

飽和度変化に着目した不飽和砂の動的挙動評価に関する実験的研究

山梨大学大学院 学生会員○藤森 弘晃
 山梨大学大学院 正会員 荒木功平, 後藤聡
 東電設計株式会社 正会員 北 爪 貴 史

1. はじめに

新潟県上中越沖を震源とした新潟県中越沖地震(2007年7月16日)では、柏崎刈羽原子力発電所の敷地で不飽和の埋め戻し土が繰り返しせん断による沈下を起こした¹⁾。また、東北地方太平洋沖地震(2011年3月11日)では、宮城県内で谷地形に盛られた厚い埋め戻し土により造成された盛土(不飽和谷埋め盛土)上の住宅地で揺すり込み沈下が起こり、大きく注目された²⁾。このように、近年緩く埋め立てられた地盤で地震により不飽和状態の地盤の沈下現象が度々観測されている。しかしながら、地震動に伴う不飽和地盤の沈下現象のメカニズムに関する研究、報告は稀少である。

本研究では、地震時の不飽和地盤における沈下挙動のメカニズム解明に向け実験的研究を行っている。具体的には、不飽和状態の模擬地盤の飽和度、乾燥密度に着目し、土槽サイズを変えて地震加速度～沈下量関係を求めている。また、地震時の不飽和地盤の破壊形態と変形挙動を初期乾燥密度と初期飽和度から評価する新たな試みを提案している。

2. 実験方法

アクリル製の奥行211mm、幅351mm、高さ260mmの土槽(以下、小型土槽、初期試料体積10000cm³)と、アクリル製の奥行200mm、幅950mm、高さ550mmの土槽(以下、大型土槽、初期試料体積76000cm³)の2種類を用いる。ここで、模型地盤は密度が均一になるように留意して転圧により作成した(層数5)。振動条件として正弦波で振動数を5Hzに設定し、図1、図2に小型土槽、大型土槽の沈下量の計測値点を示している。図1、2に示すA面やa面に平行に(B面やb面に直交方向に)1分間振動させた後、沈下量を計測する。100Galずつ加速度を増やして同様の作業を行い、200Galから700Galまで沈下量～加速度関係を求める。

なお、実験に用いた試料は東北地方太平洋沖地震で茨城県鹿島港付近の重要構造物周辺の不飽和地盤で大きい沈下が発生したことから茨城県鹿島港付近で採取した鹿島海浜砂を用いた。表1にその物理特性を示す。

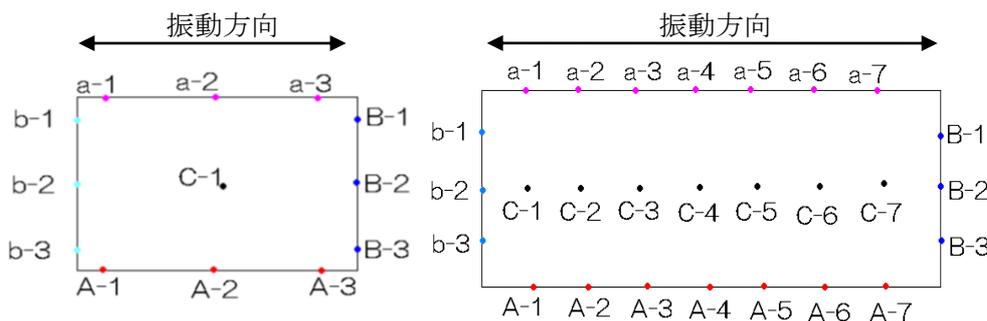


図1 模型小型土槽上面図

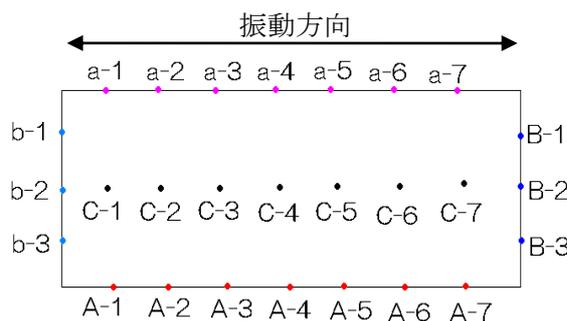


図2 模型大型土槽上面図

表1 鹿島海浜砂の物理特性

土粒子密度	ρ_s	(g/cm ³)	2.676
最大間隙比	e_{max}	-	1.082
最小間隙比	e_{min}	-	0.652
均等係数	U_c	-	1.864
曲率係数	U_c'	-	0.867
平均粒径	D_{50}	(mm)	0.200
最大乾燥密度	ρ_{dmax}	(g/cm ³)	1.634
最適含水比	w_{opt}	(%)	15.8

3. 実験結果及び考察

(1) 地震動に伴う沈下挙動

図3に、初期乾燥密度 $\rho_{d0} = 1.25 \text{ Mg/m}^3$ において、初期飽和度を变化させた場合の加速度～計測点全点の平均沈下量の関係を示している。なお、図4はそのときの平均乾燥密度～平均飽和度関係を示している。図3、図4から初期飽和度 S_{r0} が大きいほど沈下量が増大する傾向にあることが分かる。

キーワード 不飽和砂, 振動台, 沈下特性

連絡先 〒400-0016 山梨県甲府市武田 4-3-11 山梨大学大学院医学工学総合研究部 TEL 055-220-8528

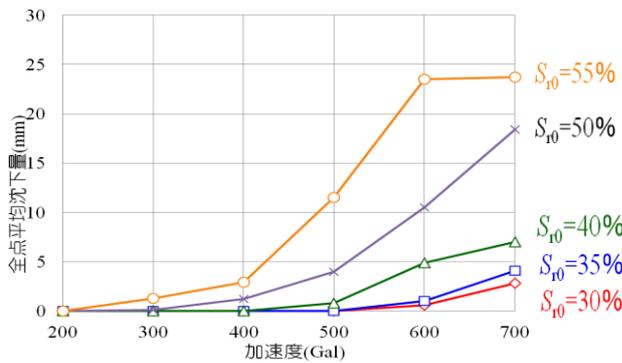


図3 初期乾燥密度 $\rho_{d0} = 1.25 \text{ Mg/m}^3$ の沈下挙動

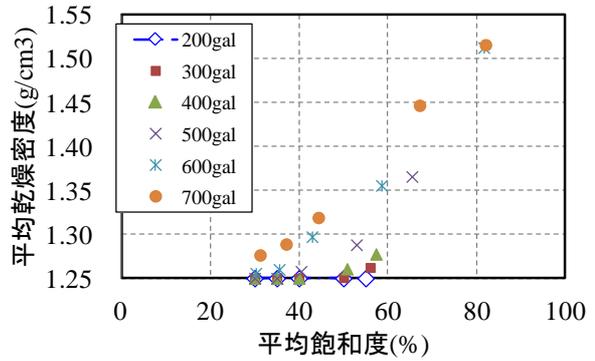


図4 平均乾燥密度～平均飽和度関係

(2) 地震動に伴う破壊形態の違い

実験終了後に、地表面に流出水が確認できたケース（以下、不飽和液状化と称す）と地表面にクラックやすべりが確認されたケース（以下、不飽和すべりと称す）があった。写真1に不飽和すべり、写真2に不飽和液状化を示す。



写真1 不飽和すべり
 $\rho_{d0} = 1.25 \text{ Mg/m}^3$,
 $S_{r0} = 50\%$

写真2 不飽和液状化
 $\rho_{d0} = 1.25 \text{ Mg/m}^3$,
 $S_{r0} = 55\%$

4. 飽和度に着目した不飽和地盤の沈下挙動の評価手法の提案

図5は、振動後の飽和度～初期飽和度関係を表したグラフである。図5の対角線は振動後の飽和度が初期飽和度と等しい状態、すなわち変形しなかった場合のラインを示している。このラインより上側は沈下を示し、ラインより下側は膨張を示している。また、白抜きのプロットが小型土槽、塗りつぶしのプロットが大型土槽での実験結果を示している。図5から、初期飽和度40%程度までは振動後の飽和度も40%程度であり、初期飽和度40%以上になると、振動後の飽和度は初期乾燥密度の違いで概ね線形的に上昇し、その上昇率はそれぞれ異なることがわかる。そして、小型土槽、大型土槽ともにこの線形関係に近い範囲に概ね位置している。初期乾燥密度、初期飽和度から地震に伴う飽和度変化と沈下量を概ね予測できることを示している。

一方、不飽和液状化を示した4つのプロットの振動後の飽和度はほぼ等しく、80%を超えていた。逆に、振動後の飽和度が80%以下では不飽和液状化を示さなかった。このことは、不飽和液状化に至る飽和度に境界値があることを示している。

5. 結論と今後の課題

振動台を用い、不飽和模型地盤の沈下挙動・破壊形態を実験的に研究した。その結果、初期飽和度5%程度のわずかな違いで振動後の破壊形態が全く異なることを示した。また、その破壊形態の違いは、ある飽和度を境に発生していると考えられる。加えて、振動後の飽和度～初期飽和度関係は模型地盤の形状等に依存せず評価できると考えられる。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 24760381(若手B)、国土交通省平成26年度河川砂防技術研究開発公募地域課題分野(砂防)により実施されました。ここに深甚の謝意を表します。

参考文献

1) 竹村弥生, 建山和由: 振動場における粒状体の挙動に関する実験的研究, 土木学会論文集 C, Vol. 68, No. 1, pp127-137, 2012. 2) 風間 基樹: 2011年東北地方太平洋沖地震による地盤災害と復興への地盤工学的課題 東日本大震災に関する技術講演会論文集-巨大地震・巨大津波がもたらした被害と教訓-pp. 51-52, 2012.

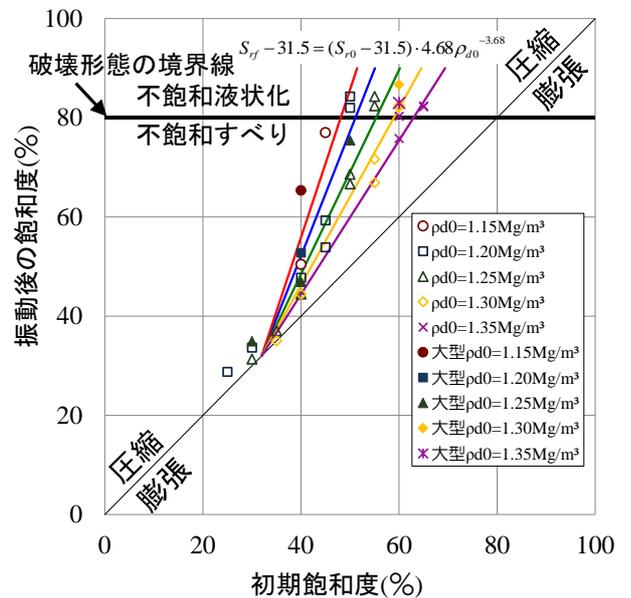


図5 振動後の飽和度～初期飽和度関係