

公益信託 NEXCO 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金
受託者 三菱UFJ 信託銀行株式会社 御中

研究概要書

研究課題：土－水－空気 3 相系の有限変形－浸透連成シミュレータの高度化と合理的な高速道路盛土構造の探索

研究代表者：横浜国立大学都市イノベーション研究院 准教授 菊本 統

共同研究者：関西大学社会安全学部 准教授 小山 倫史

1. 背景と目的

降雨や地震に起因する高速道路盛土の変形や破壊の事例が報告されている。これらの現象を解くには、締固め現象から浸水・繰返しせん断による変形・破壊まで不飽和土の応答を記述する必要がある。本研究では、締固めや浸水崩壊、繰返しせん断挙動を再現できる不飽和土の構成則の研究開発を進めるとともに、それに基づいて有限要素解析を行い、土構造物の築造過程から降雨による変形まで一元的にシミュレートすることを試みてきた。今年度は主に締固め現象を室内試験と数値解析の両面から検討するとともに、浸水・繰返しせん断挙動について解析的に検討した。①要素試験における締固め現象の観察、②①の解析的再現、③締固め後の浸水によるコラプスおよび液状化の再現、を目的として検討を行った。

2. 室内要素試験による締固め現象の観察

境界条件が不明確で要素試験とはみなせない従来の突固め試験に対して、締固め現象を間隙空気の排出による体積圧縮と捉えて、排気・非排水条件下の一次元圧縮試験を実施した。試料には豊浦砂と藤の森粘土を混合して用いた。供試体の下部は非排気・非排水条件、上部は撥水性シートを敷設して排気・非排水条件としたが、飽和度が上昇すると撥水性シートの性能を超えて間隙水圧が増加して排水が確認されたため、その時点で実験は終了した。

Fig. 1(a)は含水比が異なる試料の圧縮曲線、(b)は各载荷段階で到達した乾燥密度で、破線で等飽和度線を示した。(a)では含水比が低い試料ほど同じ拘束応力に対して緩い間隙を保持しているが、(b)では载荷圧の増加に伴う乾燥密度の増加や含水比が高い試料ほど同じ载荷圧に対して高密度に達する「締固め曲線の最適含水比よりも乾燥側のメカニズム」を見て取れる。一方、飽和度が高い領域では非排水条件を保てずに、締固め曲線の湿潤側の応答を確認できなかった。ただし、非排水条件を保つことができれば、(b)で $\sigma_v = 1256$ kPa 载荷時の乾燥密度は赤斜線の領域内に確実に存在するので最適含水比を持つ上に凸な締固め曲線は存在することがわかる。

3. 締固め現象のシミュレーション

不飽和土の構成則で排気・非排水圧縮試験を解析した。初期状態から間隙水圧を増加して所定の

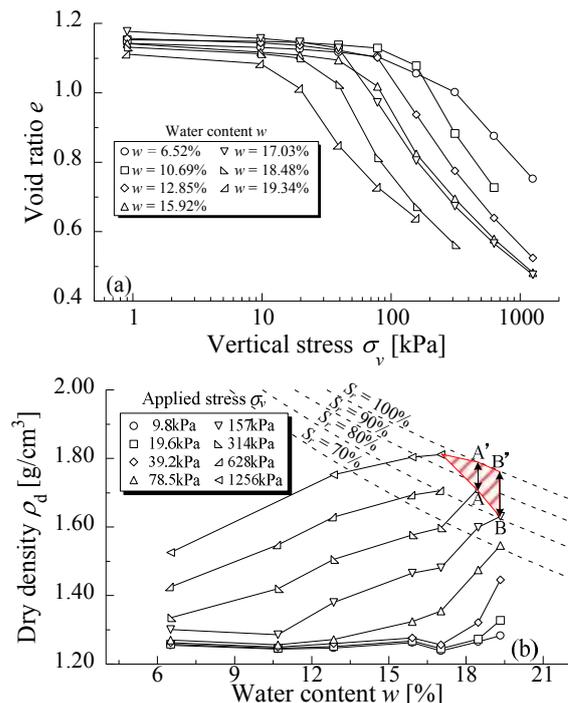


Fig. 1 試験結果(a) $e - \log \sigma_v$ (b) $\rho_d - w$ 関係

含水比に調整し、実験と同じように载荷した。Fig. 2(a)に各含水比の試料の圧縮曲線、(b)に飽和度の変化、(c)に乾燥密度と含水比の関係を示す。(a)をFig. 1(a)と比較すると、実験では供試体が初期から過圧密であるため、圧縮初期の挙動に差異が見られるが、含水比が低い供試体ほど圧縮初期に緩い間隙を保持することなど、解析は実験結果を捉えた。また、解析では厳密に非排水条件を課せるので、排気が進行して飽和に近づいた後はほとんど体積圧縮しない様子を再現できる。(c)では、载荷圧の増加に伴う最適含水比の低含水比・高密度側への移行など、締固めメカニズムをよく再現した。

4. 締固め後の降雨・地震による影響の検討

降雨による不飽和地盤の応答を想定して間隙比 e と平均基底応力 p_{net} を変化させて等方応力下の浸水現象を解析し、体積圧縮量をFig. 3で比較した。図より、浸水コラプスに伴う圧縮量は間隙比の影響を大きく受け、緩いほど顕著な体積圧縮を生じる。また、中程度の応力レベルで体積圧縮が大きくなるのがわかった。

地震時の不飽和地盤の応答を想定して飽和度 S_r と間隙比 e を変化させて非排気非排水繰返しせん断を解析し、液状化指標の一つである平均有効応力減少率(Unno et al., 2008)をFig. 4で比較した。図より、間隙比や飽和度が減少すると有効応力減少比も減少して液状化抵抗は増加する。ただし、飽和度による影響は間隙比よりも卓越している。有効応力減少比0.9で液状化を判定すると、飽和度70%程度以上では液状化を発生する可能性があり、それ以下では液状化は発生しないと言えよう。

5. まとめ

含水比一定条件で境界条件が明確な圧縮試験を実施し、締固め曲線を得た。ただし、飽和近くで供試体の非排水条件を保持するのは難しく、最適含水比より湿潤側の応答の観察には課題を残した。試験のシミュレーションでは、飽和度による剛性の違いと排気できる間隙空気量の違いという2つのメカニズムにより、最適含水比と最大乾燥密度をもつ締固め曲線をよく再現した。

不飽和土のモデルを用いた浸水および非排気非排水繰返しせん断のパラメトリックスタディでは、密度や拘束応力、飽和度による降雨時・地震時挙動の違いを考察した。その結果、浸水時のコラプス挙動には間隙比が卓越した影響をもつこと、不飽和土の液状化特性には飽和度が大きく影響することを示した。

参考文献

Unno, et al. Liquefaction of unsaturated sand considering the pore air pressure and volume compressibility of the soil particle skeleton. *Soils and Foundations* 2008; 48(1):87-99.

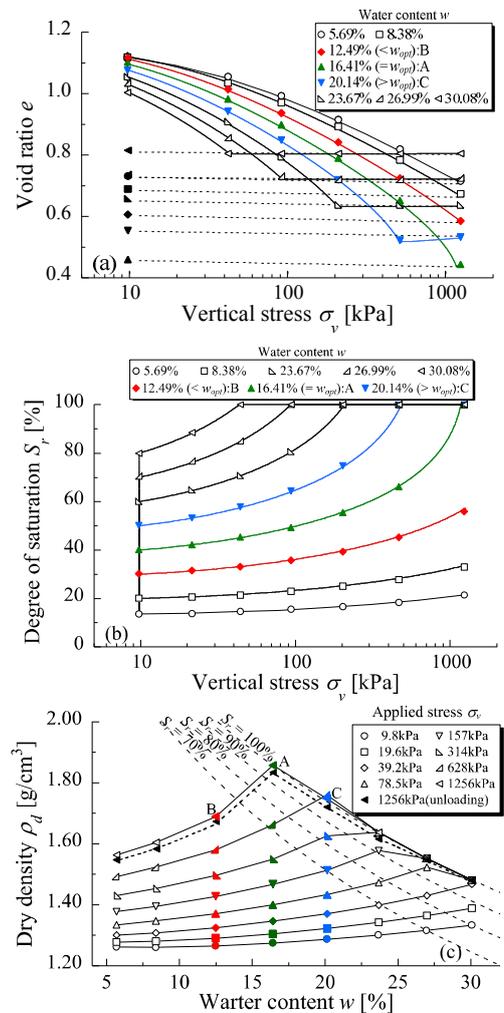


Fig. 2 解析結果(a) $e - \log \sigma_v$, (b) $S_r - \log \sigma_v$, (c) $\rho_d - w$

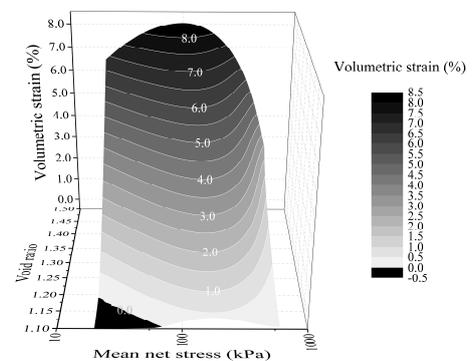


Fig. 3 密度と拘束応力による浸水時の体積圧縮量の違い

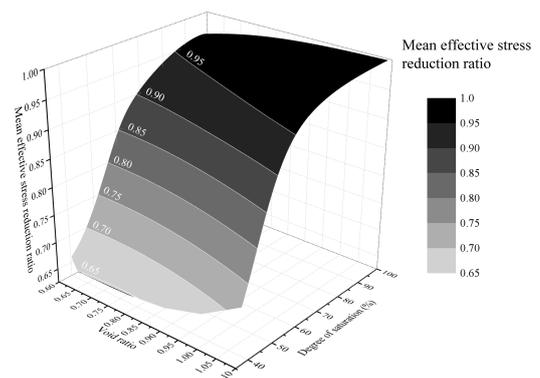


Fig. 4 密度と飽和度による液状化特性の違い