

異方性粘土の直接せん断試験について

京都大学防災研究所 正 員 村山翔郎

京都大学大学院 学生員 栗原則夫

粘土のせん断強さに異方性のあることはしばしば報告されているが、一つの原因として平板状の粘土粒子の配列の異方性が考えられる。一般に粘土のせん断強さは、せん断力による粒子の力学的運動(粒子間のスベリと *interlocking*) とそれに対する間ゲキ流体相をも含めた粒子間の物理化学的な相互作用によって支配される。そして前者はせん断に先立つ構造、すなわち粒子配列に大きく影響されるであろう。この報告では、粘土粒子配列の異方性がせん断強さに及ぼす影響を調べるため、単一粘土鉱物(カオリナイト)を懸濁液から沈降堆積させて作った粒子配列に異方性をもつ粘土(いわゆる分散粘土 *dispersed clay*)を、水平方向(粒子配列の方向)および鉛直方向(粒子配列と直角方向)にそれぞれ直接せん断した結果について述べる。

試料：試験に用いたカオリナイトの物性は、比重 = 2.725, L.L. = 48%, P.L. = 29.4%, < 2 μ 含有率 = 30% である。カオリナイト 200g に分散剤(比重 1.023 のケイ酸ナトリウム溶液) 80cc を加え、さらに全体が 1ℓ になるまで水を加えて作った懸濁液を、内径 10cm の円筒容器中に入れて 24 時間放置した後、上澄液を除き、さらに新しい懸濁液を加える。この操作を、必要な堆積高さが得られるまで繰返した。続いて同じ容器中で小さな荷重から一次元圧密を始め、最終的に 4% で 48 時間圧密した。こうして得られた試料は、懸濁液中での分散剤の効果および一次元圧密の効果によって、粒子が水平方向に平行配列した構造をもつと考えられる。このフロック試料から円柱形試料(直径 6cm, 高さ 1.3cm)を図-1 のように水平方向と鉛直方向に切り出した(前者を H 試料、後者を V 試料と呼ぶ)。なお、粒子配列の異方性を確かめるため乾燥させたところ、収縮量がわずかであること確認できるほどの収縮の異方性は測定されなかったが、堆積に沿う水平方向に無数の細かいクラックが観察された。また標準圧密の結果、圧縮指数は V 試料で 0.53,

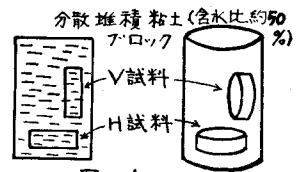


図-1

H 試料で 0.40 であり、ともに各荷重段階で圧密液下の大部分はほぼ瞬時的に終了している。

試験結果 セン断中に垂直荷重を一定に保った排水条件での直接せん断および定体積直接せん断を行なった。せん断速さはすべて 2.1 mm/min である。試験結果を図-2~5 に示す。

① 図-2 の τ - $d\alpha$ 曲線において、せん断による断面変化を考慮すれば、H 試料では、 τ は $\tau_{\max}$ に達した後 $d\alpha$ の増加とともにほぼ一定であるが、V 試料では明らかなピークがみられる。これは同じ分散粘土でもせん断方向に対する粒子配列から考えて、V 試料の場合は凝集粘土 *flocculated clay* のせん断特性に近いものを与えるのであろう。また両試料ともに σ が大きいほど $\tau_{\max}$ を与える $d\alpha$ が大きい。② $\tau_{\max}$ はどの試験でも常に V 試料の方が大きい(図-2 の場合は、H 試料より 8~10% 大きい)。これは定体積せん断の図-4 でも同じである。③ 図-2 において $\sigma = 0.5, 1.0 \text{ kg/cm}^2$ のものについては明らかでないが、 τ はせん

断初期においてH試料の方が大きく、しかもV試料より小さい d_n でmaxとなっている。これは次のように考えられるであろう。もともと従来いわれているように、セン断領域においてセン断変形の進行とともに粒子がセン断方向に平行に配列して、ある平衡状態が生じるとすれば、粒子配列がもともとセン断方向に平行であるようなH試料では平衡状態へ達する過程は簡単であり、セン断開始後直ちに粒子間のスベリによるセン断抵抗がフルに発揮されるような状態に達する。一方、V試料では平板状粒子がセン断方向に直角に配列しているため、平衡状態に達するには粒子の再配列化が行われねばならず、その過程には粒子同志のinterlockingも含まれ、ここまではH試料よりも遅れてピークに達し、しかも粒子再配列化に要する分だけでは大きくな

る。その後はH試料と同じような平衡状態へ向うであろう。このことは d_n 大のところで2つの曲線が接近していることから予想される。しかし上記の点については、粒子間のスベリ速度の影響も考えられるので、さらにデータの集積をまって検討したい。④ 図-3は図-2から σ_{max} と σ をアロットしたものであるが、V試料の方が大きいセン断抵抗角を与えている。⑤ 定体積試験では、セン断前に初期垂直荷重をかけて試料が落着くまで十分な時間をおいており、標準圧密の結果も考えて、セン断中の垂直応力はほぼ有効応力に近い値を与えていると考えられる。

図-5のベクトルカーブでH、V試料共に破壊包絡線が描ける(図-3と同様、V試料の方が上にきている)。ベクトルカーブの形は両試料で明らかに異なっているが、ともに包絡線に達した後はこの線に沿って左上へ移行している。またV試料のカーブはいずれも包絡線に近づくところで、急に右上へへ旋回している。この部分では、セン断面全体にわたってセン断抵抗力が動員されつつある準平衡状態であろう。以上の結果より分散堆積粘土はセン断強さに異质性があることがわかった。その原因として粒子配列の異质性が考えられる。今後、粒子配列の異なる堆積粘土の作成とその配列状態の測定、粒子配列と粒子界面状態が力学特性に及ぼす影響について研究してゆきたいと思う。

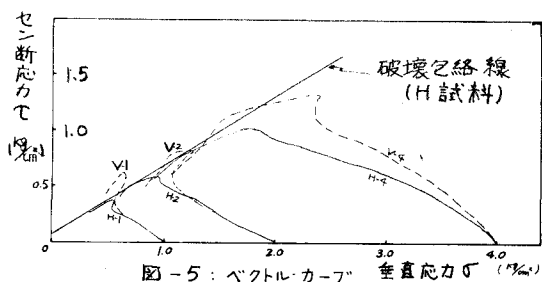


図-5: ベクトルカーブ 垂直応力 σ (kg/cm²)

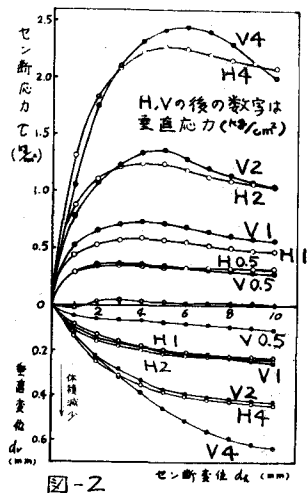


図-2

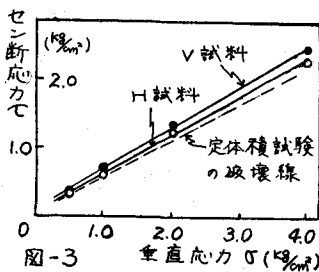


図-3

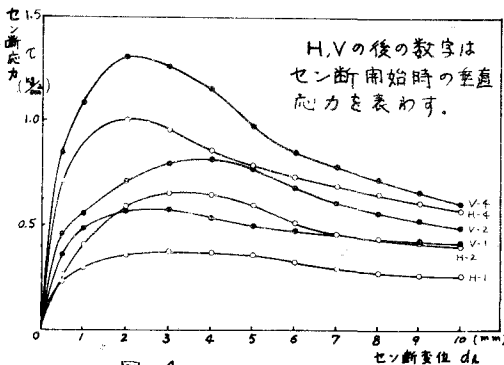


図-4