

砂杭を用いた複合地盤の圧密特性

愛媛大学工学部 榎 明潔・八木則男・矢田部龍一・岡部登

1. ま え が き

締固め砂杭で軟弱粘性土地盤を改良した複合地盤の一次元圧密特性および水平載荷時のせん断特性に関して室内実験を行なった。本実験ではもっとも基本的な一次元圧密特性を扱う意味で、対象を砂杭を1本だけ含み自重を無視できる程度の厚みの複合地盤要素としている。着眼点は鉛直応力の砂杭と粘土への分布だけでなく、砂杭と粘土の境界面に作用する水平応力も考え、砂杭と粘土それぞれの応力状態を明らかにし、かつ、これらの応力状態とせん断抵抗値との関連性を調べることにある。このため、実験装置は砂杭と粘土それぞれの応力、変形に追跡できるように工夫されている。

2. 実験装置および方法

実験に用いた装置は Fig. 1 に示す内径12cm、高さ11cmの円形土槽で、内部に直径5cmの砂杭を設置する。また置換率 a_v (砂杭面積/土槽面積) を変えるため内径8.6cmの土槽も用いる。砂杭は三軸試験のように上下をキャップとベ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。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、この水の層に生じた水圧をビニールパイプで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。載荷は空圧シリンダーの推力を砂杭部分はキャップに、粘土部分はドーナツ状の剛性板に与えて等鉛直歪条件で行なった。そしてキャップにかかる荷重を別にロードセルで測定してそれぞれにかかった荷重を求めた。使用した試料は藤の森粘土および豊浦標準砂で、先ず砂杭の代わりに5cm径の銅棒を入れた土槽に練り返した粘土を入れ σ_{v0} (0.5, 1.0, 2.0 kgf/cm²) で圧密したのち、銅棒を取り出して砂杭 ($e_0=0.6, 0.8$) を作成し複合地盤要素とした。そして、粘土に元の σ_{v0} を与え、粘土・砂杭の両方がK状態となるようにしてしばらく落ち着かせてから、一次元圧密試験を始めた。圧密終了後、水平面でせん断をおこなった。せん断速度は1.0 mm/min で水平荷重はロードセルで測定した。

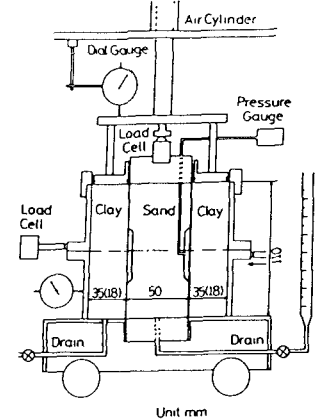


Fig. 1 実験土槽

3. 複合地盤の圧密挙動の数値解析値と実験値

一次元圧密時の複合地盤要素のモデルを 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を側圧ラインをつなげた三軸セルで、同じ鉛直歪を与えるようにしたものとする。このモデルによる載荷直後の応力分担比 n (載荷による増加応力 $\Delta\sigma_v$ / $\Delta\sigma_v$) の存在範囲は、変形状態 (主働および受働変形) および砂と粘土の破壊条件式から $0 < a_v \leq 1/3$ では $((1 - \sin\phi_v)/(1 + \sin\phi_v)) \cdot (1 + 2c_u/\sigma_h) \leq n \leq 1$ 、また、 $1/3 \leq a_v < 1$ では $(1/(1 + 2c_u/\sigma_h)) \leq n \leq ((1 + \sin\phi_v)/(1 - \sin\phi_v))$ となる。つまり、 $0 < a_v \leq 1/3$ では載荷直後には砂より粘土の増加応力が大きく粘土め圧密が進行するにいたるが砂杭に荷重がかけられていくようになる。これを示す実験例を Fig. 3 に示す。また、鉛直歪の実験値とBarronの理論による計算値も記した。これからも、沈下が粘土の圧密に大きく依存するとすれば、粘土には載荷直後に大きな応力が作用し徐々に減少していつていくことがわかる。次に載荷にともなう砂と粘土のストレスパスについての実験・解析結果の一部を Fig. 4 に示す。これらから砂杭の応力状態は載荷直後か

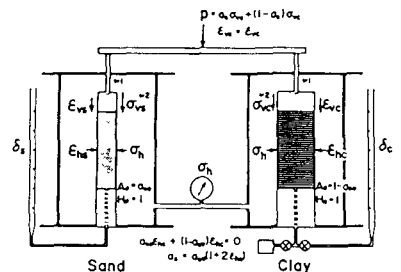


Fig. 2 複合地盤要素のモデル

らはば破壊線上を走ること、粘土は载荷により主働破壊状態から遠ざかることがわかる。但し Fig.4 は圧密終了時の応力状態を直線でつないだものであるが、実際には Fig.5 の模式図に示すように砂は载荷直後にいったん破壊線から遠ざかり圧密が進行するにしたがって破壊線に近づく。粘土は逆にいったん破壊領域に近づき徐々に離れていくことになる。なお、数値解析の詳細は文献 1) を参照されたい。

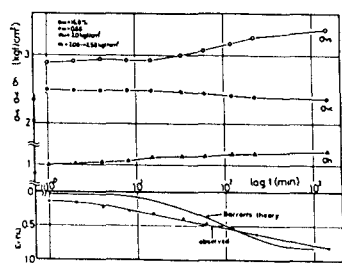


Fig. 3 圧密中の挙動

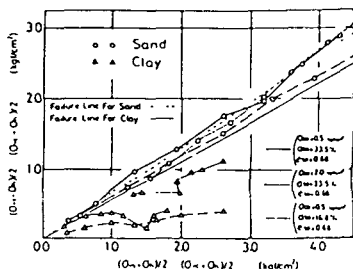


Fig. 4 砂と粘土のストレスパス(実験)

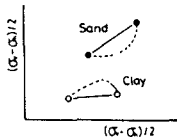


Fig. 5 圧密過程の模式図

4. 複合地盤のせん断挙動

現行の複合地盤のせん断強度の計算方法は破壊を一つの面ですべるとして、砂のせん断強度をすべり面上での鉛直応力 $\times \tan \phi$ で計算し、砂と粘土の強度を面積比例で加えたものとしている。このため砂杭に応力集中すればするほど強度は大きくなることになる。ところが、すべり面はスリップバンド内で単純せん断的な変形をしていると仮定してモール円を考えて強度を算定することになれば、圧密時の砂杭への応力集中により砂杭は破壊寸前の応力状態になっているため砂杭の強度は全く期待できないことになる。Fig.6 にせん断中の応力～変位関係を、Fig.7 に一面せん断的破壊を仮定した場合と単純せん断的破壊を仮定した場合の二通りのせん断強度の計算値と実験値との比較を示す。これらより、前者の考え方ではせん断強度を過大評価することがわかる。一方、後者の考え方では逆に過小評価することになる。これは Fig.5 よりわかるようにせん断中に砂のダイラテンシーの影響と思われる側圧 σ_h の上昇のために砂杭の強度が回復したと考えられるためである。

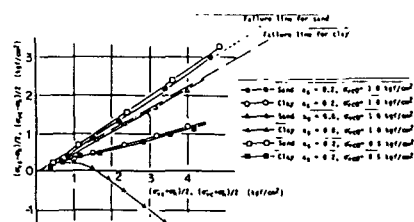


Fig. 4 砂と粘土のストレスパス(解析)

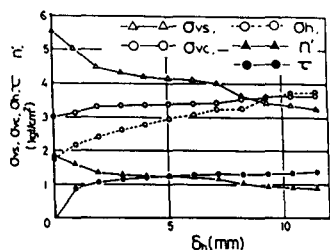


Fig. 6 応力～変位関係

5. あ と が き

複合地盤に上載荷重を加えると载荷直後から徐々に砂杭に応力集中し、それにより砂杭は破壊寸前の応力状態になることがわかった。よって圧密終了時のせん断抵抗を考える場合には砂杭の応力状態を考えないと危険である。

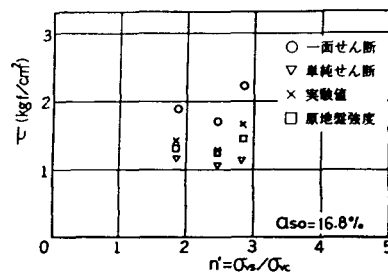


Fig. 7 せん断強度の計算値と実験値の比較

参考文献

- 1) 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、1986(掲載予定)
- 2) 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、第36回土木学会年次学術講演会研究討論会資料、pp. 39~50、1981。