個別要素法における接触モデルの改良

東電設計　　正会員　○中瀬　仁
飛島建設　　正会員　沼田　淳紀

１．目的

例えばせん断弾性波速度等を再現するように弾性系のパラメータ定めた場合，そのパラメータを用いた個別要素法による地盤の変形解析では，実際の土に比べて圧縮性が極めて小さくなる傾向がある[1]．これまでの検討で，浮力を作用させつつ，一旦接した粒子間には一定の引張力が作用する方法で試験体の初期状態を作成した場合，砂と同程度の圧縮特性を再現できるくらいに圧縮特性を改善することができた[2]．本検討では，軟弱地盤のようなさらに圧縮性の強い土を再現できる新しい粒子間接触モデルを提案する．

２．粒子接触モデル　図-1 に提案する粒子接触モデルの構成関係を示す．接触の方向と局面としては，法線方向で圧縮時のみの改良である．従来のモデルでは，圧縮荷重 F と 2 粒子の接近量 δ が，ばね係数 K_2 の傾きをもつ線形の関係であるが，これを，載荷初期には K_2 より傾きの小さい K_1，荷重 F が硬化点 F_P に達した後は，K_2 となる非線形の構成関係を導入する．この関係は特殊ではなく，土粒子は一般的に載荷初期に剛性が小さいと考えてよい[1]．

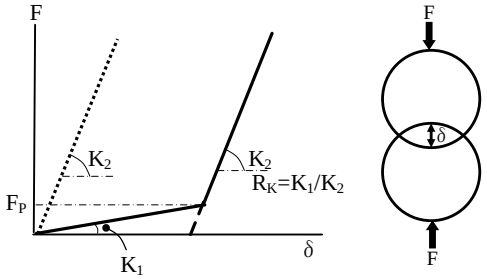
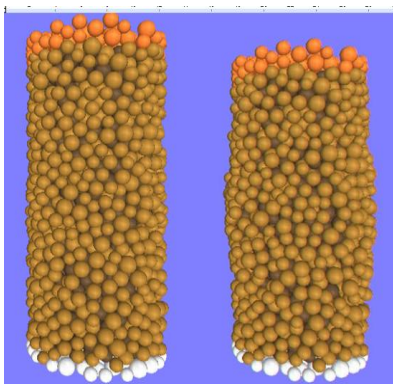


図-1 接触点における法線方向の構成関係

３．三軸試験のシミュレーション　新しい粒子接触モデルの効果を確かめるため図-2 に示すような三軸試験のシミュレーションを行った．排水試験に相当する解析条件とした．材料定数を表-1 に，シミュレーション結果を図-3 に示す．従来法および剛性比が 0.1 のシミュレーションについては，転がりまさつ係数を 0.1，拘束圧を 50kPa とした．それ以外については，転がりまさつ係数を 0.05，拘束圧を 50kPa とした．転がりまさつ係数が大きいほどせん断強度のピーク値は大きくなるとみてよい．剛性比が小さく，硬化点が大きいほど応力ひずみ曲線の勾配が小さくなっている．また圧縮性も大きくなっている．実験は，軟弱地盤土に対する拘束圧 50kPa の非排水試験であり，有効応力に基づいてグラフ化した．過剰間隙水圧は 20kPa 程度であった．剛性比：0.005，硬化点 100N のシミュレーション結果が，実験のグラフと良い一致を示している．


初期状態　　圧縮後
図-2 三軸圧縮試験のシミュレーション例

４．杭の貫入試験のシミュレーション　幅 50cm 奥行き 20cm 深さ 10cm の軟弱地盤を模したフィールドの左端中央に幅 2cm 奥行き 2cm の杭を 5cm 貫入するシミュレーションを試みた．軟弱地盤モデルは，三軸試験シミュレーションで実験を良好に再現した土粒子モデル（新モデルと称す）と同じものを用いた．図-4 に結果を示す．新モデルと従来法にさほど差違が生じなかったのは，パッキングの影響ではないかと考えている．三次元シミュレーションは，2 次元シミュレーションにおいて杭近傍の地盤が盛り上がるような不自然な挙動を改善した．

参考文献

1)　中瀬他：非圧縮性砂粒子の圧縮強度について，第 45 回地盤工学研究発表会，pp.399-400，2010.
2)　中瀬他：個別要素法における初期状態作成法が圧縮特性に与える影響，第 65 回土木学会全国大会年次学術講演会概要集，第 III 分野，pp.789-790，2010.

キーワード　軟弱地盤，圧縮性，杭
連絡先　　〒110-0015　東京都台東区上野 3-3-3　東電設計（株）　土木本部耐震技術部　ＴＥＬ03-6372-5563

表-1　材料定数

平均粒径(m)	0.05
密度(t/m^3)	2.6
均等係数	1.2
法線方向ばね係数(N/m)，Kn（K_2）	1.0 × 10^{07}
接線方向ばね係数(N/m)，Ks	Ks = Kn
剛性比，R_K	0.1, 0.01, 0.005
硬化点，F_P(N)	10, 100
法線方向粘性減衰係数(N・s/m)，ηn	$\eta n=2\times hn\times(Kn\times m_{D50})^{0.5}$ ：hnは法線方向減衰定数で25% ：m_{D50}は，平均粒径粒子質量
接線方向粘性減衰係数(N・s/m)，ηs	$\eta n=2\times hs\times(Ks\times m_{D50})^{0.5}$ ：hsは接線方向減衰定数で0.0006%
時間間隔(s)，dt	5.0×10^{056} $dt_{limit}=0.3(Kn\times m_{min})^{0.5}$ ：mminは，最小粒径粒子質量 ：dtはdt_{limit}より小さい値
要素間摩擦角(°)	30
要素間転がり摩擦	0.1(パッキング時)，0.05(パッキング時) 0.1(載荷時)，0.05(載荷物時)

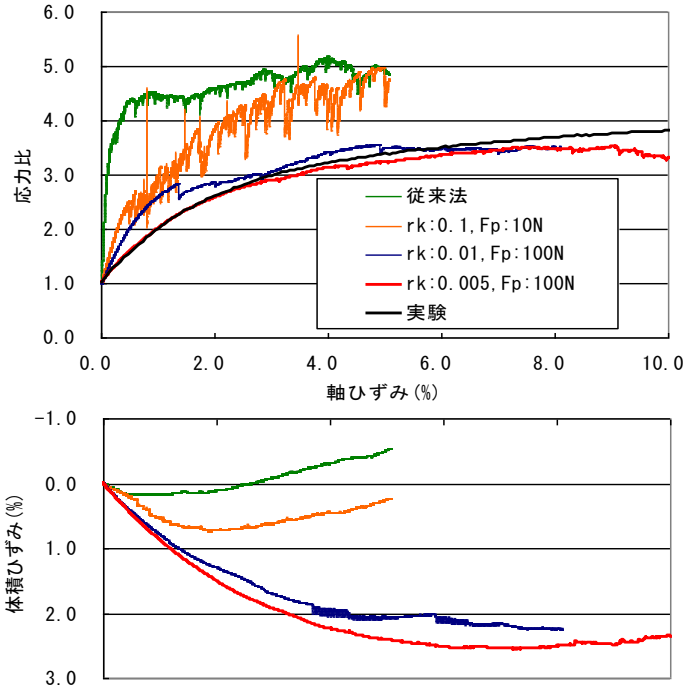
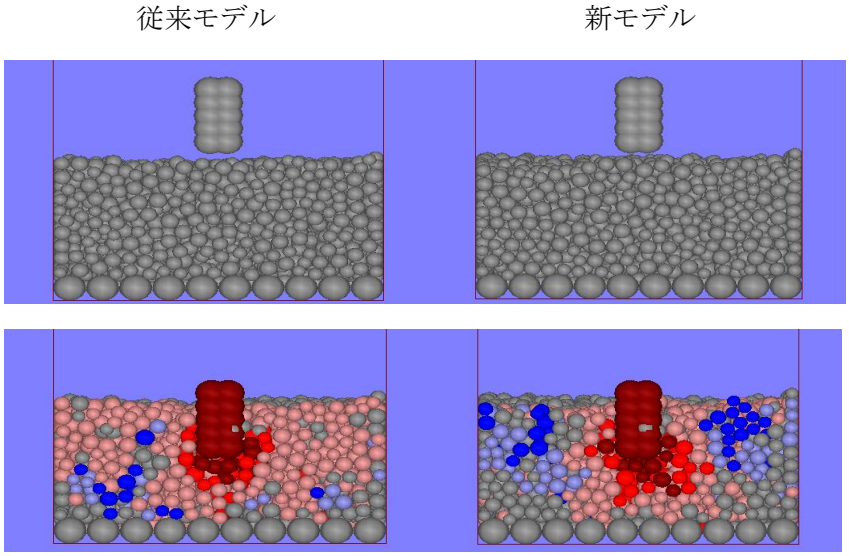
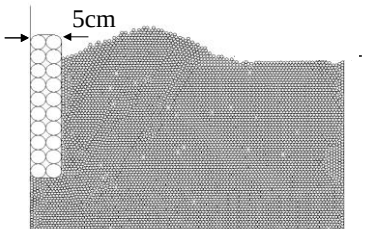


図-3 三軸試験シミュレーション



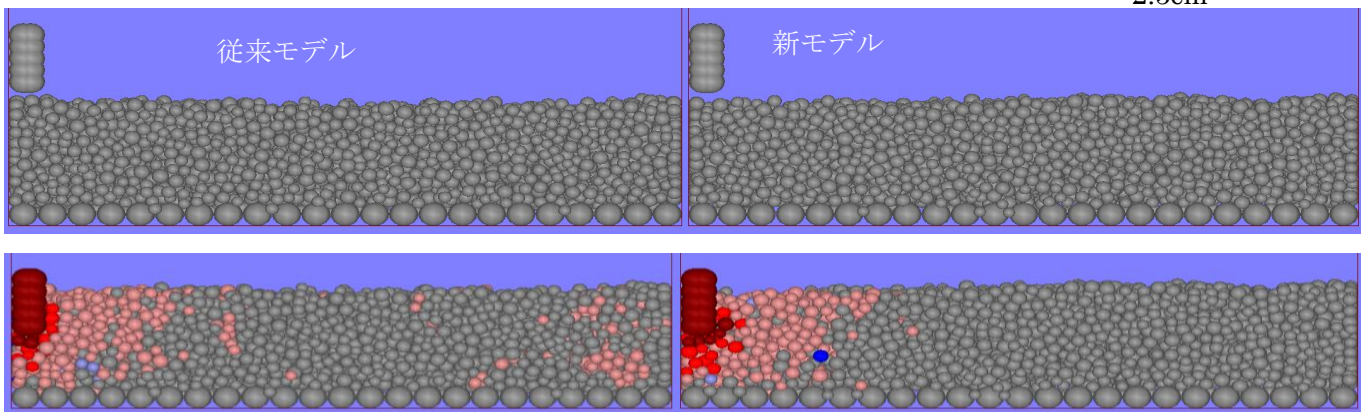
(a)　側面



二次元 DEM のシミュレーション例

凡例

- 0.15cm～
- 0.05cm～0.15cm
- -0.5cm～0.05cm
- -1.5cm～-0.5cm
- -2.5cm～-1.5cm
- ～-2.5cm



(b)正面

図-４　杭５cm 貫入時における鉛直変位分布