

造粒石炭灰と自然砂による混合材料の動的変形特性

山口大学大学院 学生会員 ○神田浩彰

山口大学大学院 正会員 吉本憲正 兵動正幸 中田幸男 村田秀一

宇部興産（株）本郷孝 大中昭 虫合一浩

1. はじめに 産業廃棄物である石炭灰の有効利用のために、石炭灰に固化剤、水、造粒補助剤を混ぜた造粒石炭灰の研究¹⁾が行われてきた。既往の研究により造粒石炭灰の繰返しせん断強度は自然砂より高く、埋め立て材として有用性があることが確認されている。しかし、埋め立て地の規模によっては造粒石炭灰の安定供給が困難になると考えられる。このような場合には天然の材料と併用し、混合材料として埋め立てに用いることになるが、混合材料を対象に地震応答解析を行

う際に動的変形係数などが必要になってくる。そこで、本研究では造粒石炭灰と自然砂の混合材料の動的変形特性を把握することを目的とした。

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：水：造粒補助剤）＝（85：5：10）の配合で作成され、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前に自然乾燥させ、試験時に2mm以下に粒度調整した造粒石炭灰（Granulated Coal Ash、以後 G.C.A）である。混合する自然砂は山口県下関市で採取された下関まさ土（以後 S.Masado-A）を用い、試験時に2mm以下に粒度調整したものを G.C.A に種々の割合で混合

した。また、混合する材料の種類の影響を見るためにシリカ砂と下関まさ土（S.Masado-B）の初期粒度分布をシリカの粒度分布に揃え、これらの材料を5割 G.C.A に混合して試験に用いた。試料の混合割合および物理的性質を表-1に示す。G.C.A は石炭灰自体に気泡が含まれており、造粒化により空隙が含まれることから、他の自然砂と比べて密度が小さく、最大空隙比・最小空隙比共に大きな値を示すことが特徴である。図-1に G.C.A の混合割合と空隙比の関係を示す。G.C.A の混合割合の増加に伴い、混合材料の最大空隙比・最小空隙比は G.C.A と同じように空隙比の幅が広がっていくことがわかる。動的変形試験は供試体寸法を外径10cm、内径6cm、高さ10cmとし、G.C.A および混合材料は緩い埋め立て地盤を想定し、水中落下法により供試体を作成し、目標相対密度を60%とした。圧密は等方圧密応力状態で行い、 $\sigma'_c = 100\text{kPa}$ の側圧一定条件

表-1 試料の物理的性質および配合割合

Sample	Composition(%)		ρ_s (g/cm^3)	$e_{\max}$	$e_{\min}$	d_{50} (mm)	$e_{\max}-e_{\min}$
	G.C.A	S.M(Silica)					
G.C.A	100	-	2.285	2.280	1.512	0.368	0.768
S.Masado-A	-	100	2.664	1.144	0.583	0.580	0.561
Silica	-	100	2.652	0.850	0.524	0.866	0.326
S.Masado-B	-	100	2.681	1.240	0.762	0.866	0.478
G.C.A+S.Masado-A	70	30	2.387	1.849	1.218	0.429	0.631
G.C.A+S.Masado-A	50	50	2.497	1.666	1.043	0.480	0.653
G.C.A+S.Masado-A	30	70	2.571	1.488	0.865	0.524	0.623
G.C.A+S.Masado-A	10	90	2.639	1.255	0.691	0.562	0.564
G.C.A+Silica	50	50	2.455	1.528	0.999	0.603	0.529
G.C.A+S.Masado-B	50	50	2.467	1.673	1.084	0.603	0.589

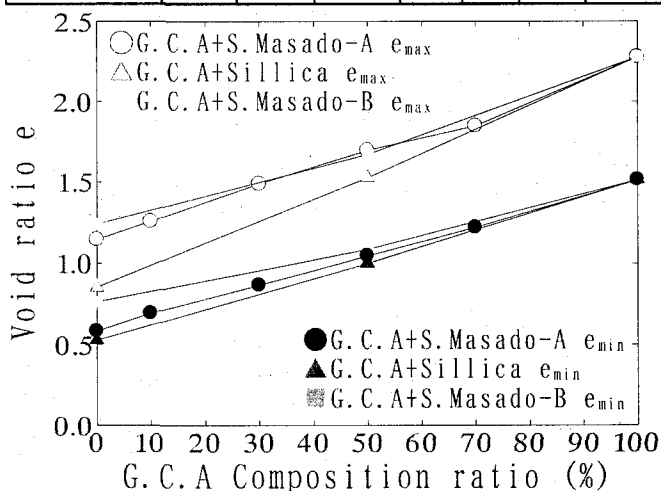
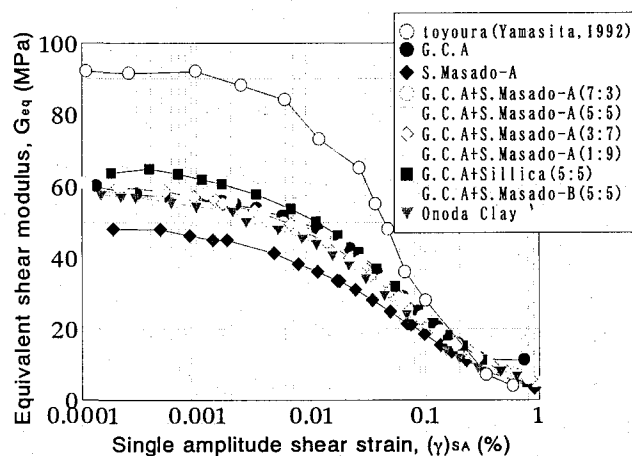


図-1 空隙比—混合割合関係

図-2 G_{eq} と γ_{sa} の関係

とし、せん断は応力制御方式で、応力振幅一定の载荷周波数 0.1Hz で行った。

3. 試験結果 図-2 に等価せん断剛性率 G_{eq} と方振幅せん断ひずみ γ_{sa} の関係を示す。比較のために 1992 年山下らによって行われた豊浦砂の結果²⁾と小野田粘土の結果も記載してある。図より、G.C.A は粘土と同じような性質を示すことがわかる。豊浦砂は初期に剛性の低下が見られないが、G.C.A 及び小野田粘土は初期から剛性の低下が始まっている。また、大変形領域において G.C.A は豊浦砂、小野田粘土よりも高い剛性を示している。G.C.A を下関まさ土と混合させた場合を見ると、G.C.A を 3 割程度混合させることで G.C.A とほぼ同等の剛性を示すことが確認できる。また、1 割程度混合させるだけでも剛性が高くなることも確認できる。次に、図-3 に等価せん断剛性率 G_{eq} を初期せん断剛性率 G_0 で除した値と γ_{sa} の関係を示しているが、混合割合による剛性の低下傾向の差は見られない。また、図-2 の G.C.A にシリカを混合させた場合と、S.Masado-B を混合させた場合を比べると、シリカを加えた方が高い剛性を示している。これより、混合させる自然砂の種類が剛性に影響を与えることがわかる。図-4 に G_0 と混合割合の関係を示す。G.C.A の混合割合が 3 割程度になるまでは G_0 は上昇するが 3 割を超えると G_0 に差は見られなくなる。またシリカを混合させた場合の G_0 は下関まさ土を混合させた場合より高い値を示している。図-5 に履歴減衰率 h と γ_{sa} の関係を示す。図より、G.C.A は豊浦砂に比べ h の上昇は緩やかであり、小野田粘土に比べ低い値を示すことがわかる。G.C.A の G_{eq} が極端に小さくならないため、 h は大きくならないと考えられる。混合割合の影響を見ると、混合割合による影響は見られない。さらに、シリカを混合させた場合の h も下関まさ土を混合させた場合も同じような傾向を示し、 h は混合する自然砂の種類に影響を受けないことがわかる。次に $\gamma_{sa}=0.1\%$ の時の h と G.C.A の混合割合の関係を図-6 に示す。混合割合の増加に伴い h は減少し、G.C.A のみの場合に一番低くなることがわかる。

4. まとめ 造粒石炭灰と自然砂の混合材料の動的変形特性を把握するために、混合材料を用いて動的変形試験を行い以下の知見が得られた。①G.C.A を自然砂に 3 割程度混合させることで G.C.A と同程度の等価せん断剛性率を有する。②G.C.A の動的変形特性は粘土に近く、剛性の低下は緩やかに起こる。③G.C.A の混合割合が増加すると履歴減衰率は低下していき、G.C.A のみの場合に最も低い値を示す。

【参考文献】1)吉本憲正、中田幸男、村田秀一、兵動正幸：造粒石炭灰の液状化抵抗性、土木学会論文集 No.813 pp103-114 2) 山下聡：砂の繰返し载荷試験結果に及ぼす諸因子の影響と試験結果の適用に関する研究、北海道大学博士論文，1992

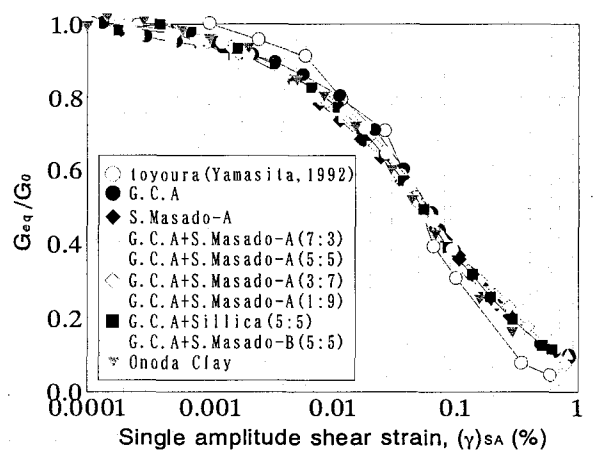


図-3 G_{eq}/G_0 と γ_{sa} の関係

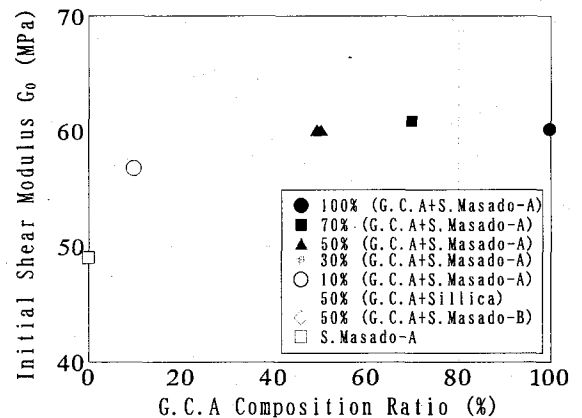


図-4 G_0 と混合割合の関係

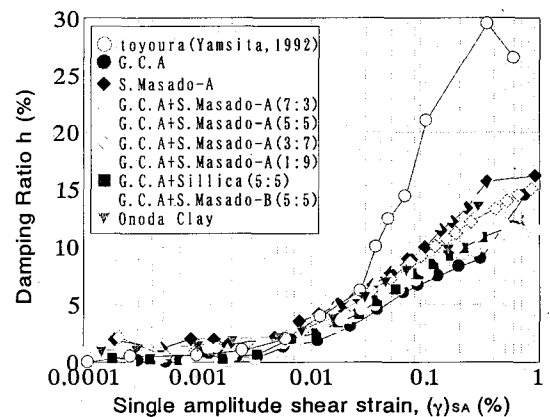


図-5 h と γ_{sa} の関係

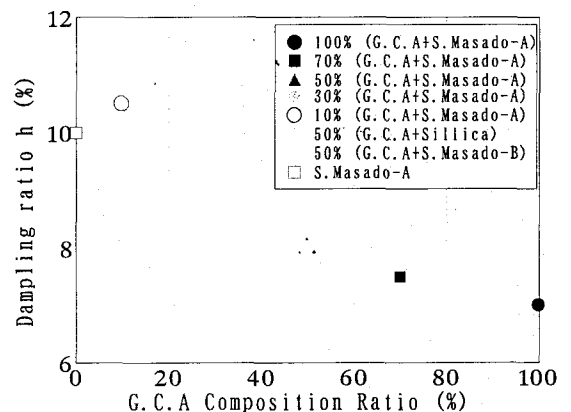


図-6 h と混合割合の関係