リサイクル材を用いた複合固化処理土の力学特性

九州大学大学院　学○溝田景子
九州大学大学院　正　大嶺聖　正　安福規之　正　小林泰三

1. はじめに

現在、日本の石炭灰の発生量は増加しており、リサイクル率も増加しているものの更なる有効利用が求められている。また、浚渫土や破砕後のセメント固化材等の産業廃棄物も同様に有効利用が必要とされている。既設盛土の拡張・拡幅にリサイクル材としてこれらを用いる場合、圧密特性の違いによる不同沈下が生じないように変形追随性を持たせることが望ましい。そこで本研究ではリサイクル材の地盤材料としての有効利用を目的に、破砕したセメント固化材である粒状材をさらに固化した複合固化処理土の力学特性について明らかにする。本論文では充填材のセメント添加量を変えた場合の強度特性を明らかにする。

2. 複合固化処理土について

複合固化処理土は、破砕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。破砕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。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。また、石炭灰を粒状材に混入することで、充填材による重金属の溶出抑制効果が得られることが期待できる。複合固化処理土とすることで摩擦特性や変形追随性など新たな特性を持つ材料になると考えられ、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砕して粒状材にし、それ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。

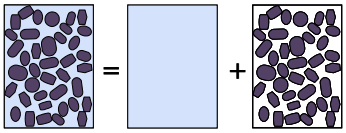


図-１　複合固化処理土イメージ図

表－１　実験条件

資料		有明粘土
固化材		普通ポルトランドセメント
粒状材	石炭灰添加量	$C=100kg/m^3$
	固化材添加量	$C_G=100kg/m^3$
	粒径	2.0～9.5mm
固化処理土（充填材）	母材	有明粘土
	固化材添加量	$C_M=0,50,100kg/m^3$
養生条件		20℃、7日間

3. 実験概要

実験条件を**表－１**に示す。含水比 250%の有明粘土に石炭灰を $C_F=100kg/m^3$、セメントを $C_G=100kg/m^3$ で添加した固化処理土を一定期間養生した後、破砕し粒径を 2.0～9.5mm に調整したものを粒状材とする。その粒状材を有明粘土にセメントを $C_M=0,50,100kg/m^3$ 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 $C_M=0kg/m^3$ の時は含水比 350%に調整し粒状材を詰めた後に流し込み、$C_M=50,100kg/m^3$ の時は含水比 250%に調整し、粒状材と混合した後に詰める。$C_M=0kg/m^3$ の時は負圧約 40kPa で 24 時間吸水し自立させる。供試体は φ=10cm、ｄ=10cm の円柱供試体で、一定期間養生させてコーン指数試験・三軸圧縮試験することで力学特性を把握する。粒状材は養生 3 週間を超えたものを使用し、養生 7 日で三軸圧縮試験を行う。三軸圧縮試験では圧密圧力は $P_c=49,98,147kPa$ の 3 パターンで行う。また、$C_M=0,50,100\ kg/m^3$ の複合固化処理土、粒状材の 4 パターンでコーン指数試験を行う。試験は養生日数 0,1,3 日で行う。また、粒状材のみは破砕後に密に詰めた状態で行う。

4. 実験結果と考察

図－2 に示すコーン指数試験では、粒状材を詰めただけではあまり大きな指数は得られなかったが、複合固化処理土は養生期間の長さに比例して指数も増加傾向を示した。$C_M=0kg/m^3$ ではセメント添加していないが大きな指数を示し、負圧で吸水したことで見かけの粘着力が発生したと考えられる。**表－2** に三軸試験結果を、**図－3** に豊浦砂と粒状材の $P_c=98kPa$ での軸差応力と軸ひずみの関係を示す。粒状材は初期剛性が小さく、ひずみの増加とともに応力が徐々に増している。これは体積が

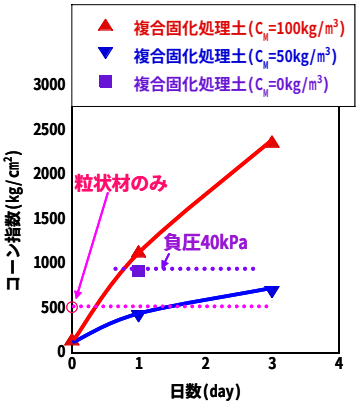


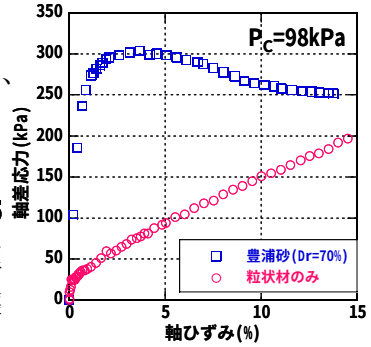
図-2　コーン指数試験結果

キーワード　石炭灰，有明粘土，複合固化処理土，粒状材，力学特性
連絡先　〒819-0395　福岡市西区元岡 744 番地 WEST2 号館 1108　TEL 092-802-3378　FAX 092-802-3378

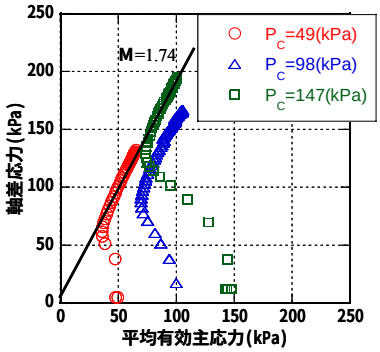
収縮しており、粒状材がつぶれて圧縮性が増したと考えられる。豊浦砂は初期剛性が大きくピークを示した後に応力が下がっている。最大強度 50%の位置における割線変形係数を E_{50} とすると、豊浦砂は E_{50}=47.5MPa であるが、粒状材は E_{50}=1.91MPa と豊浦砂に比べてかなり小さな値を示し、粒状材は剛性が小さく圧縮性が大きいことが分かる。次に**図－4** に C_M=50kg/m^3 の複合固化処理土において側圧を P_c=49,98,147kPa に変えた場合の応力経路を示す。全応力経路はセメント添加量や、側圧に関わらず同様の挙動を示す。有効応力経路は、一度平均有効主応力が減少した後に増加する傾向を示す。側圧が大きくなるほどにその減少幅は増す傾向にある。また、限界状態線は図に示すようになり、M=1.74 になった。いずれの場合も正の間隙水圧が発生している。各材料の軸差応力と軸ひずみの関係を**図－5** に示す。同じ添加量の複合固化処理土と固化処理土を比べると、固化処理土は小さなひずみで破壊に至るが、複合固化処理土はひずみが大きくなっても軸差応力は増加傾向を示している。また、P_c=98kPa での割線変形係数 E_{50} を比較すると複合固化処理土と固化処理土の剛性の差はあまり見られない。このことから、低品質の粒状材と固化処理土を混合させて複合固化処理土にすることで、大きな剛性と破壊ひずみを持ち、変形追随性を持つ材料を作製することが出来る。C_M=0,50,100kg/m^3 の複合固化処理土における軸差応力と軸ひずみの関係を**図－6** に示す。C_M=0,50kg/m^3 の場合では同程度の軸差応力を示し、セメント添加量を変えても同様の傾向を示した。**図－7** にセメント添加量の違いにおける最大軸差応力の関係を示す。側圧を P_c=49,98,147kPa の 3 パターンで検討すると、セメント添加量にかかわらず側圧の増加に伴い、最大軸差応力も増加している。同じ側圧の場合、セメント添加量に比例して最大軸差応力も増加していることがわかる。C_M=0,50kg/m^3 の複合固化処理土においてはあまり違いが見られない。これは、供試体の作成方法の違いによるものと思われる。また割線変形係数 E_{50} を比較すると、C_M=100kg/m^3 の場合が最も大きな値を示し、剛性もセメント添加量に比例することがわかる。

表－2　三軸試験結果

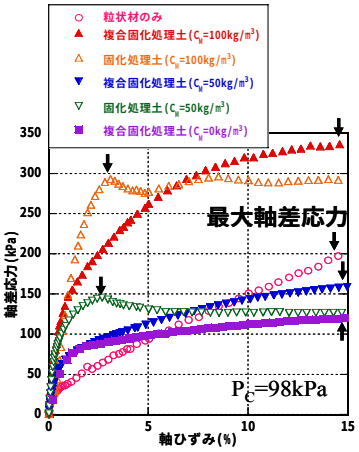
	セメント添加量 C_M(kg/m^3)	側圧 P_c(kPa)	最大軸差応力 q_f(kPa)	破壊ひずみ ε_f(%)	接線弾性係数 E50(MPa)
複合固化処理土	0 (真空)	49	102	14.2	7.13
		98	120	15.3	8.17
		147	197	15.5	3.00
	50	49	132	15.0	2.57
		98	159	15.0	5.77
		147	195	15.0	4.87
	100	49	282	12.4	8.22
		98	337	15.1	11.20
固化処理土	50	98	146	2.68	25.56
	100	98	293	3.10	15.42
粒状材		98	201	15.0	1.91
豊浦砂		98	304	3.68	47.55



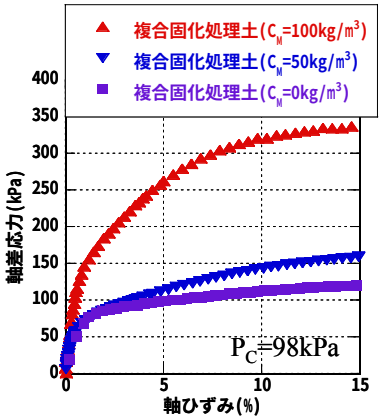
図－3　豊浦砂と粒状体の軸差応力と軸ひずみの関係



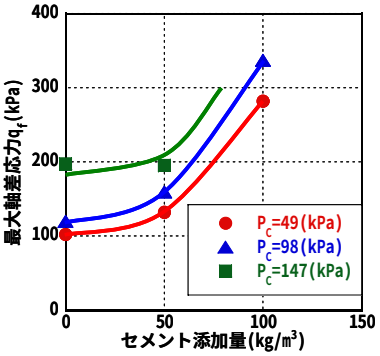
図－4 複合固化処理土(50kg/m³)の側圧変化に伴う応力経路図



図－5 各材料の軸差応力と軸ひずみ関係



図－6 複合固化処理土の側圧変化に伴う軸差応力と軸ひずみ関係



図－7　複合固化処理土のセメント添加量に伴う最大軸差応力の関係

5．まとめ

1）粒状材を混合した複合固化処理土は、低品質の粒状材に比べ大きな剛性を持ち、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。

2）複合固化処理土は固化処理土のセメント添加量に関わらず粘り強い性質を有することが示された。また、セメントを増加させることにより所定の強度を得ることができる。

参考文献　高山英作：気泡軽量土を粒状材として活用した複合固化処理土の力学特性,第 41 回地盤工学研究発表論文集 p799～800,2006　溝田景子：石炭灰を含む粒状破砕材を用いた複合固化処理土の力学特性,第 43 回地盤工学研究発表論文