不飽和砂の繰り返しせん断時の飽和度変動と破壊形態に関する実験的研究

山梨大学	学生会員	〇山本	晃大	山梨大学	正会員	荒木	功平
NEXCO 中日本	正会員	藤森	弘晃	山梨県	非会員	深沢	郁未

1. はじめに

新潟県中越沖地震(2007年)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 土が最大 80cm 沈下した¹⁾.東北地方太平洋沖地震(2011年)では、宮城県内の谷地形に厚い埋め戻し土に 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た²⁾. 熊本地震(2016年)では、阿蘇大橋付近で大規模斜面崩壊が発生し、崩土が不飽和であったことが指摘され ている³⁾. 地震動に伴う不飽和地盤の破壊メカニズムの解明⁴⁾が急務となっている.

本研究では、振動台を用いて不飽和砂の繰り返しせん断時の飽和度変動と破壊形態を実験的に研究する.

2. 用いた試料(鹿島海浜砂)の物理特性,締固め特性,水分特性曲線

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砂(以下,鹿島海浜砂と称する)を用いる.表-1に物理特性を示す.

図1に鹿島海浜砂の粒径加積曲線,図2に3種類の締固めエネルギー(Ec = 100, 550, 1000 kJ/m³)に おける締固め曲線を示す. 締固め曲線は飽和度 80%の曲線に近づいていくが超えることはなかった.

図3に鹿島海浜砂の排水過程における水分特性曲線を示す(乾燥密度,相対密度も図示する).図3より, 鹿島海浜砂の空気侵入値は飽和度85%程度,サクションは3kPa程度と考える.



3. 振動台を用いた不飽和地盤の模型実験概要と破壊形態の例

図4の奥行 211mm,幅 351mm,高さ 260mm,総体積 1.0×107mm³の土槽(以下,小型土槽)と,図5の 奥行 200mm,幅 950mm,高さ 550mm,総体積 7.6×107mm³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.200Gal から 700Gal まで 100Gal ずつ加速度を増やすごとに,図4, 図 5の A 面, a 面と平行方向に 1 分間正弦波で振動後,鋼製定規により図中の計測地点で沈下量を計測する.

実験終了後,写真 1(a)のように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)と写真 1(b) のように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.



4. 加振後の模型地盤全体での平均飽和度

加振後の模型地盤全体での平均飽和度を算出した.不飽和液状化時の平均飽和度は液面で計測した. 図 6(a)~(e)に平均飽和度~加速度関係を初期乾燥密度 ρ_{d0}ごとに示す.○と×のプロットは小型土槽をそれ ぞれ振動数一定(5Hz),振幅一定(10mm)で,●は大型土槽を振動数一定で加振した結果である.図 6(a)~(e) より,平均飽和度が 80%を超えるとほとんど変動しなくなることがわかる.なお,700gal で加振後の最終的 な破壊形態は飽和度が 80%以上ではいずれも不飽和液状化,80%以下ではいずれも不飽和すべりを示した.



4. 加振中の飽和度変動の把握の試み

加振中の飽和度変動を把握するため,写真2に示す誘電率型の土中水分計⁵⁾(長さ約62mm,予め電圧を 飽和度に校正する必要がある.鉛直方向に埋設し,測定間隔は0.1秒とした.)を用いる.模型地盤は,大型 土槽を用い,初期乾燥密度1.35Mg/m³,初期飽和度10%を目標値として作成した.振動数一定で加振した.

図 7(a), (b), (c)に測定深さ 100mm, 200mm, 300mm における飽和度~時間関係を示す. 200gal 加振前の 飽和度は概ね 8.5~9.0%で,模型地盤作成中に少し乾燥したと考える.また,600Gal 加振中に不飽和クラッ クが発生し,深さ 20cm では 700gal 時に激しい変動がみられた.詳細は今後の課題であるが,これは不飽和 クラックに伴いセンサー部と土の間に接触不良が生じたことが一因と考えている.

図8に600gal加振時の飽和度増分~時間関係を示す.図8より,どの深さでもほぼ同時(加振して約8秒後)に飽和度が急上昇したことがわかる.このことは,600gal加振中に不飽和クラックが地表面にみられた ことと関係するとおもわれる.言い換えれば,埋設深さに関わらず,土中水分計により地盤中のクラックの 発生などを示唆できる可能性があると考える.また,飽和度増分量は深いほど大きくなる傾向がみられた.



5.おわりに

振動台を用いて不飽和砂(鹿島海浜砂)の模型地盤における繰り返しせん断時の飽和度変動と破壊形態を 実験的に研究した.加振して模型地盤全体の平均飽和度が80%を超えると変動が小さくなる傾向がみられた. これは,試料の締固め曲線中の最大飽和度が80%を示したことと関係すると考える.また、概ね80%を境界 として破壊形態がクラックと液状化に分かれた。さらに,加振時に模型地盤表面にクラック発生時,どの深 さでも飽和度が同時に急上昇した.飽和度変化がクラックの発生を示唆する可能性があると考える. 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) 石川ら:平成28年熊本地震による土砂災害,砂防学会誌, Vol.69, No.3, pp55-66, 2016.
- 4) 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.

5) 秋月電子通商: Arduino 用 土壌湿度センサー, http://akizukidenshi.com/catalog/g/gM-07047/, 2018 年 2 月 20 日閲覧