

京都大学工学部 正会員 大西 有三
京都大学防災研 正会員 〇八嶋 厚

1. まえがき

これまで、堆積軟岩の破壊規準を求める目的においては、圧密→載荷→除荷の繰り返しによる多段階三軸試験法(MST法)が有効であることを報告して来た^{1),2),3)}。しかし、それらの報告においては、後続の有効応力経路におよぼすせん断履歴の影響については何も論じていない。本研究においては、堆積軟岩と硬質粘土を試料として用い、それぞれの試料の破壊規準に対して多段階試験が妥当であることを確認し、さらに、せん断履歴の影響に注目して考察を加えた。

2. 試験方法

堆積軟岩試料は、通称粘土石と呼ばれる凝灰岩で、 $G_0=2.649$, $e=0.409$, $\rho_s=1.878 \text{ g/cm}^3$ である。これをサリションにより強質硬化して用いた。圧密応力 $10 \sim 180 \text{ kgf/cm}^2$ の範囲で、通常の圧密排水試験(SST法)、最大強度を求めるための多段階試験、残留強度を求めるための多段階試験の3ケースについて、ひずみ速度 $0.12\%/min$ で試験を行なった。硬質粘土試料は、市販の深草粘土を用いた。正規圧密粘土に関しては、圧密応力 $1, 2, 4 \text{ kgf/cm}^2$ の過圧密粘土に関しては、先行圧密応力 4 kgf/cm^2 のもとで過圧密比 $8, 4, 2$ である。それぞれのステップの多段階試験ならびにSST法による試験を、ひずみ速度 $0.06\%/min$ で行なった。

3. 試験結果と考察

図-1に両対数軸で示した破壊規準は、多段階試験が粘土石の強度を求める上で適切な方法であることを示す。多段階試験による残留強度包絡線はSST法のそれと同一と判断してよい。また最大強度包絡線はSST法の結果に比べ多少小さくなっているものの強度が安全側に現われており、またこの程度の誤差の範囲は十分許容できるものと考えられ、多段階試験の妥当性をくつがえすものではない。

図-2の有効応力経路から判断すると、軸荷重を最大強度点以前に除荷してやると、後続の圧密を經過した後のせん断履歴の影響はあまり現われておらず、多段階試験、SST法の有効応力経路はほぼ同一である。一方図-3の有効応力経路においては、特に圧密応力 100 kgf/cm^2 以上の各段階において多段階試験、SST法の有効応力経路はかなり違いを生じている。このように、せん断面が形成されてしまうような大きなひずみまでせん断すれば、後続の圧密過程を經過しても、次のせん断過程において以前のせん断履歴の影響がかなり現われる。

正規圧密粘土に関する図-4の結果によれば、破壊規準 $q=Mp$ は多段階試験によるものとSST法によるものをほぼ同一と見なしてもさしつかえない。したがって強度定数を求める目的においては、せん断中の除荷点をうまく制御すれば(本研究においては、軸ひずみ 3% 以内で除荷している)、深草粘土においても多段階試験は有効であると言える。有効応力経路に関しては、圧密応力 1 kgf/cm^2 のものは当然ながら多段階試験、SST法の両者は一致する。しかし、後続のステップにおいては、

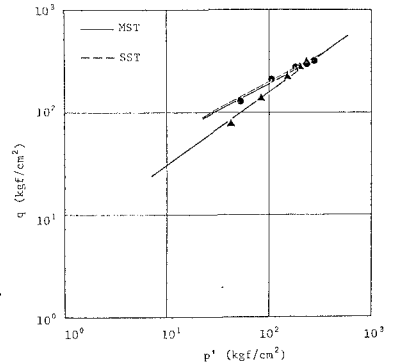


図-1 両対数表示による破壊規準

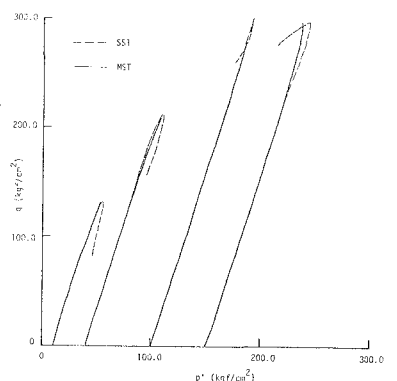


図-2 有効応力経路(最大強度)

SST法の結果とは異なり有効応力が大きくなる方向、つまり同じ q のもとで小さな間隙水圧しか発生しない現象を示す。

次にせん断履歴の影響を、正規圧密粘土の刃段階試験による状態経路を $e-\log p'$ 図で表現することで考察してみる。

図-5において、圧密応力 1 kgf/cm^2 で圧密が終了した点は、等方圧密試験の結果得られた $e-\log p'$ 図の臨線関係に合致する(点1に示す)。しかし、せん断を経験し除荷後圧密応力 2 kgf/cm^2 で圧密した状態(点2)は、もはや臨線関係には合致せず間隙比 e が小さい状態(点2)で圧密が終了する(圧密応力 4 kgf/cm^2 における圧密終了点3についても同様)。このことは、臨線で示した関係が正規圧密状態であることから、点2, 3は見かけ上は過圧密状態ということになる。ここでは、応力-ひずみ図は省略したが、圧密応力 $2, 4 \text{ kgf/cm}^2$ で圧密応力 1 kgf/cm^2 では見られなかった降伏点が見られた現象は、点2, 3の状態を考えれば妥当であると言える。

同じ圧密応力のもとでの正規圧密状態からの間隙比のズレを二次圧密と仮定すれば、図-5はせん断による異方性の発現が後続の圧密過程において二次圧密現象を助長していることを示す。これは逆に言うと、二次圧密は異方応力状態(K_0 -圧密に代表される)や、試料自体がもつ異方構造に大きく左右されるということである。

過圧密粘土においては(図は省略した)、せん断開始から除荷開始点までの挙動はほぼ弾性領域におけるものと考えられ、塑性的な異方性は卓越してこない。このため有効応力経路はSST法によるものとはほぼ大差ない。また $e-\log p'$ 図における状態経路においても、正規圧密粘土で見られたような定性的な現象は見られない。したがって、このような応力レベルにおいては刃段階試験は破壊現象のみならず、その有効応力経路に関してもほぼ適切な方法であると言える。これは粘土石における図-2の結果と同様である。

4. あとがき

以上の結果から判断すると、刃段階試験は破壊現象(強度定数)を求める目的に関しては妥当な方法である。また有効応力経路に関しては、その試料における応力レベル(正規圧密か過圧密か)に大きく左右される。つまり応力レベルが高い(正規圧密状態に相当する)場合には、せん断中に発現した異方性により、後続の圧密およびせん断の挙動が大きく影響を受ける。

終りに、本研究を行うにあたって終始熱心に御指導いただいた京大工学部、赤井浩一教授に感謝致します。

<参考文献>

- 1) 赤井、大西、李、土木学会第34回年次学術講演会講演概要集、Ⅱ、1979、pp. 331-332
- 2) 赤井、大西、李、第24回土質工学シンポジウム論文集、1979、pp. 143-150
- 3) 赤井、大西、李、第13回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、1980、pp. 76-79

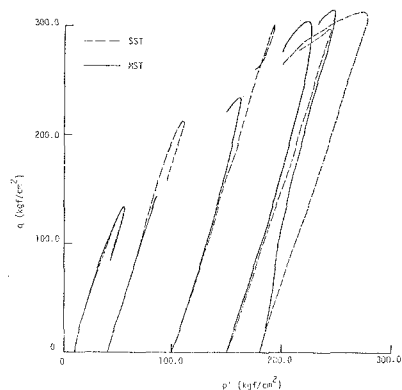


図-3 有効応力経路(残留強度)

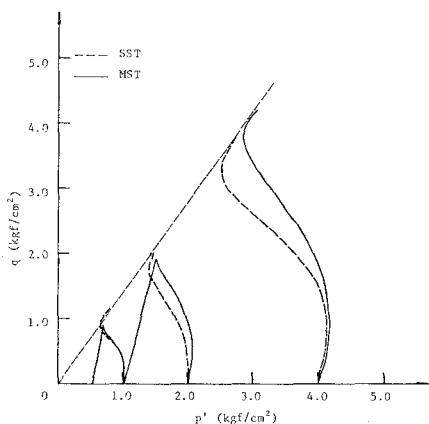


図-4 有効応力経路(正規圧密粘土)

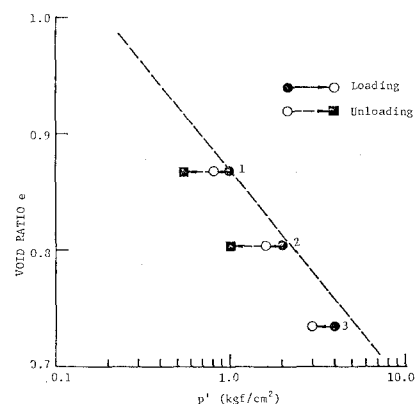


図-5 状態経路(正規圧密粘土)