

# 地質調査と土木工事 (その3)

住鉱コンサルタント(株)  
工学博士 福島 啓一



## 9. 地質調査の必要性

地質の悪いところは避けてトンネルを通せばよいとは云っても、坑口の位置、ダムや発電所の位置が決まっていればトンネルの位置について贅沢は言えない場合も多い。そんなときは、度胸を決めて掘るしかない。カンと度胸で掘るのだから、地質調査などあまり要らない、余り役に立たないと云う人もいる。現在は路線が決まってからの地質調査の方に重点が置かれ過ぎているのでこんな意見にも一理ありそうである。本来もっと路線を決めるための地質調査をしっかりやるべきだと思うのですが。

しかし地質によって、施工機械・設備が変わるし、支保工の形、寸法、量も変わる。必要な作業員の数も変わるので、地質が分かっていると計画も立たない。

H鋼支保の時代、あるトンネルでは弾性波速度が高いので、大型削岩機をのせた全断面用門型ジャンボーを計画し製作した。(当時ジャンボーはトンネル断面に合わせてその都度特注でつくった)しかし、ここは砂岩・泥岩互層で掘ってみるととても全断面で掘れなくなり、ジャンボーは最後まで坑口で雨ざらしになった。(弾性波速度は互層の場合など、地質状態を正しく反映しない例が多い)

地質が悪くなると、小さな断面の導坑でまず突破して、後で切り抜けるのが当時の施工法であるが、どこから大断面にもどすか等は、先の地質が分からないと判断できない。

工事が終わり近くになると、現場の担当者は残り何基H鋼支保工がいるのか、何時貫通するかを心配し始める。山が良

くなって、加工した支保工が余っても困るが、悪くなって、あわてて支保工を注文したのでは現場で仕事が手待ちになり困る。作業員に1ヶ月前に解雇予告を出す必要があるが、速く出しすぎて、最後に人手不足では困る。こんなことは先の地質が分かれば、予測が付きやすい。

最近のジャンボーは殆どが、ゴムタイヤ付きの汎用機械になり、必要期間だけ借入れするので、地質が変わって要らなくなれば返せばよい。NATMでは支保工は吹付けコンクリートとボルトとH鋼であるが、吹付けコンクリートの厚さ、ロックボルトの長さ和本数、H支保の間隔が変わるだけ(寸法は殆ど変わらない)である。残っても転用が出来、あまり残り必要量を心配することはない。

NATMでは多少地質が変わってもほぼ同じ体制で仕事ができる。A地山もD地山も同じ補助ベンチ付き全断面だから、同じ機械を使える。路線が決まってしまってからどんなに精密に地質調査をしても今更地質が良くなりっこない、地質調査はそれほど要らないと地質調査不要論も酒の肴に出ることになる。

しかし、先が見えることは精神的にも安心だし、TBMやロードヘッダなどを使う機械掘削の場合は地質に非常に左右されるので、先が見えないのは困る。

## 10. 一寸先は闇

トンネルは一寸先は闇という。発破をかけたなら突然地山が変わり、水と土砂が噴出して、命からがら逃げ出した例もある。東海道新幹線南郷山トンネル(静岡県)では突発湧水で作業員は胸まで水に漬かり辛うじて逃げた。トンネル内で最

大水深は3mくらいあったという。黒部第4ダム工事に用いた大町トンネル(長野・富山県境)はもっとすごかった。「突然切羽付近の地盤が膨張して80cmも膨れ上がり、鉄製支保工がその圧力に耐えかねて押しつぶされ、同時に切羽が崩れ落ちて、上部から水とヘドロが猛烈な勢いで吹き出し、また瞬時にして岩片や土砂を押し出して、坑内はたちまち水浸しとなった。」その前から地山は悪くなり、多少予測は出来たことであるが、この断層の突破に7ヶ月もかかった。

前回紹介した中山トンネルはもっと凄かった。長いトンネルなので両坑口からだけの工事では間に合わない。途中に、斜坑1本と立坑3本を入れて、10個所の切羽から掘削する計画で工事を進めていた。ところが現場はまるで高さ300m余のダムの底にトンネルを掘るような大量、高圧の水が出た。斜坑からの工事は斜坑そのものの掘削が出来なくなり、止めてしまった。四方木立坑の下では最大毎分80m<sup>3</sup>の湧水があり、51人の作業員は水に浸かりながら立坑まで逃げてきた。ところが悪いことは重なるもので、その時現場は停電して、エレベーターが動かなくなった。色々努力してやっとエレベーターが動いたときは水没寸前だったそうである。この後、前に紹介したような路線変更などもあって、工事費も増え、1976年に開業予定が1982年まで遅れてしまった。

鹿児島県のNトンネルでは岩盤からシラス層になるところで突然天端が崩壊し、地表まで径30m、深さ50mくらいの穴があいた。シラスは瞬間的に液体状になって流れ、作業員を吹き飛ばし、100m余にわたってトンネル内にほぼ水平に堆積した。水を含んだ砂地盤は地震の時液体同様になり、その上の建物や橋脚が傾いたり、下水管が浮き出すことは最近よく知られてきたが、水が無くても瞬間的に強い衝撃を与えれば同じ現象が起きるのである。切羽にいた作業員は犠牲になってしまった。

石川県T発電所水路トンネルでは切羽崩壊でずり積み機もジャンボも土砂に

埋まった。発破の時で人がいなかったのが幸いであった。

このような不幸な事故を防ぐには、地質が前もってわかっておればよい。ボーリングをして水を抜くとか、注入やパイプルーフなどの補助工法を使えば、崩壊事故を防ぐことができ、工期も短縮でき、経費も節約できる。

しかし地表からの調査だけでは地下深くのことはなかなか正確には分からない。それなら切羽からボーリングすればよいと云う発想がある。青函トンネル海底部はこの様な考えで、トンネルの横にボーリング座を造り先進ボーリングをすることになった。しかし現実には厳しい。ボーリング座を造り、機械を据え付ける間も切羽は進み、ボーリングが始まる頃にはかなり先に行っている。ボーリングが早いと言っても、トンネル掘削の数倍位である。かくて常に先進ボーリングではなく、後進ボーリングだと悪口を言われる羽目になった。

ボーリングが遅れるのは、コアを採るために機械が大きく、ボーリング座を造るにも、機械を据え付けるにも時間がかかりすぎる。進行も遅い。発破孔を掘る削岩機で削孔し、練り粉の色や、削孔時の推力、回転力などで地質を判定する程度なら、あまり時間もかからないと云う意見も出て実施例もある。スウェーデンではTBMに先行ボーリング削岩機を据え付け、常時切羽の先の地質を探った例もある。

最近では反射波などで切羽前方の地質、断層などを予知しようとする研究も盛んである。しかしトンネル屋はなかなか切羽を止めたがらないので、計測作業の時間をとるのが大変である。普通は昼休み時間中にやってくれとか、連休の時やってくれとか、とかく邪魔者扱いをされる。本当に危険が予知できるのであれば、多少工事の邪魔になっても、有り難いことであるが、現状では機械も大きく、時間がかかり、精度はまだ充分ではないようになかなか理解して貰えない。切羽が順調に進んでいるときは特にそうで、平和ぼけのどこかの国の有事法制と同じ様な話になってくる。



## 11. 一寸先だけが闇ではない

しかしトンネルは一寸先だけが闇ではない。トンネルの外側もよく分からない深い闇である。切羽から100mくらい離れた後方で崩壊することも多い。事故が多かったことで有名な丹那トンネルの最初の事故(1934)は掘削が終わりセントルを組んでいるとき起こった。16名が土砂の下敷きになり死亡したが、その他16名が崩壊場所より奥に残り、救出されるまで8日間閉じこめられた。遺書を書いた人もいたが、世話役が良く皆を統率し、希望を失わず体力の保持に努め生還に導いた<sup>11) 12)</sup>。北陸線長浜トンネル(富山県)も上半切羽より約20m手前で地表に達する崩壊を起こし(1967.1.20)、奥に作業員5名が閉じこめられた。この時は送気鉄管が生きていたので、食料などを送り込むことが出来た。ある新聞社が鉄管から写真機を送り坑内の様子の写真をスクープして話題になった。82時間後に全員無事救出された。写真3はTerzaghiの論文<sup>4)</sup>に載っていた切羽写真である。切羽は全面岩盤であるが、天端からこぼれ落ちた砂が切羽前の路盤に山になっている。切羽の先でなく、上に悪魔が潜んでいた例である。

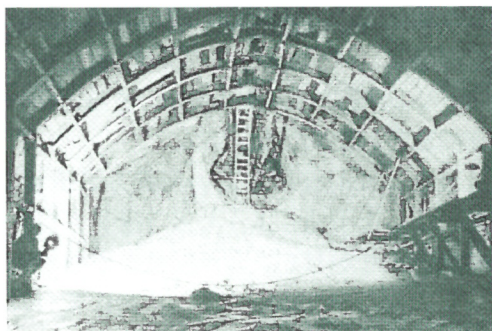


写真3 断層より流出した砂と水<sup>4)</sup>

鹿児島県のNトンネルでも似たような例があった。残念ながら写真がないが、現場にいた人の話によると、天端の小さな穴から、砂時計の砂が落ちるように砂が落ちてきて、あっという間に切羽に山になったという。この切羽から5mほど行ったところで前記したように突然切羽天端が崩壊し、地表まで高さ50m、直径30mくらいの穴があくという大事故に

なってしまった。

丹那トンネル西口4950ftの断層では大湧水で水死者が出た。その当時のトンネルは底設導坑を先進させていたが、断層にあたってにっちもさっちもいかず、迂回坑を掘った。幸い断層の薄いところがあり、そこを抜けて断層の先に出たのはよいが、断層の所で突如大湧水があり、切羽にいた16名が水死するという事故が起きた<sup>11) 12)</sup>。

木製支保や鋼アーチ支保の時代にはそんな事故もあったが、最近のNATMで掘るトンネルではそんな事故はないと思いたいが、少なくともはなっても、まだなくなっているわけではない。

先進ボーリングがうまくいっても、それだけではこの様な事故は防げない。つまり一寸先だけでなく、一寸外側も闇なのである。これを防ぐには先進ボーリングだけでは足りない。

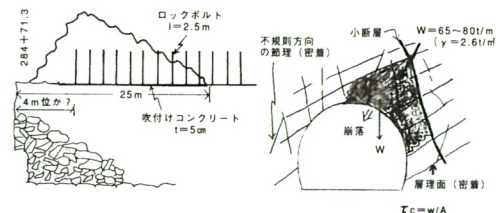


図10 切羽後方での崩落例<sup>13)</sup>

## 12. 切羽スケッチ

大抵のトンネル現場で切羽のスケッチを描いているが、これは工事に役に立っているのだろうか。切羽スケッチだけでは物足りなくて、写真を撮りコンピューターで画像処理をして切羽図を作る研究も行われている。IT時代とかでそんな研究も悪くはないがもっとやって貰いたいことがある。現場でほんとうに役立つにはもう少し、工夫して貰いたい。

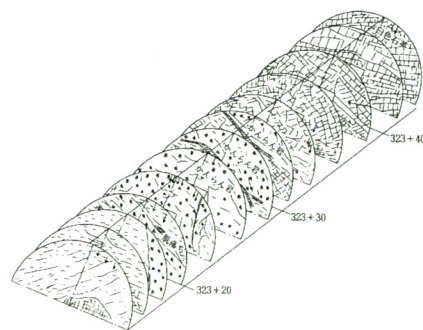


図11 切羽スケッチの例 (道路トンネル技術指針より)

現状では切羽スケッチ図は単なる記録であり、死亡診断書である。知りたいのは現在の切羽がどうかということより、次の切羽がどうなるかである。つまり本当に欲しいのは死亡診断書でなく、治療の参考資料であり、それから出てくる診断と対策である。切羽スケッチが役に立つとすれば、それから次の切羽の状態を推定するのに役立つからである。次の切羽が崩れやすかったり、多くの水を含んでいたりすることが前もって分かればそれなりの予防措置をすることが出来る。

切羽スケッチから地質縦断図をつくればかなりの前方予知が出来るのではなからうか。その結果によっては切羽を止めてでも前方のボーリングをしたりなどのさらに精密、正確な調査を行うことにも説得力が出る。

トンネルは掘ればよいものではない。掘った後、長年安定し自立して貫わなければ困る。そのためには切羽ではなく、掘った土でなく、掘ったところの外側がどんな状態かを知る必要がある。NATMは地山そのものをトンネルの支保材として活用する工法である。天端や側壁、底盤の目に見えている所より外側はどんな地質状態になっているかで、支保の寸法、巻立ての必要強度は変わる。掘ってしまった地山がどんな物かよりも、掘らないで周囲に残っている地山がどんな物で、どんな状態になっているかが大切である。トンネルを掘る立場から言えば、掘る岩石が硬いか、柔らかいか、切羽が崩れやすいかが大事ではある。しかしそれは切羽でしっかり観察すればすむことであり、掘ってしまったからはそれはずりになるわけだから、どうでもよい。ずりは捨ててしまうわけだし、たまには盛土材料やコンクリートの骨材に使うが、それでも、切羽にどんな形にあったかなんてどうでもよいことである。

しかし、トンネル外側の地山状態が大切だといっても、それがどうなっているかを調査・試験するのは大変である。手っ取り早く、確実に、経済的にトンネル外側の地山の状態を知ることが出来るのは、切羽スケッチや側壁、インパート

のスケッチである。その他、目に見える切羽だけでなく、ロックボルト削孔の時のみ下がりや削岩機の手応え、内空変位測定やロックボルトの応力分布なども参考になる。これらすべてを考えに入れて切羽スケッチは切羽の外側まで描いて貰いたい。そうすれば図11のような事故は予防できたかも知れない。

事前調査と切羽での情報を総合して、トンネル外側までの立体的な地質図をつくれれば、土木屋が計測の解釈に役立つし、支保その他の対策をどうすれば良いのか判断するのに役立つものとなる。

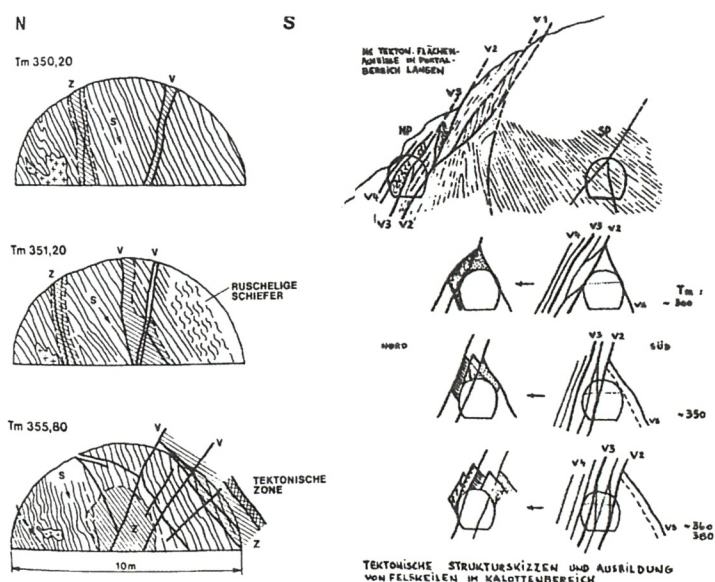


図12 切羽スケッチの例<sup>14)</sup>(Arlberg T)地表踏査なども加えて、切羽の外まで描いてある。

#### 参考文献

- 4) Karl Terzaghi: Rock defects and loads on tunnel supports, included in "Rock Tunneling with Steel Supports by Proctor and White", 1946
- 11) 国鉄新橋工事局：丹那トンネルの話、1933、復刻判1995、鹿島出版会
- 12) 吉村昭：闇を裂く道、1987、文芸春秋社、1990、文春文庫
- 13) 鈴木守：山岳トンネルの地質—体験的トンネルの地質論—、2002
- 14) Franz Pacher: Underground openings Tunnels, review and comments, Design methods in rock mechanics, Proc. 16th Symp. on Rock Mechanics, Sept. 1975