

地盤調査から見た地盤工学と基礎構造物のかかわり

Some Aspects on Geotechnical Investigation for Foundation Engineering

岩 崎 公 俊 (いわさき きみとし)

基礎地盤コンサルタンツ㈱ 営業本部長

1. はじめに

地盤は人工的なものを除けば大自然の産物である。そのことを意識すると、限られた数のデータから設計のための地盤モデルを決定することは決して容易ではない。そのため、多かれ少なかれ地盤に関する不確実性を残しており、工事に際して地盤に関する多くのリスクを有することになる。言い換えれば、得られたデータから単純に機械的な操作で地盤物性値を決定し設計が行えるというしろものではない。

本稿は、地盤工学コンサルタント会社に長く従事してきたものの立場から見て、基礎構造物の地盤調査にこれから取組もうとする技術者や調査結果を利用する関係者を念頭におき、特に留意していただきたい事項について述べたものである。

2. 地質的背景や経験の重要性

赤木¹⁾によれば、近代地盤工学の父といえる Terzaghi (テルツァーギ) の弟子で彼の意味を継いだ Peck (ペック) は、地盤工学を専門とする技術者には、以下の3条件が必要であるとしている。

- ① 先例に通じていること
- ② 土質力学をよく理解していること
- ③ 役に立つ地質学の知識を持っていること

特に③に関して、「現場の地質を理解していなければ我々の計算や予想に含まれる誤差を正当に評価することはできない。実際、地質構造や地質学的成因の結果が、土質力学的考察より優先する場合も少なくないのである。例えば、残積土の中で掘削を行う場合、地盤内に残存している節理の性質や方向が掘削面の安定を決めるのであって、節理間の土の性質には全く関係しないし、均一地盤と仮定する理論計算の結果とは全く異なるものとなる。」¹⁾と述べている。

また、①に関して、赤木¹⁾は次のように述べている。ただし、原著の土質工学という表現を地盤工学に置き換えている。『地盤工学の巨匠達は「地盤工学は術 (art) である」と口をそろえて言う。この術は理論と理論的な考え方を勉強した後、豊富な経験が知識の空隙を満たし昇華して、初めて体得できる熟練のわざのことである。複雑怪奇な大自然の産物と現象とを相手とする地盤工学において、誰がやっても同じ答えが出てくる科学的手法によって、すべてが解決するようになると考えるとすれ

ば、それは母なる大地に対する人間のおごりというものではなかろうか。地盤工学の分野においても確かに、現代科学は強力な手段を提供してくれる。しかしそれは術の奥義を一層深める道具とはなっても、術にとって代わることができるものではない。最終的な結論は、極めて人間臭い術によって判断すべきものとして残るのである。』

以上は現時点においても価値のある指摘である。実務においては、地盤工学は地質学の助けをもって初めて役に立つ理論であると考えべきであり、それに経験が加わって初めて専門家としての領域に達すると認識していただきたい。

3. 既往データの活用

設計のための地盤を調べるうえで、近傍における既往の調査結果は極めて有用であり、ぜひ活用していただきたい。従来は地盤図など書籍の形で提供されてきたが、最近では表一1に示すようにウェブ上で公開される地盤情報データベースが整備されてきている。各々のシステム名でネット検索すればそのサイトを容易に探し出すことができる。これらの多くは地図上で検索することが可能であり、ボーリング柱状図のみならず土質試験結果も閲覧可能なシステムもある。中には、データを標準的なフォーマットでダウンロードできるものもあるため、新たに調査して得られたデータと併せて表示し比較・分析することも可能である。

従来の地盤図や地形・地質など関連情報も非常に有益である。地盤図関連の情報については文献²⁾に整理されている。また地形地質情報については、国土地理院や産業総合研究所などの公的研究機関のホームページから有益な情報が多く得られる。

なお、既往の地盤情報を活用することは、地盤調査会社の仕事を減らすという危惧は以前から語られてきたことであるが、業界内の常識はかなり変わってきている。つまり、ジャストポイントの情報があることはまれであり、既往データの信頼性や経年変化も考慮しなければならない。むしろ積極的に周辺データを活用し、調査結果の妥当性の検証や対象地盤全体の構成の精度向上に役立てるという考え方になっている。さらに、防災など社会的な要求に応えるために既往データを活用した新ビジネスへの期待も高まっている³⁾。

表一 公開されている地盤情報データベースの例

提供者	システム名称
国土交通省	Kunijiban
防災科研等	ジオステーション
地盤工学会	全国電子地盤図
地盤工学会北海道支部	北海道地盤情報データベース
みちのく GIDAS 運営協議会	みちのく GIDAS
地盤工学会関東支部	関東の地盤 (CD)
群馬県建設技術センター	群馬県ボーリング Map
栃木県県土整備部	とちぎの地盤マップ
千葉県環境生活部	地質環境インフォメーションバンク
埼玉県	e (エ) ~コバトン環境マップ
東京都土木技術センター	東京の地盤
新宿区	新宿区地盤情報閲覧システム
神奈川県都市整備技術センター	かながわ地質情報 MAP
横浜市	横浜市環境地図情報
北陸地盤情報活用協議会	ほくりく地盤情報システム
関西圏地盤情報活用協議会	関西圏地盤情報データベース
鈴鹿市	鈴鹿市・地理情報サイト
神戸市地盤調査検討委員会	神戸 JIBANKUN
島根土質技術研究センター	しまね地盤情報配信サービス
岡山県地質情報活用協議会	岡山県地盤情報
四国地盤情報活用協議会	四国地盤情報データベース (CD)
高知市	高知市域地盤災害関連情報
地盤工学会九州支部	九州地盤情報データベース (CD)

(注) (CD) は CD-ROM による提供

4. サウンディングの効用

4.1 たかが N 値されど N 値

言うまでもないことであるが、我が国の地盤調査実務において標準貫入試験が欠かせない存在になっており、その功績は計り知れないほど大きなものである。標準貫入試験の利点を改めて振り返ると以下のようなことになる。

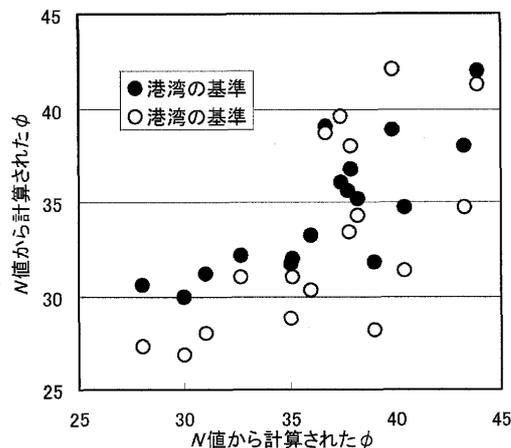
- ① 適用地盤が広く、岩盤や礫質土を除くあらゆる地盤に適用可能である。
- ② 砂の内部摩擦角など多くの設計用物性値の推定方法が定着している。

なお最近では、 N 値が拘束圧に依存するため、有効上載圧によって補正した N 値が用いられるようになってきている。

一方 N 値には、オペレーターの個人差が入りやすい、試験メカニズムが複雑であるため理論的な解釈が難しい、推定式の誤差が大きいなどの問題点もある。例えば、 N 値から内部摩擦角 ϕ を推定する次式⁴⁾などが利用されている。ただし、 σ'_v は有効土被り圧 (kN/m^2) である。

$$\phi = 25 + 3.2 \sqrt{\frac{100N}{70 + \sigma'_v}} \dots\dots\dots (1)$$

図一はこの式による ϕ の推定値と別途三軸試験で求めた ϕ との比較である。従来のダナム式 (白丸) に比べ式 (1) による基準の推定値 (黒丸) の精度は明らかに向上しているが、このデータのばらつきに相当するだけの推定誤差が含まれていることも認識すべきである。内部摩擦角に限らず、 N 値から推定される設計に用い



図一 港湾の基準による内部摩擦角 ϕ の推定値と実測値の比較⁵⁾

る強度や変形パラメーターなどを推定する際には、必ず推定誤差を伴うものであることを認識したうえで用いることが必要である。

なお、標準貫入試験結果は土質柱状図に示されているが、そこには 10 cm 毎の打撃回数も記されている。この値の変化は地盤の性状を示しており、礫が含まれたり締め具合の変化を示しているため、土質柱状図の記事欄と併せて地盤の性状を判断することも有用である。

4.2 他のサウンディングの活用

地盤調査に用いられるサウンディングとして図二に示すものなどが一般的である。標準貫入試験以外は幅広い適用がされているわけではないが、それぞれに特徴を有している。

このうち静的コーン貫入試験 (CPT) は、連続的に貫入しながら先端抵抗、間隙水圧ならびに周面摩擦を同時に測定するものである。測定ピッチは深度 1~2 cm 毎であるため、通常 1 m 毎に実施される標準貫入試験に比べ 50~100 倍の密度でデータが得られることになる。また、図三に示す測定例から分かるように、先端抵抗と間隙水圧のデータを見れば砂質土と粘性土が明瞭に異なるため、砂の薄層など土質の微妙な変化も判別できる。そして何より標準貫入試験のように個人誤差が入りにくい点が大きな特長である。

このように CPT には多くの利点がある反面、礫混じり土や締まった砂層などは貫入困難となるなど対象地盤に限られるという問題がある⁷⁾。しかしながら、適用対象地盤を軟弱地盤などに限れば極めて有効な情報が得られるため、田中⁵⁾が述べるように、 N 値に代わる試験として CPT は有効なものと推奨される。

5. 全応力と有効応力

比較的重要な構造物の設計においては、採取された土を用いた三軸圧縮試験が実施されることがある。この試験から得られる強度パラメーター c , ϕ は、排水条件によって扱いが異なることはあらゆる教科書にも説明されているので周知のことと思われる。

報告

一方、間隙水圧の測定を伴う三軸圧縮試験 (CU) から求まる c' , ϕ' の取扱いについて、時々誤った捉え方がされていると見受けられる。

この c' , ϕ' は破壊時の間隙水圧を用いた有効応力表示の強度パラメーターである。この破壊時ということが忘れ去られていることがある。

当たり前のことであるが、同じ解析モデルと条件を用いた安定計算で、全応力と有効応力のパラメーターを用いてそれぞれの安全率が異なってしまうのはおかしなことである。

せん断に伴う間隙水圧変化を考慮すれば本来同じ結果が得られるはずである。このことを望月・三笠⁸⁾は実際の計算によって示しているの、ぜひ参照していただきたい。

実務で用いられる静的斜面安定計算ソフトでは、一般にせん断に伴う間隙水圧変化を考慮されていない。そのため、計算に用いる強度パラメーターは全応力表示でよいと考えられる。

ただし、砂のように透水性が良かったり、地すべりのようにすべり速度が非常に緩慢な場合には、過剰間隙水圧が発生しないと仮定してもよい、 c' , ϕ' を用いても問題はないといえる。また、弾塑性解析や地震時の安定解析のように、せん断力に伴う間隙水圧変化を考慮するような場合も同様である。

6. 地盤工学はリスクマネジメント

6.1 地盤リスク

施工時に出現するトラブルの中に、地盤に係るものが非常に多い。その要因としては、例えば以下のことが考えられる。

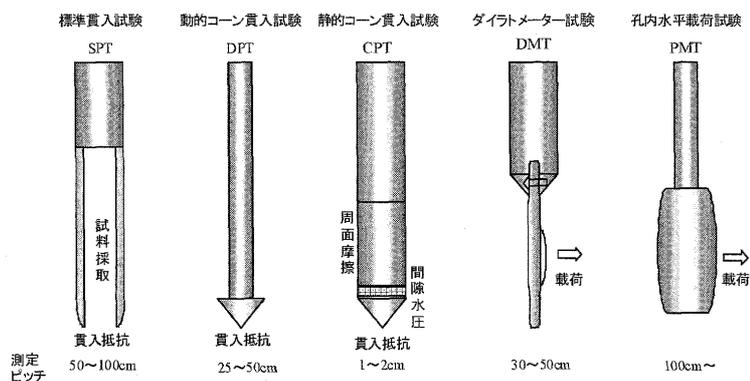


図-2 各種のサウンディング

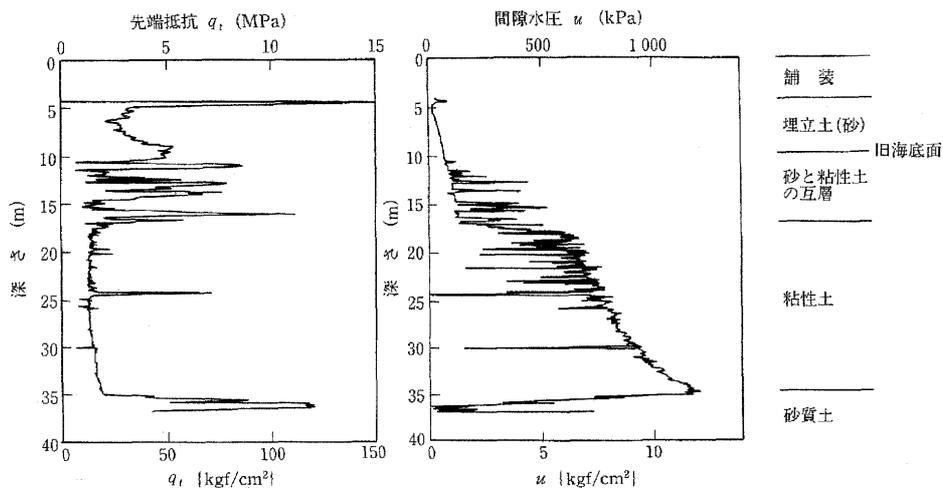


図-3 CPT の測定結果の例⁶⁾

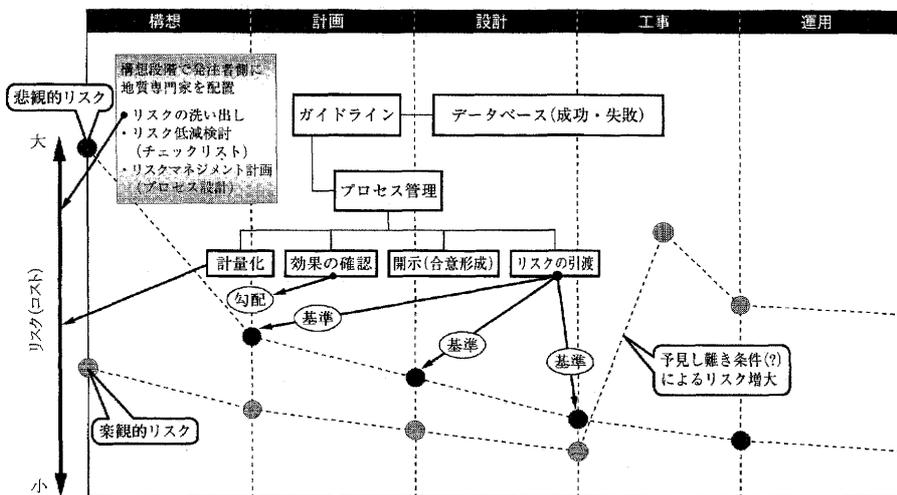


図-4 地盤リスクのマネジメントの基本的考え方 (文献⁹⁾に一部加筆)

- ① 地盤調査が不足しており、地盤の構成や物性に関する情報が不正確である
- ② 予想困難な地層、巨礫あるいはガスが突然出現したり、出水や逸水が生じたりする
- ③ 旧地形が認識されておらず、適切な調査箇所が選定されていない
- ④ 地盤調査そのものが適切な手法で行われていない
- ⑤ 地盤の堆積環境を理解していないため、適切な地層モデルができていない

予測不能な問題は当然あるが、堆積環境を正しく理解し、地盤調査・試験が質・量ともに適切に行われていれば、施工中のトラブルを事前に予測したり、その対策をあらかじめ準備しておくことも可能となる。

地盤に関連した情報を把握・分析し、それに対する対策を講ずることは地盤工学そのものであるが、これは地盤に関するリスクマネジメントでもあるといえよう。そしてこの目的は、安全かつ経済的に社会資本整備を行うことにある。

地盤に対するリスクマネジメントの基本的な考え方は、一例として図-4に示されるもので表現できる⁹⁾。この図は建設の各ステップに対して縦軸のリスクの大きさを示したものであり、リスクの大きさはコストの大きさに比例する。

従来は、構想段階あるいは計画段階において、地盤リスク(地質リスクとも呼ばれる)をあまり気にせずスタートしていた。その後の各ステージに進むにつれ情報が集まり、リスクが増えたり減少したりするが、予想していなかった地盤状況(例えば弱層など)に遭遇したときには、いわゆる設計変更契約により対策に要したコスト増を許容し、リスクへの対処を行ってきた。このコスト増は、楽観的なリスクからスタートしたことに原因がある。

一方、今後はコスト縮減が大きな命題となっていることから、安易な変更増額は許されなくなっている。そのため、考えうるリスクは事前にすべて把握し、以後のステージに進むたびに得られた情報に基づきリスクをつぶしていく方法が考えられる。これが地盤に関連したリスクマネジメントの基本的な考え方である。言い換えれば、悲観的なリスクから始めようという考え方である。

なお、リスクをマネジメントするうえでの定量化や対処方法などは文献⁹⁾などを参照していただきたい。また、地盤リスク全般に関して地盤工学会関東支部の研究委員会が活動しており、その成果が今後当学会誌の講座などで公表される予定である。

6.2 海外における GBR

今後海外でのプロジェクトに関与する機会が増えてくることが予想されるので、地盤リスクに関する海外の動き¹⁰⁾を簡単に紹介する。

海外の大規模なプロジェクトの工事が発注される際、

GBR (Geotechnical Baseline Report ; 地盤工学ベースライン報告書) というものが契約文書の一つとして提示されることがある。この GBR は、当初想定しなかった地盤状況が出現した際の設計変更増額を認めるかどうかというシビアな問題に、変更の可否を判断する目安としてのベースラインを示す役割を果たすものである。そのため、地盤工学コンサルタントがそれまで行われた地盤調査結果に基づき、共通の土俵としての地層構成や地盤物性を明示し、さらに施工中に予想される問題への対策まで記述される。これらの内容は、設計変更の可否の判断のみならず、施工中に生じる地盤トラブルへのリスクマネジメントの基礎にもなる。ご興味のあるむきは文献⁹⁾に ASCE から出版されている米国の GBR 作成ガイドラインの邦訳が掲載されているので参照していただきたい。

7. おわりに

国内の建設事業において、地盤調査の重要性に対する認識が相対的に低下しているように感じる。その原因の一つには、計画～調査～設計の流れが形式化し、地盤調査は設計に比べ単純で機械的に処理できると勘違いしている発注者が増えてきているのではないだろうか。しかしながら、本稿で一端を示したように、複雑な地盤を相手にするには、相当の知識や経験とそれに基づく複眼的な判断が必要となる。これらは地盤工学コンサルタントとしての真髄でもあるし、地盤に関連したリスクマネジメントの基本でもあると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 赤木俊允：土質工学における新しい話題，昭和60年度「最近の土質・基礎に関する講習会」講演資料，pp. 11～20，1985.
- 2) 中村裕昭・岩崎公俊：地盤調査における既存資料の活用，基礎工，Vol. 18, No. 10, 1990.
- 3) 全国地質調査業協会連合会情報化委員会：地盤情報を活用した新規ビジネスへの展開に向けて，34p., 2010.
- 4) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，pp. 320, 2007.
- 5) 田中洋行：N値に代わる原位置試験，基礎工，Vol. 31, No. 2, pp. 40～43, 2003.
- 6) 土質調査法改訂編集委員会：地盤調査法，pp. 238, 1995.
- 7) 宮坂享明・岩崎公俊・神宮司元治・兵動正幸：CPT 普及の現状と課題，土と基礎，Vol. 57, No. 8, pp. 4～7, 2009.
- 8) 望月秋利・三笠正人：フィルダムの安定解析—一般全応力法と有効応力法の比較—，土と基礎，Vol. 32, No. 4, pp. 19～26, 1984.
- 9) 地質リスク学会・全国地質調査業協会連合会：地質リスクマネジメント，204p., オーム社，2010.
- 10) 岩崎公俊・折原敬二：Geotechnical Baseline Report (GBR) について，pp. 32～33, 2009.

(原稿受理 2010.12.25)