—山岳トンネルの地下水問題を主対象とした— 私の地質工学への実学的挑戦

大島洋志*

My Practical Challenge to Engineering Geology towards solutions for groundwater problems in mountain tunnels

Hiroshi OSHIMA *

1. まえがき

平成17年5月に栄えある地下水学術賞をいただいた際に、『山岳トンネルと地下水』と題するお話しをし、その要約が学会誌に掲載されてからはや3年になります。その時は、私の還暦記念自費出版本の中の話をもとに構成し、最後に、今後は語り部に徹するつもりであることを記しました。

この3年はその気概でやってきたつもりでしたが、まだ努力が足りないと思えて、今回、新たにトンネルを中心とした地下水問題について、何でも思うところを書いて欲しいとの依頼を受けました。

65歳という年齢は、現役バリバリの方々にとっては十分に年寄りなのですが、私どもがお付き合いしている諸先輩は大変にお元気な方々が多く、私の世代はまだまだヒヨコ扱いであり、居心地が悪く、まだまだ遺言もどきを書くには早すぎるという気もいたしますが、素直にご下命に応えることにしました。といっても、私自身変わりようがありませんので、今日まで私の周りでいろいろと

お教えを頂いた先輩や同輩、後輩の皆様方へ感謝の気持ちを表しつつ、「現場主義に徹底した実学を目指せ」というこれまでの主張に沿って話を展開することにいたします。

2. 国鉄入社のきっかけとなった本との出会い

大学4年に進級しますと、就職のことを考える必要があります。そういう時期、たまたま本屋で『トンネル技術者のための地質学』『湧水と地圧』という2冊の本が目に入りました。著者の所属は鉄道技研地質研究室とあり、地質屋が国鉄の中で活躍できる場があることをこの本から知りました。

開業直前であった東海道新幹線は、そのうち九州博多まで延伸されると聞いておりましたので、地質技術者としてこういった仕事に関われたら楽しいだろうと思いました。講座の松本達郎教授に相談しましたところ、著者のお一人宮崎さんは大学の一期後輩だから聞いてみましょうと言っていただき、4～5年に一度しか地質屋は採用されないというなか、たまたま採用予定があるらしい

* 国際航業(株)技術センター ()
R&D Dep. KOKUSAI KOGYO CO., LTD

とのことで受験いたしました。7人も受験者がおりましたので、恐らく駄目だろうと諦めておりましたが、何故か採用とあいなりました。受験の動機を聞かれた際に2冊の本のことを話したのがきつと効を奏したのだらうと思いました。ということもあって、最初のきっかけを作り、かつ運を開いてくれた2冊の本に感謝しております。

3. 丹那隧道の難工事が鉄道地質屋採用の契機

鉄道に地質屋が入るきっかけとなったのは、16年の歳月(1918~1933年)をかけて完成した東海道本線の丹那トンネルの難工事であったようです。

鉄道地質屋の誕生は丹那の工事が始まって6年後の1923(大正12)年度でして、東京帝大卒の地質理学士三人が一緒に鉄道省(熱海線建設事務所)に入っています。そのうちの一人渡邊貫わたなべとおる(1898~1974)は、『地学事典』や『地質工学』なる名著・大著を世に出された偉人であります。私は鉄道の後輩としてこの雲上人にお会いすることはありませんでしたが、今なお後学の者が参考にできるこの名著を通して、例えば、現場の実例をできるだけ公に残しておくことの重要性を教えられるなどしていますので、大先輩の薫陶に浴している気分になっております。

4. 現場を経験することの重要性

社会人になって40数年、何故か今なお、いろいろな相談を受けております。それは、現場が困っている問題に対して、いわゆる空理空論ではなく、実用的な助言をしてくれるからだ、と言われたことがあります。当の本人はごく当たり前のこととして対応しているのですが、もしも、この姿勢が評価されているのであれば、その原点は間違いなく『若い頃の現場経験』だといえます。そこで、私の今日を方向付けしてくれたであろう二十歳代の頃の現場経験2例を紹介します。

(1) 六甲でトンネル湧水のイロハを学ぶ

国鉄に入社した当時は、『ひかりは西へ』のキャッチフレーズのもと、第一期として岡山までの山陽新幹線建設が始まろうとしておりました。

その中で、阪神間の市街地背後にある六甲山地を縦断する六甲トンネル(16,250m)は大規模な断層破碎帯があり、トンネル工事における最大の難工事になると懸念されておりました。鉄道地質屋としての私の一歩はこの六甲トンネルの水調査から始まりました。

大学を出てすぐの頃です。地質と地下水とがこれほど密接に関係しあっているという認識は全くありませんでした。何故地下水の問題を我々地質屋が担当するのだろうかという疑問を抱いたものです。しかし、携帯三角堰や電気伝導度計などを持って六甲の南山麓の水文地質調査を行っているうちに、沢の流量や水質にはトンネル工事に必要な地質情報が少なからずあることが分かるようになりました。

その調査の最終的な目的はトンネル竣工後の湧水量を予測するということだったのですが、それを恒常湧水量と呼ぶこと、そして、それは季節には無関係に変動が少ないことを学びました。その恒常湧水量の予測法は、高橋彦治氏(当時、鉄道技研地質研究室長)が、当時日本最長のトンネルとして開通した北陸トンネル(13,870m)の業務に従事しながらそれを題材にして提案された学位論文であったことを知り、現場で問題を発掘していくことの大切さと併せて仕事の結果を論文としてまとめ、40歳までには学位を取得するくらいの積もりで仕事に臨まなければならないことなどを教えられました。

しかし、一方で、工事の担当者は、いつ、どこで、どの程度の湧水があるかが一番知りたいのではないのかな?と現状の調査レベルを向上させる必要性も感じることができました。

(2) 福岡トンネルで湧水・湯水問題の実体験をする

地質屋も現場を経験する必要があるという、当時の国鉄建設陣の大方針があったのだと思います。が、国鉄入社6年目に、山陽新幹線建設の現場長を拝命致しました。地質の専門家という小世界に閉じ籠もることなど許されない環境に置かれたわけ。担当区間は福岡県の遠賀川以西、鞍手郡下の約12km間でした。地下に石炭採掘跡がある筑豊の山を貫くトンネルが2本もあり、炭鉱鉱害問題に詳しい九大にパイプをもった地質屋がいると、何かと便利というのが配属理由の一つだった

と思います。ところが、工事が進展していき、福岡トンネルから大量湧水が連続する事態となつて以降、この解決が私に科せられた最大の課題と変わっていききました。

山陽新幹線の昭和50年春博多開業という最終目的を果たすために、与えられた権限の中で自分は今何をなすべきなのか？といった姿勢で仕事に臨む必要があることを実感できました。このときの2年半の貴重な現場体験（特にトンネル水問題での苦労）が、今の私を作ってくれたことは間違いありません。そこで学んだ主な現場経験は、次のように整理できます。

- ・毎分23m³の大量湧水で切羽が崩壊、博多開業の最大のネックとなるというプレッシャーを受ける。その工程挽回のため本坑両側の水抜坑、切羽前方への高速の水抜きボーリング、坑内強制排水を3点セットとする工法を採用するとともに、崩壊した切羽から2.5km前方の沢部に深度110mの立坑を追加施工するなどを体験。また、併せて、崩壊切羽部や立坑施工でも地盤強化や止水目的の注入を実施し、その難しさを体験。
- ・坑内への大量湧水が周辺の農業・生活用水などの水利用へ影響を与え、その解決のための地元協議で悪戦苦闘。工事に起因する湧水問題の解決が工事の死命を制することを嫌になるほど実感。また、この種の問題解決のためには、トンネル湧水を降水や地表水と密接に関連したものとして水収支的に捉える必要のあることを実感。
- ・最後に、工事を円滑に進めるためには、身内、施工業者、そして地元との人間関係を良好に保ちつつ、先手々々で、鉛と鞭を上手に使い分けていかねばならないといった社会学・人間学を体験。

5. 現場が抱える問題を解決してやることの重要性

2年半の貴重な体験をした後、鉄道技研に戻りました（本社建設局も兼務）。以後は直接的に現場勤務することはなくなりましたが、建設中のトンネル現場だけでなく、供用中のトンネルや斜面のメンテナンスに関わる多くの現場の技術指導、ならびに今後整備されるべき整備新幹線や中央新幹線の路線計画に地質・トンネル技術者として関

わる機会が与えられました。また、国鉄だけでなく、鉄道建設公団が進めていた青函トンネルや上越新幹線などのトンネル建設現場などを見せていただく機会も与えられました。

また、この頃からトンネル技術や地質調査に関わる学協会業務を通して、鉄道以外の方々とのお付き合いできるようになり、さらに広い視野、一歩下がった視点でものごとを判断できる機会を与えられました。

私は、そういった現場など抱える箇々の問題解決に対する助言をする一方で、それらの問題の中に自分が貢献できる長期的な課題はないだろうか？という姿勢で臨んだつもりです。こういう観点で取り組んだ事例を三つ紹介します。

(1) 塩嶺トンネルの現場問題を解決しつつ、水文地質調査法の体系化やトンネル水収支シミュレーション手法を提案

30歳前後の頃の私の最大の課題は中央本線岡谷・塩尻間を短絡する塩嶺トンネル（5,994m）の水問題でした。これまでの経験を活かし、私の力の大部分をこのトンネルへ集中させることとなりました。ここで実施したことは次のようなものです。

- ・地下水位や河川流量の変化をトンネル工事の進捗&降雨量の変動との関係で水収支的に計測。
- ・水田用水の尺度として用いられる減水深、土壌水分の変化を測定するpF値などを計測に導入。
- ・地下水の受皿としての地質構造を広域に把握する必要性を主張し、電気探査法や、500m超の多数のボーリングの他に浅層反射法を試用。植生活力度調査法としてリモセン手法も試用。
- ・これらを通して、『トンネル掘削を対象とした水文調査法の研究』により、水文地質調査法を体系化し、以後のトンネル地質調査に適用。
- ・トンネル掘削に伴う周辺水収支の変化を予測する独自のシミュレーション手法を開発し、計画中の整備新幹線等の路線選定調査に適用する。
- ・トンネル工事を対象とした水文地質学的調査・研究で九州大学から理学博士の学位記を取得する。

そして、この業務成果を、平行して担当していた整備新幹線や中央新幹線の路線選定業務などに使うなどして、そのレベルアップを図りました。

(2) スラブ軌道トンネルの路盤噴泥対策に取り組む

山陽新幹線は、軌道構造を従来のバラスト軌道からスラブ軌道へと一大変換させた新幹線でした。ところが、昭和50年、念願の開業を果たして間もなく、岡山以西に数多くある花崗岩マサ地山中を貫くスラブ軌道トンネルに軌道狂いがみられるようになりました。現場調査の結果、列車走行時に地下水で飽和された路盤コンクリート下の間隙水圧が異常に上昇し、打ち継ぎ目などから細粒の土砂を伴った水が噴出し、そのため、徐々に路盤コンクリート下の空隙が拡大し、軌道狂いへと発展していくものと判断しました。

そして、在来線トンネルにおける同種の問題を解決させた経験をもとに、路盤下の空隙を充填のうえ、中央通路下に排水溝を追加施工するという応急対策（恒久対策とはいえない）を採ってもらい、それなりの効果をあげることができました。

この経験は、地下水の豊富な砂質地山のトンネルではインバートの下面には排水溝は設けないなど、土砂の流出を防止する設計的な配慮に生かしました。そして、シラス地山トンネルにおける路盤の水問題処理にも活かしました（(3)-i で後述）。

(3) 九州新幹線のトンネル路線選定やシラス地山トンネルの設計・施工法に関わる

2004（平成16）年春に開通した九州新幹線鹿児島ルートには、自分が九州の出身ということもあり深く関与してきました。その中から2例を紹介します。

i：水に弱いシラス地山中のトンネルの路線選定と路盤噴泥対策を考慮した水砕スラグの採用

シラスは一般の土粒子と比べ、非常に軽く、水浸食に弱い地質です。鹿児島ルートは終点方に約20kmのシラス区間があり、その半分以上が地下水面下のトンネルとして計画されていました。そこで、種々検討の結果次のような配慮をしました。

- ・最大35%の縦断勾配を使うことで、地下水面下となるトンネル長の短縮（11.5km⇒7km）と最大水頭の低下（70m⇒20m）を実現させた。
- ・透水性が良く、適当な強度がある水砕スラグによる透水性路盤の採用を提案し、現場実験を経て、施工法ならびに施工管理法を確立し、実用

に供した。

- ・シラス地山の自立性と水砕スラグの確実な養生のためのウェルポイントの有効な適用を図った。

この一連の施策によって工事は無事終了し、土木学会からは技術賞という栄えある賞を頂戴し、満4年を経過した現在も、トラブルを起こすことなく供用されており、関係者からも喜ばれております。

ii：筑紫トンネルの路線選定

九州新幹線の博多以南には、福岡・佐賀両県にまたがる1,000m級の東西方向の稜線をもつ背振山地が障壁となっています。この山地を南北方向に横断する筑紫トンネルの計画においては、博多駅から車両基地までは、既設路線が南下していますから、その先をどうするかが問題でした。

背振山地の地質は花崗岩で、周辺自治体の水瓶的役割をもっています。いろんな路線が考えられましたが、真っ直ぐに大きな土被りで貫くという当初の案を避け、東側の山裾沿いに小さな土被りで迂回する案と西側迂回案とを比較検討しました。最終的に、水利用の比較的少ない西側に迂回しつつ、新幹線規格の許せる範囲で極力施工基面を上げて地下水頭を小さくするように配慮することで、水環境問題への影響の度合いを少なくできる西側案を推薦し、この案を取り上げてもらいました。

国鉄民営分割10数年後に着工した筑紫トンネルは2007（平成19）年11月に大きな水問題を生じることなく無事貫通し、関係者に感謝して貰えました。

6. 社会に何らかの形で貢献できる学問を目指す（実学への挑戦）

50歳で第二の人生に入ってから既に15年が過ぎました。この間 OB 活動をしながら、自分の専門領域の学協会活動にも力を入れてきました。これらの活動は選ばれること自体、ある面名誉なことではありますが、決して楽なものではありません。若い時代にお世話になったことへの恩返しという気持ちがなければとても務められないと思います。

相変わらず、水で苦労しそうなトンネルの設計

や施工法に関する相談を受けておりますが、その頻度は以前よりもずっと多くなっています。本当に有り難い話で、私自身の生き甲斐ともなっております。

何らかの形で役立ちたいな！と思いつつ、①現場に解決を要する技術的問題はないか？②それらの問題解決に自分の専門を少しでも活かせることはないか？という姿勢を貫いてきたから、こういう有り難い人生を送れているのだと思っております。

気恥ずかしさを覚えますが、参考にしてもらえるところが少しでもあれば幸いとの思いで、私の仕事に対しての人生訓的な言葉を以下に記してみます。

(1) 見れども見えず

経験や勉学の積み重ねがある人となない人が、同一の現場や事象に遭遇し、それを目の辺りに見たとしても、その意味するところが一方には見えるが、一方には全く見えないものなのです。しかし、見えないからといって悲観してはなりません。勉学を重ね、経験を積むうちに徐々に何かが見えるようになるものなのです。でも、それだけにとどまっていたはなりません。さらに磨きをかける努力をし続ける気概が必要です。付加体地質の提唱者として有名な九州大学の恩師勘米良亀齢名誉教授から叩き込まれた教えです。

(2) 地相は人相山の性状

トンネル十訓という教えの中で最初に出てくる言葉です。地形的特徴のなかには地下の地質性状を推定できるものがあるから、ただ漫然と地形を眺めてはいけないよ！見えるようになる努力が必要だよ！という教えなのです。(1)の教えとも繋がりますし、この知識は下記(3)や(4)の想像作業の強力武器にもなるのです。

(3) トンネルセンターを歩こう

トンネルの計画や施工に際し、路線周辺の状況を把握しておくことは大切です。戦前のトンネル路線計画においては、工事責任者等が中心となって自らが山を舐めるように踏破し、問題点を実感しつつ最終決定を下していたそうです。分業化が進んだ現在でもなお、工事の責任者たるもの、全域把握はともかくとして、せめてセンター位は歩いて担当しているトンネルの地形・地質を把握し

ておう必要を説いた、鉄道の大先輩高橋彦治氏から教わった言葉です。

(4) 点から線へ、線から面へ・・・

地形・地質情報には点や線または面的なものがありますが、一般に得られる情報は一次元の点情報が大部分です。しかしこれらの情報はただ漫然とあるだけでは無意味なのでして、常に地形学・地質学的素養で全体像(線⇒面(二次元)⇒立体(三次元))を想像しながら組み立ててみなければ意味をなしません。

(5) 観測・修正法に基づくのが地質調査の基本

情報が増えていくと、上記(4)の三次元的想像作業は新たにやり直してみる必要があるのです。これが地質調査の基本であるということを忘れてはなりません。

(6) 事実と解釈の峻別

上記の想像作業で得た成果はあくまでも「解釈」です。新たな地質的情報が加わる度に行う作業において、この「解釈」を基礎情報(事実)として扱ってはならないのです。これって、実社会では意外に峻別されずに使われており、要注意なのです。

(7) 自分の目と耳で確かめたものを大切に

情報には自分が直接得た以外にも、自分の周囲、論文や雑誌、新聞あるいはネットなどから得られる様々な情報がありますが、それらを一様なレベルで扱うのではなく、自分が直接得た情報(経験も含む)を最も価値ある一級のものとして扱うのが、間違いの少ない結果を導いてくれるものと思います。

(8) 逆解析を過信するな(いい加減な観測データはない方がまし)

最近は何事も計算機を通してみなければ、安心できない時代になっています。観測データをもとに逆解析に必要な諸定数を求め、それをもとに行う計算で今後の状態を予測するという方法が一般化しております。しかし、意外といい加減なデータがあるのが現場の実態なのです。そういう実態を知らずに、一級の基礎データだと信じて得られた逆解析は、実態とかけ離れたものになることが多いのです。計算の結果が、まともなものかそうでないかの判断は、多くの現場経験に裏付けられた勘が必要です。したがって、計算機による解析

等は、その対象業務が結論に至るまでの間に経験者の判断や評価がなされていない、お飾りにしか過ぎないような無駄な使用は避けるべきです。

(9) OB 情報 (古老情報) は活用しよう 衆知を集める

自分よりも長い経験を踏まれた OB や古老の意見の中には、素晴らしい知恵が含まれていることが多いものです。自分が判断に困っているとき、その知恵の一部を活用することで、難局を開示することができるものが往々にしてあるものです。

また、自分一人の判断ではなく、衆知を集めて出した結論の方が、良い結果になることが多いものです。

(10) まず実行、理論はあとから付いてくる (経験工学的発想)

私が経験したトンネル現場は経験の積み上げであって、学校で学んだ学問だけでは処理できない実践の場であるのだとよく聞かされました。現場ではいろいろな難問が起きますが、その都度試行錯誤しながら解決していくのです。もちろん学問的な知識をベースにした作業ではありますが、「四の五のと、屁理屈ばかり言ってないで、先ず実行」「下手な考え休むに似たり」「下手な鉄砲も数撃ちゃ当たる」「当たらずといえども遠からず」といった精神で応急措置をとりながら進めていくことが多いのです。

しかし、それで終わりではなく、これらの成功例と失敗例は、後々のために、何故そうなったのかについて分析・検討し、それを理論の域まで高めておくという作業が当然のこととしてなされるのです。こういう仕事の進め方って、意外に世の中にはあるのです。

(11) 聞き上手

「部下の話は十分に聞いてあげるもんだよ」、と上に立つ者の心得の一つとして教わりました。部下の意見をよく聞きながら、良い方向へ導いて行くという姿勢は、彼らの信頼を獲得でき、結果として良い仕事に繋がるものです。

これとは趣旨を異にしますが、自分自身が仕事で迷路に入りこんだ時、何で悩んでいるかを誰かに聞いてもらう機会を作ったものです。聞き役が何か言ったわけでもないのですが、話をしているうちに、意外と自分の頭の中が整理され、問題の

解決策が見えてくるのが良くありました。聞いている人よりも話している本人の方が真剣に悩んでいるだけに、何が足りないかとか、何が理屈にあっていないかが、明瞭になってくるからだと思います。この方法、案外に効果があるものです。自分に意見をしてくれる人を大切にするのは当然のことですが、話を黙って聞いてくれる人を持つということも大切なのです。

(12) 60点主義、Quick Response

工期を過ぎた100点は価値がなく、それよりは例え60点でも工期内に納めたものの方に価値がある場合が多い、と叩き込まれたものです。工期には縛られずに100点のものを納めるというのが、職人気質の世界では優れているという見方が一般的かと思いますが、そういう考えの否定で、工期至上主義の教えです。とにかく、工期を守ることを第一にし、守れそうにない場合は、仮納品の形でも良いから成果品を出しておきなさい。もし、許してもらえらるなら、許された時間のうちに満足できるものにしたいうえで、差し替えてもらいなさい。何事も Quick Response で、お客様とは常に意志の疎通を図りつつ、現状 (進捗状況) をその都度報告しながら作業を進めなさい、というものでした。

(13) 捨てる神あれば拾う神あり

人間関係がうまくいかないことってよくあります。上司などとの折り合いがうまくいかず、最悪辞めなければならないような事態になったとしても、**蓼食う虫も好き好き**といいますが、一方でその性格を好きになってくれる人もいるものです。職場を替える (上司を替える) ことで、能力が開花することだってよくある話です。うまく行っていないときでも、天は決して見捨てないものだと意識をもつことができればノイローゼにならなくてもすむのではないのでしょうか。

(14) 最善次善次々善

国鉄入社もない頃、どこか有名なお寺 (場所とは思いません) の境内に「最善次善次々善…」という教えが書いてありました。直面している問題の解決を図ろうとする場合、最善と思われる方法をとるのが良いのだが、それが適わないことってよくあるものです。その時点で採用できる実現可能なものに挑戦するのが結局は最善の策になる

のだという教えですが、意外なところでしかも安いお賽銭で人生の教訓を授かって得した気持ちになりました。

(15) 原点に戻れ

「どうしたら良いか、判断に迷うことがあったら、原点に戻って考えれば、自ずから答えは出てくる」という、原点回帰主義の教えは、50歳になって国際航業(株)に入社した当時の友納社長から教わった言葉として今なお新鮮に記憶しております。

この他、(16) 温故知新、(17) 何でも興味をもとう、(18) 多くの人と付合おう、(19) 一期一会を大切に、といった人生訓を大切にこれまでを生きて参りました。

狭い専門領域での常識が、実は別の世界では非常識であるってこと、よくあります。自分の専門ではないからといって逃げないこと、自分の専門外の方々とも大いに付き合うことなどで、自分の視野をできるだけ広角度にしておくという努力は必要ようです。

自分の経験で言えば、夜の席の酒飲み話の中から思わぬ知恵に遭遇したこともありますし、職場とは離れた方々とのお付き合い、あるいは海外に行ってそこの地物や人物に触れるという体験も、

自分の発想のベースを広くかつバランスよいものにしてくれるのに効果があったのではと思います。つきるところ、とにかく良く勉強なさい！ということになります。

7. あとがき

いろいろ、思い出しながら無駄話を書いてみました。この他にも興味を抱かれるかどうかは別として、多くの事例を数多く経験し、話題も持っておりますが、ここで止めておきます。

私が従事してきたトンネルの地下水問題は、性格上多くの方々の目に触れるような形で公表されたものはあまりないようです。個々人が身につけた貴重な経験は、本来何らかの形で継承されるべきものだと思いますが、上記の理由もあって、なかなかうまく継承されていないというのが実態です。この問題は、別に私の専門分野だけの問題ではなく、日本の学問や技術分野において今や共通した問題となっております。

今回の私の無駄話が、若い方々が参考にしていただけるものが少しでもあれば幸いです。終わりといたします。

(受付：2008年2月10日、受理：2008年3月15日)