

地質調査での目の付けどころ

—第5回 地質調査の仕事での悩み事について考えてみました—

株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング

新田 洋一



まえがき

令和3年に新入社員として地質調査の業界に入られた皆さん、ほぼ1年近くたちました。仕事に慣れましたか。私が新入社員だった40数年前と今を比べたら、地質調査業はどこなところが変わったのだろうか。

ボーリング機械はハンドフィードを見かけなくなりましたが、数十年前の型式がまだまだ頑張っています。コア採取の基本は変わっていません。標準貫入試験は自動落下装置か半自動式になりましたが、ロープの操作は人力で、N値はほぼ黙々と頭の中にメモリーしています。

一方で自動車業界は、化石燃料から離れ、自動運転も夢では無くなってきました。ボーリングマシンの内燃機関はどうなるのだろうか。電気モーターに変えても、発電機はディーゼル？。脱CO₂は、ロッドの上げ下げは、標準貫入試験のロープ作業は、これから何年も同じなのだろうか。

コアを指先の触感で、粘土だ、細砂だ、パソコンで柱状図を作成し、写真を整理して、ちょっと文房具類が電子化したけれど、ほぼ半世紀以上前と同じ仕事を同じ手順で繰り返しているなあ。八百屋さんも魚屋さんも何年も前と変わりませんが、SDGs的にはどうなの、と感じています。

若い技術者の皆さん、仕事や将来に心配はありますか。地質調査の仕事は知識と技術がインフラ整備の基本となるだけでなく、災害に関する人命救助の役割も担う大切な仕事です。力仕事の側面と高度なインテリジェンスも求められ、やりがいと誇りのある仕事だと思いますが、いかがでしょうか。

今回は、若手の皆さんから寄せられた悩みや疑問などの声を聞いてみましたので、それを題材にしてみました。

1. 現場担当者からの悩みや疑問について

1.1 SPT試料とコアの土質が違う、土質が数10cm単位で変化する、断面図が繋がらない

これは、互層（Alternating layer, or alternation）と言う表現を用いる場合のこととして考えてみます。深い海底や静かな湖沼底での堆積環境だと粘性土層の堆積が多いと思います。河川氾濫などによる場合は砂質土や礫質土の堆積が優勢となる場合が多いようです。実際にはその中間的な環境も存在し、「互層状」と表現するのをよく見かけます。

ここで、「互層」と言う土層区分を考えた場合、次の点が気にかかります。

- ①単一層として土層を区分する場合の最低層厚とは何cm以上を考えた方が良いのか
- ②互層の場合、地盤定数は粘着力Cかせん断抵抗角 ϕ のどちらか、または両方か

砂分を含むとシンウォールサンプリングもなかなか厳しい場合や、採取できても供試体（Specimen）の不均一で、データがばらついたりなど、仕事が進まない事があるかと思えます。

ボーリングが数ヶ所行われている場合などで、何らかの傾向や優勢、非優勢の判断材料があれば良いのですが、1ヶ所だけの場合では悩みの解決が厳しいこともあります。

このような場面で考える事としては、「設計・施工条件」かと思えます。何のための調査か、いつの供用開始か、などと言う事です。「互層」の評価は1つではなく、目的に

よって変わる、変える必要があるものと思います。残念ながら「これです」と言う1つの答えは無さそうです。

一般的には「安全側」の判断などと言う言い方があります。ただし安全側とは何に対してか、オーバーデザインになっていないか、などを考えておく必要もあります。

地質リスクとして圧密沈下なのか、液状化なのか、えっ両方、杭の場合にはネガティブフリクションか地震時の地盤定数の低減かなどが上げられます。調査結果をまとめる場合は設計部署や発注者と問題点を共有化し、地質リスクを明確にして地層区分、断面図、解析モデルをまとめることが大事だと思います。

堆積環境は自然事象なので、砂質土と粘性土の互層、薄い層厚で分布する場合、層の連続性が明瞭でない場合など様々な形態が存在します。以前、断面図には地質学的断面図や工学的断面図などがあると説明しました。断面図から解析モデルを作成する場合は設計・施工条件と地質リスクを考慮することが必要ではないかと思います。

【コーヒープレイク】

互層から乱れの少ない試料を採取しました。一軸圧縮試験を行いました。一軸圧縮強度 q_u は粘土分が殆どの場合と砂分がそれなりに含まれている場合でどんな違いが出るのでしょうか。また、 q_u から地盤定数を推定する場合何に気を付けなければならないのでしょうか。

砂分が混入しているとせん断時に「排水」され、UD条件になる？、せん断時の短い時間ではあるが砂と接する粘土は僅かに圧密を受け、CD条件に近い？。

三軸圧縮試験でUU条件なのにせん断抵抗角 ϕ が出る経験があると思います。互層の試料を一軸ではなく三軸で試験をしたら ϕ が出るのだろうか？。

供試体の砂分は圧縮応力で σ を受けるため、 $\sigma \tan \phi$ の分だけ強度が大きく評価されるのか？、 ϕ があればグラフが傾き、粘着力 C は小さくなるから、地盤定数の設定は $\phi = 0$ 条件として C だけを評価すると強度は小さく評価してしまう事になるのか？。

実務の仕事で土質試験、地盤定数の設定、安定解析などの一連の業務を担当して互層(砂質粘土や砂混り粘土も)に出会ったら良く考えてみましょう。

1.2 法面設計でのボーリング計画と地質の評価について

切土法面設計のためのボーリング調査計画について留意点の問合せがありました。そこで斜面の安定評価やアンカーの定着層の確認などを目的とした地質情報をどのように把握すべきかについて考えてみました。

切土法面は一般的に1割や1割5分、2割などの勾配で設計されるため、鉛直ボーリングでは計画法面と斜角で交差します。道路センターでボーリングを行うと、コアは全て掘削排土されるものを観察することになり、法肩部の場合は法面背面部の地質を観察する事になります。

地質が塊状で特に不連続面として層理や節理、割目、断層などが極めて少ない場合は道路センターでも法肩でも地質性状の全体的把握は可能と思いますが、不連続面が存在する場合は注意が必要です。

例えば、鉛直方向に卓越した柱状節理の発達するような火山岩の分布地で、法肩部から鉛直ボーリングを行うと、極端な場合、割目の無い棒状コアか縦割目の連続するコアのどちらかを採取することになり、岩盤の評価を間違える事になってしまいます。

このような場合では水平や斜めボーリングによって節理の間隔や密着性、風化部の厚さなどの把握が必要と考えられます。ただし、道路の両側が切土法面となるような場合の水平ボーリングは位置決め(切土開始地点や終点部など)を慎重に検討する必要があります。斜めボーリングが有効な場合も考えられます。ただ、 N 値が分からない……。

法面の対象となる地質や法面保護工、対策工の選定なども考えて調査方法や調査位置を決める必要があると言う事です。特にアンカー設計を目的とした場合などの調査計画

は上記したような事前の地質踏査による検討が必須です。

この場合も地形・地質条件および設計・施工条件によって調査方法を考える必要があると言う事になります。

1.3 日報には青灰色って書いてあるけど、コアは褐色ですが……

このシリーズでは以前土質試料の色調について記述しましたが、色調の経時変化の最も大きい要因は酸化です。酸化は地盤の内部で発生している場合とコアの採取で地上に曝した場合に起きる現象の二通りがあります。大事なものは自然地盤での色調ですが、曝露による色調の変化も見逃さないようにしましょう。案外、柱状図や地質調査報告書には曝露による色調の変化が書かれている事は少ないようです。

皆さんお分かりのように日報で青灰色と言うのはコアまたはSPT試料の採取直後の色調で、自然地盤内での色調を記述しているものと考えられます。数日後にコアチェックを行ったときには酸化して褐色化していた、と言う事です。コアチェックまでの時間が短ければ、コアの内部はまだ青灰色を呈していることもあります。

ここで大事なことは、自然地盤では青灰色（還元状態または酸素が無い状態）にある事と、曝露により酸化しやすい（酸素を消費しやすい）土質であると言う事を柱状図の記事、または報告書の調査結果に書いてください、と言う事です。理由は大地61号をお読みください。

褐色酸化現象は鉄イオンの酸化によるものが主な原因ですが、化学の分野では結構色々あります。高校生の時に習った記憶はありますか。化学では赤色と褐色と赤褐色は違う、イオンの色は何？、塩化物は白色、クロム酸塩は黄色など、入試で勉強したけどもう忘れたな、です。

通常的地盤調査ボーリングのコアで多量の金属や、その化学反応の分野まで考察が及ぶことは稀かと思いますが、全く知識が無くても良いでしょうか。地盤や地層を構成するものは、大部分が鉱物であることから、地質技術者としてある程度の化学的知識も必要かと思いますが。子供の時は石英やガラスの粒をダイヤモンド、黄鉄鉱の入った石を金だ、なんて言っていましたけど。最近は自然由来の土壤汚染問題に関する地質調査も多くなりました。

地質屋さんは地質・土質以外に機械、土木、物理、化学、地理、数学、など他（多）分野の勉強が必要なのですね。報告書を執筆する国語、打合せなどの語学、交渉力、……、大変です。

1.4 シンウォール試料の乱れと、土質試験の結果

土質試験で一軸圧縮試験や圧密試験を行った結果を見た上司から、「試料が乱れている、ダメじゃないか」と言われました。どうすれば良いのでしょうか。と言う悩み事を聞きました。

一般的な軟弱地盤を対象としたシンウォールサンプリングと土質試験の業務では、一軸圧縮試験や圧密試験が行われることが多いと思います。

一軸圧縮試験の場合、高有機質土のように破壊ひずみが大きい場合を除き、ひずみが10%や15%と大きな場合は乱れの影響を受けている可能性が推測されます。乱れの影響を受けた試験の結果は、本来有している強さより過小なものとなって、過大な設計となる可能性があります。

圧密試験ではどうでしょうか。乱れることによって間隙が減少したり、圧密降伏応力が大きくなったりし、圧密沈下計算で沈下量が過小に評価されてしまう恐れもあります。

ただし、シンウォールチューブは金属のため試料を目視できない事、目視できたとしても乱れを判断することは至難の業でしょう。試験後でないとは分からないのが辛いところです。

シンウォールサンプリング（デニソンやトリプルでも同じ）で試料に乱れを生じる原因は、大きく次の三つの作業時が上げられます。

①採取時、②運搬時、③取出時

上記①の段階で乱れていれば、②や③をどんなに慎重に行っても乱れは残ってしまう。一般的にも乱れが問題とされるのは、①の採取時の事が多いようです。では、採取時の乱れをできるだけ少なくするにはどうしたら良いでしょうか。

現時点で我々にできることはただ一つ、試料の乱れがどうだったか、つまりシンウォールサンプリングの品質がどうだったかをボーリングオペレーターへフィードバックすることではないでしょうか。

フォアマンの方は自分の仕事の良し悪しの結果を知る権利と責任を持つことによって品質を維持し更に高めていくことが出来るものと思います。

現場代理人や担当者はボーリングフォアマンへ「前の現場のシンウォールは乱れていた」あるいは「乱れていない良い試料だった」事を伝えないと分からないままなのです。次の作業で工夫のしようが無い事になってしまいます。現場代理人はフォアマンへ伝える義務があると思います。

AI機能を持ったサンプリングマシンの登場が期待されます。ぜひ「匠」のご意見をお聞きしたいと思います。

1.5 ボーリングのフォアマンが違くとN値も土質も違う

数台のボーリングマシンが入っている現場で、フォアマンによって同じ地層なのにコア状況やN値が違う事があり、断面図を作成するのに困っています。と言う話がありました。

地層や地質の風化や変質などの違いによるものなのか、そもそも同じように見える地層が違うものなのか、などの地質そのものに関する場合と、掘進作業でのスライム処理、残尺深度管理、標準貫入試験でのJIS規格違反、孔壁保護方法の違いなどが考えられます。

土質地盤についてチェック項目を考えてみましょう。最初の着目点は地形です。土質地盤は一般的な大区分としては低地や平野に当たりますが、微地形としては氾濫原の内、自然堤防、後背湿地、浜提、旧河道、更には浸食作用を受けた段丘、山腹斜面や開析谷の発達による扇状地、土石流堆積地、崖錐堆積地などが上げられます。また堆積環境として海成堆積、湖沼性堆積、河床堆積などが上げられます。

軟弱地盤に関して注意が必要なのは、ちょっとした沢の出口が上げられます。低地面として特に微地形的变化が無いのに沢部が有機質土の卓越する軟弱地盤で、沢の出口付近が砂質土や礫質土が分布する、と言った大きな土層の変化が見られる場合があります。

このように堆積環境によって粒度分布の異なる層が複雑に分布します。そのため層の連続性や粒度組成、N値などは変化するものだと考えましょう。この変化をどのように区分して柱状図や断面図にまとめるのかが我々の仕事だと思っています。

次に、「再現性」と言う事について考えてみます。各種の調査や試験で、再現性の有る方法、無い方法などと言われることを聞いた事があるでしょうか。同一材料、同一条件で行った調査や試験では担当者が違っても同様の結果が得られる、と言うことです。

同じ地層なのにコア状況やN値が違う状況を経験された方は、地形・地質の不均質さ以外に「フォアマンの技術力の差」も原因かなと、なんとなく感じているのかもしれませんが、再現性の高い調査・試験方法では担当者が違っても同様の結果が得られるとすれば、ボーリング調査や標準貫入試験は再現性の低い方法なのか、と言うことになります。地盤はある広さにおいては（材料が）同一ではないと考えるべきだと思います。

掘進技術力の差で粘性土層が礫質土層にはならないので、土質の不均質性による不連続性、コアやSPT試料へのスライムの影響の有無、孔壁保護工種、泥水管理の違いが掘進作業の違いとなっていないかなどの確認が必要だと思います。

現場代理人や担当者はボーリングフォアマンの作業状況の違いを確認し、その違いを各フォアマンに伝えて共有すべきかと思っています、シンウォールサンプリングと同様に。

これもボーリング調査業界のSDGsのためには必要な事かもしれません。

2. 日本列島の誕生と縄文の海進について

2.1 日本列島の誕生と恐竜化石の話

2021年新型コロナウイルスの緊急事態宣言中でしたが、東北歴史博物館で特別展「ジュラシック大恐竜展」が開催されていました。そこで、ちょっと小耳にしたのが「日本列島の出来た時代は何年前なのか、恐竜のいた時代より古いのか、新しいのか」でした。

恐竜で有名なジュラ紀から白亜紀は2億1300万年前から6600万年前です。日本列島が大陸から離れ始めて今の形になったのが白亜紀の初めと言われています。ポチポチ恐竜は絶滅危惧種になった時期でしょうか。

白亜紀初めにアジア大陸南部から離れて横ずれで北へ移動し、この外帯部分と内帯部分が合体して本州、四国、九州の主要部分が現れ、合体した線が中央構造線と言われています。

付加体の生成・発達、花崗岩の大規模な貫入などの活動があり、新第三紀中新世（約1900万年前）頃にアジア大陸の東側では、熱せられて膨らみ浮力を生じたマントルが上昇し、大陸が裂け始めて日本海が開き始めたと言われています。日本列島は西南日本が時計回りに45度、北東日本が反時計回りに25度回転しながら日本海が開いたとされ、この時日本海と直交する形でフォッサマグナの海が開いて1450万年前頃に日本海の拡大は完了。この頃東北日本は、北上・阿武隈を除き海の底と言われています。この後、日本海における海底火山活動でグリーンタフが堆積し、金属鉱床が生まれました。

1100万年前には巨摩山地、800～600万年前に御坂山地、500万年前に丹沢山地、100万年前に伊豆半島が衝突し、この時日本列島は大陸側に押し戻され、南アルプスなどが隆起したとされています。一説によると人類の最初の祖先は約600～700万年前に誕生したとも言われています。

つまり、恐竜を題材にしたジュラシックパークのようなジュラ紀の世界は、今の日本列島の形の上には存在しなかったようです。

と言う事は恐竜の化石は日本列島には無いのか、と思われませんが、福井県など日本海側で大陸から離れてきた地層からは発見されています。日本海の海底火山活動によるグリーンタフの卓越する奥羽山脈の山々や付加体で構成される北上山地では恐竜の化石は見つけれないのでしょうか。子供にティラノザウルスの化石を探したい、と言われても東北では無理かな、と教えてあげてください。南三陸町では恐竜ではありませんが、「ウタツギョリュウ（海生爬虫類）」の化石が出ています。今から2億4200万年前の中生代三畳紀前期のものとされています。ただし、天然記念物ですので、掘ると盗掘になりますのでご注意ください。

2.2 縄文の海進と軟弱地盤の堆積の話

さて、第四紀更新世の100万年前にはほぼ今の日本列島が出来ました。その後約99万年後の1万1700年前の完新世になり、日本列島では「縄文の海進」と呼ばれる海水面上昇が起きました。

縄文の海進に関する海水準の変化イメージを図2.1に示しました。縄文時代は海水面が上昇する温暖な気候だったと言われています。縄文の海進では現在より海水面が4、5m高く、その後弥生の小海退で現在の海水面まで下がった、と考えられています。

しかし、日本で認められている縄文の海進は、イギリスや北アメリカの海岸では認められていないようです。海進や海退の原因は特に南北両極地周辺地域の氷床の融解や拡大によるもの、との考えは間違いではないようです。

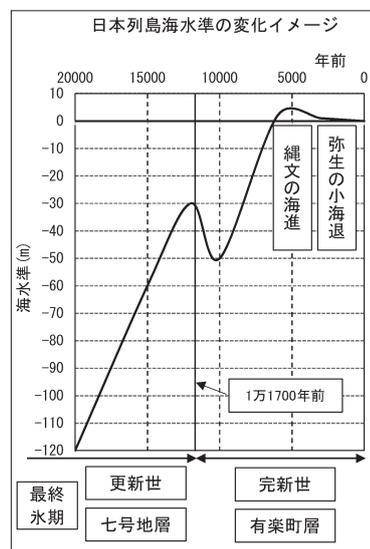


図2.1 日本列島海水準の変化イメージ

ただ、巨大な氷床は当然ながら重さも相当なもので、氷床が融解すると固体地球の表面が隆起する現象が起きる、と言うのです。

この隆起速度と海水面の上昇速度の関係では海面上昇よりも隆起速度の方が速いという研究があるようです。

つまり地球上の場所によっては海水面が上昇しても陸地の隆起の方が大きい場所もあり、相対的に海水面の上昇としての証拠が見つからないということのようです。この隆起現象は今でも観測されている所（スカンジナビア半島やハドソン湾の周辺など）があるようです。

地球表面の形が変わるとそれに伴って、それぞれの場所ごとの陸と海の相対関係が異なり、現象が違って見えるという事です。

縄文の海進での海水準の変化は世界全体だけでなく、日本各地でも異なっているようです。詳しくは、前記した「ジュラシック大恐竜展」が開催された東北歴史博物館の「東北歴史博物館友の会だより、第19号」、東北歴史博物館の相原淳一さんの『「縄文海進」と貝塚の分布』が参考になります。

縄文の海進はいわゆる軟弱地盤の堆積時代とも言われ、関東地域では「有楽町層」と呼ばれる粘性土層です。有楽町層の下位は七号地層と呼ばれる層が分布しています。七号地層は最大海面低下時に形成された谷地形を最初に埋積した地層と考えられています。

石綿しげ子（「東京湾北部沿岸域の沖積層と堆積環境」、第四紀研究43（4）、pp.297～310、Aug、2004.）により「七号地層は基底に砂礫層があり、シルト層を優勢とする砂泥互層で、一部に層厚5m以上の砂層を塊状に分布、軽石、礫を混入し、下総層群と類似している」と記載されていますが、研究機関や研究者によって見解が異なるようです。

これらの軟弱層の形状などが分かりかけたのは1923年の関東大震災後の震災復興局によって実施されたボーリング調査からです。宮城県内でも数十mの軟弱地盤の分布地が分かっています。

日本の都市部における軟弱地盤の存在を分かり始めてから今で約100年です。地質調査技術の進歩や様々な地盤情報の蓄積が進んでおり、インフラの整備や防災・減災を目的とした更なる地質技術の活用が望まれる時代になっているのではないのでしょうか。

あとがき

この原稿を書いている時、ノーベル物理学賞に真鍋淑郎さんが選ばれた、と言うニュースを耳にしました。真鍋さんは「1960年から二酸化炭素濃度の上昇が大気や海洋に及ぼす影響を世界に先駆けて研究し、現代の地球温暖化予測の枠組みを築いた」と聞き、60年も前から研究していた事に驚きました。縄文の海進は自然現象ですが、これから先の海進は人間の仕業、と言う事になってしまうのでしょうか。

我々年配の者は次世代の若い技術者達のために何を残してあげられたのだろうか。不可視物を対象に無体物を作る仕事の責任と義務、それをSDGsとして皆さん、特に後輩に伝達していく事が大事だったのかな、と考えるこの頃です。

私、6月には新型コロナウイルスのワクチン接種を終えましたが、まだまだ自宅飲みから解放されていない気の弱い日々です。この原稿が発刊される頃には……、と思っています。その時はどうぞよろしくお願いします。