

Ⅲ - A235 水～土連成解析を用いた砂杭拡張による砂/粘土互層地盤の締固め効果の解明

不動建設（株） 正会員 竹内秀克 野津光夫
 名古屋大学 正会員 浅岡 顕 野田利弘 水野和憲
 東邦ガス（株） 正会員 高木健次
 （株）浅沼組 正会員 高稲敏浩

1. はじめに

近年、地盤の液状化現象は、砂層のみで形成されているような比較的単純な地盤だけでなく、複雑な砂層と粘土層が混在する互層地盤においても観測され、その合理的な対策法の確立が望まれている。

著者らはこれまでに水～土連成計算を通じて、振動を用いない砂杭拡張によって、通常程度に締まった（単一層の）砂地盤でも負のダイレイタンスを期待しながら、さらに締め固める（密にする）ことができることを明らかにしている¹⁾。

本報告では、砂/粘土互層地盤に対して（砂杭）拡張の水～土連成計算を行い、締め固め効果等に関して得られた知見を示す。

2. 解析条件

今回、通常用いられるような砂杭拡張に用いる施工仕様を参考に、ケーシングパイプの半径 0.2m から、引抜き～打戻しを経て半径 0.35m、長さ 15m の砂杭に拡張する（置換率を約 12%、砂杭間隔 2m）過程を、水～土連成計算を用いて軸

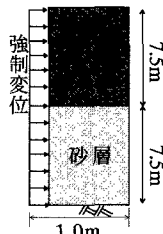


図1 砂/粘土互層地盤モデル

表1 材料定数

	砂層	粘土層
圧縮係数λ	0.101	0.108
膨潤係数κ	0.006485	0.025
限界状態係数M	1.404	1.55
ポアソン比ν	0.30	0.30
透水係数k (m/sec)	1.32×10^{-6}	3.7×10^{-10}
下負荷係数	10	10

対称条件でシミュレートする。そして所定の位置まで強制変位を与えた後、杭周辺地盤中の過剰間隙水圧が消散するまで圧密放置させて、砂杭拡張による砂/粘土互層地盤の締め固め効果を調べる。計算で用いた互層地盤モデルを図1に示す。深さ 15m のうち地盤下部 7.5m を砂層、地盤上部 7.5m を粘土層とした。砂層、粘土層の各材料定数を表1に示す。砂杭拡張は、簡単のため、左面から鉛直方向を変位拘束で、強制水平変位 0.15m を深さ方向で一様に与えることで表現する。また、地盤の上面及び左面を排水境界、それ以外を非排水境界とした。なお、解析では砂杭自体と地盤との相互作用は考慮していない。構成式には、砂を過圧密土とみなして下負荷面²⁾カムクレイモデル³⁾を用いた。

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 9.8kPa の上載圧（サーチャージ）のもと土被り圧に応じて分布させた。初期過圧密比は地盤全体で一様（粘土層、砂層とも OCR=5）であると仮定し、各層の初期平均比体積は粘土層が 1.93、砂層が 1.72 とした。

3. 解析結果

地盤の拡張計算によって得られた地盤全域、粘土層のみ、砂層のみの比体積変化～拡張速度関係を図2に示す。この図は一定間隔で打設される砂杭間にある地盤の平均比体積低下を表す。砂、粘土各層あるいは全域の比体積変化は、いずれ

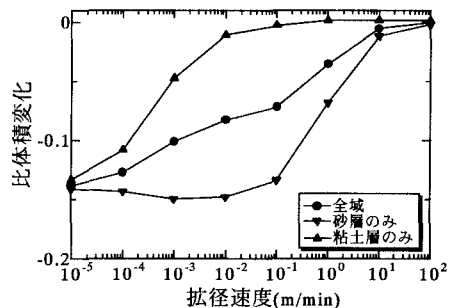


図2 比体積変化～拡張速度関係
 （下：砂層 上：粘土層）

水～土連成解析、有限変形理論、下負荷面カムクレイモデル、砂/粘土互層地盤、締め固め、載荷速度効果
 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 TEL 052-789-3833 FAX 052-789-3836

も拡径速度に応じて値が急変するレンジが存在し、砂層と粘土層でそのレンジが大きく異なる。そして、速い拡径速度であればほとんど締め固め効果が期待できないが、現実的な拡径速度程度(10²m/min)であれば、砂層が密になって砂層において締め固め効果が期待できることが分かる。

次に拡径速度 10²m/min における拡径開始時から圧密終了時までの地盤内の比体積変化分布、及び過剰間隙水圧分布の経時変化をそれぞれ図3、図4に示す。拡径が進むにつれて砂層では比体積の減少が見られる

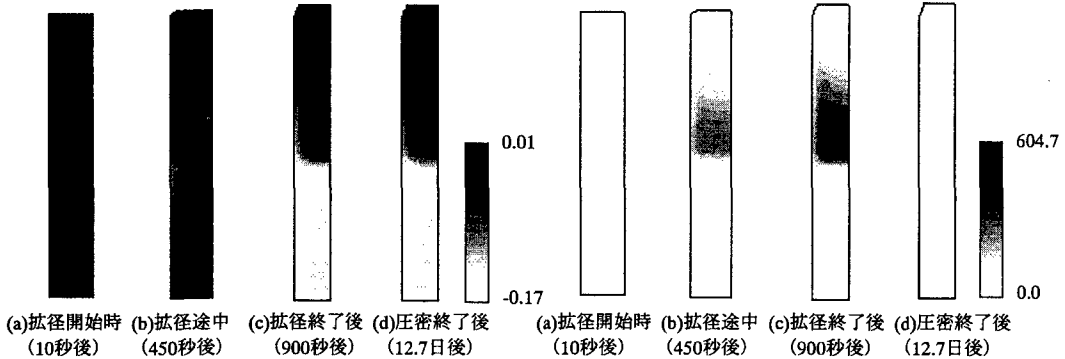


図3 比体積変化分布の推移

図4 過剰間隙水圧分布の推移(単位:kPa)

が、粘土層では砂杭近傍を除いてほとんど変化せず、拡径終了時((c)の段階)にすでに、砂・粘土層で大きな違いとなって現れている。過剰間隙水圧分布も砂層と粘土層で大きな違いが見られる。拡径が進むにつれて砂層でも多少水圧が発生するが、粘土層ではそれよりも大きな水圧が発生している。次に、この拡径速度における砂層中央の左端部に位置する砂要素の有効応力パス、及び平均有効応力~比体積関係をそれぞれ図5、図6に示す。応力パスが限界状態線の下側を塑性圧縮(負のダイレイタンス)を伴って辿り、砂要素が密になっている様子が見てとれる。

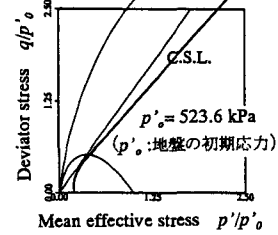


図5 有効応力パス

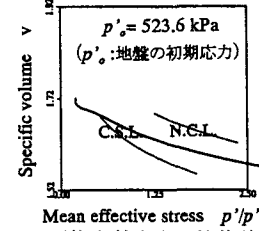


図6 平均有効応力~比体積関係

4. おわりに

実際の互層地盤を考えた時、その層数やパターンは無限に考えられ、しかもそれを形成する材料も様々である。例えば、図1の層序に対して、地盤の砂層と粘土層の上下を入れ換える(砂層初期平均比体積:1.83, 粘土層:1.81)と、「速度効果」は図7に示すように図2のもの異なる。

しかし、(本報告で用いた材料定数・透水係数などを有するような)砂/粘土互層地盤に対して砂杭拡径を行う場合、拡径速度 10²m/min 程度の現実的な施工速度であれば、振動を用いなくても、少なくとも砂層には締め固め効果が見られることが分かった。

5. 参考文献

- 1)浅岡ら(1999): 水~土連成解析を用いた砂杭拡径による砂質地盤の...第34回地盤工学会研究発表会概要集
- 2)Hashiguchi(1989): Subloading surface model in..., Int. J. Solids Structures, Vol.25, No.8, pp.917-945.
- 3)Asaoka et al. (1997): Soil-water coupled behavior of heavily over consolidated clay ..., S&F, Vol.37.No.1, pp.13-28.

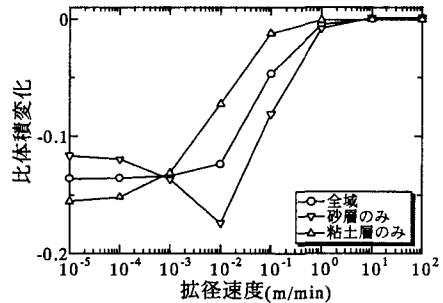


図7 比体積変化~拡径速度関係 (下:粘土層 上:砂層)