP S灰の工学的性質を把握しつつ、有効利用への技術開発をしていく予定である。

参考文献

- 1) 望月、竹田、斉藤、小方：P S灰による軟弱土の改良効果；第 35 回地盤工学研究発表会, 2000
- 2) 望月、竹田、斉藤、小方：P S灰の工学的特性について；第 55 回土木学会年次学術講演会, 2000

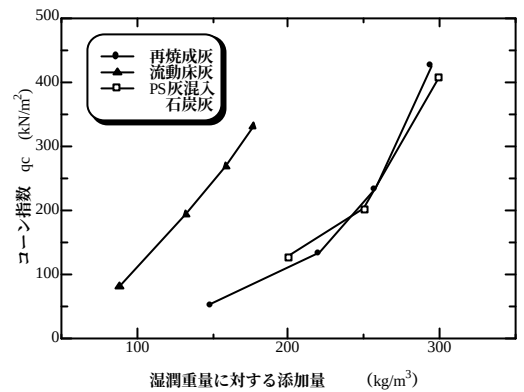


図 4 コーン貫入試験結果

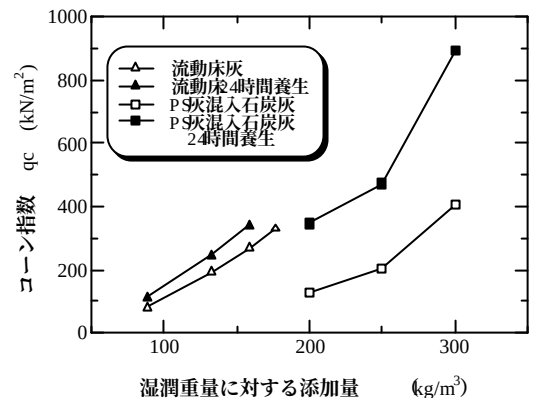


図 5 24 時間養生コーン貫入試験結果

表 2 24 時間養生による強度増加

試料名	添加量 (kg/m^3)	強度増加量 (kN/m^2)	強度増加率
流動床灰	88.1	32.3	1.40
	132.2	52.5	1.27
	158.6	72.6	1.25
P S灰混入 石炭灰	200.0	219.0	2.72
	250.0	261.4	2.34
	300.0	485.5	2.19

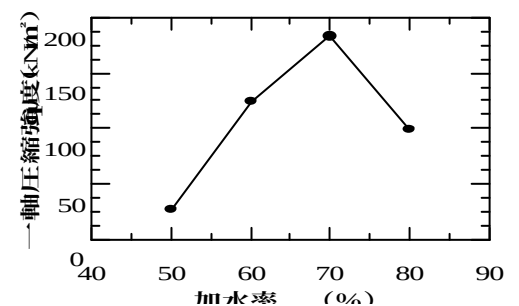


図 6 P S灰混入石炭灰一軸圧縮試験結果