

流動化処理土の地震時力学特性についての基礎的研究

中央大学理工学部 正会員 國生 剛治  
 中央大学理工学部 学生会員 大川 武巳 加藤 匡一

1. はじめに

建設発生土を有効に再利用する観点から注目を集めている流動化処理土<sup>1)</sup>は、都市部の地中構造物や埋設配管などの埋め戻し、充填に利用されている。そのせん断特性は、主としてセメンテーション、密度、土被り圧によるところが多い。これまでの研究で流動化処理土は繰り返し載荷後の強度低下はおこさず、載荷のない場合とほぼ同程度の強度を保つことがわかっている。この原因として、供試体の圧密状態が流動化処理土の力学特性に大きく関わっていると考えられる<sup>2)</sup>。そこで今回は原因解明の手始めとして、セメンテーション効果を一定とし、密度の違う二種類の流動化処理土について三軸試験機を用い、繰り返し載荷と応力除荷により有効拘束圧を低下させた場合のせん断特性の違いを調べた。

2. 試験方法

本試験に用いた配合はカオリン粘土( $I_p=23$ ,  $\rho_s=2.729\text{g/cm}^3$ )に水道水を加えて攪拌し、密度  $\rho_i=1.20\text{g/cm}^3$  の泥水を作成し、この泥水  $1\text{m}^3$  当りの固化材(一般軟弱土用セメント系)添加量は  $100\text{kg}$  と一定とした試料を作成した。さらに密度調整として、 $p$  値(泥水/砂、室乾重量比)を  $1.0$  と  $20.0$  に変化させて豊浦標準砂( $\rho_s=2.640\text{g/cm}^3$ )を混合し、低密度と高密度の二種類の流動化処理土(表-1 に示す)を作成した。

28日養生した高さ  $10\text{cm}$ 、直径  $5\text{cm}$  の円柱状供試体を、図-1 に示す三軸試験機を用いて有効拘束圧  $98\text{kPa}$ 、背圧  $294\text{kPa}$  で等方圧密終了した後、非排水条件で地震を想定した一定の応力振幅の繰り返し荷重を  $11$  波載荷した。その直後に土が保持している静的強度を調べるために、非排水条件のままひずみ制御により静的せん断試験(ひずみ速度  $2.0\%/min$ )を行った。また、繰り返し載荷による有効応力の低下を模擬するために、有効拘束圧  $98\text{kPa}$  で等方圧密終了後、応力除荷により有効拘束圧を低下させ、その後非排水条件で静的せん断試験を行った。

3. 試験結果

表-1 処理土の配合条件と物理特性

$p$ 値	処理土密度 $\text{g/cm}^3$	泥水密度 $\text{g/cm}^3$	セメント添加量 $\text{kg/m}^3$	間隙比	圧密降伏応力 $\text{kPa}$	圧密量 ( $98\text{kPa}$ ・等方圧密) $\text{cm}^3$
1.0	1.70	1.20	100	1.20	196	2.3
20.0	1.33	1.20	100	4.21	86	16.1

図-2 は等方圧密試験による  $e \sim \log p'$  関係を示す。圧密応力を段階的に上昇させ、各段階において一次圧密終了を確認している。図中に示す圧密降伏応力  $p'_c$  はセメントの固化作用によって現れるものであり、せん断試験時の有効拘束圧を  $98\text{kPa}$  としているため、 $p=1.0$  の供試体は擬似過圧密領域、 $p=20.0$  の供試体は擬似正規圧密領域となっていることがわかる。

図-3(a)、図-4(a)は繰り返し載荷後静的せん断試験を行った結果を、有効応力経路を用いて表した図である。図中の斜めの破線は、試験後の供試体のせん断破壊面の角度の計測値(すべて  $60^\circ$  前後)から  $\phi=30^\circ$  として、粘着力  $C_d$  を求め、モール・クーロンの破壊基準に対応した破壊線を示している。ここでの繰り返し応力比を  $R = \sigma_d/2 \sigma'_c$  ( $\sigma_d$  は繰り返し応力片振幅、 $\sigma'_c$  は等方圧密応力) で表す。 $p=1.0$  の高密度、 $p=20.0$  の低密度の試料ともに、応力比の小さなときは軸差応力の増加と共にプラスの間隙

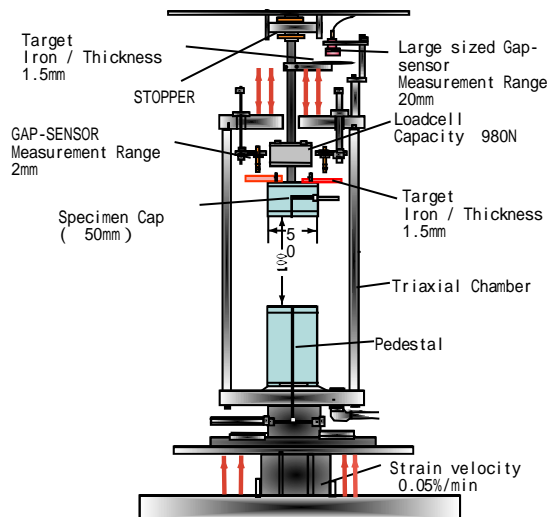


図-1 三軸試験機概略図

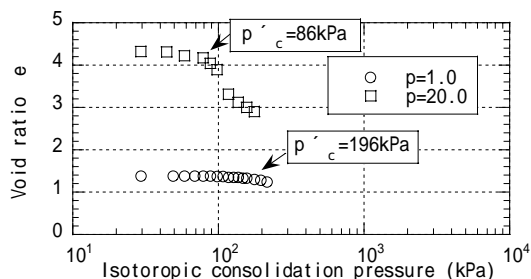


図-2  $e \sim \log p'$  曲線

キーワード：流動化処理土・ $p$  値・圧密降伏応力・繰り返し載荷・応力除荷

連絡先：〒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

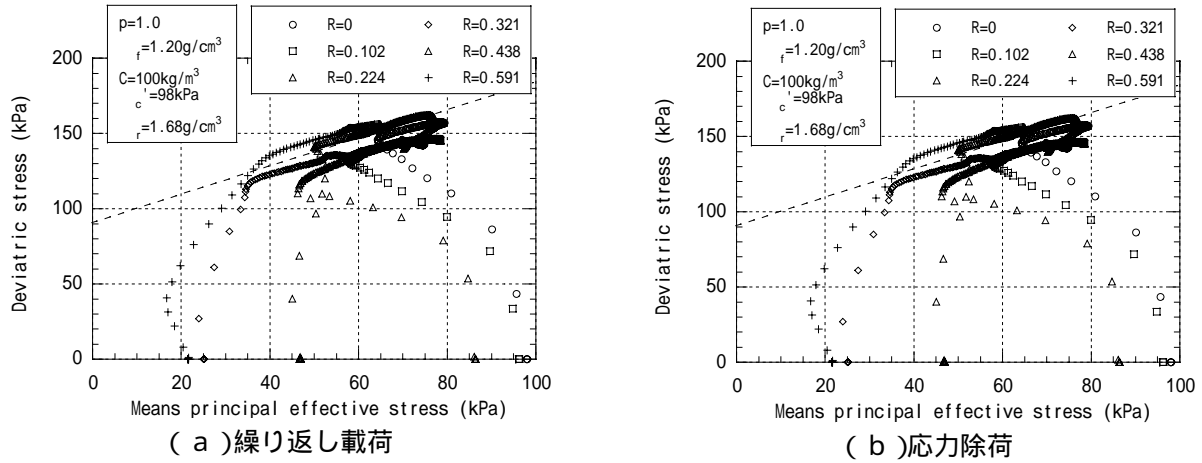


図-3 p=1.0(高密度)の有効応力経路

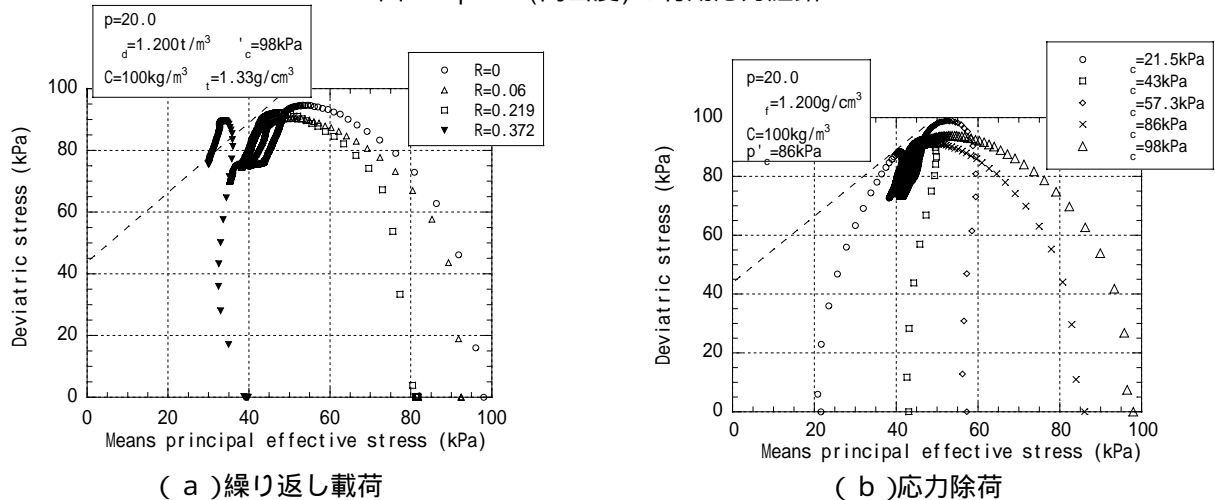


図-4 p=20.0(低密度)の有効応力経路

水圧が発生し破壊線に至る。その後、高密度のものはマイナス、低密度のものはプラスの間隙水圧が発生し、有効応力経路は包絡線に沿って移動した。応力比の大きなものについては、初めはプラスの間隙水圧が発生し、その後マイナスの間隙水圧が発生し有効応力が立ち上がり、応力比の小さいものとはほぼ同程度の軸差応力で破壊した。

この原因としては、繰り返し載荷での応力比の増加により、高い間隙水圧が発生し、有効拘束圧が低下し、載荷前よりも過圧密状態になるために強度増加が起こったものと思われる。p=20.0の低密度の試料についても、初期の有効拘束圧 98kPa では正規圧密領域であるが、繰り返し載荷での間隙水圧上昇が有効拘束圧を下げ、より過圧密状態となり、試料は過圧密領域に入ったことにより、p=1.0の過圧密領域の高密度の試料と同様に強度低下を起こさない。

図-3(b)、図-4(b)は等方圧密終了後セル圧を下げて、応力除荷により過圧密状態を再現してから行った静的せん断試験の結果を表している。低密度、高密度の試料ともに拘束圧の低い試料は正の間隙水圧の発生により、軸差応力は右上がりにより上昇し、拘束圧の高い試料とはほぼ同程度の軸差応力で破壊した。有効拘束圧低下の原因は違うにもかかわらずその有効応力経路は同図(a)の応力経路に非常に良く似ている。すなわち、(a)、(b)2つの試験結果から流動化処理土が繰り返し応力比の増加に伴う強度低下が見られないのは、過圧密による影響が非常に大きいためと考えられる。

#### 4. まとめ

固化材添加量を一定として密度の異なる流動化処理土を対象に、三軸試験機を用いて繰り返し載荷と応力除荷により拘束圧低下を生じさせた試料のせん断特性を調べた結果、以下のことがわかった。

- ・ 試験の対象となった高密度(p=1.0)と低密度(p=20.0)の試料は、試験時の有効拘束圧 98kPa によって、擬似過圧密、擬似正規圧密に分かれる。
- ・ 流動化処理土が繰り返し載荷によって強度低下を起こさない原因として、繰り返し載荷に伴う間隙水圧の上昇によって、いずれの試料においても過圧密状態になったことが大きく影響している。

<参考文献>1)久野野郎編著：土の流動化処理工法、技報堂出版、1997。2)國生、大川、吉尾、飯塚：流動化処理土の圧密特性に関する考察、土木学会第57回年次学術講演会、2002。