

接触点にセメントボンドを有する粒状体の単純せん断及び一軸引張りシミュレーション

筑波大学 学生会員 ○近藤 邦彦 筑波大学 学生会員 上田 高生
筑波大学 正会員 松島 亘志 筑波大学 正会員 山田 恭央

1. はじめに

不攪乱土のせん断強度が、攪乱して再構成した試料のそれより大きいことはよく知られている。砂質土の場合、その原因のひとつとしてエイジングが挙げられるが、微視的には砂粒子間の接触点に石灰などが析出し、それが結合材の役割を果たすことが考えられる。

一方、人工的なセメント固化による土質改良技術も近年開発が進んでいる。現状では、薬剤や施工法による影響に関する検討は、実験によりバルクとしての観点から検討することが多いが、透水性を維持しながら強度を増加させるなどのきめ細かい工法の開発には、マイクロメカニクスの検討が欠かせない。

このような背景から、本研究では要素間 bonding¹⁾とモーメントバネ²⁾を導入した 2 次元個別要素法(Discrete Element Method)を用いて、単純せん断及び一軸引張り試験のシミュレーションを行い、接触点セメントの役割についての検討を行ってみた。

2. 接触点ボンドモデルを導入した DEM 解析

2.1 単純せん断試験シミュレーション

(1) 供試体の作成方法

以下に示す手順によって、シミュレーションで用いる供試体を作成した³⁾。なお、表 1 に計算パラメータ、表 2 に各ケースの応力条件を示す。

- 1) 一定の長方形領域内に、2000 個の円形粒子をランダムに発生させる。左右の境界を固定し、上下方向に鉛直応力 σ_b (以下 bonding 応力) を与えて圧縮して細長比 0.28~0.33 のサンプルを作成する。安定した後、左右端を周期境界とし、上下に結合粒子による摩擦板を設置する (図 1(a))。なお、密詰め均質サンプルを作成するために粒子間摩擦角をゼロとし、シミュレーションは無重力条件のもとに行った。
- 2) 粒子が十分静止したら、粒子間摩擦角を 27 度に設定し、粒子間に接触点ボンドを発生させる (図 1(b))。
- 3) 下端の結合粒子は固定し、上端の結合粒子に拘束圧 σ_n をかけながら右方向にひずみ速度 0.035/s で定速変位してせん断を行う (図 1(c))。

(2) 結果

単純せん断のシミュレーションを行った結果、図 2 のような Mohr-Coulomb の破壊基準線が得られた。 σ_b の増加に伴って粘着力 c も増加しているがせん断抵抗角 ϕ には大きな変化は見られなかったことから、接触点ボンドは粘着力を増す形でのみせん断強度に影響を与えるとみてよい。

2.2 一軸引張り試験シミュレーション

2.1 節(1)と同様に粒子をパッキングしてボンド結合試験体を作成した。ただし今回は上下端を固定し、左右端に配置した結合粒子によって水平方向に σ_b で圧縮した。その後、bonding 力を与えて左端の結合粒子は固定し、右端の結合粒子を右方向にひずみ速度 0.0023/s で定速変位させて一軸引張り試験のシミュレーションを行った (図 3)。その結果、 σ_b の増大に伴って接触点ボンドの強度が増加したことによる引張強度及び変形能の増加が確認された (図 4)。また、Jiang らのモデルでは、粒子間接触深さに応じてモーメントバネの限界モーメント M が決まるが、実際に発揮される限界値 M^* を変化させて一軸引張り試験のシミュレーションを行ったところ、 $M^*/M < 0.5$ では M^* の増加に伴って引張強度も増加するが、 $M^*/M > 0.5$ ではほぼ一定値をとることがわかった (図 5)。

3. 今後の展望

本研究で得られたシミュレーション結果を松島⁴⁾の提案する粒子構造モデルと比較することで、シミュレーショ

キーワード 個別要素法 (DEM), せん断強度, 引張強度, 粒状体, 接触点セメント

連絡先 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学地盤工学研究室 TEL 029-853-5138

シミュレーションの再現性やモデルの改善すべき点に関して検討を行う予定である。

参考文献

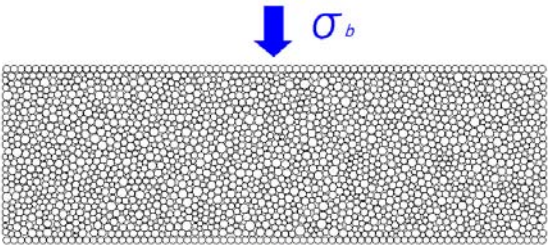
[1]松島亘志, 池間健仁, 山田恭央, 土木学会応用力学論文集, 12, 489-496, 2009. [2]Jiang, M.J., Yu, H.-S. and Harris, D., Computers and Geotechnics, 32, pp. 340-357, 2005 [3]近藤邦彦, 筑波大学卒業論文, 2012 [4]松島亘志: 第二回メタンハイドレート総合シンポジウム CSMH-2 論文集, 2010.

表 1 計算に用いたパラメータ

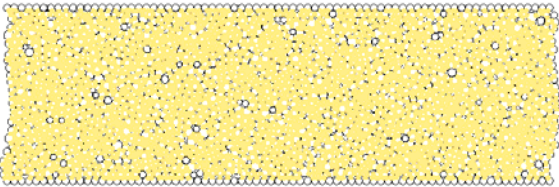
粒子密度 [g/cm ³]	2.5
接触方向バネ剛性 [g/s ²]	1.0e8
せん断方向バネ定数 [g/s ²]	2.5e7
接触方向減衰定数 [g/s ²]	2.0e5
せん断方向減衰定数 [g/s ²]	1.0e5

表 2 各ケースの bonding 応力

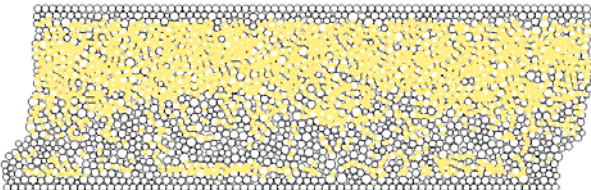
ケース番号	σ_b [N/m]
1	2886
2	962
3	96.2



(a)上下方向からの圧縮



(b) 接触点ボンドの設定
(図中の灰色が接触点ボンド)



(c)単純せん断後

図 1 単純せん断シミュレーション

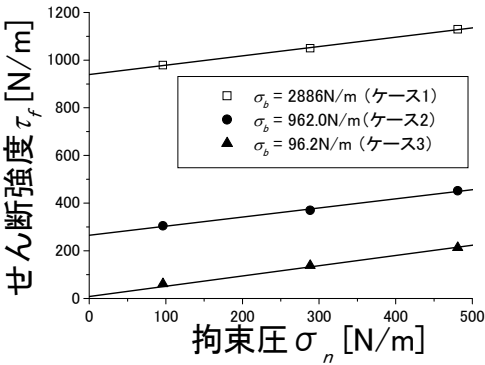


図 2 Mohr-Coulomb の破壊基準線

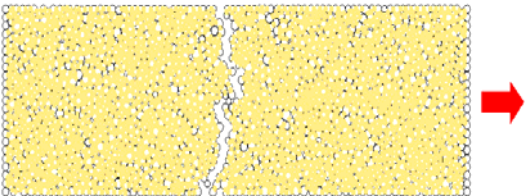


図 3 一軸引張破碎シミュレーション

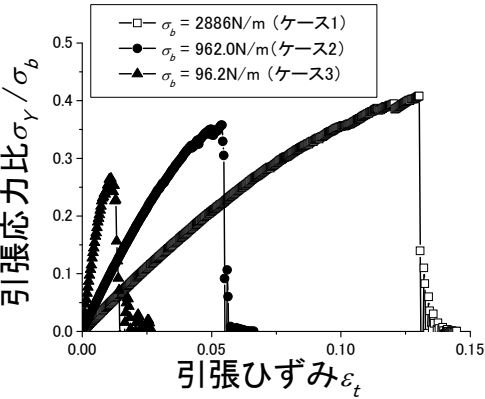


図 4 引張载荷時の応力ひずみ関係

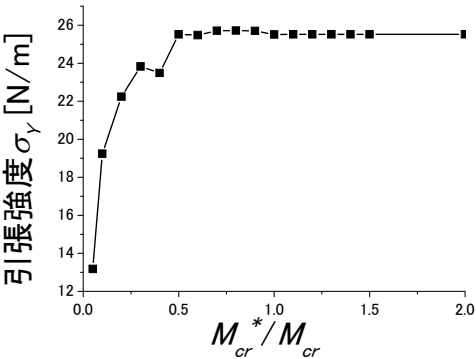


図 5 ケース 2 における限界モーメントに対する引張強度への影響