

水平荷重による複合地盤の破壊に関する模型実験

愛媛大学 工学部 ハ木 則男
愛媛大学 工学部 矢田部 龍一
愛媛大学 大学院 武智 修

ソイルアンドロックエンジニアリングの佐々木 俊久

1. まえがき

軟弱粘土地盤に砂杭を打設した複合地盤上に構築された盛土のような土構築物に、地震のような水平荷重が作用したときの複合地盤の基礎的な挙動について実験的に調べた。水平荷重を受けたときの複合地盤の破壊形式として図-1(a)(b)に示すようなものが考えられる。図-1(a)は盛土の鉛直荷重と新たに作用した水平荷重の合力によってすべり破壊を起こすものである。図-1(b)は基礎の複合地盤全体が単純せん断変形を受けて破壊する場合である。前者では円弧すべり法によって安定計算が可能であるが、後者の場合は複合地盤が単純せん断を受けたとき、いくらのせん断抵抗が發揮しうるかが問題となる。

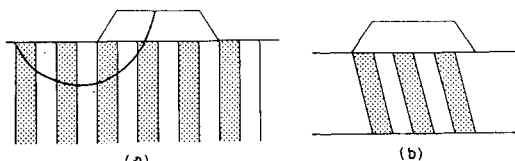


図-1 複合地盤の破壊形式

図-2に図-1(b)のように単純せん断を受けたときの土の深さにおける砂杭の要素を示す。要素の各面には垂直応力 σ とせん断応力 τ が作用している。粘土と砂の境界面に作用するせん断応力 τ_h の最大値は粘土のせん断強度以上の大きさになりえない。ここで、砂のせん断強度は粘土のせん断強度より大きいとして考えている。一方、砂杭を切る面上のせん断応力 τ は釣り合いより τ_h に等しくならねばならないので、發揮しうる τ も粘土の強度となり、単純せん断状態では水平荷重に対して砂杭の効果は發揮されないことになる。しかし、実際には發揮しうるせん断抵抗は砂杭の内部に入るにつれて増加しついに砂のせん断強度まで發揮するような分布をしていると思われる。こう考えると砂の置換え率が同じであっても、砂杭の本数すなわち砂杭の直径によって水平荷重に対する抵抗が変ってくるように思われる。そこで、本研究では二次元の模型複合地盤に対する単純せん断試験、模型土槽を用いた水平載荷試験を行ない複合地盤の水平抵抗、破壊形式等を調べた。

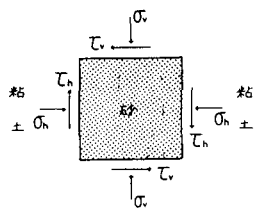


図-2 単純せん断を受けた砂杭要素面上の応力

2. 模型複合地盤の単純せん断

実験装置の概略図を図-3に示す。地盤中の任意の応力状態が再現できるように鉛直荷重と水平荷重が各々独立に作用できるようにになっている。鉛直荷重は剛板載荷であり、空圧シリンダーによって与えられている。水平荷重はゴム製の空気袋に空圧を作用させて与えられている。空気袋を支えている側壁は上下に可動が自由であり、上部載荷板が接触してもほとんど抵抗がない。単純せん断は下部可動型のひずみ制御式によって行なわれている。鉛直、水平変位はダイヤルゲージによって測定され、せん断荷重はロードセルによって自記記録されている。砂試料としては豊浦標準砂を使用し、実験時の間隙比は0.7程度である。粘土試料には油粘土を使用した。この粘土のせん断強度は 0.14 kgf/cm^2 である。せん断ひずみ速度は $30\%/min$ で、置換え率 a_s や砂杭本数 N を種々変えて試験した。

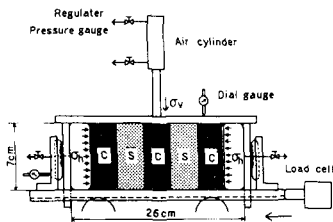


図-3 実験装置の概略図

最大せん断抵抗 τ_{max} と杭本数 N の関係を置換え率 $a_s = 30, 50, 70\%$ の各場合について図-4に示す。同じ q_s で

杭本数の増加とともに T_{max} は減少する。この減少の割合から砂杭の有効断面積を計算する。ここで、有効断面積とは本来の砂のせん断抵抗を發揮している断面積のことである。しかし、実際には砂杭内のせん断抵抗は粘土との境界面で粘土のせん断抵抗に等しく、砂杭の内部にいくにつれて徐々に小さくなり最終的には砂のせん断抵抗になるような分布をせよという思いである。このときの有効断面積とは粘土との境界よりある中の砂は粘土のせん断強度しか發揮できないものとし、それより砂杭内部では砂のせん断抵抗を發揮しているものとして両者の境界を計算上で求めたものである。

本実験は二次元モデルであるので有効断面積を砂杭の中で表すことにする。いま砂杭中をBとしそのうち有効中をB'とすれば、 $B-B'$ は損失中となる。また、 $(B-B')/2$ は粘土の境界面よりいくら砂杭の内部に入れば砂のせん断抵抗を發揮するかを示している。実際の $B-B'$ の計算法はつぎのように行なう。いま粘土と砂が別個に十分にせん断抵抗が發揮しえたとすれば、 a_s によつて發揮するせん断抵抗は図-5の最大せん断抵抗 T_{max} と a_s の関係の模式図に示す $a_s=0\%$ (粘土だけ)と $a_s=100\%$ (砂だけ)のときの値とを結んだ直線上にある。しかし、図-6に示すような杭本数に応じて T_{max} は低下する。そこで、任意の a_s と任意の杭本数に対する最大せん断抵抗値に相当する砂杭の中がB'となる。このように求めたB'と置換率 a_s の関係と既知のABから $(B-B')/2$ を求め、Bに対してプロットしたのが図-6である。これによると1本の杭中が大きくなるほど損失中が小さくなる傾向がうかがわれる。

3. 模型土槽を用いた水平載荷試験
実験装置を図-7に示す。上載圧はゴム袋を介して空圧で与えらる。試料には豊浦標準砂とカオリン粘土を用いた。模型複合地盤は 0.1 kgf/cm^2 の上載圧を作用させて圧密して作成した。実験は載荷板に 0.2 kgf/cm^2 の鉛直荷重を与えて、圧密現況を終了した後水平載荷試験を行った。水平変位速度は 0.6 mm/min である。せん断能力 τ と水平変位 δ の関係を図-8に示す。置換率 a_s が同一であつても杭本数の増加とともに τ は低下している。破壊形式はいずれも円弧すべりではなく、地表面

3. 模型土槽を用いた水平載荷試験

実験装置を図-7に示す。上載圧はゴム袋を介して空圧で与えらる。試料には豊浦標準砂とカオリン粘土を用いた。模型複合地盤は 0.1 kgf/cm^2 の上載圧を作用させて圧密して作成した。実験は載荷板に 0.2 kgf/cm^2 の鉛直荷重を与えて、圧密現況を終了した後水平載荷試験を行った。水平変位速度は 0.6 mm/min である。せん断能力 τ と水平変位 δ の関係を図-8に示す。置換率 a_s が同一であつても杭本数の増加とともに τ は低下している。破壊形式はいずれも円弧すべりではなく、地表面

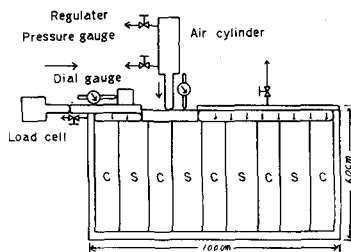


図-7 実験土槽の概略図

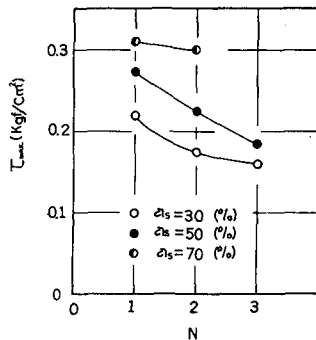


図-4 最大せん断抵抗値 T_{max} と砂杭本数Nの関係

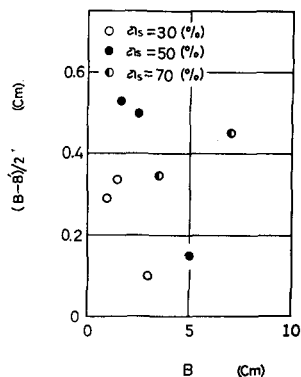


図-6 損失中 $\frac{B-B'}{2}$ と砂杭のBの関係

これによると1本の杭中が大きくなるほど損失中が小さくなる傾向がうかがわれる。

3. 模型土槽を用いた水平載荷試験

実験装置を図-7に示す。上載圧はゴム袋を介して空圧で与えらる。試料には豊浦標準砂とカオリン粘土を用いた。模型複合地盤は 0.1 kgf/cm^2 の上載圧を作用させて圧密して作成した。実験は載荷板に 0.2 kgf/cm^2 の鉛直荷重を与えて、圧密現況を終了した後水平載荷試験を行った。水平変位速度は 0.6 mm/min である。せん断能力 τ と水平変位 δ の関係を図-8に示す。置換率 a_s が同一であつても杭本数の増加とともに τ は低下している。破壊形式はいずれも円弧すべりではなく、地表面

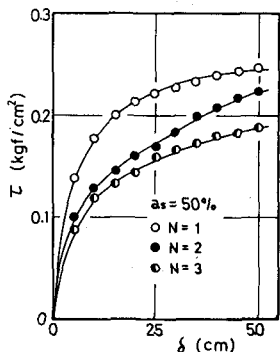


図-8 τ と δ の関係