

突固め・不攪乱試料を用いた力学試験の再現による盛土弾塑性性状の推定

名古屋大学大学院 正会員 中野 正樹, 野田 利弘, 山田 英司, 中井 健太郎

名古屋大学大学院 学生会員 ○板橋 一志, 西 毅, 弓崎 貴大

1. はじめに

2004 年の中越地震や 2007 年の能登半島地震において, 道路用盛土をはじめとする土構造物の崩壊が多く発生した. 盛土など人工土構造物は, 現場周辺の掘削土を利用することが多く, 周辺の地質に大きく依存するものの, 自然堆積地盤と違い, 典型的な粘土や砂ではなく, それらが入り混じった中間土で作られることが多い. 材料が複雑であるにもかかわらず, 盛土材料の詳細な調査はそれほど行われていないのが現状である. 地震による盛土の変形・崩壊を鑑み, 盛土の材料定数や応力状態などを詳細に調べてゆく必要がある.

そこで本報告では, 骨格構造概念(構造・過圧密・異方性)を取り入れた砂～中間土～粘土までの広範な土の力学応答を再現できる弾塑性構成式 SYS カムクレイモデル¹⁾を用いて, 人工的に突き固めて作製した供試体(以後, 供試体 A)の力学挙動を記述し, 盛土内よりサンプリングした乱れの少ない供試体(以後, 供試体 B)の非排水三軸せん断試験を再現することにより, 盛土原位置の初期状態の推定について述べる.

2. 物性及び供試体作製方法

本研究で用いる盛土材料は, 異なる 2 つの状態の試料, すなわち乱した試料とサンプリングにより乱れの少ない試料である. その物理特性を表-1 に粒径加積曲線を図-1 に示す. 砂礫～粘土まで広範な粒径を持つ材料であり, 乱した試料である供試体 A では 2mm ふり通過分を用いた. 図-2 には本試料の締固め曲線およびサンプリングにより採取した供試体 B の状態を示す. 締固め曲線を参考に, 供試体 A は含水比を調節して試料 B と同じ状態になるように突き固めて作製した.

表-1 物性と試料採取時の状態

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.641
液性限界 w_L (%)	63.1
塑性限界 w_p (%)	31.8
塑性指数 I_p (%)	31.4
自然含水比 w_n (%)	38.7
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.331
飽和度 S_r (%)	98.5
比体積 v	2.037

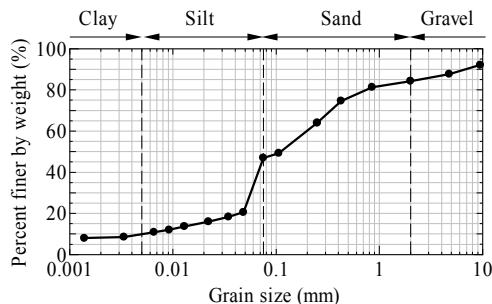


図-1 試験に用いた盛土試料の粒径分布

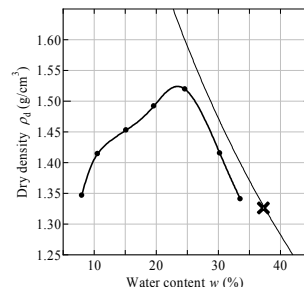


図-2 締固め曲線(A-a 法)

3. せん断試験結果と計算結果

図-3 に供試体 A の非排水三軸せん断試験の実験結果(図中の太線)と SYS カムクレイモデルによる計算結果(図中の細線)を示す. 計算には表-2 に示す材料定数を用いており, 拘束圧に応じて初期値のみを変更した. 計算による再現から, 塑性変形による骨格構造の解消/発達速度パラメータを特定でき, 広範囲な粒度をもつ, いわゆる中間土である盛土材料の材料定数を特定した.

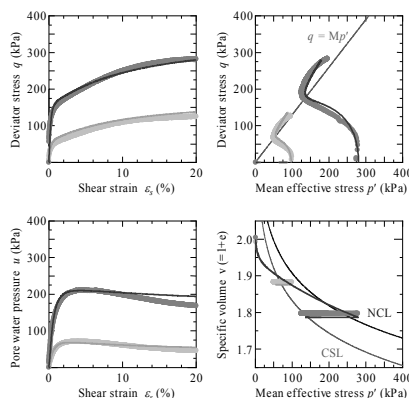


図-3 供試体 A の実験/計算結果

表-2 材料定数

<弾塑性パラメータ>	
圧縮指数 $\tilde{\lambda}$	0.128
膨潤指数 $\tilde{\kappa}$	0.020
限界状態定数 M	1.30
NCL の切片 N	1.91
ボアソン比 ν	0.20
<発展則パラメータ>	
正規圧密化指数 m	0.25
構造劣化指数 a	3.4
b	0.4
c	1.5
c_s	0.92
回転硬化指数 b_r	3.0
回転硬化限界定数 m_b	0.7

盛土 締固め 三軸試験 中間土 SYS カムクレイモデル

〒464-8601 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 地盤工学講座 TEL 052-789-4483

4. サンプリング試料のせん断結果と原位置初期状態の同定

上記方法で決定した弾塑性・発展則パラメータはそのままに、盛土内からサンプリングした乱れの少ない土供試体（供試体 B）の非排水三軸せん断試験結果の再現を初期値の変更で試みる．計算で用いられ初期値は、サンプリングから供試体作製・設置の過程も考慮して決定される．そのため、本計算による再現は、盛土内の原位置初期状態を推定することになる．

計算過程は $q \sim p'$ 関係図(図-4)に示すように、①地盤内応力が有効度被り圧で K_0 状態からサンプリングによる体積変化はないと仮定し、 $q=0$ まで非排水除荷を行う．②サンプラーからの抜き出し・供試体成形過程を $p'=0\text{kPa}$ 近傍まで等方除荷と仮定する．③所定の圧密応力 (39.7kPa と 160kPa) まで等方圧密を行う．④非排水せん断を行う．図-5 が供試体 B のせん断試験結果と計算結果である．各過程の初期状態を表-3 に示す．計算は、せん断初期に q が立ち上がった有効応力パスや、原位置からサンプリングでの応力開放による膨潤と、等方圧密による圧密までの比体積など、実験結果をよく再現している．

表-4 には等方圧密計算前の供試体 A と供試体 B の初期値の比較を示す．異方性の程度に差異がみられ、盛土構築から十分時間の経った供試体 B は、短時間に人工的に突固めて作製した供試体 A に比べて異方性が発達していることを示している．その結果、供試体 A と B との間にこのような強度特性の違いを与えていたことが明らかとなった．

表-3 供試体 B の各計算過程における初期値

	三軸せん断試験			
	原位置	サンプ リング後	せん断前 1	せん断前 2
鉛直有効応力 σ_v (kPa)	20	1.4	39.7	160
比体積 v_0	1.940	1.998	1.907	1.787
過圧密の程度 $1/R_0$	43.2	633.6	10.5	2.714
構造の程度 $1/R^*_0$	6.0	5.91	3.8	1.6
応力比 η_0	0.5454	1.25	0.024	0.006
異方性の程度 ζ_0	0.5454	0.54	0.4449	0.184

5. おわりに

本報告では乱された状態から突固めて作製した供試体と、乱れの少ないサンプリング供試体の力学挙動の差異を SYS カムクレイモデルによって再現し、その弾塑性性性状について整理した．その結果、盛土材料の力学挙動の再現に成功し、原位置初期状態の推定が可能となった．今後は、本成果をふまえて別の物理特性をもつ盛土材料への適用性を吟味していく予定である．

参考文献

- Asaoka, A.(2003) : Consolidation of Clay and Compaction of Sand 'An elasto-plastic description', Keynote lecture, Proc. 12th Asian Regional Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Leung et al. Singapore, Vol.2, pp.1157-1195.
- 板橋一志(2007) : 平成 16 年新潟県中越地震における崩壊形状の異なる 3 つの盛土の材料特性の把握, 平成 19 年度土木学会中部支部研究発表会
- 日本道路公団(2005) 平成 16 年新潟県中越地震に関する長岡地区土質試験および解析業務

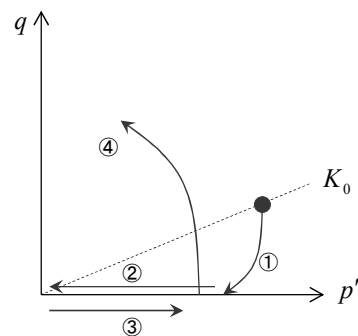


図-4 各計算過程の応力経路

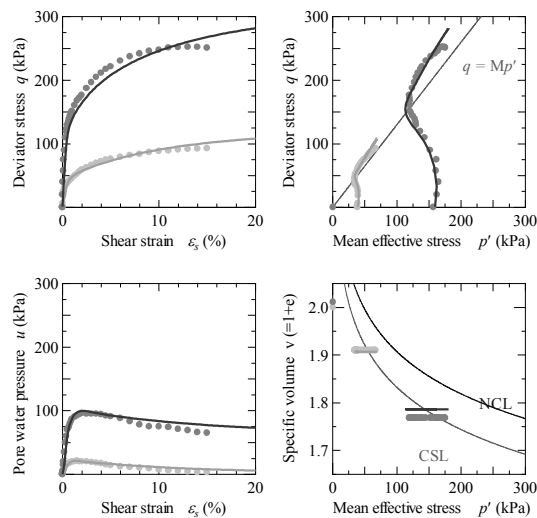


図-5 供試体 B の実験/計算結果

表-4 圧密過程前の初期値

	供試体 A	供試体 B
平均有効応力 p' (kPa)	1.0	1.4
比体積 v_0	2.000	1.998
過圧密の程度 $1/R_0$	611.8	633.6
構造の程度 $1/R^*_0$	6.0	5.91
応力比 η_0	0.0	1.25
異方性の程度 ζ_0	0.0	0.54