

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：降雨と地震のマルチハザードに対する高速道路盛土の浸透・変形連成シミュレータの開発と展開

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

研究代表者らはこれまで、降雨や地震に起因する高速道路盛土の変形・破壊予測を目的として、不飽和土のモデル (2009a,b; 2010) により締固めや浸水コラプス現象を再現するとともに、同モデルをベースとする有限要素法コードを開発し、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。今年度の検討では、降雨と地震のマルチハザードによる土構造物の変形・崩壊を対象として、施工品質や含水履歴を精緻に考慮した土構造物の静的および動的浸透・変形解析法の開発・高度化を試みた。

2. 浸水による不飽和土の変形と破壊のシミュレーション

昨年度までに開発した不飽和土のモデルを用いて、不飽和土の異方応力下での浸水試験 (Sun et al., 2007) をシミュレートした。図 1 は実験と解析の比較で、2 種類の応力比 R に対して密度が異なる試料の軸ひずみ ε_a -応力比 R -体積ひずみ ε_v 関係を示した。点線は緩詰め試料の単調せん断の解析結果である。図のように、異方応力下で浸水すると不飽和土は圧縮を伴いながらせん断変形が進行しており、変形量は応力比が高いほど、間隙比が大きい (密度が緩い) ほど大きい。解析はこのような特徴を定量的なレベルまで再現しており、浸水による変形・破壊現象を記述できることが示された。

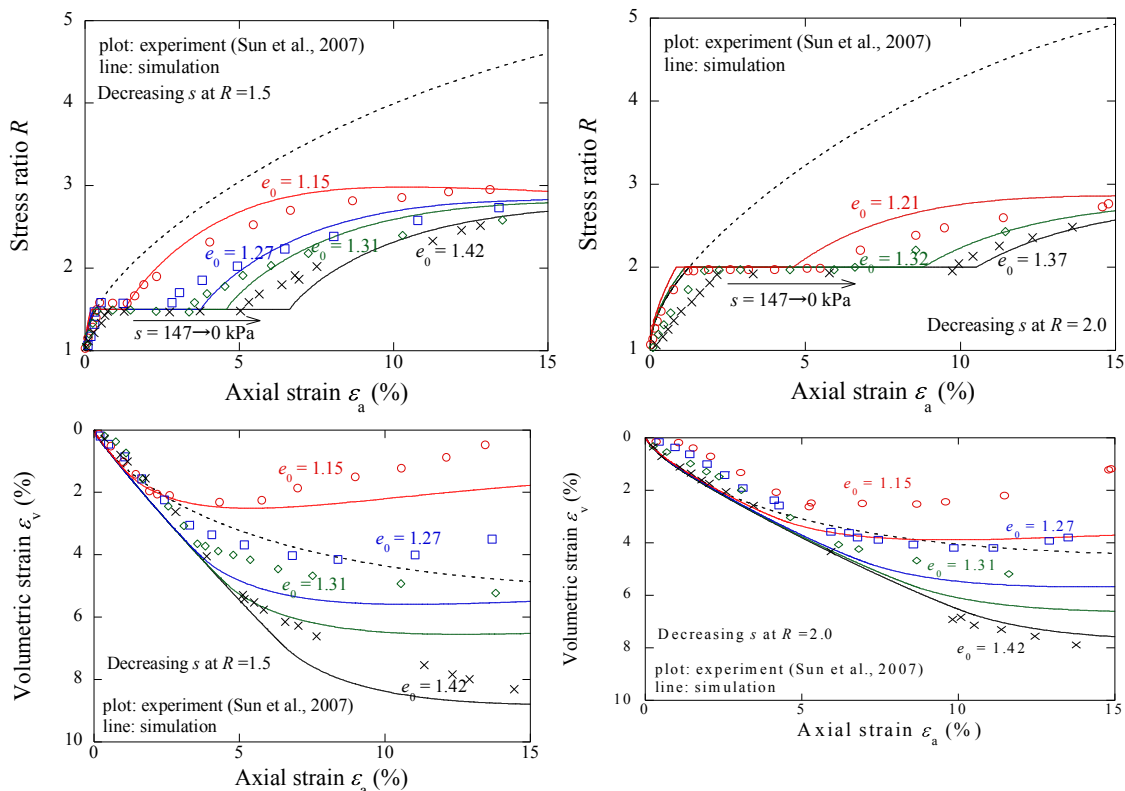


図 1 異方応力下での基底応力一定条件での浸水試験と解析の比較 (左: $R=1.5$, 右: $R=2.0$)

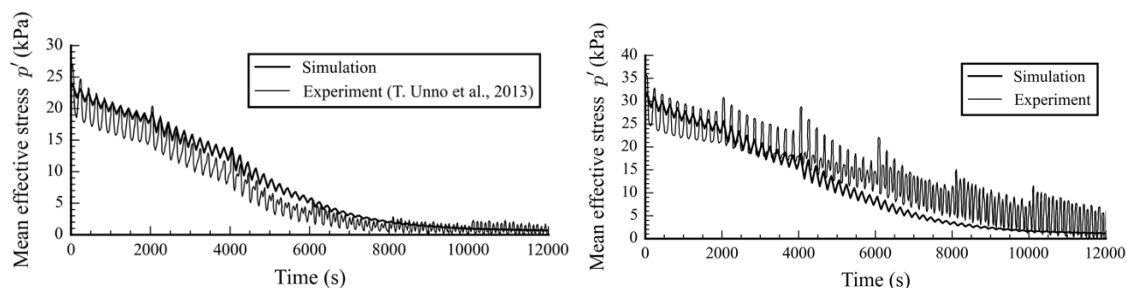


図2 非排気非排水繰返し三軸試験と解析 (左: $S_r = 78.9\%$, $s = 6.0$ kPa; 右: $S_r = 73.5\%$, $s = 14.8$ kPa)

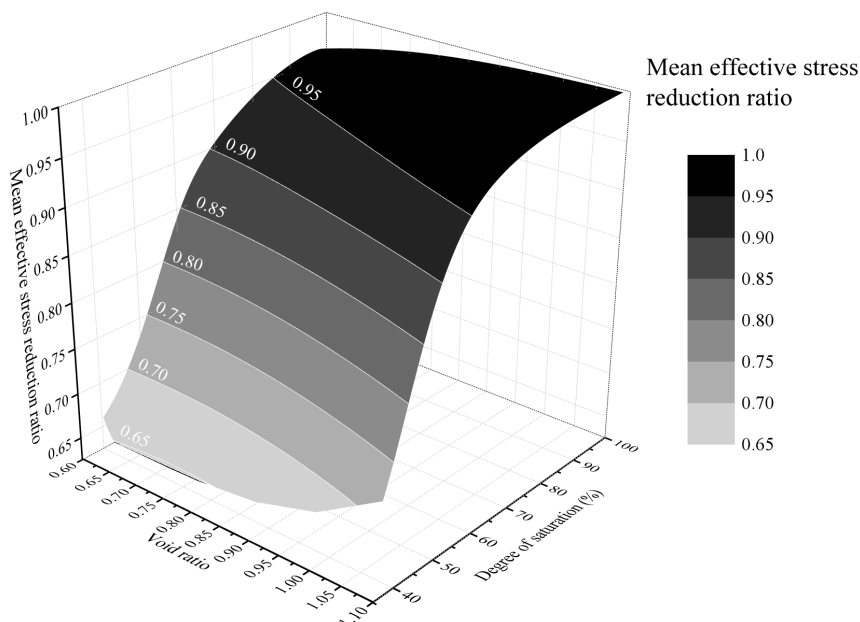


図 - 3 不飽和土の液状化抵抗に及ぼす間隙比と飽和度の影響 ($\sigma_{c0} = 20$ kPa)

3. 不飽和土の液状化現象のシミュレーション

地震時の不飽和地盤の繰返しせん断を想定して、所定の繰返し回数ごとに軸ひずみの振幅を増やした非排気・非排水繰返し三軸せん断試験 (Unno et al., 2013) をシミュレートした。解析は、繰返しにともなって平均有効応力が徐々に減少して最終的にゼロ付近に到達する様子をよく捉えた (図 2)。

同様の計算を飽和度 S_r ($= 40 \sim 100\%$) と間隙比 e ($= 0.60 \sim 1.09$) を変化させて多数回実施し、液状化の指標の一つである平均有効応力減少率 (Unno et al., 2008) を比較した。図 3 は飽和度と間隙比に対して有効応力減少率を示している。図より、間隙比と飽和度が減少すると有効応力減少比はともに減少し、液状化抵抗は増加することがわかる。ただし、飽和度による液状化抵抗の違いは間隙比の影響よりも顕著で、有効応力減少比は飽和度軸方向で急激に変化する曲面をなす。有効応力減少比 0.9 を基準として液状化を判定すると、飽和度 70% 程度以上の不飽和土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。

4. 結論と課題

降雨や地震に対する土構造物の安定性は外力特性だけに依存するのではなく、土構造物の築造品質にも依存することを指摘するとともに、土構造物の力学的安定性を本質的に議論するには、締固め築造過程から降雨や地震による変形・破壊まで一貫してシミュレートする新しい地盤解析技術が不可欠であることを説明した。提案した不飽和土のモデルは、降雨を想定した浸水時の不飽和土の変形・破壊現象、地震時応答を想定した非排気・非排水条件の繰返しせん断を的確に再現できることを示した。また、飽和度と密度による液状化抵抗の違いについてパラメトリックスタディを実施し、飽和度は密度よりも支配的な影響を持つことを明らかにした。