

石炭灰を用いた複合固化処理土の支持力および溶出特性

九州大学大学院 学○溝田景子 正 大嶺聖 正 安福規之

1. はじめに

日本のエネルギー源の燃料転換が行われ、石炭の使用が増加したため石炭灰の発生量は増加し更なる有効利用が求められている。浚渫土や破碎後のセメント固化材等の産業副産物も同様に有効利用が必要とされている。また、セメント固化処理土は固化材の添加量を変化させることで任意の強度に設定出来るが、一般的に引張りによるクラックが生じやすく、脆性的な挙動を示し、破壊後には十分な機能を保持することができない。そこで、本研究では石炭灰（フライアッシュ）などのリサイクル材の地盤材料としての有効利用を目的に、変形追随性を持ったセメント固化処理土である複合固化処理土の支持力および溶出特性について明らかにする。

これまで、複合固化処理土の力学特性および溶出特性について検討を重ね、複合固化処理土はその特性として摩擦特性および変形追随性を持つ¹⁾が、粒状材の強度によって粘着力や内部摩擦角などが異なることが分かっている。そこで、複合固化処理土の独自の特性である変形追随性に着目し、その特性について更に検討する。今回は、変形追随性について支持力試験結果より、考察し報告する。また、石炭灰はフッ素(F)・ホウ素(B)・六価クロム(Cr⁶⁺)などの溶出が懸念されるが、粒状材に混入し充填材で固化することにより溶出抑制効果が得られることが期待できる。溶出特性としてF・B・Cr⁶⁺の溶出抑制効果について、環境庁告示46号法での溶出試験結果と併せて、タンクリーチング試験結果より評価する。

2. 複合固化処理土について

複合固化処理土は、破碎したセメント固化材をリサイクルする有効利用法として検討している。破碎したセメント固化材は強度を持たず、廃棄物となってしまうが、リサイクル材として利用可能であれば廃棄物の発生量も抑制することが出来る。さらに、複合固化処理土とすることで地盤材料のような摩擦特性や変形追随性など新たな特性を持つ材料になり、利用方法の幅が広がると思われる。実験では、石炭灰を混入した固化処理土を破碎して粒状にした比較的低強度のもの(粒状材1)、および石炭灰を主材料として造粒した比較的高強度のもの(粒状材2)をスラリー状の固化処理土(充填材)と混合することにより、新たな材料である複合固化処理土を作製する。図-1に複合固化処理土の簡単なイメージ図を示す。

3. 実験概要

複合固化処理土はイメージ図のように粒状材を固化処理土で充填させ、再度固化して作製している。今回は、粒状材を2パターンで作製し、検討した。実験条件を表-1に示す。粒状材を、有明粘土にセメント添加量C_M=100kg/m³で添加した固化処理土で充填して密に詰まるように突き固めて供試体を作製する。充填材の有明粘土は含水比250%に調整しセメントをC_M=100kg/m³で添加し、粒状材と混合した後に詰める。供試体は直径φ=15cm、高さd=5cmの円柱供試体で、一定期間養生させて支持力試験することで変形追随性を把握する。モデルを図-2に示す。粒状材1は養生3週間、粒状材2は養生7日を超えたものを使用して複合固化処理土を

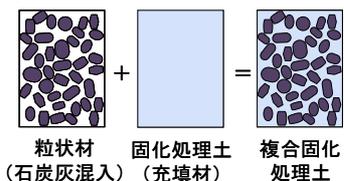


図-1 複合固化処理土のイメージ図

表-1 実験条件

粒状材 1	石炭灰	16%(C _F =100kg/m ³)
	固化材	普通ポルトランドセメント 16%(C _G =100kg/m ³)
	粘土	有明粘土 69%(乾燥重量)
	水	155% ¹⁾
	粒径	2.0~9.5mm
粒状材 2	W/C	1063%
	石炭灰	80%
	固化材	普通ポルトランドセメント 10%
	粘土	有明粘土 10%(乾燥重量)
	水	36~41% ¹⁾
固化処理土 (充填材)	粒径	2.0~9.5mm
	W/C	360~410%
	母材	有明粘土
	固化材	普通ポルトランドセメント C _M =0.50,100kg/m ³
	養生条件	20°C、7日間
* 粒状材1・2は重量比 ¹⁾ は乾燥総重量に対する比		

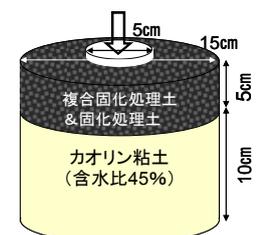


図-2 支持力試験モデル

作製し、養生7日で試験を行う。この供試体の下層には軟弱地盤を想定した含水比45%のカオリン粘土を設置し、上層の供試体の支持力を測定する。また、環告46号・タンクリーチング試験により石炭灰、粒状材1・2、それぞれを用いた複合固化処理土についてF・B・Cr⁶⁺の溶出量を測定する。タンクリーチングでは直径φ=5cm、高さd=10cmの円柱供試体を養生7日後に試験を開始し28日後、溶出量を測定する。石炭灰のCr⁶⁺の溶出抑制のため、腐葉土液・竹酢液を混合したもので環告46号を行った。腐葉土液は、蒸留水と腐葉土を1:1で、竹酢液は石炭灰に対して1:1、1:0.1で作製したものである。

4. 実験結果および考察

4-1 支持力試験

表-2 にこれまでに得られた各材料の力学特性を示す。最大軸差応力の値から粒状材1より粒状材2を用いた場合の方が強度が大きいことが分かる。また、粒状材2を用いた複合固化処理土はc_u、φ_uを持っていることが分かる。

支持力試験結果を図-3 に示す。試験は複合固化処理土(粒状材1・2)、固化処理土を用いて支持力を測定したものである。固化処理土はピークを示した後には一定の荷重強さを示している。一方、複合固化処理土は変位に伴って荷重強さも増していく傾向が見られる。また、図-4 に支持力試験における変位と最大荷重強さの関係を示す。これは、変位が15mmまでの結果を用いて整理したものであるが、固化処理土の初期強度は大きいが小さな変位で最大荷重強さが発揮される。複合固化処理土は粒状材により最大荷重強さは大きく異なるものの変位が15mmで最大荷重強さを示し、変位の大きさに伴って荷重強さが発揮していることがわかる。粒状材2を用いた場合ではc_u、φ_uを持っているため拘束され、荷重強さも3倍ほど大きい。

表-2 各材料の力学特性 (側圧:98kPa)

	最大軸差応力 q _u (kPa)	粘着力 c _u (kPa)	内部摩擦角 φ _u (°)
複合固化処理土(粒状材1)	337	124.9	6.2
複合固化処理土(粒状材2)	550	52.4	42.3
固化処理土	293	139.8	0

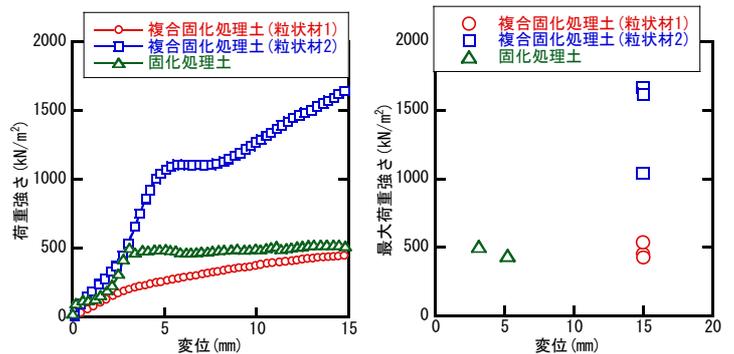


図-3 応力経路図

図-4 変位と最大荷重強さ

表-3 溶出試験における結果

	F (mg/l)	B (mg/l)	Cr ⁶⁺ (mg/l)	pH
石炭灰	0.4	2.5	0.52	11.88
石炭灰+腐葉土液	0.53	4.3	0.14	11.06
石炭灰+竹酢液(1:0.1)			0.003	12.05
石炭灰+竹酢液(1:1)			0.002	12.12
粒状材1	0.43	0.1	0.002	10.67
粒状材2	0.29	N.D.	0.004	11.36
複合固化処理土(粒状材1)	0.69	0.2		9.63
複合固化処理土(粒状材2)	0.43	0.1		10.16
タンクリーチング(粒状材1)	0.3	N.D.	N.D.	11.45
タンクリーチング(粒状材2)	0.17	N.D.	N.D.	11.62
環境基準値	0.8	1.0	0.05	

4-2 溶出試験

石炭灰はF・B・Cr⁶⁺などの溶出が懸念され、有効利用する場合でも処理後の溶出量が問題となるため、土壤環境基準値内であることが必要である。そこで、環告46号・タンクリーチング試験に従い試験を行った結果を表-3に示す。測定方法が異なり、今回は測定できていないものもある。石炭灰のFの溶出に関しては、測定した全ての項目において基準値内である。B・Cr⁶⁺は固化処理を行っていないものに関しては基準値を上回っているが、固化処理をすると基準値内の溶出量となっている。腐葉土液を混合したものはCr⁶⁺には多少の効果がある。竹酢液は少しでも混合するとCr⁶⁺の溶出を抑制できていることが確認できた。

5. まとめ

複合固化処理土は固化処理土に比べ大きな破壊ひずみを持つことが分かり、変形追随性を持つ新しい処理土である。溶出特性としては、固化処理をしたものでは、F・Bは環境基準値以内の溶出量であり、溶出量は問題ない。Cr⁶⁺については複合固化処理したもので環告46号での溶出量が測定できていないので検討を進める。

参考文献：溝田、大嶺：石炭灰を用いた複合固化処理土の力学特性および溶出特性, 日本材料学会第8回地盤改良シンポジウム論文集 pp39~42 (2008)