

スレーキング進行程度の違いによる泥岩盛土の耐震性に関する解析的検討

株式会社フジタ 正会員 ○犬飼 翔吾
名古屋大学 フェロー会員 中野 正樹
名古屋大学 正会員 酒井 崇之
中日本高速道路株式会社 正会員 永田 政司

1. はじめに

泥岩は全国に広く分布しており、造成された高盛土の中には、長年の水の浸入等により泥濘化・細粒化する「スレーキング現象」によって強度低下することで、盛土が崩壊した例も存在する¹⁾。室内試験においても、乾湿繰返しによりスレーキングを促進させることで、強度低下することが確認されているが、実際の盛土の状態を再現することが難しいため、盛土におけるスレーキングについては未だに不明なことが多い。そこで、供用中の泥岩高盛土への地盤調査からスレーキングの実際の状況を把握し、地震応答解析を実施することでスレーキング進行の程度の違いによる耐震性の違いを調べた。なお、数値解析には SYS Cam-clay model²⁾を搭載した水～土骨格連成有限変形解析コード **GEOASIA**³⁾を用いた。

2. 盛土の概要

泥岩盛土内を物性値の違いに加え、地表面から深度 6m 付近までには、別の工区からの盛土材料を用いていることも考慮に入れ、泥岩盛土内を 3 層に分け、層 1・層 2・層 3 と呼称する。図 1 は不攪乱試料として力学試験を実施した試料と盛土内の平均的な粒度分布を持つ試料の粒径加積曲線を示す。不攪乱試料について、層 1 および層 3 は細粒分の粒径を多く持つこと、層 2 は礫分の粒径を多く持つことがわかる。層 1 および層 3 の不攪乱試料を採取できた箇所は、細粒分によってボーリングコア内が密実に充填されていたためである。これはスレーキングが進行し、細粒化している箇所について採取可能であったと推察する。

図 2 は層 2 および層 3 の不攪乱試料における非排水三軸圧縮試験結果と SYS Cam-clay model での再現結果を示す。別途実施した、層 2 と層 3 の繰返し試料および再構成試料に対する力学試験より、力学挙動が同じであり、同じ材料であることがわかっている。実験結果より、塑性膨張を伴う硬化挙動 (p' の増加に伴う q の増加) が顕著であった。層 2 と層 3 の拘束圧 50kPa の結果を比較すると、最大軸差応力がそれぞれ約 600kPa、約 200kPa であり、層 3 でスレーキングが進行していることによって最大軸差応力が低下したことが、差が生じた要因である。再現計算はどちらの層もよく再現できている。層 2 とスレーキングが進行していた層 3 についても、同一のパラメータで力学挙動およびせん断強度の差異を再現できている。

3. モデル化と解析条件

表 1 は再現結果で得られた材料定数、状態量の初期値を示す。なお、層 1 についても力学試験に対して再現を

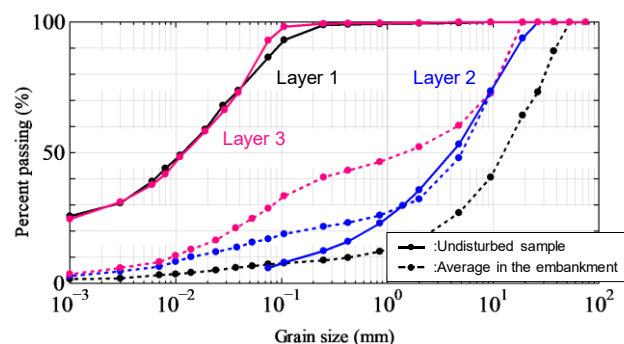


図 1 粒径加積曲線

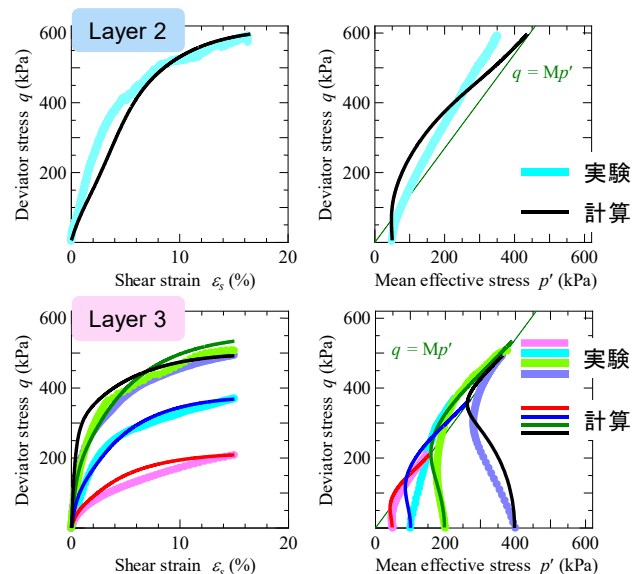


図 2 非排水三軸圧縮試験結果とその再現結果

キーワード 地震応答解析, 盛土, 泥岩, スレーキング

連絡先 〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2 0 2 5-1

株式会社フジタ 技術センター TEL046-250-7095

行っている。層2と層3の状態量を比較すると、層2でより骨格構造が高位であり、層3はスレーキングにより強度低下していることを表現している。

図3は地盤調査結果をもとに行った泥岩盛土のモデル化と境界条件を示す。地盤調査時に測定した物性の差異や施工記録より、泥岩盛土部分を3つの層に分けた。観測地下水位以下の泥岩盛土部である層3および基盤については飽和状態とし、地下水位より上側である層1および層2は、疑似不飽和状態を仮定した。図3のモデルをスレーキングが進行した状態(a)とする。

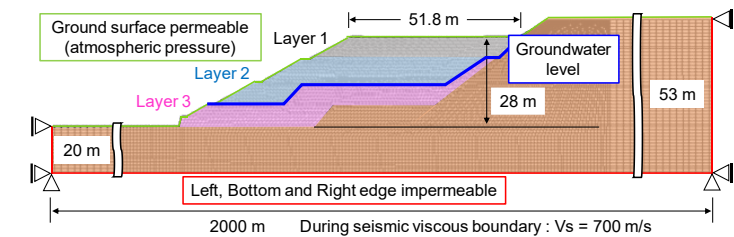


図3 地盤調査時のモデル化と境界条件（スレーキングが進行した状態）

スレーキングが進行していない状態として、盛土内に定常水位が表れた状態(b)と盛土造成時(c)についての模擬を行った。盛土内に定常水位が表れた状態は、スレーキングは進行していないため、泥岩盛土部を層2のパラメータで設定し、盛土内水位は観測水位とした（図3と同様）。盛土造成時は、スレーキングが進行しておらず、盛土内に水位が存在しない状態とした。つまり解析のモデルとしては、泥岩盛土部を全て層2のパラメータで設定し、盛土内全体を疑似不飽和状態とした。入力地震動は東日本大震災において、仙台河川国道事務所にて観測された海溝型レベル2地震動である。

4. 解析結果

図4は地震終了時のせん断ひずみ分布を示す。図4(a)ではスレーキングが進行している層3でせん断ひずみが100%程度進展し、大変形した。図4(b)は(a)と同様、せん断ひずみは法尻から進展したが、せん断ひずみの進展が大きく減少した。法尻および盛土下部の状態の違いは、層2か層3の状態量の違いである。つまりスレーキング進行の有無によって、耐震性が異なることがわかった。加えて、盛土造成時の状態である(c)より、盛土内への入水を防ぐことによって耐震性が顕著に向上することが推察される。特に、泥岩のようなスレーキングを起こす材料の場合、スレーキングの進行も防止できるため、盛土造成時から入水を防ぐことは非常に重要である。

5. おわりに

(1) 層2と層3を比較すると、地盤調査結果より層3で細粒分が多く、不攪乱試料での三軸圧縮試験から得られた最大軸差応力の違いより、盛土内においてもスレーキング進行によって強度低下がみられた。(2) 盛土造成時をモデル化した場合においても、法尻からせん断ひずみが進展したが、スレーキングの進行によって耐震性が低下することが示された。また、地下水位の有無でも法尻の水平および鉛直変位は2倍程度異なり、盛土内への入水を防ぐことによっても耐震性の低下を防ぐことができる。

参考文献：1) 齊藤ら (2011) : NEXCO 中日本における防災への取組み, 第20回調査・設計・施工技術報告会, 1-2. 2) Asaoka et al. (2002): An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, Soils and Foundations, 42(5), 47-57. 3.) Noda et al. (2008): Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, Soils and Foundations, 48(6), 771-790.

表1 盛土の材料定数

材料名		層1	層2	層3
弾塑性パラメータ				
圧縮指数	$\tilde{\lambda}$	0.085	0.080	0.080
膨潤指数	$\tilde{\kappa}$	0.015	0.018	0.018
限界状態定数	M	1.375	1.350	1.350
NCLの切片 (at 98.1 kPa)	N	1.350	1.380	1.380
ポアソン比	ν	0.300	0.150	0.150
発展則パラメータ				
正規圧密土化指数	m	0.20	0.30	0.30
構造劣化指数 (b = c = 1)	a	0.40	0.50	0.50
塑性指数	c_s	0.10	0.10	0.10
回転硬化指数	b_r	0.010	0.010	0.010
回転硬化限界定数	m_b	1.00	1.00	1.00
初期値				
比体積	v_0	1.476	1.440	1.445
過圧密比	1/R ₀	55.0	220.0	158.9
構造の程度	1/R* ₀	12.5	19.2	17.0
応力比	η_0	0.100	0.000	0.160

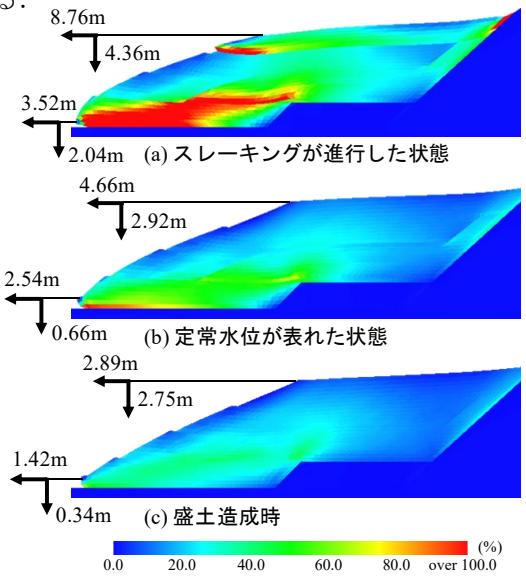


図4 地震終了時のせん断ひずみ分布