

砂の構造劣化のしやすさが拡径による地盤の締固め効果に及ぼす影響

名古屋大学

(正) 浅岡 顕, 中野正樹, 野田利弘, (学) ○水野和憲

中央コンサルタンツ(株) (正) 池田征史

1 はじめに

砂質地盤の液状化対策として、近年、振動を用いない砂杭円筒拡径によって砂質地盤を締め固める工法が用いられている。著者らはこれまでに、構成式に上負荷面カムクレイモデル¹⁾を用いて、初期に「構造」や「過圧密」を有する砂質地盤に、円筒拡径を与える水～土連成計算を行い、締固め挙動を調べてきた²⁾。この弾塑性構成式は、ゆるい砂や自然堆積粘土など、構造が発達した土の塑性変形に伴う構造劣化や正規圧密土化を表現することができる。本報告では、構造劣化のしやすさを支配する材料パラメータ m^* (詳細は後述) が、砂杭拡径による砂質地盤の締固め効果に及ぼす影響について調べた。

2 上負荷面カムクレイモデル

上負荷面カムクレイモデルの詳細は文献¹⁾に譲り、その概要のみを述べる(図1、表1)。カムクレイモデルは完全に構造を喪失した練り返し土(表1,IV)の挙動を表現し、構造を有する正規圧密土(表1,I)は、カムクレイ降伏面の外側に相似形の「上負荷面」を導入して表現する。これにより構造が発達している土は、練り返された土にとっての「不可能領域(Impossible state)」にその状態を取ることができ、練り返し土と比べ間隙比が同じならより大きな荷重を支え、荷重が同じならより大きい間隙比を取ることができる(「嵩張った状態」)。これら2つの負荷面の相似比 R^* の逆数が、「構造」の程度を表す。構造を有する過圧密土(表1,II)は、橋口³⁾にならい、上負荷面の内側に相似形の下負荷面を導入し表現する。上負荷面との相似比 R の逆数が過圧密比に相当する。土は塑性変形が進むにつれ、構造を喪失し ($R^* \rightarrow 1.0$)、過圧密を解消して ($R \rightarrow 1.0$)、構造のない正規圧密粘土へ戻る ($R = R^* = 1.0$, 表1,IV)。ここで構造劣化は式(1)(R^* の発展則)で示し、式中の m^* を構造劣化指数と呼ぶ。過圧密の解消は式(2)(R の発展則)で示し、そのしやすさを表す式中の m を正規圧密土化指数と呼ぶ。

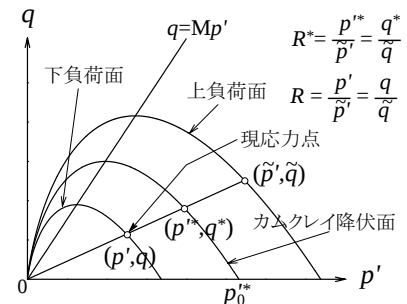


図1 3つの負荷面

表1 土のカテゴリ

	構造あり	構造なし
正規圧密土	I	IV
過圧密土	II	III

$$\dot{R}^* = JU^* \sqrt{\frac{2}{3}} \|D_s^p\|, \quad U^* = \frac{1}{D} R^* (1 - R^{m^*}) \quad \dots (1) \quad \dot{R} = JU \sqrt{\frac{2}{3}} \|D_s^p\|, \quad U = -\frac{m}{D} \ln R \quad \dots (2)$$

なお、 $D = \frac{\tilde{\lambda} - \tilde{\kappa}}{M(1 + e_0)}$ はダイレイタンシー係数、 $M, \tilde{\lambda}, \tilde{\kappa}, e_0$ はそれぞれ限界状態定数、圧縮指数、膨潤指数、初期間隙比で、 $J = \frac{1 + e}{1 + e_0}$ 、 e : 現時刻 ($t = t$) での間隙比である。 $\|D_s^p\|$ は塑性ストレッチング D^p の偏差成分 D_s^p の大きさを表す。

3 解析条件

通常用いられるような施工仕様を参考に、置換率を約12%とし、以下の1.~2.の順序で計算を行った。

1. 深さ12m、直径2mの円柱(図2)の中心に、実施工例では地盤深部よりケーシングパイプの直径0.4mから、引抜き～打戻しを経て直径0.7mの砂杭に段階的に拡径していくが、簡単のため、本解析では軸対称条件を仮定して、図3に示す有限要素メッシュの左側の境界から強制水平変位15cmを一様に与えることで円筒拡径を表現する。拡径速度は、地盤全体に与える強制変位量を砂杭一本の総施工時間(15分)で除した0.01m/minを採用した。
2. 拡径中には杭の周辺地盤内部に過剰水圧が発生するが、所定の位置に達したら拡径を止め、地盤内に残留する過剰水圧が消散するまで圧密放置させる。

解析に用いた地盤の材料定数及び地盤の初期状態を表2に示す。本報告では、構造劣化のしやすさによる砂質地盤の

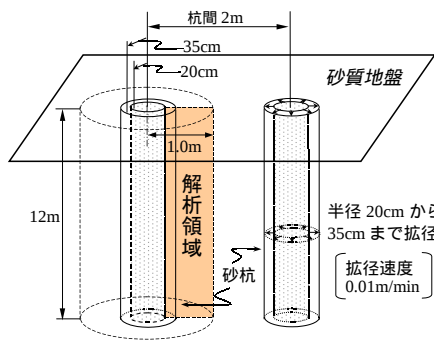


図2 砂杭及び周辺地盤の模式図

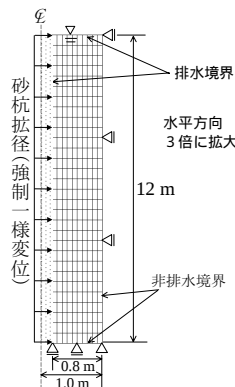


図3 有限要素メッシュ

表2 材料定数

圧縮指数 λ	0.101
膨潤指数 $\bar{\epsilon}$	0.006465
限界状態定数 M	1.404
$p' = 98$ (kPa) の比体積 N	1.88
ポアソン比 ν	0.30
透水係数 k (m/sec)	1.32×10^{-5}
土粒子の密度 ρ_s (kN/m ³)	26.0
初期過圧密比 $1/R_0$	1.0
初期構造の程度 $1/R_0^*$	5.0 ($R_0^* = 0.2$)
地盤の初期比体積 v_0	1.89
正規圧密土化指数 m	0.04
構造劣化指数 m^*	(A) 0.1, (B) 0.9

締固め挙動への影響について考慮するため、 m を同一にしたまま、 m^* の値として (A) 0.1、(B) 0.9 の2種類の地盤を設定した (表2)。この m^* は、その値が大きいほど塑性変形に伴い容易に構造が劣化しやすい。そして他のパラメータについては同一とした。また砂質地盤が初期にもつ「構造」の程度 $1/R_0^*$ や過圧密比 $1/R_0$ は、地盤内で一様とし、本報告では、ゆるい砂質地盤を表すため、「構造」の程度を $1/R_0^* = 5.0$ にある正規圧密地盤 ($1/R_0 = 1.0$) を想定した。なお、地盤内の初期応力、初期比体積については、水平方向には一様で、鉛直方向には 42.2kPa の上載圧 (解析領域の飽和地盤上に不飽和土層があることを仮定) のもと土被り圧に応じて分布させた。

4 解析結果

図4に地盤全体の摩擦力～比体積変化～拡張距離関係を示す。なお、この摩擦力とは円筒拡張によって地盤と砂杭との間に発生する杭周面摩擦力の合計で、地盤が砂杭に及ぼす下向きの摩擦力を正方向としている。また、比体積変化とは地盤全体で平均的に見たもので、拡張距離とは地盤に側方から一様に与えた強制変位量である。

この摩擦力を砂杭を拡張するための力 (の反力) として考えると、 m^* が大きい (構造が劣化しやすい) 砂質地盤 (B) では、小さい力で地盤が締め、逆に、砂質地盤 (A) では、地盤 (B) と同じような比体積変化をしているにもかかわらず、締固めには大きな力を必要としていることが分かる。つまり、地盤 (A) は地盤 (B) に比べ「嵩張った」状態を残している。

また図5、図6にそれぞれ (A)、(B) 各地盤の、5cm まで拡張した時と拡張終了時の R^* 分布の推移を示す。各地盤とも拡張によって砂杭近傍より構造が劣化していくが、拡張終了時には、地盤 (B) では全域で構造が喪失している ($R^* \rightarrow 1.0$) のに対し、地盤 (A) ではまだ構造を残している ($R^* < 1.0$) ことがこれらの図からも分かる。

5 おわりに

円筒拡張による地盤の締固めを行う土は通常砂で、「締固め材」である。しかし現場では、砂に細粒分が 15 % 以上含まれると締まりにくいと言われる。これは、細粒分が多い場合はより粘土のような「圧密材」の挙動に近づくためであると考えられる。本報告の解析結果も踏まえると、細粒分の多さ (粒径や粒度分布) と言った物理特性は、 m^* (あるいは m) の弾塑性パラメータに反映していると考えられる⁴⁾。

参考文献 1) Asaoka et al(2000) : Superloading yield surface concept ..., S & F Vol.40(2)., 2) 浅岡ら、他 (2000) : 円筒拡張時の構造劣化を伴う砂質地盤の締固め効果の検討, 第 35 回地盤工学研究発表会., 3) Hashiguchi, K. (1989) : Subloading surface model ..., International Journal of Soils and Structures, Vol.25, 4) 野田ら、他 (2000) : 「砂と粘土の違い」に関する 3 軸非排水試験の弾塑性解析, 第 35 回地盤工学研究発表会。

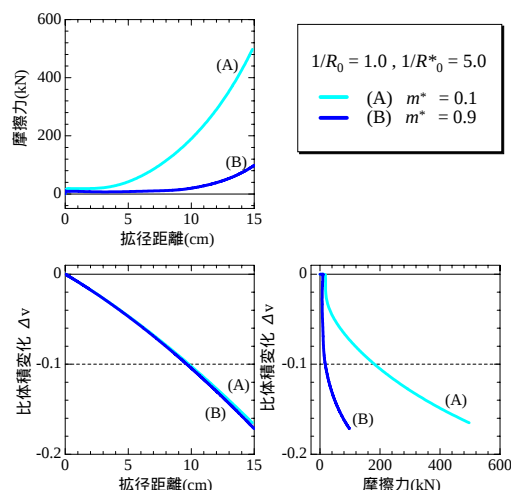


図4 摩擦力～比体積変化～拡張距離関係

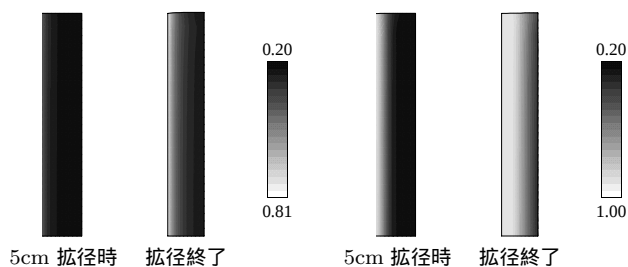


図5 R^* 分布の推移 (A)

図6 R^* 分布の推移 (B)