

初期亀裂を含む土の一軸圧縮シミュレーション：DEMによる検討

長岡技術科学大学 ○澤 知行, 花沢 大輔, 福元 豊
石川工業高等専門学校 新保 泰輝, 一藤 亮太

1. はじめに

地盤材料の風化による影響として、亀裂の発生が挙げられる。地盤に亀裂が入ると、地盤の安定性や強度に多大な影響を及ぼす。ゆえに、亀裂が進行する挙動やそれに伴う強度変化を詳細に知ることは、風化の数値解析モデル¹⁾を開発するうえで重要な課題の1つである。本研究では、2次元粒子解析モデルを用いて、初期亀裂を有する地盤材料の破壊挙動を再現するための一軸圧縮シミュレーションを行った。そして、亀裂の挙動および強度変化を対応した実験²⁾の結果と比較し、提案モデルの適用性を検討した。

2. 粒子間の固着モデル

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によるモデル化では、粒子間バネの引張側に所定の強度を設けて粒子間に引力を生じさせることで、粒子集合としての固着特性を表現した¹⁾。図1に示すように、法線方向と接線方向の粒子間固着力は通常接触時のクーロンの破壊直線を接触法線方向力 $F_n^{\text{cont}}(\text{N})$ の負の方向に $t_\mu(\text{N})$, 接触接線方向力 $F_t^{\text{cont}}(\text{N})$ の正の方向に $c_\mu(\text{N})$ だけ平衡移動させた直線に従い、これら、 t_μ , c_μ が粒子間のバネ引張り強度となりモデル係数となる。また、粒子間の固着力を踏まえた上での回転抵抗モデル³⁾を合わせて導入することで、粒子間の固着がトルクに与える影響も考慮した。

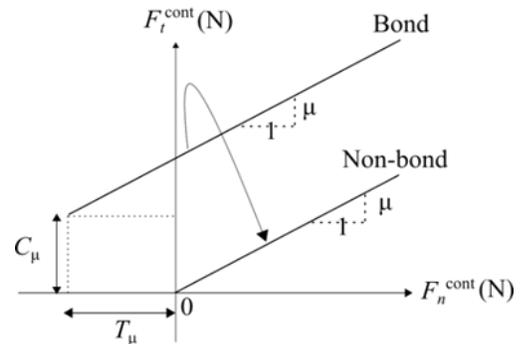


図1. 接線法線方向力と接線方向力の関係

3. 亀裂モデルの一軸圧縮シミュレーション

今回検討したDEMモデルは初期状態 ($t=0\text{s}$) での寸法が $50\text{mm} \times 100\text{mm}$ の長方形で、モデルの中心に亀裂を想定した斜めの空洞を有したモデルであり、平均粒径 0.25mm の円形粒子が 79305 個で構成されている。モデルは含水比が最適値である状態を想定したモデルと含水比が最適値より多い状態を想定したモデルの2種類を使用する。含水比が最適値のモデルでは、法線方向の粒子間固着応力を $t_\mu=5.0 \times 10^4 \text{N/m}$, 接線方向の粒子間固着応力を $c_\mu=1.0 \times 10^5 \text{N/m}$, 法線方向と接線方向の粒子間固着応力の関係を $c_\mu=t_\mu \times 2.0$ とした。一方、含水比が最適値より多いモデルでは、法線方向の粒子間固着応力を $t_\mu=4.0 \times 10^4 \text{N/m}$, 接線方向の粒子間固着応力を $c_\mu=1.0 \times 10^5 \text{N/m}$, 法線方向と接線方向の粒子間固着応力の関係を $c_\mu=t_\mu$ とした。滑り摩擦係数は 0.6 , 転がり摩擦係数は 0.15 とした。また、初期亀裂の表現に関しては、モデル中心部に初期亀裂を想定した高さ 8mm , 幅 2mm , 角度 45 度の空洞を作成し一軸圧縮シミュレーションを行った。一軸圧縮は、モデル下面に接触した壁を 0.001m/s の速さで上方向に移動させた。図2に一軸圧縮シミュレーションの結果と対応した実験の写真を示す。また、図3に一軸圧縮シミュレーションより得られた一軸圧縮応力と対応した実験の結果を示す。

図2より、実験と同様に、解析においても破壊初期ウイングクラックが発生した。破壊形態に関しては、最適値の場合は引張り破壊、最適値より水分量が多い場合はせん断破壊となった。これは対応した実験と同様の結果となった。また、図3より最適値の場合の方が最適値より水分量が多い場合に比べて一軸圧縮強度が大きくなった。強度の大きさと、それに対応する軸ひずみ (%) の大きさも実験と同様の結果となった。壁の移動速度を実験と近づけるため 0.0001m/s とした場合においても同様の結果となった。このようになった要因として、法線方向の粒子間固着力と接線方向の粒子間固着力の大きさの比率が影響していると考えら

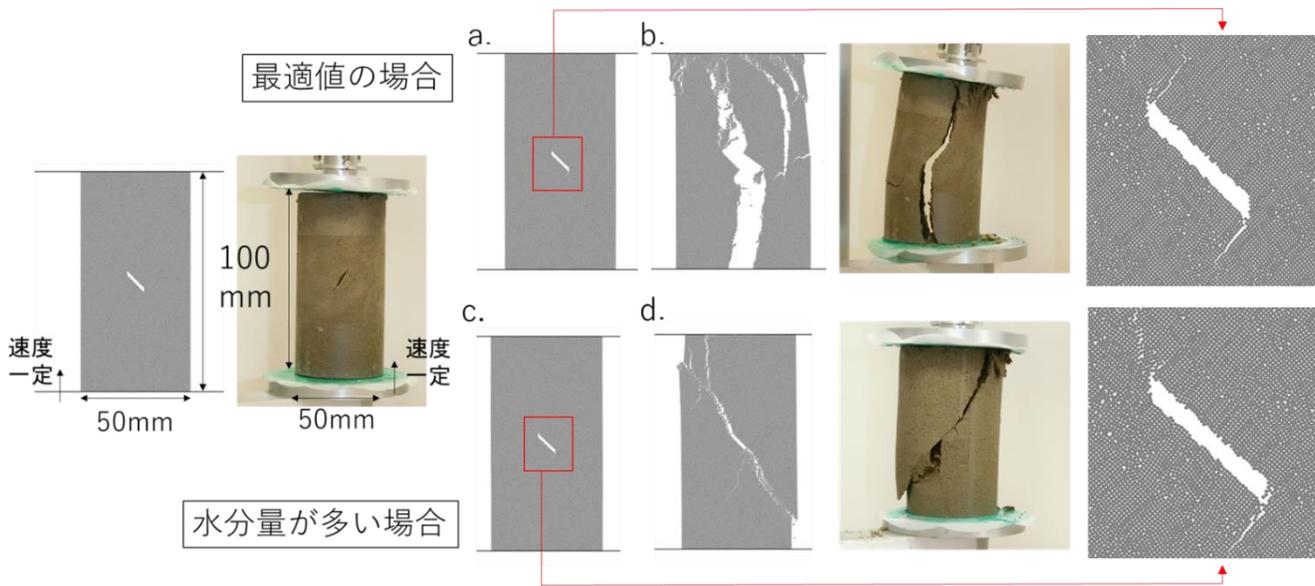


図2 一軸圧縮シミュレーションと対応する実験²⁾の亀裂の入り方の比較

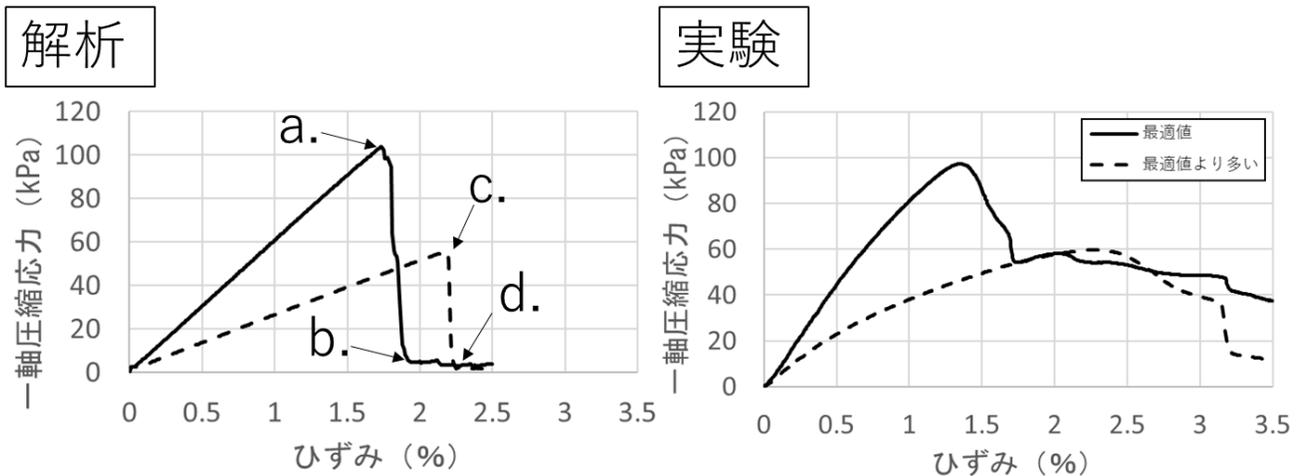


図3 一軸圧縮応力と対応する実験の比較

れる。

4. おわりに

今回は、含水比が最適値の場合と含水比が最適値より多い場合の2種類のモデルに対してシミュレーションを行った破壊初期のウイングクラックを再現することができ、土の一軸圧縮強度の違いに対応した異なる破壊形態（引張り破壊とせん断破壊）を表現することができた。今後はこれらの結果を風化に関するDEMモデル²⁾に反映させる予定である。また、Peridynamics法やX-FEMといった他の解析手法との比較も実施する予定である。なお、この研究は「令和2年度高専-長岡技大共同研究の推進」の助成を受けた。

5. 参考文献

- 1) Yutaka Fukumoto, Satoru Ohtsuka : Discrete particle simulation model for slaking of geomaterials including swelling clay minerals, International Journal of GEOMATE, Vol.16, No.54, pp.134-139, 2019.
- 2) Ryota Itto, Tomoyuki Sawa, Daisuke Hanazawa, Taiki Shimbo, Yutaka Fukumoto: Inverse analysis of uniaxial compression tests on clays with a crack, Proceedings of STI-Gigaku, Vol. 5, 2020.
- 3) Yutaka Fukumoto, Hide Sakaguchi and Akira Murakami: The role of rolling friction in granular packing, Granular Matter, Vol.15, pp.175-182, 2013.