細粒分を多く含む堤防砂質土の三軸試験のシミュレーション

名城大学大学院	学生会員	○兼松祐志・小林芳樹
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

実河川堤防土を天端から 1~2m および 3~4m の位置からサンドサンプラーによって乱れの少ない試料(以下,各深度の試料を試料1および試料3と記す<sup>1)</sup>)を採取した後,凍結して保管し,凍結したまま供試体に成形し三軸試験を実施した。表1に各試料の乾燥密度を示すが,同じ堤防土の近い箇所から採取した土でも,供試体ごとに乾燥密度が異なる。また,三軸試験結果より,同深度における試料でも,供試体毎に粒度組成や密度等の違いによって,力学挙動に大きな違いが生じる<sup>1)</sup>ことが分かっている。本報では,その力学挙動の相違が供試体の構造に起因すると仮定し,SYS カムクレイモデル<sup>2)</sup>によって三軸試験結果をシミュレートすることを試みた。 表1 各供試体の乾燥密度

## 2. 対象とする三軸試験結果<sup>1)</sup>

図1に示す黒線は各供試体の三軸試験結果である。 いずれの供試体も凍結したまま成形し,三軸試験装置 に設置後,2 重負圧法により飽和化した後にCU 三軸 試験を実施している。試料1の場合,いずれの初期有 効拘束圧においても, せん断初期から塑性圧縮が見ら れ、変相後に塑性膨張に転じて正のダイレイタンシー 🛱 100 が発現している。試料3の場合、いずれの初期有効拘 東圧においても試験中盤から軸差応力がほぼ一定と なる。これらの試験結果は、同じ深度にある土は、供 試体ごとに乾燥密度および粒度が若干異なるものの, 同じ力学特性を有する土であることを示唆している。 したがって本報では,供試体毎の乾燥密度・粒度組成 の差を構造の違いのみにより表現できると仮定し,図 1 に示す三軸試験結果を対象として一応変形場にお ける SYS カムクレイモデル<sup>2)</sup>の構造式応答と試験結 果をフィッティングすることにより,供試体毎の構造 の違いを,骨格構造および過圧密度の程度によって表 現することを試みる。



図1 三軸試験結果およびシミュレーシ結果

## 3. SYS カムクレイモデル<sup>2)</sup>によるシミュレーション

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。計算に用いるパラメータは, 弾塑性パラメータと発展則パラメータ, 初期値に大別される。 ここでは, 骨格構造と過圧密度の程度を表す初期構造の程度 *1/R<sub>0</sub>*\*, 構造劣化指数 *a* および初期過圧密度 *1/R<sub>0</sub>* のみを供試体に応じて変化させ, 他のパラメータは試料毎に共通とした。

表2に各種パラメータを示す。本報では、同試料においても供試体密度等の違いによって異なる骨格構造を有していると仮定しているため、供試体毎に初期構造の程度 *1/R*<sub>0</sub>\*および構造劣化指数 *a* を変化させて設定して

キーワード:河川堤防,砂質土,数値解析

名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科(〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 Tel 052-838-2347)

-341-

いる。初期構造の程度  $1/R_0$ \*と初期比体積  $v_0$ に応じて 初期過圧密度  $1/R_0$ は自動的に設定される。初期比体積  $v_0$ および限界状態定数 *M* は試験結果を参考に決定し た。その他の共通パラメータはすべてフィッティング により決定した。いずれのケースにおいても、初期平 均有効応力は  $p_0$ ' = 9.8 kPa とし、50、100、150kPa ま での等方圧密過程をシミュレートした後に、非排水せ ん断を行った。

図1の赤線は、三軸シミュレーション結果を示すが、 いずれも三軸試験結果を適切に表現できている。すな わち,構造と過圧密度の程度を示す初期構造の程度 1/R<sub>0</sub>\*と構造劣化指数 a, 過圧密度 1/R のみを変えるこ とにより、供試体の力学挙動の相違が表現できている。 河川堤防土は盛土材料であるため, 同じサンプリング チューブの試料であってもわずかに深度が異なるた め、供試体毎に施工時に受けた締固め履歴は異なると 考えられる。一般に,同じ有効応力で比較すれば初期 比体積が大きいほど初期の構造は高位でかつ劣化し やすいと仮定できるが, 試料3のパラメータはその仮 定に合致している。一方, 試料1は初期比体積が小さ い供試体の初期構造を高位としなければ試験結果を 説明できなかったが、これは供試体の差が締固め履歴 のみではなく、供試体間に粒度組成の差もあったこと が考えられる。

図 2 にせん断中の構造の程度 *1/R*\*の低下履歴を示 す。いずれの供試体も、せん断が進むにつれ、構造の 程度 *1/R*\*は低下しているが、構造は完全には消失せず、<sup>YI</sup> せん断完了後でも高位な構造を維持している。試料 1 の拘束圧 50kPa の結果のみ、構造の程度 *1/R*\*が 1.0(完 全に構造が消失した状態) となる。

図3に過圧密度の変化を示す。供試体密度が大きい ほど初期の過圧密度が大きく, せん断開始と同時に急

激に低下している。いずれの供試体も、せん断が進むにつれて過圧密度は同程度の値に推移していくが完全に は消失せず、残留している。

## 4. まとめ

本シミュレーションを通して、同深度の供試体に対し、構造の概念を導入することで、密度および粒度組成 が異なる供試体の力学特性を同じパラメータを用いて表現することができた。供試体密度が大きいほど、高位 でありかつ劣化しにくい構造であると考えられるが、粒度組成が異なる場合にはその限りではない。今後は試 験ケースを増やして更なる検証を行う必要がある。なお、河川堤防は盛土構造物であるため、乱れの少ない現 場採取試料で力学特性を評価する際には、施工履歴の影響を大きく受けていることに注意する必要がある。 参考文献:1)小林ら:細粒分を多く含む堤体砂質土の各種三軸試験による力学特性の評価,第68回土木年講,2013.2) 例えば、A. Asaoka et al.: An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, S&F, 42(5), 47-57, 2002.



	試料	1		3				
	有効拘束圧(kPa)	50	100	50	100	150		
パラメータ	圧縮指数 ん	0.200		0.170				
	膨潤指数 κ	0.010		0.010				
	限界状態定数 M	1.45		1.60				
	NCLの切片 N	1.75		1.85				
	(q=0, F -98:1KFa 0)時の比陸積) ポアソン比 v	0.300						
メータ アモリパラ	構造劣化指数 a	15.0	3.0	0.7	0.5	0.5		
	(b=c=1.0)							
	正規圧密土化指数 m	0.050 0.050						
	回転硬化指数 b <sub>r</sub>	0.00						
	回転硬化限界定数 m <sub>b</sub>	0.00						
初期値	初期比体積 v <sub>0</sub>	図1参照						
	初期構造の程度 1/R <sub>0</sub> *	2.5	7.0	12.0	12.0	7.0		
	初期過圧密度 1/R <sub>0</sub>	8.8	12.7	17.0	18.8	24.6		
	初期異方性 $\zeta = \sqrt{2/3\beta_0 \cdot \beta_0}$	0.01						
	初期平均有効応力 $p_0$ '	9.80						

