

Q&A コナ

強度定数 N 値による 評価について

Q

土のせん断強度は、拘束圧が大きくなるほど大きくなると文献にあります。掘削による法面などの地耐力を計算するときの c, ϕ は N 値から換算したものを使用しても大丈夫なのでしょうか。

A

1. はじめに

文面からして、質問の主旨は『掘削によって拘束圧が低下して測定 N 値が小さくなっても、設計用の地盤せん断定数の c, ϕ は掘削前の測定 N 値から求めて良いか』と理解して回答をします。

多くの問題点を含む質問であり、明快な結論を述べる力量を筆者は持ち合わせませんが、現場技術者の1人として大胆に私見の結論を述べると、『あまりにも危険であるから、それはやめた方がよい』となります。

地盤を掘削するときの法面の安定問題は、極めてデリケートな問題であり、正面からこれに取り組もうとすると、『元の地山の c, ϕ がいくらであるか』を推定する方法からして、大きい壁となります。ただ単に十分に安全サイドの設計をして工事を行う場合（多くはこの手法）は別ですが。

我が国では、ボーリング地盤調査の基本が標準貫入試

験となっている風潮があり、その測定 N 値が多くあることから、地盤定数をなんでも N 値から推定する方法が多用されており、多くの各種基準類でも、それが紹介されています。もちろん、標準貫入試験には多くの利用価値はありますが、現に多用されているほどオールマイティーではないことを心すべきであると筆者は考えます。

いわゆる“標準貫入試験”を世に広く普及させるきっかけとなった Terzaghi & Peck（テルツァーギとベック）の著書¹⁾では、測定 N 値と地盤のおおよその相対密度の関係を示していますが、この測定 N 値は土の粒度構成によって大きく変化することを指摘しています。

さらに筆者が指摘しておきたいことは、我が国の多くの参考図書にて参考文献としてあげられている（ N 値 $\sim c, \phi$ ）の関係を Terzaghi & Peck¹⁾ はなんら言及しておらず、 N 値とは別に、相対密度とおおよそのせん断強度の関係を示しているにすぎません。

同様の指摘は Dunham（ダンハム）²⁾ あるいは Meyerhof（マイヤホッフ）³⁾ の文献についても言えます。これらの文献でも、（ N 値 $\sim c, \phi$ ）の関係を測定した記述はありません。

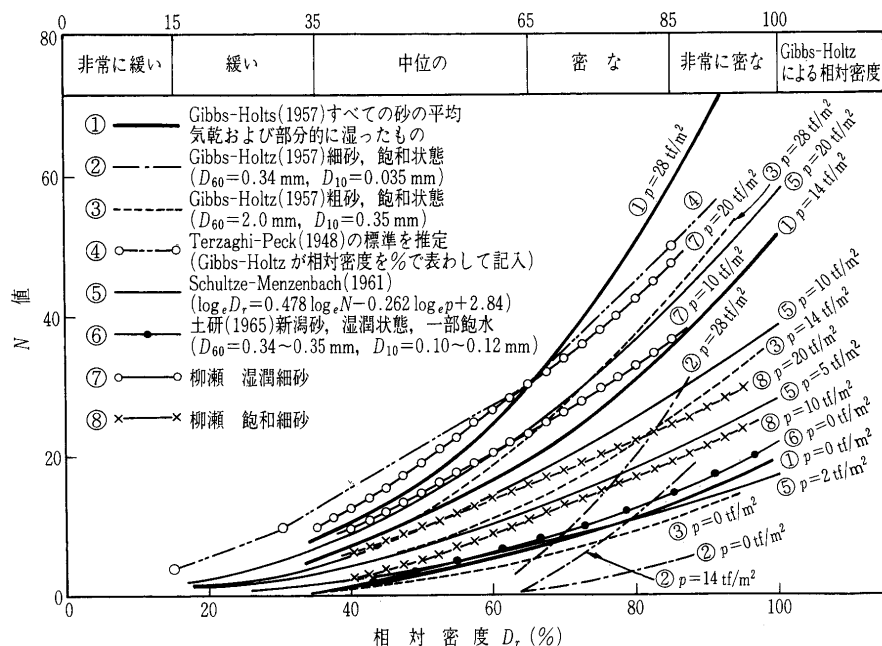
我が国の N 値への過信に対する警告は多くの図書にあり、例えば藤田⁴⁾、西垣⁵⁾、沓沢ら⁶⁾などは、 N 値の利用限界について解説しています。

筆者が質問者に考えて欲しい主な事項は、次の3項目であり、それぞれに関する問題点を以下に述べます。

2. 測定 N 値に及ぼす拘束圧の影響

土槽試験の結果から、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が分かっており、藤田⁴⁾は図—1をまとめています。この影響については道路橋示方書⁷⁾における測定 N 値から繰返し三軸強度比を推定する式などに取り入れられています。

このように拘束圧の影響が基準類に取り入れられてい



図—1 N 値と砂の相対密度との関係⁴⁾

Q & A コーナー

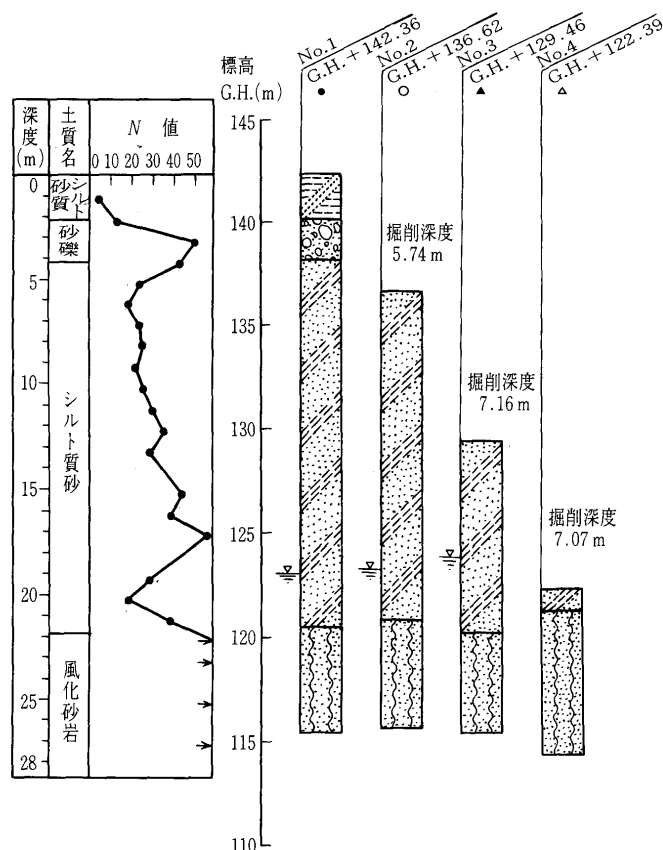


図-2 N 値変化など測定地盤土層図⁸⁾

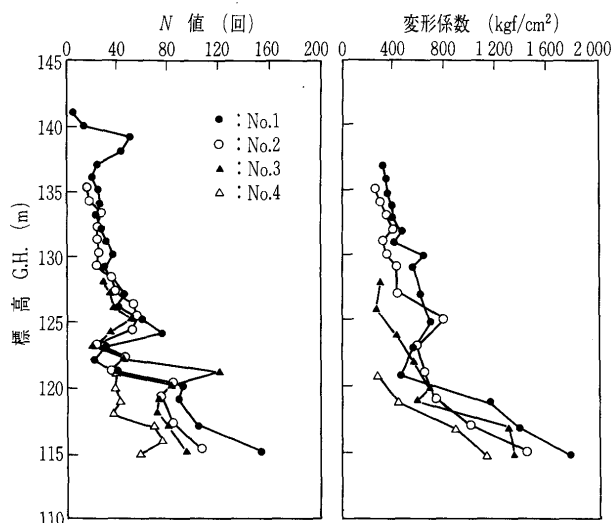


図-3 掘削に伴う測定 N 値および変形係数の変化⁸⁾

るのは、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るため、安全サイドに小さく評価して設計すべきである、との考えによるものでしょう。

確かに現場での測定値でも、青柳ら⁸⁾が図-2 の石川県の不飽和砂質地盤で測定した結果では図-3 を得ており、掘削によって上載圧を減じていくと測定 N 値は減少する傾向が現れています。しかし、だからと言って、この N 値の低下は拘束圧の低減によるもので、土のせん断強度は変化していない、と考えることはいかなもののでしょうか。

青柳らは N 値のほか孔内水平載荷試験によって変形係数を測定して、変形係数も N 値と同様に減少して

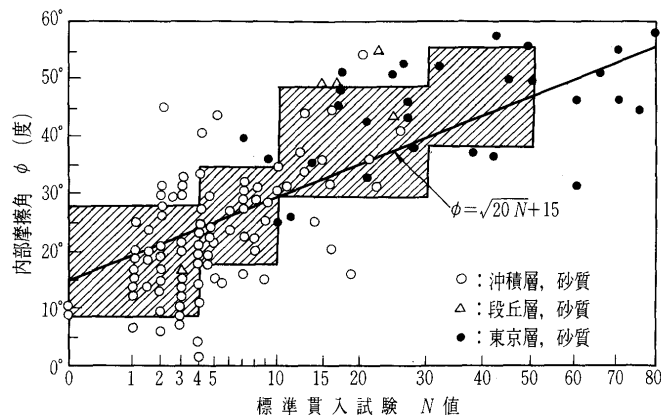


図-4 砂質地盤に対する N 値と内部摩擦角の関係¹⁰⁾

いく結果を得ています (図-3)。

有泉⁹⁾は同様の現場測定を東京新宿の掘削現場で実施しており、土の種類によって変形係数の減少傾向が異なることを指摘しています。

変形係数の減少は、地盤の剛性が低下していることを示すものであります。剛性の低下がせん断強度の低下に直結はしませんが、少なくとも、せん断強度が低下していないとは言えないでしょう。

3. 拘束圧の低下に起因する地盤の緩み

地盤を掘削して拘束圧が低下しますと、その底面地盤は緩みが生じます。この現象は密に締まった砂礫層や軟岩でも発生しますので、大規模に基礎地盤の掘削を行った直接基礎構造物では、構造物の建設初期に、この緩みを戻す大きい沈下の発生することが知られています。

この緩みは、当然のことながら掘削箇所の周辺地盤においても、水平方向の拘束圧低下によって発生します。

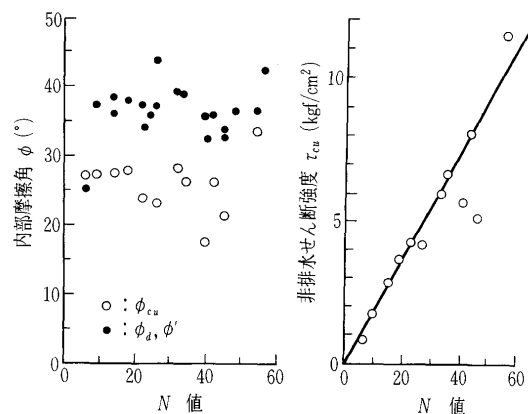
しかし、この緩みに起因するせん断強度の低下を定量的に予測することは極めて困難な問題です。例えば、掘削法勾配や土留め壁の剛性 (連続壁や鋼矢板など) によっても異なります。

有限要素法解析などを実施すれば、地盤の剛性低下をある程度の精度で予測することが可能となる場合もありますが、せん断強度の低下を予測することは、現状では困難であると筆者は思います。問題の起こりそうな現場では、十分に安全サイドの設計を行うか、地盤の挙動を計測管理して、その都度対処をするしかないでしょう。

4. N 値から c, φ を推定すること

先にも述べましたように、N 値から c, φ を推定することには、多くの問題があります。

式 ($\phi = \sqrt{20N} + 15$) を示した大崎¹⁰⁾の図-4 は、直接せん断試験を数多く実施して N 値と c, φ の関係を得ていますが、大崎は砂質土にも内部摩擦角 φ だけではなく、粘着力 c のあることを指摘しています。しかし、なぜか (N 値 ~ φ) の関係だけが一人歩きをしたようです。図-4 を見て筆者は、N=1~5 の範囲に多くのデータがあり、それが相関式を下方方向に引きづっているように思えます。N=1~5 の砂質土層は、細粒分を多く



図—5 N 値と ϕ および N 値と τ_{cu} ¹²⁾

含んだ層であると推測され、そこでは粘着力が大きいはずです。

結論として、大崎の提案式を用いて小さい測定 N 値からせん断特性の内部摩擦角を推定する場合には、粘着力を加味しなければ、あまりにも安全側の地盤定数を推定することになります。

道路橋示方書¹¹⁾が示す相関式 ($\phi = \sqrt{15N} + 15$) は『設計上の配慮から下限値を与える』と明記されておりますので、実態とは異なると考えてよいでしょう。

西垣¹²⁾や田中¹³⁾は、 N 値と内部摩擦角には相関関係のないことを示しており、西垣¹²⁾は図—5 を示して、 N 値は地盤の非排水せん断強度を測定する原位置試験であるとしています。

5. おわりに

質問は、我が国の「地盤工学」へ向けた重要な警告状であります。コンピューターの発達によって数値解析技術は格段に発展し、また、室内試験も一段と高度化してきました。しかし、現場が日常的に遭遇するテーマを解析する際に必要な地盤定数の決め方は、ここ30年来、一向に進歩しておらず、一部に高度な原位置試験を行って地盤定数を詳細に測定する試みはなされていますが普及する気配はなく、『地盤定数は十分に安全側の値を用

いて設計しておく』ことでお茶を濁してきました。

N 値の利用評価も、ようやく少し変わりつつあります。限られた財源を公共施設の建設や保全に有効に生かすためには、地盤定数は真値を求めることに努め、安全率を多重に見込むことなく、どこに安全率(不確定要素)を加味しておくかを明確にして、設計施工を行う時代がきているように思えます。

参 考 文 献

- 1) Terzaghi, K. & Peck, R. B.: Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley & Sons, 1948.
- 2) Dunham, J. W.: Pile Foundations for Buildings, Proc. ASCE, Soil Mechanics & Foundations Division, Vol. 80, No. 385, 1954.
- 3) Meyerhof, G. G.: Penetration Test and Bearing Capacity of Cohesionless Soils, Proc. ASCE, Journal of the Soil Mechanics & Foundations Division, Vol. 82, No. SM 1, 1956.
- 4) 藤田圭一：標準貫入試験，土質調査試験結果の解釈と適用例，第2章，土質工学会，1968.
- 5) 西垣好彦： N 値の解釈と適用， N 値および c ・ ϕ —考え方と利用法—，第3章，土質工学会，1992.
- 6) 杏沢貞雄・森田悠紀雄：講座「基礎設計における基準の背景と使い方 (2.設計基準と地盤定数)」，土と基礎，Vol. 39, No. 12, 1991.
- 7) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V 耐震設計編，pp. 94～95, 1996.
- 8) 青柳隆之ほか：硬質地盤の変形特性の調査研究 (その2 変形特性の現位置試験)，第27回土質工学研究発表会，pp. 1789～1790, 1992.
- 9) 有泉浩蔵ほか：硬質地盤の変形特性の調査研究 (その3 変形特性の現位置試験—2)，第28回土質工学研究発表会，pp. 1989～1992, 1993.
- 10) 大崎順彦：東京地盤図，技報堂，pp. 18～19, 1959.
- 11) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，IV 下部構造編，pp. 235～237, 1996.
- 12) 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.
- 13) 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, 1990.

回答者：森田悠紀雄 基礎地盤コンサルタンツ(株)事業本部

(原稿受理 1997.4.22)