

締め固め砂杭を打設して軟弱粘性土地盤を改良して造る複合地盤は、原地盤に比べて圧密沈下量が少なく支持力大きいことが知られている。これらは複合地盤における砂杭への鉛直応力の集中によって説明されているが、この応力集中の機構は理論的に未解明なので、複合地盤の圧密沈下量や支持力の設計法には多くの問題点が残されている現状である。著者等は、複合地盤の圧密・せん断挙動を基本的に見直すという立場から、もっとも単純な複合地盤要素（一本の砂杭のみを含み、自重を無視できる程度の厚さの円柱要素）について、室内実験を行なうとともに、力学モデルを提案しモデルの一次元圧密挙動を土の応力-歪関係を用いて調べてきた。^{1)・2)} 本報告ではこれらの研究の結果を要約するとともに、その結果から判明した現行の圧密沈下量計算法の問題点と、それに対する修正法について述べる。

実験に用いた装置は Fig. 1 に示す内径12cm(または8.6cm)、高さ11cmの円形土槽で、中央に直径5cmの砂杭を設置する。砂杭は三軸試験のようにキャップとペDESTAL(土槽の底盤に埋込まれている)で挟まれゴムスリーブで被われているため砂杭の体積変化は独立して測定することができる。ゴムスリーブの中央部は二重になって薄い水の層を挟んでおり、ここに生じた水圧を外部に導いて測定することで砂杭と粘土の境界面に作用する応力を知ることができる。砂杭と粘土へ剛性板による等歪条件の段階的荷重を行なった。使用した試料は藤の森粘土および豊浦標準砂である。一方、リング状の粘土内の半径方向および円周方向の歪を強引ではあるが平均的な歪 ϵ_{nc} として簡略化して表わせると仮定することによって、複合地盤要素を Fig. 2 のような断面積の異なる砂および粘土の三軸供試体と同じ鉛直歪を与え側圧は両供試体の相互作用によって決まるというモデルで表わした。

この仮定により砂杭の側方歪 ϵ_{hs} と粘土の側方歪 ϵ_{hc} の間には次式が成立つ。 $\epsilon_{hc} = -a_{s0}\epsilon_{hs} / (1 - a_{s0})$ そして、松岡・中井³⁾のSMP上の応力～歪関係を用いて排水条件での定量的解析を行なった。⁴⁾

実験と数値解析の結果の例を Fig. 3.4 に示す。置換率 α_{s0} は Fig. 3 では 16.8%, Fig. 4 では 33.5% で、横軸 Δp は予圧密圧力からの増加上載圧、縦軸は砂杭に作用する鉛直応力 σ_v 、粘土に作用する鉛直応力 σ_{vc} 、境界面に作用する水平応力 σ_h 、砂の主応力比 σ_{vs}/σ_h 、粘

土の主応力比 σ_{vc}/σ_h 、鉛直変位 e_v 、砂杭の体積変位 δ_s 、粘土の体積変位 δ_c 、さらに砂杭への応力の集中を表わす応力分担比 n および n' である。ここで、 n は予圧密状態からの増加応力を用いた $\Delta\sigma_{vs}/\Delta\sigma_{vc}$ 、 n' は応力全体を用いた σ_{vs}/σ_{vc} である。また、図には慣用計算法による鉛直変位 $e_v' = C_e \log(\sigma_{vc}/\sigma_{vc0})/(1+e_{c0})$ と後述する修正計算法による鉛直変位 e_v'' も示した。両図から数値解析と実験の結果は定量的にもほぼ

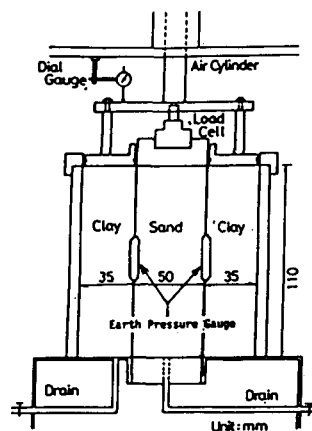


Fig. 1 実験装置

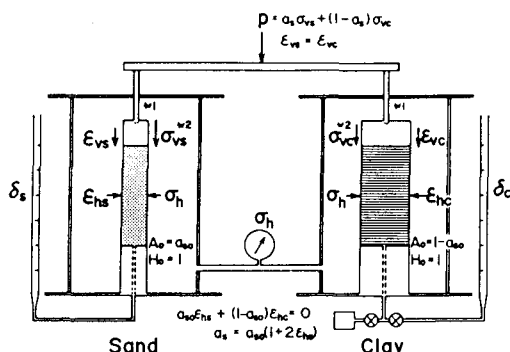


Fig. 2 複合地盤要素の力学モデル

一致しており Fig. 2 のモデル化が妥当であること、砂杭は上載圧の増加により急速に破壊状態になり体積膨張を示すこと、粘土は上載圧が増加しても破壊状態には近付くとは限らず、体積減少を示すこと、 n' は従来使われている値 3-5 に近い値を示すことなどがわかる。なお、図中の ϵ_v' は実測した σ_{vc} を用いて求めた。また、砂と粘土のストレスパスについての検討により、 a_{s0} が大きいほど、砂杭のダイレイタンスーが大きいほど、粘土の初期圧密圧力が小さいほど、粘土は载荷により主働破壊状態から遠ざかり、砂杭の応力状態は载荷直後からほぼ破壊線上を走ることなどがわかった。

4. 現行の圧密沈下量計算法の問題点と修正法

現行計算法による鉛直歪 ϵ_v' が過大であることは、実験と数値解析の両方の結果から明らかである。現在までこのような指摘がなかったのは過去の室内実験では応力や歪の測定精度が充分でなかったため、また、現場観測では測定精度の不足に加えて C_c などの物性の評価が難しかったためと考えられる。ところで、このような過大な鉛直歪 ϵ_v' が得られた理由を考えてみよう。複合地盤要素が単位断面積・単位高さであると圧密後の全体の体積変化量は $1 \cdot \epsilon_v$ で、砂杭と粘土の体積変化量は $a_{s0} \cdot \delta_s$ と $(1-a_{s0}) \cdot \delta_c$ であり、これらの間には当然次の関係がある。

$1 \cdot \epsilon_v = a_{s0} \cdot \delta_s + (1-a_{s0}) \cdot \delta_c$ ところで、Fig. 3 あるいは Fig. 4 から δ_s は一般に 0 あるいは数%の負（膨張）の値をとる。いま、 δ_s を 0 と仮定し、異方圧密状態の粘土の δ_c をたとえば鉛直応力のみから $\delta_c = C_c \log(\sigma_{vc}/\sigma_{vco}) / (1+e_{co})$ と強引に求める場合には

$\epsilon_v'' = (1-a_{s0}) \cdot C_c \log(\sigma_{vc}/\sigma_{vco}) / (1+e_{co})$ が得られる。すなわち従来の計算法では砂杭の断面積が圧密沈下とともに増加することが無視されている、すなわち、沈下量が $1/(1-a_{s0})$ 倍に計算されていることになる。この相違は a_{s0} が大きいほど大きくなる。Fig. 3, 4 に実測あるいはモデルの解析による沈下量（鉛直歪） ϵ_v と従来の計算法による ϵ_v' 、提案式による ϵ_v'' の三者の比較結果を示す。ただし、この修正をしても a_{s0} が大きくなると若干のずれが現れる。これは a_{s0} が大きくなると粘土は受働状態となるのに、 δ_c を近似するのに σ_{vc} のみを用いた一次元圧密の式を用いているためである。異方圧密状態の粘土の δ_c を近似する方法としては a_{s0} と砂のダイレイタンス特性によって粘土の応力状態を主働・等方・受働に分類し $e \sim \log \sigma_m$ 関係から求めるのがより妥当でしかも実用的であろう。

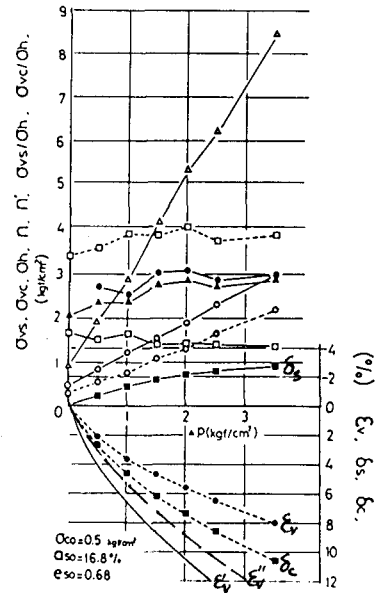


Fig. 3 室内実験結果

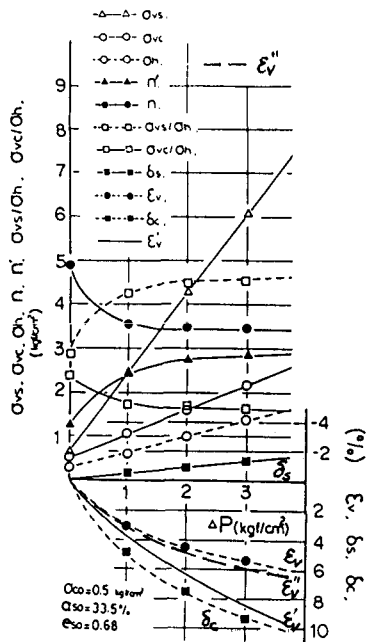


Fig. 4 解析結果

参考文献

- 1) 榎明潔・八木則男・矢田部龍一：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、pp. 164 7~1648、1985。
- 2) 榎明潔・八木則男・矢田部龍一：複合地盤の圧密特性、第21回土質工学研究発表会、1 986（投稿中）。
- 3) 中井照夫・松岡元：任意応力径路下の土の変形挙動に関する統一的解釈、土木学会論文報告集、第306号、pp. 23~34、1981。
- 4) 榎明潔・八木則男・矢田部龍一：複合地盤要素の圧密挙動の数値解析、愛媛大学工学部紀要、第11巻1号、pp. 343~351、1986。