

締固め度・スレーキング程度の異なる泥岩碎石集合体のせん断挙動の比較

泥岩 三軸圧縮試験 スレーキング

名古屋大学 学生会員 ○工藤 佳祐 福田 雄斗

国際会員 中野 正樹 酒井 崇之

中日本高速道路株式会社 国際会員 稲垣 太浩 北村 佳則

1. はじめに

近年、泥岩のスレーキング進行に伴う盛土の安定性・耐震性の低下が懸念されている。泥岩のスレーキングに関する研究は、主に盛土の長期沈下抑制を目的として、数多く行われてきた¹⁾。しかし、長期的安定性や耐震性を目的としたせん断特性の把握、特に、スレーキングの進行速度の違う泥岩のせん断特性についての研究はそれほど行われていない。本稿では、スレーキング特性の異なる2種類の泥岩に対し、締固め度やスレーキングの程度の異なる供試体を作製し、圧密非排水三軸圧縮試験を実施し、スレーキングが泥岩のせん断挙動に与える影響、そして、締固め度上昇によりスレーキングの影響が軽減できるのかを調べた。さらに、弾塑性構成式 SYS Cam-clay model²⁾により再現を行い、スレーキングや締固め度上昇が力学挙動に与える影響を骨格構造概念に基づき解釈した。

表-1 各種泥岩の物性

	泥岩 A	泥岩 B
自然含水比(%)	21.1	22.6
土粒子密度(g/cm ³)	2.70	2.62
液性限界(%)	44.2	52.1
塑性指数	18.1	25.2
スレーキング率(%)	47	82
破砕率(%)	43	44
最適含水比(%)	24.0	25.3
最大乾燥密度(g/cm ³)	1.55	1.47

2. 締固め度・スレーキング程度の異なる泥岩碎石集合体のせん断挙動の比較

表-1 に本報告で用いる2つの泥岩の物性およびスレーキング特性を示す。両者ともにスレーキング率が高く、盛土施工後のスレーキングによる耐震性の低下が懸念される材料である。これらの材料に対し、9.5~19mm に粒径を調整し所定の乾湿繰返し回数を与え、最適含水比に調整した後に、締固め度 D_c が 95,100%となるようにランマーで突き固め供試体を作製した。その供試体を三軸圧縮試験機にセットし、二重負圧法で B 値が 95%以上になるように飽和化させ、拘束圧 100kPa で 24 時間等方圧密を行い、0.014%/min のせん断速度で非排水条件下においてせん断を行った。

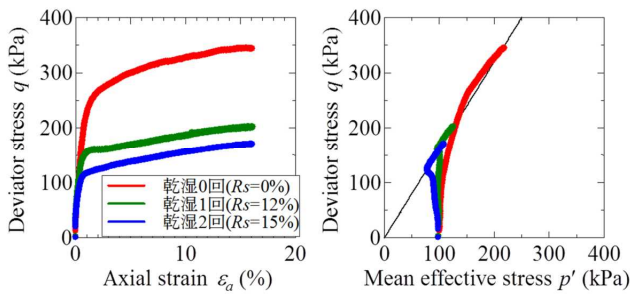


図-1 三軸圧縮試験結果泥岩 A(締固め度 95%)

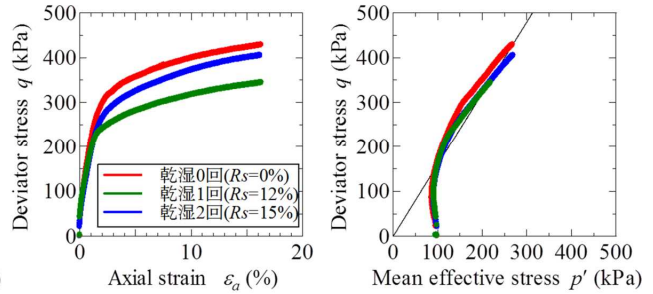


図-2 三軸圧縮試験結果泥岩 A(締固め度 100%)

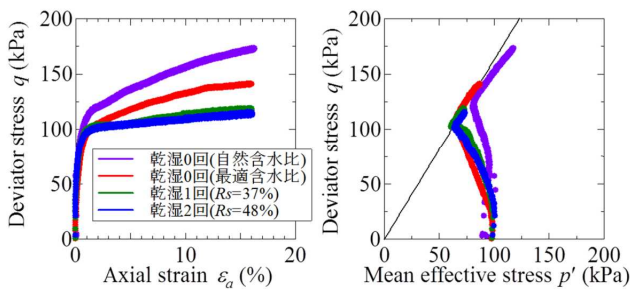


図-3 三軸圧縮試験結果泥岩 B(締固め度 95%)

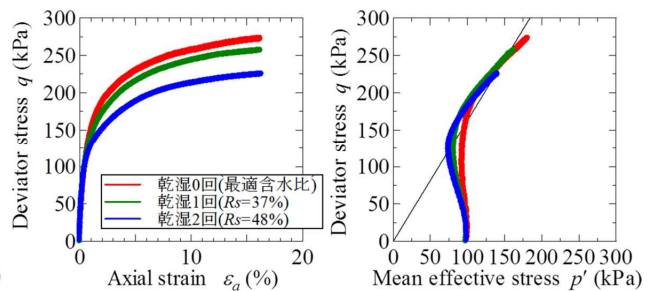


図-4 三軸圧縮試験結果泥岩 B(締固め度 100%)

図-1~4 に三軸圧縮試験の結果を示す。乾湿回数の隣の数字は、細粒化率 R_s である。細粒化率 R_s とは、著者らが提案した乾湿繰返し細粒化率試験³⁾で得られる値であり、値が大きいほどスレーキングが進んでいることを示す。泥岩 A,B ともに、乾湿を繰返し、細粒化を促進させることにより、最大軸差応力が低下した。また、細粒化の進行に伴い、過圧密土に似た挙動から正規圧密土に似た挙動に変化していく。最大軸差応力の低下の程度は、締固め度 95%では泥岩 A の方が大きい。細粒化率が小さいにも拘らず泥岩 A の方が最大軸差応力が低下するのは、泥岩 B はスレーキング率が高く、含水比調整時や供試体作製時に細粒化が進行してしまうため、つまり、乾湿 0 回でも細粒化が進行しているためである。

締固め度を 100%にした場合、泥岩 A,B どちらも締固め度 95%の時よりも最大軸差応力が大きくなり、細粒化率が上昇しても、過圧密土に似た挙動を示した。また、どちらの場合においても、細粒化に伴う最大軸差応力の低下の程度が小さくなっている。つまり、締固め度の上昇は、スレーキング進行が泥岩碎石集合体の軸差応力の減少を、軽減させることがわかった。

図-5~8 に三軸圧縮試験の SYS Cam-clay model による再現結果を示す。表-2, 3 に材料定数と初期値を示す。材料定数は泥岩の種類に応じて変えており、スレーキングの進行程度や締固め度の違いは、初期値を変化させることで表現した。なお、初期状態は、等方圧密前の状態であり、計算では等方圧密過程および非排水せん断過程を再現した。図-5~8 は、SYS Cam-clay model によって泥岩の挙動をうまく再現できたことを示している。また、表-2 より泥岩 A も B も構造が劣化しづらく、過圧密が解消しやすいといった粘土に似た性質を有していることがわかった。表-3 を見ると、乾湿経験回数が増えるにつれて、構造の程度と過圧密比が減少していくことがわかる。しかし、締固め度を上昇させることにより、構造と過圧密の変化量が小さくなる。したがって、締固め度を上昇はスレーキング進行に伴う構造の劣化、過圧密の解消を抑制することを示している。

表-2 材料定数

	泥岩 A	泥岩 B	
弾塑性パラメータ			
圧縮指数	$\tilde{\lambda}$	0.105	0.120
膨潤指数	$\tilde{\kappa}$	0.012	0.010
限界状態定数	M	1.600	1.600
NCL の切片	N	1.700	1.750
ポアソン比	ν	0.300	0.300
発展則パラメータ			
正規圧密土化指数	m	6.00	4.00
構造劣化指数 ($b=c=1$)	a	0.05	0.200
塑性指数	c_s	0.200	0.100
回転硬化指数	b_t	0.300	0.100
回転硬化限界定数	m_b	0.800	1.000

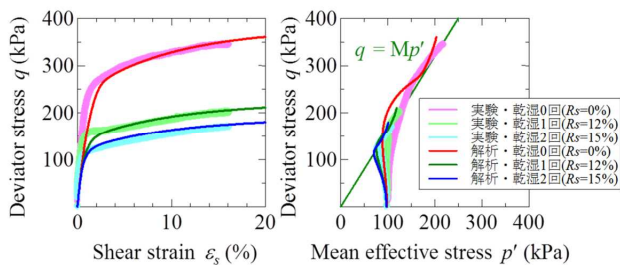


図-5 三軸圧縮試験再現結果泥岩 A(締固め度 95%)

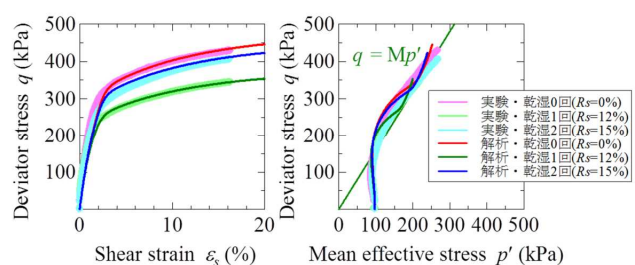


図-6 三軸圧縮試験再現結果泥岩 A(締固め度 100%)

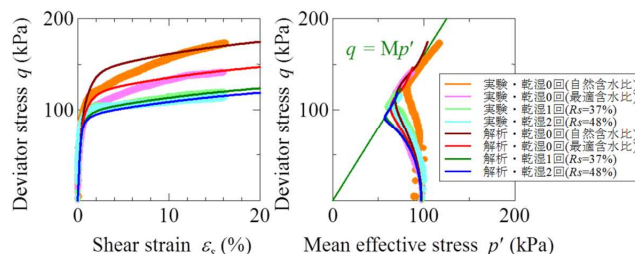


図-7 三軸圧縮試験再現結果泥岩 B(締固め度 95%)

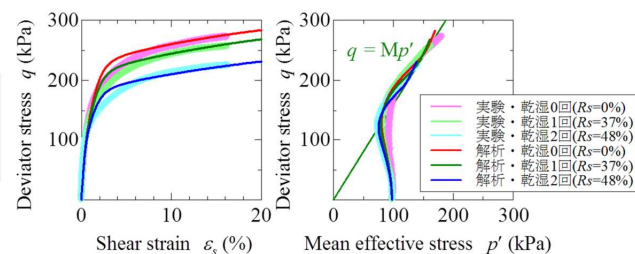


図-8 三軸圧縮試験再現結果泥岩 B(締固め度 100%)

3. 結論

スレーキングによって、泥岩碎石集合体の力学挙動や、骨格構造に変化を及ぼす。スレーキングが進行するにつれて、締固め度 95%では、いずれの泥岩も過圧密土のような挙動から正規圧密土に似た挙動に変化する。また骨格構造に着目すると、スレーキング進行に伴い構造の程度や過圧密比が減少していく。しかし、締固め度を 100%まで上昇させると、スレーキングを進行させても過圧密土のような挙動を示したままで、最大軸差応力も低下しにくくなる。さらに、構造の程度や過圧密比も減少しづらくなる。以上より、締固め度の上昇をさせることによって、スレーキングが進行した時の泥岩碎石集合体の最大軸差応力の低下や構造劣化、過圧密解消を軽減できることがわかった。

参考文献 1) 島博保, 今川史郎(1980):スレーキング材料(ぜい弱岩)の圧縮沈下と対策案, 土と基礎, Vol.28, No.7, pp.45-52. 2) Asaoka, A. et al, Anelasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, S&F, Vol.42, No.5, pp.47-57, 2002. 3) 倭大史他, 各種泥岩のスレーキング特性把握にむけた新たな試験方法の提案, 土木学会第 70 回年次学術講演会, pp.101-102, 2015.

表-3 初期値

	泥岩 A						泥岩 B						
	95%		100%		95%		100%		95%		100%		
締固め度	95%		100%		95%		100%		95%		100%		
乾湿経験回数	0回	1回	2回	0回	1回	2回	0回	0回	1回	2回	0回	1回	2回
比体積	1.81	1.80	1.81	1.71	1.72	1.72	1.87	1.87	1.87	1.87	1.75	1.72	1.72
構造の程度	8.00	3.65	3.40	3.50	2.90	3.70	3.80	3.00	2.10	2.00	2.35	1.55	1.40
過圧密比	32.3	16.8	13.4	41.4	31.5	38.9	16.0	12.5	9.02	8.13	28.4	26.3	21.9