

液状化した地盤における流体的挙動の継続時間

○不動建設 正会員 大林 淳
 広島大学 フェロー 佐々木 康
 広島大学 学生会員 楠 木 勝也

1. はじめに

筆者らはこれまでに、液状化地盤上の盛土の破壊メカニズムを解明するために、液状化後の土の力学特性について研究を行ってきた。模型盛土を用いた土槽実験の結果などから、液状化した後の地盤は流体として振る舞うことを確認した。しかし、液状化した地盤がどのようなメカニズムで流体的な挙動を呈する状態となり、その後の過剰間隙水圧の消散にともなって、どのように強度を回復していくかについては明らかでない部分がある。そこで本研究では、液状化した地盤内の粒子挙動をCCDカメラで直接計測し、液状化した地盤が流体的な状態となるメカニズムについて考察した。計測した粒子の沈降量や沈降速度から、液状化後の粒子はその骨格構造が崩壊した後に沈降再堆積する挙動については文献2)にモデル化して考察した。ここではさらに、液状化後に流体的な挙動を呈する層がどのような時間変化を示すかについて考察した。

2. 実験の方法と結果

実験は図-1に示すようなアクリル製円筒型の土槽にガラスビーズ（以下GB）を用いて緩い地盤を作成し、振り子式ハンマーによって土槽を一回打撃して、これを液状化させるものである。実験方法の詳細および実験材料については文献3)を参照されたい。

液状化した地盤をCCDカメラで直接計測した結果得られた粒子沈降の時刻歴と、地盤中に設置した間隙水圧計で計測した過剰間隙水圧の値を比較して図-2に示した。過剰間隙水圧の時刻歴から、ハンマーによる打撃によって完全液状化に達していることが明らかである。過剰間隙水圧は一定時間その値を保った後に深いところから順次、消散過程に入る。一方、水圧計を設置した深さと同じ深さにある粒子の沈降挙動を見ると、粒子沈降は過剰間隙水圧が初期有効拘束圧と同じ値を保っている間に生じており、過剰間隙水圧の消散過程に至るとほぼ停止していることが明らかである。

図-3には実験の前後に計測した層厚の変化量と初期層厚から計算される体積ひずみ量を初期間隙比で整理して示した。GBを用いた実験は材料の粒径や初期層厚を変化させて実施しているが、結果はこれらの影響をほとんど受けずに、初期間隙比のみの関数として示すことができた。これは、完全液状化した後の体積変化が骨格構造の崩壊した粒子の沈降堆積挙動となっているために、初期の有効応力に依存していないことを示していると考えられる。図中には、筆者らが行った豊浦砂を用いた実験結果と Kokusho⁴⁾が実施した実験結果から読み取った値も併せて示した。豊

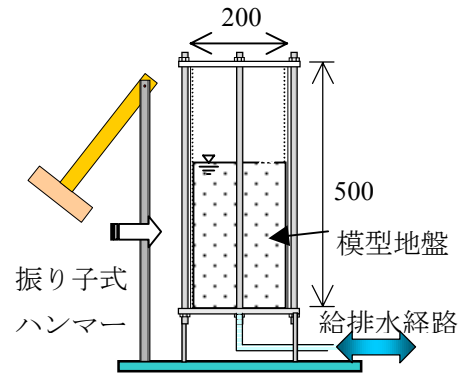


図-1 実験装置 (単位 mm)

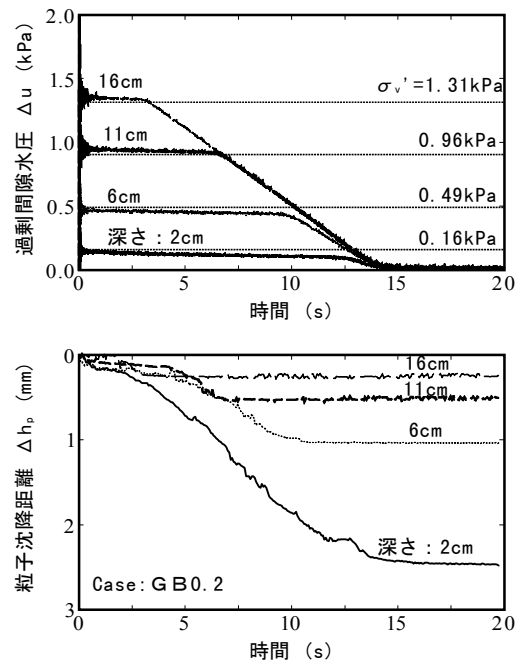


図-2 粒子沈降と過剰間隙水圧の時刻歴

液状化, 過剰間隙水圧, 土粒子, 流体的挙動, 継続時間

東京都台東区台東 1-2-1 tel 03-3837-6034 fax 03-3837-6158

浦砂においてもGBと同様の傾向を示している。

3. 粒子沈降挙動のモデル化

液状化による土の骨格構造の崩壊と、その後の粒子の沈降再堆積について文献2)では図-4に示すモデルによって説明できることを示した。これによれば、粒子間距離は間隙比を用いて示すことが可能で、液状化前後の間隙比の変化は図-3に示した体積ひずみを用いて計算することができる。したがって、液状化による粒子間距離の減少量は式(1)で計算され、任意深さzにおける粒子の沈降距離は、液状化層底面からその深さまでに存在する粒子の個数を考えて式(2)で計算することができる。

$$\Delta h = \{V_s(1+e_0)\}^{1/3} - \{V_s(1+e_1)\}^{1/3} = \{V_s(1+e_0)\}^{1/3} \{1 - (1-\varepsilon_v)^{1/3}\} \quad (1)$$

$$\Delta h(z) = \{1 - (1-\varepsilon_v)^{1/3}\} (H_0 - z) \quad (2)$$

ここに V_s : 土粒子体積 e_0, e_1 : 液状化前後の間隙比

ε_v : 体積ひずみ Δh : 粒子間距離の減少量

H_0 : 初期層厚 z : 深さ

また、粒子の沈降速度を Rubey の式を用いて、相互干渉などの影響による補正を加えることによって推測できることから、任意の深さにおける粒子の沈降時間が計算できる。この計算結果と CCD カメラで計測した粒子沈降時間が、よい一致を示すことを文献2)では確認している。

4. 流体的挙動の継続時間

粒子が沈降堆積している間の地盤は間隙水と粒子からなる懸濁状態と考えられる。したがって、任意の深さにおける粒子の沈降時間が計算できれば流体的性質を呈する時間を推測することができる。

図-5には豊浦砂について液状化層厚と初期間隙比から液状化層表面にある粒子が沈降に要する時間を計算したものである。Kokusho⁴⁾は2層地盤を筒型容器内で液状化させ、各層上面の沈降時間を観測している。実験における各層の層厚と密度をプロットすると各層が沈降を継続する時間は概ね下部砂層が28s、上部砂層が約70sと推測される。一方、実験においてKokushoが計測した時間は下部砂層で25s、上部砂層で55sとなっており、概ねよい一致を示していると考えられる。

5. おわりに

本研究では、完全に液状化した地盤内の粒子の沈降挙動をモデル化し計算する手法に基づいて、液状化後の地盤が流体的挙動を呈している時間の予測方法について考察した。これより、図-6に示すような時間とともに変化する流体的な挙動を示す層の厚さを予測することが可能となる。

参考文献 1)Sasaki,Y.et.al : Model tests on a seismic failure of an embankment due to soil liquefaction, Proc. 2nd Int. Nat. Conf. on Earthq. Geotech. Eng.,Vol.2,pp.691-696,1999. 2)大林他 : 液状化した地盤内の粒子沈降の継続時間,第36回地盤工学研究発表会,2001. 3)小方他 : CCD カメラによる液状化地盤の撮影と粒子挙動に関する考察, 第35回地盤工学研究発表会,pp.1661-1662,2000. 4)Kokusho,T. : Water film in liquefied sand and its effect on lateral spread, JGGE, Vol.125, No.10, pp.817-826, 1999.

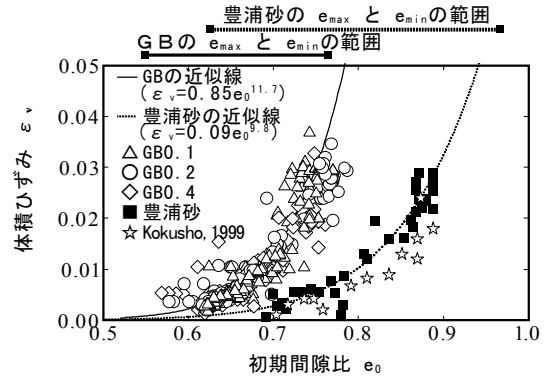


図-3 体積ひずみと初期間隙比

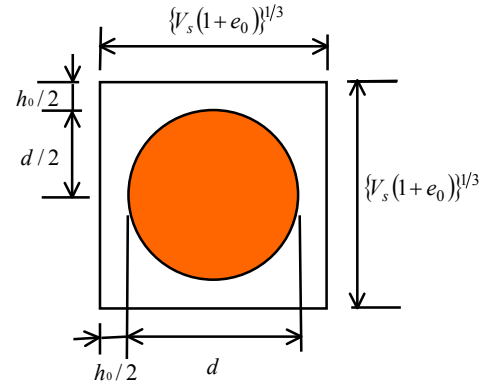


図-4 粒子のモデル

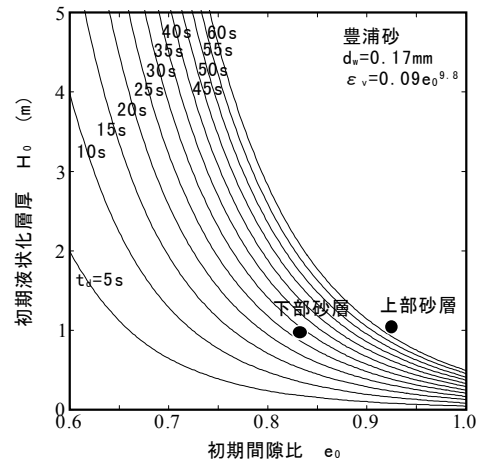


図-5 液状化層厚と初期間隙比から計算される流体的挙動の継続時間

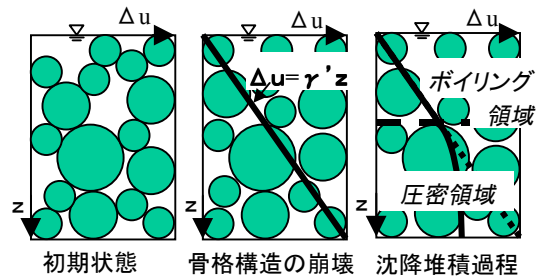


図-6 液状化後の地盤変化の模式図