地質調査と土木工事

住鉱コンサルタント（株）
福島　啓一

福島啓一氏のプロフィール

昭和9年、熊本県生まれ。
九州大学工学部土木工学科を御卒業後、飛島土木（現飛島建設）入社。只見出張所勤務を皮切りに以後40年一貫して建設技術者としてご活躍。手がけたプロジェクトは水力発電所、新幹線、石油化学プラント、各種ダムなど多岐に渡る。特にトンネル技術者としてNATM導入を担当し、第一平石トンネル（東北新幹線）や有間ダム洪水吐トンネル（土木学会技術賞受賞）の技術指導を行う。昭和56年技術士、平成10年工学博士。

平成7年からはコンサルタントとしてもご活躍。「トンネルは経験と勘と度胸」と言い切る福島さんに、4回にわたって土木の世界を語っていただきます。

1.はじめに

土木地質学の本は何冊かあるが、殆どが地質屋さんが書いた本である。つまり土木屋のために地質のことを教えてくれる本である。土木屋の知らないこと、気が付かないことを一杯書いてあり、なかなか役に立つ。

ところで土木屋から見た地質学の本、文章もあっても良いかと思う。土木屋が地質調査に何を望んでいるかという点について書いてみたい。

文化が進み、専門の学問はますます進化しているようであるが、専門化しすぎて、世の中でかえって退歩している点もある。お互いに相手のことを知らずに、簡単なところで誤解したり、せっかくの忠告を無視したりしていることも多い。トンネル技術関係のある会合の、酒の席で出る冗談とも本気ともつかない話に、「設計屋さんは我々が苦労して地質調査をし、報告書を書いても、N値や地山分類の数値しか見てくれない」「施工屋は設計検討書でいろいろ苦労して検討し、施工上の注意点などを書いても図面以外は見てくれない」「コンサルタントは施工の実体をまるで無視してとても施工出来っこない図面ばかり描く」……などの意見が出る。結局は最後にお互いに苦労するなーと云うことでもう一杯飲むのだから、決して深刻な話ではないが、嘘ばかりでもない。専門化しすぎてかえって見えなくなったものもある訳である。

ある専門分野では、当たり前で、誰でも知っているようなことでも、別の分野の専門家ではまるで知られていないこともある。例えば土を扱う人は強度と言えば必ず粘着力cと内部摩擦角ϕの二つに分けて考えるが、似たようにcとϕがあるはずのコンクリートや岩石を扱う人はあまりcとϕに分けて考えないで、一軸圧縮強度一点張りである。

同じ現場に立ち合っても、発注者と請負業者、設計のコンサルタントは違う見方をする。まして、地質担当者の見方はさらに違う。土木屋と言っても、現場屋、トンネル屋と明かり屋、設計屋、計算屋、計測屋、……と種類が多い。どっちがよいとか、悪いとか、なかなか分からない。しかし喧嘩していても始まらない。協力して解決しなければなるまい。

コルゲートパイプなどの埋設管の土圧を計算するときは、盛土高さと土の沈下と管の変形との差を考えるが、トンネルの土圧になると地山種類やゆるみ高さだけを考える人が多い。トンネルだって見方によればでかいヒューム管じゃないか、それにNATMの重視する撓みやすい支保とはコルゲートパイプそのものではないのか、しからば土被り、地山種類と支保のたわみ易さ、さらには施工順序が問題の筈と私は考えていますが。

新しいことを研究したり、発明したりするにはなかなかの才能もいるし、金も時間もかかるし、凡人の良くなし得ることではない。しかし一寸隣の分野の人には良く分かっていることをこち

らでも利用するのは、特許料も開発費もかからないし、特別の専門分野もない身には、まあ得意技の一つかなと思って、気のついたことの2、3を書いてみる。

2.トンネル工事と地質

地質との関係でトンネル工事の何が難しく、注意しなければならぬかというと、硬すぎる岩石と、強度が足りなくて崩れたり、強大な土圧が働く地山、大量の湧水などである。まれには高熱が出たり、ガスが噴出したりするのも要注意である。岩石名、地層名、成因等は調査の過程では必要であるが、土木屋としては岩石は硬いか、軟らかいか、切羽が崩れ易いか、支保や巻立にどのくらい土圧が働くか、水やガスが出るのか、などなどの結果が知りたいわけです。掘るときは軟らかく、削孔は容易、支保もあまり要らず、水も出ず、風化もしにくい地山が理想的です。硬すぎてロッドが折れるようでも、火薬が沢山要りすぎるようでも困る。掘るはしから崩れるのはもちろん困るが、掘るときは立派に自立しているのに、あとで強大な土圧が働く地山もあるので、切羽観測だけでは油断ができない。

岩石名だけではよい地山かどうか判断できないところも悩みの種である。

トンネルは地質さえよければ掘るのにそれほどの困難はない。鉱山は歴史時代以前から掘られているし、水道、農業用水のトンネルもギリシャ・ローマの時代から盛んに掘られている。ローマの水道というのは特に有名で、大抵の歴史の教科書にも深い谷を渡る、悪魔が一夜のうちに作ったという伝説もある、雄大なアーチ橋の写真が出ているが、実は水路延長の内、殆どはトンネルである。

日本でも古く平安時代に対馬で長さ約40mの農業用水トンネルが掘られている。江戸時代までに東北6県だけでも鹿妻穴堰(盛岡市)、岩堰用水(秋田・米代川支流)、奥寺用水(岩手)、飯豊山穴堰(山形)、戸の口堰(福島会津、最長トンネルは滝地山トンネル、L=1,026m)その他約20件のトンネル工事がある。その頃までともな地質調査は出来なかったはずで、悪い地質での苦労は数知れずあったろうと思われる。しかし現在でも断層を突破とか、大湧水を克服とか、トンネルの工事記録での話題は今も地質の悪いところで如何に苦労したかに集中している。36計逃げるにしかずという諺もあるが、トンネルだって地質の悪いところを避けられればそれほど苦労はしない。楽に、安く、確実にトンネルを掘る一番良い方法は今も昔も地質の良いところを、あまりケチケチせずに充分な調査をして、ちゃんと選んで貰うことである。

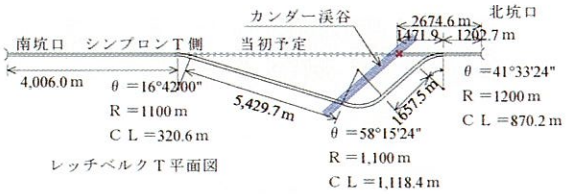

図1　レッチベルグトンネルの概要図

3.途中で曲げたトンネル

地質の悪いところを避ければよいと云っても、事はそれほど簡単ではない。調査も難しいし、地質屋さんの調査結果の判断と、実際にトンネルを掘って難しいかどうかの結果とはピタリと合っているわけでもない。掘り始めたがとんでもない事故に遭い、諦めてしまったり、途中で曲げてしまったトンネルさえある。

3.1　レッチベルグトンネル

ドカンと発破をかけたら、切羽にいた全員が消えてしまった、2年もかけて折角掘ったトンネルが半分埋まってしまい、どうしようもなくて途中からトンネルを曲げて掘り直したというので有名なのはスイスのレッチベルグトンネル*1である。(図.1、2参照)。

これは13.7kmの、当時世界第3位の長い複線鉄道トンネルである。アルプス山中のこと、高い山が天をつくような地形であり、岩石は硬くて困るぐらいで、トンネルが崩れるというような心配は誰もしなかったようである。しかし鉄道は渓谷沿いにいくつかのヘヤピン曲線を作りながら上り詰めてトンネルが出来るだけ短くなるように路線を選定しており、坑口のそばには当然川がある。北坑口のそばの川には支流があり、ぐっと曲がって坑口から2.7km付近でトンネルと交差するが被りは200m位あり、心配することはないと云うのが大方の意見であった。もちろんここは危ない、路線を変えるべきだという少数意見もあったそうであるが、多勢に無勢であった。地図を見るとユングフラウをはじめ3～4,000m級の山々から流れ下る氷河の下流であり、両岸には断崖が迫り、滝あり、急流あり、黒部渓谷か何かのように素晴らしい景観かと想像される。「……かなり浅い被りにもかかわらず、ガスタン谷の下を掘るとき沖積層に出合う危険性はいささかもない。沖積層は最大でも60～70mであり、

講座

図2　レッチベルグトンネル付近地形図

最低でも100mの硬い岩の被りが残っている……」と、専門家が太鼓判を押した。専門家がそう言うのだから、心配することはない。1906年10月29日、当時の最新鋭の機械を揃えて両坑口から威勢良くトンネル掘進が始まった。

約2年経った1908年7月24日の朝、北坑口から2,674mの切羽にいた25人の坑夫はいつものように発破に火をつけた。火薬が爆発する前に100m以上避難したと思われるが、詳細は何も分からない。爆破と同時にガスタン谷の堆積土砂が瞬時にして2年間かけて掘ったトンネルを半分埋めてしまった。186m上の地表には直径150mの穴があき、渓流の水が渦巻き白く泡立っていたと云われている。トンネルを埋めた土砂は掘っても掘ってもまた押し出してきてどうしようもなく、遂に1,472mを諦めて、ここに石積みの壁を作り、そこから図のようにトンネルを曲げて2km上流でガスタン谷と交差した。曲げた方のトンネルは何事もなく、当時の世界記録の速いスピード12.25m/日(両坑口)で掘削し、1912年4月には覆工も終わった。最初からトンネルを曲げておけば25人の命も助かったし、2,000mほどトンネルを余分に掘らなくても良かったはずである。

土木の仕事は地図に残る有意義な事業と自負している人も多いが、こんな曲がったトンネルの地図は余り残したくないものである。しかし今ではこの地図を眺める人たち、汽車に乗りこのトンネルを通る人たちは何でこのトンネルはこんなに曲がっているのだろうと疑問に思うこともあまりないであろう。

3.2　中山トンネル

日本でも工事を始めてから曲げたトンネルがいくつかある。上越新幹線の中山トンネル(群馬県・高崎～上毛高原間)*2*3もその一つで、両坑口と斜坑1本、立坑2本から工事を始めたが湧水が多くてにっちもさっちもいかなくなった。工事用斜坑1本は取りやめてしまい、深さ372mの四方木立坑を5年10ヶ月もかかって掘り下げたがあまりにも時間がかかり過ぎて、この立坑から約4kmの本坑を掘る予定が約1kmしか掘れなかった。本坑も難航し中心線を変更したが、これでも追いつかず再度変更した。強度が小さく、湧水も多い八木沢層を避けるように延長約1,800m間を本線右側に85mずらしてやっと完成した。このためR=1,600mの曲線がはいり、列車は240km/ hrの予定が160km/hrと速度制限せざるを得なくなった。(八木沢層群は凝灰角礫岩、凝灰岩、泥岩よりなるが殆ど未固結で、しかも20kg/cm^{2}以上におよぶ被圧地下水を大量に有しており、トンネル掘削を阻んだ。)

路線決定時には3km間隔のボーリングしかなく、想定地質は相当違っていた。この様に難航する地質とは考えられず、着工前には特に施工上の問題は指摘されていなかったという。路線は作業坑の位置を考えて選定したようで、ほぼ直線であり、約15kmのトンネルを設計時に85m右へずらすことは何ら問題ない。ただそのような認識で地質を調査したのか、約400mも下の地質をそれだけの精度で推定できたのかは今でも難しい問題であろう。

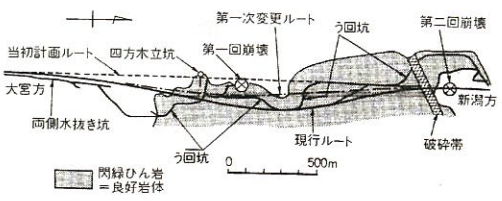

図3　中山トンネル概要図
(白抜き部分が主に八木沢層からなる不良岩)

3.3　青函トンネル

青函トンネル青森側も、竜飛斜坑が難航したため当初は岬先端を通っていた路線が東側に

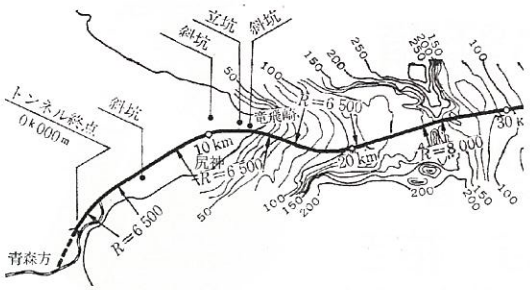

図4　青函トンネル竜飛側平面図

変えられた。幸い本坑はまだ着工していなかったので、旧路線にとりつくはずの斜坑底から新本坑まで1km余の連絡トンネルを余分に掘るだけで済んだ。しかし「青函トンネルの竜飛側の平面図を見ると、斜坑が坑底に達してまもなく戻り気味に東に折れていて何となく不自然である。出来るだけ海底部を短くするために、竜飛崎から海に入った訳だが、その為に、数多く貫入している玄武岩の岩脈に悩まされ、手こずった。先進導坑はこの岩脈群にからまないようにこれに直交的に入れて本坑に達したものである。……もっと東によせてはどうかという意見もあった……それまでの調査結果、尻神あたりから西には玄武岩の岩脈が多く、難儀するだろうとの懸念があったからであった。しかし……」(佐々保雄)。この意見に従うと地上からの調査はほぼ限界までし終わったので、実際にパイロットトンネルを掘削してみる以外に調査の方法がない、また将来は排水トンネルにも役立つとして着工をいそいだ斜坑が無駄になる。竜飛側陸上部で相当の湧水があったが、この意見が通っていたらもっと楽に掘れたかどうか、何とも分からない。しかしここに挙げた例だけが、地質調査が不十分だったり、誤りだったりしたわけではありません。むしろ誠実に調査の不十分さを認め、早く決断して是正したとも言えます。もっと多くのトンネルで調査不十分を認めず、施工業者や作業員に無理を押しつけ、場合によっては事故を起こさせている場合もあります。

4.予め悪い地質箇所を避けた例

トンネル地質調査は路線選定に活かしてこそ効果が上がるものである。調査の結果、当初予定したトンネル路線を変えた例としてTerzaghi*4も紹介しているニューヨーク市水道の新クロトン水路のハーレム川サイフォンがある。当初EL−36mのところで河川の下を潜る予定をEL−90mに変えて、掘削し、断層を避けた。

ドーバー海峡トンネルもはじめの頃はバーン浅瀬の下を通る計画であったが、地質調査の結果、多少水深は深く、延長は長くなっても地質の良い現在の位置に変えられた。また縦断線形は透水性の低い白亜層の中を通るように、途中で何度も勾配を変える線形が選ばれた。

九州新幹線第2今泉トンネル(熊本県)*5では蛇紋岩地帯をなるべく短くするように、この層と直交するように当初計画から路線を変えた(図.5参照)。

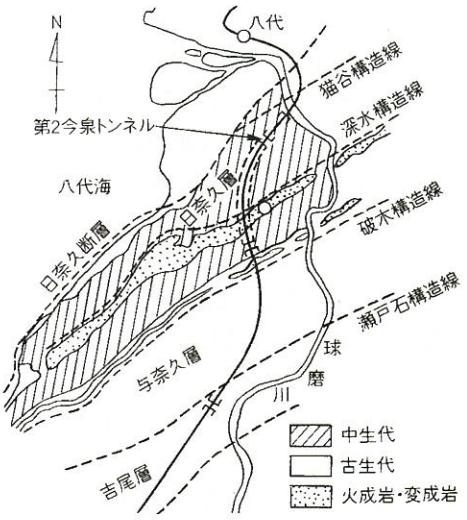

図5　第2今泉トンネル通過部の地質概要

地質調査技術は日進月歩で進歩しています。レッチベルグの悲劇や世界のトンネル史でも屈指の難工事と言われた中山トンネルのようなことはもう心配しなくて良いものと期待しています。

次回は坑口位置の関係などで路線は変えられないとき、地質調査には何が求められるのかについて考えてみます。

参考文献

*1　G.E.Sandström:The History of Tunnelling
*2　土質工学会:建設工事と地下水(土質工学ライブラリー19),第5章,1980
*3　近藤達敏:地質調査の不確実性とトンネル工事のリスク評価,応用地質,2000.6
*4　K.Terzaghi:Introduction to Tunnel Geology (Rock Tunneling with Steel Support所収)
*5　江藤幸記他:蛇紋岩地山をNATMで掘る—九州新幹線　第2今泉トンネル、トンネルcと地下,1993.10