

# 泥岩の風化進行にともなう強度変化に着目した2次元DEMシミュレーション

長岡技術科学大学 非会員 ○花沢 大輔  
長岡技術科学大学 非会員 立花 賢吾  
長岡技術科学大学 正会員 福元 豊  
長岡技術科学大学 正会員 大塚 悟

## 1. はじめに

地盤材料の風化には様々な発生過程があるが、代表的な風化の1つとして乾湿風化（粘土鉱物の吸水膨張と乾燥収縮）が挙げられる<sup>1)</sup>。泥岩は乾湿の繰り返し受けると風化が促進され、地盤の安定性や強度に多大な影響を及ぼす。ゆえに乾湿風化の進行にともなう強度変化を詳細に知ることは重要な課題の1つである。本研究では、2次元粒子計算モデル（DEM）を用いて、地盤材料が乾湿繰り返しによって風化する過程を2次元シミュレーションにて再現し、乾湿を数回繰り返したモデルに対して、一軸圧縮シミュレーションを行った。そして、風化にともなう強度変化を通じて提案モデルの適用性を検証した。

## 2. DEMモデルによる膨張収縮と粒子間固着の表現

粒状体モデルの開発は、DEM（Discrete Element Method, 個別要素法）をベースとして行う。DEMによる膨張収縮と粒子間固着の表現に関しては、著者らのこれまでの研究<sup>2), 3)</sup>と同様の方法を用いてモデル化した。

## 3. 乾湿繰り返しを受ける泥岩のスレーキングシミュレーション

今回検討したDEMモデルは初期状態（ $t=0s$ ）での寸法が100mm×200mmの長方形で、平均粒径1mmの円形粒子約25000個で構成されている。法線方向の粒子間固着応力 $t_n=1.0 \times 10^6 N/m$ とした。この値はバネ定数との組み合わせにより泥岩らしい固着特性を再現できる範囲内の値である<sup>2)</sup>。膨張収縮を受ける領域についてはモデル全体の10%、75%、100%とし、膨張終了直後に収縮が開始するサイクルを3回繰り返した。その他パラメータは著者らのこれまでの研究<sup>2)</sup>と同様に設定して計算を行う。図1は以上の条件にて実行した計算結果を示したものである。膨張領域75%、100%は省略する。拡大図から、モデルは乾湿を受ける度にクラックが増えていく様子が確認できる。また、粒子間の固着破壊を粒子の細粒化と捉えれば、風化の進行度と類似できると考えた。これを定量的に確認するために粒子間の固着が破壊された粒子間接触数を時間ごとに整理した。なお、膨張2s、収縮2sで1サイクル4sとする。図2より、膨張領域10%、75%のモデルでの粒子間固着は初回の湿潤時に大きく破壊され、20%まで増加している。その後は著しい増加は起きていないことがわかる。一方で膨張領域が100%のモデルでは著しい増加は確認できず、モデルの固着破壊はほとんど起きていないことがわかる。以上から非膨張領域を導入したことによって風化進行度に差異が生じたことを確認できる。

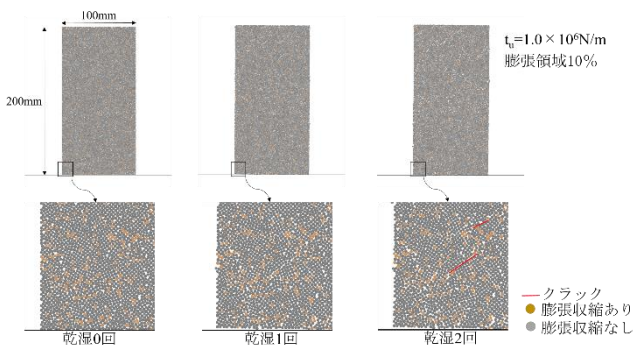


図1 乾湿繰り返しシミュレーション

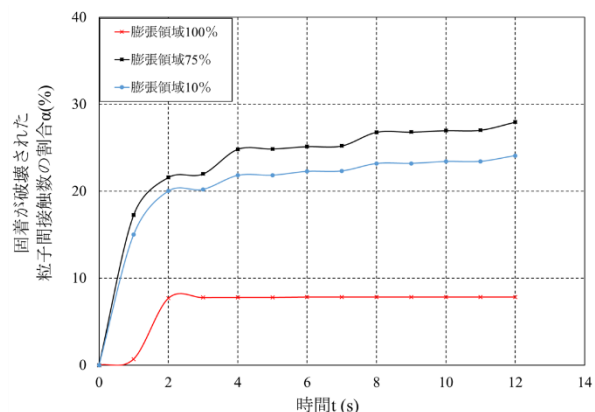


図2 固着が破壊された粒子間接触数

#### 4. 乾湿風化を受けた泥岩の一軸圧縮シミュレーション

乾湿繰り返しのシミュレーションの結果をうけ、乾湿繰り返しを与えたことによる強度特性の変化を調べた。

3. で乾湿を与えたモデルに対して、一軸圧縮シミュレーションを行う。図3に膨張領域10%、75%、100%の一軸圧縮シミュレーションの結果を示す。また、図4に一軸圧縮シミュレーションより得られた一軸圧縮強度を示す。図3、図4より、膨張領域10%、75%のモデルでは乾湿を受けたことにより、モデルの一軸圧縮強度は低下していることがわかる。しかし、膨張領域100%のモデルでは乾湿を受けても、一軸圧縮強度に変化が見られなかった。これは、図2から膨張領域100%のモデルでは粒子間の固着破壊がほとんど起きていないため、一軸圧縮強度に変化が見られないと考えられる。また、膨張領域10%、75%のモデルの大きな強度低下は、粒子間の固着が最も大きく破壊された初回の膨張時のみに起きていることがわかる。このことから粒子間の固着が破壊される割合に伴って、モデルの一軸圧縮強度が大きく低下していると推測できる。実泥岩は乾湿経験から大きく細粒化する際に、一軸圧縮強さが細粒化の程度に伴って低下することが既往研究から知られている<sup>4)</sup>。そのため、今回のシミュレーションでは既往研究と類似した結果を得ることができたと考える。

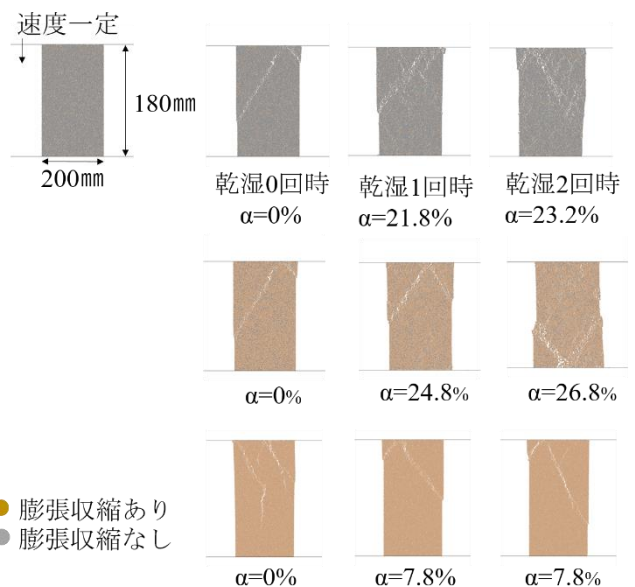


図3 一軸圧縮シミュレーション

(上：膨張領域10%，中：膨張領域75%，  
下：膨張領域100%)

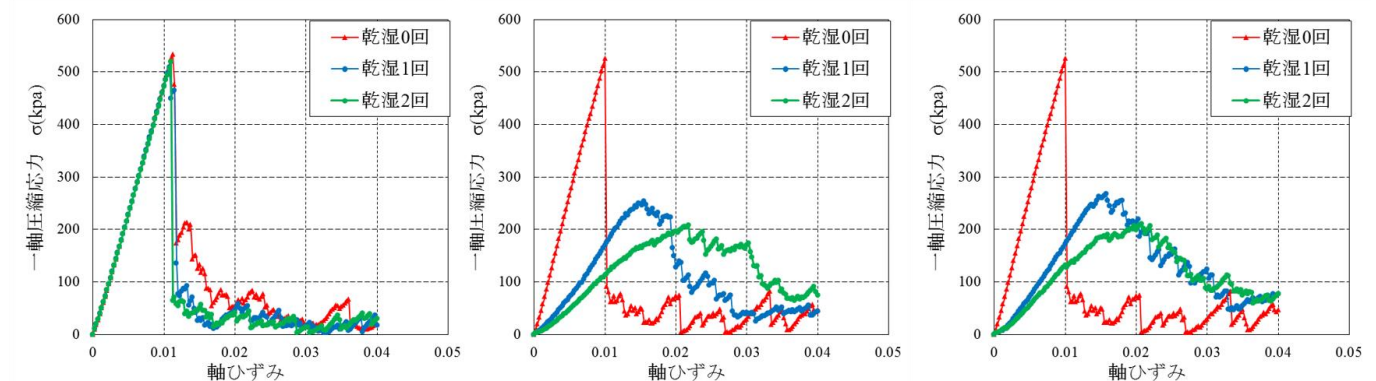


図4 一軸圧縮強度 (左：膨張領域100%，中：膨張領域75%，右：膨張領域10%)

#### 5. おわりに

今回は、様々な膨張収縮を受ける領域で、粒子間固着応力  $t_{\mu}=1.0 \times 10^6 \text{N/m}$  で固定したモデルに対してシミュレーションを行った。非膨張領域を導入したことによってモデルの風化進行度合いの差異が生じることがわかる。また、風化に伴う強度変化は、全ての領域を受けるモデルよりも非膨張領域を導入したモデルのほうが、実泥岩に近い強度変化の傾向を示すことがわかる。今後は、含水比や水分量によって膨張量が変わるパラメータを導入することでより現実的なモデル化をし、シミュレーションを行う予定である。

#### 6. 参考文献

- 1) 菊本 統, 福田 拓海, 京川 裕之: 破碎泥岩のスレーキング現象と変形挙動, 土木学会論文集 c (地圏工学) vol. 72No. 2, 126-135, 2016
- 2) Yutaka Fukumoto and Satoru Ohtsuka : Discrete Particle Simulation Model For Slaking Of Geomaterials Including Swelling Clay Minerals, International Journal of Geomate, Feb, 2019 Vol.16, Issue54, pp.134-pp139
- 3) 立花賢吾, 輪島僚也, 福元豊, 大塚悟: 膨張収縮を考慮した粒子計算モデルによる地盤材料の2次元風化シミュレーション, 第35回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集
- 4) 酒井崇之, 中野正樹, 倭大史, 福田雄斗, 工藤佳祐: スレーキング特性の異なる3種類の泥岩砕石集合体の力学特性に及ぼす乾湿経験回数の影響, 第27回中部地盤工学シンポジウム