

愛媛大学工学部 ○榎 明潔・八木 則男・矢田部 龍一

1. ま え が き

締め固めた砂杭を密に打設して軟弱粘性土地盤を改良して造る複合地盤では、支持力が増し圧密沈下量が減ることが知られている。これらの効果は上載荷重による鉛直応力の等歪条件での砂杭への集中によって説明されるのが普通である。実用されている複合地盤の支持力設計法¹⁾は、砂杭は排水条件とし粘土については圧密による c_u の増加を考慮する $\phi=0$ 法を用いているが、対象がほぼ正規圧密状態の軟弱粘性土地盤であるからこの点は妥当と考えられる。この場合、段階載荷に対しては、荷重増分に対しての支持力の検討とその荷重増分による圧密の検討を交互に行なうが、本考察ではこの両検討間の問題について考えたい。

2. 実用設計法の問題点

実用設計法では複合地盤内の一面せん断的すべり面を仮定する立場から、圧密過程での砂杭への鉛直応力の集中を表わす応力分担比 n ($=\Delta\sigma_{vs}'/\Delta\sigma_{vc}'$, $\Delta\sigma_{vs}'$:上載荷重によって砂杭に作用する鉛直応力の増分、 $\Delta\sigma_{vc}'$:粘土に作用する鉛直応力増分)を定義し、 n が増す、すなわち砂杭に作用する鉛直応力が増すほど、せん断過程で砂杭のせん断強度が増す形の式が用いられている。そして、 n としては経験的に3~5が用いられている。しかし、この考えは複合地盤が一面せん断を受ける場合を除いては成立せず、単純せん断や三軸圧縮的せん断を受ける場合には、せん断開始時の n が大きいほど砂杭が破壊に近い応力状態からせん断されるため、砂杭のせん断強度が見かけ上低下することが予想される。事実、吉国等²⁾は複合地盤要素の圧密非排水三軸圧縮試験により、著者等³⁾も一面せん断試験(砂杭は単純せん断に近い変形を受ける)によりこの強度の低下を報告している。以上から、せん断開始時(圧密終了時)、さらに溯って砂杭打設後からの複合地盤の応力状態を明らかにする必要がある。また、土の応力状態が破壊に近いかどうかは、実用設計法で用いられるような上載荷重により生じる応力の増分でなく、複合地盤の自重も含めた応力全体で評価すべきなのでここでは $n' (= \sigma_{vs}' / \sigma_{vc}')$ を定義し、自重の影響も含めることとする。

3. 複合地盤の応力状態

(1) 歪状態からの応力状態の推定⁴⁾

複合地盤は砂杭と粘土の境界面で変位と応力が連続という条件のある一種の不静定構造であるから釣り合い条件のみで応力を求めることができない。また、砂杭を囲むドーナツ状の粘土中の応力は軸対称の三次元問題であるから評価が難しい。そこで、著者等は次の様にこれらを近似して簡単に評価する方法を考えた。図-1は等歪条件での一次元圧密時の複合地盤要素の模式図である。砂杭の鉛直歪を ϵ_{vs} 、側方歪を ϵ_{hs} 、粘土の鉛直歪を ϵ_{vc} ($=\epsilon_{vs}=\epsilon_v$)、半径方向の歪を ϵ_{rc} 、円周方向の歪を $\epsilon_{\theta c}$ とする。ここで、リング状の粘土内の ϵ_{rc} 、 $\epsilon_{\theta c}$ (r の関数である)を平均的な水平方向の歪 ϵ_{hc} として簡略化して表わすと、複合地盤要素と砂と粘土の体積歪の関係から、 $\epsilon_{hc} = -a_{s0} \cdot \epsilon_{hs} / (1 - a_{s0})$ が求められる。なお、 a_{s0} は複合地盤における砂杭の断面積の比率である。ここで強引ではあるがリング状の粘土が軸歪 ϵ_v 、側方歪 ϵ_{hc} を与えられた三軸試験の供試体と同じと考え、複合地盤要素は側圧 σ_h が砂杭と粘土の相互作用によって決まるような断面積の異なる二つの三軸試験の供試体に等しい鉛直歪を与えるというモデルである。そして、粘土、砂杭それぞれについて ϵ_{vc} 、 ϵ_{hc} および ϵ_{vs} 、 ϵ_{hs} から求める偏差歪によって歪状態(主働・受働)を調べ、それから応力状態を推定することができる。ただし、初期応力状態が等方でない場合

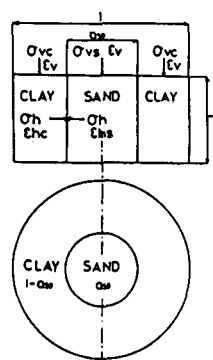


図-1 複合地盤要素

には若干の注意を要する。

(2)砂杭打設時の応力状態

砂杭打設前の地盤は一般にほぼ正規圧密状態であるから $\sigma_{vc}' = \gamma' z$ 、 $\sigma_h' = k_0 \gamma' z$ である。排除型の砂杭を打設中には粘土は深さ方向に一樣な $e_{hc} = 1 - \sqrt{1 - a_{so}}$ の水平歪を生じるから受働変形である (a_{so} は 30~80 % であるから)。砂杭は鉛直方向に圧縮して拡張と密度上昇をさせる施工法を採る時には主働変形である。砂杭打設後の放置によって粘土の圧密や応力緩和が生じ、応力状態は変わるが、全体的には、 $\sigma_{vc}' = \sigma_{vs}' = \sigma_h' = \bar{\sigma}' z$ ($\bar{\sigma}' = a_{so} \gamma_{cs}' + (1 - a_{so}) \gamma_c'$) の様な比較的等方に近い応力状態と思われる。

(3) 荷重時の応力状態

盛土などの中央部、すなわち一次元圧密的部分では、荷重直後には粘土の体積が一定であることと歪についての検討から粘土は主働変形であり、砂杭は $a_{so} < 1/3$ では受働変形、 $a_{so} > 1/3$ では主働変形であると考えられる。また、圧密終了時には、 $a_{so} < 2/3$ では砂は主働で粘土も主働、 $a_{so} > 2/3$ では砂は主働で粘土は受働と考えられる。ところで荷重応力は深さとともに分散して若干低下するのに対して初期応力 (前述の $\bar{\sigma}' z$) は深さとともに増加しているため深部ほど変形が小さく、強度定数のモビライズの度合いが小さいため n' も小さいことに注意が必要である。これは予圧密圧力の異なる粘土に同じ間隙比の砂杭を造った複合地盤の鉛直歪と応力分担比の関係を示す図一2によっても確認できる。ここでは、1 個の印は標準圧密の様な倍の荷重を表わしている。したがって、このような変形の主働・受働に応力状態がそのまま対応するのは複合地盤の浅部に限られる。換言すれば、荷重が増すことによって砂杭に応力集中が生じ、砂杭のせん断強度が見かけ上低下することになるのは、複合地盤の浅部に限られる。また、深部については $n = 3 \sim 5$ としての砂杭のせん断強度の見積りは過大である危険がある。また、従来用いられている $n = 3 \sim 5$ の根拠となる n ($\Delta \sigma_{vs}'$ 、 $\Delta \sigma_{vc}'$) の実測値については次のような問題のあるデータが多い。

- ①複合地盤の浅部から得られているため、深部に対しては過大である可能性がある。
- ②間隙水圧に対する処理が不明で n の定義が全応力か有効応力かわからない。
- ③ $\Delta \sigma_{vs}'$ 、 $\Delta \sigma_{vc}'$ の増分を面積比例で加えた値が荷重圧力と一致しない。

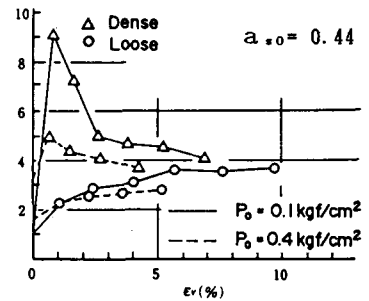
4. 結 論

得られた結論は以下の通りである。

- ①複合地盤の応力状態の推定には歪の状態を考慮する必要がある。
- ②複合地盤の応力状態、特に c_u や ϕ_u のモビライズの度合いが関係する n については複合地盤の自重も含めた応力全体で評価すべきである。
- ③土被り圧の影響によって浅部では n が大きく深部では n が小さいと考えられる。
- ④ n の推定には正確な実測データの収集と基礎的な実験が必要である。

参考文献

1) 曾我部隆久：サンドコンパクションパイル工法の設計・施工の技術的課題、土木学会第36回年次学術講演会研究討論会資料、pp. 39~50、1981。
2) 吉国・前・松方：砂柱を含む粘土供試体の非排水三軸圧縮試験、土質工学会複合地盤の強度および変形に関するシンポジウム発表論文集、pp. 119~124、1984。
3) 榎・八木・矢田部：複合地盤要素の一面せん断強度、土木学会中国四国支部年次学術講演会、1985(投稿中)。
4) 榎・八木・矢田部：砂杭への応力集中に関する解析、第20回土質工学研究発表会、1985。(投稿中)。



図一2 予圧密圧力の異なる粘土の n' と ϵ_v の関係