

鉛直荷重一定下での乾湿繰返し履歴を考慮した泥岩粒集合体のせん断挙動の構成式による再現

名古屋大学 正会員 ○酒井崇之

名古屋大学 フェロー会員 中野正樹

高速道路総合技術研究所 正会員 中村洋丈

1. はじめに

2009年8月の駿河湾沖で発生した地震では、牧之原 SA 付近の道路盛土が崩壊した。その原因の1つは、盛土の下部路体にある泥岩のスレーキングが進行したことである。建設現場で発生した泥岩は、盛土として利用せざるを得ないことから、泥岩で造成された盛土は、多く存在している。このような泥岩盛土の安定性を評価するには、内部の泥岩岩砕が、長期にわたりスレーキングが進行するときの岩砕の状態変化を調べるのが重要である。著者らは、泥岩砕石集合体に対し、乾湿繰返し圧縮試験機を用いて鉛直荷重一定下において乾湿繰返し履歴を与えた供試体に対し非排水三軸圧縮試験を実施し、乾湿履歴を与えていない供試体の試験結果と比較を行い、乾湿履歴が泥岩砕石集合体のせん断挙動に与える影響を調べた<sup>1)</sup>。本報告では、得られた試験結果を乾湿繰返し圧縮時の挙動から非排水三軸圧縮時の挙動までサクシオン効果を考慮した SYS Cam-clay model<sup>2),3)</sup>により再現を行い、一連の挙動を骨格構造概念に基づき考察する。

2. 乾湿履歴を考慮したせん断挙動の再現の方法

解析はサクシオン効果を考慮した SYS Cam-clay model を用いて行った。初期値および材料定数を表 1, 表 2 に示す。供試体作製時のデータから初期比体積と初期飽和度を決定した。初期鉛直有効応力は 10kPa と仮定し、初期異方性と初期応力比は今回考慮していない。初期構造の程度や初期過圧密比と表 2 の材料定数を試行錯誤的に変化させて、試験結果の再現を行った。なお、Van Genauchten パラメータについては文献 4) を参考に決定した。

表 1 初期値 (乾湿履歴を与えたケース)

鉛直荷重	100kPa	300kPa
比体積 $v$	1.860	1.860
初期鉛直有効応力	10	
初期飽和度 (%)	65	
構造の程度	5.5	4.0
過圧密比	18.7	13.6
応力比	0.0	
異方性	0.0	

表 3 初期値 (乾湿履歴を与えていないケース)

鉛直荷重	100kPa	300kPa
比体積 $v$	1.776	1.694
初期鉛直有効応力	100	300
構造の程度	6.2	6.0
過圧密比	3.8	3.4
応力比	0.0	
異方性	0.0	

表 2 材料定数

弾塑性パラメータ		
圧縮指数	$\tilde{\lambda}$	0.120
膨潤指数	$\tilde{\kappa}$	0.008
限界状態定数	$M$	1.600
NCL の切片 (98.1 kPa)	$N$	1.730
ポアソン比	$\nu$	0.330
発展則パラメータ		
正規圧密土化指数	$m$	1.000
構造劣化指数 ( $b=c=1$ )	$a$	0.100
塑性指数	$c_s$	0.100
回転硬化指数	$b_r$	0.970
回転硬化限界定数	$m_b$	0.170
水分特性に関するパラメータ		
最大飽和度 (%)	$S^w_{max}$	80.0
最小飽和度 (%)	$S^w_{min}$	0.0
Van Genauchten パラメータ	$\alpha$	0.275
Van Genauchten パラメータ	$n'$	1.23
Van Genauchten パラメータ	$m'$	0.187

試験は、初期状態から 100 と 300kPa まで一次元載荷した後に、湿潤過程、乾燥過程を繰返ししていく。試験中の飽和度は、予備実験の結果を用い、湿潤時は 80%、乾燥時は 10%とした。再現計算は、飽和度を変化させることで、湿潤過程、乾燥過程を表現しており、最大飽和度になった時、サクシオンが 0 になる。試験では、乾湿繰返し圧縮過程の後、除荷を行いモールドから供試体を取り出し、三軸圧縮試験機にセットし、鉛直荷重と同じ拘束圧で等方圧密した後に、非排水せん断した。計算においては試験と同様の過程を考慮して再現を行った。なお、文献 1)については、乾湿履歴を与えていない場合の実験も行っており、それらについては、等方圧密後の状態を初期値として、再現計算を実施した。乾湿履歴を与えていないケースの初期値を表 3 に示す。このケースの試験は飽和条件で行っているため、通常の SYS Cam-clay model で計算した。

泥岩、スレーキング、不飽和土、乾湿繰返し圧縮試験

### 3. 再現結果と考察

図1に乾湿繰返し中の比体積-経過日数の関係を示す。図2に乾湿繰返し過程を受けた後の非排水せん断試験の再現結果を示す。図3は乾湿繰返しを受けていないケースの非排水せん断試験の再現結果を示す。それぞれ、概ね再現をすることができた。

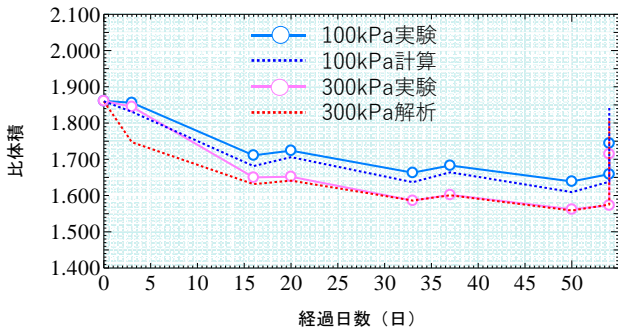


図1 乾湿圧縮中の挙動の再現

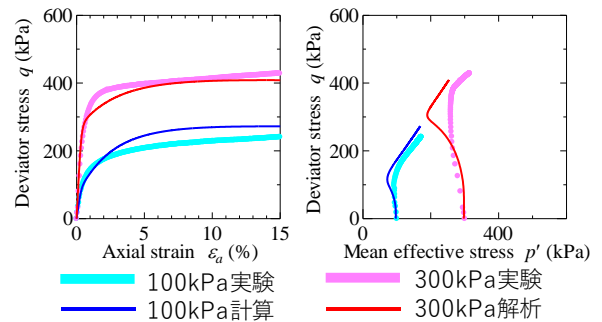


図2 乾湿圧縮後の非排水せん断挙動の再現

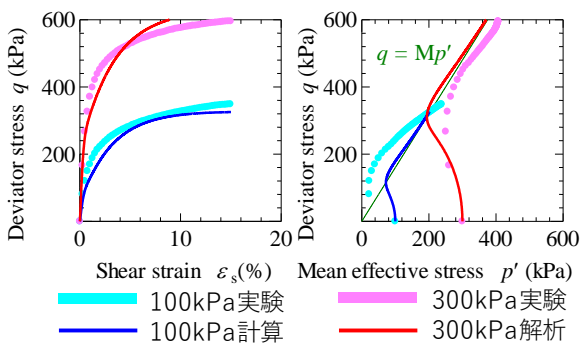


図3 乾湿圧縮履歴無しの場合の非排水せん断挙動の再現

表4 非排水せん断直前の状態量

	乾湿履歴あり		乾湿履歴なし	
	100kPa	300kPa	100kPa	300kPa
拘束圧	100kPa	300kPa	100kPa	300kPa
比体積 $v$	1.780	1.684	1.776	1.694
構造の程度	5.1	3.4	6.2	6.0
過圧密比	3.26	1.6	3.8	3.4
応力比	0.0		0.0	
異方性	0.202	0.197	0.0	

図2、図3に示した試験結果は、非排水せん断中の比体積はほとんど同じである。しかし、乾湿履歴を受けていない方が塑性膨張を伴う硬化が顕著であり、最大軸差応力が大きくなった。この理由について考察を行う。表4は非排水せん断直前の状態量を示す。乾湿履歴無しの方は表3と同じ値である。構造の程度や過圧密比に着目すると、乾湿履歴を受けた方が、値が小さくなっている。この原因として、乾湿履歴を与えると、飽和度変化に伴いサクシオンが増減する。サクシオンが増減することにより、応力も増減するため、特に応力が増加する時、塑性変形が進展するため、構造の程度や過圧密比が小さくなったと考えられる。今回は表2より構造が劣化しづらく過圧密が解消しやすい材料である。塑性膨張挙動は過圧密の解消により起こるため、過圧密比が小さくなったことによって塑性膨張しづらくなり、乾湿履歴を与えた方が、最大軸差応力が低下したと言える。

### 4. まとめ

サクシオン効果を考慮したSYS Cam-clay modelにより泥岩岩砕の力学挙動を再現できた。今後は、スレーキング特性と鉛直荷重一定下での力学挙動の関連性について、泥岩に含まれる膨潤性鉱物の力学挙動への影響も考慮するなどして検討していく。

### 謝辞

本研究は科学研究費補助金(基盤(B): 課題番号 16H04408)の補助を受けて実施した。また、本研究を実施するにあたり、名古屋大学の野田先生と吉川先生にご助言頂いた。ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 酒井崇之他, 鉛直荷重一定下での乾湿繰返し泥岩砕石集合体の力学挙動の骨格構造概念による解釈と泥岩盛土の地震応答解析, 第53回地盤工学全国大会 2)Asaoka, A., Nakano, M. and Noda, T. (2000): Superloading yield surface concept for highly structured soil behavior, Soils and Foundations, No.40, Vol.2, pp.99-110.3)吉川高広, 野田利弘(2017): 不飽和土の排気・排水三軸圧縮シミュレーションを通じた水分特性モデルにおける間隙比依存性考慮の必要性, 計算工学会論文集, Vol.22.4)Carsel, R.F. and Parrish, R.S. (1988): Developing joint probability distribution of soil water retention characteristics, Water Resources Research, 24(5), 755-769.