

## はじめに

現在、現場で発生する建設残土、建設汚泥の再利用技術として流動化処理工法が注目を集めている。本研究は流動化処理土における固化材添加量を一定とした場合に、泥水と砂の混合割合が試料の圧密、せん断時の力学特性に及ぼす影響を三軸試験により明らかにすることを目的としている。本論文では、三軸応力状態を表現できる  $p$ ~ $q$  平面を用い、载荷に伴う有効応力や間隙水圧の変化過程を表し、繰り返し载荷後に静的試験を行ったときの有効応力経路についても考える。

## 試験方法

試験に用いた材料は、豊浦標準砂 ( $\rho_s=2.64\text{g/cm}^3$ )、カオリン粘土 ( $I_p=23$ 、 $\rho_s=2.74\text{g/cm}^3$ )、水、一般軟弱土用セメント系固化材で、泥水密度を  $\rho_f=1.20\text{t/m}^3$ 、固化材添加量を泥水  $1\text{m}^3$  当たり  $100\text{kg}$  とし、 $p$  値を変化させた配合で試料を作成した。ここでいう  $p$  値とは、泥水重量を砂の室乾重量で割ったものである。材齢が 28 日で強度が安定したことを確認した後、図-1 に示す三軸試験機を用い、有効拘束圧  $294\text{kPa}$ 、背圧  $98\text{kPa}$  で等方圧密終了後、非排水条件のもと静的せん断試験 ( $\overline{CU}$ ) を行った。また、地震直後のせん断特性の変化傾向を調べるために、繰り返し载荷後の静的試験も行った。参考のため、等方圧密試験より求めた各試料の透水係数を表-1 に示すが、 $k=2\sim6\times 10^{-6}(\text{cm/s})$  程度と難透水性であった。それにもかかわらず、間隙水圧の測定値にはそれほど問題がないと判断されるため、それを前提に話を進める。

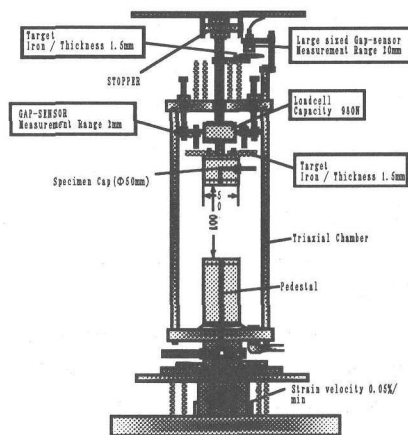


図-1 三軸試験機概略図

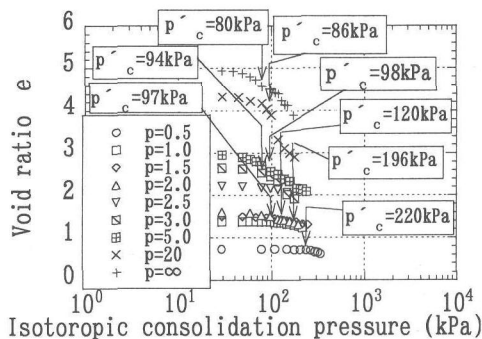
表-1 流動化処理土の透水係数

| $p$ 値 | 圧密圧力 $\Delta p$<br>$\text{kgf/cm}^2$ | 圧密量 $\Delta H$<br>$\text{cm}$ | 供試体高さ $H$<br>$\text{cm}$ | 圧縮ひずみ<br>$\varepsilon=100\Delta H/H\%$ | 体積圧縮係数<br>$\text{cm}^3/\text{kgf}$ | $t_{90}$<br>$\text{min}$ | 圧密係数 $C_v$<br>$\text{cm}^2/\text{d}$ | 透水係数 $k$<br>$\text{cm/s}$ |
|-------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| 1     | 0.7                                  | 0.168                         | 9.97                     | 1.683                                  | $2.4\text{E-}02$                   | 1.5                      | 20212                                | $5.62\text{E-}06$         |
| 2.5   | 0.7                                  | 0.125                         | 9.90                     | 1.263                                  | $1.8\text{E-}02$                   | 1                        | 29893                                | $6.24\text{E-}06$         |
| 8     | 0.7                                  | 0.180                         | 9.75                     | 1.846                                  | $2.6\text{E-}02$                   | 3                        | 9669                                 | $2.95\text{E-}06$         |

## 試験結果

図-2 は等方圧密試験での  $e \sim \log p$  の関係を示した図である。試験時の有効拘束圧を  $98\text{kPa}$  としている為、 $p=2.5$  以上は正規圧密状態、 $p=2.0$  以下は擬似過圧密状態であることが図より読み取れる。先行圧密応力  $p'_c$  の大きさは  $p$  値が小さくなるにつれて、大きな値  $\overline{CU}$  を示すことがわかる。

図-3・4 は、非排水静的せん断試験より求めた有効応力の経路を表したグラフである。また、斜めに引いた実線は全応力経路を示したものである。この図から、擬似過圧密領域にある  $p=2.0$  以下の供試体は、いったん収縮傾向を示した後正のダイレイタンスーを示し、過圧密粘土の有効応力経路の特徴を示している。また、 $p$  が小さくなる程、間隙水

図-2  $e \sim \log p$  曲線

キーワード 流動化処理土、 $p$  値、圧密、せん断、 $p'$  ~  $q$  平面

〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 Tel 03-3817-1799 中央大学理工学部土木工学科土質研究室

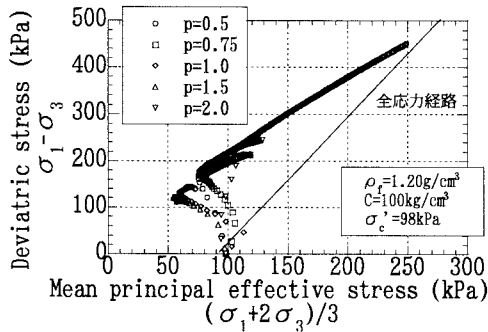


図-3 p=0.5～2.0 有効応力経路

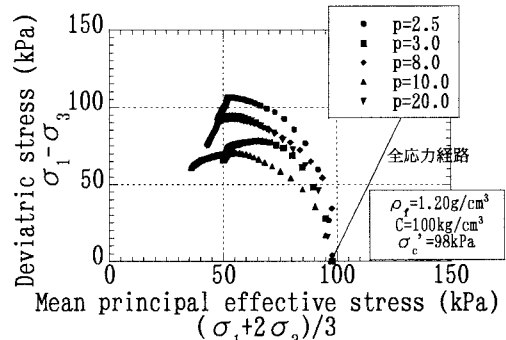


図-4 p=2.5～20.0 の有効応力経路

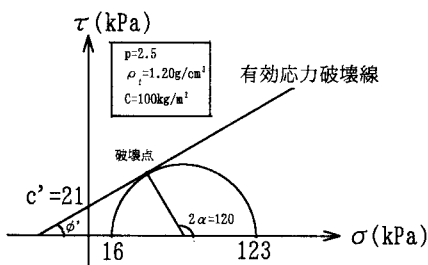


図-5 有効応力のモール円

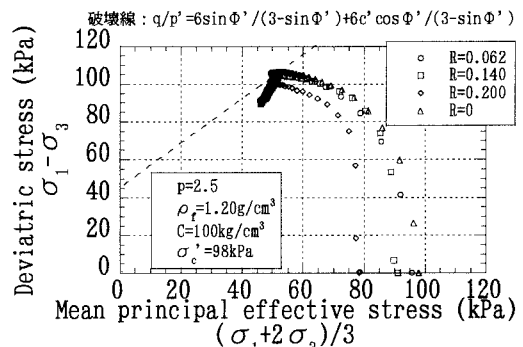


図-6 p=2.5 の繰り返し载荷後の有効応力経路

圧の発生量がほぼ小さくなる傾向を示した<sup>(1)</sup>。p=2.5 以上の供試体は軸差応力がピークを示した後も正の間隙水圧を発生し、正規圧密粘土が示すような有効応力経路を辿ったことが図より分かる<sup>(2)</sup>。

図-5 は、p=2.5 の試料の静的試験における有効応力のモール円を示した図である。破壊角  $\alpha \approx 60^\circ$  は静的試験後に供試体に現れた破壊面が水平面となす角を計測した値であり、これより内部摩擦角  $\phi' = 30^\circ$ 、粘着力  $c' = 21 \text{ kPa}$  が求められた。

図-6 は、p=2.5 の試料に繰り返し载荷を加えた後に静的試験を行ったときの有効応力経路である。繰り返し载荷試験での応力比を  $R = \sigma_d / 2\sigma'_c$  で表す。ここに、 $\sigma_d$  は繰り返し応力片振幅、 $\sigma'_c$  は等方圧密応力である。破壊の定義は軸差応力のピークとした。図に示す斜めの破線は、 $\phi' = 30^\circ$ 、 $c' = 21 \text{ kPa}$  の破壊包絡線である。実際、破壊後の試料を取り出して測定したところ  $\alpha \approx 60^\circ$  であった。これより繰り返し载荷後の単調载荷試験で得られた有効応力経路は、破壊以前は繰り返し応力比 R の値により異なっているが、破壊包絡線への到達点はほぼ一致しており、同程度の軸差応力及び有効応力で破壊に至ったということが分かる。

### まとめ

固化材添加量を一定とし、p=0.5～ $\infty$  に変動させた試料の非排水静的せん断試験により流動化処理土の力学特性について以下のことが分かった。

- ・ p=2.5 以上の試料は正規圧密状態にあつて負のダイレイタンスーを示し、それ以下の試料は擬似過圧密状態にあつて正のダイレイタンスーを示す。
- ・ 正規圧密状態の試料の繰り返し载荷後に行った単調载荷試験で、破壊時の有効応力経路は繰り返し応力比の違いによらず、ほぼ同一点に集中する。
- ・ 上記の破壊点は、粘着力  $c'$  を考慮すればほぼ破壊線上に位置する。

<参考文献> (1)久野悟郎編著：土の流動化処理工法、技報堂出版、1997 (2)久野悟郎、岩淵常太郎、市原道三、小林学：流動化処理土のせん断特性に関する実験的研究、土木学会第 55 回年次学術講演会