

業界は今

座談会 ボーリング・グラウト部門 地質技術者と設計・施工技術者との よりよい協働のために —大地の成り立ちに学ぶ—

農地や農業用施設を取り巻く環境のうち、最も基礎となるのは地形・地質です。施設を直接支えるばかりでなく、施工に当たっての障壁となったり、荷重となって作用したり、盛土材料や地下水などにみられる資源ともなります。その反面、地震や降雨など自然の作用や掘削・盛土など人為的な加工に起因して、予期せぬ被害をもたらすこともあります。自然の生成によることからその性状はきわめて多様で不均質なうえ、事前に正確かつ詳細に把握することが往々にしてなかなか困難です。

こうしたことを踏まえ、農林水産省では専門職として地質官を地方農政局に配置し、現場の相談・指導に当たる体制をとっています。この座談会では、地質官を歴任された皆さんに、自ら対処してこられたご経験とともに、施設の設計・施工に大きく関与する地形・地質に関わる課題や留意点について話し合っていました。

(一社) 農業土木事業協会事務局

【座談会概要】

日 時：令和6年12月11日（水） 13時30分～16時

方 式：対面方式

会 場：農業土木会館2階A会議室

出席者（敬称略、五十音順）

榎並信行 応用地質（株） 技術参与

小徳 基 基礎地盤コンサルタンツ（株） 技師長

中原正幸 日本基礎技術（株） 技術顧問

備前信之 NTC コンサルタンツ（株） 地質技師長

細谷裕士 いであ（株） 技術顧問



上段左から 備前氏、細谷氏、小徳氏
下段左から 中原氏、榎並氏

1. 豊富な現場経験の中から

—— これまでのご経験の中で最も印象に残った、あるいは興味をお持ちになったお仕事、苦勞されたお仕事などをお話しいします。

【備前】 20代の係員の頃、最初の四国出張で、^{おおぼけ}大歩危付近でしょうか、土讃線から見て、見上げるような山中に集落がかなりあるのに驚きました。なんでこんな所に暮らしているのだろうと。答えが応用地質学研究的の泰斗、小出博氏のご著書にあって、人が住める土地をつくり出しているのが地すべりだと言われていることに感銘を受けました。

地すべりは土砂災害という側面もある一方で、険しい山中に人々が生活できる場や水をつくり出しているのです。大都市だってそうです。地震も含めて災害というものは厄介な反面、隆起・侵食・堆積という地球の営みの現われで、そのおかげで大都市の基盤である沖積平野もできている。いわば大都市そのものが沖積作用という現象の一つの現われである。そういう両義的なものの見方、視点が必要ではないでしょうか。

また、北陸の第三紀層地すべり対策の直轄事業所で、抑制工として排水トンネルを施工した時に可燃性ガスが感知され、その対応に当たりました。過去に別の県の第三紀層のトンネル工事で、やはり可燃性ガスによる大事故があったことも知りました。30代前半の新婚早々で、ガス検知器を持って入坑するのは非常に怖かった。結局、機器の防爆化をし、トンネル断面や支保方式などを大幅に変更して無事完成しました。得がたい経験でした。



備前 信之氏 略歴

1984～2019年農林水産省、同年現職場に入社。実家は農家であり、稲作から高原野菜への転換を間近で見育った。アポロの月面着陸に感動、天文学者を夢見たが、大学では地質学を専攻、フォッサマグナの地層と格闘した。農水省時代は、20基近いダムの基礎地盤を見たが、素晴らしい大露頭に感激した。

【榎並】 地すべり、地下水、ダムなど多数の現場に関わってきました。印象に残っているものは、一つは喜界地下ダムです。全体実施設計段階から止水壁締切り直前まで、管理部分を除くほぼ全工程を経験できました。なかでも、水収支計算用の貯留モデル（複合タンクモデル）や地下水洪水を再現するFEM（有限要素法）モデルの解析を全計の1年間で実施したのは大変でした。また、事業費の算定も課題でした。その時点では先行ダムの施工で不確実な部分があり、それを勘案して余裕をもって算定しました。結果、計画変更なしで事業完了ができました。

その後、九州などで多くのダムに関わりました。それぞれの地区ごとに多様な地形・地質条件で、その対処に苦勞しました。それと同時に、私の考えを設計・施工担当者、あるいはダム委員会の先生方にかにうまく理解してもらうか、そういう意思疎通の苦勞も思い出深く残っています。



榎並 信行氏 略歴

1977年農林省入省、途中沖縄総合事務局の3年間を含めて2015年に農林水産省を退職、2019年に現職場に入社。農林水産省時代には地すべり、地下水、ダム、地下ダム等に多数関与。どちらかという工学に寄った対応が多い。

【細谷】 2011（平成23）年東日本大震災の後、全国の農業用ダムを耐震照査することとなり、北海道から石垣島まで多くのダムを回ったのが最も印象に残っています。ダムでは、地盤強度はもとより透水性、斜面对策など網羅的に意識する必要があり、農林水産省のダム担当職員、大学の先生、コンサルタントの技術者の皆様のもの見方とご経験を勉強させていただきました。

20代後半に勤務した宮古島では、調査管理事務所で事業計画の基礎となる事項を体験し、地下水解析のシミュレーションで得られた地下水かん養量を用いて用水計画を策定する業務を経験しました。当時は事業計画に関しては全く

の初心者で、営農計画や工事計画の担当者に種々教えていただきました。

昭和から平成の初期の30代半ばには、新潟県板倉町（現上越市）に開設された農業農村整備初めての直轄地すべり事業所に在籍し、調査設計から対策工が施工されることを目の当たりにしました。地質調査が単に調査ではなく、設計にどう生かすのか教えていただき、設計業務の成果品を調整しました。特に注力したのは、事業所での設計に関する統一ルールでした。例えば鋼管杭をせん断杭にするのか、くさび杭か抑え杭か、一定の統一ルールが必要でしたが、在籍3年半でやっとある程度のルールが完成し、後任に引き継ぎました。

30代後半から40代中盤までは、北海道開発局、中国四国農政局、関東農政局でダム関連業務に従事し、河川協議、地盤検査、ダム委員会などに対応しました。

地質以外の仕事では、2005（平成17）年農地・水・環境保全活動の直接支払い（現多面的機能支払交付金）の制度設計に参加し、当時各地で行われていた環境保全活動の実態調査で、活動規模や費用などを聞き取ってデータベースに取りまとめました。これは技術士（農業）の資格取得につながりました。



細谷 裕士 氏 略歴

1979年農林水産省入省、2015年3月退官。2017年6月現在の会社に入社。環境関係に興味があり、都市緑地（さいたま市の里山林）の保全ボランティア活動を20年以上継続。（公社）日本技術士会農業部会幹事・広報委員会委員で、月刊『技術士』の編集に携わり、他分野の記事で種々勉強中。

【小徳】 1988（昭和63）年～90（平成2）年に沖縄で、地下ダムを主水源とする沖縄本島南部地区の地区調査、伊是名地区の地下ダム開発調査、宮古地区での地下ダム建設事業に携わりました。地下ダム建設事業は黎明期で、こちらも入省して間もない時期でした。そこで地下ダムの調査、設計、施工に手探りの状態ながらも

関わったことが、非常に印象に残っています。

また、大規模な自然災害に現地に対応したこともあります。1995（平成7）年兵庫県南部地震、2011（平成23）年東北地方太平洋沖地震、2016（平成28）年熊本地震、2017（平成29）年九州北部豪雨などで、農業用施設や農地地すべりの緊急点検、災害復旧検討に携わり、貴重な経験を得ることができました。2024（令和6）年能登半島地震では、会社の現地調査団に加わり、液状化、地すべり、海岸隆起などを目の当たりにして自然の恐ろしさや驚異を再認識したところです。



小徳 基氏 略歴

1986～2022年農林水産省、沖縄総合事務局、国土交通省、緑資源機構、農用地整備公団等で地質・地下水関連業務に従事。地下ダム建設や地すべり対策の事業所、海外での水資源開発調査も経験。22年現職に入社。小学3年生のときに、小学館の「岩石と鉱物の図鑑」に出会ったことが、地質との付き合いの始まり。

【中原】 最も感動したのは、ダム計画・建設に携わる中で、地質踏査によって描いた地質に、ボーリングコアや基礎地盤の掘削面を通じて直接触れる機会があることでした。地質理論で描いた地質分布と実際の地質との整合性や差異などがわかり、役立つ調査経験になっています。

海外では安定帯と変動帯の違いを体験しました。西アフリカは安定した大陸で、地質は先カンブリア時代の変成岩や花崗岩等からなる準平原に、新生代の堆積岩層が重なるという単純な地質構造で、調査も建設工事も計画的に進められたことが多かった。これに対して変動帯のインドネシアでは、わが国以上に地質活動が活発で、多くの地震・火山活動、複雑な地史を経た地質分布となっていて、その構成の解明や地盤工学的取扱いの難しさがありました。

以前、能登の地すべりで、住民避難や緊急対応策に意見を求められたことがありました。この地すべり地は一部が地形改変されていて、発生した引張・亀裂は空中写真で判読した旧地形に沿っていて、外形は推定できても地すべり末

端がわからず、下部の集落に影響する滑動範囲の認定に苦労しました。

2024（令和6）年能登半島地震では、一帯の海岸地盤が一気に4mも隆起し、海岸段丘の形成を目の当たりにし、驚きました。能登では、海岸段丘上に多くの地すべり地があるのですが、その形成過程に疑問がありました。それがこの地震で、地震によって段丘が形成されて浸食基準面が変化した結果、海岸浸食を受ける段丘崖の流れ盤斜面が不安定化し、いわゆる初生地すべりが形成された、そういうシナリオが想定できました。



中原 正幸 氏 略歴

1981年農林水産省入省後、本省・地方農政局・開発局・国土庁・農用地整備公団・調査管理事務所・JICA長期専門家などを経験。2015年現職に勤務。若い頃は星に憧れ、地（球）に落ちた地質屋として、国内・海外業務を通じて、多様な地質岩石岩盤に触れることができた。大地という星を相手の仕事がおもしろい。

2. 注意すべき地質の課題

—— 施工上注意すべき地質や地質的な課題への調査・設計・施工上の留意点をお教え下さい。

【中原】 まず、「地質は『そこにある固体』ではなく、『歴史を持った個体』である」ことです。

特に注意したい地質は、第一に中古生層と呼ばれてきた非正常堆積物の付加体堆積物で、これは従来の地質学原理が適用できません。第二は、新第三紀中新世、2000万年前の日本海拡大以降の火山噴出物や火山岩です。第三は、第四紀の300万年前からの海水準変動で形成された平野堆積物です。これらは地層の生成過程から共通して、分布が不連続、構成が不均質で、コア採取が難しい。正確に見極めるためには、構造物の構造・規模に見合う多くの地質調査量が必要です。

地形も歴史的に形成されたものです。現在の地形は、第四紀になってプレートの沈み込みによる造陸営力によって作られ、風雨や河川や波浪の浸食が加わって現在の姿となっています。

その結果、地盤も風化・緩み・変形などを被っています。例えば、北海道の丘陵地は周水河風化による礫状化、沖縄や東南アジア・西アフリカなどの亜熱帯・熱帯のラテライト形成や深層風化、隆起量の大きな日本海沿岸の第三紀層山地で多い地すべりと、地形形成との関連で見ると現在の岩盤状況がよく理解できます。

調査での留意点は、「目的意識を持った調査でないに見えるものも見えない」ことです。

偶然見つけた段差が、地すべりの発見につながったことがありました。ダム基盤岩を確認するためにダム軸に沿った弾性波探査をしたら、風化帯がやや厚いと解析されました。その側線を歩いてみると小さな段差が見つかり、チシマクマザサ斜面を広範に伐開すると、下方に開いた馬蹄形地形が現れました。この形状と風化帯の厚さから地すべりだと判明しました。結果、ダム軸は地すべりにかからない上流に移動しました。

また、ボーリングコアの再評価で地すべりが見つかったこともあります。試験湛水前に貯水域の地すべり調査で、堤体近傍の出尾根で、計画時の原石山調査ボーリングコアを見直しました。このコアは亀裂質砂岩泥岩で、原石山として不適とされた場所でした。コア再評価で、亀裂岩盤中に地すべり粘土も認められ、地下水位は河床レベルであり、最大深度60mの3ブロックからなる風化岩盤地すべりと認識されました。対策として貯水の影響を受ける末端ブロックにアンカーを施工しました。

ダムの事例でもう一つ、新第三紀泥岩砂岩で、河床部のボーリングコア所見では、採取率が悪い原因は亀裂質岩盤と考えられていましたが、基礎掘削で開いてみて初めて、それが幅広の断層破碎帯と認識されました。上流の比較ダム軸左岸で確認されていた破碎帯が河床中央に伸びていたんです。当初のコア観察で見たものの解釈が足りなかったといえます。亀裂質岩盤や介在粘土のコア採取では、破碎帯を前提に慎重に行わねばならないということです。

第四紀堆積物が複雑に分布していることもあります。河川をアンダーパスする排水路の掘削中に、上方の河川が陥没しました。付近での事前調査孔ではN値5程度のシルトと細～粗砂が認められ、パイピングやボイリングが生じうる地層ではあったものの、河川への連続性は考慮しませんでした。緊急対策として、河川にブランケットを敷設しました。パイピングなどの可能性を見越した事前調査が必要であり、海岸平野では旧河道堆積物や、津波堆積物・洪水堆積物・液状化砂脈など瞬時に形成された堆積物でイベント堆積物と呼びますが、広範に連続する可能性のある砂層のコア評価が必要でした。

【小徳】 私は、地下ダム建設の地質的な課題についてお話しします。

地下ダムは、地中に止水壁を造り、地下水を堰き止めて利用する施設です。農業用地下ダムの技術開発・事業化には農林水産省の地質技術者が深く関わってきました。私も関係した宮古島の砂川地下ダムは、止水壁として厚さ50cm余りの連続地中壁などを施工し、地下水位を最大30m近く堰上げて950万 m^3 の地下水を溜めます。地下水を効率よく溜めるには、空隙性・透水性の高い地下水貯留層と難透水性の基盤岩が重要です。

農業用地下ダムは、琉球石灰岩と呼ばれる地下水貯留に適した地層に建設されてきました。琉球石灰岩は、サンゴ、有孔虫、石灰藻など、多様な石灰質の堆積物から成り、堆積後に石灰質が溶解・再結晶したり、鍾乳洞が発達したり、流入粘土によって間隙が充填されていたりと、その性状にはバラツキがあります。地下ダムの計画・設計に当たって、地下水貯留層の空隙性や透水性などの評価を誤れば、貯水量や取水能力の不足が生じます。岩の硬軟や鍾乳洞など空隙の有無は、止水壁工事にも影響します。止水壁で地下水の水みちを塞いだことで、地下水が



小徳氏

地表に溢れ出すかもしれません。

琉球石灰岩の下位に分布する基盤岩には、島尻層群と呼ばれる主に泥岩・砂岩からなる地層の場合と、より硬質な古期岩類の場合があります。

新鮮な島尻層群の泥岩は難透水性で、地下ダムに適していますが、風化部や砂質部では透水性・強度が問題となることがあります。断層で基盤岩上面が非常に複雑に変位している場合もあって、そういう所は注意しなければいけない。

古期岩類は、砂岩、泥岩、粘板岩、緑色岩、チャートなどからなり、岩種、風化、亀裂発達程度によって透水性が高いことがあります。さらに、上位の琉球石灰岩との境界で、基盤岩上面の不陸が激しい箇所や基盤岩由来の礫が挟在する箇所もあります。礫の直径が大きいと、調査時や止水壁施工時に礫を基盤岩と誤認するかもしれません。そういう不陸や礫は、止水壁の高止まりや根入れ長不足の原因となり、そこから貯留水が漏れるおそれがあります。塩水阻止型の地下ダムでは、想定以上の塩水が貯留層へ浸入することにもつながります。

新規の地下ダム建設は少なくなりましたが、供用中に地下水を大量に取水することで、それまでにはなかったほど貯水位が低下して初めて問題が明らかになることがあります。さらに、施設の老朽化への対応もあり、今後は適切な管理が大切です。調査・設計・施工・管理の各段階で、地下ダムに係る地質・地下水の状況を十分に理解することが重要です。

【榎並】 注意すべき地質の一つめは四万十累層群堆積岩類です。静岡県から沖縄まで広く分布していますが、同じ四万十累層群でも、南九州では静岡～四国のもとは違ってひどく乱れていて、ボーリングコアから地質断面図を作成するのが難しいんです。弱固結状態の堆積物が海底地すべり



榎並氏

で破壊されて不定形のブロックとなり、乱れた状態で堆積したからです。場所により、ブロックが径2～3百mあたり数m～十数mだったり、果ては完全に泥流化し細かな礫を含んだ均質な塊状砂質頁岩となっていた所もありました。そんな状況が、ダムの基礎掘削で初めて明瞭にわかりました。

二つめは溶結凝灰岩です。新しいもの(20～30万年前より新しい時期)と古いもの(数千万年前より古い時期)でそれぞれ課題があります。新しいものは鉛直方向の開口亀裂が発達していて、時には開口幅が10cm以上に及んでいます。透水係数はきわめて大きく、堆積物が載っていたら吸出しを発生させて陥没が発生することもあります。一方、古い方では長い地質時代の間に応力や変形で開口亀裂が見られなくなっていますが、私が兵庫県南部で経験した事例では深くて幅の狭い滲筋が形成されていました。中規模の頭首工の事例で、河床部に岩盤が露出するのでフィックスタイプとしていたのが、ピアの基礎掘削を開始したら、狭い範囲に分布している河床堆積物をいくら掘っても基盤に至らず、ボーリングで岩盤まで深度10mほどと判明したため、フローティングタイプに変更しました。近くのダム現場では、同じ地質で深さ5～6mの滲筋が上下流に連続していることが、基礎掘削時に確認されました。

三つめは河川性堆積物です。現在堤防で流路が固定された河川も、古い時代には洪水のたびに流路が変わり洗掘と土砂堆積を繰り返して、平野を形成してきました。そのため、特に平野の中上流部では地質の側方連続性が悪い。つまり、ボーリングで地質を確認しても、すぐ横の地点では地質条件が変わってしまうことになります。上下流方向よりも左右岸方向の方が地質状況が異なることが多いので、河川横断工作物では要注意です。

それと、地質条件というよりも、注意すべき事項として、N値の扱いがあります。現在の構

造物の設計ではN値が広く用いられ、N値さえわかれば設計ができてしまう状態にもなっています。けれども、時にはN値が地盤の物性をきちんと反映しないケースがあります。

よくあるのは砂層の中に大きめの礫を含む地層。試験機が礫に当たるとN値は大きく出ます。でも、地質の物性は礫を包む砂の部分によって決まるから、そのまま使うと過大な強度を見込んでしまうことになります。

また、濃尾平野でこんな事例がありました。深度17m付近にN値ゼロのシルト層がボーリングで確認され、この条件で耐震検討を行ったところ、このシルト層で大きな変位により杭が破断し、地表面では揺れが小さいという結果になりました。検討委員会委員に相談したところ再検討を求められ、シルト層のサンプリングと再試験を行いました。驚いたことには、この層で試験機が自沈した(N=0)にもかかわらず、棒状のコアが取れ、指で押せば容易にへこむ程度にはしっかりしていてN値ゼロとは見えないし、繰り返し三軸試験でもその層の上下にある砂礫層以上の強度を示したのです。これでは杭は破断しないので、地表面の大きな揺れに対応する排水機場本体の耐震対策を行うことに方針が変更されました。一般にシルト～粘土層ではN値と物性の不整合は少なく、これは特異な事例かもしれません。しかしながら、常に留意が必要だということです。

【細谷】 施工上注意すべき地質に関しては、近畿地方整備局が2021(令和3)年3月に出した『地質リスク低減のための調査・設計マニュアル(案)』などを参考にすればいいのですが、基本的に「施工上注意しなくてもいい」地質はないのではないかと。地盤を掘削すれば上方から岩盤が滑ってくるかもしれないし、斜面の上側に盛土すれば、熱海の事故のように盛土ごと滑るかもしれない。掘削すれば周辺の地下水位を下げるし、盛土すれば不等沈下するし、水を溜めれば漏れるかもしれない。こういった当たり前のことを考えることで十分と考えます。

斜面の安定性は、斜面のある施工現場では常に検討が必要です。地すべり等防止法で、地すべり防止区域内の制限行為として法長3m以上の法切り、直高2m以上の切土があります。この数値は防止区域以外でも当てはまるのではないのでしょうか。あらゆる斜面でいったんは気にして、安定解析を行うかどうかの検討が必要です。

同法では地表水や地下水を放流する行為などが制限されていますが、一般的な場所でも、施設を施工した後の地形が施工前に比べ集水地形になっていないか確認する必要があります。その場合には、適切に排水する方策を検討する必要があります。

注意すべき地質に、分布は稀ですが蛇紋岩があります。県営の農道で斜面をかなり緩く(1:2程度)設計していました。これでいいかと尋ねられ、まあ大丈夫と答えていましたところ、半年ほど経って県の方にあの斜面はどうでしたかと伺ったら1:4で施工し直したとのことで、非常に気まずい思いをした経験があります。

【備前】 ここ数十年来、学校で「地学」は学ばなくなっている。日本列島は変動帯にあり、多雨のモンスーン地帯で災害リスクが大きいのに、残念な状況です。この分野の知識は中学の理科レベルにとどまる人が多いのではないのでしょうか。それで、まず、担当する現場がどのような地形・地質なのか、基本的なことが理解できているのか、確認してほしい。その土地の歴史的成り立ちを理解し、どのような癖を持っているかを知っていることは決定的に大事なことです。わからないことは地質技術者に尋ねてほしいのです。地質技術者にとっても学びの場となるので。

次に、リスクを認知し評価する際に、いろんなバイアスが影響するという。なかでも大きなバイアス要素は、私の経験では、予算と工



備前氏

期の制約だったようです。地質(基礎地盤)は、鋼材やコンクリート、盛土に比べ不確実性が大きく、金や時間のかからない対策の方向に流れて行きがちです。次の段階でトラブルや手戻りになりかねないので、自戒の念も込めて忠告しておきます。

次に、現地踏査の重要性ということ。地質技術者による現地踏査は、現地の情報を取得し総合的に評価する、高度で重要な調査なのに、けっこう軽視されている面があります。段丘礫層に断層に似た変位が見られ、活断層なのかそうでないのか議論した経験があります。結果として重力性の変位と判断されましたが、この露頭での判断は、事業の方向性を左右するものでした。

そのような技術力は一朝一夕では得られず、多くの現場を経験する必要があります。こうした現地踏査を正当に評価し、活用することで、技術力の継承・向上につながることを認識していただきたい。設計報告書の地形・地質の項目が文献のコピペだけのことがあったりします。既存の文献は構造物を造ることを想定しているわけではありません。設計や施工に関する知識を持った地質技術者の視点で記述されるべきです。

3. 今後活用が期待される新技術

—— 地質に関わる技術にはさまざまな進展がありますが、今後注目すべき、活用していくべきと思われる新たな技術などをお伺いします。

【小徳】 特に新しい技術とは言えませんが、地形判読とボーリング調査について述べます。

地形は地質と密接な関係があり、その土地の成り立ちがよく反映されています。活断層、破碎帯、地すべりなどの地質的にリスクのある事象は、地形判読で把握できることが多い。

地形判読は、以前は空中写真や既存の地形図で行いました。最近では、航空レーザ測量やUAVなどを活用して高精度の地形データが入手しやすくなっていて、地球観測衛星の画像データも提供されています。さらに、これらのデータを時系列解析して、地表変状のモニタリ

ングもできます。

2024(令和6)年能登半島地震でも、行政や研究機関が様々な地形判読・解析技術を使って、地盤災害の把握や対策の検討を行っていました。

私自身も、UAV レーザ測量による地すべり調査に関わったことがあります。密な植生の林地でも微地形が明瞭に現れ、地表踏査で見つけるのが難しい小規模な崩壊箇所を容易に確認できて驚きました。

地形判読では、工事箇所の狭い範囲だけでなく、もっと広い範囲の地形の状況を確認することをお勧めします。例えば大地形や地質の大構造を把握できるし、そうすることで対象地域の地形の特徴が際立って感じられることもあります。

最近の講演会で、「地形に関する技術は最近目覚ましく進展しているが、地質を調査する技術が追いついていない」という指摘がありました。ボーリング調査は確かに先進技術ではないものの、地質調査の基本一つとして、次にお話しします。

私が沖縄で地下ダム調査をし始めた昭和年代の終わりに、ボーリング掘削時にコアをプラスチックフィルムで包み込む技術が普及し、コアの採取率が大幅に改善されました。さらに平成に入った頃には、気泡を用いた高品質ボーリングが実用化されました。琉球石灰岩で高品質ボーリングを行ったら、それまでは送水により流失していた未固結部がきれいに採取できました。これで琉球石灰岩の岩相に対する認識が一変しましたね。

その後コア採取技術はさらに工夫され、緩く堆積した砂礫層などで、以前は難しかった不攪乱試料の採取が、ポリマー溶液などを用いたボーリングによりできるようになりました。詳細な地質性状の把握やコアを利用した試験には、高品質コアが不可欠です。対象地質や目的に応じて、適切なコア採取方法を選定することが重要だと思います。

【細谷】 地質断面図を作成する際、ボーリング調査結果を補間します。そのために、ダムやト

ネルの断面図作成には弾性波探査が使われてきました。また、数mまでの深さ（遺跡調査など）には電磁探査がほぼ正確ですが、その範囲を超えると少し疑問符が付きます。

地質から外れますが、水中の構造物を精度よく測量するには、音波探査の一種、マルチビームソナー探査や、水中3D スキャナーによる水中構造物の形状把握システムがあります。

ところで、災害対応で常々思っていることがあります。災害の後に現地に入ると、当然、被災箇所が目が行きます。被災報告に必要なはないので、結果として、被災していない箇所の観察が少なくなります。しかしながら、この斜面はなぜ滑らなかったか、このため池はなぜ決壊しなかったか。その辺りにも、今後の設計とつながる何かは隠れているのではないのでしょうか。

【中原】 一つは3次元地質モデルの精緻化です。地質情報の共有化や設計・施工者への見える化、さらにはBIM/CIMへの活用が期待されます。地質のオープンデータベースには、産総研の地質図NAVI、防災科研地すべりマップ、地理院GISMaps、国土地盤情報検索サイトなどがあります。今後、地質データを集積・学習したAIを活用した3次元地質モデルも考えられます。これには熟練地質技術者の思考データの活用が肝になるでしょう。

もう一つは、機械ボーリングの自動化です。ボーリングのオペレーターは地質調査の要ですが、その確保が難しくなっています。そこで地質状況に応じた制御削孔プログラムを搭載した自動削孔機が開発されてきています。本機では熟練オペレーター並みの掘削が可能となり、孔内データの取得からグラウト注入・アンカー施工など、省力化や施工性向上などが可能です。



中原氏

【備前】 WebGIS でさまざまな地質・地形関係のデータに容易にアクセスできる時代になり、既に活用されている方も多いでしょう。昔は地質図や土地分類図など、揃えるだけでも多くの労力が要りました。今はワンクリックで操作できて、隔世の感があります。同様にハザードマップも充実してきたので、自分の現場がどのような地形・地質で、どのような災害リスクがあるのか、簡便に確認できるようになっています。

合成開口レーダーというのも出てきています。衛星から電波を出して、地表に当たって戻ってきた信号を解析するもので、地表の変異を定期的に、年間どれだけ動いたかなどがわかる。地盤沈下とか規模の大きい地すべりとか、フィルダムの表面変位などにも活用できるのではないかな。精度が上がっていくことによって、地すべりのリスクのある土地がかなりわかる。そういう時代が間近に来ています。

ただし、地形・地質については、それが何を意味するか、というのはなかなか理解が難しい部分もあります。自学自習という手もあるけれども、地質技術者と一緒に現場を見ることに勝るものではありません。

【榎並】 私は、振動によるアンカー緊張力測定システムを紹介します。

アンカーはかねてより多数施工されてきました。その中には、抑えている地盤の変形によって過緊張状態になっているものがあります。このようなアンカーに対して、アンカーの頭部をジャッキで引っ張るリフトオフ試験で緊張力を測定するのは非常に危険です。

それに対して、振動によるアンカー緊張力測定システムは、アンカー頭部に付けたバイブレーターにより波長を連続変化させた微振動を与え、脇に付けた加速度計でアンカーの揺れを計測します。アンカーの長さや材質、共振周波数から計算で緊張力を求めることができます。

アンカーの規格がきちんとわかり、弱い振動でもちゃんと共振するような条件が要るので、適用できないアンカーもあります。ですが、リ

フトオフ試験の危険性を大幅に低減することができます。試験機が小さいので足場設置費も節約できます。

4. 設計・施工技術者へのメッセージ

—— 地質技術者と協働して良い成果を上げるためにはどういうことが重要でしょうか。設計技術者及び施工技術者へのメッセージをお願いします。

【小徳】 ボーリングコアをじっくりと見ること、これを強調したいですね。例えば発注者の方々は、時間をかけてコアを見られているのでしょうか。

ボーリングコアからは、強度などの物性や岩種ばかりではなく、さまざまな情報が得られます。私はコア観察の機会が多くあり、コアに現れた地質現象がどうやってできたのか想像しながら、ワクワクしてコアを見ていました。その一方で、掘削地点がほんの数メートルしか離れていない箇所でも、コアの地質が違ってうまく対比できなかったりして、悩ましいところです。

設計技術者、施工技術者の方々にも、可能であればじっくりとコアを観察することをお勧めします。最近では、コアの画像を3Dモデル化し、画面上で360度のどの角度からもコア観察ができる技術が実用化されつつあります。柱状図や編集後の地質図・断面図は見られるでしょうが、それだけでなく、図ができ上がる前の状態、地盤の特徴や複雑さ・不均一さを、コアを見ることにより、より深く実感、理解していただきたい。さらに、地質技術者と議論しながら、大地の成り立ちの謎を解くことの面白さも感じていただけると幸いです。

【細谷】 私は、どこの現場でも設計担当の方とよく行動を共にして、多く学びました。地質技術者は、設計内容の確認や勉強がかなり必要です。私の場合、農業農村工学誌



細谷氏

で勉強しました。いろんなことが載っていて、事例も得られて非常に役に立ちました。

設計基準・計画基準も、年とともに整備されていますので、技術書の内容を頭に入れ、必要な時にアウトプットできることが大事です。かなり大変なことかとは思いますが。

設計・施工技術者に望むのは、「地質のことを地質技術者に任せきりにしないでほしい」の一言です。地質分野も地球温暖化対策から地震対応まで、細分化と広範囲化が進んでいます。経験の浅い部分も多々あるでしょう。「3人寄れば文殊の知恵」で、一緒にいろんなことを考えたいと思います。

【複並】 農業土木技術者から見ると地質はわからないものとの印象が強いと思われれます。だから結局、N値さえわかれば設計がすべてできるような機械的な対応に傾きがちです。ただ、N値にもけっこうバラツキがあるし、先ほどのようにN値が強度を代表しないような地質条件もあります。

そういう現実との間をどうやって詰めていくかということになると、地質技術者と相談して現地に合わせた柔軟な対応をしてほしいと思います。一方、地質技術者の方も、相手にわからない専門用語を多用するのではなく、相互理解に注意を払って説明することが求められています。一朝一夕にはならないまでも、常に努力が必要だというのが私の思いです。

【中原】 わが国は変動帯にあって、地層のほとんどがプレート沈み込みに関連して形成され、さらに第四紀以降の引張・圧縮での地形形成や、モンスーン気候下での風化・緩みを受けた、地質リスクの大きな地盤であるとの地質の基本理解が必要です。そして、想定外を考慮した地質リスクのマネジメントが地質・設計・施工技術者ともに必要であり、技術の更なる研鑽、また、リスクを考慮した調査量の確保が必要になってくるでしょう。

施工中に地質リスクが顕わになったり、想定外の地質が出現し施工が困難になった場合、そ

の事象の所在や経時的変化など施工現場での観察を十分行ったうえで、設計技術者と地質技術者にフィードバックし連携することが、追加調査や設計の見直しを含めて、早期の解決につながります。

【備前】 現場を一緒に見るのが近道のように思います。設計技術者・施工技術者と地質技術者では、当然視点が違います。地質技術者はその土地の地形・地質から歴史的なストーリーを読み取ります。土地の成り立ちを理解することでその土地のリスクが明らかとなるのです。例えば第四紀火山噴出物とプレートの沈み込みに伴う付加体とではリスクが異なる。構造物はそのリスクに対応して、その土地を基礎として造られます。リスクに対応するには両者の視点と協働が必要です。

地すべり対策には抑制工と抑止工という2つの基本的な工法があって、誘因を除去・軽減する抑制工に重きを置くことを基本としています。自然に対しむやみに力で立ち向かうのではなく、相手のご機嫌を取りながらうまく折り合いをつけることが、長い目で見ればベターだという考えです。地すべりのメカニズムへの深い理解が必要で、地質技術者の洞察力が活かされる場面です。

また、地すべり地帯に道路を造るのに、対策工で押さえながら通過するのではなくトンネルで地山の深部を通過するとか、リスクに直接対峙せず回避する考えもあります。こうしたさまざまな場面で適用できるような、地質技術者の視点からの発想の転換もあるのではないかと。

農水省の地質技術者の大先輩がおっしゃったように、多くの地質技術者は、大学の理学部で純粋地質学を学び、就職して初めて応用地質学に携わります。先輩地質技術者の下でOJTによって技術を習得し、地質技術者になるのです。農水省の地質技術者は、戦後の緊急開拓期から働き始め、地下水開発、ダム、地盤沈下、地すべり、地下ダムなどに活躍の場を広げ、技術の向上を図ってきました。今日、これまで地質

技術者が携わったようなプロジェクトは少なくなってきました。地質技術者も意識改革しながら、設計・施工技術者も地質技術者を活用して、よりよいプロジェクトをつくってほしい。その中で地質技術者も鍛えられ、よい地質技術者に育っていくでしょう。

いずれにしても、構造物は基礎地盤の上につくられるのであり、地質技術者をうまく活用することがよりよい構造物の築造につながるものであると信じています。

—— 今日のお話、皆さんそれぞれのさまざまなご経験にはもっと、人に言えないようなご苦

労があったかもしれません。けれども、中身の濃い話を伺っていると、現場を一緒に見て歩いているような気分が味わえました。

設計技術者や施工技術者に対するアドバイスとしては、一つは今日の副題でもあります、地質の成り立ちをよく見る、よく知るといふこと、それからまずは一緒に動けという指摘がありました。さらには地質技術者の方も含めて、お互いに勉強もし理解して、一方的にならずともに共に働くこと、協働をしよう、ということになるかと思われま

本日はありがとうございました。

