

Q&A

コーナー

緩い砂の内部摩擦角の推定法について

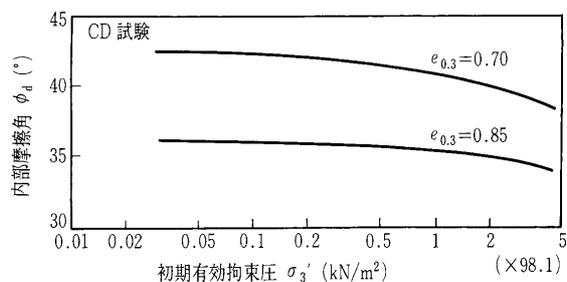


図-1 豊浦砂の ϕ_d の拘束圧依存性¹⁾

Q

砂質土の内部摩擦角は、一般的には CD 試験または N 値からの推定で求めます。しかし、 N 値 5 以下のルーズな砂質土では、CD 試験から求めた ϕ_d は過大になる傾向にあり、一方 N 値から求めた ϕ は不確かで、しかも過小になる傾向があるそうです。そこで、 N 値 5 以下のルーズな砂質土の内部摩擦角はどのように求めれば良いのでしょうか。

A

質問の内容が極めて高度であり、筆者がこれに答える力量があるかどうかはなはだ不安ですが、筆者の知る範囲でお答えしたいと思います。まず、質問の対象の土質を最初に定義しておきたいと思います。[N 値 5 以下のルーズな砂質土] の ϕ についての質問ですが、ルーズな砂質土の場合、細粒分を含んでいると ϕ (内部摩擦角) と c (粘着力) の二つの強度定数を持ち、細粒分が少ないと ϕ のみの強度定数を持ちます。質問には ϕ しかありませんので、細粒分が少なく ϕ のみのルーズな砂質土を、以下の回答の対象土質にします。

次に、質問を三つに分けてお答えしたいと思います。

(1) 「CD 試験から求めた ϕ_d は過大になる傾向にある」のはなぜか、(2) 「 N 値から求めた ϕ は不確かで、しかも過小になる傾向がある」のはなぜか、最後に(3) 「 N 値 5 以下のルーズな砂質土の内部摩擦角はどのように求めれば良いのか」

(1) 「CD 試験から求めた ϕ_d は過大になる傾向にある」のはなぜか。

「 N 値 5 以下のルーズな砂質土」の CD 試験から求めた ϕ_d が過大になるのは、どの ϕ_d に対して過大になるのか明確ではありませんが、原位置の砂質土における真実の値よりも過大になると解釈すると以下の二つの理由が考えられます。(a)原位置より不攪乱試料をサンプリングして室内で CD 試験を行う場合、不攪乱試料の品質が悪く試料が乱されていると、ルーズな砂質土の密度は増加する傾向にあります。よって、試料の乱れにより密度が増大し、CD 試験を行うとより大きな ϕ_d が得られます。

(b)対象としているルーズな砂質土の原位置での堆積深度が浅い場合、室内 CD 試験の有効拘束圧が極めて低いために実験誤差(特に軸荷重の測定誤差など)から ϕ_d が大きくなります。この 2 番目の理由についてはもう少し説明が必要だと思えます。砂の ϕ_d における拘束圧依存性については多くの研究がありますが、図-1¹⁾に示

すように拘束圧が低くなっても荷重計をセル内部に設置するなどの測定精度を上げれば ϕ_d はわずかしこ増加しません。しかし、三軸セルの外側に荷重計を設置しますと、軸荷重の測定精度が悪いため、 ϕ_d が急増する実験結果が多いようです。このように主に二つの理由で、ルーズな砂質土の ϕ_d を CD 試験で求めると真実の値よりも大きな ϕ_d が得られることがあります。

(2) 「 N 値から求めた ϕ は不確かで、しかも過小になる傾向がある」のはなぜか。

まず、「 N 値から求めた ϕ は不確か」であることから考えてみましょう。 N 値が 5 以下になるとルーズな砂質土ではロッドの重量の影響が大きいため、深度が増すほどロッドの重量が大きく N 値を過小評価する可能性があります。また、粘性土に比べると N 値が 5 以下の砂質土は良好な地盤とはいえませんので、同じ地点で複数回実施しても同じ結果は得られません。ルーズな砂質土の N 値がばらつくことは多くの標準貫入試験結果から明らかです。

次に、「 N 値から求めた ϕ は過小になる傾向がある」ということを考えてみましょう。地盤調査法の標準貫入試験の解説²⁾には N 値から ϕ を推定する表や式が多く示されています。これらの表や式の使用については、以下の注意が必要です。まず、 ϕ の過小評価ではありませんが、同じ相対密度の砂でも上載圧が増えるほど、測定 N 値が大きくなることです²⁾。よく使われる推定式に「建築基礎構造設計指針³⁾ (いわゆる大崎の式⁴⁾)」がありますが、次式のように上載圧の影響が入っていません。深い深度での測定 N 値は、拘束圧の影響で過大に測定されますので、拘束圧の影響を補正する必要があります。

$$\phi = \sqrt{20N + 15} \dots \dots \dots (1)$$

次に、Terzaghi & Peck は、相対密度とおおよそのせん断強度の関係を示しただけで、 N 値と c , ϕ の関係を示していません。森田⁵⁾が指摘するように、この点は一般に大分誤解されているようです。

また大崎の式は、直接せん断試験を実施して、推定ではなく初めて N 値と ϕ の関係を明らかにしました。砂質土には ϕ だけではなく c があることを大崎も指摘していますが、なぜか N 値と ϕ の関係(大崎の式)が一人歩きをしたようです⁵⁾。大崎の式は c を無視していますので、 ϕ をかなり小さく(安全側に)計算することになります。

このように、 N 値から ϕ を推定する式や表の使用に

Q & A コーナー

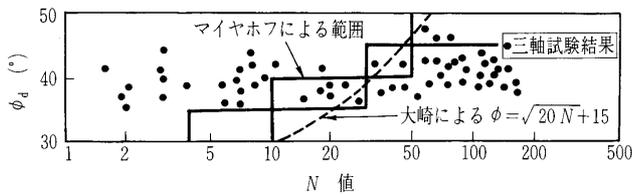


図-2 乱さない砂試料のCD試験による ϕ_d と N 値の関係⁷⁾

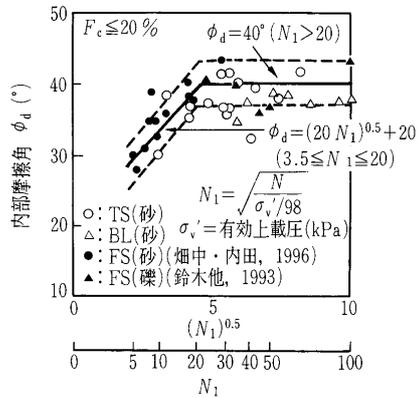


図-3 砂質・礫質地盤の ϕ_d - N_1 値関係⁸⁾

については注意が必要ですが、西垣⁶⁾や田中⁷⁾は、乱さない砂試料から室内試験を実施して ϕ を求め、 N 値と直接比較しています。図-2⁷⁾に示すように、 N 値と ϕ_d の間にはなんら相関関係はなく、 N 値によらずほぼ一定の ϕ_d が得られています。西垣⁶⁾の研究も同様です。この場合の ϕ_d は、(1)で述べたように ϕ_d を過大評価している可能性もありますが、大崎の式に示すような関係は認められません。 N 値は ϕ ではなく、その地盤深度での非排水せん断強度を示す⁶⁾という指摘もあります。しかし、畑中ら⁸⁾は図-3に示すように、原位置地盤凍結サンプリング方法による品質の高い不攪乱試料を用いて ϕ_d と N 値の関係を詳細に調べ、上載圧の影響を考慮した式を示しています。凍結サンプリング方法を用いて信頼性の高い不攪乱砂の ϕ_d と N 値の関係を示したわけです。 N 値と ϕ の間に相関関係があるかどうかはこのように意見が分かれるところですが、品質の高い不攪乱試料による実験をもっと蓄積しないと本当のところは分からないようです。

蛇足ですが、 N 値と ϕ の関係を考える上でもう一つ重要なことが、地盤掘削に伴う緩みによる剛性低下から N 値が減少することです⁵⁾。この掘削の場合、上載圧も減じますので、緩みによる剛性低下による N 値の減少と上載圧の減少による N 値の低下を現在の研究レベルでは分けることができません。掘削の場合、掘削以前の土質調査で得られた N 値を用いると過大評価の可能性がありま。地盤の緩みと上載圧の影響を考慮した N 値を用いなければならないのですが、緩みによる剛性低下についてはほとんど研究されていません。

(3) 「 N 値5以下のルーズな砂質土の内部摩擦角はどのように求めれば良いのか」

やっと本題の質問に対する回答なのですが、これまで

説明しましたように、ルーズな砂質土の ϕ を N 値から正確に求めることは極めて困難で経験を要することが分かっていただけたと思います。一方、室内試験では品質の高い供試体さえあれば、その供試体の ϕ_d を低拘束圧でも正確に求めることができます。よって品質の高い不攪乱試料を採取することができれば、室内CD試験により正確に ϕ_d , c_d を求めることができるというのが答です。しかし、地盤凍結サンプリング方法は、まだチューブサンプリング方法に比べると一般に普及していませんので、実務レベルでCD試験から ϕ_d を求める方法は困難であることが現状です。そこで、やはり原位置試験から ϕ を推定することが必要なわけですが、 N 値から ϕ を推定するには、前述しましたようにいろいろな注意が必要です。機械的に推定式を用いることは危険で一杯です。しかし、ある程度経験があれば N 値から ϕ を推定することは可能だと思います。

次に N 値以外の方法ですが、コーン貫入試験、ペーンせん断試験、ダイラトメーター、PS検層などがあります。誌面の都合で詳しい説明はできませんが、「 N 値に変わる調査法⁹⁾」という題目で報告されていますので参考にしてください。

地盤の強度定数は、各種設計法や有限要素法などに必ず必要な物性値の一つです。 N 値万能の設計体系が確立していますので、ただ機械的に推定式を用いて N 値から c や ϕ を求めることが実に多く行われています。このようにして求めた ϕ を使って基礎を設計すると、説明しましたように ϕ を過小評価して極端に安全側の設計になる場合があります。今後は、簡便な不攪乱試料採取技術、および N 値に代わる新しい原位置調査法の開発などが必要ですが、地味な研究分野なので進歩が遅いのが現状です。地盤の物性評価という根本にかかわることですので、若い人を含め今後この分野の研究のさらなる発展を切望します。

参考文献

- 1) Fukushima, S. and Tatsuoka, F.: Strength and deformation characteristics of saturated sand at extremely low pressures, Soils and Foundations, Vol. 24, No. 4, pp. 30~48, 1984.
- 2) 地盤調査法：標準貫入試験, pp. 198~207, 1995.
- 3) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針, 1988.
- 4) 大崎順彦：東京地盤図, 技報堂, pp. 18~19, 1959.
- 5) 森田悠紀雄：強度定数 N 値による評価について, Q & A コーナー, 土と基礎, Vol. 45, No. 10, pp. 35~37, 1997.
- 6) 西垣好彦：砂地盤における N 値, サウンディングシンポジウム発表論文集, pp. 109~114, 1980.
- 7) 田中洋行：港湾構造物の設計における N 値の考え方と利用例, 基礎工, 総合土木研究所, Vol. 18, No. 3, pp. 77~82, 1990.
- 8) 畑中宗憲・内田明彦・加倉井正昭・青木雅路：砂質地盤の内部摩擦角 ϕ_d と標準貫入試験の N 値の関係についての一考察, 日本建築学会構造系論文集, 第506号, pp. 125~129, 1998.
- 9) 地盤工学会： N 値と c ・ ϕ の活用法, 1998.

(回答者：後藤 聡 山梨大学工学部土木環境工学科)