

【排水条件および非排水条件の試験で得た設計用強度定数の用途】

(1) 土構造物の設計

盛土や切土斜面、擁壁、基礎構造物等の構造物を作る場合、土の設計定数として c, ϕ が用いられる。これは三軸試験や一面せん断試験で求められるが、どのような条件で求められた c, ϕ かということが重要となる。

(2) c, ϕ を求める条件とその活用法

砂は透水性が高いので、自然界においても排水条件にあると考えてよい。(ただし、地震時のように短時間に大きなせん断力が加わる場合には非排水条件で考える場合もある。) そのため、ほとんどの場合には、排水条件の試験を行い、 (c_d, ϕ_d) を求める。

一方、粘土は透水性が低いので、どのような構造物を作り、どのような時間でその構造物の安定を考えるかによって、 c, ϕ の求め方も変わってくる。通常は、全応力で考える場合が多い。

(a) 地下水面下の飽和土

飽和土では、全応力の (c, ϕ) を用いるか (全応力解析)、有効応力の (c', ϕ') を用いるのか (有効応力解析)、土質によって適宜判断される。以下全応力解析を●、有効応力解析を○とする。

①砂～砂質シルトの場合

○完全排水条件で試験*を行い (c_d, ϕ_d) を求める。この場合、 (c_d, ϕ_d) は有効応力の (c', ϕ') と全く同じものとなる。

(*排水条件の一面せん断試験, CD 三軸圧縮試験)

→砂は透水係数が大きい (透水性がよい) ので、簡単に完全排水 (過剰間隙水圧なし) 条件が実現できる。また、正のダイレイタンスーのために真空中に近い負圧が発生するため非排水三軸圧縮試験は適さないことが多い。

②粘土～粘土質シルトの場合

●一軸試験や UU 三軸圧縮試験を行い、全応力解析 (すなわち $\phi_u=0$ 解析法) のために、 c_u を求める。

→ 強度定数は、 $(c, \phi) = (c_u, 0)$ となる。

●CU 三軸圧縮試験を行い、有効拘束圧に応じた、 c_u を求め、強度増加率 c_u/p を求める。

→ 強度定数は見かけ上、 $(c, \phi) = (c_{cu}, \phi_{cu})$ が求められるが、使用するのは、それぞれの有効拘束圧の時の τ の値である c_u と強度増加率 $c_u/p = \tan \phi_{cu}$ である。

○完全非排水条件でせん断試験*を行い、試験中の過剰間隙水圧 u_w を計測することにより、有効応力の (c', ϕ') を求める。

(*非排水 (等体積) 条件の一面せん断試験, CU三軸圧縮試験)

→粘土は透水係数が小さい (透水性が悪い) ので、完全排水 (過剰間隙水圧なし) 条件を実現するには長時間かけて試験する必要が生じ、大変である。

●の全応力解析は、(仮設構造物のように) 短期間の安定を考える場合に有効となる。○の有効応力解析は (永久構造物として) 長期間に亘る安定を考える場合に重要となる。

→粘土地盤上に盛土を作る場合のように圧密が伴う問題は、時間の経過とともに安定性は向上する（どんどん強くなっていく）ので、全応力解析で十分であることが多い。その一方、掘削などで人工斜面を造る場合は、時間の経過とともに安定性が低下する場合がありますので注意が必要である。

(b) 地下水面上の不飽和土あるいは乾燥砂

→粘土やシルトは保水性能が高いので、自然界で乾燥状態にある場合は少ない。

①乾燥砂の場合

○乾燥状態のまま完全排水ならぬ完全排気試験を行い、 (c, ϕ) を求める。この場合

(c, ϕ) は有効応力の (c', ϕ') と等しいと考える。ただし、乾燥砂では $c'=0$ である。

②不飽和土の場合

●不飽和状態のまま、完全排水・排気試験を行い、 (c, ϕ) を求める。

○水浸させて飽和状態にし、完全排水条件で試験を行い (c_d, ϕ_d) を求め、有効応力の (c', ϕ') として扱う。

通常は●の全応力解析ですませるが、最悪の状態も想定して○の有効応力解析をする場合もある。

(3) 粘着力 c とは何か

・飽和粘土の場合（上記(a)-②）

有効応力で表す (c', ϕ') と全応力で表す $(c_u, 0)$ がある。両者の関係は、以下の通り。

$$c' \ll c_u \quad \phi' \gg \phi_u = 0$$

特に、通常の正規圧密粘土の場合 $c'=0$ となり、過圧密粘土や疑似過圧密粘土（過圧密粘土のように振る舞う正規圧密粘土）では若干の c' が存在する。この c' は、長い年月（何百万年～何万年）をかけて粘土が堆積したために生じた化学的な固結力や力学的な荷重履歴による粒子間のかみ合わせの強化（正のダイレイタンスの発生）に起因するものであり、「真の」粘着力と呼ぶ人もいる。

一方、全応力解析での c_u は、完全非（吸）排水条件下でのみ成り立つ、みかけの粘着力である。すなわち、ある応力状態にある飽和粘土から荷重を除荷した場合、水を吸いながら間隙比が大きくなりせん断強さは低下してゆくが、吸水を許さなかった場合は、間隙水に負圧（サクシオン）が働き、せん断強さは低下しない。このサクシオンが飽和粘土の見かけの粘着力となる。

→ 吸水を許した途端に、見かけの粘着力は確実に喪失してゆく。完全非（吸）排水条件は、粘土の短期安定問題を考える場合の仮想的な条件である。（盛土安定では安全側、掘削安定では危険側）

・不飽和土の場合

全応力で表す (c, ϕ) と有効応力で表す (c', ϕ') がある。両者の関係は、以下の通り。

$$c > c' \quad \phi \geq \phi'$$

特に、不飽和土の c は飽和粘土と同様に「真の」粘着力 c' と、サクシオンに起因する見かけの粘着力の和と考えられる。したがって、不飽和土が水浸してしまった場合は、見かけの粘着力相当分が喪失し、「真の」粘着力 c' まで低下してしまう。（しかし、上述のように c' は非常に小さいことが多い）

→ 不飽和状態は至る所に存在する自然な状態である。擁壁構造物等では、裏込め土に不飽和状態を保ち続けさせるための工夫をするのが一般的である。（排水口を設けて水が貯まらないようにする等）