

第3回イブニングセミナー「斜面安定 ー強度定数と安全率の考え方ー」 Q and A

本文書は、8/27のセミナーの後に、ご参加いただいた方の一人（コンサルタント勤務）からEメールでいただきました質問とそれに対して講師の小高が返答した内容です。当日の説明が不十分だったことを反省しております。また、当日熱心に聴いていただきましたことを感謝する次第です。

セミナーの補足ともなりますので、質問していただいた方の許可をいただいた上で、付録資料として、当日の配付資料と共に掲載させていただきます。

なお、本文書の責任はすべて著者の小高にあります。小高の勘違いによる不適切な内容が含まれているかもしれませんが、あくまで地盤工学会中部支部の公式見解ではありませんので、ご理解のほど、よろしくお願いいたします。

平成22年9月

名城大学 小高猛司

Q: パワーポイントのテキスト*のp16で「③cの低下: 降雨による飽和度低下」とありますが、「降雨により飽和度は上昇」なのではないでしょうか。

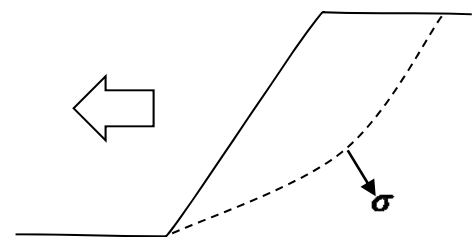
A: ご指摘ありがとうございます。その通りです。降雨による飽和度上昇による強度低下というようなつもりだったのか、間違えて逆のことを書いてしまいました。当日気がつかず、誤った資料を使用してしまい申し訳ありませんでした。

→当日配布した資料には上記のような誤りがありましたが、現在地盤工学会中部支部HPにUPしている資料は訂正済みです。

*支部HPにアップしている「資料1」を指します。

Q: 同上p16で「②σの低下: 地震外力」とあるが、地震外力が、土被り圧を低下させることになるのは、どういうことでしょうか？

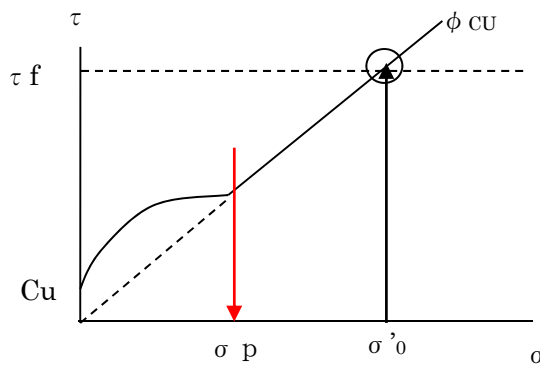
A: 地震外力によって斜面は加振され、様々な方向に慣性力が働くことが予想されますが、その中でも例えば、右図のような方向に慣性力が作用した場合には、斜面が飛び出す方向に慣性力が加わることとなりますので、潜在的すべり面に作用している拘束圧は低下することになります。円弧すべり解析では、静的震度法で慣性力を外力として加えるだけで、この効果は通常考えませんが、本来は考えるべきものです。



Q: 同上p18で「c; 粘着力 インターロッキング」で、粘着力となるインターロッキングとは、どのような現象なのでしょう？摩擦力とは違うのでしょうか。

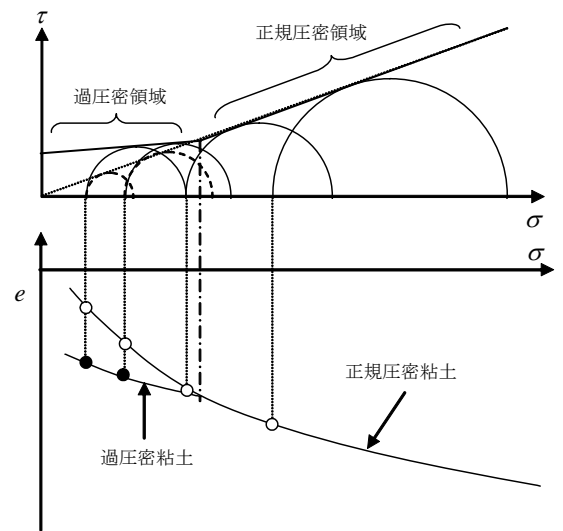
A: 非常に固結した洪積層の砂などでは、三軸試験(CD条件)でも、φが上がるだけでなく、cが発生することがあります。海外の土質力学の教科書では説明されていたりするので、ヨーロッパ等の古い地層で多いのかもしれませんが、確かに和訳は見当たりません。粒子形状がギザギザの場合に、粒子同士のかみ合わせによって発生するものと考えられています。もちろん、ときほぐせば、なくなるものです。この効果により、φも当然大きくなりますが、c、φで整理すると見かけのCも大きくなる場合があるようです。

Q: CU三軸試験結果では、下図のようになると聞きましたが(実線は過圧密、波線部は正規圧密)



Q1: σ_p は、圧密降伏応力と考えますが、過圧密か正規圧密粘土か分からない場合は、圧密試験を行った上で三軸試験の側圧を決めるのでしょうか。一般的な三供試体のモールの円だけでは、包絡線が書けないのではないのでしょうか。(三軸試験のみでは、数多くの供試体で側圧を小さなレベルから大きなレベルで試験しなければならないかと思うのですが)

A1: ご指摘の通り、粘性土の ϕ を決めるのは、拘束圧に依存するために難しい作業です。粘性土の非排水せん断強さは、基本的にその粘土の間隙比と強い相関があります。また、間隙比は拘束圧（圧密圧力）に依存します。したがって、正規圧密粘土の場合には、拘束圧と非排水せん断強度は比例関係となり、原点を通る直線で表すことができます。一方、過圧密粘土の場合には、 $e \sim \sigma$ 関係からわかるように、同じ拘束圧であっても、正規圧密粘土よりも間隙比が小さいために、正規圧密粘土よりも大きな非排水せん断強さを持ちます。そのため、 $\tau \sim \sigma$ の図上では、見かけの c を持つように包絡線が上に上がります。過圧密領域の包絡線は、右図のように直線で書かれることも多いですが、おそらく実際は講習会で使った PPT のように曲線になると思われます（PPT では少し誇張して書いております）。

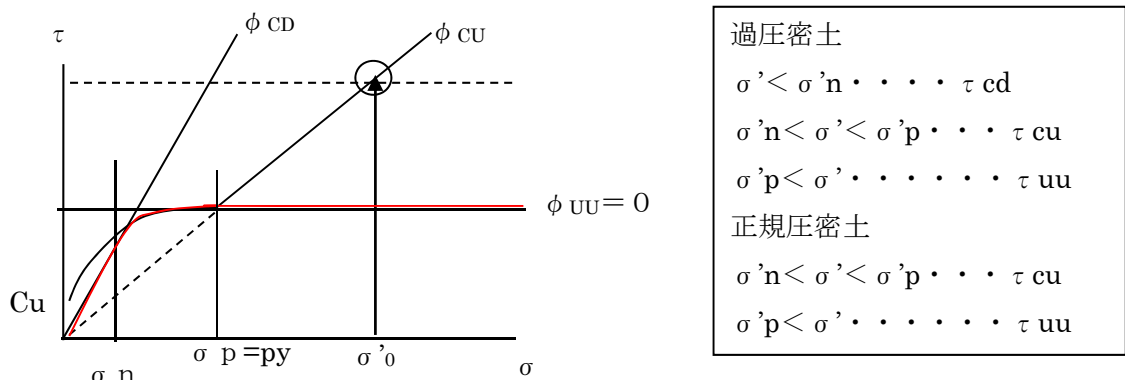


さて、本題の三軸試験の拘束圧の話です。講習会でもお話ししたように、基本的に粘性土の場合には、三軸試験は ϕ を求めるために実施することが目的ではなく、対象とする拘束圧（有効応力状態）における非排水せん断強さを求めることが本質的な目的です。例外的には、軟弱地盤の地盤改良などでは、改良後の非排水せん断強さを予測するために、 ϕ に相当する強度増加率を求めることもあります。したがって、実務で対象とする地盤の有効土かぶり圧をカバーするくらいの拘束圧の範囲で三軸試験を実施すればよいことになります。この範囲が非常に広く、過圧密領域から正規圧密領域までまたがるような地盤であれば、今回のご質問のような注意をする必要がでてきますが、おそらく例外的ではないかと思えます。要するに過圧密粘土であれば、見かけの c が発生するような結果になるし、正規圧密粘土であれば c が無いような結果となります。ただし、繰り返しになりますが、粘性土の場合には摩擦材料として c 、 ϕ を使用するというよりは、それぞれの原地盤応力状態における非排水せん断強さを予測することが主目的です。

Q2 : 特に締め固めた砂質土のCD試験では、必ず原点通過するのでしょうか（細粒土分が多いと試験結果ではcが出ますが、c = 0 通過原則として包絡線を書きφCDを決めるのでしょうか？

A2 : 砂質土であっても、先述のインターロッキングが作用するような密詰めであったり、あるいは塑性の高い細粒分を多く含む場合には、粘着力が発生することはあります。講演資料の図では原点を通る直線としておりますが、土質試験法では包絡線から粘着力 Cd を算出するように決められています。ただし、この粘着力は、CU試験で得られるような粘着力等と比較すると非常に小さいものであり、また、CD試験はCU試験のように非排水せん断強度を求めるための試験ではありませんので、気持ちの上では本来粘着力などを考慮すべき試験ではないと私は考えております。（そんな気持ちの表れが講演資料の図になってしまいました）

Q3 : 下図で、施工後の応力状態によって、最も小さくなるτを使うことと覚えたような気がしますが、以前から疑問があったのですが、σnはどうやって決まるのか？



こんな理解で良いのでしょうか？

硬質粘土の掘削のり面安定の問題は、三軸圧縮試験は、どのような試験条件で実施し、全応力で解析するのでしょうか？(CU試験で短期問題として応力低下を考慮して決めたせん断強度で全応力解析 or 長期問題として有効応力解析か)

A3 : 仮設構造物のように、素堀の状態が短い場合には短期安定問題として全応力解析して差し支えないと思います。すなわち、極端な場合には、一軸圧縮試験から求められる非排水せん断強さ (cu=qu/2) を用いれば良いのですが、三軸試験であればUU試験で良いと思います。過圧密領域であれば、CUとUUで求められる非排水せん断強度はあまり変わらないはずですが、CU試験を実施し、対象とする掘削地盤の応力状態とは異なる正規圧密領域まで含めてC,φを決めてしまったりすると、過圧密領域では逆に地盤の非排水せん断強さを過小評価してしまう可能性があります。それが安全側なので、実務上はOKであるとの見方もあります。そのため、ご質問のようにτを使い分けられているのだらうと思います。

また、長期安定問題を考えなければならない場合には、CD試験で得たc,φで考えることとなります。掘削問題の場合には、過圧密粘土となっていますので、吸水に伴い非排水せん断強度は時間と共に低下してゆきますので、安全率は最も小さくなります。ただし、すべり面の全域にわたって完全な排水条件（この場合は吸水条件）を達成することはむしろレアケースなので、常にCDの強度定数を用いることは、安全側ではありますが、経済設計の観点から言えば、過剰設計になっている可能性もあります。

Q: 河川堤防の安定解析で、 C_{cu} 、 ϕ_{cu} を用いた全応力解析を行うことが常であると聞きました。私は砂質土の場合、CD と思っていましたが、違うことが分かり“目から鱗”です。なにか、技術マニュアルのようなものにも記載されているのでしょうか。また、河川堤防の安定計算は、私は携わっていないのですが、当日質問された方との質疑応答では、試験で c があっても $c = 0$ として、低い ϕ で計算すると安全率が小さくなってしまう（場合によっては現状ですべるのか？）ようですが、その場合、どうしているのでしょうか？（そのまま σ_r 計算上での工夫や便宜を加える）

A: 河川堤防の安定性の検討は、基本的に「(財)国土技術研究センター：河川構造の構造検討の手引き、2002.」に則って実施されています。そこで、すべりに対する安定性の検討は、粘性土であれば UU 試験で、砂質土であれば CU 試験で得た強度定数を用いて円弧すべり計算をするように定められています。さらに、CU 試験の結果を用いるのに当たり、粘着力 c は見かけのものであるので、たとえ比較的大きな c であっても、解析では 0.1 tf/m^2 程度だけを見込んで計算するようにも示されています。したがって、細粒分を多く含むゆる詰めの砂質土などは、CU 試験を実施すると c が大きい反面、 ϕ が非常に小さくなります。そのような場合に、マニュアル通りに計算すると不適格と判定される堤防が頻発します。そもそも、無条件に c を無視して、小さい ϕ のみを用いて計算することが、安全率を過小評価してしまう最も大きな原因なのですが、実務では現場の技術者の判断でいろいろな対応がなされています。その最も多い対応方法が、砂質土はもともと透水性が高いので CD 試験の強度定数を用いても良いといういささか強引な判断です。

講習会中に何度か申し上げたように、斜面の安全率というのは、現在壊れていない状態の斜面が、どの程度の余裕度を持って存在しているのかを表す指標です。したがって、ある浸潤状態の堤防の安全率を考える場合には、その浸潤時の有効応力状態にある土の非排水せん断強度を用いることが全応力解析をする上で当然のこととなります。CD 試験の強度定数は、初期有効応力状態から、間隙水を絞り出した時の最大の強度定数を表しているもので、想定している浸潤状態での堤防土の非排水せん断強度を表すことにはなりません。このような現場の判断は、密詰め砂であればあまり問題はないのですが、ゆる詰め砂になると、CD 試験の ϕ と CU 試験の ϕ が、非常に大きく異なることがあるので、場合によっては CD 試験の強度定数を用いて安定計算をすることは、非常に危険側の評価をすることにつながり、注意しなければなりません。しかし残念なことに、この内容は、河川堤防の実務に携わる方々がみな正確に認識されているわけではありません。このあたりのお話は、7月の講習会で中部大学の杉井先生が説明されました、地盤工学会編「地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために－地盤工学からの提言－」の中にて、もう少し詳しく記述しております。もしよろしければ、ご参照下されば幸いです。

※本ページの A の上から 3 行目の「・・・、砂質土であれば CU 試験・・・」という部分が、2010/12/13 に読者にご指摘頂くまで、「・・・、砂質土であれば CD 試験・・・」と誤記したまま公開しておりました。深くお詫びしますとともに、ご指摘頂きました方に御礼申し上げます。

本書に関する問い合わせ先：

名城大学 理工学部 建設システム工学科 小高猛司

E-mail: kodaka@meijo-u.ac.jp