

鉛直荷重一定下で乾湿繰り返しを受けた泥岩粒集合体の力学特性の把握

泥岩 スレーキング 地震応答解析

名古屋大学 国際会員 中野正樹 酒井崇之

学生会員○早野智彦

高速道路総合技術研究所 国際会員 中村洋丈

正会員 小林一

1 はじめに

2009年8月の駿河湾沖地震では、牧之原SA付近の泥岩で建設された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。著者らは、以前より、予め乾燥・湿潤サイクル（以後、乾湿繰り返し）を与えた泥岩粒を締固め、圧縮・せん断挙動を把握することを試み、乾湿繰り返しにより最大軸差応力が低下することを示した。本研究は、実際の盛土に近い状態を想定し、締固め度 D_c を95%として締固めた泥岩粒集合体に対し、一次元載荷状態での乾湿繰り返しを与え、スレーキング進行を模擬し、圧密・せん断挙動を把握する。特にせん断挙動に及ぼす影響として、泥岩粒の粒度に注目して考察を加える。

2 用いた泥岩の物性

本研究で用いた泥岩は神戸の道路工事で発生したもので、表1はその物性を示す（以後、神戸泥岩と呼ぶ）。スレーキング率82%でスレーキングを起こしやすい泥岩である。

表1 対象とした泥岩の物性

| | | | |
|-------------------|------|--------------------|------|
| 自然含水比(%) | 22.6 | 液性限界(%) | 52.1 |
| 土粒子密度(g/cm^3) | 2.62 | 塑性指数 | 26.9 |
| スレーキング率(%) | 82 | 最適含水比(%) | 25.3 |
| 破碎率(%) | 44 | 最大乾燥密度(g/cm^3) | 1.47 |

3 鉛直荷重一定下での泥岩粒集合体の乾湿繰り返し後のせん断挙動

神戸泥岩の初期粒径を26.5~37.5mmに調整し、直径10cm、高さ20cmのモールドに静的に締固め、乾湿繰り返し圧縮試験を実施した。試験機の概要については文献5)を参照されたい。乾湿経験の条件は、300kPaの鉛直応力を与えて3日間水浸させた後、乾燥13日間、水浸4日間のサイクルを3回作用させた。その後、三軸試験機にセットし直して300kPaで等方圧密後、非排水圧縮試験を実施した。乾湿を与えないものも、300kPaの鉛直応力を与え、同様に等方圧密後、非排水圧縮試験を実施した。

表2 試験ケース

| Test | 乾湿回数(回) | 初期比体積 |
|------|---------|-------|
| 1 | 3 | 1.861 |
| 2 | 0 | 1.858 |
| 3 | 0 | 1.720 |

ここでは表2に示すように乾湿回数、初期密度の違いで3種類の試験 (Test-1, 2, 3) を実施した。Test-1,2は締固め度 $D_c=95\%$ 相当の密度である。なお、Test-3については、図1に示す通り、乾湿圧縮後のTest-2と同じ比体積になるように供試体を作製した。

図1には、せん断前のTest-1~3における、鉛直荷重一定下での乾湿繰り返し圧縮曲線を示す。乾湿作用を与えていないTest-2,3はほとんど圧縮していないが、Test-1は乾湿繰り返し作用により、比体積が0.15程度小さくなっている。特に乾燥過程において圧縮した。図2に乾湿3回のTest-1、および乾湿を作用させない乾湿0回のTest-2のせん断挙動を示した。乾湿繰り返しを作用させたTest-1の方が、乾湿0回のTest-2よりも最大軸差応力は大きくなった。この理由として、せん断試験前の鉛直荷重一定下での乾湿繰り返し作用によって泥岩粒供試体が圧縮し、密度が増加したことが挙げられる。Test-1とTest-2のせん断時乾燥密度はそれぞれ $1.54g/cm^3$ と $1.46g/cm^3$ であった。

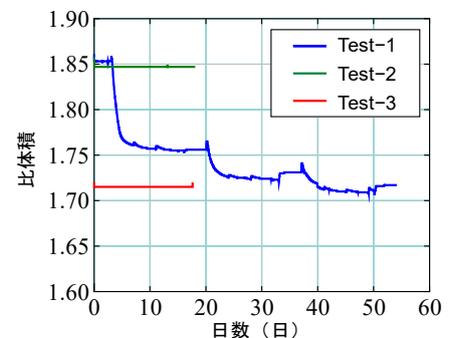


図1 Test1~3の乾湿圧縮中の沈下-時間関係

図3には、Test-1のせん断直前の密度と同じにした乾湿0回の圧密非排水せん断試験結果 (Test-3) を示す。同じ密度における乾湿作用があるか無いかのせん断挙動の比較を示しており、Test-3の方がより大きな最大軸差応力を示している。図4はせん断終了後の粒径分布を計測したものである。Test-1はTest-2と比較して、せん断によって粒径が変化し、粒度範囲2~20mmの粒度のみが最大10%細粒化している。またTest-1とTest-3を比較すると、若干Test-3の細粒分の方が多くなっている。これは密に締固めた際に起こった粒子破碎の影響と考えている。

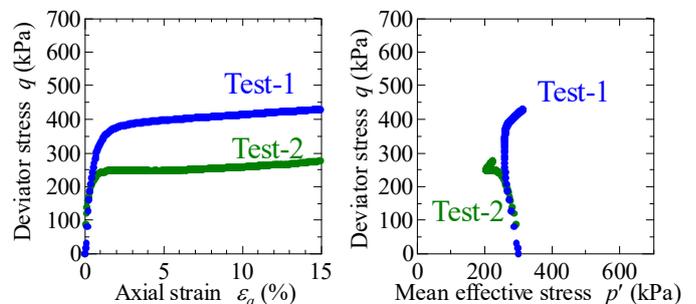


図2 Test-1とTest-2の非排水三軸圧縮試験結果

また詳細は示さないが、試験終了後、複数の泥岩粒に対し、参考までに、針貫入試験を実施したところ、ばらつきがあるが、Test-3の貫入荷重の方が大きく、粒が硬い傾向があるようである。

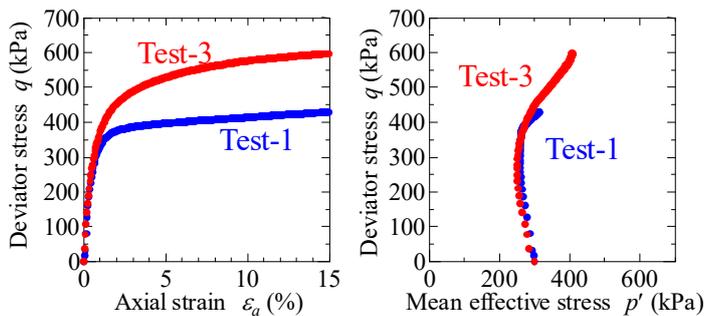


図3 Test-1とTest-3の非排水三軸圧縮試験結果

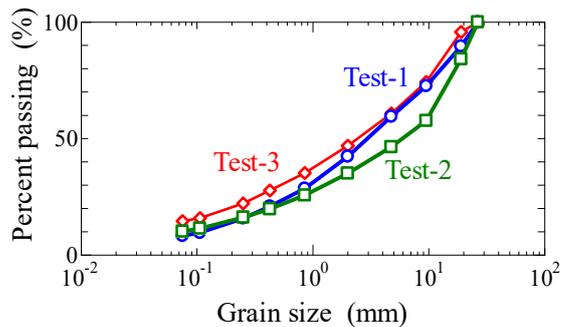


図4 せん断後供試体の粒度分布

4 鉛直荷重を受けない条件での泥岩碎石集合体の乾湿繰り返し後のせん断挙動

本章では、一次元載荷をせずに、乾湿繰返しを作用させた試験結果を紹介する。初期粒径を9.5~19.0mmに調整し、乾湿0回と2回を作用させた後、直径7.5cm、高さ15cmのモールドに締固め度 $D_c=95\%$ で静的に締固めて乾燥密度を等しくし、等方圧100kPaで等方圧密した後、非排水圧縮試験を実施した。乾湿作用を与えていないケースをTest-4、乾湿2回作用させたケースをTest-5とする。

図5に三軸試験結果を示す。軸ひずみ1%、軸差応力110kPa程度までは、ほとんど同じ挙動を示した。乾湿していないTest-4はその後塑性膨張に伴う硬化挙動を示したのに対し、乾湿を2回与えたTest-5については、塑性圧縮に伴う軟化挙動を示した。最終的にTest-4は軸差応力が約140kPaであり、Test-5は軸差応力が約100kPaであった。両者の軸差応力は約40kPa程度異なり、強度低下率は約30%であった。図6はTest-4とTest-5の粒度試験結果を示す。0.425mm~9.5mmの粒度が異なり、Test-5の方が、粒が細かくなった。特に4.75mmや9.5mmの粒径が少なくなった。Test-1からTest-3の初期粒径、乾燥密度、三軸供試体寸法、乾湿回数とは違うので、直接比較はできないが、Test-4とTest-5のせん断時の乾燥密度（つまり比体積）は等しくしていることから、乾湿繰返し後に締固めたことによる細粒化により、強度低下されたと推察される。

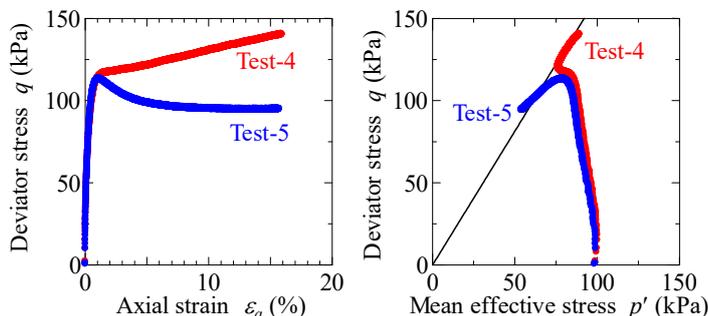


図5 Test-4(乾湿0回)とTest-5(乾湿2回)の非排水せん断挙動

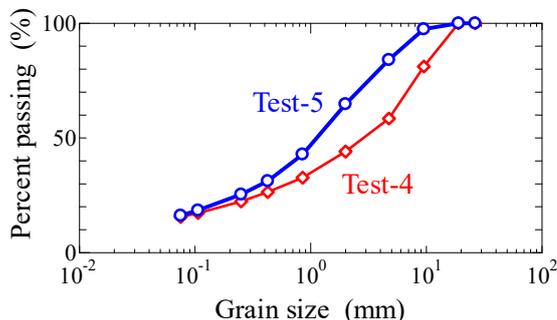


図6 Test-4とTest-5の粒度試験結果

5 まとめ

以下に本研究の結論を述べる。

- 1) 鉛直荷重一定下での乾湿繰返し後のせん断挙動において、乾湿を3回与えた泥岩粒集合体 (Test-1) は沈下に伴い乾燥密度が大きくなることから、乾湿0回での泥岩粒集合体 (Test-2) よりも最大軸差応力は大きくなった。せん断後の粒径分布は乾湿により若干変化し、細粒化が進行している。
- 2) Test-1のせん断直前の密度と同じにした乾湿0回の泥岩粒集合体 (Test-3) は、Test-1よりも大きな最大軸差応力を示した。せん断後粒径分布では、密に締固めた為に、Test-3の方がTest-1よりも細粒化している。
- 3) 一次元載荷をせずに、乾湿繰返しを作用させた場合、乾湿0回での泥岩粒集合体 (Test-4) は、乾湿を2回与えた泥岩粒集合体 (Test-5) よりも最大軸差応力が大きくなった。これは、乾湿繰返し後に締固めたことによる細粒化が原因であると考えられる。

謝辞：なお本報告は、科学研究費補助金（若手研究（B）：課題番号16K18147）の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 中野正樹, 酒井崇之, 倭大史, 福田雄斗, 工藤佳祐(2015): スレーキング特性の異なる3種類の泥岩碎石集合体の力学挙動に関する骨格構造概念による解釈, 第50回地盤工学会研究発表会, pp.1123-1124
- 2) 酒井崇之, 中野正樹, 早野智彦, 中村洋丈, 小林一(2017), 乾湿繰返し圧密試験機による泥岩碎石集合体のスレーキング進行特性と圧縮特性の把握, 土木学会全国大会, 第72回年次学術講演会