

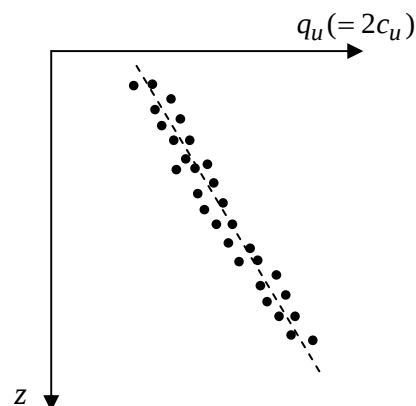
【一軸圧縮試験と三軸圧縮試験による飽和粘土地盤のせん断強度調査】

(1) 原位置の正規圧密粘土地盤

原位置にある正規圧密粘土地盤は、深度に応じた有効土被り圧によって圧密が完了している。そのため、粘土は深くなるにしたがって、大きな有効拘束圧（圧密応力）で圧密されているので、深くなるほど間隙比は小さくなり、せん断強度は大きくなる。

重要なポイント：粘土のせん断強度は間隙比と有効応力と 1 対 1 対 1 の関係であり、間隙比が小さいほどせん断強度は大きくなる

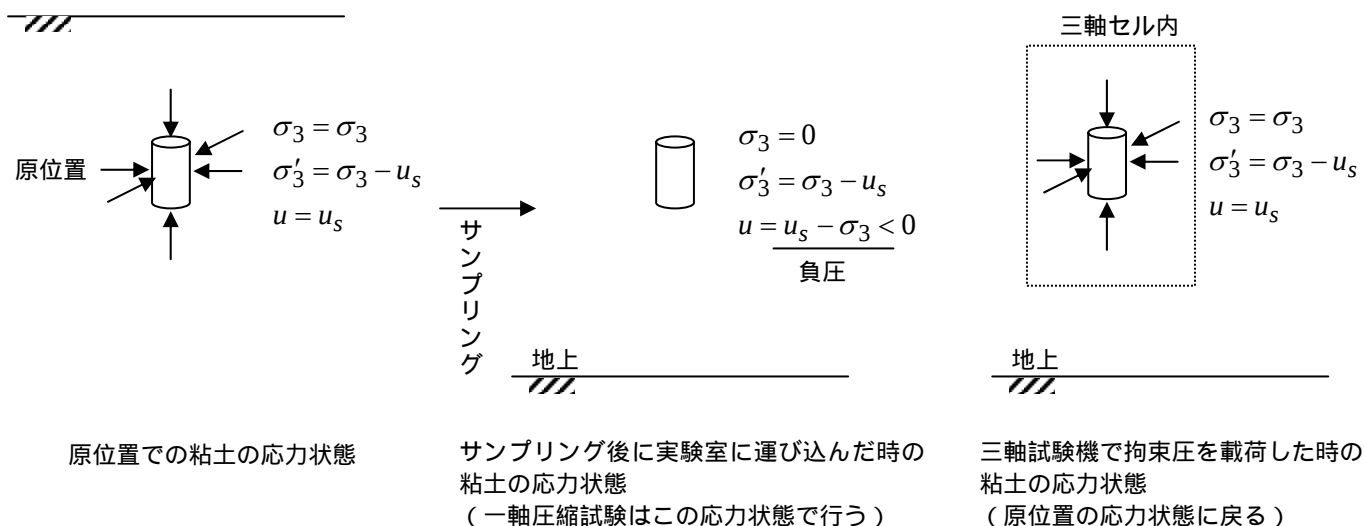
原位置の粘土をボーリングによってサンプリングし、一軸圧縮試験を行い、それぞれの一軸圧縮強度 q_u (=非排水せん断強度 c_u の 2 倍) をプロットしたものが右図である。プロットの数だけ一軸圧縮試験をしたことを示している。通常、ここまで多数の実験をすることは少ないが、一軸圧縮試験によって、地盤全体の非排水せん断強度を把握するためには、ある程度数の実験が必要である。



(2) 非圧密非排水せん断試験 (UU 試験) の役割

原位置からサンプリングしてきた粘土を、なるべく原位置の状態に近づけて実験を行う。

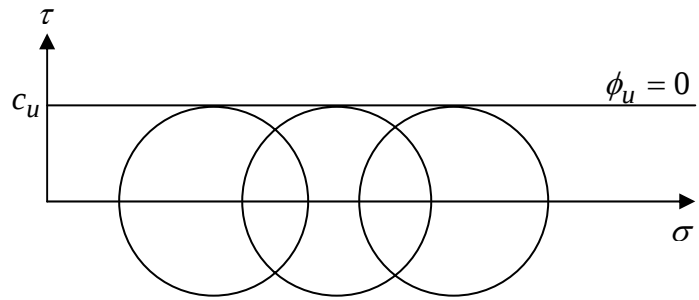
そのため、サンプリング時から原位置での粘土の含水比（間隙比）を変えないように注意して、実験室に搬入して三軸試験機にセットし、原位置の有効土被り圧と同等の拘束圧を、間隙比を変えないように非排水のまま載荷する。ここでの、拘束圧は粘土内部の応力状態を、原位置に近づけるためのものである。



- ・ 原位置では、土被りに相当する σ_3 が全応力で粘土に作用しており、深度に応じた静水圧 u_s も作用しているため、有効応力は全応力から静水圧を差し引いた $\sigma'_3 - u_s$ となる。
- ・ サンプリングして地上に出された粘土には外から圧力が作用しないので、全応力はゼロになる。しかし、サンプリング後にも間隙比が変わっていないので、有効応力は原位置の時と同じである。そのため、全応力から有効応力を引いたものが水圧であるが、この場合は $u_s - \sigma_3$ となり、粘土の中は負の間隙水圧となる。
- ・ 三軸セル内で圧力を加えることにより、粘土は原位置の応力状態に戻る。ただし、 $\sim$ を通して、粘土の間隙比は変わらないので、有効応力はずっと同じである。

(3)非圧密非排水せん断試験（UU 試験）の結果の整理

拘束圧 σ_3 を色々変えて実験を行っても、拘束圧を作用させた時点から非排水状態の非圧密であるので、間隙比は変わらず、有効応力も変化せず、結果としてせん断強度も増加しない。拘束圧を増加させた分はすべて間隙水圧の変化となる。



破壊時の応力状態をモールの応力円で

表すと右図のようになる。 σ_3 を何通りも変えても、半径が同じ応力円となるので、破壊包絡線は水平になる。そのため、内部摩擦角 ϕ は 0° となるが、これは UU 試験で得られる特別なものであることに注意する。

UU 試験で得られる重要な土質定数は、

$$\text{非排水せん断強度: } c_u = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)_f \quad (f \text{ は破壊時の意味})$$

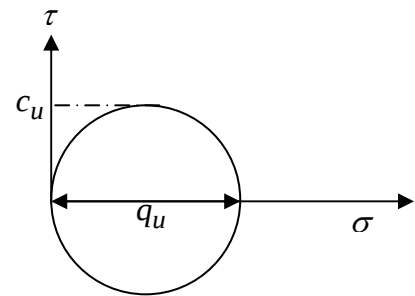
この非排水せん断強度 c_u は粘土の短期安定問題を念頭においた設計に非常によく用いられる重要な土質定数である。また、この c_u を用いて行う解析を破壊包絡線が 0° であることから、 $\phi_u = 0$ 解析法と呼ばれる（全応力解析の代表）。

(4)一軸圧縮試験と UU 試験の関係

一軸圧縮試験は、UU 試験において、 $\sigma_3 = 0$ の特殊な場合と同じと考えて良い。

求められる土質定数は、一軸圧縮強度 $q_u = \sigma_1 f = 2c_u$

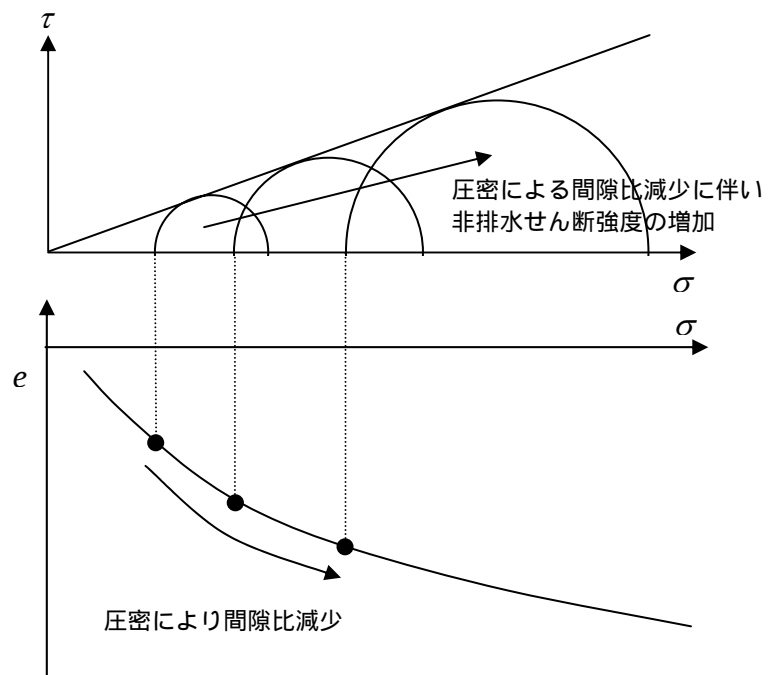
摩擦則を思い出すと、通常拘束圧が無ければ土はせん断強度を持たないはずであるが、飽和粘土の場合には、全応力がゼロになっても、負の間隙水圧（ダイレイタンシーで学んだように、負の水圧は吸い着ける効果がある）が有効拘束圧の役割を果たし、有効応力を維持するために、せん断強度を発揮できる。

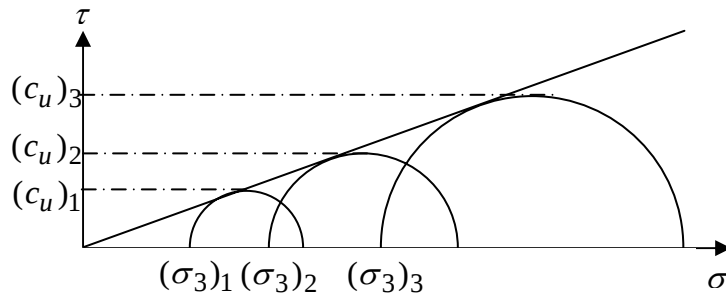


(5)圧密非排水せん断試験（CU 試験）の役割 1

UU 試験は三軸セル内で原位置の応力状態に戻すようにしているが、実際の地中の応力状態は異方的（縦と横の応力が違う）であり、また、内部の有効応力状態も完全には把握できない。そのため、CU 試験ではサンプリングしてきた粘土を、一旦完全に圧密し直すことにより、非排水せん断時の有効応力状態を明確にして実験を行うことができる。

また、この配付資料のはじめに示した図のように、正規圧密粘土地盤は深さ方向にせん断強度が増加してゆくが、その強度増加率を正確に把握するには UU 試験では、サンプリング深さが異なる試料を何本か用いて試験をしなければならない。しかし、粘土地盤がある程度均質ならば、CU 試験によりある深さでサンプリングした粘土だけを使用して、深さ方向の強度増加率を求めること





強度増加率

$$\frac{(c_u)_1}{(\sigma_3)_1} = \frac{(c_u)_2}{(\sigma_3)_2} = \frac{(c_u)_3}{(\sigma_3)_3} = \frac{c_u}{p}$$

ができる。なお、普通 1 本のサンプリングチューブ約 1m で（要するに 1 回のボーリングで）、数本の試験用供試体が採取できるため、同じチューブの試料を用いて実験すれば、他の深度からサンプリングしてきた粘土を用いて実験するよりも圧倒的に経費が安いのは明らかである。

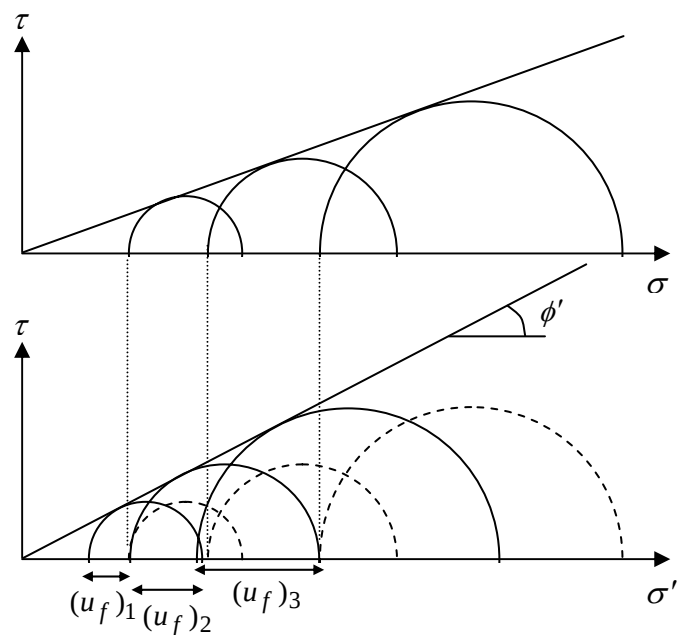
上図のように、全応力のモールの応力円での CU 試験結果の整理は、強度定数 c, ϕ を求めるというよりも、全応力解析である $\phi_u = 0$ 解析法の延長上で、拘束圧 σ_3 の増加に伴い、どれだけ非排水せん断強度 c_u が増加するかを検討するために用いられる。

同じ深度の粘土を用いても、上図のように、3 種類以上の有効拘束圧を用いて CU 試験をすれば、強度増加率が求められる。強度増加率は、言うまでもなく、本資料の最初の図の深度方向に強度が大きくなることを示す直線の傾きと等価である。

(6) 圧密非排水せん断試験（CU 試験）の役割 2

CU 試験の最大の特長は、試験中の間隙水圧を正確に計測できることから、圧密、せん断の両過程を通して、試験中の有効応力状態が明確であることである。そのため、有効応力規準の c', ϕ' を求めることができる。粘土の場合、排水せん断試験 CD 試験は長時間を要するために実務向きではないために、せん断中の有効応力を把握するためには CU 試験が最も実用的でよく用いられている。

以前は、 c', ϕ' を求めるのは長期安定問題を検討するためであったが、最近では別の用途でせん断中の有効応力状態を把握することが非常に重要となってきた。近年、コンピュータの発達はめざましく、数値解析が実務上もよく用いられるようになってきた。土の挙動を正確に数値解析するためには、精度の高い土のモデルを用いる必要がある。それらは土骨格自身のモデルのため、有効応力で記述されている。そのため、数値解析を行うのにあたり、CU 試験を行いモデルのパラメータを決定することになる（研究用途であるが、モデル化自身を行うためにも、もちろん CU 試験は必要不可欠である）。



(7)過圧密粘土のCU試験結果

下図は、過圧密粘土も含めたモールの応力円（全応力表示）である。正規圧密粘土ではモールの応力円の破壊包絡線は原点を通る直線となるが、過圧密粘土になると包絡線は上側に移動し原点を通らなくなる。過圧密粘土の場合、正規圧密粘土と同じ有効拘束圧であっても間隙比はずっと小さいために、非排水せん断強度は正規圧密粘土よりもだいぶ大きくなる。また、下側の圧縮曲線を見てもわかるように、過圧密粘土の圧縮指数（圧縮曲線の傾き）は小さいために、有効拘束圧が多少変化しても間隙比に大きな変化はなく、非排水せん断強度に大きな差は生じない。そのため、過圧密粘土の破壊包絡線は上側に上昇し、傾きは小さくなる。その結果、見かけの粘着力が発生するようになる。

