

造粒された石炭灰および粘性土の圧縮特性

山口大学大学院 学生会員 ○長坂一宏 徳永諭史
山口大学工学部 正会員 中田幸男 吉本憲正
山口大学大学院 正会員 兵動正幸

1. はじめに

現在、石炭灰および港湾の浚渫時に発生する建設残土の発生量は増加傾向にあり、有効利用による処分量低減が求められ、大量消費が可能な土木分野が注目されている。本研究では有効利用技術のひとつである、試料に固化材などを添加し、水を加え攪拌し造粒化する技術に着目した。石炭灰を試料に用いた造粒材の研究はすでに行われていることから、試料に石炭灰および粘性土を用い、それらの造粒砂について単粒子破碎試験・一次元圧縮試験を実施し、各造粒砂の粒子特性ならびに圧縮特性を把握し、両者の関連性を理解することを目的としている。

2. 試料および試験方法

本研究で造粒対象とした試料は、石炭灰および浚渫土を想定した岩国粘土である。固化材・助剤には高炉セメント B 種およびベントナイトを用いた。粉体原材料の合計質量が 500g となるよう試料：固化材：助剤＝85：5：10（配合 A）または 75：10：15（配合 B）の配合割合で攪拌造粒法によって作製した。粉体原材料を石炭灰とした場合を石炭灰造粒砂、粘性土とした場合を岩国粘土造粒砂、所定の割合で石炭灰と粘土を混合した場合を混合造粒砂とした。最終的に配合 A の石炭灰造粒砂、岩国粘土造粒砂、混合造粒砂を f85、c85、m85 と記し、配合 B の場合を f75、c75、m75 と表記した。混合造粒砂については、石炭灰と粘土の重量混合比をふくめ、例えば m85-2:8 のように表記した。各造粒砂の配合割合と物理的性質を表 1 に示す。図 1 は添加水量を変化させて f85 を作製した時の粒度分布である。図より水量の増加に伴い粒径が大きくなっていることがわかる。これは他の造粒砂でも同様の傾向がみられた。そこで、粗粒分 20% 程度、細粒分 3～15% 程度という基準を設け、かつ再現性の高い造粒砂が作製可能な水量の造粒砂について各試験を行った。

単粒子破碎試験の試験条件は、造粒砂の粒径を 2mm 以下に調整し、その平均粒径 d_{50} の粒子について実施した。最大荷重 F_f を d_{50} の二乗で除したものを破碎強度と定義した¹⁾。

また一次元圧縮試験の試験条件は、粒径を 2mm 以下に調整したものをを用い、相対密度を 50%、80% に変化させて試験を実施した。降伏応力 σ_v は圧縮指数 $C_c' = \Delta e / \Delta \log \sigma_v = 0.3$ の時とした¹⁾。

3. 造粒砂の単粒子破碎特性および圧縮特性

図 2 に各造粒砂の破碎パターンの頻度分布を示す。パターン A は最大荷重に達すると造粒砂が 2、3 個に破碎するもの、パターン B は荷重が増加すると造粒砂の角が欠け、その都度極大値を示すが、最大荷重に達すると試料が 2、3 個に破碎するもの、パターン C は荷重が増加するにつれ、粒子表面の角張りから欠けていき中心に核のよ

表 1 試料の配合割合と各造粒砂の物理的性質

	試料配合割合		試料 (g)	高炉セメント B 種 (g)	ベントナイト (g)	添加水量 (g)	ρ_s (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}	d_{50} (mm)	U_c
	岩国粘土	石炭灰									
c75	100	0	375 (75%)	50 (10%)	75 (15%)	120 (24%)	2.679	2.281	1.436	0.380	8.133
c85			425 (85%)	25 (5%)	50 (10%)	115 (23%)	2.661	2.376	1.488	0.330	6.625
m85-8:2	80	20	425 (85%)	25 (5%)	50 (10%)	115 (23%)	2.600	2.701	1.777	0.280	3.806
m85-6:4	60	40	425 (85%)	25 (5%)	50 (10%)	115 (23%)	-	-	-	0.380	6.453
m85-5:5	50	50	425 (85%)	25 (5%)	50 (10%)	120 (24%)	2.573	2.674	1.795	0.400	7.025
m85-4:6	40	60	425 (85%)	25 (5%)	50 (10%)	120 (24%)	-	-	-	0.500	4.219
m75	30	70	375 (75%)	50 (10%)	75 (15%)	105 (21%)	2.569	2.630	1.554	0.380	3.651
m85			425 (85%)	25 (5%)	50 (10%)	125 (25%)	2.587	2.413	1.560	0.330	2.860
m85-2:8	20	80	425 (85%)	25 (5%)	50 (10%)	125 (25%)	-	-	-	0.320	5.619
f75	0	100	375 (75%)	50 (10%)	75 (15%)	100 (20%)	2.612	2.610	1.676	0.210	3.091
f85			425 (85%)	25 (5%)	50 (10%)	130 (26%)	2.576	2.610	1.694	0.410	3.563

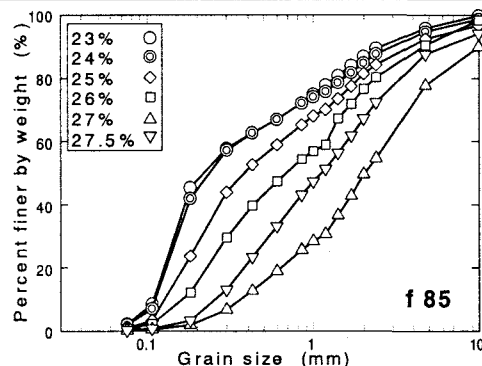


図 1 添加水量の異なる造粒砂の粒径加積曲線

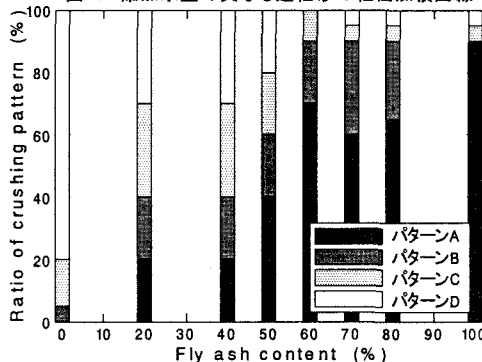


図 2 石炭灰配合割合と破碎パターン

うなものが残るもの、パターン D は明確な最大荷重が現れず徐々に欠けていくものの 4 つに分類した。またパターン A、B は脆性的な破碎、C、D は延性的な破碎と位置づけられている。石炭灰配合割合が少ない造粒砂は延性的な破碎であるパターン C、D が大部分を占めているが、石炭灰配合割合が増えるにしたがって脆性的な破碎のパターン A、B が増加していることがわかる。その傾向は石炭灰配合割合が 50% 付近から顕著に表れている。

図3は各造粒砂の単粒子破碎強度と造粒砂に含まれる石炭灰配合割合の関係を示したものである。破碎強度は石炭灰造粒砂>岩国粘土造粒砂であることがわかる。混合造粒砂は石炭灰配合割合が 0%~50% の範囲では岩国粘土造粒砂とほぼ同等の値をとったが、50%~100% の範囲では強度が増加している。また、固化材添加率の増加により造粒砂の破碎強度が大きくなっていることがみてとれる。

各造粒砂の単粒子破碎試験の荷重と変位の関係より、荷重が最大荷重を示し、粒子が破碎するまでの軸変位を粒径で除したものを粒子のひずみと定義した。図4はひずみの平均値と石炭灰配合割合の関係を示したものである。石炭灰配合割合が 0%~50% と増しても、ひずみに変化があまりみられないが、50%~100% の範囲で小さくなっていることがわかる。

図5は一次元圧縮試験の $e-\log \sigma_v$ 曲線である。岩国粘土造粒砂・石炭灰造粒砂ともに相対密度が大きくなると降伏応力も大きくなることがわかる。また降伏応力は相対密度を変化させても石炭灰造粒砂の方が大きな結果となった。これは各造粒砂の単粒子破碎強度が降伏応力に影響していると考えられる。

図6は一次元圧縮試験の結果を示したもので、初期間隙比と鉛直応力が 1MPa および 10MPa 時の間隙比の差 Δe を各造粒砂の $e_{\max} - e_{\min}$ で正規化した値と石炭灰配合割合の関係を示したものである。圧縮性について見てみると、岩国粘土>石炭灰という結果となった。また、石炭灰配合割合が 0%~50% の範囲ではあまり変化がみてとれないが、50%~100% の範囲では減少していることがわかる。これは単粒子破碎強度と石炭灰配合割合の傾向と合致していることから、圧縮特性はその単粒子破碎特性が関係していると考えられる。

4. まとめ

単粒子破碎試験・一次元圧縮試験の結果より造粒砂試料中の石炭灰配合割合が変化することで粒子特性および圧縮特性が変化することがわかった。破碎パターンは石炭灰配合割合が多くなるにつれて延性的な破碎から脆性的な破碎に移行し、単粒子破碎強度、圧縮特性は石炭灰配合割合が 0%~50% の範囲ではほぼ同様の性質を示した。50%~100% の範囲では単粒子破碎強度が大きく圧縮性が小さくなっていくことがわかった。

[参考文献]

- 1) 加登文学、佐藤正岳、中田幸男：砂の粒子強度が一次元圧縮特性に与える影響、第 35 回地盤工学会発表会概要集、No.1、pp.895-896、2000。
- 2) 高橋邦夫：石炭灰有効利用技術について 一循環型社会を目指して一、エネルギー土木委員会、2003。

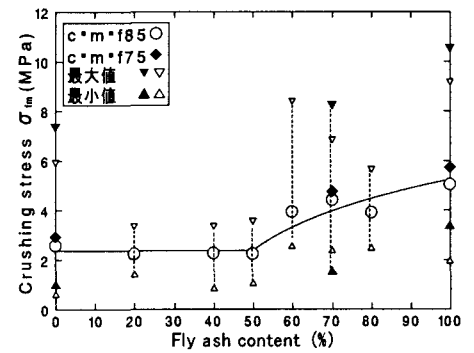


図3 単粒子破碎強度

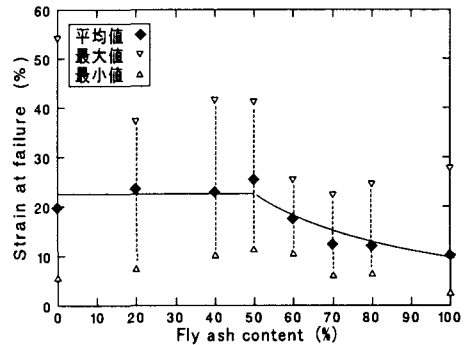


図4 石炭灰配合割合とひずみ

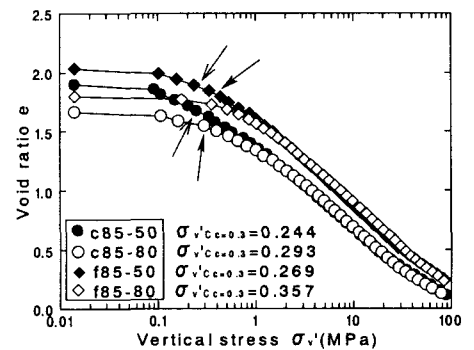


図5 $e-\log \sigma_v$ 曲線

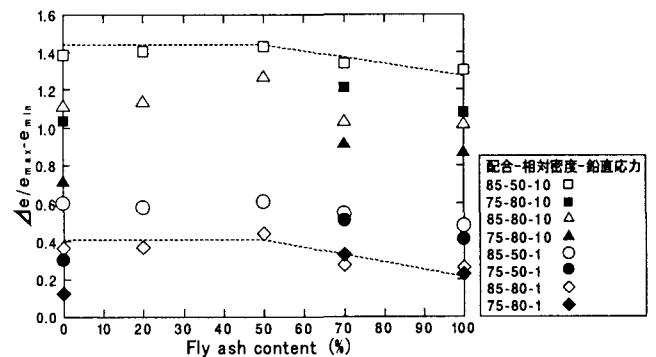


図6 石炭灰配合割合と間隙比の関係