

流動化処理土の力学特性に与える石炭灰添加の影響

中央大学 正会員 國生 剛治

学生会員 加藤 匡一

学生会員 佐々木 幸

1. はじめに

新規石炭火力発電所の運転開始に伴い石炭灰の発生量が今後増大しつつある。現在、石炭灰の年間排出量は840万トン(2002年度)となっており、その約82%が有効利用されているが、その他は海域および陸域で埋立て処分されている。しかし、大規模な処分場の確保が困難になってきていることや再資源化の観点から有効利用拡大が重要となっている。

建設発生土を有効に再利用する観点から注目を集めている流動化処理土¹⁾において石炭灰の有効利用を図れる可能性がある。これまで、カオリン粘土の泥水に一定量の固化材を混合し、高密度化を図るために豊浦砂を加えた流動化処理土について研究を行ってきた。そこで、今回は泥水密度1.30kg/cm³、セメント添加量を泥水1m³当り100kgとした流動化処理土に石炭灰を添加したときのせん断特性を調べ、砂を加えた場合との比較をするために三軸試験を行った。

2. 試験方法

カオリン粘土($\rho_s=2.729\text{g/cm}^3$)に水道水を加えて攪拌し、密度 $\rho=1.30\text{g/cm}^3$ の泥水を作成し、それに1m³当り固化材(一般軟弱土用セメント系)を100kg混合した試料Aを本試験で用いた流動化処理土の基本配合とした。

さらに、試料Aに1m³当り石炭灰を100kg混合した試料と、200kg混合した試料を作成し、それぞれ試料B、試料Cとした。また、試料Aに p 値=1.0(p 値=泥水の重量/砂の室乾重量)となるように豊浦砂を混合した試料Dも作成した。これらの流動性を調べるために一般的に使用されている日本道路公団規格によるフロー試験を行い、材料分離性を調べるために土木学会基準によるブリージング試験を行った。

試験はまず高さ10cm、直径5cmの円柱状供試体を強度の変化を調べるために、7日おきに材齢28日目まで一軸試験を行った。その後、28日養生した試料を図-1に示す三軸試験機を用いて有効拘束圧98kPa、背圧294kPaで等方圧密した後、非排水条件で地震を想定した一定の応力振幅の繰り返し荷重を11波(振動数 $f=0.1\text{Hz}$ 、正弦波、応力制御)載荷した。繰り返し載荷試験での応力比を $R=\sigma_d/2\sigma_c$ で表す。ここに、 σ_d は繰り返し応力片振幅、 σ_c は等方圧密応力である。その直後に土が保持している静的せん断強度を調べるために、非排水条件のままひずみ制御により静的圧縮試験(ひずみ速度2.0%/min)を行った。また、圧密終了時と繰り返し載荷試験終了時に微小歪み領域での繰り返し載荷を行うことにより、せん断剛性 G_0 を測定した。

3. 試験結果

表-1には作成した試料の配合条件および物理特性を示した。フロー値に関しては砂の入っていない試料A、B、Cは砂の入っている試料Dに比べ大きな値を示すが、石炭灰の混合量が増えるにつれて低下していくことがわかる。これは、

表-1 配合条件および物理特性

試料番号	p値	泥水密度 (g/cm ³)	セメント添加量 (kg/m ³)	石炭灰添加量 (kg/m ³)	処理土密度 (g/cm ³)	フロー値 (mm)	ブリージング率 (%)	間隙比	圧密降伏応力 (kPa)	圧密量(98kPa、等方圧密) (cm ³)
A		1.3	100	0	1.315	460	0.4	3.66	94	4.1
B		1.3	100	100	1.352	450	0.4	3.07	164	1.2
C		1.3	100	200	1.395	415	0.3	2.61	254	0.4
D	1.0	1.3	100	0	1.788	270	0.0	1.04	216	1.0

キーワード：流動化処理土・石炭灰・非排水せん断強度

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 Tel.03-3817-1799 中央大学理工学部土木工学科土質研究室

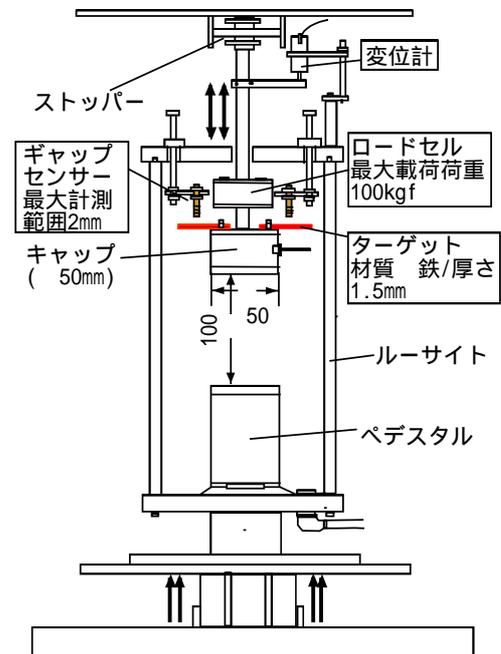


図-1 三軸試験機詳細図

石炭灰をでき上がり流動化処理土に外割で混合しているため石炭灰の混合量が増えると密度が増すのでフロー値は低下傾向になると考えられる。ブリージング率については $\rho_f=1.30\text{kg/m}^3$ の下では砂、石炭灰の添加量に関わらず4種類とも1%以下と小さな値を示した。次に $e \sim \log p$ 曲線より得られた圧密降伏応力については、石炭灰の混合量が増加するにつれて大きな値となることがわかった。また圧密量については試験時の拘束圧 98kPa において試料 B、C、D は過圧密領域で、正規圧密領域である試料 A と比べて小さな値となった。

図-2 は材齢と一軸強度の関係を示した図である。砂の入っていない試料 A、B、C は強度発現の過程が砂の入っている試料 D とは違い、また強度発現には時間がかかり、材齢 28 日においても依然大幅な強度増加が見られる。試料 B の材齢 98 日、試料 C の材齢 76 日についても試験を行ったが、強度が安定する傾向はほとんど見られない。

図-3 は繰り返し応力比 R と繰り返し载荷後の静的強度の関係を示した図である。ここで図中の斜めの実線は繰り返し応力振幅と静的強度が等しい条件を意味し、印は供試体が繰り返し载荷中に破壊した点、また破線は各供試体の強度の平均を示す。石炭灰の混合量が増えるにしたがって静的強度は増加し、砂の入っている試料 D と同程度になっている。また、いずれの試料においてもばらつきはあるものの繰り返し応力比 R の増加によって静的強度が低下する傾向は見られない。この傾向は石炭灰が入っても変わらない。

図-4 は繰り返し応力比 R と微小ひずみせん断剛性 G_0 の関係を示した図である。せん断剛性については上部载荷盤につけたギャップセンサーによって測定を行っているために供試体と载荷盤の不陸によるなじみの影響を受けるため、縦軸は G_0 を同一試料の繰り返し载荷以前の G_0^* により基準化して表している。いずれの試料においてもばらつきはあるものの繰り返し応力比の増加に伴い、微小ひずみせん断剛性は低下傾向にあることがわかる。しかし、石炭灰を混合しない場合に比べれば、低下割合はわずかであることがわかる。

4. まとめ

- ・砂の有無で材齢 28 日までの一軸強度の発現過程は異なり、石炭灰の入っている試料では材齢 76 日、98 日でも一軸強度は増加傾向にある。
- ・石炭灰を混合した試料 C の材齢 28 日の一軸強度は、砂を $p=1.0$ で混合した試料 D より大きくなったが、フロー値は石炭灰を混合した試料 C のほうが非常に大きな値を示した。
- ・石炭灰を混合しても静的強度は繰り返し荷重によって強度低下を起こさず、せん断剛性 G_0 の低下割合を小さくすることができる。
- ・よって流動化処理土に石炭灰を混合する場合、材齢による強度発現に注意すれば、流動化処理土に混合する砂の量を減らすことが可能であると考えられる。

<参考文献>1) 久野悟郎編著：土の流動化処理工法、技報堂出版、1997。2) 國生・加藤・佐々木：石炭灰を用いた流動化処理土についての基礎的研究、第 31 回関東支部技術研究発表会、2004 3) 國生・加藤・佐々木：石炭灰を添加した流動化処理土の地震時非排水せん断特性、第 39 回地盤工学研究発表会、投稿中

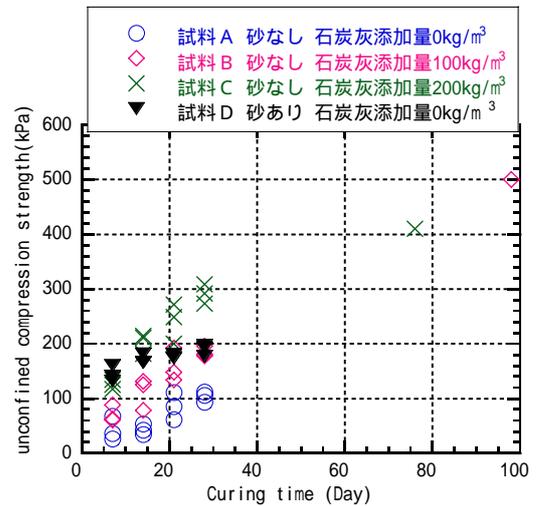


図-2 材齢と一軸強度の関係

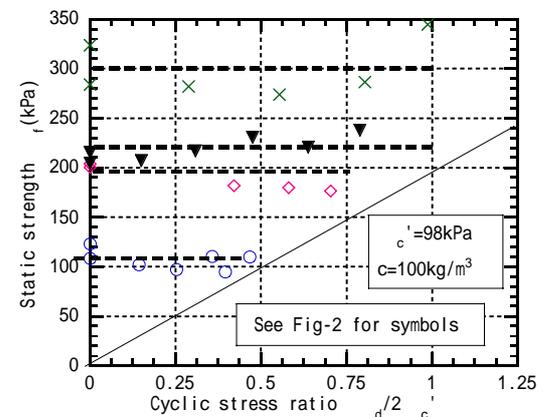


図-3 繰り返し応力比と静的強度の関係

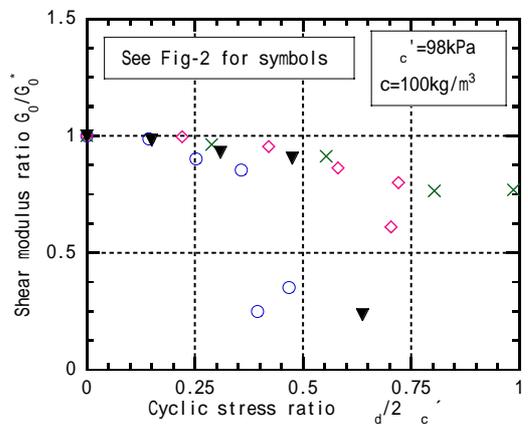


図-4 繰り返し応力比と微小ひずみせん断剛性の関係