

京都大学工学部 赤井 浩一
 京都大学工学部 大西 有三
 京都大学大学院 ○李 徳河

1. まえがき

間げきや含水量が多いのは堆積軟岩の特徴である。したがって、軟岩の力学挙動を究明するとき、水の影響を無視できないのは当然であろう。表Ⅰに示すような物理諸量を有する砂質シルト岩について一連の三軸圧縮試験を行って、水の影響を検討する。一方、一本の試料から数多くのデータを取れことのできる試験方法“多段階三軸試験 (Multiple-Stage Triaxial test) リー-MST法”を改良して軟岩に適用できるようにした試験方法²⁾を用いて、砂質シルト岩の力学挙動を水の影響をも加えて考察する。

表Ⅰ

Dry density	$\gamma_d = 1.14 \text{ g/cm}^3$
Wet density	$\gamma_t = 1.68 \text{ g/cm}^3$
Void ratio	$e = 1.19$
Porosity	$n = 54.4 \%$
Degree of saturation	$S_r = 100.0 \%$
Water content	$w = 48.0 \%$
Specific gravity	$G_s = 2.485$
p - Wave	$V_p = 1.70 \text{ km/sec.}$
s - Wave	$V_s = 0.51 \text{ km/sec.}$
Poisson ratio	$\nu = 0.35$

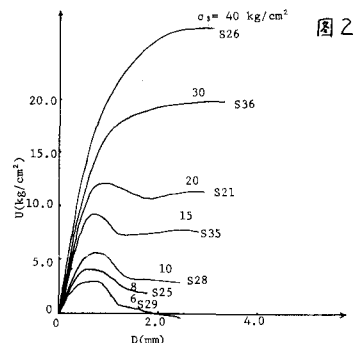
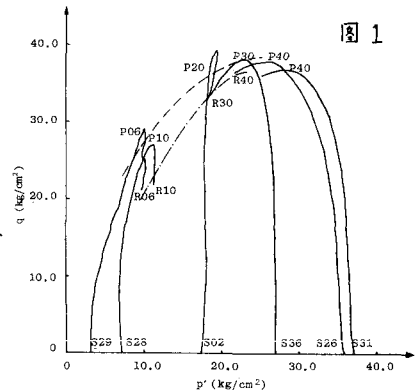
2. 三軸試験における砂質シルト岩の応力経路と間げき水圧の挙動について

表Ⅰのような物理諸量を有する砂質シルト岩について、Back pressure 3 kg/cm^2 の状態で、様々な拘束圧を用いて、一連の三軸圧密排水試験を行った。こうした試験の過程の応力状態と軸差応力 $\sigma_1 - \sigma_3$ と平均有効主応力 $p' = \frac{1}{3}(\sigma_1' + 2\sigma_3')$ で表すと図1のような有効応力経路となる。また、軸方向の圧縮変位と、試験中に生じた過剰間げき水圧の関係をまとめると図2となる。

まず、三軸試験中の間げき水圧の挙動について考察したところ、次のような結論が得られた。

1. 各曲線の立ち上がり勾配および最大値は明らかに、拘束圧に強く依存する。
2. 拘束圧 20 kg/cm^2 以下ではすべての試料のせん断過程において、間げき水圧のピーク現象があり、それぞれは軸差応力のピーク現象より早くあらわれる²⁾。ピーク以後、各試料の過剰間げき水圧は減少していく。
3. 拘束圧 30 kg/cm^2 以上の場合、間げき水圧-軸変位の関係曲線はピーク値を示さなくなり、軸変位の増加と共に、過剰間げき水圧が増え、最後には一定値となる。

次に、図1の有効応力経路について考察しよう。まず $\sigma_1 - p'$ 面に存在する有効応力経路の変動に対する試料の変化を検討する。軸差応力 $\sigma_1 - \sigma_3$ 、平均有効主応力 $p' = \frac{1}{3}(\sigma_1' + 2\sigma_3')$ 、 $\sigma_1 - p' = \frac{2}{3}(\sigma_1' - \sigma_3')$ であるが、せん断過程における拘束圧の変化がないので ($\Delta\sigma_3 = 0$)、 $\Delta\sigma_1 = \Delta\sigma$ 、 $\Delta p' = \frac{1}{3}\Delta\sigma$ 、 $\Delta(\sigma_1 - p') = \frac{2}{3}\Delta\sigma$ 。なお、非排水の試験であるから、外力の増分によって、試料の中に生じるべき間げき水圧増分は $\Delta u_c = \frac{1}{3}(\Delta\sigma_1 + 2\Delta\sigma_3) = \frac{1}{3}\Delta\sigma$ 。もし試料内に生じた間げき水圧の増分 Δu が、 $\Delta u < \Delta u_c$ であれば、試料の骨格構造は膨張したことを意味する



すなわち、 $\Delta u_c - \Delta u > 0 \rightarrow \frac{1}{3}\Delta\sigma - \Delta u > 0 \rightarrow \Delta p' > 0$, これは圧縮せん断試験中に試料が正の dilatancy の現象を生ずる条件である。同じように、 $\Delta p' < 0$ は試料が収縮負の dilatancy を生ずる条件式となる。

上述した二つの条件を用いて図1の有効応力経路を考察すると、次のような結論が得られる。

1. 拘束圧の場合、たとえば試料 S29、S28 の応力経路は試験の始めをのぞいてピーク強度まで、試料が正の dilatancy を生じたことを示している。特に、過剰間げき水圧のピーク以後、軸差応力のピークが出る前、 $\Delta\sigma$ は正であるが Δu が負となる。 $\Delta p'$ はさらに大きくなり、dilatancy の現象は激しくなる。これは試料のせん断破壊壊面ができる状態に近接することを意味するために、過剰間げき水圧のピークは、多段階試験をする際に装置操作に関する重要な情報の一つと考えてよい。
2. 拘束圧 30 kg/cm^2 以上の応力経路は、試料が常に収縮することを示す。
3. 拘束圧 20 kg/cm^2 の応力経路によって試料が体積変化がないという意味で critical state の近くと存在していたことがわかる。

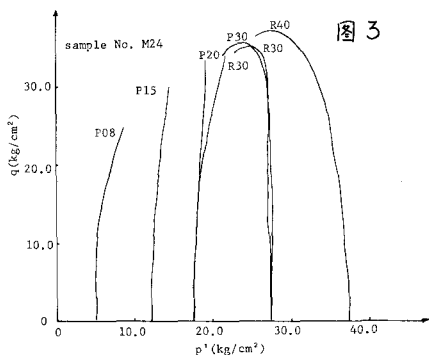


図 3

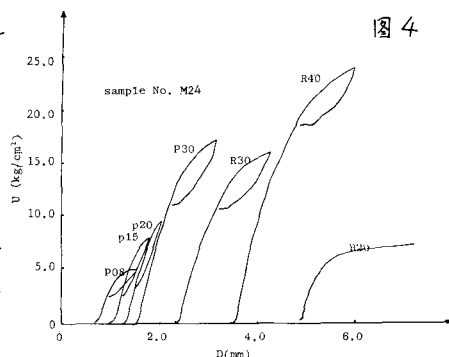


図 4

3. 多段階≡軸試験に関する応力経路と間げき水圧

一応の試料を用いて様々な拘束圧のもとでせん断試験を繰り返して各段階における試料のピーク強度もしくは残留強度が測定できるのは多段階試験法の特徴である。砂質シルト岩についてこの試験法で一連の試験を行った。一例として図3、4に示している試料 M24 の結果を検討しよう。図3に示されるように拘束圧 20 kg/cm^2 以下のせん断試験において、試料が正の dilatancy を生じたことおよび 20 kg/cm^2 以上では収縮したことを、あるいはまた、拘束圧の変化による試料強度の変化も図1に示しているのと同じ傾向を有することがわかる。なお、図4の過剰間げき水圧曲線はつぎのような現象を示している。

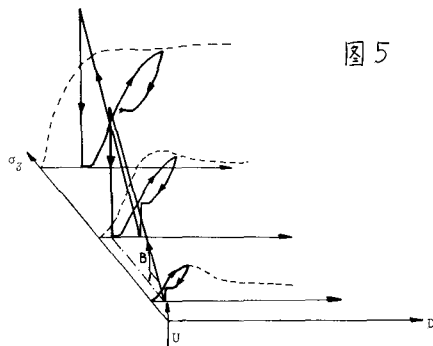


図 5

1. 拘束圧 8 kg/cm^2 の第一段階において間げき水圧曲線がピーク状態を示したが、 15 、 20 kg/cm^2 の場合では示さなかった。これは図2の従来の試験法から得られた結果と違う点である。
2. 曲線の立ち上がり勾配は拘束圧の増加によって大きくなり、試験の段階番数からも影響を受ける。ところが同じ拘束圧を受ける場合には応力履歴を問わずすべての過剰間げき水圧曲線がほとんど同じ最大値を有することがわかる。

以上の結果をもとに、拘束圧 u 、過剰間げき水圧 u および軸変位 D で構成された三次元空間に多段階≡軸圧縮試験における砂質シルト岩の間げき水圧経路を描くと図5となる。Bは拘束圧を変化させるときの試料の間げき水係数である。参考文献：① Kovari, K. & Tisa, A. Rock Mechanics 7, 1975, pp. 17-33.

② 李 徳河, “多段階試験法による砂質シルト岩の強度について.” (京大修論79)