

# 鉛直荷重一定下での乾湿繰り返しを受けた泥岩粒集合体の圧縮特性の構成式による再現

泥岩 スレーキング 不飽和土

名古屋大学 国際会員○酒井崇之 中野正樹  
学生会員 早野智彦

## 1 はじめに

前報<sup>1)</sup>では、乾湿繰り返し圧縮試験を実施し、鉛直荷重一定下で乾湿繰り返しを受けた泥岩砕石集合体の一次元圧縮挙動を把握した。本研究では、神戸泥岩に対して行った乾湿繰り返し圧縮試験の試験結果を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、乾湿繰り返し圧縮試験において、乾燥で圧縮し、水浸で膨張することや、乾湿回数を増やすにつれて徐々に圧縮沈下していくメカニズムについて考察を行う。

## 2 サクシオン効果を考慮した構成則による乾湿圧縮・膨潤挙動の再現

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

	Dc90%	Dc95%	Dc100%
比体積 $v$	1.997	1.876	1.777
初期鉛直有効応力(kPa)	10		
初期飽和度(%)	65		
構造の程度	25.0	18.0	15.5
過圧密比	25.2	53.4	111.0
応力比	0.0		
異方性	0.0		

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

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1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。ただし、締固め度が大きいほど、構造の程度は小さく、過圧密比は大きくなるようにしている。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。試験は、初期状態から300kPaまで一次元載荷した後に、湿潤過程、乾燥過程を繰り返していく。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いる。有効飽和度の概念も考慮している。詳細は文献5)に譲るが、最大飽和度になった時、最大飽和度になった時、サクシオンが0になる。この時空気は水に封入されている状態になっているため、サクシオンに影響を及ぼさないという考えである。なお今回の計算では、連続空気あるいは封入空気の遷移は考慮していない。予備実験の結果から、最大飽和度は80%とした。図1に計算結果を示す。3つの試験ケースとも概ね再現することができた。

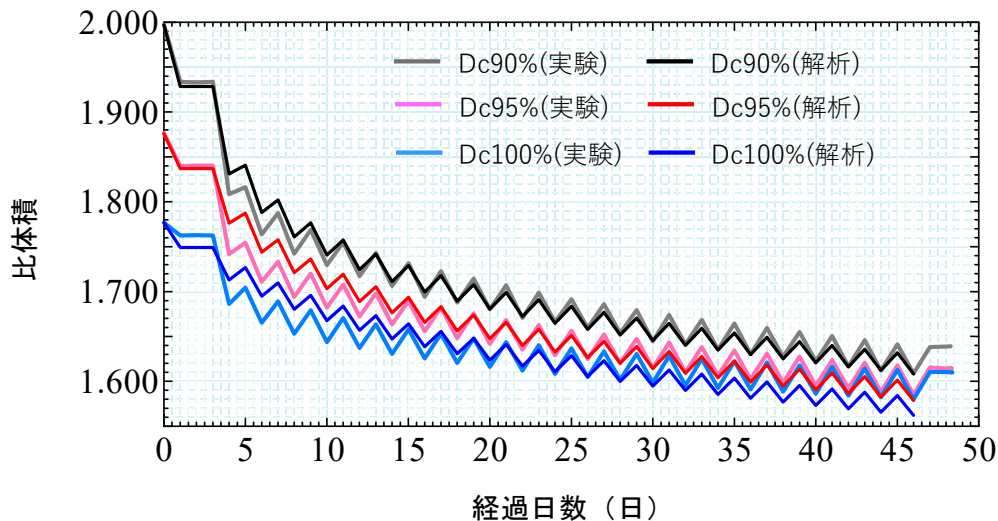


図1 乾湿繰り返し圧縮試験の再現結果

### 3 乾湿圧縮・膨潤挙動のメカニズム

図2に各種状態量の変化の様子を示す。圧縮・膨張の挙動に関しては、乾燥過程では、飽和度が減少するに伴いサクシオンが上昇し、平均有効応力 $p^*$ や軸差応力 $q$ が大きくなり圧縮が起こる。一方、水浸過程では飽和度が上昇するに伴いサクシオンが低下し、平均有効応力 $p^*$ や軸差応力 $q$ が低下することで膨張することが表現された(図2(b), (d), (f))。また、乾湿回数の増加に伴い、徐々に圧縮していく挙動については、応力が繰返し増減することにより、塑性変形が蓄積したものと考えられる。図2から繰返し载荷と除荷を受けることで、過圧密は蓄積し、構造は劣化していくことがわかった。(図2(c), (e))これは排水繰返しせん断試験に近い現象である。密度が大きいほど全体の沈下量や、一回目の乾燥過程で沈下しづらくなるのは、密度が大きいほど供試体が過圧密状態になっているからである。これは、過圧密状態になっているほど、塑性変形が生じづらくなるためである。ただし、最終的にはいずれのケースもほとんど過圧密が同じ値となっている。

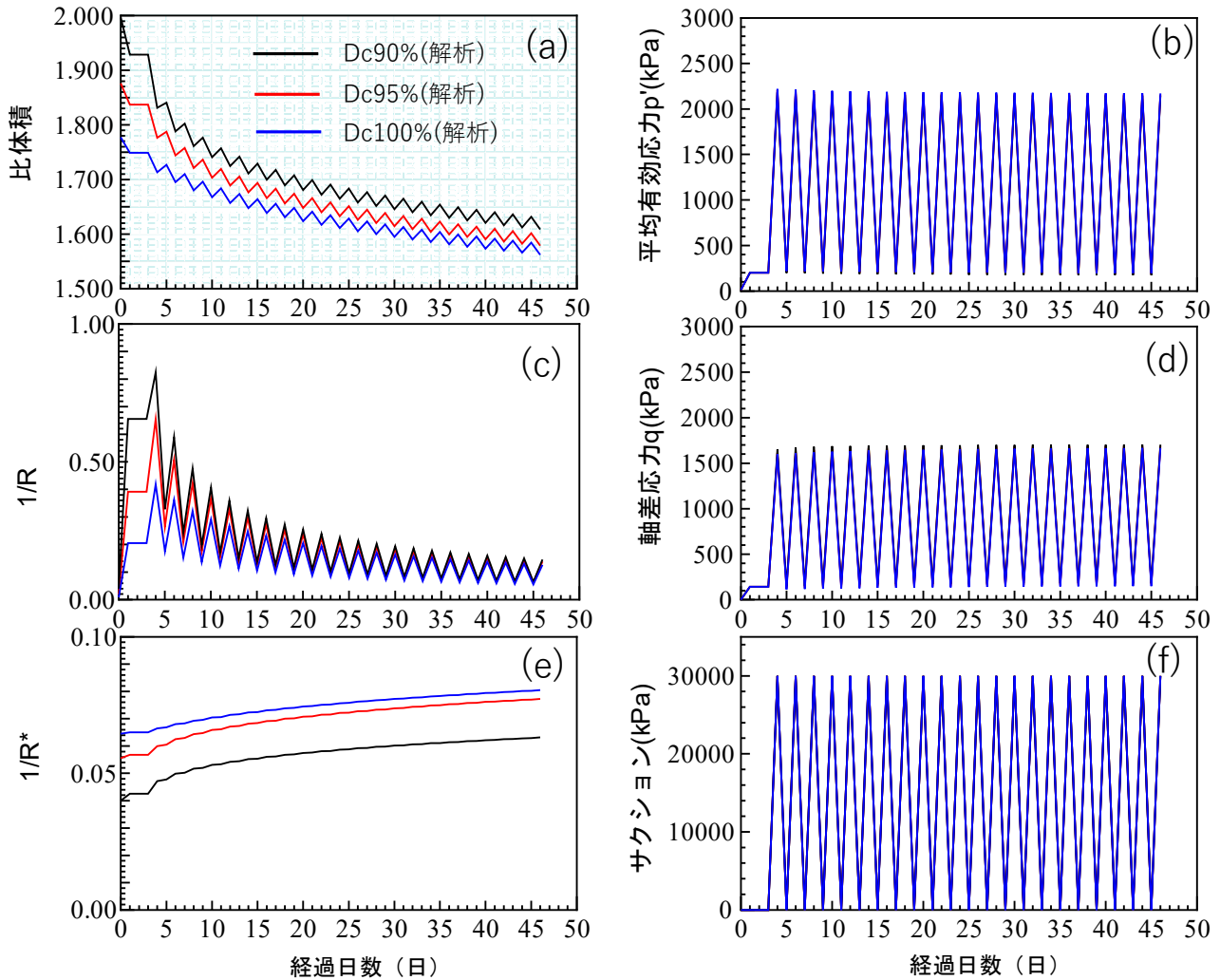


図2 乾湿圧縮・膨潤挙動中の各状態量

### 4 おわりに

サクシオン効果を考慮した SYS Cam-clay model により泥岩岩砕の乾燥で圧縮, 湿潤で膨張する挙動や, 密度に応じて力学挙動が異なる点を再現でき, そのメカニズムに関して考察を行った。サクシオンの増減により, 有効応力が増減することで, 徐々に塑性変形が進展していくこと, 密になると過圧密比が増大することにより, 塑性変形が進展しづらくなることが明らかになった。今後の課題としては, 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, サクシオンの効果のみで表現できるか, できない場合はどのような工夫が必要なのか検討していく。

#### 参考文献

- 1) 早野智彦他, 鉛直荷重一定下での多数の乾湿繰返しを受けた密度の違う泥岩粒集合体の圧縮・膨潤特性の把握, 本誌 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)吉川高広他(2018): 新たに定義する有効飽和度に基づく不飽和土の有限変形解析手法の開発と検証, 第30回中部地盤工学シンポジウム 5)Carsel, R.F. and Parrish, R.S. (1988): Developing joint probability distribution of soil water retention characteristics, Water Resources Research, 24(5), 755-769.