

## 造粒石炭灰と自然土の混合地盤材料の繰返しせん断特性

山口大学大学院 学生員 西園崇志

山口大学工学部 正会員 吉本憲正 兵動正幸 中田幸男

山口大学工学部 フェロー 村田秀一

**1.はじめに** 産業廃棄物である石炭灰の有効利用促進を目的に、筆者らはこれまで石炭灰に固化材、水、造粒助剤を添加した造粒石炭灰の地盤材料としての適用性について研究を行ってきた<sup>1),2)</sup>。得られた知見として、造粒石炭灰は繰返しせん断強度が自然砂より高く、埋立材料として有用性があることが確認されている。しかしながら、造粒石炭灰の生産状況を鑑みると埋立地の規模によっては安定供給が困難な場合が生じてくる。そのような場合、従来は天然の材料と併用して、場所によって異なる材料を用いて造成を行うが、両者の繰返しせん断特性が顕著に異なるような場合には、繰返しせん断強度が低い方に依存し、繰返しせん断強度の高い材料で造成された地盤にも影響が及ぶことが懸念される。

そこで、本研究では造粒石炭灰と自然土を混合して利用することを念頭に置き、混合材料の繰返しせん断特性を把握するために、圧密非排水繰返しせん断試験を行った。また、混合する自然土の種類による影響も見つめるため、粒度分布を同じに調整した2種類の自然土を用いて検討した。

**2.試料の物理的性質および試験方法** 本研究で用いた試料は、造粒過程において(石炭灰：固化材：造粒助剤)=(85：5：10)の配合で作成され、試験時に2mm以下に粒度調整した造粒石炭灰(G.C.A)である。また、含水比が最適含水比に近い40~50%の条件で屋外養生されたものを、試験時にあらかじめ自然乾燥させて用いた。混合する自然土は、山口県下関市で採取した下関まさ土(以降 S.Masado-A)を用い、試験時に2mm以下に粒度調整したものを造粒石炭灰に種々の混合割合で混合した。また、混合する材料の粒子強度の種類の影響を見つめるために、シリカ砂と下関まさ土(以降 S.Masado-B)の初期粒度分布を揃え、これらの試料を5割造粒石炭灰に混合して試験に用いた。表-1 に用いた試料の物理的性質および混合割合を、図-1 に用いた試料の粒径加積曲線を示す。図-1 より造粒石炭灰は下関まさ土より細粒分が多く粒度分布が良いことが分かる。繰返し三軸試験は  $\sigma'_c=100\text{kPa}$  の側圧一定条件で行い、応力制御方式とし、応力振幅一定、载荷周波数 0.1Hz の条件で行った。なお全ての試験において、初期相対密度は、緩い埋立て地盤を想定し  $D_r=50\%$  を目標に供試体(直径 5cm、高さ 10cm の円筒形)を水中落下法により作成した。

**3.繰返しせん断強度** 図-2 に、軸ひずみ両振幅が  $\varepsilon_{DA}=5\%$  に至るに必要な繰返し応力比  $\sigma_d/2\sigma'_c$  と繰返し回数  $N$  の関係を示す。なお、(a)は造粒石炭灰と S.Masado-A を種々の混合割合で造粒石炭灰に混合した場合の結果であり、(b)は、シリカ砂と S.Masado-B のそれぞれに5割造粒石炭灰を混合した場合の結果である。図-2(a)より、混合することにより、自然土の繰返しせん断強度が増加していることが分かる。また、造粒石炭灰の混合割合が増加するに伴い、繰返しせん断強度曲線も上方にシフトし、繰返しせん断強度は混合割合に影響することが分かる。また図-2(b)より、初期粒度分布を揃えたシリカ砂と S.Masado-B は、S.Masado-B 方がシリカ砂よりも繰返しせん断強度曲線が上方に位置することが分かる。さらに、造粒石炭灰を5割混合した場合においても、S.Masado-B のほうがシリカ砂よりも繰返しせん断強度曲線が上方に位置している。図-3 に、図-2 (a),(b)の強度増加を定量的に評価するため、造粒石炭灰の混合割合と  $\varepsilon_{DA}=5\%$  に至った時の造粒石炭灰を混合しない場合の繰返し回数  $N=10$  回おける繰返し応力比  $\sigma_d/2\sigma'_c$  で正規化した正規化繰返し応力比の関係を示す。

キーワード 造粒石炭灰、混合材料、液状化、繰返しせん断強度、リサイクル

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部 TEL0836-85-9344

表-1 試料の物理的性質および混合割合

Sample	Composition(%)		$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$e_{max}$	$e_{min}$	$d_{50}$ (mm)
	G.C.A	S.M(Silica)				
G.C.A	-	-	2.285	2.280	1.512	0.368
S.Masado-A	-	-	2.664	1.144	0.583	0.580
Silica	-	-	2.652	0.850	0.524	0.885
S.Masado-B	-	-	2.681	1.240	0.762	0.885
G.C.A+S.Masado-A	70	30	2.387	1.849	1.218	0.429
G.C.A+S.Masado-A	50	50	2.497	1.696	1.043	0.480
G.C.A+S.Masado-A	30	70	2.571	1.488	0.865	0.524
G.C.A+S.Masado-A	10	90	2.639	1.255	0.691	0.562
G.C.A+Silica	50	50	2.455	1.528	0.999	0.603
G.C.A+S.Masado-B	50	50	2.467	1.673	1.084	0.603

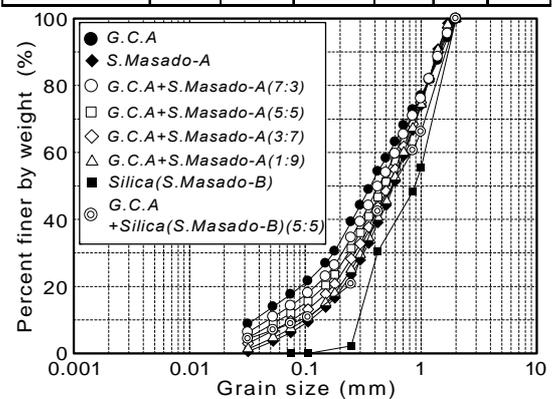


図-1 粒径加積曲線

図-3 より、造粒石炭灰と S.Masado-A を混合した材料では、5 割混合することで約 1.3 倍の繰返しせん断強度の増加があることが分かる。また、材料の種類の違いに着目すると、シリカ砂に造粒石炭灰を 5 割混合した材料は、約 1.5 倍の繰返しせん断強度の増加があり、若干ではあるが、S.Masado-B を混合した材料に比べ、強度増加が顕著である。これは、初期粒度分布は揃えているが、シリカ砂自体の繰返しせん断強度が低いため、S.Masado-B より繰返しせん断強度の増加が顕著であったと考えられる。また、繰返しせん断強度は、試験中に起こる粒子破碎の影響を受けると考えられるため<sup>2)</sup>、各試験後にふるい試験を行い、粒子破碎量を定量的に評価した。評価手法としては、表面積増加量  $S$  を用い、それと混合割合との関係として図-4 に示す。ここで用いた表面積  $S(\text{cm}^2/\text{cm}^3)$  とは 粒度試験から得られる平均粒径  $d_m$  を(1)式より求め、(2)式より算出した。ここで、 $d_1, d_2$  は 2 つのふるい目寸法(mm) を表し、 $F$  は各粒径の試料の残留率(%),  $\gamma_w$  は水の単位体積重量( $\text{kN}/\text{m}^3$ ),  $\gamma_d$  は乾燥単位体積重量( $\text{kN}/\text{m}^3$ )である。また、表面積増加量  $S$  は試験前後の表面積の差であり、(3)式より算出される。

$$d_m = \sqrt{d_1 \cdot d_2} \quad (1) \quad S = \sum \frac{F}{100} \cdot \frac{4\pi(d_m/2)^2}{(3/4)\pi(d_m/2)^3 G_s \gamma_w} \cdot \gamma_d \quad (2)$$

$$S = S_{\text{after}} - S_{\text{before}} \quad (3)$$

図-4 より、造粒石炭灰を混合しない場合において、初期粒度分布を揃えたシリカ砂と下関まさ土では、単粒子破碎試験から求めた単粒子破碎強度がシリカ砂で  $\sigma_{fm}=44.1\text{MPa}$ 、下関まさ土で  $\sigma_{fm}=25.5\text{MPa}$  と異なるため、表面積増加量が粒子強度の低い下関まさ土において多くなる。また、造粒石炭灰と下関まさ土を混合した場合においても、シリカ砂と混合した場合より、下関まさ土と混合した場合において繰返しせん断後の表面積増加量が多い。しかしながら、混合しない場合からの表面積増加量は、シリカ砂を混合した場合の方が顕著であり、これが液状化強度の増加に反映されたと思われる。S.Masado-A と造粒石炭灰の混合材料は混合割合が増加するに伴い、表面積増加量も増加していることが分かる。この表面積増加量は粒子破碎量と関連していることから、図-2(a),(b)における繰返しせん断強度の増加は、混合する材料の混合割合と、繰返しせん断中における粒子破碎が起因するものと考えられる。また、天然材料の種類によらず、造粒石炭灰を 5 割加えることで繰返しせん断強度が改善される理由として、天然の土に比べ造粒石炭灰の方が破碎しやすく、それに起因する強度増加が発揮されたためと思われる。

**5. まとめ** 本研究では、造粒石炭灰を自然土と混合して利用することを念頭に、混合材料とした場合の繰返しせん断特性を把握した。そして混合する自然土の粒子強度に着目しながら検討した。得られた知見は以下の通りである。造粒石炭灰を混合材料として利用した場合には、繰返しせん断強度特性は混合割合の影響がある。自然土(下関まさ土)の繰返しせん断強度曲線は混合しない場合より上方に位置し、5 割混合することで約 1.3 倍の繰返しせん断強度の増加がある。

混合する材料の粒子強度の影響は、粒子強度の弱い自然土の方が繰返しせん断強度が高く、繰返しせん断強度の増加は、繰返しせん断中の粒子破碎が起因するものと考えられる。

<参考文献> 1)吉本・中田・藤井・大上・鶴谷・大中：造粒石炭灰の粒子強度に着目した圧縮・せん断特性, 第 5 回環境地盤シンポジウム発表集, pp235-240, 2003, 7 2)中村・吉本・兵動・中田ら：造粒石炭灰の繰返しせん断挙動, 第 6 回地盤改良シンポジウム論文集, pp241-244, 2004, 9

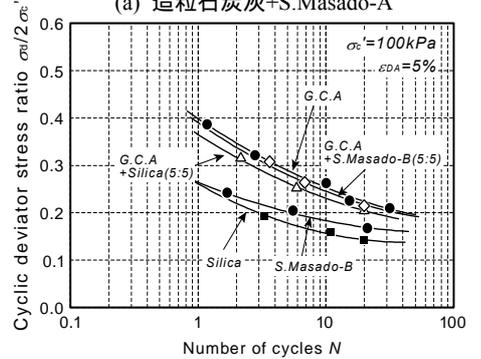
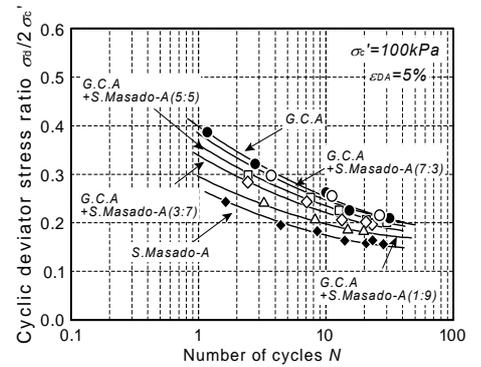


図-2 繰返し応力比  $\sigma_d/2\sigma'_v$  ~ 繰返し回数  $N$  関係

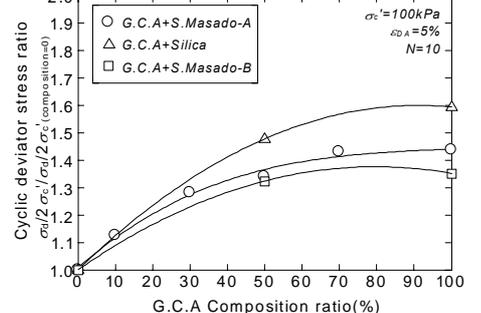


図-3 正規化繰返し応力比 ~ 混合割合関係

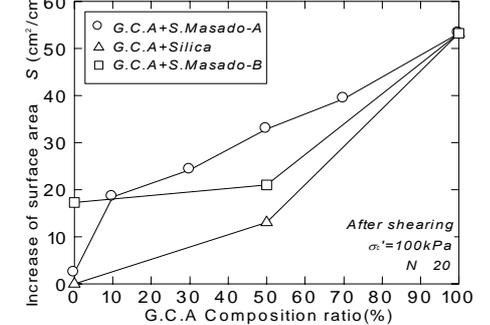


図-4 表面積増加量 ~ 混合割合関係