

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

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、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⁾。本研究では、初期状態の作成法によってどの程度圧縮特性が変化するか(どの程度実際の土の圧縮特性に近づけることができるか)について着目したシミュレーション検討を実施する。

個別要素法では、解析の初期状態を作成する際にも個別要素法を用いる。このことについて、筆者らが要素試験のシミュレーションをする際の手順を示すことにより説明する。まず、空中に発生した粒子に微小でランダムな初速を与えて重力を作用させ沈降させることを繰り返し、容器内の十分な高さまで充填する。この作業を重力パッキング(図-1)と称する。次に、所定の高さになるように余分な粒子を切り取って、上下の端部を表す粒子を設定し、所定の拘束圧を作用させて安定させる(図-1の5)、6)は三軸圧縮試験のシミュレーション例)。最後に、軸圧縮を作用させる。

さて、重力パッキングの際、粒子間の摩擦が大きいほど間隙が大きくなり、ゆる詰め試験体を作成されることがわかっている²⁾。ここでは、さらにゆるい試験体を作成させるため、重力パッキングの際、1)浮力を作用させる方法と、2)浮力を作用させつつ、一旦接した粒子間に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、それぞれ K_0 圧密を行って圧縮特性を比較する。

2. 試験体モデル作成

直径 10cm、高さ 35cm の試験体を、a:通常の重力パッキング、b:水中を想定し浮力をさせながらの重力パッキング、c:さらに、接触時 1 N の引張抵抗を作用させながらのパッキングにより作成した。引張抵抗は、微粒子が堆積する際の粒子間の電氣的な引張抵抗などを想定している。

表-1 に解析パラメータを示す。それぞれのパッキングにより初期間隙比は、a)0.834、b)0.886、c)0.931 となった。期待通り、a、b、c の順に間隙比が大きくなり、パッキングの方法として、この順番に緩く詰まる効果が発揮されることがわかった。

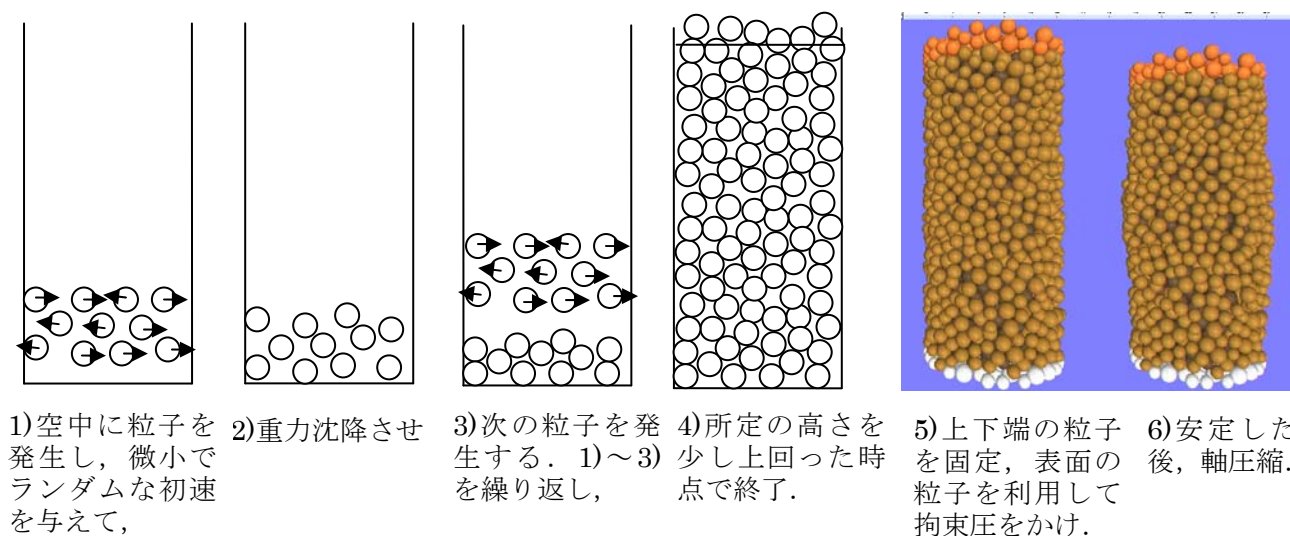


図-1 個別要素法における重力沈降によるパッキングと三軸圧縮試験

キーワード ゆる詰め、間隙比、ダイラタンシー

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 TEL 03-6372-5563

3. K_0 圧密試験のシミュレーション結果

次に、これらの試験体に载荷除荷を二回繰り返して三回目の载荷で終了する K_0 圧密試験を行った。加圧板を表す粒子（加圧板モデルと言う）を等速度で強制変位させることにより载荷除荷を行う。その結果、加圧板モデルにおいて図-2に示すような圧力がモニターされた。加圧板モデルの速度は、全試験体で同値とした。

それぞれの試験体について圧密曲線を図-3に比較する。a の通常の重力パッキングによる試験体は、2 回目の载荷（500kPa 超）においてもほとんど弾性変形であるのに対して、c の浮力+引張抵抗による試験体では、100kPa の载荷で塑性変形が生じている。また、二回目の载荷は、その初期に、一回目の除荷時の経路とほぼ同じ経路を辿って推移する点で地盤材料と傾向が一致している。圧縮性についても定量的に緩い豊浦砂と似通っている 4)の図-5。b の浮力のみ試験体は、定性的には a と c の中間であるが、a に近い結果となった。

4. まとめ

個別要素法によるシミュレーションにおいて、パッキング時、浮力と粒子間に引張抵抗力を考慮することにより、ゆるい豊浦砂の圧縮特性をある程度再現することができた。しかし、粘性土のような大きな圧縮性を再現するには限界があり、これらを改善するためには接触モデルについて別途モデル化の必要があると考えている。

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、投降中、2010。
- 2) 柴他：3次元個別要素法の入力パラメータと発揮される強度の関係について、第62回年次学術講演会概要集、土木学会全国大会、第III分野、pp.683-684、2007。
- 3) 中瀬他：個別要素法摩擦パラメータを設定するためのねじりせん断シミュレーション、第36回地盤工学研究発表会、pp.503-504、2001。
- 4) 境野他：液状化解析手法の適用性に関する研究（その2：要素試験と土質パラメータの設定）、第25回土質工学研究発表会発表講演集、pp.991-994、1990。

表-1 解析パラメータ

法線ばね係数(N/m) : K_n	2.0×10^{07}
接線ばね係数(N/m) : K_s	$K_s = K_n \times 0.025$
法線粘性減衰係数(N・s/m) : η_n	$\eta_n = 2 \times h_n \times (K_n \times m_{D50})^{0.5}$: h_n 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) : η_s	$H_s = 2 \times h_s \times (K_s \times m_{D50})^{0.5}$: h_s は接線方向減衰定数 0.0006%
時間間隔(s)	1.0×10^{06}
要素間摩擦角($^\circ$)	30
要素間転がり摩擦 ³⁾	0.1(パッキング時, 载荷時共)
密度(kg/m ³)	2,600
平均粒径 D_{50} (mm), 均等係数	10, 1.2, 粒子数: 約 3000
引張抵抗力, 試験体 c	1(N)
目標载荷速度, 試験体 c	200(kPa/秒)
目標圧力, 試験体 c	1回目: 100(kPa), 2回目 200(kPa)

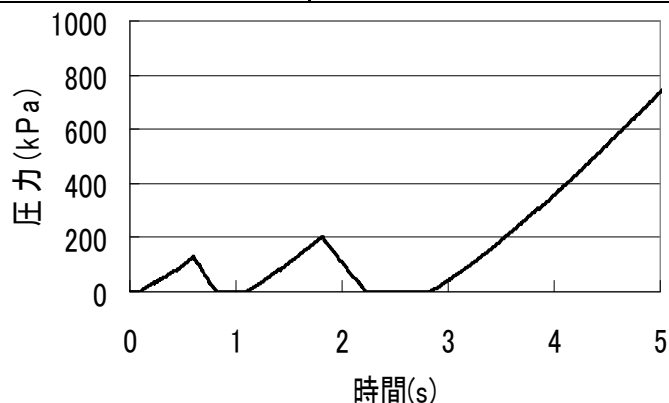


図-2 载荷除荷の時系列(浮力+引張抵抗有)

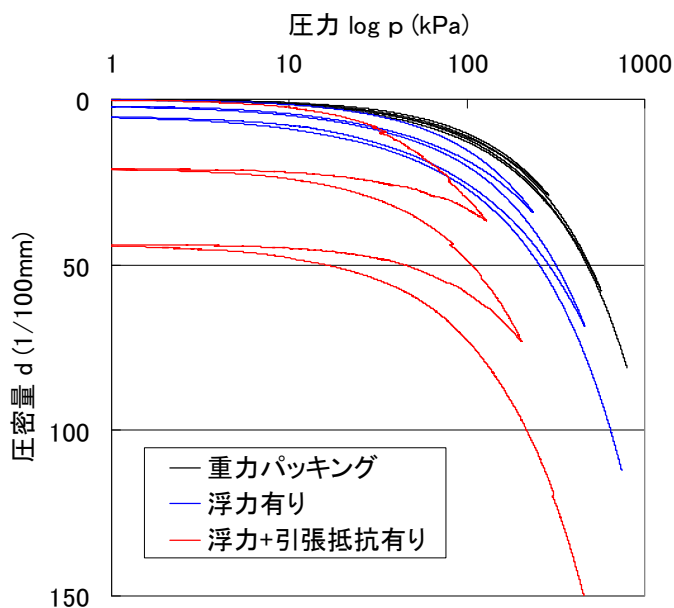


図-3 圧密曲線の比較