

オンライン地震応答実験による粘土層を含む飽和砂地盤の地震応答特性の評価

山口大学 学生会員 ○木村真也
 山口大学 正会員 兵動正幸
 山口大学 正会員 吉本憲正
 三井住友建設(株) 正会員 山本陽一
 三井住友建設(株) 正会員 高橋直樹
 復建調査設計(株) 正会員 河本好広

1. まえがき

表層地盤の液状化特性が下層地盤の特性の違いにより大きく影響を受けることが知られている。これは地盤の地層構成や土の非線形性の相違により地震動の伝達特性が異なるためであると考えられる。そこで、本研究では砂層及び粘土層の様々な組み合わせから成る地盤を対象に入力加速度レベル、さらに粘土層の圧密状態を変化させてオンライン地震応答実験を実施した。その結果から粘土層の存在に着目して地震時の応答特性を検討した。

2. 実験概要

オンライン地震応答実験とは、コンピューターにより応答計算と室内要素試験をオンラインで結合することで、構造物及び基礎地盤の地震時挙動をリアルタイムでシミュレートするものである。¹⁾ 図-1 に解析対象モデルを示す。図のように水平地盤を1次元6質点系にモデル化し、土要素の大変形が予想される地下水位以下の3層においては要素実験を実施することで復元力を測定し、その他の層は数値モデルとして修正 R-O モデルを適用して実験を行った。要素実験の試料には砂層として豊浦標準砂を用い、粘土層として山口県小野田市で採取された小野田粘土の再構成試料を使用した。供試体作製方法は砂供試体については直径 6cm、高さ 4cm の円柱形供試体を水中落下法により相対密度 $Dr=50\%$ を目標に作製し、粘土供試体は 50kPa まで予圧密を行った後、所定の圧密応力まで段階載荷させて作製した。なお、粘土供試体の寸法は圧密時間短縮のため高さを 2cm とした。入力加速度には兵庫県南部地震の際にポートアイランドで SMAC 強震計により観測された最大加速度 570Gal の波形を使用している。表-1 に実験ケースを示す。本研究では、オンライン層の 3 層目に粘土層を導入したが、その圧密度を変化させて実験を実施した。入力加速度は最大値 300Gal、570Gal の 2 通りで行い、粘土の圧密状態は正規圧密粘土の他に未圧密粘土として圧密度 $U=50\%$ 、過圧密粘土として過圧密比 $OCR=5$ のものを使用している。

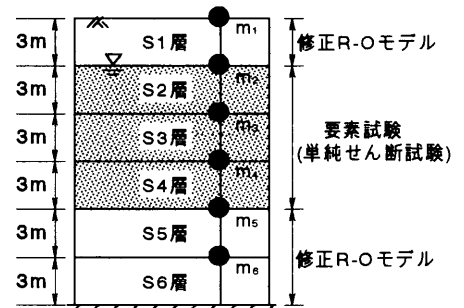


図-1 解析対象モデル

表-1 実験ケース

ケース名	SSS300	SSC300	SSS	SSC	SSC0.5	SSC5
S1層	不飽和解析層					
S2層	砂	砂	砂	砂	砂	砂
S3層	砂	砂	砂	砂	砂	砂
S4層	砂	粘土	砂	粘土	未圧密粘土	過圧密粘土
S5,6層	飽和解析層					
最大入力加速度(Gal)	300			570		

3. 実験結果及び考察

まず、入力加速度レベルを変化させた実験結果について考察を行う。実験ケースは砂層のみで構成される SSS300 及び SSS と S4 層に粘土層を含む SSC300 と SSC を対象としている。図-2 に各入力加速度レベルにおける S2 層の間隙水圧比時刻歴を示す。この図より、入力加速度が大きくなると 570Gal の結果では両実験ケース共に間隙水圧比が 1.0 に達し殆ど違いが見られないが、入

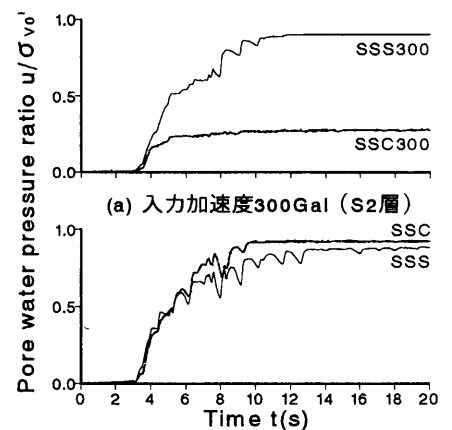


図-2 間隙水圧比時刻歴

キーワード：地震応答，入力加速度，間隙水圧，圧密度，粘土層

連絡先：〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部 TEL(0836)85-9344 FAX(0836)85-9301

力加速度 300Gal の場合においては、SSS300 の S2 層で液状化が見られるのに対し、SSC300 では液状化が発生していないことが見て取れる。これより、ある程度以下の地震動であれば、粘土層を含むことで上層の飽和砂層の液状化を抑制されることがわかる。以上より、入力加速度の大きさによって地震応答に及ぼす粘土層の影響が異なることがいえる。続いて、SSC0.5、SSC、SSC5 から得られた結果を比較することにより、粘土層の圧密状態の相違が上層の飽和砂層に与える影響について検討を行う。図-3 に、せん断応力-せん断ひずみ関係を示す。なお、図は粘土層の S4 層における結果である。この図から、未圧密粘土のひずみが最も大きく、OCR=5 の粘土においては最も大きく現れている。図-4 に S2、S4 層における間隙水圧比の時刻歴を示す。S2 層に着目すると、間隙水圧の発生過程としては圧密が進行している粘土層を含むものほど急激に上昇していることが見受けられる。これらの結果より、上層の液状化に与える影響はその下に堆積する粘土の変形特性が大きく関係していることがわかる。図-5 に m2~m5 における応答加速度時刻歴を示す。なお、ここでは代表として SSC0.5 と SSC5 の結果を示す。両ケースとも質点 m4 で大きく減衰し、SSC0.5 では減衰はより顕著なものとなっている。また、m3、m4 に関して、SSC0.5 では SSC5 と比べ長周期化する傾向も認められる。これは、地盤が塑性変形することにより消費されるエネルギーが粘土の圧密状態の相違により異なるためであると考えられる。図-6 に、地表面における加速度応答スペクトルを示す。固有周期が 1 秒よりも小さい短周期側の応答は、実験ケース SSS で最も大きく、他のケースでは粘土が軟らかくなるに従って小さくなる。一方、固有周期が 1 秒よりも長周期側ではこの傾向が逆転し、2 秒付近の応答に着目すると、SSC0.5 が最大となることが認められる。これらのことから、液状化層の下に軟らかい粘土層がある場合には、固有周期 1 秒よりも短周期側の構造物に対しては免震的な効果を発揮するが、それよりも長周期側の構造物に対しては逆に他のケースよりも増幅する可能性が高くなると考えられる。

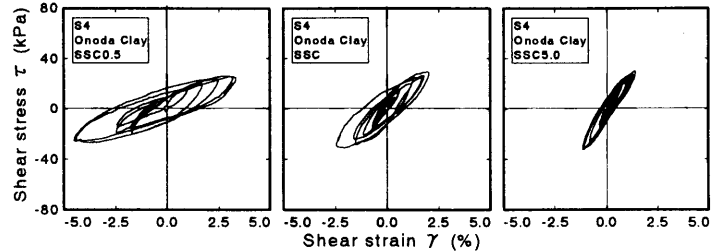


図-3 せん断応力-せん断ひずみ

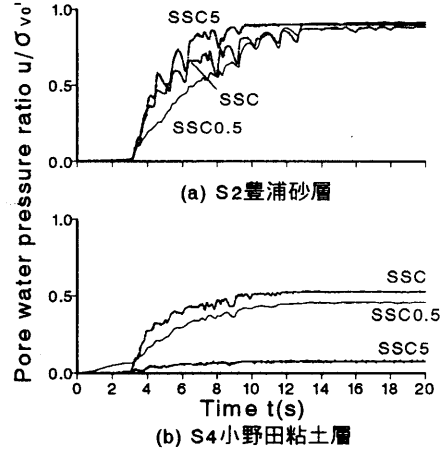


図-4 間隙水圧比時刻歴

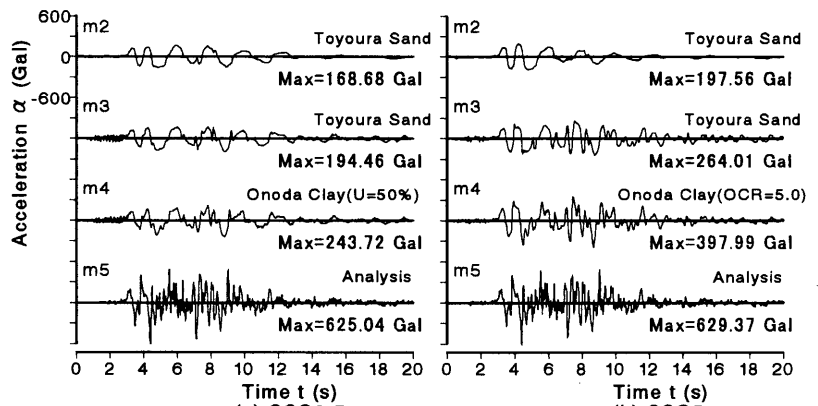


図-5 応答加速度時刻歴

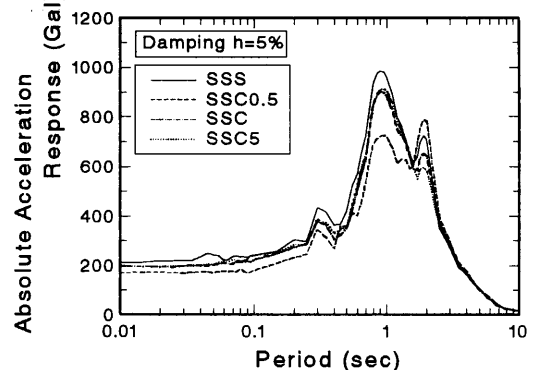


図-6 加速度の応答スペクトル

4. 結論

本研究で得られた知見をまとめると以下の通りである。

- (1) ある程度の地震動であれば、粘土層を含むことで上層の飽和砂層の液状化を抑制できる。
- (2) 粘土層の圧密状態による比較により、圧密の進行していない未圧密粘土ほど変形が大きく、応答の減衰は著しい。また、粘土の圧密状態により上層砂層での間隙水圧の発生過程が異なる。
- (3) 液状化層の下に軟らかい粘土層がある場合、短周期側の構造物に関しては免震的な効果を発揮する。

【参考文献】

1)日下部伸, 森尾敏, 岡林巧, 藤井照久, 兵動正幸: 簡易単純せん断試験装置の試作と種々の液状化試験への適用, 土木学会論文集, No.617/III-46, pp.299-304, 1999.