

# 地質調査での目の付けどころ

—第3回 調査・試験の結果と地盤定数の推定について—

ソイルアンドロックエンジニアリング株式会社

前技術委員長 新田 洋一



## はじめに

令和元年も多くの自然災害が発生しました。年号と自然現象は関係ありませんが、特に「経験したことの無い・・・」が多く聞かれました。土砂災害の規模や発生頻度がだんだんと多くなっているのか、報道の量や質が違ってきているのでしょうか。地球温暖化の具体的現象でしょうか。地質調査に従事する者として、土砂災害のニュースには耳が傾きます。これまで経験した土砂災害への教訓をもっと生かせたらな、と思います。

本シリーズでは、若手の技術者を対象に一般的な地質調査業務の仕事として、前前号では柱状図の作成、前号では断面図の作成について、教科書には書かれていないような事を紹介してきました。地質調査業務の大部分が柱状図と断面図の作成なのですが、業務の設計書や仕様書に「地質解析」や「コンサルタント的な報文作成」、「数値解析業務」などが要求されている場合があります。今回は斟酌的な「考察」ではなく、技術的責任が求められる仕事の中で、地盤定数（設計定数）の推定について考えてみたいと思います。

全ての定数についてまとめるのは紙面の関係で難しいので、ここでは良く利用されている一軸圧縮試験を中心にして、どこに目を付けて仕事をすれば良いのか紹介します。

## 1. デジタル時代のアナログ仕事

私たちの仕事は、社会インフラの整備や保守に必要な地質に関する情報を得て、何らかの形にして報告、提供などを行います。その形は地質情報を数値データ（あるいは記号データ）として地質や地層別にまとめる事が殆どです。

N値は現場から数値として上がってきます。設計に当たっては相関式（経験的変換式）を通して利用しています。ただ、柱状図には「相対密度」や「相対稠度」として、N値の大小範囲をわざわざ文章表現（中位とか緩いとか）に直して記入する項目があります。これって必要なの、と思った人はいませんか。どうなのでしょう、コアやSPT試料の観察では直接判断できない表現方法ですが・・・。

土質試験を見てみましょう。試験結果は数値か記号として出力されます。ボーリングコアなどの試料を手（指）で観察しているときはいろいろな事を考えて、土質名を決めています。土質試験の結果を手にしたとき、無条件に数値が歩き始めませんか。

柱状図や断面図を作成する時、手（指）の感覚は何処かに行ってしまう、土質試験結果の数値を何の疑問もなく設計へと反映させる事はありませんか。デジタル的なものを見るとあまり考えなく受け止めてしまい、アナログ的だとその状況を取巻く広い範囲のイメージの中から目的とするものを認識しようとするところがあるのかな、と思います。相対密度や相対稠度と言う表現の中から、対象とする設計構造物に求められる特徴や要件、施工条件などを勘案して地質データを次の工程へと引継いでいく事も技術的責任の一つの大事な点かな、とも思います。

設計や施工に当たって、地質的あるいは地下水などが有する問題点を文章として提起しますが、地盤（地層）をモデル化、数値化して次工程へ引継ぐ事を求められることがあります。

地盤定数は厄介なことに絶対的、普遍的なものではなく、例えば次のような条件で異なる値が求められる事があります。

- ・設計や施工の目的、内容、条件
- ・発注管理機関に定められる基準、規格

同じ地盤でも場面によって地盤定数の推定の方法や結果が異なる事があると言う事です。実務の仕事ではこの判断も技術力と言うことになるのでしょうか。

## 2. 地盤定数を推定する時のちょっとした問題点

一般的に構造物の支持地盤（支持層）の把握を主目的とした業務ではボーリングと標準貫入試験を行います。規模にもよりますが耐震設計が求められる場合にはP S検層や液化化試験なども行います。地盤の水平抵抗力が問題となる場合は孔内水平載荷試験、軟弱地盤としての挙動が問題となる場合は圧密試験、一軸・三軸圧縮試験などを行います。

このように地質調査はその目的により手法や範囲、数量が変わります。地盤の数値解析に必要な地盤定数を求める場合、簡易手法か詳細かによっても変わります。

例えば近接施工の設計において、厳しい管理基準値が求められるようなFEM解析を行う場合に、N値だけで地盤定数を推定して計算を行うような事は問題があると思います。地盤定数の推定で難しい点の一つを上げると、歪に関するものでは無いかと思います。

軟弱粘土の一軸圧縮試験を考えてみます。私が調査の仕事に就いた頃はリング歪計で応力を測定していました（今はロードセル主流）。圧縮力は手でハンドルを回しながら掛けていました。軟弱な粘土なので、圧力を掛けると供試体に歪が発生し力が抜けたりします。もたもたするとリング歪計のダイヤルゲージは少し戻ったりします。きれいな「応力歪曲線」を描くのもちょっとコツが必要でした。

地盤定数の粘着力Cを推定するために、ピーク強度時の1/2に当たる応力（ $C = qu/2$ ）を求めます。この時、歪の大きな試料の場合が特に問題です。高有機質や乱れている場合などです。例えばピーク強度時の歪が10%や15%の試験結果が得られた時、あなたは1/2でCを算出して報告しますか。実際の地盤に歪が10%も発生して安定しているのでしょうか。と言うことを考えた事はありますか。

また、ピーク強度に対する歪の1/2までの応力歪曲線の勾配で弾性係数 $E_{50}$ を推定します。歪の大きい試料の場合は勾配が直線にならず、やや弧を描いた状態や、さらに1/2以上の歪領域では勾配が緩い状態になっていると思います。

弾性係数（軟弱粘土の場合変形係数と言うこともある）は「歪の大きさによって変化する」と言う事？

弾性係数は単位歪を発生させるために必要な応力です。軟弱粘土地盤では歪が大きくなると弾性係数は小さくなっていく性質をもつようです。

応力と歪に関する数値解析では、歪領域によって弾性係数を変化させて入力する事があります（バイリニアと言います）。

一軸圧縮試験から粘土（層）の粘着力Cを求める場合、ここに紹介した以外にもいろいろな問題点もあります。弾性係数の推定でも設計施工条件などを考えておく必要があるという事です。

ほんの一例を書きましたが、厳しい条件での設計や数値解析に当たって地盤定数を推定する場合、調査や試験の性質や適用条件を理解してその方法を選択し、結果を整理する必要があります。

N値だけで設計できる場合もあれば、幾つかの原位置試験、室内試験によって判断しなければならない事もあるという事です。

設計や数値解析の手法や基準に対して、地質調査の結果から地盤定数を推定する場合に注意着目しなければならない代表的な一例として以下のような事が上げられます。

- ・排水条件
- ・掘削（応力解放）、載荷（圧縮）
- ・施工速度（急速、緩速）
- ・その他いろいろ

### 3. 一軸圧縮試験と円弧すべりは仲良し組

地盤定数の一つ、粘着力Cを推定する場合に多く用いられている「一軸圧縮試験」と地盤の数値解析で良く知られている「円弧すべり」について見てみます。細かいことは専門の教科書を読んでください。試験そのものは新入社員でも知っているという前提です。一軸圧縮試験は図.1に示したように、円柱形供試体（円形断面積A）に圧縮力（P）を垂直に作用させて行う試験です。

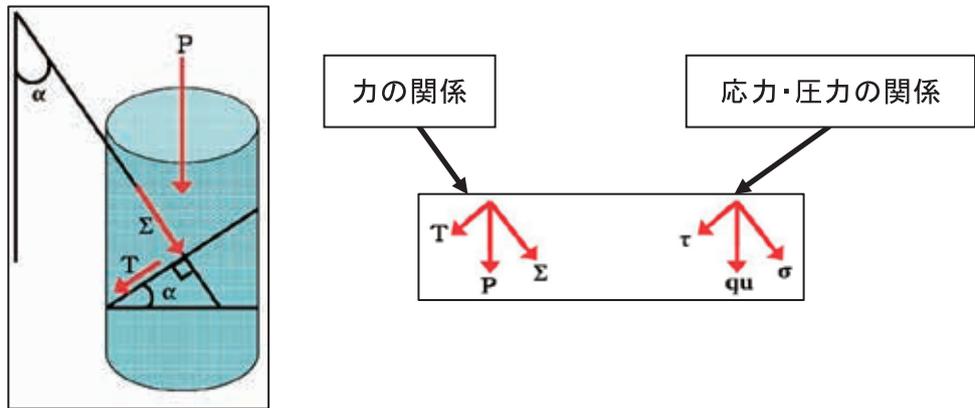


図.1 一軸圧縮試験の力と応力・圧力の関係イメージ図

試験で計測できて分かるものはAとPです。残りの全ては推測です。一軸圧縮強さは  $qu = P/A$  で求めます。更に、粘着力Cを求める理屈は次の図です。

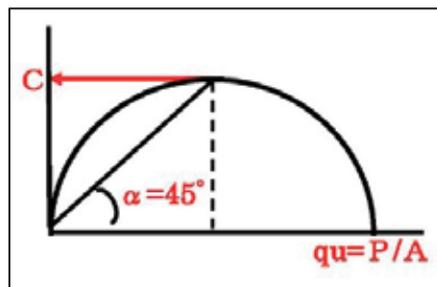


図.2 一軸圧縮強さから粘着力Cを求める概念図

$\alpha$  を  $45^\circ$  と仮定してCが求められるという事です。  $45^\circ$  とはCの最大値です。設計に対しては過大な地盤定数を与えてしまう危険側、という言い方もできます。これに対して良く言われる事として、サンプリング時の機械的乱れの影響、応力解放、などなどによって相殺されると言った文言や、最終的に安全率を考慮するので、「まっ、よしとしますか」で落ち着いているようです。

ここで図.1の一軸圧縮試験結果から粘着力Cを求める理屈を整理しておきます。

Tの面積A'を考えてみる:  $A' = \pi ab$ ,  $a=r$ ,  $b=r/\cos \alpha$

$$A' = \pi r^2 / \cos \alpha = A / \cos \alpha$$

$\Sigma$ の力はTの面積にかかっているから、 $\sigma = \Sigma / A'$   
 Aを用いると、 $\Sigma = P \cdot \cos \alpha$   
 すなわち、 $\sigma = P \cdot \cos \alpha / A' = P \cdot \cos \alpha^2 / A = qu \cdot \cos \alpha^2$

ここで、 $\alpha = 45^\circ$  とすると、 $\sigma = qu \times (\cos 45^\circ)^2 = 0.5 \cdot qu = qu/2$

同様に  $\Sigma$  の面積を考えると、 $\tau = qu \times \sin \alpha \cdot \cos \alpha = 0.5 \cdot qu = qu/2$

$\alpha = 0^\circ$  の時  $\sigma = qu$ ,  $\tau = 0$  であり、 $\alpha = 90^\circ$  の時  $\sigma = 0$ ,  $\tau = qu$

※実は  $\alpha$  は結構重要な意味を持っているものなのでしょう。

次に円弧すべり計算について見てみよう。図.3に円弧すべりの単純なモデルを示しました。

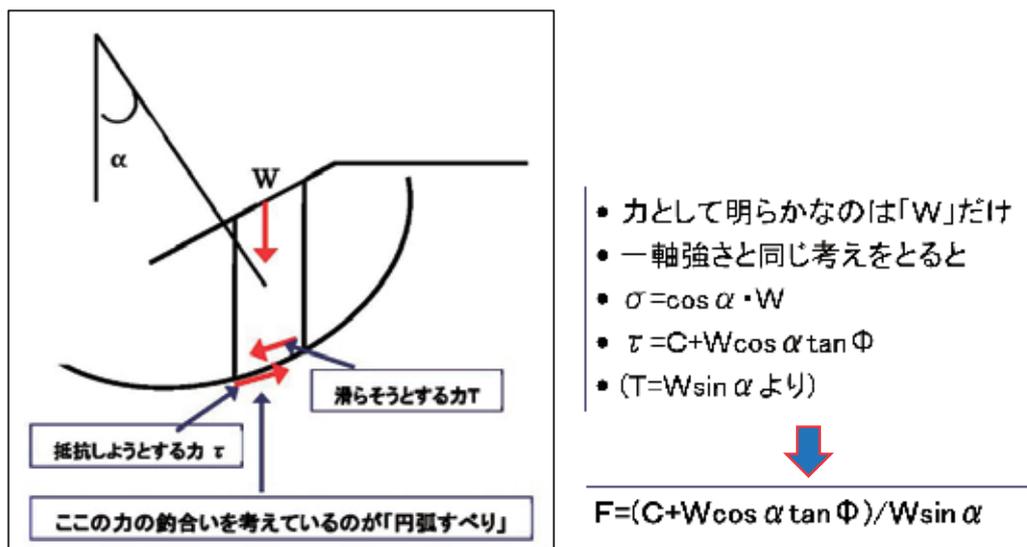


図.3 円弧すべり計算の断面図イメージ

何となくですが、一軸圧縮試験と円弧すべりは絵面が似ているな、と思いませんか。この2つ、実は仲良しなのでしょう。お互いに良く分からない部分はあるけれど、一緒にいるとそれなりの結果が出る関係になっているようです。

調査・試験と数値解析、設計手法との間には「相性」と言うようなものがあるのかもしれない。相性は大事なものかと思います。前記したように地盤定数は何らかの経験則による推定で求めるものが殆どです。相関式はデータの集団の中からお行儀のよいデータを選んでいきます。ちょっと横道に外れたデータは無かったかのような扱いです。

たまには、「相関式のやや上限値を採用」や、「下限値を採用」、などの提案をした方がよい場面もあるかもしれません。相性が良くなる事を意識して、設計や解析に必要な地盤定数を推定するのも一つの手かなと思います。

## おわりに

地質調査業は、技術情報を商品とする知的サービス産業と言われています。本シリーズ第1回目で柱状図や断面図の作成をAI化できるようになるかも、と書きました。もしかして単純な、またはマニュアルに沿った報告書ならAI化が容易な気がします。

ただ、この分野におけるAI化に関するB/Cや需要などは大きくは無さそうですが。知的サービスと言いながら、「標準貫入試験は $C = N/16$ 式でCを求めるための試験です」、ではAI化も必要ないかもしれません。

地質調査のプロを目指して仕事をしている若手技術者の皆さん、理論的裏付けや科学的、数学的理屈を知ることは大事です。その上で実務としてインフラ整備や防災、減災にどのように応用し、反映させられるかを考え、提供していく事が仕事です。

地質調査のいろいろなアイテムやメニューを良く理解して、適用条件や範囲等を学び、何がファクトで何が推定かを分けられる力を身に付けてください。

教訓は、「強引なアプローチは嫌われるよ、設計や解析の好みを良く確かめてから地盤定数をプレゼントしよう」です。