

再構成供試体の骨格構造が力学挙動に及ぼす影響の三軸シミュレーションによる検討

名城大学大学院 学生会員 ○森 涼香・兼松祐志
名城大学 正会員 小高猛司・崔 瑛
建設技術研究所 正会員 李 圭太

1. はじめに

細粒分から礫まで含む河川堤防土を対象に三軸試験を実施する場合、大きな礫を除外した粒度調整試料を締め固めて供試体を再構成する。しかしながら、再構成供試体の作製方法や粒度調整法等の諸条件については明確に定められていないのが現状である。小高ら¹⁾は、供試体再構成時の含水比（以下、初期含水比と呼ぶ）（0, 3, 5, 10 および 14%）と締固め度（80, 85 および 90%, それぞれ $\rho_d=1.6, 1.7$ および 1.8 g/cm^3 ）を変化させた一連の飽和CU三軸試験を行い、同じ間隙比の供試体でも、初期含水比によって力学挙動が大きく異なることを示した。本報では、力学挙動の相違が再構成供試体の構造に起因すると仮定し、その実証のために、土の構造、過圧密、異方性を表すことのできるSYSカムクレイモデル²⁾を用いて三軸シミュレーションを行った。

2. シミュレーションの概要

SYSカムクレイモデルはカムクレイモデルを土台とし、骨格構造として構造・過圧密・異方性の3つの概念を導入している。表1に計算に用いた各種パラメータを示す。本報では、各供試体の初期の構造の程度を表す $1/R_0^*$ 、初期の過圧密度 $1/R_0$ および構造劣化の速さを表す構造劣化指数 a のみが異なるものとし、その他の土質定数は共通とした。初期比体積 v_0 は、初期含水比10%の供試体の試験値を代表値として選定した。圧縮係数 $\tilde{\lambda}$ は初期含水比0%と10%の試料を用いた定ひずみ速度圧密試験により求めた。限界状態定数 M と膨潤指数 $\tilde{\kappa}$ は、三軸試験結果を参考に、その他のパラメータは試験結果に合うように決定した。いずれのケースにおいても、初期平均有効応力は供試体作製時のサクシオンに近い $p_0'=9.8 \text{ kPa}$ とし、実際の三軸試験と同様に100 kPaまで等方圧密をした後に非排水せん断を行う過程を忠実にシミュレートした。

表1 シミュレーションに用いた各種パラメータ

	締固め度 (%)	80	85	90
弾塑性パラメータ	圧縮係数 $\tilde{\lambda}$	0.100		
	膨潤係数 $\tilde{\kappa}$	0.011		
	限界状態定数 M	1.460		
	NCLの切片 N ($q=0, p'=98.1 \text{ kPa}$ のときの比体積)	1.570		
	ボアソン比 ν	0.300		
発展パラメータ	構造劣化指数 a	表2参照		
	正規圧密土化指数 m	0.030		
	回転硬化指数 b_r	1.000		
	回転硬化限界定数 m_b	0.001		
初期値	初期構造の程度 $1/R_0^*$	表2参照		
	初期過圧密度 $1/R_0$	表2参照		
	初期異方性 $\zeta = \sqrt{(2/3)\beta_0} \times \beta_0$	0.000		
	初期平均有効応力 $p'_0 \text{ kPa}$	9.800		
	初期比体積 v_0	1.637	1.536	1.457

3. シミュレーション結果と考察

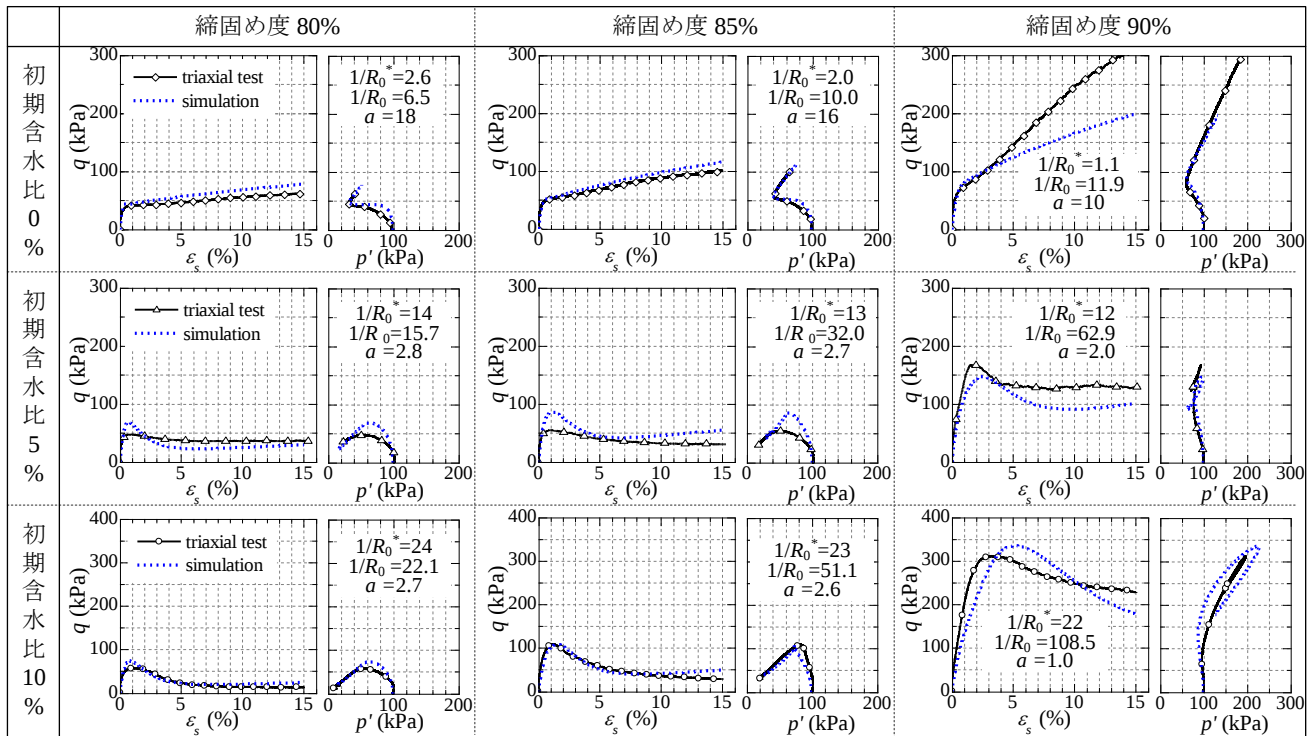
SYSカムクレイモデルによる各供試体のシミュレーション結果を表2（初期含水比0, 5, 10%）に示し、それぞれの解析に用いた初期構造の程度 $1/R_0^*$ と構造劣化指数 a 、過圧密度 $1/R_0$ の値も併記する。三軸試験結果より、初期含水比が高いほど供試体に高位な構造が作られていると仮定し、総じて初期含水比が高いほど構造の程度 $1/R_0^*$ を大きく設定した。さらに、初期含水比が高いほど構造が劣化しにくいと仮定し、構造劣化指数 a も小さく設定した。一方、締固め度の小さい供試体ほど構造は高位であり、かつその構造は劣化しやすいと考え、総じて締固め度が小さいほど初期構造の程度 $1/R_0^*$ ならびに劣化指数 a をとともに大きく設定した。

表2に示すように、シミュレーション結果は概ね三軸試験結果をよく再現できている。すなわち、基本的な材料定数群を共通なものとし、構造に関するパラメータのみを変えることにより、供試体の初期含水比と締固め度に応じた三軸試験結果の違いを無理なく説明できている。したがって、三軸試験における初期含水比と締

キーワード: 河川堤防 礫混じり砂 構造 再構成 三軸試験 シミュレーション

連絡先: 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部建設システム工学科 Tel 052-838-2347

表2 三軸試験およびシミュレーションにおける応力~ひずみ関係と有効応力経路



固め度の違いによって、構造が異なる供試体が形成されるという考えは、このシミュレーションによって、概ね妥当であることが裏付けられたと考えられる。

図 1 に、せん断過程での構造の程度 $1/R^*$ の低下履歴を示す。いずれの初期含水比においても、せん断が進むにつれ、構造の程度 $1/R^*$ は 1.0（構造が完全に消失した状態）に近づいていく。締固め度が同じ供試体の挙動を比較すると、初期含水比が大きいほど構造の程度 $1/R_0^*$ が大きく、かつ構造が劣化しやすいと設定していることを反映し、初期含水比が大きいほど構造が完全に消失する時点のせん断ひずみは大きい。図 2 に、過圧密度 $1/R$ の変化を示す。初期過圧密度 $1/R_0$ は、先述のように表 1 に示す $1/R_0$ 以外の 4 つの初期値により自動的に決定される。初期含水比が高い場合は、初期過圧密度が大きく、せん断開始と同時に急激に低下しているが、初期含水比が低い場合には初期過圧密度は低く、せん断開始から緩やかに低下する。

4. まとめ

三軸試験において、供試体作製時の初期含水比と締固め度の違いによって異なる骨格構造の供試体が再構成され、その結果として試験結果が大きく異なることを三軸シミュレーションを通して示すことができた。いずれの締固め度においても、初期含水比が高いほど高位かつ強固な構造が形成されるが、逆に初期含水比が低い場合には構造は低位であり、かつ劣化しやすいことが示された。実務の室内試験では気中落下法で供試体を作製することが多いが、乾燥試料では湿潤試料のような構造が生成されないため、試験結果は現実の土構造物の挙動とは異なる可能性が高い。

参考文献: 1) 小高ら：供試体再構成時の含水比の違いによる礫混じり砂の変形・強度特性の変化，地盤工学研究発表会，2012。

2) 例えば，A. Asaoka et al.: A elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, S&F, 42(5), 47-57, 2002.

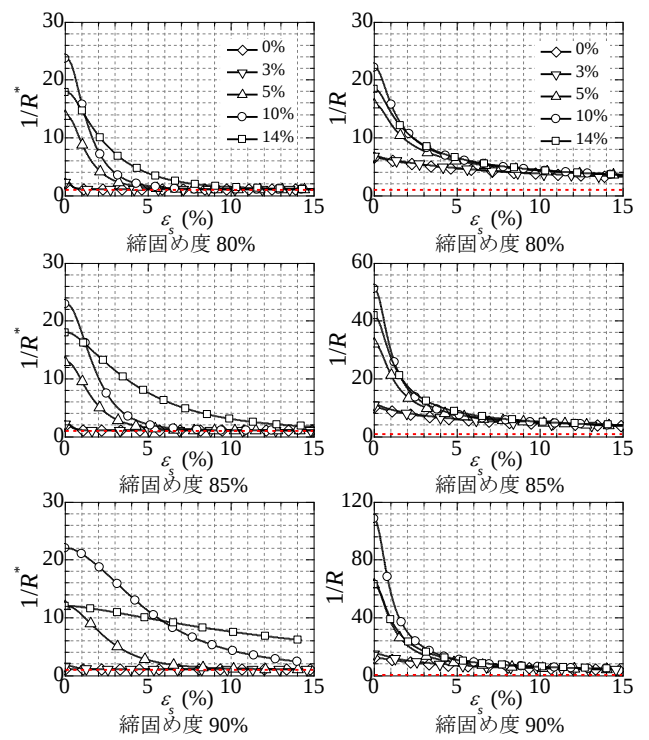


図 1 構造の程度の変化

図 2 過圧密度の変化