

オンライン地震応答実験による造粒石炭灰の地震時応答

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 オレンセ・ロランド

宇部興産(株) 正会員 大中昭 本郷孝

1. はじめに 産業廃棄物である石炭灰の有効利用を目的とし、石炭灰に固化材・水・造粒助材を添加し造粒化した造粒石炭灰の地盤材料への適応性について研究が進められてきた。既往の研究により粒子強度が低く圧縮性の高い造粒石炭灰において自然砂より繰返しせん断強度が高いことが確認されている¹⁾。しかし、実際に造粒石炭灰を埋め立て材料として用いる場合は地震時の応答特性を把握する必要がある。そこで、本研究では造粒石炭灰の地震時応答特性を豊浦砂と比較することによりその違いを把握することを目的とした。

2. オンライン地震応答実験の概要 オンライン地震応答実験²⁾では、図-1のように解析対象地盤を質点系に離散化し基盤面から地震動を入力する。そして、コンピュータにより質点系の運動方程式を解くことにより応答変位を求める。得られた応答変位に相当するせん断ひずみを供試体に与え、計測された復元力を用いて次のステップの応答変位を計算する。以上の過程を地震動が継続する間繰り返すことで、時々刻々と変化する非線形な地盤の復元力を供試体から直接求め、それをオンラインで解析層と結びつけることで地震時の地盤の挙動を再現するものである。本研究では実験装置の都合上要素試験を行う層は1つとし、他の層は修正 R-O モデルを適応した解析層とした。

3. 実験条件及び用いた試料 本研究では神戸ポートアイランドの地盤をモデル化の対象とした。神戸ポートアイランドの構成地盤³⁾のうちN値が急激に増加している-33~-50mの層を基盤と仮定し、この基盤とした層より上層に対して応答実験を行った。図-1に対象とした地盤構成を示す。また、構成する層を上からS1~S4とする。地下水位が-3m地点にあるためS2層を液状化対称層とし、この層をオンライン層とした。S2以外の層は修正 R-O モデルによる解析層とした。用いた試料は2mm以下に粒度調整した造粒石炭灰(以下G.C.Aと呼ぶ)と比較材料として豊浦砂を用いた。各材料の物理的性質を表-1に示す。豊浦砂は空中落下法、G.C.Aは水中落下法により初期相対密度を60%とし供試体を作成した。修正 R-O モデルの解析に必要なパラメータ G_0 ・ τ_f ・ α ・ β は神戸ポートアイランドの地盤データを基に計算より求めた⁴⁾。さらに、要素試験に用いた試料により解析層S3・S4の各パラメータが変化するため試料ごとに補正を行い試料に応じたパラメータを用い実験を行った。各試料に対する解析用のパラメータを図-1に合わせて示す。試験機は中空ねじりせん断試験機を用い、入力波は兵庫県南部地震の際に神戸ポートアイランドの-33m地点で観測された地震波を用いた。最大加速度 α_{max} は544galである。用いた地震波の波形を図-2に示す。さらに、加速度の大きさによる応答特性の違いを見るために最大加速度振幅を163gal(0.3倍)、272gal(0.5倍)、381gal(0.7倍)に調整した地震波を用いて同様の実験を行った。

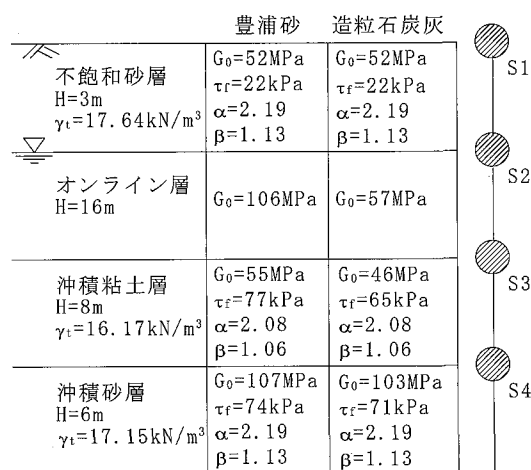


図-1 想定地盤の構成及びパラメータ

表-1 試料の物理的性質

試料名	Gs	e _{max}	e _{min}	Uc	d ₅₀
豊浦砂	2.643	0.793	0.635	1.200	0.192
造粒石炭灰	2.285	2.280	0.966	4.957	0.138

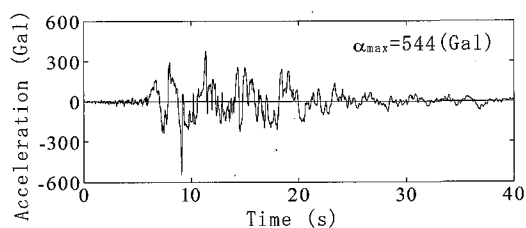


図-2 入力波

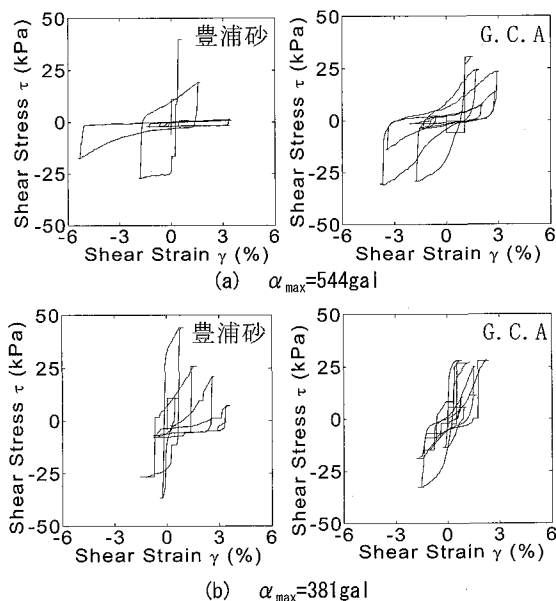


図-3 応力ひずみ関係

4. 実験結果及び考察 本研究では過剰間隙水圧比が0.95に至ったものを液状化とした。オンライン層において豊浦砂は $\alpha_{max}=163\text{gal}$ 以外が液状化し、G.C.Aは $\alpha_{max}=544\text{gal}$ のみ液状化した。ここで、両方の試料が液状化した $\alpha_{max}=544\text{gal}$ と豊浦砂のみが液状化した $\alpha_{max}=381\text{gal}$ の応力ひずみ関係を図-3に示す。図-3の豊浦砂の応力ひずみ関係を見ると、剛性を失っているのが確認できる。また、図-3(a)に示すG.C.Aの応力ひずみ関係を見ても剛性を失っている

様子が分かるが、図-3(b)のG.C.Aの応力ひずみ関係より、ある程度の剛性を保っている様子がみられる。次に、 $\alpha_{max}=544\text{gal}$ と $\alpha_{max}=381\text{gal}$ の過剰間隙水圧比の時刻歴を図-4に示す。図-4(a)からも豊浦砂・G.C.A共に液状化に至っていることが確認できる。しかし、豊浦砂に比べG.C.Aの過剰間隙水圧比は緩やかに上昇していることが分かる。これは図-4(b)を見るとより顕著な差が見られる。豊浦砂の過剰間隙水圧比の上昇は図-4(a)に比べると緩やかであるが最終的に液状化に至っている。しかし、G.C.Aの場合は過剰間隙水圧比の上昇も緩やかになりかつ液状化に至っていないことがわかる。図-5に入力波と $\alpha_{max}=381\text{gal}$ におけるS1層の応答加速度スペクトルを示す。豊浦砂、G.C.A共に短周期の成分が減少している。また、入力波の卓越周期が0.7秒付近にあるのに対し、応答加速度スペクトルを見ると卓越周期は豊浦砂の場合1.5秒と4秒付近に、G.C.Aは4秒付近に変化している。豊浦砂は液状化に至り剛性を失うので加速度が伝達されにくかったと考えられるが、G.C.Aはそれ自体の剛性が低いため液状化に至らなくても上層に伝わる加速度は減衰したと考えられる⁵⁾。以上より、G.C.Aは液状化に至らなくても上層に伝わる地震波を長周期化すると考えられる。図-6に

$\alpha_{max}=381\text{gal}$ の応答変位の深度分布を示す。豊浦砂に対してG.C.Aは小さい応答変位を示すことがわかる。G.C.Aが液状化に至っていないにも関わらず、ある程度大きな変位を示すのはG.C.Aのせん断剛性が低いためと考えられる。さらに、図-7において、最大加速度 α_{max} とオンライン層の最大過剰間隙水圧比及び最大応答変位の関係を示す。いずれの加速度でもG.C.Aは豊浦砂に比べて過剰間隙水圧の発生が抑えられていることが分かる。また、最大応答変位との関係では、381galと544galにおいては豊浦砂に比べてG.C.Aの応答変位は小さいことがわかる。163galと272galの時に豊浦砂とG.C.Aは近い値を示すが、これはG.C.Aのせん断剛性が低いため、変位が大きかったと考えられる。以上のことから造粒石炭灰においては、小さな加速度に対して水圧の上昇を抑え同等の変位を示し、大きな加速度に対して水圧の上昇はあるが変位は大幅に抑制できることが確認された。

5. まとめ 神戸ポートアイランドの地盤を対象に兵庫県南部地震の地震波を用いオンライン地震応答実験を行った結果、G.C.Aの地震時応答特性として以下の知見が得られた。①地表面に伝わる地震波は加速度の大きさによらず長周期化する。②入力加速度の大きさによらずG.C.Aは豊浦砂より過剰間隙水圧が上昇しにくい。③造粒石炭灰は入力加速度が小さい場合は材料の特性により変位が出やすいが、大きな加速度に対しては変位が出にくいことが確認された。

【参考文献】

- 1) 吉本憲正, 兵動正幸, 中田幸男, 村田秀一, 本郷孝, 大中昭: 造粒石炭灰の液状化抵抗性, 土木学会論文集 C Vol. 62, No. 1, pp246-257, 2006
- 2) 高橋直樹, 兵動正幸, 吉本憲正, 山本陽一: 粘土・砂相互地盤の地震道徳性に関するオンライン地震応答実験, 土木学会論文集 No. 764/III-67, pp207-219, 2004
- 3) 藤川智, 林康裕, 福武毅芳: 洪積層及び深部堆積層の非線形性が表層地盤応答及び建物応答に与える影響についての検討: 日本建築学会構造系論文集 No. 545, pp71-77, 2001
- 4) 吉本憲正, 兵動正幸, 中田幸男, 村田秀一, 西園崇志, 本郷孝, 大中昭, 虫合一浩: 造粒石炭灰を混合した土の繰返しせん断特性, 第7回地盤改良シンポジウム論文集, pp. 21-26, 2006

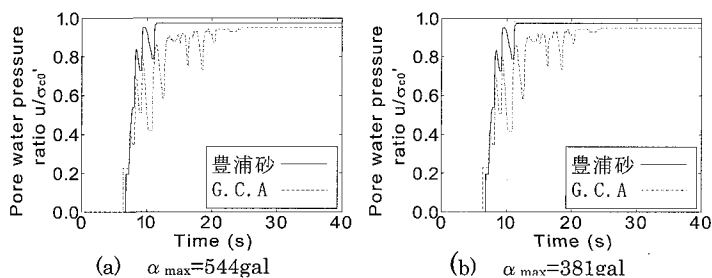


図-4 過剰間隙水圧比時刻歴

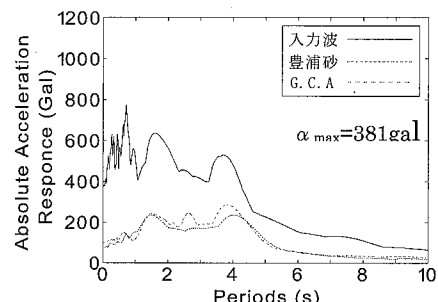


図-5 応答加速度スペクトル

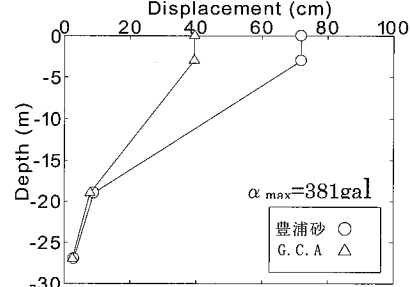


図-6 応答変位の深度分布

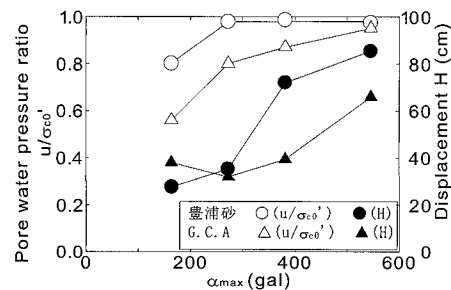


図-7 最大過剰間隙水圧及び最大応答変位と加速度の関係