

青函トンネル建設の経緯

青函トンネルの構想は一九二〇年代からあったが、地方の願望の域を越えなかった。その後、一九三九年（昭和十四年）頃に日本全国縦貫弾丸列車案が、当時の鉄道省幹線調査室でたてられ、この津軽海峡のトンネルも研究されたが、現在の路線と違って、東の下北半島から北海道汐首岬に行く案で、水深の非常に深い所を通るものであった。この弾丸列車案は、今の東北、東海道、山陽の各新幹線として現実のものとなっており、さらに九州の呼子から杵岐、対馬を経て、朝鮮に渡り、東京発北京行きやベルリン行きを構想したものであった。

戦後も敗戦に打ちひしがれていた中で、鉄道はその直前の一九四二年に、関門トンネルの上下線開通をなしたとげた自信を得て、一九四六年（戦後一年）頃から津軽海峡の調査の事前作業にほぼつづっていた。主として本州、北海道両岸と、戦後要塞地帯でなくなった津軽海峡の海図などで研究して、現在のように津軽半島の方を通る案をよしとするのが決定的となった。

その理由の第一は、海図が軍の管理から離れて運輸省（鉄道省）の海上保安庁の方で公開されるようになること、下北半島廻りの東を行く案では水深が二七〇メートルと深く、しかもここは太平洋からの海谷が西へ延びており、氷河時代でも海であったことを示している。その海谷がさら

に西へ延びて、津軽半島の北あたりで一四〇メートルくらいの浅い部分にぶつかる。ここは多分氷河時代は陸で北海道とつながっていた可能性がある。つまりマンモス象やナウマン象などの通路であった可能性がある。この海底の高まりはさらに西に行くとも再度深くなり、日本海につながってゆく。このことは、その後の調査結果をも加えての話ではあるが、いづれにせよ、水深が小さいことは、海底トンネルを掘るときに難敵である水圧が低いことを意味するので、津軽半島廻りの西を行く方が、東廻りより掘りやすいのではないかということになったのである。

さらに東のルートでは、北から樽前山、昭和新山、有珠岳、函館の東の恵山、本州に渡ると恐山、八甲田山、十和田湖などを経て那須連峰に至る、日本列島の骨格を成す那須火山帯が通っている。西のルートでは、一九九三年（平成五年）に大きな地震・津波の被害を受けた奥尻島や、その南の渡島大島・小島と火山島があり、さらに本州では岩木山、出羽三山につながる鳥海火山脈が通っているが、前述の海底の高まりからは外れていそうである。このような想定から、西の方が地質も良いであろうと考えた。これは、その三〇年前から十数年前にかけて掘った、東海道の丹那トンネルの体験による。日本有数の火山帯である富士火山帯の中を掘り、多数の死傷者を出し、大出水にも遭遇した難工事であったので、鉄道の技術者の火山帯に対する警戒心がまだ消えてはいない頃でもあったからである。

そこで、この頃に津軽半島廻りにしようとする案にほぼ決まっていた。しかし、これらは細々

と戦後の混乱の中で行なわれていただけで、戦災による大きい被害からの復興に懸命であった国鉄にとっては、実現をみるとは思えなかった。

これを実現に向けて風を一変させたのは、世にいう洞爺丸事故であった。

一九五四年（昭和二十九年）九月の15号台風は、大きな規模であった。一度は九州に上陸して被害を与え、北上して日本海に抜けた。そしてそのまま日本海を北北東に進んで、いずれ消えると考えられていた。その頃は旧ソ連側の気象情報は日本には入らず、日本側の情報だけで予測していたが、この台風は日本海で台風のエネルギーを増加させて、北東に進路を変えて津軽海峡へと進み、さらに函館を直撃する進路を取った。函館港は東に函館山、北に湾入して西に山々を含んだ陸地があつて、函館山を頭とする巴港と呼ばれていた天然の良港である。台風や冬の季節風の強いときは船の避難港として使われ、今もなおそのような機能を果たしている。

しかし、この良港にも一つだけ弱点があつた。南に開いた湾口と日本海との間には、津軽半島北端の竜飛崎をかすめ、津軽海峡を何の障害もなく北東進できる風のみちがあつたのである。その幅は、函館港から見て約八度くらいの角度で、わずかに日本海からの直進路があるに過ぎなかつたので、その通りみちを台風が来ることはきわめて稀であつた。しかし、この台風は日本海を時速一一〇キロメートルという猛烈な速さで進み、九月二十六日の夕方に、この唯一狭い風のみちを通して、日本海から函館を直撃した。そのとき気圧は九六〇ヘクトパスカル（ミリバール）、

最大風速は瞬間で秒速五〇メートルを超えた。

それでも、夕方五時頃は一時的に天候もおさまり、夕焼けも見えたので、一一六七名の乗客を乗せた洞爺丸は出港した。ところが台風の眼の部分が過ぎると、猛烈な風浪となり、船は函館に引き返したが、岸壁には着くことができないので、その西の七重浜の方に退避し、場合によればその砂の上に座礁して安定を保とうとした。しかし高い風浪でボイラーが浸水、動力が停止し、風を横に受けながら海岸に近づき、海底に船底が接触して横転してしまった。そのため一〇五一名の旅客が死亡、さらに同様な形で沈没した貨物船合わせて五隻の乗務員三七九名を合計すると、一四三〇名の遭難という、世界第二の大海難事故が起きた。（ちなみに世界一位はタイタニック号で一五〇五人遭難。）

これは、戦後の復興のきざしが見られるようになった日本に、大きいショックを与えた。当然マスコミはいっせいに国鉄の安全対策を批判するし、また、函館では遭難された人々の対応に追われ、火葬の煙は何日も陸上を覆ったという。

たまたまその年に国鉄に入社した私は、蒸気機関車の運転実習で尾久の機関区に作業服と制帽のままで通勤していたが、この事故には東京付近の人々も多く含まれていたので、服と帽子を風呂敷に包んで普通の背広で肩をすくめながら通勤したことが思い出される。交通機関としては安全確保が至上業務でなければならない国鉄も、なんとか安全な陸路、つまりトンネルで、天候

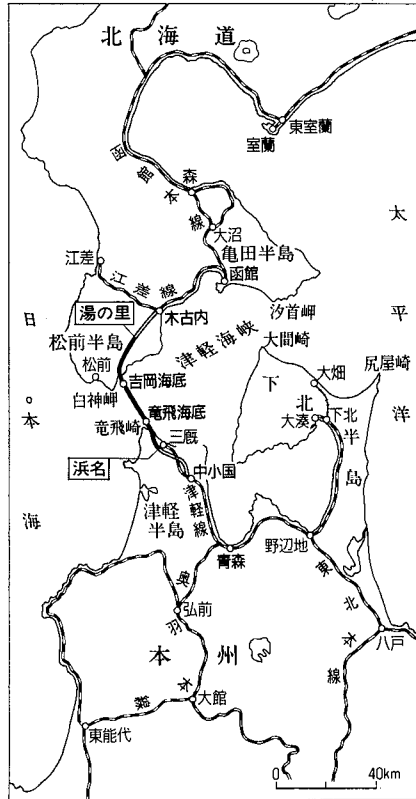


図1 青函トンネル周辺の関係地図

定路線はしばらくいられたので、その先見性は調査の区域を限定するのに役立つし、他の予定路線からの干渉をまったくなくするメリットがあった(図1参照)。
私は入社一年の見習い前期を終えたところで、その調査要員に加えられた。しかもその中で唯一の独身者であったために、交通も不便な本州側の竜飛崎を中心とした地域を担当することになった。そこは流れも速く、潮の渦巻きができる、最も海況の悪い所であった。海峡を吉岡(北海

に支配されずに北海道と本州を結ぶことが、この洞爺丸事故のような大事故の対策であると、その年度内に委員会などがつくられた。
その結果、翌年の一九五五年からトンネルの本格的な調査検討に入った。その背後には、一〇年ほど前に規模は小さいながらも世界最初の海底トンネル、関門トンネルを開通させた経験もあったのである。天候に左右されない安全な輸送の道を確認するという、北海道の長年のひそやかにだが熱烈な悲願が、青函トンネルをさらにブッシュし、世論もトンネル建設の方向に高まってきた。
こうして青函トンネルは、北海道、東北の経済発展や社会文化のきずなを深めるという目的などよりも、安全な交通手段を確保し、大事故が今後起こらない輸送サービスをしなければならぬという、人命尊重の第一義から出発したことを明記したい。

調査一〇年

海上からの本格的な調査は事故の翌年から始まった。海底の未知な詳しい地形や地質学上の自然条件をまず知るためである。そしてその自然条件でトンネルが建設できるかということと、また当時の技術レベルでそれを克服できるかということである。幸いにして津軽海峡の西の方に予

道)方、中央部(北海道を基地として)、竜飛(本州)方の三部分に分けて、ときどき別の担当区へ行って作業をし、地質を見る眼を同一にしておくことにした。

海底地質採取(これがメイン)は、イカ釣りの一五トンくらいの漁船をチャーターして行なうこととした。調査地点の測量は海上保安庁水路部に委託した。調査開始に先だって、調査に従事する地質技術者が北海道吉岡に集まり、北海道の岩石を一緒にになって見、互いに眼をならし、共通の認識を持つようにした。そのときに歩いた東岸の端には巨岩があって船以外では行けないので、その浦廻りから見はじめた。それが一九五五年(昭和三十年)の六月で、たまたまその月の一日に、横綱千代の富士が浦廻りで生れている。

この巡検を終えると、小船で吉岡から竜飛へ向かった。大体、現在トンネルが走っている上である。海は穏やかであったが、海流の本流の境は白い三角波がたつて多少は揺れた。が、四時間ほどで、竜飛が見えてきた。初めて見たのは黒い断崖で、青黒い海からそばだつて少し怪奇な姿をしていた。関西で育つたものにとっては、いわば白砂青松の海岸しか思い浮ばないのだが、これから長い間、この黒い岬の断崖を見ながら仕事をするのかと思うと、はるばると来たものかなと感慨も深い。

ドレッジ(底質採取)

当時、竜飛の漁港は港といえるほどではなく、一五トン程度の船でも、はしけで岸と往復をしなければならず、そのはしけは、道路から海に突き出た栈橋の下から出てくるのである。またその栈橋は、道路をはさんでほとんどの家の向い側にあり、物置や川屋(かや)ならぬ海屋が付属していた。これでは竜飛を基地にすることができないので、一〇キロメートル以上南にある漁港らしき三厩港を、本州側の調査基地とすることにした。

ここは背後に義経寺があり、いくつかの義経伝説が残っている所である。港のかたわらに大きい岩がそびえたち、その下部の海浜に接する所に三つの洞窟があった。それぞれに龍馬をつなぎ、三頭の馬で義経主従が北海道へ渡海したと伝えられ、かつては三馬屋といわれた所である。また対岸の吉岡にも、義経渡来の伝説がある。

この三厩港の近くに鍛冶屋があり、その二階に下宿させてもらうことにした。ご主人は長く営林署の伐採人として働き、その後、家の脇に小さい鍛冶場を造った。六十歳くらいの人で、妻子と三人暮らしであった。その家の二階は一〇畳二間の広いつくりで、その広い二部屋を借りた。居住と、海底調査の整理や重要な試料の保管ができる、まことに重宝な職住兼用下宿で、津軽檜の木の香りが芳しい部屋であった。

調査位置の測量は海上保安庁水路部に委託し(海底地形図作製も同様に委託)、本州、北海道岸に国鉄の無線局を臨時設置、また、トランシーバーでも灯台の無線と通話が可能になるようにし

しかし、今回のように具体的な方法となるとまったくの手きぐりであって、水路部は海図に、^{いかり}錨が定着できるかどうか判断するため、砂(S)、粘土(C)、岩盤(R)などの記号を書き込むのだが、そのもとは、ドレッジで海底を引っ掻いて容器(ドレッジジャー)に入っただけで判定することになっている。位置は、水路部が予め海岸の目だつ岩に白い石灰を大きく塗って測量の標識とし、船からは、中央の白標から左右の標識との角度を六分儀で正確に測定して船位を出す、いわゆる三点両角法によった。少しやらせてもらったが、船が揺れるので白標をとらえるのがかなり難しい。船位は、ドレッジジャーを投下したときと、揚げるときに測定する。この間は船を停めているので、横波によって船がよく揺れるのも困ったことの一つである。

ドレッジで海底の岩石が採れるかどうかは、ワイヤーの手当りで見当をつける。相当の手ごたえがあっても、海綿や海底生物と礫が主で、本当の海底地質は小指の先くらいしか入っていない。その小片を懸命に調べるのである。海底の生物は空気に当たるとすぐ腐敗するらしく、時間がたつとすごい臭気をはなつ。しかし、ときにはウニやホヤ(海のバイナッブルといわれている)が入っていて、すごく新鮮なものが食べられるのがなんとも有難い。海の天候は変わりやすいので、好天の日には、白標が見えなくなるまで仕事をする。下宿に帰ると二、三日は、寝床もろともふわふわと浮いたり沈んだりして妙な気分であったが、そのうちに馴れた。

三厩という漁港は、浅い湾入ながら三厩湾と呼ばれる中にあって、朝、船出するときは静かだ

湾岸での海底油田の調査が始まり、海洋開発がスタートしたばかりであった。だから、春からの準備でも、海底調査の文献は和洋ともにもまったくなかったといつてよく、聞き覚え以外にはその方法はなかった。国鉄内では先輩の伊崎晃技師が、そんな知識をかなり多く持っておられた。その程度の知識である。

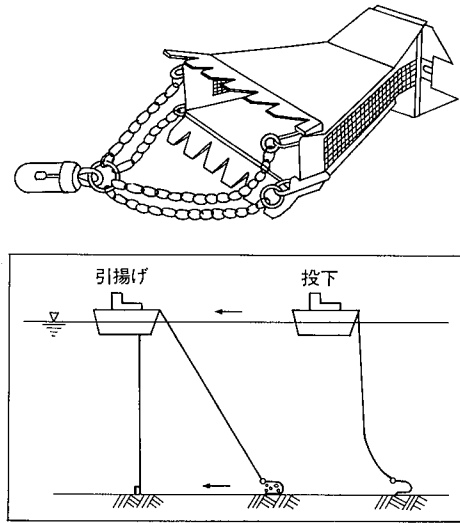


図2 ドレッジジャーとドレッジングの方法

た。翌日から、水路部と一緒に、使用漁船第五長寿丸の機装などのいろいろな準備にかかった。漁船の船室上部に測量室を造り、また海底の底質採取(ドレッジ)のためのドレッジジャーやワイヤーロープの取付けもした(図2)。ロープの長さはふつう海底の深さの三倍とされているので、約六〇〇メートルとした。

これらの諸準備をして、次の日から海上作業、つまりドレッジを始めた。当時は、ちょうどアメリカ西海岸やメキシコ

が、竜飛を過ぎて海峡に出ると白波が立ち、作業がしづらいことも多い。特に夏は、オホーツク高気圧のため東風が吹くことがよくあり、海流は東流（東へゆく潮を東流という）なので、風と海流が逆になって波が高い。しかし風の吹く日は霧やもやがないので、かなりの沖合からも陸岸の白標が見える。逆に風のない日はもやって陸岸が見えにくいので、多少船が揺れても風のある日は稼ぎ時である。今では電波による位置決定が簡単にできるのであるが、当時は気象次第でもやっている日のために陸岸に近い調査地点は残しておくことにした。だから、風があってもやらない日には、沖合で船に揺られながらやることになる。

揺れる小船の中で岩石の小さい破片を判断するのも、からだのバランスをとるコツがいる。

船長も、どんなに時化^{しげ}でも船を波に直角に走らせるかぎりには転覆することはないものだ、と津軽弁でいう。二〇年後にトンネルの中で機関車の運転手をしている船長と再会するのだが、その当時は、船長もトンネルができるとは頭から信じていなかったようである。船長のほか、機関長と甲板員の三名が船の乗組員である。（それに測量をする水路部の人が二人くらい。）

海岸線の見やすい波の荒いある日、竜飛崎の沖合でドレッシュャーのワイヤーの手ごたえが強く、これは海底の岩盤そのものが多量に採れると、勢いよくワイヤーを巻き上げた。このときには船は停まっているので、荒い波が横波となり、すごく揺れ、ときには波が船を乗り越えるので、ずぶ濡れになる。小さい操舵室の上の水路部の測量小屋まで波がかぶってくる。水路部の人はト

ランシーバーで灯台を呼んでSOSを連呼しているが、距離が遠くて返事はないようである。しかし、こちらは折角海底の岩盤らしき大きい手ごたえがあったので、確実な海底岩石資料を採る絶好のチャンスだと、とにかくワイヤーを巻き上げつづけた。ドレッシュャーの歯ががっちり岩に食い込んでいくらしく、ワイヤーを巻き上げるところか、船の方が引つ張られる。さらに巻くと、船尾の方がワイヤーに引き込まれて、ずるずると海の中に沈んでゆく。それではと、もう一度ワイヤーを延ばして、もう一度勢いをつけて巻き上げるが、岩の真上（へ）といっても一〇〇メートル以上も下であるが）にくると、再び船尾の方からワイヤーで引き込まれ、沈みだす。しかし、折角の好機なので何度も繰り返した。

その間に波はさらにひどくなり、船を常に波が越えるようになった。水路部の人はもちろん、船長も、もはやこれ以上やると危険だというので、私も岩盤を採ることをあきらめた。船が小さいので、いくら引いても船尾からずるずると海の中へ引き込まれるのでは仕方がない。ワイヤーを延ばして切ることにした。しかし、小さいタガネしかないの、ハンマーでタガネを叩きながら、綱線を擦り合わせたワイヤーを切ってゆく。そのために時間がかかる。その間も、船は波の中にいるような状態である。ようやく切れたので、後日回収するためにと木箱の大きいのを三個、ワイヤーの端に結んで目標のブイ代りに海中に投げすてたが、アツという間にワイヤーもろとも海中深く没してしまった。ワイヤーの重さに対して浮標とした木箱が小さかったのである。そ

れから後は、大きいマサカリをワイヤー切り用に常に備え、そして浮標も空のドラム缶を二個結びつけて用意することとした。

帰りは波に直角に船が動きだしたので安心だったが、揺れることは揺れた。雑品用の小さな部屋で足を壁に突っ張って傾斜儀で測定したら、片側へ五〇度以上(五六度)傾きながらも船は進んで行った。このようなことがあと六回もあって、その後はドラム缶の浮標を、水路部の大きい巡視船が来たときに上げてもらった。さすがに船が大きいので簡単に回収できたし、ドレッジーの中には大きい岩塊がいくつも入っていて、確実な資料となった。

このようなことを三ヵ月くらい繰り返し、九月になると、今度は大陸からの季節風や、台風のシーズンとなったので、九月末には作業を打ち切った。この作業によって海峡で約二〇〇〇点の資料が採取できて、海底の地質がどのように分布しているかがわかってきた。調査の前の推測とはあまりにもかけはなれていて、自然の成り立ちは、ちょっとした推測などは吹き飛ばされてしまふほどであった。調査のはじめには、海峡中央の深い所は、海流によって削り取られて陸岸よりも下の地層が出ているだろうと漠然と想像をしていたが、竜飛崎の沖合の東西から海峡の中央部にかけて、そこから南二〇キロメートルほどの小泊という所にあるのと同じ、年代的に新しい地層が分布している。また海峡中央の東西にある深まりには礫が多く、ごくやわらかい地層であることがわかった。

はじめは、変なやわらかいものばかり採取されてくるなと思っていたが、それが海峡中央部の鞍部を中心にして拡がっているという事実も動し難い。今になって考えると、次のようなことだといつてよいだろう。氷期の頃、海峡の鞍部のやわらかい地層の上に氷がはって本州と北海道が陸つぎだったが、その後氷が融けて海面が上昇するにつれて速い海流で削られ、海峡の幅を拡げていって津軽海峡ができた。この調査している鞍部付近は一番遅くまでつながっていたので、マンモス象その他の動物がここを通って行った。今われわれが計画しているトンネルは、大昔の古代象の通路を再現しようとしているようなものだ、と。これは、懐の大きい自然の長い年月をかけた意志か、いたずらかである。

九月も半ばをすぎると季節風などで海が時化るときが多くなり、毎日毎日が驚きを伴った感動のある作業をやめざるを得なくなった。もはや海峡を吹く風は冷たい。

たまたまその年に、本州と四国の間を結ぶ宇野―高松間の連絡船が濃霧で衝突するという事故があった。東京に帰るとすぐ、本四連絡の調査を明石、鳴門で始めた。こちらは潮はあるが気候は穏やかだし、第一暖かいので、能率は上がった。このとき以降、夏は津軽海峡で、冬は明石、鳴門というパターンで種々の調査を行なった。まるで夏はアイスクリームを売り、冬は焼いも売りとなるような季節商売であり、一方で実験し他方で実施するといった、調査研究初期ではきわめて能率の良い方法でもあった。

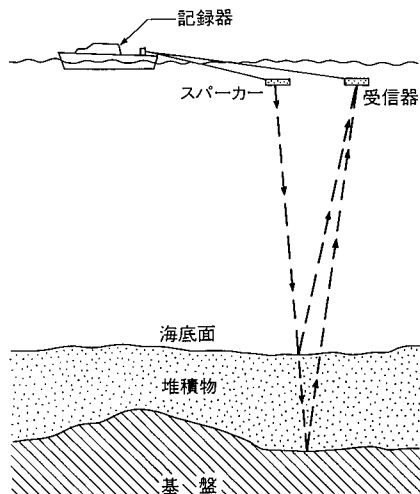


図3 スパークカーの概念図

それを一歩進めて、一段と強いエネルギーの音波を発信して、海底のみならず海底下の地層面をいくつか通過させて反射させれば、海底下の地質の構造がわかることになる。海面のわずかに入れた電極に通電してスパークを起させると、かなり強いエネルギーを毎秒二〜四回程度なら連続的に放射することができる。発信器である電極（スパークさせるのでスパークと呼んでいた）と感度の良い受信器を船で引きずってゆけば、ほとんど連続的に海底下の地質の断面が得られることになる（図3）。このスパークカーを、津軽海峡のトンネル予定点付近で東西南北、縦、横、斜めに船を数千キロメートルにわたってゆっくり走らせて記録を取ると、多くの自然情報が得られる。

は水深を測定したり、魚群を探知するのに海面から音波を発信し、その音波が海底から反射してくるのを捉える音響測深や、魚群から反射してくるのを海面で受信して探査する方法（魚群探知という）がある。

音波探査

海洋調査の方は、アメリカの西海岸やメキシコ湾岸で海底油田の探査が進み、調査法も種々開発されていた。そのうちに比較的簡単なのが音波探査といわれるものであった。これには、普通現場体験

その次の年、当時国鉄で建設しようとしていた只見線（会津の南の奥の方にある）で、トンネルを掘る現場で実際に経験を積むために、転勤することになった。津軽海峡で最もよくお目にかかるであろう岩石（グリーンタフ時代の堆積という——後出）がそこで出るからである。

国鉄はいろいろな方法で技術者を育てたものである。津軽海峡の海底でドレッジで引っかけた同じ地質が、人間が掘ることに對してどのように反応するかを、他の地域のトンネルとその掘り方を通して身をもって体験した。これまた千変万化で、自然は扱い方次第では、柔和な相も見せてくれるし、扱い方が悪いと襲いかかってくることを、身に沁みてわかったような気がした。が、これも無から少し成長しただけであって、あとで思うと本当にわかったわけでもなく、ときどき自然と交わった高揚感のようなものであったことは事実である。良い体験を雪深い奥会津でさせてもらったと、何よりも感謝している。

海洋調査の方は、アメリカの西海岸やメキシコ湾岸で海底油田の探査が進み、調査法も種々開発されていた。そのうちに比較的簡単なのが音波探査といわれるものであった。これには、普通

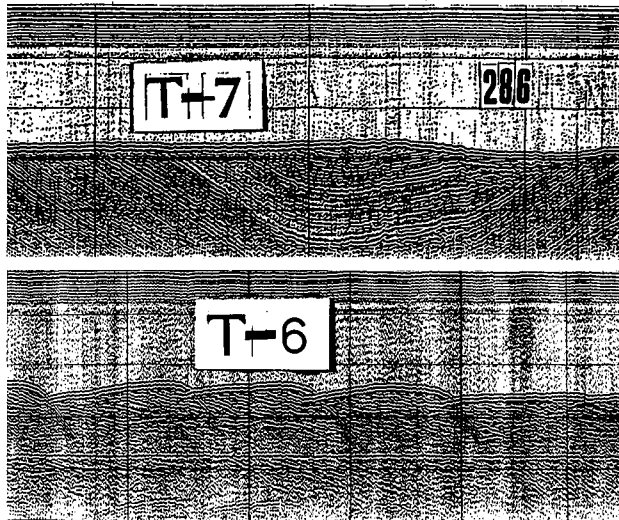


図4 スパークーで得られた海底の記録。上：黒松内層，下：大砂丘。

事の最終段階で少しもたついたのは、この中に砂層が混じっていて崩れやすく、水が出やすかったことによるものであるが、これは神ならぬ身には読み取ることはできなかった。

海底を見る

ドレッジと音波探査で地質の概略はわかったが、なんといっても、海水という障害物をへだてての推測なのである。どうしてもこの眼でそれを確かめたいという気が起こってきた。

そのとき、民間の東海サルベージという会社に、海一筋で過ぎた藤原豊吉という一徹な老社長がいた。若い頃、潜水艦の救難に行ったとき、船の内部から鋼板を通し

先年実施したドレッジの結果と対比することによって、トンネル付近の地質条件の知識は飛躍的に増えていった。しかし、この装置はアメリカ製であって売ってほくれないので、国鉄だけではなく石油会社や炭鉱、のちには建設省でも使用されていて、使用日数に応じて使用料を割り勘で支払うことにした。現在では考えられない外貨事情の一九五九年頃のことである。

取れた記録の解析をアメリカに頼むと、その料金（人件費がほとんど）がおそろしく高いので、自家解析でやることにして、アメリカの技師と同じ船で立ち会って教わりながら、少しずつ方法を学習した。このスパークーの調査は、当時のアメリカ製で二回、その後、真似て作った日本製で二回行ない、性能的には少しづつ向上はしていったが、なぜか最初の記録が最もわかりやすかった。トンネルを掘りだしてからも、何度も見直して確認したりし、修正したりしたのは、最初の記録を基礎としたものが多い。もちろんスパークーは音波の海中速度を距離に直したものでないので物理量的記録であって、ドレッジのような地質そのものではない。したがって乱反射したり、干渉があったりする所はよく解析はできない。

明快な記録をあげると図4上のように、海峡の中央部で地層（黒松内層くろまつないたといわれる）が下に向かってお盆のように曲がっている。これから上は削り取られたと思われるものだが、明らかに海峡中央は盆状構造で褶曲し、最も若い上の方の地層より成っていることがわかる。この一つの線は反射面、すなわち地層を表しているのだが、それが何であるかはわからない。青函トンネル工

る。そして厚さ二〇ミリくらいのガラス窓が、前三カ所、左右四カ所、下部五カ所ほどあって、外にライトもあり、かつ水中フラッシュで写真も撮れるようになっていた。(もともと、これは海水中でハレーションを起こして、良い写真は撮れなかったが。)

この白鯨号を、試運転で紀淡海峡の一五〇メートルほどの深い所に無人で沈めた。引き揚げたら艇内満水となっていたので、修理をしたのちに、次は私たちが入って、少し潮流の遅い明石海峡で潜った。紀淡海峡で事故があったことを先輩の伊崎技師は知っていたが、私はあとで聞かされた。潜ってみると、浅い所では実によく見えた。ただ、水深が深くなると、窓ガラスと鋼板との間から水がポタポタと垂れ落ちると、炭酸ガスを吸収する苛性ソーダが木箱に直接入っていて、触れると火傷のようになるのが欠点であった。

明石海峡では、深部が硬い岩で岩礁をなしているのが見えたので、母船からのワイヤーを巻くのを停止するよう連絡(電力・通信線はワイヤーにとめてある)したが間に合わず、艇が岩礁の間に喰い込んで動けなくなってしまった。深さは一〇〇メートル近かったので、当時の潜水技術では潜って取りはずしてもらえない。乾パンは一週間分くらい持つてはいたが、飲み水は水筒だけである。ワイヤーで母船から引いても、さらに喰い込むだけでどうしようもない。仕方がないので、円筒の後部へ行つて揺すってみることにしたが、ガッチリはさまっている。あまり力をかけると艇が破壊する心配があると脅かされる。このままにしても同じことなので、艇尾の中で揺す

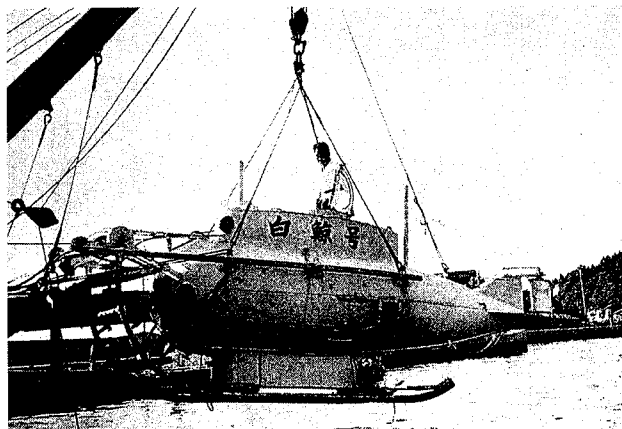


図5 白鯨号。艇の下にソリがついている。

てモールス信号が送られ、一生懸命にサルベージ作業をしたが、条件が悪く、日数がかかったために、ついに内部からの信号が聞こえなくなったという、悲痛な口惜しい思いをした。それで民間ながらも潜水艇を造ろうとし、充分な作業はできないが、二〇〇メートルくらいなら潜れるという円筒形のを製作した。

それは円筒の頂部に水タンクを持ち、そのタンクに注水すると艇は沈み、母船からワイヤーロープで引かれて海底をソリで進み、艇内にある圧縮空気を水タンクに入れて排水すると浮かぶことになる。艇体が白で、タンク上部から水を排出しながら浮いてくるところがちょうど鯨のようなので、白鯨号と名づけた(図5)。その白鯨号は三人が身をかがめて乗れる程度の大きさである。艇体の鋼板の厚さは一五ミリほどで円型だから、充分に水圧には耐えられ

ることにした。何度かやっているうちに、何か動くような感じがして、ついにゴトンと鈍い音がしてはげれたようである。このときは命拾いをしたとうれしかったものである。そこでそろそろと揚げてもらって、なんとか急場を逃れたことであつた。

明石海峡は全体に汚濁物が多くて見えにくく、特に瀬戸内海からの東流と反対の西流との間はほとんど潮がないので、海底に着地して下の窓から見ても白濁しているだけで何も見えない。

翌年、津軽海峡で潜水することにした。母船に白鯨号を積んで出航し、予定地点で母船から錨を下ろして固定する。そしてそのアンカーワイヤーを一五〇〇メートルくらい延ばす。海流があるので自然に東の方へ流されていく。ワイヤーの延び切ったところで、白鯨号を下ろす。予定の深さ、つまり海底に白鯨号が着いたら、電話で知らせて、アンカーワイヤーを巻いてもらう。すると白鯨号も前進する。しかし津軽海峡では、海流と潮流（太平洋が干潮のときに東流する）が複雑な動きをするので、海上と下の方では海潮流の方向が違ふことが多い。沿岸近くでは、母船の引く方向と白鯨号の向きがまったく逆になり、うしろ向きに引かれるようになる。動力を持たない情けなさだが、うしろ向きではどのような岩礁にぶつかってもわからないので、ひやひやしながら少し艇を揚げて海底から離れることもよくあつた。

調査の上では、実際、どの位置を見ているかということが正確にわからないのが痛い。しかし、一方では母船が波で揺れても、ある程度下（波の描く円周の長さ）まで潜ってしまうと少しも揺

れない。そこで海底をよく見ていると、母船から時化で危険だから帰港するといってくることもある。そのようなときは、母船（といっても一〇〇トンほど）に白鯨号を収容できないので、浅い所まで揚げて、そのまま曳航される。このときは波の影響をもろにかぶるので、艇は大きく揺れる。幸いに前年度の例にかんがみ、苛性ソーダを多孔性の容器に入れていたので全身に浴びることは免れたが、一メートルくらい直径の円筒内だから足を踏んばってバランスをとることもできず、ただ艇の揺れるまま転がっているより仕方がない。

このようなこともあつたが、この潜水調査は、海の上から推定していたものを確認する上で大きい効果があり、また自信を与えられた。津軽海峡は明石海峡と違って、常時海流が流れている。日本海の海面の方が太平洋よりも数センチ高いので、常に東流が最低三ノットくらいは流れている。これに太平洋の干潮が加わると、大潮のときは一〇ノットを超える。したがって、流れによって海は透明である。明石海峡では数十メートル下れば真暗闇であつたが、ここでは一〇〇メートルを超えても、ちょうど月明りのようによく見える。しかも海底に近づくと、その反射でより明るい。照明をつけるとさらに明るい、遠くはかえって見えにくくなるので、地質を詳しく見る以外は無灯火で観察した。

遠望がきくので、層状をなした岩が大きい裂け目をなしている大岩礁によって潜水艇が捕えらることはない。地盤の層の面が明瞭で、ほぼ海上からの調査と整合性がある。大きい岩礁の間

には魚が沢山いて、灯火に近づいて来る。大きい魚の群れもある。地元の漁師の話ではオヨという魚で、一メートル以上あるものもある。この魚は釣ってもあまり暴れないので、鷹揚に釣られる。そこでオヨと呼ぶのだそう。だから灯火に群れて、ときに海底が見えなくなってしまうこともある。

露岩は多く、その層の方向や傾斜も、だいたい推測通りである。しかし、竜飛に近づくと火山岩の多い所であることは歴然としていて、しかも大きい礫が点在している。地形に凹凸が激しいのが、この付近の音波探査で乱反射の多い理由であろう。この地域を新型スパーカーを使って何度音波探査しても解析不能なのはこの微地形のゆえで、音波という物理量も自然をまた素直に表現し、わからないものはわからないということを示している。

また一方では、津軽海峡の海流の本流と、海に出張った岬からの海岸近くの反流（反対方向の流れ。潜水艇がうしろ向きに動いたのもこの流れに乗ったからである）との潮の境目がある。ここでは流れの運搬してきたものが沈積する。正確な水深図は水路部に委託して作製してもらったのだが、ドレッジや音波探査のときも必ず確認のために水深を測り、あとで潮位を補正して、その位置と水深とが合っているかどうかを見るのだが、毎年のように水深が違っているのが北海道側吉岡の沖合数キロメートルの潮界あたりである。非常に不思議に思っていたが、こちらの計算違いかも知れない。

そこで、その付近を潜水艇で見ると、大砂丘である。ちょうどサハラやアラビアの砂漠のような半月形をした砂丘の波の連続である。このような半月丘（バルハン）は風に直角方向にできるのだが、ここでも主流流の方向と直角に美しいバルハンができていて、海中の光の影響もあって、まさに月の砂漠のバルハンである。そして、ときどき潮の強い所では砂煙をたてている。なんとも蒼い砂丘の夢幻的な状況で、この砂丘が常に移動して海底地形に変化を与えていることが、お化け地形の正体であった。のちのことであるが、吉岡側の出水やトンネルの変形があったのもこの厚い砂丘の下で、音波探査では非常に判断しづらかった断層の所である（図4下）。

この潜水調査は、町のサルベージのおやじさんの奇妙な気持からできたものを使わせてもらった。思えば鋼板一枚（普通の潜水艇のように二重殻ではない）にガラス、そして海水がボタボタと垂れる（これは最後まで直らなかった）円筒の無動力潜水艇がなによりも有難かった。なんといっても、推測を事実として確認したことで自信が持て、またドレッジ同様に知的好奇心を充分以上に満足させてくれたからである。藤原豊吉氏は今はいない。二〇年ほど前に鳥羽の実家で隠居中の彼を訪ねたときに聞いたのだが、彼は彼なりに「このような艇に国鉄の官員さんが乗ってくれるかどうか」が心配の種であったそう。工事が始まってから、老病で衰弱して真っ青な顔をし、おぼつかない歩みで、叙勲の勲章を持って函館までお礼に来てくれたのも忘れられない。

調査の頃は、予算も少なく、日本の海洋開発もまったくゼロに近かったので、彼のような志の

ある人々によって支えられたのも事実である。そのような出会いがあったことは、幸運であったというよりほかにない。

その後、その当時としては最新の調査を行なった。たとえばベトナム戦争で開発された磁気探査。これはジャングルの中の銃器を発見するためのものらしいが、鋭敏な感度を持っているので、水が出やすい割れ目を持つ火山岩が、ドレッジなどでわかった以外の所にあるかないかを調べた。火山岩は熔岩が固まったものなので、その中の磁鉄鉱などの磁性のあるものは、固まった時代の磁気の方向を一齐に示すので磁性は強い。一方、それらが削られ砕かれて堆積した岩の中には、雑多な方向に鉱物が向いてしまうので、磁性が相殺されて弱い磁性しか示さない。このような性質を利用して、ベトナム式に空からと、日本式に海上から（これは戦後、海中に始末された爆弾の探知のために使われた）の両方をやったが、トンネルに有害な火山岩はドレッジ通り竜飛付近にのみあることがわかって一安心した。

注入試験

海底トンネルを掘るためには湧水を止めねばならないし、それまででない高い圧力の水が予想されるので、注入試験を、夏は津軽海峡またはその近くで、冬は明石海峡付近で実施した。注入とは、掘削の前に岩の割れ目にセメントや薬品をおし込んで割れ目からの湧水を止めることで、

きわめて重要な仕事である。例によって、一方で試験したものを他方で確認するというやり方で能率的であった。しかも当時、国鉄には樋口芳朗技師（後に東大教授）という注入のエキスパートがおられたので、きわめて最先端の試験を能率よくできた。ちょうどその頃、日本も工業化が進み、数多くの注入材料、注入機械、注入方法と使用器具など、比較検討しなければならぬものが山積していたので、数年かかって整理をし、いかに実行するかに徐々に近づいていった。海峡中央部にあると思われる新しいやわらかい地層（黒松内層）が難物であったが、たまたま明石や舞子の奥山の方の岩石と性格的に似たところもあるので、能率よく試験ができた。

試掘調査

このようにして、自然の一般的性質とそれに対応する工法について調査研究は進んでいったが、やはり現地の自然そのものを直接掘っているわけではないので、一〇年近く（一九五五—六三年の間）あらゆる方法を間接的に試みても、所詮は事実近くに近づくことはできないのではないかとこままでくれば、現地で実際に小さくともトンネルを掘って、そこで自然がいかに振舞うか、またどのような技術開発を行なわねばならないかを探求する以外に、効果的な調査法はないと考えはじめた。

しかし現地で、たとえ試験であるにせよ実際にトンネルを掘るには、相当の予算も要するし、

人もいる。そして、それが青函トンネルの実際の工事開始と見られはしないか、という危惧が一方ではあった。このことを考えて国鉄では、現地での試験掘りは一切タブーとされてきたのであるが、技術的に見ると現場で実際に試掘しないでは、この世界最初の長大海底トンネルを掘るための自信が持てないとのことで、再三上層部に上申を試みた。

当時、このトンネルを担当する国鉄内の部課は、建設局の建設線課（後に発展して日本鉄道建設公団とその技術部門になる）で、課長は粕谷逸男さんであり、先輩の天野礼二技師や私などはその課の補佐であった。粕谷課長は国鉄内外でのトンネルのエキスパートで、青函トンネルに非常な情熱を持った人だった。四年ほど海峡の担当技師として仕えたが、大変力のある人で、われわれ若し連中の話を聞いて、というより一緒にあって、まず試掘調査をすることを上層部に説き続けた。その甲斐あって一九六四年から、試掘調査が実施されることとなった。

よく人々から、青函トンネルに関して最もうれしかったことは何かと聞かれるが、このときのうれしさはトンネル貫通の比ではなく、天にも昇る気持とはこのような高揚した気持をいうのであろう。しかし、この高揚した気分が過ぎると、さてどうするかという自分自身と、今までの調査研究の成果とを比べて、前途の遠い道程を思わずにはいられなかった。しかし、一心に望んでここまで許されたことを思うと、なんとかするよりほかに方法はない。日暮れて道遠しというより、夜が明けて、聳え立つ峰々を見る思いであった。

津軽海峡の地質

このあたりで、津軽海峡の自然について少し説明しておこう。

海峡の幅は二二キロメートルくらいで、中央に黒潮の分流である対馬海流が流れている。対馬海流の一部は日本海をさらに北上して宗谷海峡に至るものもあるが、大部分はこの海峡から太平洋に流れ出る。冬は気候が厳しく、本州側現場の竜飛では、毎日毎秒風速二〇メートル以上の西風が吹いている。ときには、強風が谷間を通過するときに絞られて、瞬間風速一〇〇メートル以上に達することもある。家は飛ばされ、人も飛ばされることがある。現在では谷間がトンネルから出た岩屑（ズリと呼ぶ）で埋められて、ジェット流のような強風はなくなったが、二〇メートルを超える普通の風はもとのままで、風力発電の実験も行なわれているほどである。

地形は、津軽半島の南から竜飛崎へと続く隆起は、海底に入ってもそのまま北海道側の矢越岬に続き、水深は約一四〇メートルである。もう一つ西側の小泊半島から続く隆起は、北海道側南端の白神岬を経て松前半島の隆起へと続いている。これら二つの隆起の間に、今別（本州）―福島（北海道）の沈降部があり、谷間となっている。青函トンネルは海峡の最も浅い部分を通るために、竜飛崎の高まりから海底の鞍部を通り、福島の方に出ることになる。

ここで少し脇道にそれると、本州側は竜飛崎や大間崎などの出っばりは崎で、野島崎、御前崎

など東日本の地名と同様である。しかし北海道に渡ると、白神岬や汐首岬（函館の東）と岬になる。これは本州の西の方の潮岬、室戸岬、足摺岬と同様である。どうやら北海道の地名の多くは本州の西の方の人々、つまり明治初期の官軍に属した人が名付け親のようである。

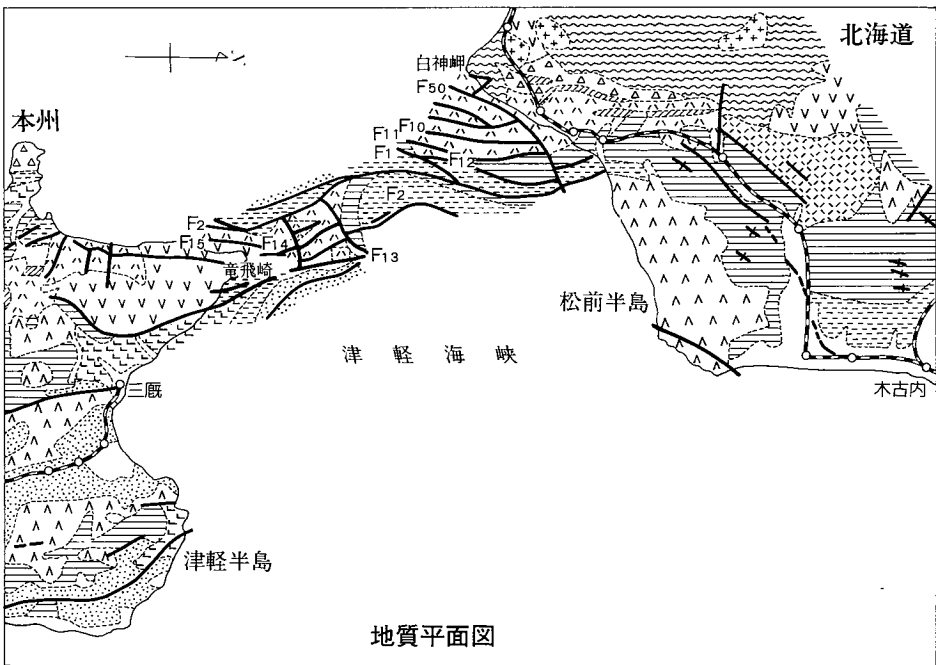
本題にもどると、このあたりの最も古い岩石（地層）は、古生層と呼ばれる三億年くらい前にできたもので、白神岬や竜飛の南西に少し出ている。調査のはじめの頃は、津軽海峡は上の方の層が削られて、中央部はこの古生層が出ているのではないかと想像された。そうであるとなると、古い履歴を持つだけに多くの地殻変動を受けていて、割れ目や断層の多い困難な地質であると思われるが、前述のように逆に中央部は褶曲で曲がり下がったために、かえって新しい層ができてしまった。その後、このあたりは陸になったり海になったりしたが、約二〇〇万年くらい前に、竜飛をほぼ中心とする海底火山が爆発し、その周囲には多くの火山灰や火砕流を放出し堆積した。これが海底火山であるというのは、火山が爆発して多くの火山礫や灰が放出されるが、それらからガスの抜け出した跡がないことからわかる。むしろガスと岩石と海水の成分が反応し合って、緑色に近い粘土鉱物が多いこととわかる。この緑色の堆積物はグリーンタフ（凝灰岩。大谷石のようなもの）と呼ばれる。

この頃、日本各地、特に裏日本や中央日本で多くの火山の激しい活動があり、グリーンタフの地帯が広くできて、これが日本列島の最新の骨格を作り出した。似たような地質の所でトンネルを掘る勉強をしたと前に述べたが、その会津の奥の方も、同じ系統のものである。凝灰岩（火山灰が固結したもの）は掘りやすいのだが、竜飛付近の火山岩は何度も活動して複雑な地層の構成となり、割れ目も多く、水が出やすい。その後、何度かの火山活動とその休止期があって、硬い八雲層と呼ばれる層と、さらにその上に、黒松内層と呼ばれる、細かい火山灰や砂が約六〇〇万年前頃までに固結した岩石が堆積した（図4上参照）。これらが、後述する日本特有のプレート運動などの地殻変動で曲がったり、断層で切られたりしたのち、海峡中央部にやわらかい黒松内層が存在したために、海流に削られやすくして海峡になったといっただけでも知れない。

この黒松内層までが岩石と呼ばれるものであるが、それよりも新しい、約二〇〇万年ほど前に堆積した瀬棚層がその上にかぶさってくる。初めのドレッジでは、この瀬棚層が海峡中央の東西にあるので、もしかすると海底トンネル部分でも、このまだ固まっていない瀬棚層があるという可能性が否定できなかった。しかし、その数年後のスパーカーの首波探査で、瀬棚層がトンネルには出ないことがわかって一難去り、トンネルの掘削の可能性はグッと高まったのである。

以上をまとめたものが図6に示されているが、トンネルの地質を掘削する上で最も大きな問題は、次の三点である。

(1) 本州側（竜飛）に広がる火山岩地帯。ここは湧水が多いと予想されるし、複雑な構造なので、難しい地質である。（事実そうであり、最初の異常出水はここで発生した。）



地質平面図

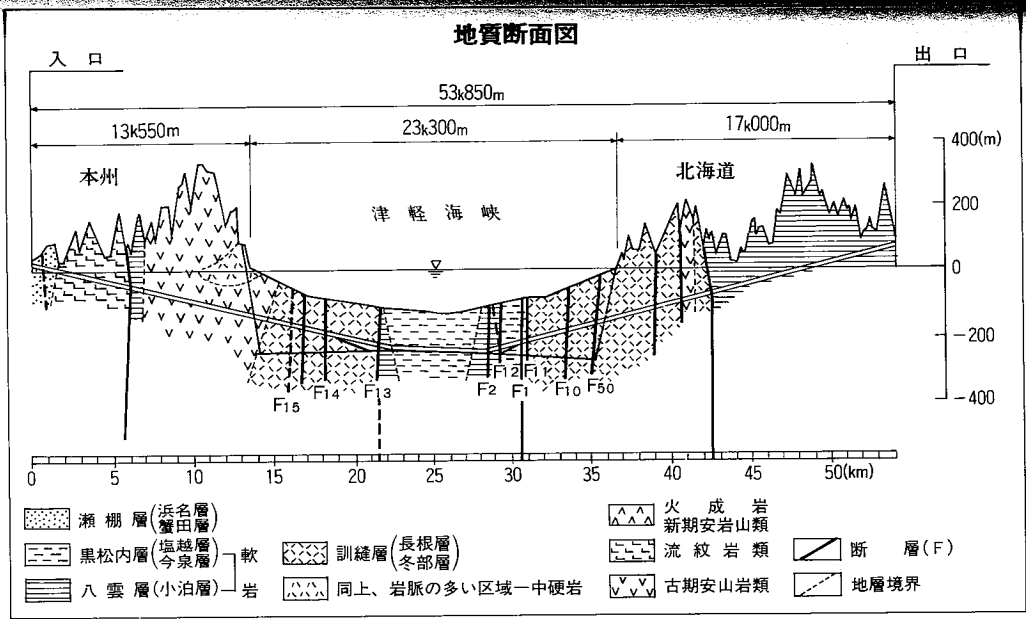


図6 津軽海峡の地質. 上: 平面図, 下: 断面図.

(2) 海峡中央部の比較的若い(といっても六〇〇万年前のものであるが)地層である黒松内層。(これは掘削の最後の時期に苦勞させられた。)

(3) プレート運動などの地殻変動の傷跡である断層。強大な力で岩石が破壊されており、付近に割れ目も多く、さらに細分化されると粘土となって、水に溶けたり、膨張したりする。

(これが最も手強い相手で、四回の異常出水もここで起こり、掘った跡が膨張して、トンネルが強大な力でどんどん縮まってゆくなどの現象があり、はかり知れない自然の力を思い知らされることたびたびであった。第三章一八五ページ参照。)

右にあげた三点が、調査で予想された地質、あるいは自然条件の上での問題点であった。そしてあまり有難くないことであったが、すべて実際の工事でもぶち当ることになる障害であった。

ほかにもいろいろ問題が起きたが、自然に関してはこれらがほとんどであった。最終的には高水庄の水との闘いであり、だまし合いに終始したのである。そして予想がよくない方に当たった。人間が思っているほど自然は甘くない。

計画と設計のあらまし

青函トンネルの場合、線路建設の動機は交通の安全のための海底トンネルとなっていたので、

若干の経済的・社会的調査はやったにしても、形式を整えるための後追いに過ぎなかった。したがって計画はルート選定が主であり、次いで線路の形を決めることである。

ルートからいうと、線路の中で

(a) 海底部分をなるべく短くする、
(b) できるだけ水深の小さい所を通る、

ことが主で、それを基本として、陸上部分(陸底部分というべきか?)の地形に応じてルートを選ぶことになる。地質も大きい要素であるが(試掘調査の結果から、あとでルートを変えた)、むしろそれを掘り抜けるかという方が主で、施工調査、技術開発に主眼をおいていた。その結果として訂正すべきは訂正することにした。

海底トンネルとしてもう一つ重要なことは、海底面からどれだけ下を掘るかということである。海底面からトンネルまでの深さを土被り(どかき)というが、これを大きくすると、落盤や崩壊に対しては安全だが、海水面から低くなるだけ水圧が大きくなるので、湧水の可能性が増し、構造物の強さを大きくせざるを得ない。一方、土被りが小さいと、完成後は有利であるが、崩落の際の致命的な事故、すなわち海底につながってしまっておそれがある。

この問題を伊崎技師から論文として出すようにいわれたが、調べると、海底炭坑の大水没事故で一度に数百名以上の人命が失われたのは、日本では宇部炭坑、外国ではウェールズの炭坑で、

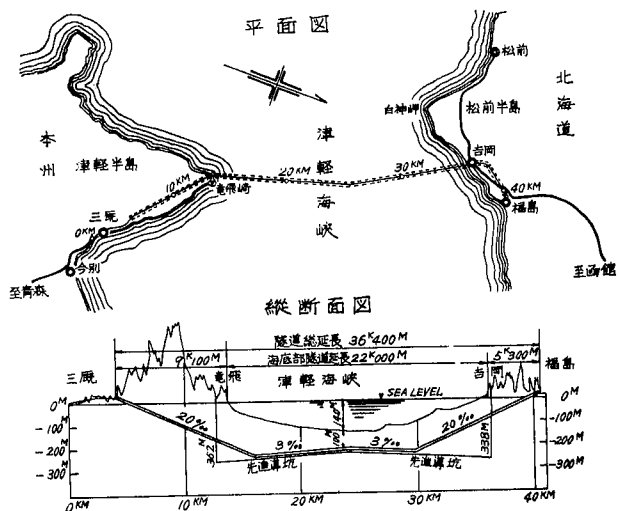


図7 在来線にもつづく平面、縦断面計画。のちに変更(図9参照)

に二二メートル下る(あるいは上る)のが一杯である。この22%の勾配は鉄道独特の言い方で、道路などでは2.2%と呼んでいる。その後の検討の結果、長いトンネルなので風圧抵抗を考慮して20%と少し緩勾配にした。

一方、平面的にはカーブの大きさ、最小曲線半径を決めねばならない。海底部はほとんどフリーに決められるが、陸上部は地形の関係で適当なカーブを取らねばならない。このカーブの大きさは、列車の速度に大きく関係するので、速度を将来もっと大きくするであろうことを考えて、当時建設中の東海道新幹線と同じカーブの大きさ、つまり二五〇メートルとした。

これで、当時としては規格の良い在来線

事故調査の結果は、いずれも土被りの小さいことが最大の原因であることがわかった。それで、トンネルを掘る空間が崩壊した土砂に埋められて詰まってしまう岩石の量(岩石は崩れると少し空隙が増すので容量が増える。増容率という)に少し余裕を取れば、詰まった崩壊岩石で出水量は減ってしまう。もちろん、それでも崩壊岩の隙間を通る水はあるが、非常に減水し、かつ海底までの健全な岩が少し残るようになる。その深さが約六〇メートルなので、余裕を見て七〇メートル程度が適当だと思われる。これは鉱山保安法の海底炭坑の規定にもほぼ適合する。もちろんトンネルの方が炭坑よりは安全なので、七〇メートルとした。

その後、陸上や海底でボーリングをすると、二〇メートルから三〇メートルは風化していて、あまり確実な地盤とはいえないので、粕谷課長の決断もあり、一〇〇メートルにすることにした。この土被りについては、いくらが良いかは地質や水深によって一概には決められないし、いろいろと複雑な計画法などにより解析をしても不確かな答えが出ないので、計画者が決めるより仕方がないと思われる。

以上の二点が決まると、あとは鉄道としての線路の決め方になる。

まず海底トンネルなので、地上から下らねばならない。(逆に最低点からは上らねばならない。)当時、昭和三十年代後半の国鉄の持っていた最強力機関車を重連(二台使う)すると、貨物一〇〇トンを牽引して最大勾配が一〇〇分の二二(22%)、つまり一〇〇〇メートルごと

部から20%で下ると、中央部に数キロメートルの水平部ができる。(わざわざ20%で合致するまで深くする必要はない。)それで20%で下り、中央部では最大水深一四〇メートル、土被り一〇メートル、計二四〇メートルの所から、3%で下り(この勾配では相当量の水でも流れることができる)、20%で下ってきた線と合致するW型の縦断面となった。さらに中央部の3%の線を海岸近くまで持ってくると、トンネル全体の水は、本州側、北海道側の海岸近くにポンプ室をおくことよって、集中排水ができるようになる。そのポンプ室の位置が双方ともにトンネルの最低点となる。その排水路トンネルを先進導坑(パイロット・トンネル)と呼んで、最初に掘ることにした。鉄道の通る本トンネルはその上の方を通るから、それに平行して種々の補助的作業ができるために、また開業後も使用できるように、小さい作業坑(サービス・トンネル)を掘ることとした。作業坑は中央部のW部分では先進導坑と同一のものとなる(本坑、先進導坑、作業坑の配置は図8参照)。

海岸近くから最低点のポンプ室のある所まで、斜坑を掘ることにした。本州側からは一三三五メートル、北海道側からは一二二〇メートルで、それぞれ海面下二七三メートル、二八二メートルである。この斜坑から掘り進めて、ともに途中で海底下に入り、さらに進んで最低点まで行き、その位置でポンプ室などの設備も作って、さらに先進導坑を進める。本州側からは三キロメートル、北海道側からは五・四キロメートルまで行くと海底で幾つかの断層を突破することになるの

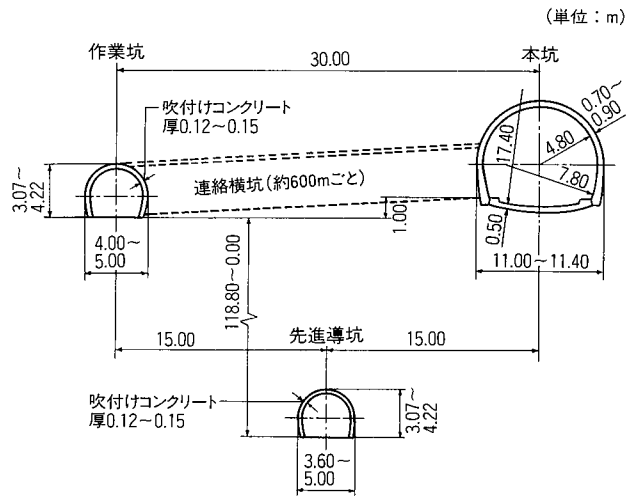


図8 三つのトンネル(本坑、作業坑、先進導坑)の断面と配置

として、一応は線路の平面、縦断面計画ができた(図7)。なお、カーブは海峡中央部に一つだけ付け加えた。これは、もしも広い海峡で測量が正確にゆかなかったときにも、海峡の両岸から掘ったトンネルがどこかでつながるためであった。試験掘削(試掘)といえども、後で本工事になったときに使えるようにするためにも、明確な線路計画が必要だったからである。したがってこの段階では、在来線の総延長三六・四キロメートル、海底部分二二キロメートルのトンネルを建設するための調査で出発したのである。

海底トンネルであるし、海峡部は途中から掘り始めることができないので、海岸近くから海峡中央部の方へ下らねばならない。さきに述べた勾配と土被りであると、両方の陸上

で、一応そこまで行った所で試掘は終り、本工事にかかるかどうかを決めるといふ調査工事の計画となった。

普通の建設工事なら請負工事に付せられるのだが、海底トンネルに関して充分な資料を集め、経験し、かつ困難な技術課題に対する技術開発を行なうのだから、請負工事では充分な試験研究をするには不向きであり、かつ技術開発のためには工事が複雑となる。そこで、国鉄（昭和三十九年三月以降は、設立された日本鉄道建設公団）が直接、作業員を雇用し、器材類も直接購入するという直轄直営方式で試掘が進められることになった。第一、どのような方法で請負工事の予定価格を算定するかがわからず、本トンネルは直轄では手に負えないので請負工事に出すとして、むしろそのための基本資料を技術開発しながら研究してゆくのも大きい試掘の目的であった。

これらの目的に沿って、函館に出張所（のちに青函トンネル建設局）が設けられ、吉岡と竜飛に工事区（のちに鉄道建設所）が設けられ、私も本社から函館へ転勤した。試掘が始まるのは大変うれしいことであるが、いざ実行するとなると、それまでの海上、陸上での調査から出てきた多くの問題をいかにして解決するかが、早々に立ちはだかつてきた。

沢山の準備はあったが、その中でも直轄工事の要員や宿舍の確保などが最も急ぐことであった。もともと国鉄は、トンネル工事は計算に乗り難いことと技術開発のために、直轄工事をやって積算の資料としていた。その頃には直轄部隊は、岐阜工事事務局で親不知トンネル西口の作業をしてい

たので、富山県の市振工事に所属していた。これを青函に移すべく、国鉄部内の合意を得て何度も市振を訪れ、移動の条件や時期を話し合い、また市振からは主な職員、作業員が雪深く寒気が厳しい二月の北海道へ来て、現場を見、物価なども調べて、条件の話し合いをした。

昭和三十九年頃は、高度成長期に入った初期なので、作業員の需要は多く、しかも岐阜工事事務管内の近畿地方東部と中部地方、北陸地方の人々が多かったこともあって、三百数十名の総員のうち約二割の七三名が来てくれることになった。この人たちは、吉岡に宿舍ができることに段階的に現場に入り、秋によくやく全員が移動した。その頃、本州側竜飛は、道路や工事現場の設備、宿舍などを大急ぎで建設していたのである。

それでも、その年の五月から吉岡で直轄工事が斜坑掘削で開始された。そのときは、それから二〇年もこの地におることになるとは誰も思っていなかったし、また本当にトンネルができるかなという思いもなかった。

トンネルを掘り出す前、地元には、大変な荒くれ者たちが多数来て風紀の点で恐ろしいことになるのではないかとの危惧もあったが、こちらは極力自制に努めたため地元との関係も好転し、沿岸漁業の衰退とともに出稼ぎの多い地方であったので、現地採用の作業員も徐々に増えていった。

このとき、われわれは、

(1) 作業上の死亡事故は出さない。(当時は工事費一億円につき一人の事故死があるといわれており、総工費を一五〇億円と見積もっていたので大変なことになる。つまり、単なる算術計算では洞爺丸事故の総死亡者よりも多くなる可能性があり、これでは何をやっているかわからない。)

(2) 出水などの大きい工事故は起こさない、

(3) 二四時間、海底の切羽には人が必ずいる、

(4) 注入や先進ボーリングをして、なんと少しでも掘り抜く、

というような意志信条を胸にして始めたのである。このうち、(1)と(2)は残念ながら達成できず、三六名の事故死と四回の異常大出水に見舞われたのである。

これらの施工経過は、あとでまとめて重要な点のみを述べることにする。

工事を始めて三年ほど経過すると、昭和三十九年秋に開業した東海道新幹線は当初予想していたよりは好調な業績をあげはじめ、東京オリンピック後の国民の連帯感と経済成長にも乗って、新幹線網をかなるの区間に及ぼそうとの動きが強くなってきた。そこで再検討の結果、新幹線も通せるように計画を変えることにした。このためには勾配を20%から12%に、曲線半径を二五〇〇メートルから山陽新幹線並みの四〇〇〇メートル(のちに六五〇〇メートル)とすればよい。

その昭和四十二年十一月頃は、本州側では斜坑を掘っている最中であったが、北海道側(吉

岡)では斜坑を掘り終り、トンネルの最低点に達していた。そのため斜坑と本トンネルとの分岐点を少し下側にずらすと12%にできるし、かつW型であるから12%と3%との部分の接点を、つまり急な下りから水平に近い勾配になる所を、海峡中央部の方へずらすと、そのとき掘っていた斜坑や最低点を変えないでもできるので、新幹線も通せる形にすることにしたのである(図9)。こう書けば非常に簡単だが、いろいろな意見も出た。そのときには日本鉄道建設公団が昭和三十九年三月にできていて、新線建設はすべて公団でやることになっていた。そのため、青函トンネルも公団が所掌することになっていたので、国鉄との下協議も内々ですませておかねばならなかった。細かい点は別として、新幹線兼用と大筋で決まったのは昭和四十二年十一月のことで、公団本社においてであった。そうと決まったので、ささやかな夕食のためビルの地下で関係者が集まった。

そのときには、粕谷部長が大変喜ばれて、重荷を一つ降ろしたような感じであったが、実は二年前に食道癌で手術をされていた。その後の回復は順調で、もはや再発転移はないだろうと思われていたが、その会の帰りの車の中で意識不明となり、そのまま入院された。篠原武司総裁以下も大変心配されていたが、十二月について逝去された。さきに地質の伊崎技師(当時、鉄道技術研究所地質研究室長)が亡くなられて大変落胆したもののだが、ここでまた粕谷部長を送って、もはや今後、難しい問題が発生したときに指導助言をもらえる人がいなくなつた、という思い

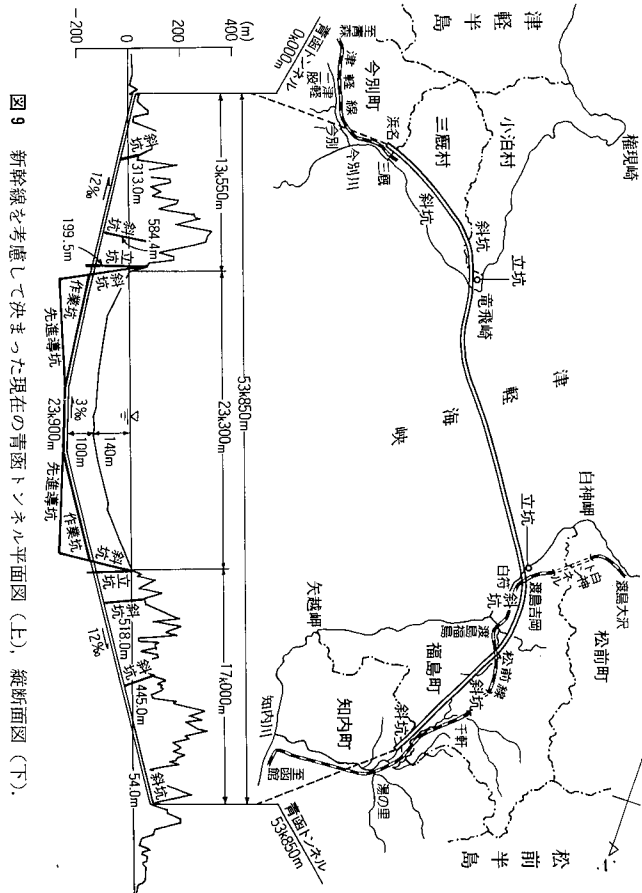


図9 新幹線を考慮して決まった現在の青函トンネル平面図(上)、縦断面図(下)。

が強かった。

事実、それからすぐ、竜飛崎斜坑での大出水があった。また計画上では複線ではあるが、本トンネルを複線一本のトンネルにするか単線二本のトンネルにするかという問題が起こった。これにはトンネル断面が関係する。調査も進んできたので、どうしても本トンネルの断面を決めないと進めないのである。それには次のような点があげられた。

- (A) 複線トンネルだと掘る断面積が大きくなるので、悪い地質の多く予想される青函トンネルでは、断面の小さい単線トンネルを二本掘った方が技術的には容易である。
- (B) 新幹線となると全国ネットワークとなるので、新幹線車両、信号などのさらなる新開発に対応できるように、現在やっている新幹線の複線トンネルに合わせておいた方が改良のネックにはならない。
- (C) 複線トンネルの断面はなるほど大きいですが、青函トンネルでは掘る前に注入が必要である。作業坑が先行し、そのあとその近くを、本トンネルを掘る前に注入すると、作業坑に注入圧による影響が出る。単線トンネル二本だと、本トンネル同士も注入の影響を受けてかえって危険である。(実際、作業坑には本坑の影響が出た。)
- (D) 断面が大きいと、通風・換気や高速列車の空気抵抗はかなり小さくなる。特に長大なトンネルでは、高速であればあるほど空気抵抗の影響が大きくなる。つまり複線一本が有利。

昭和四十五年にその作業も一応は終了し、調査報告書を提出することになった。本工事が認可になったのは昭和四十六年四月一日で、一応は在来線だが、将来新幹線として使用しうるよう計画するという但し書きがついて、トンネル総延長五三・八五キロメートル、うち海底部二三・三

(E) 複線一本の方が、単線二本よりも合計の掘削断面は小さいし、対策が集中できる。等々の長短があり、本工事にかかる前の計画としては最大の議論が集中した。

先輩の方々や一部現役も、おおむねAの理由から単線二本を強く主張した。これは掘削からいうと常識で、事実、世界最初の海底トンネルである関門トンネルも単線二本であった。

しかし、篠原総裁やわれわれ現場サイドは、B以下の四つの理由から次のように考えた。なんとか歯をくいしばってでも複線一本でやりたい。なにしろ本トンネルを二本掘るのは管理の限界を超え、現場の神経が分散する。

こうして二つの論が対立し、会議を何度やっても決着せず、膠着状態が続いた。

しかし、現場がそういうことであるし、ネットワーク論からも、複線一本でやれるのならそのような方向にいこうという空気となってきたが、当時すでに発表されていた英仏海峡トンネル案の報告書でも単線二本なので、あのように地質が良いと予想される所でもそうしているのだから、地質が明らかに悪い青函トンネルでは当然単線二本でいくべきである、との意見も根強かったことは事実である。しかし、英仏海峡の場合と新幹線ネットワークとは話が少し違うということで、複線一本論に絞られてきた。

火災など安全面については、昭和三十年代後半に起こった三河島、鶴見の両脱線事故で、ともに百数十名の死亡者を出し、また北陸トンネルで火災事故があったため、北海道の狩勝線の廃線

を使い、数年間にわたって脱線や列車火災の原因究明と安全対策の研究調査が行なわれていた。この結果をも参考にしながら、青函トンネルの安全対策ができた。英仏海峡のそれとはやや違うのであるが、あとで述べるように、複線トンネルとしても十分に安全な対応が可能であった。

このようにして、最大の難問であったトンネル断面問題が解決したので、その後は本トンネルと作業坑、先進導坑を含めた施工法、工期、工費の研究にはいった。もちろん、先進導坑での直轄工事の実績と将来の技術開発を想定しつつ、本工事実施計画を作り、調査報告書の提出に備えた。

この頃は、初期と比べて人数も増し、多くの経験を経たので、函館、竜飛、吉岡から要員を集めて、長いときは朝から夜十時頃まで、約二年間にわたって種々の試案を作っては直し、また新しい発想をしながら、日曜日も出たりしながら検討を重ねていった。また、この案を本社など関係向きと相談しながら検討しなければならぬので、新しい宿題が次から次へと出てきて、仕事に追いまくられ、追いまくらった二年間であったが、技術者としては苦しいながらも楽しい日々であった。

昭和四十五年にその作業も一応は終了し、調査報告書を提出することになった。本工事が認可になったのは昭和四十六年四月一日で、一応は在来線だが、将来新幹線として使用しうるよう計画するという但し書きがついて、トンネル総延長五三・八五キロメートル、うち海底部二三・三

キロメートルの新幹線方式のものが認可され、そのまま完成することになる。多少の変更（たとえば工期、工費など）はあったが、おおむね基本的にはこの通りできている。ただし、このとき認可されたのは青函トンネルを建設することだけで、線路や電力などについてはあとで別に認可が必要であった。これらについては後述する。

以上が計画設計のあらましで、細かい点はいろいろあったが、ここでは省略する。

当時の世界のトンネル技術

先年、粕谷部長がヨーロッパへ行かれて、コンクリートの吹付けやトンネルの機械掘削を見てきてそれら二つの技術の導入を決めたが、青函トンネルでの前述の三つの問題——本州側火山岩の湧水、海峡中央部の比較的やわらかい地層、そして断層——に対しては、直接の解答は出ていなかった。

大水圧に対する設計、つまり多分注入になると思われるが、それ以外の考え方はないか？ また、その当時の技術水準では海上からの不十分な調査しかできないので、さらに正確に自然条件を、地質を含めて知ることができないだろうか？ 今までの調査結果は、計画や設計に対してはほぼ充分で、問題点も抽出できたが（さきの三点は結局は終りまでつきまとわれたが）、施工す

るとなると、もう少し自然条件の前方予知ができないものであろうか？ 等々の根本的な宿題が依然残されていた。

たしかにトンネルを機械で掘って、周囲の地盤をなるべく壊さず、また、直ちに吹付けコンクリートで覆って安定させることは重要だが、それだけでは問題の解決にはほど遠い。つまり必要条件は理想的にやれば満たされるのであるが、主題の解決には、注入や前方予知がさらに大きな条件となる。

青函トンネルを掘るために必要なこのような本質的な技術について、世界中のどこかに何かヒントはないだろうか、また情報が充分入って来ていないのではないか、との疑問を解決すべく、主として北半球の技術先進国を調査することになった。今から思うと、われわれの抱えている問題点解決には、多角的なアプローチが要求されていたのである。従来までの、先進国から学び取って自己のものにしてゆくという考え方が一方にあり、もう一方には、問題を細分すると膨大な数となり、それらの解明なしにはこのトンネルはできそうにもないと思われる状態なので、ともかく先進国の中から何かヒントが得られればという、藪にもすがりたい気持があった。遣唐使以来、さらに明治以来の日本人の心の根底に、いささかなる外国の技術に対する依頼心と不安感があつたのかも知れない。

当時の国鉄には外務部というのがあり、海外にも事務所を持って鉄道関係の情報を集めていた。

そこで、海外出張を効果的にできるよう各箇所への連絡を頼んだが、まったく手がかりがない状態であった。今考えると、われわれのテーマは鉄道情報とはかけ離れ過ぎていた。

そこで知人友人からの紹介や、読んで役に立ちそうな論文の著者に直接文通してアポイントを取り、約三カ月の菓をもつかむ一人旅に出た。外国旅費がきわめて少ない時代なので、筆者一人でゆくことになった次第である。最初、旧ソ連から太陽を追っかけてゆく方が時差克服には楽だと計画を立てたが、折悪しく革命五十周年の記念行事が錯綜していた時分なので、太陽に向かつてアメリカから始めることにした。

アメリカは海底油田開発やダムや鉱山の土木技術が盛んなので、青函トンネルのついでに、本四架橋のための足場の調査も重ねてやるように頼まれていた。とっかかりはサンフランシスコの連邦鉱山局で、海底開発の資料や機械メーカーの紹介をしてくれた。電話して、会う日時まで決めてくれたのである。実際の海底油田の調査、掘削現場も視察したり、トンネル掘削機のメーカーや、ボーリング機械メーカーの工場へも行った。海底油田開発の規模には驚かされたが、やはり国際石油資本の持つ開発力の奥深さを知った。専門のメーカーは、日本で聞いて名の通った会社でも意外と規模が小さいのに驚いた。つまり專業化が進んで、部品に近いものでも充分経営してゆけるということである。

印象的だったのは、椰子の樹の緑が鮮やかな、白砂青松(?)の地、ロングビーチの沖合の人

工島に連れてゆかれたときである。油田そのものは美しいロングビーチの街の下にあるので、石油掘削は白砂の海岸から数キロメートル離れた碧い浅い海に人工島を造り、そこから約二〇〇メートルほど地下へ掘ってから、孔を徐々に曲げて市街地の下に水平に近く入って、石油を採掘するという方法を取っている。碧い海に数カ所の人工島が浮び、中に椰子の樹を植えた石油採掘装置は、高い槽を含めて板囲いの中に入っている。その板も島ごといろいろな色彩が施されて、まるで一寸見には遊園地の一部のように見える。今から三〇年近い昔に、周辺環境との調和が見事にはかられているのに、アメリカの底知れぬ力を見せつけられた気がした。

しかし、ここへは景色を見に来たのではない。各人工島から街の下まで数キロを、ボーリング孔を自由自在に曲げて何百本も掘るために、孔を傾斜させる装置、方法を調査しに来たのである。青函トンネルでも、掘削の際に予め、自然条件を知るための前方予知として、海底ボーリングより、トンネル内から前方へかなりの長さでボーリングをしようとしていたが、ボーリング孔が曲がって困っていた。あまり曲ると、トンネルから離れた箇所の自然条件を調査していることになり、なんとか水平で、かつ予定の方向に長く進ませたい。このように自由自在に曲げられるという事は、曲げを修正しながら水平を保つことにつながる。ただ、見た装置は石油採掘用なので大型であり、狭いトンネル内ではどうか、という難点があった。

それにしても彼らは大変親切であった。こちらの自然条件を話し、解決すべき課題を聞くと、

まったくどうすることもできないと考えてはいるが、なんとか手がかりとなるような人や団体を紹介し、アポイントまで取ってくれるのである。こちらの日程をそれに合わせて変えてゆくのは大変だったが、有難いことであった。とくにヒューズの研究所の大きさ、徹底的な基礎研究には眼を見はらされた。またヒューストンのシュランベルジェの研究所やダラスのコアラポトリなども、基礎研究から現地作業まで想像以上に最前線を歩んでいた。この頃が、アメリカ技術が戦後世界のリーダーであっただろうと思わせる。

ヨーロッパでは当時、英仏海峡トンネルの調査と現場に立ち会い、チャンネル・トンネル・スタディー・グループ（CTSG）の人たちとの討議などを通じて、北ヨーロッパの安定した地質をいやというほど、目の当りにした。ロンドン、パリの事務所では海底のボーリングのコア（岩芯）を見せてもらったが、ほとんどが割れ目一つない棒状の連続したコアで、ある箇所だけクラックが多くあった。それが断層なので、このあたりは避けて通るのだといっていたが、そのようなことをもし青函トンネルで考慮するなら、海岸から一メートルも海へは出られない。そう言ったところ、逆になぜ君はそんな所を選んだのか不思議だ、と問い返された。まったく、地盤に對する感覚がちがうのである。

パリでは他の研究所も廻り、オーストリアの別のグループを紹介してもらったが、われわれの参考にはならないにしても、素晴らしいアイデアが各所にちりばめられていた。スイスでは、

アルプスでトンネル・ボーリング・マシンの実際の掘削をサンモリッツの近くで見た。ヨーロッパ・アルプスも隆起しているとみえて、硬い岩石とそれが多重に褶曲している所を実際に見て、アルプスを抜くシンブロン・トンネルをはじめとする長大トンネル群の掘削に思いを馳せた。

オーストリアからソ連圏に入り、主としてモスクワの研究所、大学、公団などを廻って討論をしたが、日本語の通訳にあまりいい人がいないので、あとはほとんど英語の通訳にかえた。それは、どの討論でも相手は必ず数名程度いて、その中にはエンジニアでない共産党員が交じっており、すべてロシア語でやらないと全員がわからないからである。その当時のソ連は宇宙開発で意気がついているところで、かなり高い技術水準であった。

全体的な感想を言うと、アメリカは経験的で理論よりも実績を信頼する傾向が強く、またそれを相手に押しつけようとするので、少しわかりにくい点があるが実用的である。ヨーロッパは、われわれのように明治以来どちらかというと異常ともいうほどドイツ文化偏重で育ってきた人間にとって、国々によって違いはあっても、理論構成が主であるので非常にわかりやすい。しかし、実際のな問題となると、現場との間のハードルがかなり高く、どうしても自分で一から理論構成をして実用化しないと充分な信頼性に欠ける面がある。ソ連はヨーロッパに近いのだが、アメリカ的な要素、つまり実績重視の観があつて、理論と実際がうまくつながっているような感じを持つた。その頃がソ連の技術の発展期の最中だったのであろう。

これら文化・技術の比較はできたものの、最初の目的である青函トンネルに應用できる技術はほとんどないに等しかった。もともと青函トンネルの自然条件は、いずれの国の技術者にとっても想像を超える悪条件であり、どちらかといえば、そのような所でトンネルを掘るのはカミカゼ的という感想を、多かれ少なかれ持ったようであった。別れるに際して、グッドバイではなくグッドラックと言われたことも再々であった。

これらから、世界にはすぐ利用できる技術はほとんどなく、われわれ自身がなんとか技術開発をして未知の分野を切り開いてゆく以外にないと、思い知らされた三ヶ月間であった。その後、外国人からよく「きみは勇気がある」と言われたが、彼らにとつては想像を絶する挑戦であったらしい。もちろん、こちらは挑戦とは初めから思わず、なんとか自然条件に合ったやり方で建設しようとは終始考えていたのであった。

技術開発と技術力

注入と前方予知を主とする開発は、直轄工事なのでやりやすかった機構といえる。しかし、職員も作業員もこれらについてはほとんど知識を欠いていたので、技術開発はすなわち人づくりということになってきた。

注入については、はじめの頃はかなりの幹部職員でも「モル注」という理解をして、よくそう言っていた。掘ったあとのコンクリート巻きたて（覆工という）と、地山（掘った岩の表面）との間に隙間が残っているのので、それを埋めるために、セメントと砂を混ぜたモルタルを注入するのが「モル注」であるが、注入とはそのようなものとしか理解していなかった。

実際は、掘る前に岩盤の割れ目に注入をしなければならないので、もっと微小な粒子の注入液でなければならなかったし、注入の圧力も、水圧の約三倍くらいを目途としていたから、24気圧×3で70気圧（キログラム／平方センチメートル）から80気圧程度までの、その頃では超高圧注入をしなければならなかった。（当時、いわゆるモル注は3〜5気圧、高圧注入といわれているものでも20気圧程度であった。）

また材料も、ここ何年かの試験で樋口技師と論議して、水ガラスと微粒子セメントとを中心とすることになっていった。というのは、なるべく小さい割れ目まで注入しておかないと、あとで水がトンネルに出てくるので、微粒子セメント（コロイドセメントといっていた）が必要であったが、現実には販売されていなかった。それで函館の近くの日本セメントの工場へ行つて、特別に製造してもらえないかと頼んだ。工場長は、それは可能だが、価格は普通の三〜四倍もらわれないとペイしないとのことである。これではなんといつても高すぎるし、大量に必要なので、価格は下げねばならない。しかし向こうは、それができない理由を、実際のセメントの製造過程を見せて説

明してくれた。つまりセメント製造は、その頃すでに一種の装置産業であった。工場からほど近い原石山から石灰岩を取り出すと、ベルトコンベアで工場に運搬し、それを直ちに破砕機で一定の小さい岩粉にし、それを他の材料と混ぜて回転式焼成炉に入れて、クリンカーというものを作る。それをさらに細かく砕いてセメント粉を作り、ベルトコンベアに乗せ、うしろから風を送って細かい規格に合ったものを吹き飛ばして集め、セメントサイロに入れ、需要に応じてバラ積み
の船か車、または袋づめをするという一貫作業である。

この過程で微粒子にするには、破砕機での調節はほとんど不可能で、最後の風を送ってセメント粒子を作るところで、風をもっと弱くして、微粒子のみが吹き飛ばされるようにすると、粗い粒子だけが残って規格品とならない。この過程で、こちらの要求通りになると、普通の三分の一以下しかできない。あとは捨てるより仕方がない。つまり製品量の歩止りが悪い。さらに貯蔵するサイロも普通とは別にして混ざらないようにしなければならぬし、湿気に弱いので特別な方法も考えねばならない。

このように実際に製造過程を見せて説明されると、「なるほど」と思ってしまうことになる。これでは話にならないので、選別したあとに残る粗いセメントは、普通のものに加えてブレンドして青函用に納入してもらってもかまわない。微粒子セメントは早い時間で固まるので、将来、早強セメント(当時、早強セメントはアルミ粉を混ぜていた)の需要が増えてゆくことを考えて、

研究投資とってもらえないか。かつそのような需要は、実際これから増加するのだから、販売に力を入れてほしい。等々の手前勝手な理由をあげ、また会社の本社へも働きかけて、なんとか普通の価格の二倍以下、大体一・五倍くらいにしてもらった。その後は微粒セメント、ファインセメントなどで需要が増えてきたことは事実である。このようなことは水ガラスでもあって、メーカーもかなりの協力をしてくれた。

注入は、吉岡で掘削開始後間もなく、海底下に入ると水が少しづつ出はじめたので、斜坑で初めて行なった。鉄道技研には注入をよく知っているものが一人いたので、彼も加えてモル注ならぬ岩盤注入を始めた。機械その他はすでに用意していたので、なんとか注入はできた。するとピタリと水が止まるので、現場の連中は当り前のことながら、海底に入っても力強い技術があることを認識し、以後、海底に対する恐れがあまりなくなった。

注入の現場実習はうまくいったが、これは、今から思うと吉岡の海岸付近は青函トンネルの海底部でも最も自然条件の良好な箇所であったからで、ときどき注入することで済んだのだ。この意味では、注入は運の良いスタートを切ったといえる。もし逆に竜飛側から始めていると、海底下で大量の湧水があったので、作業員はこれほどスムーズに注入にはいっていかたかどうかわからない。

事実、後発の竜飛では、吉岡での経験者が約三〇名中核として移動していたのであるが、海底

下に入るやいなや、斜坑の七〇メートル、八〇メートルの所で、湧水で切羽が一杯となり、少し退いて注入するようなこともあった。きびしい注入の出發となったが、吉岡での容易な経験と、海底を掘り進む有力な武器であることを皆が認識してくれていたことが大きい支えになった。しかし、竜飛では連日の注入で、高庄のためにバルブや継ぎ目から注入液が洩れて眼に入り、入院治療する者がかかり増えた。当初の五年くらいは、作業上の負傷の部位では、手に次いで眼が二位となり、肩とか足といった普通のトンネル工事での負傷部位のランクと著しく変わった。これも着々と改善され、製作精度もあがって、眼の受傷は減った。それまでの間は保護眼鏡をつけて防護するようにしたが、作業に熱中すると面倒なので、つい眼鏡を取ってしまつて被害を受けることが多く、まことに予見がでざりし訳なく思っている。

一般的に注入は、掘る前に前方を充分注入しておいて、それから掘るのだが、その長さは二〇〇〜八〇メートル十二〇メートルくらいで、十二〇メートルの部分で、次の注入のための一種の壁（バルクヘッドといつて残して、一回に三〇〜八〇メートルくらいずつ掘るのである。注入は円型（立体的には円筒状）にして、これを注入ゾーンと呼ぶが、その半径はトンネルを掘ることができる地山のゆるみより外にいくらかが残るようにする。つまり半径の二〜五倍くらいの大さの注入ゾーンを作るのである。

この一回の掘れる長さは、短ければ短いほど自然条件が悪く、逆にそのような所では、注入ゾ

ーンの大きさは大きくなる。つまり自然条件に応じて注入長や注入ゾーンの大きさを変えてゆくことになる。そのためには、前方の自然条件の予知と判断が必要で、それを水平先進ボーリングなどでやった。注入にあたっては、開始時の圧力と、水ガラスとセメントの比率、圧力を上げてゆく方法、比率の変え方（つまり水ガラスとセメントの比で、セメント分が多ければ多いほど早く凝固するようになる）等々を、自然条件を見ながら決めるのである。注入は最終的には、海底では全長にわたって行なつたので、海底部で約二三・三キロメートルに対し、先進導坑、作業坑、本坑（これは断面が大きいので、二回に分けてやった）の合計四回であるから、総延長は海底部だけで（陸上部もやっている）約一〇〇キロメートル近くになる。

注入は三交代で、二四時間の作業であるから、その都度の情況判断が必要である。さらに、トンネルの違った箇所と同時に三〜六の工事が行なわれているので、判断ができる技術者が相当数必要であった。

また前方予知も、最終的には先進ボーリングを先進導坑と作業坑のそれぞれ左右一カ所、つまり立体的に位置が違う四カ所、二四時間三交代で行なつた。トンネル内で日常的に先進ボーリングをするのは世界でも初のことである。これからの情報、すなわち地質の良否、湧水量と位置を全長にわたって境目をオーバーラップさせながら調査し、地質や水質分析も行ない、自然条件をなるべく多く引き出して判断する必要がある。そのためには技術者が必要である。

注入のやり方や先進ボーリングの判断には、トンネルの死命がかかっている。つまり、技術開発といっても、単なる装置や機械、材料、またはその集合であるシステムを開発するのももちろん大切なことであるが、トンネルではさらにそれらと相手の自然との接点である人間の判断が、最終的には最も重要である。このため技術者の養成が最大の課題であることになる。

最初は総員二七名のうち土木技術者は一八名であって、それには浜建介所長なども含まれるので、トンネルの中で終日仕事ができるのは一〇名程度であった。翌昭和四十年には、新卒採用の一〇名（うち大卒二名）を含めて二五名ほどになったが、これらはまったくの白紙で、そのままでは使えるどころか、酷な言い方だが、仕事のできる人間にとって重荷になる。それで現場へ配属して、孔の掘り方から実際に体で覚えさせ、本来の判断力の養成に近づけてゆくこととした。さらに次の年には人は増えたが、判断力のある、つまり深夜の作業方の中で起る情報と変化の判断をなんとか任せうる技術者にまではなかなかならない。アメと鞭というが、与えようにもアメがない大変な仕事である。言葉で大体は伝えられても、やはり自然との接触を常にフィードバックしながら、少しずつグレードを上げてゆかねばならない。総体的に日暮れて道遠しの感があり、最終的には毎日毎日が祈るような気持ちでしかなかった。

その後トンネルを掘り終えてよく感想を聞かれたが、この頃の（かなり長い期間だが）あてどのない辛さと、一種の使命感がオーバーラップして、なんともいえない苦しい時期であった。聞

く人の半ばが期待する答えは、事故故だとか、機械がうまく働かないとか、大出水などであるが、私にはそれよりずっと苦しい時期であったと思う。

この苦しい時期もやがて時が解決する。もちろん多くの試行錯誤や、たゆまない努力、そして、もはやわれわれはこの仕事から逃れるすべはないのだという、いわば精神的安定（あきらめともいう）、これらの一つ一つの積み重ねとともに、一步一步自然の懐の中へ入ってゆく技術者が増えてきた。このように上向きになると、先輩が少しの時間次の人たちを引っ張ると、連鎖的に、望ましい技術者またはそうなりうる若い人たちが着実に増えてきた。この間、大手建設会社から出向した若手技術者にも助けられた。わずかの期間だが、よくやってくれた。

このことに確信がもてるようになったのが五年目、つまり昭和四十三、四年頃で、なんとかこれで調査から工事に実質的に移行できると考えられ、決心がつくようになった。もちろん、ハードの面でも種々の技術開発が併行して進められた。これは日本の全体の成長、工業技術の裾野の拡がりとも無縁ではなく、むしろそれに支えられたものと思う。

それと部外の多くの協力が大きく働いていたことも事実である。たとえば、水平ボーリングの方向修正用に、ボーリングパイプの最先端にモーターがついて、それによって先端の刃だけを動かしてボーリングをするソ連の新しい技術があった。（普通はボーリングのパイプを全長動かし、最先端の刃を回転させて掘る。）モーターのすぐうしろで傾斜を計って、モーターへきている

電線で搬送し、地上の計器で読み、方向の曲りも同時に知ることができるものである。

この頃のソ連の技術水準は日本よりもかなり高く、その他、たとえばモーターを修理するのに、高圧で油をコイルに浸透させなければならぬのだが、日本では大メーカーでもその十分の一くらいしかできなかった。これは先端まで電線がつながっているので、種々の岩石の物性や水質などを、休まずに情報化できる。そこで導入したのだが、もともと石油掘削に使用するものなので大きくて重く、取り扱いが大変なのに皆熱心で、試験を担当した会社（鉱研）の人たちはほとんど体調をこわしてしまつて、なかなか進まなかつたほどである。これを多情報化するために多くの試験をその会社でやったが、もともと大きいのでダウンサイジングしなければならぬのだが、耐圧性の高いものなので（また、そうしなければ水や泥がモーターの中へ入つてしまつて、故障の原因となる）、なかなかうまくゆかない。しかし、多くのことをこれから学び取り、ボーリングでも遠隔制御ができることから、より多くの情報が取れる領域を拓けていった。

このようにして、多くの人々に支えられながら、かつ学び取りながら、判断力が養われていくものである。そしてそれが実際のな人づくりにつながつてゆくのである。技術開発は当然必要だが、それを通して何かを確実に学び取り、その思考の形が実際の判断力として術（じゆつ）の方に応用でき、初めて技術者ができてゆくのである。これも直轄工事の良きで、直接、自然や物（機械などを含めて）にふれることができる。そして若い技術者と老練な技能者とが共同して自然に当つて

ゆくうちに、当る角度は最初は違ふとしても、最終的には同じ自然の実体に迫ることができる。このような環境づくりが、理想的でないにしてもあるレベルに達して、全工事に対する自信も生れてきたのである。

施工

施工は、技術開発を先進導坑（あとで排水坑道に使用）で直轄で行なつていったが、工事開始に先行して作業坑でも行なわれた。この後、要員の関係で、本坑およびそれに隣接する作業坑は請負工事に付されるのであるが、それまでの施行経験から、もう少し土被りが実際に近い一〇〇メートル程度の箇所を掘削することも、調査の一部に加えられた。

このほか、竜飛の斜坑とその坑底の施工状況からみて、本州側は火山岩が比較的少ないと思われた。そこでやや東寄りに変更して、作業坑を開始した。本工事以前の調査段階でこれをやっておかないと、本工事開始、つまり請負工事発注後であると手続きが面倒であるのと、やはりそのあたりの感觸を調査段階で把握しておかねばならなかつたのである。ルート変更の結果、曲線の向きをうまく変えることなどによって、トンネルの全長は変わらないが、海底部分は二三・三キロメートルと増加したけれども、地質が変わるメリットの方が大きいと判断した。

吉岡側で、海底部最低点付近から海底に向けてボーリング（これはあとで海底の冷水を導入して、トンネル作業時の熱を下げるクーラーの冷却に使用した）をしながら、長さ別に採水し、それを分析したところ、海底下三〇メートルくらいまでは、その付近の化学的に変質した水であるが、三〇メートル以下に近づくと、ボーリング孔に出る水は海水とほとんど同じ成分となったので、三〇メートルがあまり土被りとしては当てにならないことがよくわかった。それで、この一〇〇メートルの土被りはどうかということ、作業坑の掘削を昭和四十三年から調査に一部追加し、直轄で作業坑と先進導坑の両方をやることにした。

作業坑はその後、本工事になったとき、本トンネルを施工する共同企業体（J.V.、ジョイント・ヴェンチャー）に引き渡した。作業坑の途中から、本トンネルの切羽につながる分岐路を作り、それを使って本トンネルを施工し、同一の作業坑から、幾つかの本トンネル切羽を同時に施工するためである。注入などの時間からいって、本坑は断面の小さい作業坑の約四倍ほど進行速度が遅いので、同時に何ヶ所かで本トンネルを掘削しないと、作業坑と同じ速度で進めないの、機械と作業員の搬入やズリ（掘った岩石のことで、石のくず。礫と書く）を運ぶためには、作業坑と本トンネルは一体施工でなければならなかったのである。そのためには、両者が密接な連絡をとる必要があるので、本工事開始時には、作業坑の施工の一切をJ.V.に引き渡した方がスムーズにゆくと考えたのである。しかし、先進導坑での技術開発や地質の認定の方はさらに直轄で進め

ることにした。このため直轄は昭和五十八年一月の貫通まで、多くの課題を抱えながら先進導坑を受け持つことになった。

出水事故

さきに述べたように、この工事を始めるに当って、本社から函館の現地機関に赴くとき、私自身、大出水事故は起こさないことを内心深く期し、また、止水注入と前方予知（水平先進ボーリング）を基軸とする対応と、個々の技術者の判断力の向上に腐心して、少しずつ成果をあげていったが、自然というものはそんなに甘くはなく、表1のように、トンネル内が湛水するような大出水事故があった。これ以外にも異常出水は数多くあったが、水圧を軽減するような補助手段で大過にならずに切り抜けてきた。

大出水事故のうち、第一回目は斜坑であったので、全体が崩壊する（斜坑だと崩壊した岩石が下向きに止まるので、崩壊するにも限度がある）危険はあまり感じなかったが、最初の大出水なので、ショックが大きかった。その夜は耳もとで水がごうごうと流れる音した。

最もショックが大きかったのは、排水限度を超える大出水であった。これは昭和五十一年五月六日に起こった。私は当時は局次長であったが、局長が出張中で翌日夜行で帰ってきたものの、

表1 異常出水一覧表

場	発 生 期 間 日 付	湧水量 (トン/分)	最大時	最終時	湛水量 (m ³)	崩 壊 土 砂 量 (m ³)	土砂埋没 区 (m)	復旧着手 までの日 数 (日)	復旧工事 所要月数 (箇月)	復旧対策	地 質
竜飛御坑	41. 2. 13	16	5. 3	5. 3	5, 300	300	15	24	6. 3	止水 周壁御坑直進	安山岩 (破砕帯)
竜飛作業坑	49. 12. 5	6	3. 6	3. 6	1, 600	1, 300	70	36	5. 6	迂回坑	凝灰岩、玄武岩 (貫入により破砕)
吉岡作業坑	49. 1. 8	11	0. 3	0. 3	9, 000	1, 100	60	27	11. 6	注入固結直進	凝灰岩 (破砕帯)
吉岡作業坑	51. 5. 6	70	16. 0	16. 0	121, 000	1, 000	75	50	-	迂回坑	火山礫 (凝灰岩)

ほとんど一人で最悪事態を乗り切らねばならなかった。工事開始以来一二年を経験し多くの技術課題を克服した末、ようやく順調な進行を示すようになってきていたし、コンピュータなどを使ったシステムの工程管理も仕上がってきて、ようやく先が見えるようになってきたと考えだした頃であったので、余計に警告を与えられたような気がしたので覚えている。

五月六日の早朝、現場から直通電話で宿舍に作業坑の異常の知らせがあった。そのときは毎分〇・三立方メートルほどであったし、地質も悪くて補強をしていた。

実はその箇所の真下約一〇〇メートルの先進導坑でも、その年の三月十日に異常出水があり、毎分五立方メートルくらいのお水で、切羽もピンピンと変形し、今にも崩壊しそうだ、当日出張で東京にいた私に連絡があったのだ。今までのように、切羽後方から切羽のまわりに水抜き孔

を掘るように話して様子を見たところ、切羽のうしろからの水抜き孔の二本目と三本目が、切羽から出ている水の通路にうまく当り、水抜き孔の方へ水が流れて切羽からの水はなくなった。そこで補強し、掘削して、その後は難なく通過できた部分である。

ところが、こんどの作業坑では、それまでの吉岡では一つの注入孔(直径約六センチ)からでは最大の、毎分三・六立方メートルの湧水があったので、入念に注入をしておいたところである。先進導坑の出水で割れ目が拡大したのであろうか、再び作業坑でも出水しだったのである。作業坑は12%の下り勾配なので、出水があると水は切羽に溜るから、常に毎分九立方メートルの水中排水ポンプが置いてあり、排水パイプは毎分二四立方メートルの能力があるので、まず、さきの先進導坑のように、私は担当局次長として現場へ、水をバイパスの水抜き孔に誘導するように指示するとともに、水中ポンプは全稼働の準備をするように指示した。こうすれば三月の出水同様に、うまく回避できると思って安心していった。しかし、午後三時に毎分〇・五立方メートルと切羽湧水が増え、さらにその三〇分後には毎分四立方メートルとなったが、設備からいって三月の先進導坑の出水同様の処置でなら問題は無いと考えていた。

それよりも、水抜き孔の作業はどうなっているかが気になり、聞きただしたところ、現場の方は言いにくそうに、切羽まで一〇〇メートルくらい湛水して胸くらいまで水につかると言ってきたので、大型削岩機で再度水抜き孔を早く掘って、水を別の所で抜かないと大変なことになると

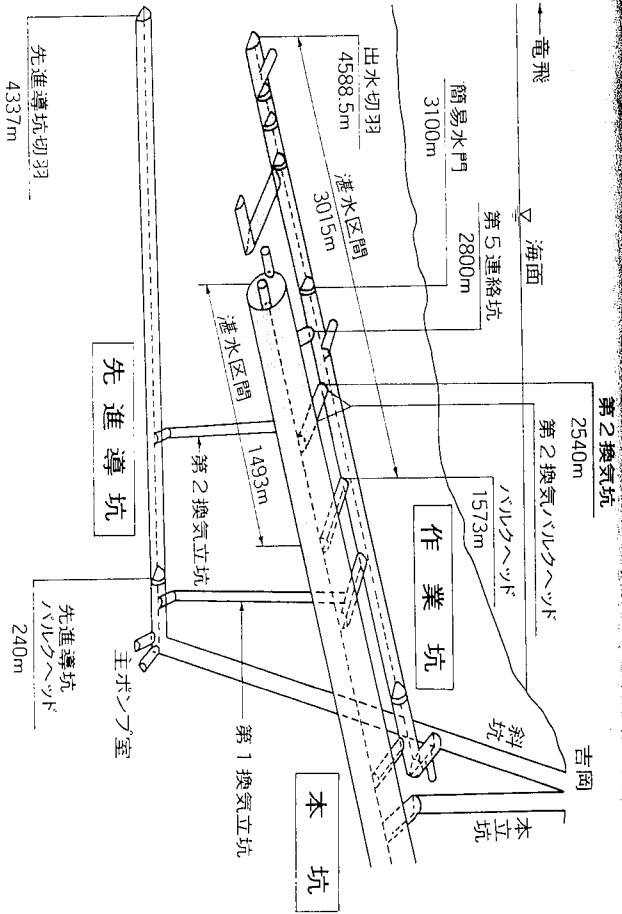


図10 異常出水状況 (昭和51年5月6日)

ら急ぐように催促した。しかし、現場は依然返事に困っているようであった。それは非常排水パイプがセメントや水ガラスで詰まって働かなくなり、切羽の排水ができなかったからである。そうとわかると、大型削岩機で大きく孔して水を抜くことも不可能だと考え、策がなければ、水のせきを後方で造って回避するより仕方がないとして、直ちに緊急事態のための対策本部も内規通り設置し、私が対策本部長となり、ほかに計画、技術、工事の課長三名を連れてその部屋に入った。そのときは、まさかそこに三週間も籠城するとは思ってもいなかった。

その間に、現場の方は、切羽が大崩壊をして、大出水となった。このため中原昭夫技術課長には、浸入した水の水位の移動を正確に聞かせて、湧水量を本局（函館）と現場とで計算した。このようなときは、概してあわてがちなので、正確な計算をするようにしてもらったが、湧水量は毎分八〇立方メートルを超える数字となった。大変な数字なので慎重に計算し直しても、八〇を超して八五くらいであることは確実となった。大変なのは、斜坑と先進導坑との交点付近にある主ポンプ室の排水能力で、それが毎分三〇立方メートルしかないのです、このままだと主ポンプ室がいずれ水没することになり、さらに斜坑、本トンネル、作業坑、先進導坑の全部が、海面の高さまで水没してしまうまで湧水は続くことになる（図10参照）。

これからさきは、まず主ポンプ室を守ることが最大の問題である。そのためには、主ポンプ室と大出水の作業坑との通路を確実に閉鎖しなければならない。作業坑と主ポンプ室とは三ヵ所

つながっている。先進導坑と作業坑の間は二カ所の立坑でつないで、この長いトンネルの作業中の換気に使っている。さらに作業坑と斜坑の交点、ここに水がくると、斜坑を流下した水は本坑に入る。作業坑からズリを出す坑道を通じて大きいズリ溜め（ズリビンという）から斜坑へベルトコンベアの坑道があり、ズリ搬出に使用している。出水がこれらまで約四・五キロメートル（その途中に一つ立坑がある）を12%の勾配を上りつつ流れてくるまでに処置をしなければ、全水没が考えられる。

まず、時間かせぎに、作業坑の中にせきを造って水勢を減じるために、最も入手しやすいセメント袋を途中に積み上げながら切羽から撤収していったが、出水が速い勢いで上ってくるので、さらに撤収して、出水箇所より約一・五キロメートル後方にある簡易水門を閉鎖して、水圧に負けないように再びセメント袋を積んだ。こうしている間に、作業坑と先進導坑の第一換気立坑をまず閉鎖し、さらに斜坑と、ズリ運搬坑への連絡をとるに作業坑の少し入った所で閉鎖すべく、セメント袋を積む作業を行なった。

しかし、これらは出水箇所から遠いので、切羽に近い第二換気立坑の閉鎖に全力を注いだ。直径二メートルのこの立坑は、作業坑と本トンネルとを結ぶ短い連絡坑の中にあり、作業坑からはセメント袋、本トンネルからはコンクリートを大車輪で投入して、この先進導坑への流入口を塞ぎにかかった。それでも水の浸入速度は変わらず毎分八〇立方メートル程度で、正確にはわから

なかったが、水の流出速度が勝つか、立坑閉鎖が勝つかのきわどい勝負であった。そのため、作業坑から本トンネルへの、第二換気立坑より出水箇所寄りの連絡通路（これは吉岡では五つ目の連絡路で、これを通じて吉岡としては五つ目の本トンネル切羽の作業をするためのもので、第五連絡坑と呼んでいた）へ水を入れるように指示をした。

この第五連絡坑が通じる第五本坑は、後述する膨脹性の強い箇所で、まだ吹付けコンクリートを仮に巻いてある所なので、吸水膨脹のおそれはないでもないが、海底下の岩石（というより粘土に近い）なのだから充分水で飽和されていると考えた。そこで、作業坑の四倍以上の大きさがあるこの部分に出水を入れ、これを一時的に貯水池にすれば、水が作業坑を上る時間が相当稼げ、第二換気立坑閉鎖作業の時間が少しでも多く取れる。

この頃は、私は主として外部との連絡のみを行ない、同じ対策本部の部屋で現場への指示や現場からの報告は、二三人の課長にでもらっていた。自分が直接電話していると同時に聞けないし、対外部への応対を統一するためであった。しかし、現場のJ.V.の所長から確認する電話があり、直接聞いてみると、第五連絡坑の閉鎖が始まったが、本当にそちらからの指示なのかという照会であった。これは、課長を通じての指示が途中で誤って伝えられて、現場責任者が逆の指示をJ.V.の現場にしたと見える。さきに述べたように、苦心して掘った大変な膨脹性の箇所に大量の水を入れられては困る、という先入観も働いたものと思われるが、間一髪で正しい方向、

つまり第五連絡坑を閉鎖しないで第五本坑へ流入させる方針が徹底した。

このときはトンネル現場は混乱し、責任者の所在をつかんで連絡することもほとんど不可能で、直接こちらの意図がわからなかったかも知れない。現場の公団側からも、実際どうするのですかととの問い合せがその後すぐあった。これは、辻秀紀計画課長が受けたので、対策本部長としての命令だと計画課長に強く言わせたのでいよいよ明快となったが、危険な一瞬であった。

その後、夜半の一時過ぎには、多少あてにしていた簡易水門の多くの隙間から水が流入したが、この水は第五連絡坑を通して第五本坑の方へ入っていったので、作業坑の水勢は衰えた。

そのときは、最重要の第二換気立坑の閉鎖は八割程度の作業量であったが、この一時の時間かさが大きく寄与して、午前三時頃にはほぼ終了した。このあとは、セメント袋と生コンクリートを投入しただけの換気立坑の栓が健全であるかどうかが問題であったが、コンクリートの硬化を待つ時間もなく再び水位が上昇しはじめたので、すべての作業員をその箇所から撤収させるのはなかつた。

その日は暁方から、電話番号を一人残して少し休んだが、なんとかしのいでもらいたいと祈る気持であった。特に、志半ばに逝った多くの先輩や部外協力者になんと申し訳するかという思いが心中を駆けめぐった。

しかし、夜が明けると、第二換気立坑から先進導坑へ落ちている水は毎分二立方メートル程度

であるとのことで、胸をなでおろした。さしもの水も、その頃には土被りの計算同様に、崩壊した地山がそれ以上の崩壊の進行を止め、かつ作業坑自体も崩壊土砂で埋まって、出水量は減少して毎分二〇〇〜三〇〇立方メートルとなっていた。そこで改めて、出水切羽から約三キロメートル後方にせきを造り、そのオーバーフローした水を本トンネル経由で、主ポンプ室に落とした。その夜中に竜飛から予備のポンプが着いて毎分三八立方メートルと能力は上がったが、たまたま、もとからあったポンプ一台のモーターが焼損して毎分三三立方メートルに能力が落ちたのは、泣き面に蜂というところである。

その後、主ポンプ室に上越新幹線用のポンプを移設し、毎分五八立方メートルの能力としてから排水作業を開始し、五月十五日から徐々にだが、確実に水位は奥へ奥へと引いていった。この場合は、水中ポンプ多数を線路上の台車に乗せ、パイプを延ばしながら前進してゆくのだが、電力ケーブルの表面は触れると手がビリビリとくる程度の漏電があつて、海水に濡れながらの作業は、完全な絶縁配電盤にするまで油断がならなかつた。

これだけの大出水なので、水温も、通常の地山の温度二〇度（C）から海底の水温一二度（C）近くまで下がり、作業員は二〜三時間で交代しなければ暖がとれない程度の冷たさであった。作業衣はウェットスーツでやったが、道内のウェットスーツの在庫がなくなってしまうくらいである。

かなり排水が進んだので、私のほか三人でボートに乗って崩壊箇所を見にゆくことにした。初めは天井までの高さに余裕もあったのだが、進むにつれて水面は天井に近くなり、そこでボートを置いて排水管にまたがって進んだ。排水管も泥でぬるぬるして進み難かったが、ついに崩壊切羽へ来た。数センチ程度の小片の岩片が残っていて、天井と一五センチくらいの間から水が噴き出している。まったくの海水であるが、綺麗な透明な水が勢いよく噴出している。崩壊岩片の山の上に乗って、噴出水の上や横を見るが、狭いのと暗いので何も見えない。しかし、最前線の様子がわかったので、回復方法は立てやすいと考えた。

四人で行ったので交代にのぞいたが、最後の兵頭弘記副所長が見たときに、ゴーという雷のような音がしたかと思うと、透明な水から泥水に変わり、大男の兵頭副所長が岩片の上を押し流され、大量の水が出てきた。まだ海底からの流路は安定せず、崩壊を起こしているようである。増水してきたので、この場所に閉じ込められてはと、一目散にぬるぬるした排水管に乗りながら逃げ返った。水際で見えていた人々は、急に増水して水際線がまた約二〇メートルくらい上がったので、何かあったかと心配したようだが、なんとか還ってほしかった。しかし、その後は、崩壊箇所はすでに見たのだから、再崩壊の危険もあるので進入厳禁として、排水に専念するようにした。六月二十四日には崩壊切羽に達した。相変わらず噴出していた水は、太いパイプ二本に集めて、周囲をコンクリートで固め、さらにそれをパイプでつないでいくと、海面からの圧力がかかっ

て、そのままポンプなしで主ポンプ室まで流し込むことができるようになった。その後は、崩壊土砂やパイプなどの整理をしながら、さらに厚いコンクリート壁を作り、最終的に水の出ているパイプに予め取りつけてあったバルブを閉じた。そうすると、全水圧がコンクリート壁と周辺の地盤にかかってくるが、少し変形したかなという程度で完全に止まった。あとは崩壊土とコンクリート壁の間の注入を完全にすると、大きい栓ができて、もはやなんの心配もなくなった。

八月五日から、出水箇所を迂回して作業坑の再掘削作業のための注入にかかったのである。

この間、いくつかの混乱はあったが、全員が各自の持ち場でよく頑張った。食事もトンネル内で済ましてしまうことが多く、女子職員が炊き出しして弁当にしたものを作業地点の近くに置きに行っても、前に置いておいた弁当が沢山手につけられずに残っていたこともたびたびであったという。

文字通り不眠不休の水との戦いであった。この事故を通して、死傷者は一人もなく、苦しいながらも整然と仕事をしたと思う。この三週間を着の身着のまままで仮眠するだけなので、一段落して中原課長とサウナへ行つて寝ころんだときは、心地地するとはこのことかと感じ入った。

後で映画『海峡』、東宝五十周年記念映画)になったとき、作業長の殉職シーンが入っていたが、それはそれで映画としての一つの見せ場であったのであろう。実際とフィクションは目的が違うので、このようなこともあって良いのでは。また、このトンネル自体が三〇年以上かけて成し遂

げられたものであるだけに、一つの歴史として描かれていた。その後、種々の本も出ており、その中で、出水後、直ちに電話で本社から対策本部へ何か条かの指示をしたなどとあるが、事情を知る人を見ると、時間的にまったく成立せず、そこまで霊感的に先が透視できるのは噴飯ものである。これに類するいくつかの著述を見ても、青函トンネルはヒストリーの時代に入ったのかな、という感慨を覚える。長い間かかった青函トンネルには一部ずつたざわった人々が多いので、ある一面を見て錯覚したことを事実のように記憶する人も多いのだろう。

また、この出水事故で感じたのは、日頃のコミュニケーションがいかに大切かということである。電話による声のみでは、よほどの理解力がないと、困っているのか、望んでいるのか、わかからない。まだまだフェース・トゥー・フェースの情報が大切であることには変わりはない。

出水のほかに強敵だったのが、前述の膨脹性の岩盤である。水平ボーリングをしてもすぐに孔が塞がってしまう。したがって掘り抜くことが困難である。四回の異常出水は、すべてボーリング孔が膨脹地山で閉塞して、掘り抜くことができなかった所で起こっている。その中で吉岡の第五本坑が最悪で、先進導坑、作業坑も、掘ったあとと放置すると地山が膨脹してトンネル自体が狭くなってくる。

本トンネルはその経験から、多くの断面に分割し、かつ特殊な鋼管支保工を使用して掘削したが、たびたび支保工が破損したり変形したりした（一八九ページ参照）。掘ってゆく正面、すなわち切羽も同様に膨れてくるので、掘るのは素早くやらないといけない。まるで自転車操業のように、掘るのと膨れてくるのと競争であったような面もある。

自然と人智

もともと、日本人には固有の宗教として、自然（山や川、大木など）を神とする風習があった。人間の力の及ぶことができないものとして、かえって尊敬や恐怖の念を持っていたのである。長年の自然との交渉や研究があっても、地震、台風、洪水などの猛威はコントロールできるものではない。ただ、それに耐える設計がようやくできるだけで、自然の広さ、大きさは手のとどかないところにある。しかもトンネルを掘るということは、その自然に手を加えることなので、われわれは自然を変容させて起こる、あらゆる徴候に万全の注意を払わねばならない。それは、予期しうるものもあれば、計測しうるものもある。一方では、ただ経験的に判断をする場合もある。

前方予知では、先進ボーリングで前方最大二一五〇メートルまで掘ったことがある。これは水平では世界記録であるらしい。というのは、このような水平ボーリングを長くやるような必要性が、世界中でなかったということであろう。なるべく前方の地盤の状態（これには地盤の性状のみならず、湧水の量や水質を調べることも入っている）を早期予知して対策をたてる。場合によって

事前の技術開発や準備が必要ならば、直ちに措置しなければならぬ。その対策期間は、水平ボーリングが長い方が余裕をもってとれることになる。

海峡中央部の場合、音波探査によると、下方に褶曲しゅうきよくする盆状構造をなしていることが明瞭に判断できる。しかし、下に褶曲している地層一つ一つの性質はわかってこない。それで、海上からのボーリングで確認することが必要である。しかし、海峡中央部の海潮流の速い所で、かつ水深が大きいと、当時の技術では不可能に近かった。北海油田では、大きなプラットフォームから荒海の中で作業をやっているが、青函のような海流の速い所では、現在でもさらに今一步の改善がはからなければならない。ましてや、石油採掘は生産設備として何千メートルも掘るのであるが、トンネル調査のためには一〇〇メートル程度掘れば足りるのであるから、海上装置の大きさに対してあまりにも掘る長さが短かすぎる。これに数十億円(当時のことで、現在では数百億円)を投ずるよりは、先進水平ボーリングの方が、上からのボーリングが点であるのに対し線状に地質条件がわかる。ということ、トンネル内からの水平ボーリングに切り換えた。

これだけの長いトンネルを、全延長にわたって、先進水平ボーリングを工事の一部としてルーティン・ワークに組み込んだのは、世界でも初めてであり、うまくいったと思っている。

この水平ボーリングが、われわれがトンネル前方の自然に、なまで接する最初の触手である。水平ボーリングが二一五〇メートル先進するためには種々の技術的要因が必要であったが、その

一つは、今までのボーリングと違って、循環水をボーリング管の外に通す(普通はボーリング管の中を通る最先端のケースにボーリングの岩芯を入れて、それを引き出して地質を判定する)やり方である。これによって、送水圧によりボーリング孔の崩壊を防ぐことができるので、長い水平ボーリングは青函では最終段階で使用した。リバース工法と呼んでいる。

この工法では、循環水はパイプの内側を岩芯(コア)とともに水圧で送り出されてくるので、岩芯も連続的にボーリング孔口に出てくる。それはよいのだが、粘土や砂の地質の場合は孔口にくるまでに流されてしまうので、ボーリングの岩芯サンプルは、割合しっかりした岩石しか得ることができない。不幸にして海底中央部の砂の層は、ボーリングでは明瞭には確認できなかったのである。

前述のように、音波探査のような方法では岩の質までは特定できないので、砂層はどの方法でも確認できなかった。砂の層は一般的に注入によって均等に固結することはできないので、青函トンネル試掘前に、注入試験の一部として淡路島の岩屋という所で砂の固結試験を一応しておいた。それは、砂層を凍結させるやり方であって、凍結が進むと砂が砂岩のように固い地層となったので、断層の砂の所にも対応できる自信はあった。そして昭和四十二、三年頃も、海峡中央部の地層の試験を小泊でやった。しかし、青函トンネルの中央部を掘る頃には、その頃のことを知る人は皆無だし、もともと先進ボーリングでは認識できなかったので、先進導坑(中央部では作

業坑と同一のものとなる)で遭遇して初めてわかった次第である。

もともと青函トンネルの技術開発は、掘る前の昭和三十三年頃から、引きつづいて現場で掘りながら一定の方針のもとに現場に適合させた昭和四十五年頃までで、さらに勢いをかりて昭和五十五年頃までは現場的課題に対処しながら整理していったのである。人の一生と同じように、ある時期からマンネリになるのは避けられず、その後は従来の技術の延長上での改良にとどまったのが実状である。だから、この砂の層は完成前の大きい問題であったが、在来の注入半径の拡大と注入量の増加で対応して掘り進んだのである。この砂の層は約三枚の層で、トンネルの施工位置が一〇メートル以上下であれば避けられたのではないかと思われる。

このように、砂は大変だと予測して二〇年以上も前に試験しておいても、自然の変化を読み取る前方予知の方法は不十分であり、変化にすぐ対応できる人間の力もまた時間も足らなかったといえる。これは一例であるが、このような自然の懐の深さは測り知れず、前もって準備したのも不十分で、人間の力の小ささを痛感させられたことはたびたびであった。長い技術開発も、自然の深い懐の中での一つの努力に過ぎなかったといえる。

といっても、技術開発を怠ってよいということに対する免罪符とはならない。むしろ自然と人間との距離を少しでも開かないようにすることのためにも技術開発は常に必要であったし、むしろ、これが、自然の性格に触れる機会をいろいろな角度から与えてくれるものであった。

そうはいうものの、トンネルの終末期には徐々に掘るための技術開発へのエネルギーが失われて、トンネルのあとをどうするかの方に偏りがちであったという感じは否めない。

いずれにもせよ、私にとっては津軽海峡の自然は、終始三〇年間、変わらぬ厳しい師であって、あるときは到底ついてゆくことが不可能だと思わせるほどの高みにあり、あるときはこのような簡単なことがわからないのかという叱責や、わかったときにはよくやったという常に変わらぬ温かい眼をも感じさせた偉大な師であった。この師に少しでも近づく努力をしながら、結局は師の足元を注意深く、知られつつも通り抜けたということでもあろうか。今はただ感謝あるのみであるが、師の叱正を受けないためには、師に自然の命ずるまま、調和に心がけて、はじめて足元の隙間を通り抜けることができたのであろう。

その意味では、青函トンネルの完成は直ちに技術の高レベル化を意味するもので、その中で抜けている部分を機会をみてさらに進めることが論理的に正しいと思うが、自然への実際の対応は変わってゆくことになるであろう。

トンネルの鉄道網における位置づけ

青函トンネルそのものの工事開始は、さきに述べたように、日本の高度成長の持続の中、経済

基盤（インフラストラクチャー）を造成する余力の中でスタートした。それは、交通機関の安全性のための、失われた多くの人命への償いという命題から離れてはいたが、国の経済力をまたねば工事費がどこからも出てこないの、タイミングが必要であった。

その後、全部を直轄でやることは規模が大きくて不可能なので、請負に付することとし、海底トンネル工事としてのリスクを分散させるためにも、北海道と本州の両海岸線から海底へ進む部分は三社の共同企業体（J・V）でやることになり、それ以外の陸上（底）部は七工区に分け、工区の長さによって単独かJ・Vによる請負とした。本工事発注後に、昭和四十八年および昭和五十四年のオイル・ショックが発生し、最初のは主として材料、賃金の物価高騰をもたらし、二度目はそれに追打ちをかけたので、成長の鈍化がみられるようになった。

青函トンネルの本工事の着手はまた、高度成長期以前では大工事のためにスタートできる力が日本にはなかった。その頃聞いた話では、公団総裁が当時の田中角栄自民党幹事長に青函トンネルについて説明したところ、世界第一の長さを持つ大トンネルになるのでは困る、せめて世界第二位程度にならないか、との質問があったという。あの剛腹をもって鳴る田中幹事長をしてそう言わしめるほど、当時の日本の経済力では身のほど知らずであったのか、あるいは当時の幹事長は世間の噂とちがひ、非常に細心なバランス感覚の持主であったのか、とも思われる。

一方、オイル・ショック後では、またこのような大プロジェクトの発足は困難であっただろう

と考えてもよい。というのは、国家財政はあまりよくなり、青函トンネルの建設費に対して行なわれていた利子補給が年々少なくなり、ついにはなくなってしまうのもこの時期であることを考えると、なかなか難しい財政状態で、いわゆる低成長の経済状況であった。したがって青函トンネルの着工は、きわめて微妙な、唯一のタイミングで行なわれたといえる。それより早くても、また遅くても、この案の実施は相当難しかったといえる。このようなきわどい、むしろ唯一のタイミングでスタートしたのであった。

開業設備は、まずトンネルの両端を、実際に営業運転を行なっている線、つまり本州側では、津軽線、北海道側では江差松前線と連絡するアクセス・ルートの新設。それに伴う、東北本線の青森や函館本線の函館（実際には五稜郭）の改良などが必要である。また、これらの駅までは新幹線がまだできていないので、どこまで新幹線規格でやっておいて、将来新幹線完成とともに使用できるようにするかも一つの問題であった。

一方では、もともとこのトンネルは旅客のみならず貨物も輸送して、本州―北海道の連絡をするためであったので、単に旅客のみの新幹線にとどまらず、貨物も輸送する必要がある。そこで、どの駅またはどの箇所までのトンネルの連絡アクセスを建設しておいたらよいか大きい問題であり、次は、トンネル自体は新幹線でも使うことができるように考えて設計してあるが、在来線をも通すにはどうすればよいのか、また新幹線のみか、との選択も必要であった。

トンネルが長いので、電気運転にしないと換気などが大変であり、電気運転なら貨物などの在来線列車の運転電力をどうするのかという問題も生じた。開業が近づくと、新幹線を通すにしても、少なくとも盛岡―青森間が新幹線で運転を始めるには少し時間がかかることも明白となってきた。

これら、新幹線と在来線の使い分けをどうするかなど、多くの技術的諸問題をかかえることになり、国鉄の各機関との協議が必要になった。そこで技術的問題を含めて協議機関をつくって、多くの実施案を持ち寄り、研究・討論をしながら長期にわたって技術開発を進めた。

そのためには、青森までの新幹線（東北新幹線）と青森から札幌までの新幹線（北海道新幹線）のルートをほぼ想定しておかないと、青函トンネルとの結びつき（アクセス）を決定できないので、一つ一つ想定を互いにやった。そして案はいくつもあったが、その中から、在来線は青森から津軽線で行き、一方想定される新幹線ルートとの分離は、中小国の少し北海道寄りの方でやる。そしてその分岐点は、新幹線が延長されてきたときに、現在の設備を撤去して改めて新幹線用の設備を再度作ることを最小限にする（つまり「手戻り」をなくす）ように、直ちに接続できるようにしておく。また北海道側も同様で、木古内駅の手前、つまり少し本州寄りの箇所、分離・接続が可能であるようにしておくこととなった。この案以外にもいろいろあり、青森―函館間のすべてを新幹線の路盤でやっておくか、逆にトンネルを出た至近箇所接続するか等々の案もあった。

だが、協議の結果、現在のように決めた。

在来線（軌道の内側の間隔が一〇六七ミリの狭軌）と、新幹線（軌間一四三五ミリの標準軌）とを併設するか、そのどちらか一方のみを通すことにするかも検討をしたが、将来のことを考えて、とりあえずは狭軌の在来線を通すが、将来新幹線ができたときは直ちに切り換えるか、または併用できるようにすることになった。

一方、貨物列車の車両は当然ながら狭軌であって、一〇万両以上の車両をすべて新幹線用にすることはできないし、また貨物列車は全国津々浦々まで行くので、すべてを新幹線用にすることは当面不可能である。それで、適当な箇所、トンネル内外の標準軌（世界のほとんどの国がこの軌道で運転されている。これより軌間の大きいのを広軌といい、スペインやロシアの一部などにある）の車両から狭軌の貨物車両に積み替える案も検討したが、規模も費用も大きくなり過ぎるので難しいということになり、廃案となった。この点、旅客は自分で動くから乗り換えは容易だが、貨物には手がかかる。このことは、自動車でも船でもすべての交通機関で同様である。

そこで、狭軌と標準軌を併用して、これを通る車両を分岐させるためのポイントを造ることが可能かどうかによって、将来トンネルを狭軌、標準軌の併用とすることが可能かどうかが決まる。狭軌、標準軌を同じ路盤の上の道床で三線（一本のレールを共同使用して、軌間の違うものをそれぞれ一本ずつつける）、四線（それぞれが狭軌を内側に入れて作る）で使うことは、ともに可能である。

ポイントも実際設計すると可能なのであるが、四線であると、ポイント部で新幹線の方は少しスビードを落さねばならないことと、保守に手間がかかるなどの理由で、三線の方が有利であるという事になった。現在は狭軌で使用しているが、標準軌のレールを増設するときの手間を省くために、枕木(スラブ)には標準軌のレール固定用の孔がすでに作ってある。

電気運転のための電圧は、在来線が二万ボルトなのだが、新幹線は二万五〇〇〇ボルトなので、それに耐えうるような構造にし、かつ切換えが可能ないようにタップがつけてあるので、電圧の切換えは容易である。電力の容量も新幹線運転に合わせて余裕をもっている。

また信号は、もともとこのような長いトンネルの安全性を確保するためにも、品質の高いものでなければならぬと考えてはいたが、在来線のみが開業であるなら、色灯式(普通によく見られる赤、橙、青の信号)で可能かどうかを調べてみた。しかし、入口付近や斜坑付近では気候によって内外温度差のために霧が発生するので、実験の結果では困難と判定された。それで、最初から新幹線と同様の信号システムを、中小国トンネル―木古内間に入れて、函館で集中管理するCTC(中央列車制御)システムにすることにした。

信号の電源は、本州は東北電力から、北海道は北海道電力から、運転などの電力とともに供給されるが、電力その他と同様に一方のなんらかの故障にも片方の電気が全区間に供給できるようになっている。信号、通信(一部、光ファイバーを使用)の場合は、電力の周波数は東北、北海道

ともに五〇ヘルツなのだが、少し精度がちがう(五〇±XのXの値)と大きい障害となるので、調相器で周波数の精度を合わせなければならなかった。

一方、安全は輸送の場合の最重要事項であるので、特にトンネル内の火災についての諸設備も研究した。さきに国鉄では三河島、鶴見の脱線事故や、北陸トンネルの火災事故などから、廃線となった狩勝線を使って大規模な脱線や火災のための実験を行っていた。その結果を利用して、トンネル内で火災が生じた場合(トンネルの直前で発生した場合も含んで)、どこで消火するか、またその必要をどこで検知するかという問題について討論が行なわれた。

その結果、トンネル内での火災の発生については、温度検知と煙検知をトンネル内とトンネル外でやる。火災が発生すれば、なるべくトンネル外に出て、旅客を避難させてから消火するのが原則だが、このトンネルはあまりにも長く、中間で消火・避難の必要が生じるので、車両の内装の難燃性(約二〇分近くは燃え上がらない)を考慮して、約二〇キロメートル程度の間で避難設備を作る事になり、それぞれ竜飛、吉岡の斜坑の分岐点付近で停車して、乗客を作業坑の方に避難誘導し、一方で火災発生車両には上と横と下にスプリンクラーで放水し、さらに窓を割って水で消火するような設備をした。このためにも、火災に関する委員会で一〇年近くも検討したし、実際トンネルの中で車両そのものを燃やすことを含めて実験してデータを取り、分析して設備を造った。

現在、この停車防火設備はそれぞれ竜飛、吉岡海底駅として、通過する列車の一部を止めて、海底トンネル見学の施設ともなっている。

地震に対しては、トンネルはもとも丈夫なのであるが、青函トンネルの場合には、地表と、斜坑の中間と、最深部のポンプ室あたりに地震計を設けて、同じ地震を約二〇年以上も観測している。これによると、トンネル内では、地表の地震の強さに比べて約四〇六分の一程度に弱まっている。これがわかっている。これは、地表が地盤と空気との間で自由に振動するのに対し、トンネルは地盤の中なので、不自由にしか振動できないからだといえよう。しかしながら、トンネル内に敷設してあるポンプや排水パイプなどは空気の中にあるので、本来の地盤振動は小さいが、大事をとって、地表と同様の地震の強さを考慮した耐震設計をしてある。

また断層や地質の変わる所には、トンネルの変形を測る装置もつけられている。建設中には十勝沖地震、日本海中部地震などがあったが、トンネル内で作業している人々は感じることもなかったようである。心配してトンネル内に電話しても、相手の方が何を聞かれているのかわからないくらいで、被害もほとんどなかった。

これらの安全設備、火災や地震、地盤の変形、さらにはポンプの稼働状況、湧水量の地点ごとの量や全体の湧水量、その他列車の運行状態、トンネル内の温度や風速（通常も熱が蓄えられて温度が上がらないように送風している）などもすべて、函館のCTCによってパネルの図やコンビ

ュータの画面に表示されていて、すべて指令員、監視員によって坑内テレビを加えて常に見守られている。

トンネルができ上がりがけると、前述の経済状況の変化とあいまって、トンネルをどういう形で使うか、また極端なものとしてはトンネル無用論までいろいろな意見が出はじめていた。當々と二〇年掘ってきて、外へ顔を出したところが、冷たい風が吹き込んできたような感じである。

もともとは交通路の安全を確保するためのものであったが、昭和五十年から六十年にかけては経済至上主義の時代であって（今もそうである面もある）、トンネルの当初目的は、経済の発展や、個人収入の増加、道路の建設の加速に伴って、国民の選択する交通手段も多様化（モーターシフト）してきたために、風化してきたようにみえた。

そこで運輸省は、青函トンネル問題懇談会をつくり、さらにその下に青函トンネル問題研究会をつくって、青函トンネル完成後の利用方法を検討することになったのである。これには大蔵省に対する配慮も多分にあったものと思われる。

トンネルを石油の備蓄に使ったらか、キノコ栽培をすればという交通外の利用法から、自動車やコンベアでスキーリフトのようにして運ぶ方法、多目的利用として電力・通信・パイプラインなども併設する等々の多くの意見が出た。トンネルを掘る以外にこのような検討をせねばならないとは、まことに残念ではあったが、これも時代のしからしむるところで仕方がない。

研究会でまず種々検討した結論は、自動車に対するサービスとして、自動車を列車の台車に載せて運ぶカートレインを計画した。そのためには、青森―函館間も全部新幹線化しないと、大型トラックなどを含めすべての自動車を運ぶことはできないので、新しく新幹線を少し延長せねばならない。しかし、その建設費はカートレインの収入から八〇一〇年で償還できるので、経済的には可能との結論を出した。しかし、この案はさらに投資額が増加するので見送られ、青函トンネルを鉄道としてのみ利用するという、もともとの目的が懇談会の結論となった。

二年以上もかかったこの懇談会も、経済状況の変化に対するトンネル利用の再確認という一つの手続きとなったのであろう。これに関しては多くの意見もあったが、長くなるので省略する。しかし、現在では通信設備は付加されている。

開業後もひき続き、事故予知や、地震対策、三線軌道など種々の技術開発が行なわれたが、その中では三線軌道の研究がその後の山形新幹線や秋田新幹線などで生かされてきている。

工事費その他

本工事前の検討から工事費は全体で二〇一四億円としたが、これには若干の余裕はもっていた。建設中にオイル・ショックなどを原因とするインフレがあったが、二〇一四億円を算定した昭和

四十五年価格に換算すると、最終的には二三〇〇億円程度となり、一〇％程度の上昇で済んだ。増加の理由は、海峡中央部の悪い自然条件を含む注入費の増加、新幹線を想定した設備（これら新しくすると大きい手戻りで工事費が多くなるものだけを、前もってやっておいた）などが主なものである。

一方、当初想定より減じたのは、技術開発による建設費の低下、軌道工事費の低下（これも山陽新幹線、上越新幹線などによる技術開発の利用があげられる）などであり、ほぼ相殺して、このような大プロジェクトにしてはうまくコントロールできた方であると思っている。

先進ボーリング、注入に加えるに、S E C (Sand Enveloped Cement 一九〇ページ参照) のような、砂にセメントをまぶしてから砂利と水を加えて、安定した強度の出るコンクリートの開発を含めて、多くの必要に迫られての技術開発も、今となれば、その開発過程と人間の心の動きの方が面白い。むしろ他の現場で現在はよく利用されている。

この海底トンネルの完成に触発されて、英仏海峡をはじめとして、デンマークのグレートベルト、東京湾横断道路などの着工も見、さらにデンマークスウェーデン、ジブラルタル海峡、日韓トンネル、揚子江川底トンネル、ベーリング海峡等々、計画は多く出てきている。これについては最後の章で述べよう。