

浸潤・締固め特性と加振時破壊形態に関する実験的一考察

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

1. はじめに

地震動に伴う不飽和埋め戻し地盤の沈下現象が指摘され始めている。新潟県中越沖地震では、繰返しせん断に伴い、柏崎刈羽原子力発電所敷地内の埋め戻し不飽和土が 40~80cm 沈下していることが確認された¹⁾。東北地方太平洋沖地震では、宮城県内の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）上の住宅地において最大 35 cm の揺すり込み沈下が発生し、大きく注目された²⁾。しかしながら、依然として地震動に伴う不飽和地盤の沈下現象や破壊形態のメカニズムに関する研究・報告は少ない³⁾⁴⁾。

本研究では振動台を用いて不飽和土（茨城県鹿島港付近で採取した鹿島海浜砂）からなる模型地盤を加振し、沈下量~飽和度関係を明らかにしている。また、破壊形態と飽和度の関係性について考察する。一方、用いた試料の水平浸潤特性、締固め特性を明らかにし、破壊形態との関連性を考察している。

2. 用いた試料（鹿島海浜砂）の物理特性、浸潤特性、締固め特性

表 1 に鹿島海浜砂の基本的物理特性を示す。概ね豊浦砂の物理特性⁵⁾に近いことがわかる。

図 1 に水平浸潤試験装置模式図を示す。幅 10mm, 内径 30mm のリングセル 50 個から成る試料円筒およびマリOTT管式給水装置からなるが水頭差は与えない。給水開始後、浸潤前線が所定の位置に達したら給水を止め、時間を計測する。その後ただちに分解し、セル毎に給水面からの距離~含水比関係を把握する。

図 2 に得られた飽和度~浸潤距離関係を示す。給水部付近は飽和度 80%程度で飽和しないことがわかる。

図 3 に突固めによる締固め試験を締固めエネルギーの 3 種類 ($E_c=100, 550, 1000\text{kJ/m}^3$) で行った試験結果を示す。図 3 より、乾燥密度のピークを過ぎると締固め曲線が飽和度 80%に漸近していくことがわかる。

表 1 鹿島海浜砂の物理特性

土粒子の密度	ρ_s	(Mg/m^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	$\rho_{d\max}$	(Mg/m^3)	1.634
最適含水比	w_{opt}	(%)	15.8

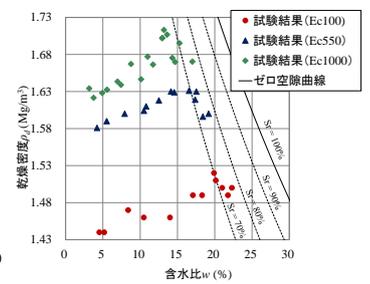
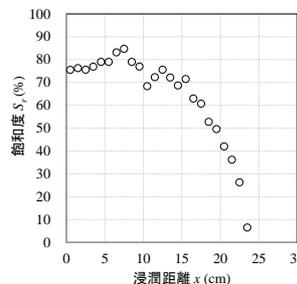
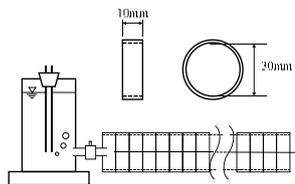


図 1 水平浸潤試験装置模式図 図 2 飽和度~浸潤距離関係 図 3 締固め試験結果

3. 振動台を用いた不飽和地盤の模型実験概要

アクリル製の奥行 211mm, 幅 351mm, 高さ 260mm, 総体積 $1.0 \times 10^7 \text{mm}^3$ の土槽（以下、小型土槽）と、アクリル製の奥行 200mm, 幅 950mm, 高さ 550mm, 総体積 $7.6 \times 10^7 \text{mm}^3$ の土槽（以下、大型土槽）の 2 種類を用いた。供試体の初期高さは小型土槽で 135mm, 大型土槽で 400mm に設定した。乾燥密度が均一になるよう留意して 5 層に分け 1 層ずつ転圧して作成した。振動は正弦波で与えた。100Gal ずつ加速度を増やし 1 分間加振し、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。

図 4, 図 5 に小型土槽と大型土槽それぞれの沈下量の計測地点を示す。A 面, a 面と平行に (B 面や b 面に直交方向) 1 分間振動させた後、鋼製定規により沈下量を計測する。

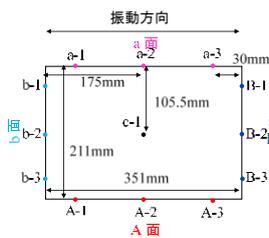


図 4 小型土槽上面図

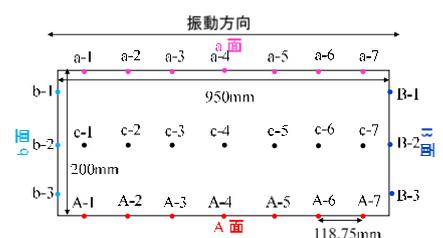


図 5 大型土槽上面図

キーワード 不飽和土, 浸透, 締固め, 振動台, 液状化

連絡先 〒400-8511 甲府市武田 4-3-11-B-1-124 山梨大学 TEL. 080-5146-3726 E-mail : karaki@yamanashi.ac.jp

4. 振動台を用いた不飽和地盤の模型実験結果と考察

実験終了後、地表面に流出水を確認したケース（以下、不飽和液状化と称す）と地表面にクラックやすべりを確認したケース（以下、不飽和すべりと称す）があった。

写真1(a),(b)に小型土槽における不飽和すべり、不飽和液状化をそれぞれ示す。写真1より、(a)と(b)のケースでは初期飽和度は5%しか変えていないが、加振後の不飽和地盤の破壊形態は全く異なることがわかる。

図6に加振後の飽和度の算出方法を示す。加振終了後に底面から流出水表面までの高さ h を計測し模型土槽の長辺 a 短辺 b から体積を求め水面以下の飽和度を算出した。

図7(a)~(e)は不飽和地盤を加振した際の飽和度~加速度関係を初期乾燥密度 ρ_{d0} ごとに示す。○のプロットは振動数一定(5Hz)、×のプロットは振幅一定(10mm)、塗りつぶしのプロットは大型土槽を振動数一定で加振した結果を示す。図7(a)~(e)より、加速度が大きくなるほど1分間の加振による飽和度の上昇は大きくなることがわかる。一方、飽和度が80%を超えると飽和度が上がりにくくなることがわかる。

加振により飽和度が80%以上になる11ケースではいずれも地表面に流出水が発生(不飽和液状化)した。逆に、加振後の飽和度が80%以下のケースではいずれも不飽和すべりを示した。

5. 浸潤・締固め特性と加振時破壊形態の実験的一考察

浸潤試験における最大の飽和度、締固め曲線の漸近する飽和度、加振時破壊形態に相転移が生じる飽和度が概ね80%であった。また、飽和度が80%を超えると加振しても飽和度が上がりにくくなった。このことから不飽和地盤の浸潤・締固め特性と加振時破壊形態の関連性が示唆される。

6. おわりに

不飽和模型地盤の浸潤・締固め特性と加振時破壊形態を実験的に考察した。その結果、浸潤試験における最大の飽和度、締固め曲線の漸近する飽和度、加振時破壊形態に相転移が生じる飽和度が概ね80%であった。また、飽和度が80%を超えると加振しても飽和度が上がりにくくなった。このことから不飽和地盤の浸潤・締固め特性と加振時破壊形態の関連性が示唆される。

今後、不飽和地盤の地震時破壊挙動に関する研究の加速的な発展に向け、本研究成果を周知していきたい。

謝辞：本研究は国土交通省水管理・国土保全局砂防部砂防計画課、河川砂防技術研究開発公募 地域課題分野(砂防)「早川流域における降雨と地盤の保水・透水特性に着目した土砂流出特性に関する研究」(研究代表者：荒木功平)の援助を受けました。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) 若松・吉田・清田：土木学会東日本大震災被害調査団(地震工学委員会)緊急地震被害調査報告書，第6章造成地の被害，p.7, 2011.
- 3) 北爪貴史，酒井俊郎，佐藤博，佐藤正行：繰返しせん断による不飽和砂質土の体積収縮特性と沈下量推定に関する基礎的検討，土木学会論文集 C(地圏工学)，Vol.68, No.2, pp.410-421, 2012.
- 4) 河井正・石丸真・佐藤博・末広俊夫・谷智之：剛な構造物近傍地盤の地震時沈下挙動に関する1G場模型振動台実験(その1)変形メカニズムについて，土木学会第63回年次学術講演会，pp.93-94, 2008.
- 5) 細谷旭弘・顧琳林・張鋒：低・中拘束圧で繰返し載荷を受ける豊浦砂の力学特性に関する実験的研究，第50回地盤工学研究発表会，pp.455-456, 2015.



(a) 不飽和すべり ($S_{r0}=55\%, S_{rf}=71.7\%$)
 (b) 不飽和液状化 ($S_{r0}=60\%, S_{rf}=82.5\%$)
 写真1 加振後の破壊形態 (小型土槽, $\rho_{d0}=1.30\text{Mg/m}^3$)

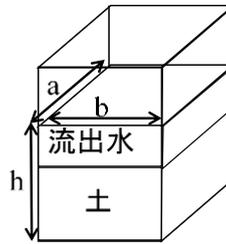


図6 液状化後の測定方法

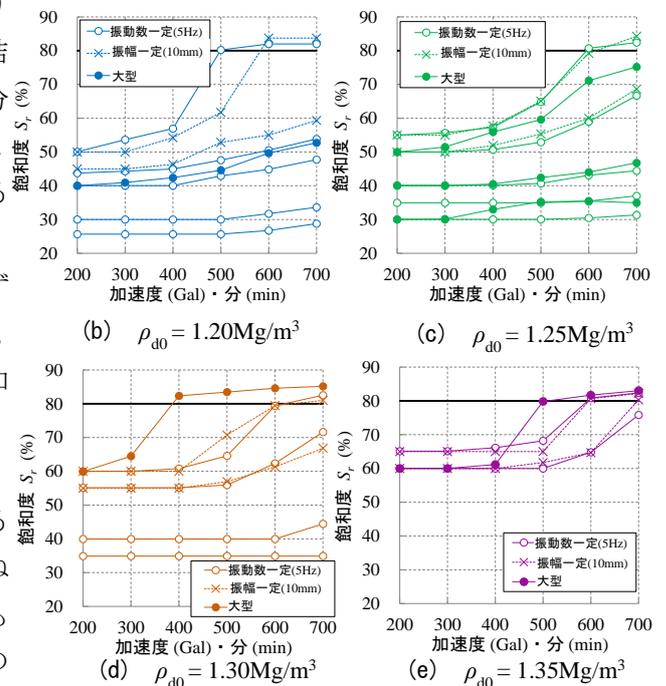


図7 飽和度~加速度関係