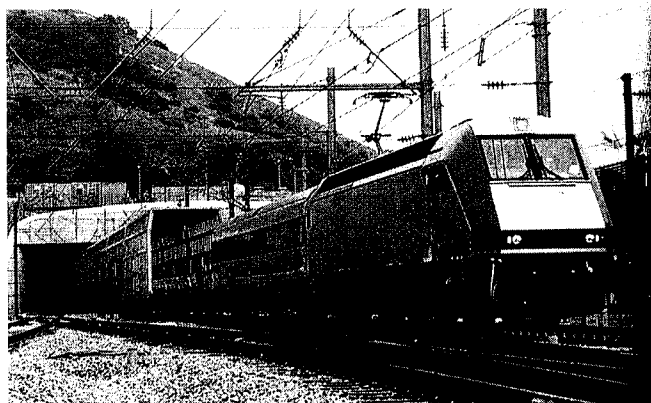


第二章 英仏海峡トンネルの開通



イギリス側のトンネル出口と貨物シャトル

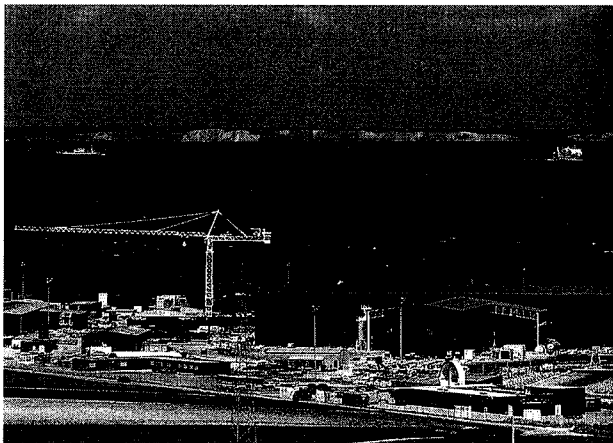


図11 フランスのカレー側から英仏海峡を越えて英国のホワイトクリフを望む。

ることができ。この付近の海峡の幅は、最短をとると、英国側ではドーバーとフォークストンの間のイーストウエアから、フランス側はグリネ岬まで三四キロメートルである。この線上近くの水深は四〇〜五〇メートルで、その間にヴェルネ浅瀬という最小水深三メートル程度の大きな浅瀬があり、これを利用するトンネルその他の案が非常に多くあった。

英仏海峡の地質は一六二八年にヴェルスタゴンによって研究され始めた。これは海峡の成因を考えたもので、両側の白い崖は同じチョーク層であり、しばらくは海底へと続くが、数マイルで切れて、落ち込んだと考えられている。この当時は、まだ長いトンネルを考えるには至っていないだったので、ここに堤防のようなものを

トンネルの構想と実現化の歴史

かつての交通の要衝

フランスの北部、英仏海峡に臨む港湾都市カレーのサンガットから北の方を眺めると、広やかな青い海の間際に、イングランドのドーバーの白い崖ホワイトクリフが、ときには日に映えて鮮やかな白さに光る(図11)。気象の良い日は、まるで手にとるように見える。フランス、すなわちヨーロッパ大陸と彼方の英国とをへだてる海峡はこの付近で最も狭く、最もよく交通に使われたので「ザ・チャンネル」(The Channel)という固有名詞でも呼ばれる。このザ・チャンネル(フランス語ではラ・マンシェ)は東西に長いが、ドーバー・カレー付近は互いが指呼の間に見えるので、英仏間の交通はここが主な航路であった。かつて(一世紀頃)はローマの精兵たちが通り、客貨の交通も盛んであり、十四、五世紀頃には、英仏の百年戦争の兵士たちも通ったことであろう。このように交通の要衝なので、ドーバーには十一世紀頃に建造されたドーバー城が、今も当時のままに近い構造を残して、海峡を睨んでいる。

一方、カレーも英仏の攻防が繰り返された所で、城壁が残っている。その当時はカレーは英国の大陸への基地として英国の支配下にあったことは、ロダンの名作「カレーの市民」でも見てと

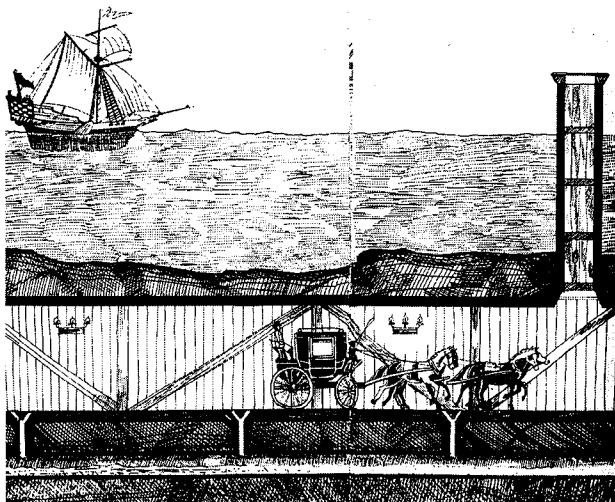


図12 フランスの技師マテューが提案した最初の英仏海峡トンネルの構想 (1802)

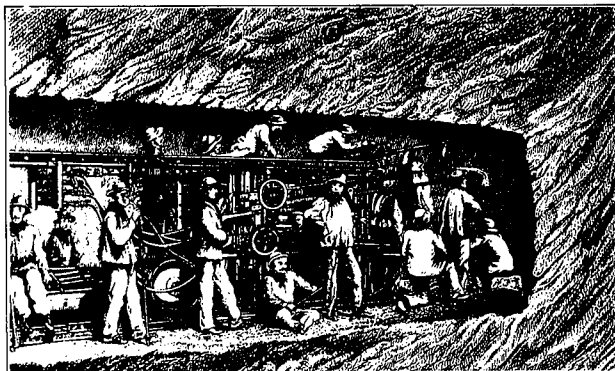


図13 英国のポーモント大佐が考案したトンネル・ボーリング・マシン (TBM) を用いて陸上で試掘が行なわれた (1880)

造り、両国を連絡することは可能であるとした。これはルイ十三世の時代のことであったが、ルイ十五世の一七五一年には、ニコラス・デスモンドが一步進めて、海底でのチョーク層の存在を研究し、同じ年、フランスのアミアン・アカデミーが海峡連絡案を募集している。

これら構想の時代がすぎて、もう少し現実的な案が出たのが、アルベール・マテューがフランス革命後の一八〇二年に、ナポレオン一世に設計案を提出したときである。これが、英仏海峡トンネル構想設計として最初のものである。当時のことであるから馬車用のトンネルで、ルートはグリネ岬からヴェルネ浅瀬を通り、ドーバーの西に出る最短コース案である。馬車トンネルには灯火カンテラが使用されるので、その排煙のために、多くの立坑から鑄鉄製の筒を出して海上に排気し、ヴェルネ浅瀬には人工島を造っていったん出て、馬を交換したり、休養させたりして、再び海底に入り、英国に向かうという案で、排水用には別の小さいトンネルを設けることになっていた(図12)。馬車での最短時間約一時間で、両国を連絡するという案である。この案にはナポレオンも乗り気であったが、一時的な休戦も破れ、再び戦争が再開されて、ついにはエルバ島に流されてしまったので、この案もお流れとなった。

その後一八三一年から、フランスのトム・ガモンがみずから海底の地質を潜水して調べたりして、苦心のすえトンネル案を作成した。この頃(一八六九年頃まで)には、英国側でジョン・ハウクショウも独自に研究を始め、互いに連絡をとりながら種々の海峡連絡案を考えていて、一

八六七―六九年にそれぞれ発表した。これらの中には堤防案、橋梁案、チューブトンネル案などが含まれているが、主体はトンネル案であった。これらの案は、さきのマテューの案と同様に最短ルートをとっているが、自然条件があまり良くないので、現在の技術でも工費も高く工期も長くかかると思われ、技術的には困難な部類に入るトンネルである。しかし、当時としてはこれらの案は真面目に評価されて、一八七二年にはほぼ同時に、両国の海峡トンネル会社、鉄道の出資を含めて設立されていた。これは現在のユーロトンネル社の母体である両国の海峡連絡会社、形は異なるが最初のものに相当するといってもよいであろう。

海底トンネル案の実現可能性

その数年後、海底地質の調査の進展とともに、フランスの地質委員会（ラブレイ議長）が、さらに詳細な海底地質をまとめた。これはその後の地質調査の基本となるもので、「英仏海峡には、トンネルを掘るのに適した下部白亜紀のチョーク層（今回掘った層もこれと同様のチョークマール層）が連続しているのので、それを掘るには海峡の最短コースよりも少し東側のサンガット（カレー）―ドーバー間の方が、連続したその地層に出合う公算が大きい」という内容である。概括的には、現在の地質調査の結果とよく合っている。これでトンネル案は新しい局面をむかえる。

パリ万博（一八五五年）でナポレオン三世は、英仏海峡トンネルの模型を発表するのに協賛し、一方、英国もクリミア戦争後のことで、ヴィクトリア女王も賛成して、徐々にトンネル実現に動いていった。しかし、普仏戦争などの政治的動乱があつて、この気運も一時は停滞したが、スエズ運河の完成などの刺激もあつて、ついにさきの地質構造の推論を実証するために、英仏両岸で海底地質、特にチョークマール層の物性を調べることになり、一八八〇年に海峡連絡会社によって試掘が開始された。

英国側は最初はドーバーの西で、ポーモント大佐の考案になるトンネル・ボーリング・マシン（TBM）（図13）を、出水のない陸上のアポットクリフで試用し、約六〇メートル掘った。（このトンネルはまだ残っていて見ることができるとのこと）その後、同じ七フィート（二・一メートル）の径で、現在の英国側の基地であるシェイクスピアクリフから、ドーバー港の方へ向けて約一・六キロメートルのトンネルを試掘し、これでチョークマール層がトンネル掘削に適していることを実証した。（二〇〇年以上の年月を経過しているのにもかかわらず、これも現在残っている。今回の工事の斜坑掘削の途中でぶつかつたが、ほとんど崩壊していなかった。それほどこのチョークマールという地層は、しっかりしているということである。）

フランス側でも同様に試掘された。しかし、こちらは例のガモンがブレトン式のトンネル・ボーリング・マシン（TBM）を気に入っていたこともあつて、ポーモント式と併用して試掘を行なった。ともに蒸気機関によって圧縮空気を作り、パイプでトンネル内に入れ、それを動力とし

てTBMを回転掘進してゆくものである。これによってフランス側も約一・八キロメートル近くの試掘を行なった。

試掘が進むにつれて、反対も起こってきた。主として英国陸軍のウエズレイ將軍およびケンブリッジ公を主とする国防上の理由である。トンネル計画者は、いったん事ある場合には、トンネルの一方の口から水を注ぎ、油を燃やして防衛しようとしていたのだが、その前に、その設備をひそかに少人数で占領されれば、トンネル内を多数の本隊が通過できるという理由である。そのため一八八二年には英国側が六対四の委員会決定で中止、一八八三年にはフランス側も中止して試掘は終わった。しかし、このトンネル試掘により、英仏海峡下の地質はトンネルを早く安全に掘削することに適していることが証明された点で大きい意味を持った。つまり最も大きな自然条件という難点がほとんどなくなったことになる。

その後も、英仏海峡トンネル会社による、特にフランス側からの案の推進がみられたが、第一次世界大戦で頓挫した。戦後再び平和が訪れるとともに建設運動は動きだした。この案は現在のサンガット・ドーバーのチョークマール層を掘ろうとするもので、フランスのサルテューの案である。(同様な案は英国でもフォックスやテムペストにもあった。)これはフランスの運輸委員会の承認を得、かつ英国のトンネル委員会も支持を表明したが、一九三〇年に英国下院での採決で一七九票対一七二票という僅差で否決されたので、不況ともあいまってトンネル計画は再び延期

となり、第二次大戦を迎えるに至った。

戦後、英仏米の三組織によって、チャンネル・トンネル・スタディー・グループ(CTSG)が一九五七年に組織され、再び検討に入った。このグループの技術総括責任者がマルコールで、この人は、筆者が青函トンネルの技術調査のために海外に視察に出た折り、パリの事務所でも討論した人である。

このグループの出した結論はほぼ現在の海底トンネルの原形であって、細部は別として、設計は基本的にあまり変わってはいない。グループはその後、政府機関的なチャンネル・トンネル・グループ(CTG)に引きつがれ、検討の結果、サンガットとドーバーのシェイクスピアクリフ(シェイクスピアの作品に出てくるのでこの名がある)で一九七三―四年にかけて斜坑(立坑)と水平坑(サーピス・トンネル)を、やはりTBMで試掘した。しかし、これも主として英国のオイルショックによる経済力低下が理由で、中止となった。

その後一九八四年に、サッチャー英首相とミッテラン仏大統領との協定に至って実現を見るのだが、あとで別に述べることにしたい。

再三の中止と英国人の潜在意識

以上、長々と英仏海峡トンネルの歴史を述べたのは、この計画の再三の中止の要因について少

し述べてみたかったからである。

まず、トンネルまたは他の案による海峡連絡は、主としてフランス側の発議によることが多い。むしろイギリスの貴族階級の中にも、この計画を推進する人もいたが、これは英国特有のディレクティブ・システムによるものと考えられる。それに対してフランス側は、先進的な設計を常に持つて推進してきた。これはレセブスのスエズ運河開削という世界的な交通路革命にも刺激されているが、フランス人の一面の先進的な気質を表している。

一方、英国は、海峡連絡ができれば、その最大の受益者となるわけであるから、海峡連絡の必要性を感じていることは言うまでもないが、そこにはやや複雑な面がないでもない。つまりトンネル計画の再三の中止は、ほとんどすべてが英国側からされているということである。

英国は長く大英帝国として、ヨーロッパ大陸と対等の立場を取ってきた。そして大陸での紛争にも一方に早々とは荷担せず、多くの植民地の動向をも見ながら「栄光ある孤立」を取りつづけてきた。これには英仏海峡という海の障壁が何よりも多くものをいっただ。またそれは、ダンケルクの戦いで示されたように、英仏海峡をしっかりと支配しておれば、国の尊厳は傷つけられることがないという意識をさらに強固にした。

それに対し海峡を連絡することは、大英帝国がヨーロッパの一部となり、もはや相対峙する国ではあり得なくなることになる。このような英国人の深層心理が常に働いて、トンネルに対する

最終的なためらいとなつて、再三の中止という経緯をたどってきたと思われる。

しかし、二回の世界大戦で体験したように、もはや戦争は軍人（または貴族）のものだけではなく、国民全体を巻き込む総力戦であり、そのために二度の大戦では、勝利者の側にいながらも、戦後隆盛になるどころか、常に衰退への道を進むことになったのである。

それゆえに、現在建設されているトンネルに対するサッチャー首相の決断は、明晰なものであったと思う。しかし、潜在意識としては、かつての大英帝国的発想が完全に消えてはいないことは、英国側国鉄への投資に対するためらい、ケント州の反対運動、国会への反対請願の多さなどからも、うかがい知れる。何年か前に英国の知人が、国民投票すればトンネル反対が相当な票数を得て、ひよっとすると優勢になるかも知れないと言っていたのも、もつともであると思う。

しかし、いまやトンネルは完成した。ECのことを思っても、英国人特有のねばり強い、ゆるやかな変身を期待するのは、多くの人々の思いである。

協定と民営組織

前節で述べたように、多くの動きの中でもEC加盟が大きな動機となつて、大ヨーロッパのために、一九八四年十一月三十日にサッチャー英首相とミッテラン仏大統領との間で、両国間の海

峡トンネルに関する協定が結ばれた。その中に、政府による直接財政支援は行なわないという項目があった。つまり民営による建設・運営である。この一項によって、かつてさまざまな中断を余儀なくされたこのトンネルも、いよいよ実現すると思った。つまり財政支援がないことは、政治的中止が起らないことを意味しているからである。なお、前年に青函トンネルの先進導坑が貫通している。

翌一九八五年四月に、広く多くのグループから計画案を募り、その年の十月末までに提出することを求めた。提出された案は、トンネル案二つ、橋梁案、トンネルと橋梁の組合せ案などが、幾つかの建設グループおよび金融グループから出された。これらの案を技術監査のアトキンス(英)・セテック(仏)審査コンサルタントによって詳細に検討されたのちに、翌一九八六年一月に、政府の白書で現在のユーロトンネル社案が採用された。この案の主体をなすのは、さきのチャンネル・トンネル・スタディー・グループ(C.T.S.G.)の案で、単線鉄道トンネル二本とその中間にサービス・トンネル一本を掘削するものである。

この案の採用の理由は、

- (1) 最も健全な資金計画である(工費最低)、
- (2) 技術的なリスクは最小である(C.T.S.G.の調査の裏付)、
- (3) 旅行者の立場からも安全な案である、

(4) 海峡航海上の問題はない(橋などなし)、

(5) この案は妨害行為やテロ行為についても最低限の惧れしかない、

(6) 環境問題も解決できるか、限定できる、

などである。これらはC.T.S.G.の長年の研究の結果が反映されている。

この案を提案した建設グループは、英国のBalfour Beatty, Castine, Tarmac, Taylor Woodrow, Wimpeyの五社で、金融グループは、英国のNational Westminster, Midlandの二行がメインである。これにフランス側の建設グループBouygues, Dumez, Spie Batignolles, SAE, SGEの五社、金融グループでは、Bank Nationale de Paris, Bank de Suez, Credit Leonieの三行が加わった。建設グループは共同企業体(Trans Manche Link: TML社と略記)を形成して、ユーロトンネル社(建設の認可を受けた建設主体であり、完成後の営業主体)からの工事発注を受ける形となり、金融グループは、エージェント・バンクとしてほかの多くの融資銀行とのまとめ役になる。

建設営業主体のユーロトンネル社(以下ET社と略記)は、英仏それぞれの英仏海峡トンネル社からの五〇%ずつの出資により設立されたもので、英国側モートン(後に副会長、社長となり、開業後は会長)、フランス側ベナルの両氏が会長となって発足した(図14の組織図参照)。このユーロトンネル社は、完成後五五年間(のちに六五年間と延長)は独占的にこの海峡連絡設備を営業でき、もしもさらに必要な場合は、トンネル増設も優先的に認可される。

ので、狭義と広義では非常に異なってくる。以下T Aと略す)も、アドバイスの相手が二つあるような感じがするし、またそのような構成となっている。

E T社の株は、第一回と第二回は創業株主群から、第三回は、融資協定の成立と前後して、一般から募集された。資金関連については後述する。

自然条件

トンネルの歴史のところでも述べたように、英仏海峡にはトンネル掘削に適した地質が連続している。それはチョークマール層といって、いわゆるドーバーの白い崖を形成している上部チョーク層のほとんどが微細粒の石灰質化石の集積であるのに対して、もっと下の少し泥質分を含んだものである(図15)。

チョーク層は白亜紀(チョークから名前を取っている)の堆積物で、上部チョーク層は真白であるが、強度は弱く、かつ割れ目が多いので、海底トンネルでは少し危険な部類に入る地層である。その下の中部チョーク層はその中に非常に硬いフリント(火打石)の大小の塊を交えていて、T B Mの刃が欠けたりすることもある、機械的には掘り難い層である。その下の下部チョーク層の上半はグレイチョーク層といって少し硬くなっているが、割れ目が多い。海底ではフランス側に

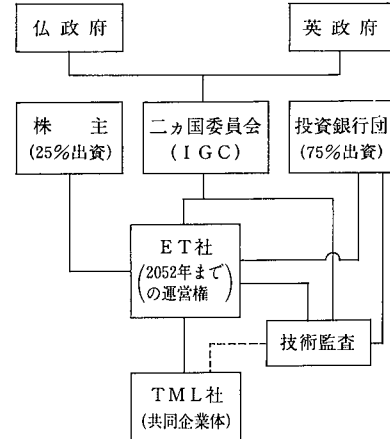


図14 E T社を中心とする組織図

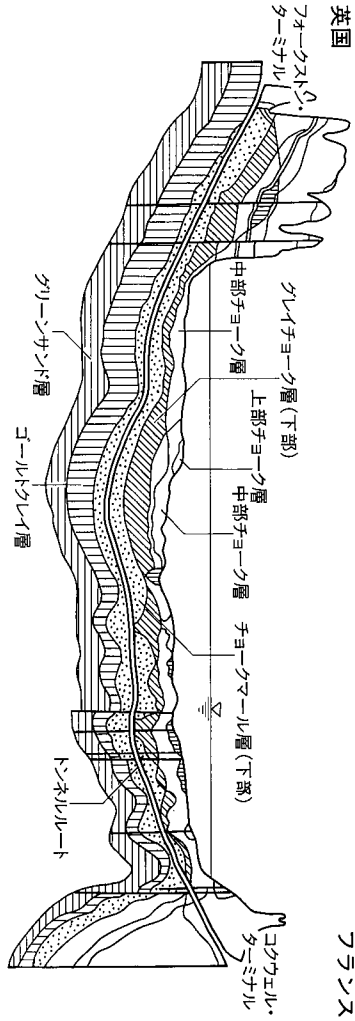
エージェンツ・バンクは約二三〇社(当初約二〇〇社)にもなる融資銀行団を組織して、資金を調達した。

E T社はT M L社に対して土木工事のみならず、すべての建設について契約した。つまり、日本では考えられないが、トンネル建設やターミナルの建設だけではなく、軌道工事、電力、信号、通信工事などの運転設備、安全設備や、コントロール・センター(青函ではC T Cに相当)の設備工事、加うるに車両の調達まで、全請負契約をT M L社一本にした。前述のT M L社の構成メンバーが、計画案作成グループの構成メンバーであったことも影響しているのかもしれないが、この方式には少し疑問が残る、車両調達では再三の異議申立てとなってはね返ってきた。

T M L社の構成各社はまたE T社の創業株主の一部であり、同様にエージェンツ・バンクも創業株主である。したがってエージェンツに代表される融資銀行に対するテクニカル・アドバイザリー(融資が適正に運用され、健全な経営が行なわれているかの技術的問題についてアドバイスを行なう

少し出ており、フランス側陸上部はこれと、さらに上の中部チョーク層が掘削の対象となった。下部チョーク層の最下部がチョークマール層で、充分硬く締まっている岩石で海底での漏水もほとんどなく、かつTBMで掘るには最適の岩層である。その下は硬いグロウコナイトという薄い層を挟んでゴールトクレイ層という粘土があるが、その層は水は透さないが膨脹性を持っており、TBMで掘削するには適していない。さらにその下にはジュラ紀のグリーンサンド層があり、砂が多くて湧水が多い層である。

一般にヨーロッパの地層は、アルプスなどを除いては、地殻変動も火成作用も日本のように激



フランス

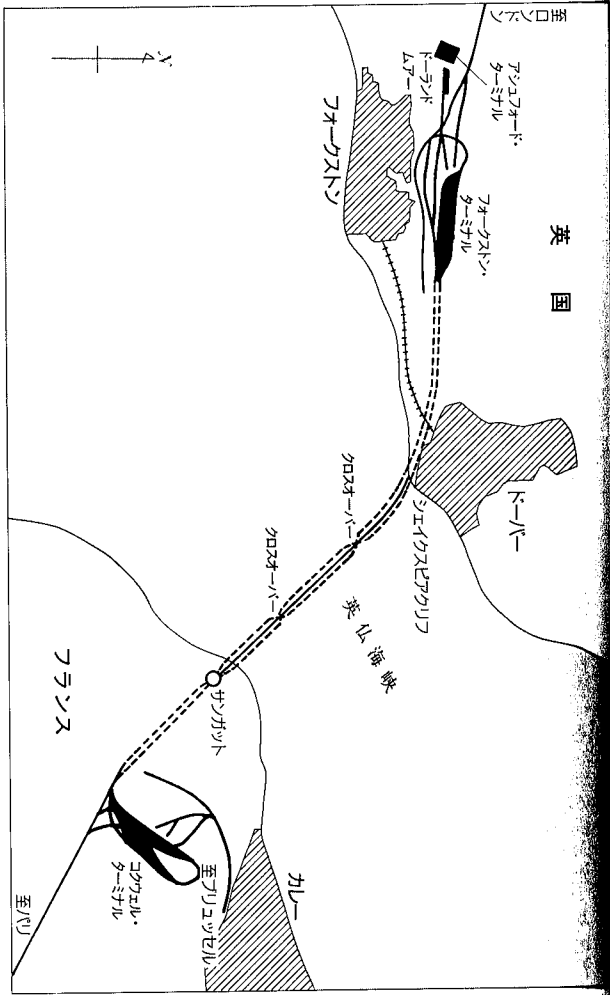


図15 英仏海峡地質断面図(上)と英仏海峡トンネル平面図(下)

しくは受けていないので、穏やかに堆積したままで、日本の同じ時代の岩層に比べると、はるかにやわらかいのが普通である。

一八七〇年代以前の案は海峡最短距離の所をえらんだために、最適地層のチョークマール層ではなくゴールトクレイ層を掘ることになるので、現代の技術をもってしても、はなはだ困難である。

ヴェルネ浅瀬は別にすると、どのルートも大体五〇〜六〇メートルの水深で、したがって現在のトンネルルートは最大水深が六〇メートルである。そしてその地質が良好であることを考慮して、海底から四〇メートルの土被りを取っている。

地質は青函同様に、音波探査やボーリング、さらに昔には底質採取もやって、チョークマール層の連続性を調べている。とくにボーリングは、海峡の水深が浅いので、プラットフォーム式の作業台で海底（あるいは海上）ボーリングを、全海域にわたって行なうことができた。青函に比べて海潮流の流速も小さい（このことは、英仏海峡約三五キロメートルを泳いで渡る人は多いが、津軽海峡は流速がもっと大きいので、二一キロメートル程度でもまだ泳いで渡った人がいないことでもわかる）ので海底ボーリングが容易であったのである。

また条件の良いチョークマール層の厚さは二〇メートル程度であるが、厚さに多少は変化もあるので、その層の中にトンネルを通すには、入念にその位置を探索する必要があった。そのためCTSGの頃からCTG、そしてET社に至るまでに、実に一四〇本以上の海底ボーリングをやって、地質の相互関係を確かめている。

次にそれから得られたサンプルを試験し、かつ以前の試掘坑の中で岩盤力学的試験も詳細に実施して、設計の諸元としている。その結果も、予想通り良好な地盤状態である。ただ、海峡中央の、ややフランス寄りにはやわらかい沖積層（最も新しい地層）が少しあって、それが土被り四〇メートルの中に含まれているのが一つの問題であり、今一つの問題は、フランス寄りに三、四本の小さい断層のあることが、音波探査の結果わかっていることであった。が、しかし青函トンネルの場合と比較すると、断層といっても、岩の中のクラック程度のもので、特別な施工上の考慮はあまり要らない程度のものである。日本の場合であると、このような変化の少ない地層条件を長いトンネルで見出すことは困難であるといつてよい。

しかしながら、トンネルのルートはチョークマール層を忠実に層の起伏通りに追って設定され、トンネルのほとんどすべてが約二〇メートル内外のこの層の中を見事に通っているのは、自然条件が良い以上に、設計上も一つのプリンシプルを貫き通していることにある。このために、トンネルは海底に三カ所も低点があり、ポンプ室を三つ設けているくらいである。条件が良ければ良いほど、それを忠実に追求しているところは立派である。

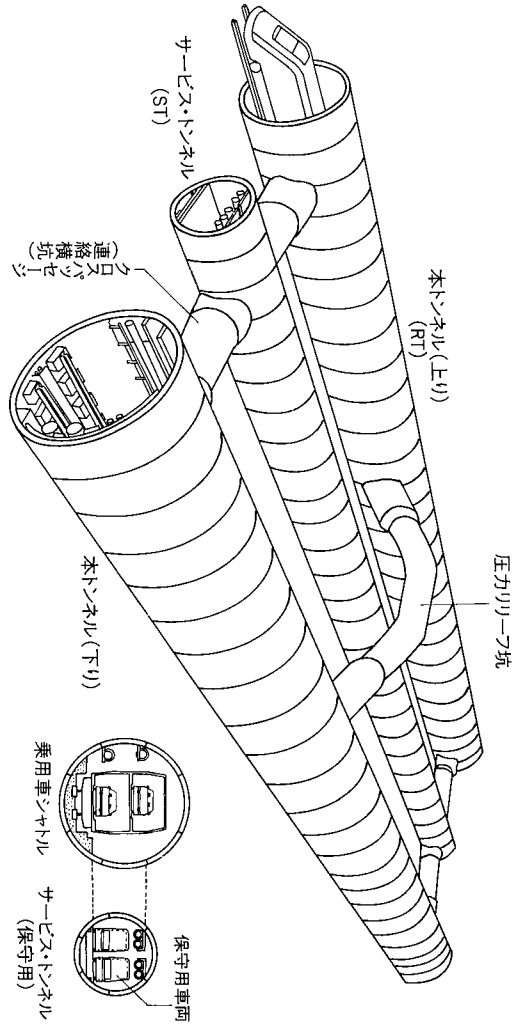


図18 チャンネル掘断面図

計画と設計

トンネルの計画・設計

英仏海峡トンネルは、入口(仮にヨーロッパ側から見て)であるサンガット(実際の地名はBeauvergne)の南の立坑から、ドーバー西のシェイクスピアクリフの一九七三―七四年に掘られた斜坑底を経て、フォークストンの西(地名はCastle Hill)へ出る全長五〇・五キロメートルの長大トンネルで、そのうちフランス側陸上(底)部三・三キロメートル、海底部三七・九キロメートル、英国側陸上部九・三キロメートルである。

トンネルの断面は、CTSGのプランではランニング・トンネル(本トンネル。以下RTと略す)の内径は六・五メートルであったのに対して、実際にET社では内径七・六メートルのものを二本、つまり単線鉄道トンネルを二本掘ることになった。このトンネル径が変わったのは、CTSG当時はほとんど乗用車のみを乗せて運ぶ計画であったのに対し、ET社では、乗用車はもちろん、すべての大型貨物自動車、大型バスなども積んだ列車、つまりカートレイン(シャトルと呼んでいる)を運行するために、トンネル径を大きくしたのである。

ここで地質が良いのに単線二本にしている理由は、大きい断面の複線トンネルではTBM施工

の速度が遅くなってしまふこと、それに火災対策に青函トンネルとは若干の違いがあることである。これについては、何度も議論したが、優劣をつけることは困難であった。

サービス・トンネル(S.T.)の径は、これも三・三メートルから四・八メートルと大きくなっている。理由は、安全のための保守作業が増え、トンネルの換気量も増加したことによるものである。

サービス・トンネルと南北のランニング・トンネルとは、三七五メートルごとに径三・三メートルのクロスパッセージ(連絡横坑)でつながり、緊急時にはそれを使ってRTからSTに避難できるようにになっている(図16)。また、シャトルの貨車が大きいので、高速の場合は列車の前面に大きい風圧抵抗ができる。そこで二本のRTには二五〇メートルごとに径二メートルの圧力リリーフ孔を設けて、圧力の高い一方から他方へ列車の前面の空気を逃がして、圧力を小さくするようにしている。

シャトルの運行によって自動車運ぶとともに、英仏両国国鉄の運行もトンネル使用協定を結んで、適当な使用料をE.T社が取り、旅客列車(主にユーロスターというフランスの特急のTGVの特殊型を走らせる)も貨物列車も、ネットワークの中に入る。そのため、トンネルの最大勾配は11%、最小勾配1.8%、最小曲線半径は平面で四〇〇〇メートルで、おおむね青函トンネルと似たような線路規格になっている。この中を、特急は時速一八〇キロメートル、貨物とシャトルは

時速一二〇キロメートルで走らせる計画である。

輸送計画

旅客列車は、ほぼ二〇分でトンネルを通過し、シャトルに乗った自動車は、乗り換えを入れて約三三分、通関、出入国手続きなどもあるので、高速道路から高速道路までは約一時間程度かかることになる。

国鉄の列車ユーロスターは、パリ北駅を出てリールを経てトンネルを通り、ロンドンのウォータールー駅に着く。この所要時間は三時間なので、東京―大阪間の東海道新幹線と同様に優に航空機と対応できるものと思われる。英仏間は、フランスがパリ北駅―リール―カレーに特急用の新線を建設したのに対し、英国側は、わずかにフォークスタンの一〇キロメートル程度北のドーランドムアーまでが新線となっただけで、あとは在来線のままである。軌道はすべて標準軌であるが、電化方式が違うので一工夫が必要である。ロンドンまでが改良または新線となると、パリ―ロンドン間は二時間半くらいになる。つまり東海道新幹線の東京―大阪間で、のぞみ程度の到達時間となる。またパリ北駅とロンドンのウォータールー駅では、それぞれ通関、出入国手続きがあり(自動車がトンネル・ターミナルですると同様)、一時に出入国を済ませ、乗車すれば相手国に入ったことになり、降車するときはそのまま出ることができ、またパリからリールに寄るのは、

ブリュッセル（ECの中心的都市）へも行けるよう配慮したもので、リールーブリュッセル間も二年後くらいには新線ができる予定である。

このように英仏両国のみならず、ヨーロッパと英国との鉄道、道路のネットワークができること、大きい便益が得られることになる。青函トンネルの場合に比べて利用可能人口がはるかに多く、また物流も大きいのである。

自動車輸送

自動車輸送のためのシャトルの発着は両側のターミナルで行なわれ、運行センターの指示により、各自動車はカーラジオを通じて一二本の出発ホーム（輸送量が増加すると二六本まで増設可能になるよう設計）で、シャトルの後部と中央部の二カ所から乗車するよう指示され、簡単に乗車できる。到着も一二本のホームのいずれかに着き、前部と中央部の二カ所から降車し、そのまま道路に出る。

この完全に近い大規模な鉄道・自動車のコンビネーションは、おおむね一日最大三万五〇〇〇台から五万台程度の輸送容量を持っている（鉄道列車はともに通っているとして）。

トンネル内の単線二本のRTは、トンネルを三分割する形で二カ所に行き違い（クロスオーバー）箇所があり、ここで南北線が分岐することができる。そのために、ここではトンネルは幅約

一八メートルの大断面となっているが、これによって、単線のうち一区間を閉鎖して保守や修理をすることが可能となっている。このとき、その部分は別のRTによる単線運転となるが、閑散期に実施すると効率的な作業が可能である。

トンネル内外設備

トンネル内には、連絡通路の一部や別の横坑の中に、電気、信号、通信、安全設備など種々の設備がある。これは青函トンネルも同様である。また両岸には換気用の送風機、トンネル内での熱（主として機関車のモーターによるもの）を冷却するための冷凍機（これで水の小片と水とのスラリーを作ってトンネル内の配管に循環させて、トンネル内の空気を冷却する）、火災用の真水の消火用水パイプもある。冷却を除いては、青函トンネルも同様である。

施工計画

原則

ET社は民間企業であり、建設費も利子の付いた（一般の利子に一・二五%のリスク分を建設中は上乗せしている）融資が大半であるので、工期は短く一九九三年完成としていた（実質七年）。

地質は良いので、計画さえ順調にこなすことができたら、可能であるかも知れない。そして、工事方法は、原則としてレディ・ブルーヴド・テクノロジ、つまりどこかで使われた経験のある既存技術を使って施工するという方法を取ろうとした。(これにはもちろん青函トンネルの技術が多く含まれる。)

この頃、E T社の会長以下の主な幹部たちや融資銀行団に対して、筆者はテクニカル・アドバイザーとして次のようなプロジェクトの特徴をよく話したものである。

すなわち、速度に関連して、

(1) 建設の完成への速度が速い、

(2) 建設後、海峡の連絡時間が速くなる、

(3) 建設費の回収が多分速くなる、

の三つの速度向上である。このままゆけば、成功は充分期待できる。これらは無論、すべて互いに影響し合うものであったし、既存技術のみで技術開発をしないということは堅実ではあるが、工費の点では節減の余地は少ないということである。

いづれにせよ、これらの三項目がどのように変化したか、また、さまざまな原因がからみ合っ
て動いていくのだが、そのあたりも、実績と経過のところをよく見てゆきたいと思う。しかしながら、基本的には、利子負担を軽減し、運輸収入を増すというこのE T社の原則は良く、チヨ

クマール層を丹念に追跡してルートを決めたことも優れている。

契約方式

E T社と共同企業体TML社との契約は、ターゲット方式、つまり目標予算を定めて、それ以下で終るなら、予算の余った分をE T社とTML社とが折半し、それ以上の場合には、三〇%をTML社が負担し、残りはE T社が負担する(ただし、正当な理由のある場合)。そのうえサービ
ス・トンネルが一キロメートル進む目標期日、貫通目標期日等々、すべてに多くの目標期日を設定し、それより遅れた場合は、TML社が何がしか定められた連約金を払うという方式が主としてトンネル工事に採用される。

ターミナルの工事や、トンネル内外の軌道、電気、信号、通信などの設備では定額方式(ラン
プサム方式)で、予め定められた工事単価によって支払われる(ただし物価上昇は考慮に入れる)。それに、これらの中間の車両の契約方式(あとではターゲット方式に近づく)と三種類の契約、支
払いの方式で施工されるようになっていた。

トンネル施工

トンネルの掘削はすべてTBMで計画されている。

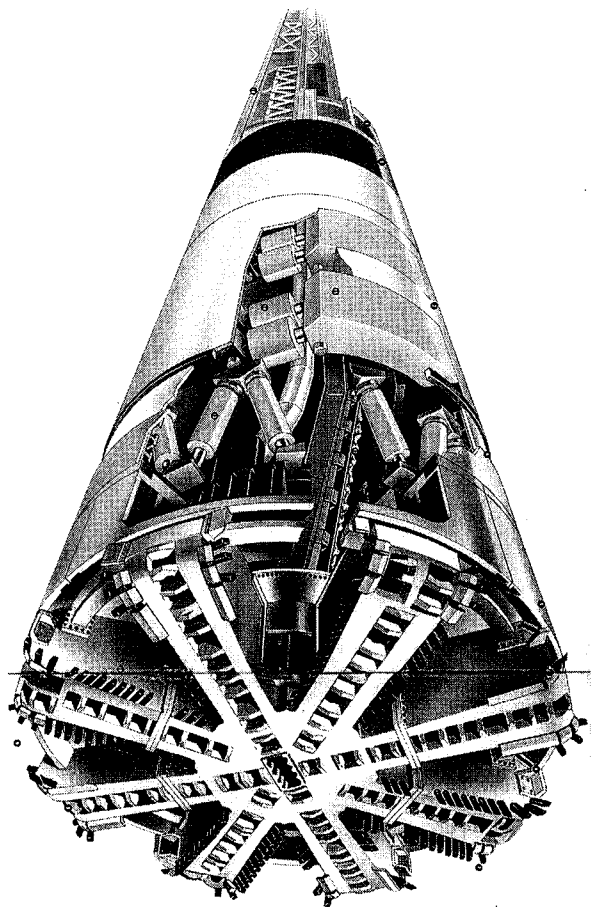


図17 マンネル・ボーリング・マシン (TBM) の概念図

チヨークマール層が連続していると考えられるので、一部英国側のオープンカット（開削工法）部分を除いて、すべてTBMで掘削する計画である。TBMは、英国側は十数年前に掘られた試掘の斜坑から入れられ、水平坑でサーピス・トンネル（ST）の海底部向けB₁マシンが組み立てられ、掘進を開始した。北側と南側のランニング・トンネル（RT）には、それぞれ海向き（B₂、B₃）、陸向き（B₅、B₆）、それに陸側のSTにTBM₄が投入された。B₁〜B₆のBはBritishの略である。

英国側のTBMは、オープン・シールドタイプ、つまりそれぞれが鋼製の長い筒（シールド）で、径は八・四メートル（海底）〜八・七メートル（陸上）（RT）と、五・六メートル（ST）である。若干径が異なるのは、地圧の計算からセグメント（トンネル表面を覆って崩壊などを防ぐコンクリートの円形板）の厚さを、陸側のシェイクスピアクリフの下で厚くしているからである。あくまで計算にすぎず、実際は、それを変える必要はないと考えられるが、ともかく計算尊重である。

それはそれとして、英国側はSTとRT（二本）用に、海底向けと陸上向けの合計六台のTBMを導入することになった。鋼製の円型の筒（シールド）から少し前方に出た超硬合金の沢山の刃がついた円型のカッターを回転させながら掘ってゆき、刃のうしろの掻き取りのスクレーパーで、機械中心あたりのベルトコンベアに載せて、後方に出してゆく（図17の概念図参照）。後方に

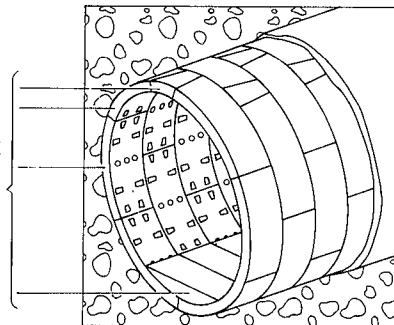
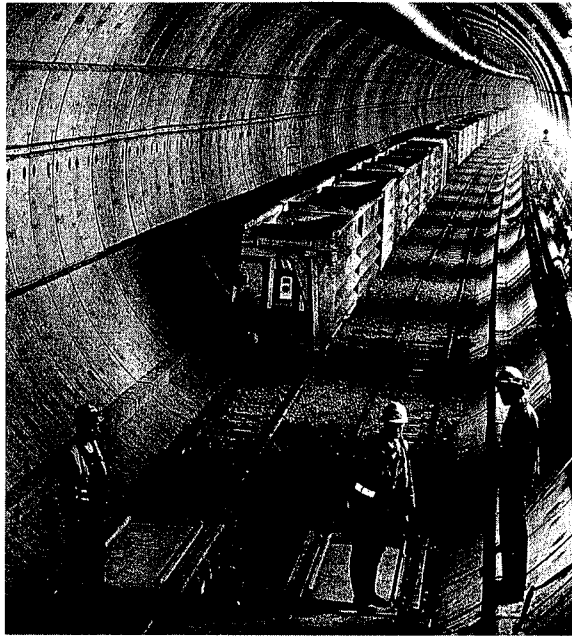


図18 トンネルを掘り進めながら、後方では各種セグメント(下)を組み合わせ、リング状にし、トンネルの側壁を覆う(上)。

各種セグメント

出されたズリ(岩屑、スポイルと呼ばれる)は、鋼車(ズリ用のトロッコ)に乗せて、さらに後方に運ばれる。鋼車を運んできた機関車は、鋼車の先方にセグメントを積んだ台車も一緒に牽引してくるので、切羽にくるときはセグメントを運び、帰りにはズリを運ぶというようになっていく。

岩盤を掘るためには、カッターを岩盤に押しつけて掘進するのであるが、その前進力・推力を取るために、TBMは前・中・後胴の三部分に分かれていて、後胴の部分にあるグリッパが岩盤の側壁部分に押し付けられ、そのグリッパの押付け力で中胴の推進ジャッキを延ばしながら、前胴につけられているカッターが掘り進んでゆく。それが一・五メートル(一枚のセグメントのトンネル方向の長さ)進むと、後胴のグリッパが縮小して胴内に入り、前胴のグリッパが出て、後胴を前胴の方へ引き寄せる。前胴が前方へ出る分は、ジャッキで押されるので、これらが収納されているところが中胴になる。つまり前胴、後胴は、中胴の中のジャッキと、双方のグリッパの作用で、シャクトリムシのように進んでゆくのである。

掘進のための力の源である後胴のグリッパは大切であり、もしグリッパを押し付けたトンネル側壁の岩盤が弱いと大きい推力が得られないので、後胴のジャッキを後方のセグメント覆工(覆工とはトンネルの周囲をコンクリートなどで覆うこと、巻き立てることをいう)の端部に当て、ジャッキを延ばしながら推力を取る。ジャッキが延び切れば、次のセグメントを入れながら、部分

的に推力を取りつつ前進を続ける（図18を見るとセグメントが何かがわかる）。

この方式は、都市の地下のやわらかい地盤を掘るシールドにほとんど適用されている。しかし、セグメントに直接ジャッキ推力がかかるため、セグメントは丈夫でなければならぬ。大体やわらかい地盤は地圧が大きいので、セグメントも丈夫にできている。

岩盤のTBMは、岩盤自体が硬いのでグリッパー推力が主であり、場合により補助的にセグメントから推力の反力を取ることが多い。英国側は岩盤が良いので、すべてこのグリッパー・タイプである。

セグメントの組立ては、英国側ではシールドの外でやっている。セグメントは、ロンドンの東方、テームズ河口のイーゼル・グレインの専用工場で作られている。ここは、セグメントの骨材（砂、砂利）がスコットランドから船で運搬され、陸揚げされるのに都合がよく、またドーバーには適当な広さの土地がなかったために造られたのである。製作されたセグメントは一時、製作時の変形を取るためにも置場に集積され、専用側線から鉄道本線に入り、ホワイトクリフの作業基地まで運搬され、降ろされて再集積され、必要に応じてトンネル内に運ばれる。基本的には英仏とも同様の大きさで充分なのだが、両国とも多少の理論的な根拠を味つけて、少しずつ変わったものを造っている。

英国のセグメント製造工場へ行った折のこと、コンクリートの設計配合（セメント、砂利、砂

など材料の割合と材料）を聞いたときに、ET社の責任者が「青函トンネルと同じように、海水に侵されないフライアッシュを使っていますよ」と、笑顔で説明した。フランスの場合も同様で、他にも特殊な方法については、青函トンネルでよく勉強している。

セグメントは、英国側の場合は継手ボルトもなく、土台の大きめのセグメントの上に円型に築いていくだけである。そして、それもシールドのすぐ後方の外側で組み立てている。それでもほとんど崩落してくる岩石は少ない。裸の地山だけでは危ない場合には、シールドのあとから鞘のようなものを出して崩落を防いでいる。TBMシールドの掘進速度は、掘ったあとセグメントのリングを組み立てる速度で決まってしまうので、それを速くするようにしている。

シールドの裏側と掘られた地山との間には、注入でシールドと地山とが密着するようにする。これが完全でないと、セグメントの間から水は洩れ出るし、円型のセグメントで作られたリングも、水圧と地圧に対して有効に働かない。

フランス側は、サンガットに深さ六六メートル、内径五五メートルの大きい立坑を新しく掘ったのが特徴で、換気、排水、電力の供給、ズリ出し、セグメント搬入、作業員の出入等々、坑内外の連絡をすべてここで行なう重要な設備である。この立坑で予め海側へ三本、陸側へ三本のトンネル、真中のST一本と両側のRT二本のTBMを組み立てて発進するようになっていた。

このシールド機械は英国側と違って、少し水が出ると予想されるので、日本でいう水圧バラ

ンス式のシールドTBMである。シールドの前部の掘削部が鋼板で後方と仕切られ、その鋼板の中にスクリュー型のコンベアがあって、スクリューが回転しながらズリを後方へ送り、スクリューとスクリューをつむ円筒との間の隙間で水圧を徐々に後方に向けて減圧してゆく方式で、掘ったズリをさらに後方のベルトコンベアに送りながら進んでゆく。

これは日本でも地下鉄の工事などでよく使用されている方式である。あまり水の出そうにないと予想される所では、前方の仕切り板をはずしてオープンにし、水の出る所では仕切り板をしてクローズする方法である。英国側は、大出水のときは、コンベアを後方に引き上げると仕切り板が前方にできて、水が防げるようにはなっているが、仕切ってしまえば掘ったズリをうしろへ出せないのもので、掘進はできなくなる。いわゆるオープン・タイプである。

またフランス側では、TBMの掘進推力は、主に後方のセグメントにジャッキをあてて得ているが、一部は英国側同様に、グリッパーをつけているものもある。

フランス側のTBMは海側が T_1 (ST)、 T_2 (RT)、 T_3 (RT)の三台、陸側は T_4 (ST)、 T_5 (RT)（陸側は短いので、南北二線を一台のTBMで掘ってしまう）の二台の合計五台で、英国側と合わせて一一台のTBMが投入される。このTBMは日本でよく使われ、またフランス内でも日本製のものが地下鉄工事などで実績があるので、海側のSTはロビンスと小松製作所の共同で（ライセンスは別として実際はロビンス製）、RTは二台ともロビンスと川崎重工の共同で（実際は

川崎重工製）、陸側はST、RTともに三菱重工製で施工された。つまり五台のうち四台が純日本製である。これらシールドTBMの径は英国側とほぼ同じであるが、数センチから一〇センチくらい違っている。これは純シールド方式なので、セグメントをシールド内部で組み立てるためにやや違うのである。

フランス側は英国とちがって、セグメント製作工場は立坑のすぐ近くにあり、できたものは立坑からクレーンで降ろされて、切羽まで運ばれる。切羽では、セグメントを一片ずつ、ズリ出し用コンベアの上にセグメントを送るためのコンベアがあって、前方へ送るようになっていく。セグメントは一般にTBMシールド内でエレクターと称する組立機で組み立てられるが、フランス側の場合は、セグメントを真空式の吸着装置で取り上げて、必要な部分まで回転させて組み立てる。このあたりが英国側と違うところである。セグメント片の間も簡単なボルトを使って軽く締結されて、リングを形成する。セグメント・リングの前後の継ぎ目にはゴムを張り、強く圧着して洩水を防いでいる。

セグメント・リングが形成されると、掘進とともにTBMシールドが動いてゆくので、セグメント・リングとシールドの鋼製の筒との間には、水がセグメントの裏から逆流しないようにグリースを詰めたブラシが何段も入れられて、水圧に抗している。地山とセグメントの間（テールボイドといわれる）は十分に注入して充填され、地山と一体になって水圧プラス地圧に抗してセグ

メントの円型リングが効果的に働くようにしているのは英国側も同様で、この場合は注入が生命線の一つである。

ロジスティック

このような長大なトンネルでは、ロジスティック（補給と運搬）が最大の問題で、ズリを出してセグメントを入れることを主とし、作業員その他、材料、部品などの運搬がうまくいかないと掘進速度が出ない。それで英仏ともに種々の工夫をこらしているが、英国側は主としてウォーキートーキー（携帯用無線電話）で、フランス側は車両の位置を信号により制御パネルで把握し、トーキーで制御している。

ズリ出しも、英国側は鋼車を斜坑内のブンカー（ズリの一時貯蔵設備）に入れてベルトコンベアで地上に出し、そのズリを使って、シェイクスピアクリフの埋め立てに使っている。埋め立てできた土地は、地上設備にあてられてゆく。つまりズリが出てくれば、工事設備用の敷地ができてゆくことになる。シェイクスピアクリフは、切り立った崖とそのすぐ下を通る鉄道のために土地が限られ、どうしても人工的な埋め立て地が必要だからである。

一方、フランス側は、鋼車で出てきたズリを立坑の下の粉砕機（クラッシュャー）にかけて細粒化する。チョークなので泥状のものになったのを、強力な泥水ポンプで立坑下からパイプを通し

て二、三キロメートル離れた所（フォンビニオン）まで圧送する。そしてスラリー運送された泥は、窪地に堤防でかこった大きい池のような所に放出されている。この場合、六本のパイプが敷設されて、一本や二本詰まってもなんとかなるようになっている。

このあたりには、第二次大戦のドイツ軍のトーチカ陣地が至る所に残っている。カレーの港でさえそうである。またドーバーの方にも残っているが、これは英国自身のものである。フランスにドイツ軍のトーチカが沢山残っているのは、ドイツに戦勝したためなのかと思う。

一方、英国は斜坑を二本、つまりズリ出し用のコンベアの通る斜坑と、人員、資材（セグメントを含む）の運搬用に五本の線路を敷設した大きな斜坑があり、さらに多くの作業員のために別に立坑があつて（斜坑よりも時間がかからず、かつシェイクスピアクリフの上の作業所や宿舎の近くにあり）、人のみを運んでいる。人貨分離は青函と同じで、これもよく勉強している。

施工実績

全体を通じて

今まで述べた施工計画は、実際はどうであっただろうか。テクニカル・アドバイザーとして現地に常時張り付いている人もいるが、筆者は年に六〜八回、二週間ずつの行程で現地に入り、質

問されたり、問題点を指摘したり、現場で討論をほとんど必ず行なった。実際にやっているのをどう思うかと、必ず視察の都度、現場の人々（所長以下）と討論し、相手もそれを聞いたが、初めの頃は、向こうがおずおずと聞くことが多かったような感じであったが、一年たち二年たつ間に、評価はどうかというふうに変わってきて、少しずつ経験を積むにつれて、彼らが自信を持つようになったのがみてとれて興味深かった。現地だけでなく、TML社の社長、ET社の会長その他エージェントの人々とも必ず会って、感想や意見を伝えた。

英仏の違いは、施工計画のところどころの工夫に見ることができた。これには両国の技術的伝統や、技術の集積の相違がみてとれて興味深かった。

トンネルの進行

TBMは、二台が統々とトンネル内で組み立てられて掘進を始めた。

実際に始めると、大きくは四つの問題があった。最初のTBMである英国側ST（ホーデン社製）は良かったが、フランス側のSTは、セグメントを上方のコンベアに乗せて前方に送るのだが、トンネルが少し左右に方向がずれて蛇行を始めると、トンネルの高さ一杯にセグメントが乗るために、トンネル上部に当たってうまく運搬されない。蛇行をしないようにして、かつ少しでもトンネル壁と運ばれるセグメントとの間隔に余裕を持たせて（他にも機械的なトラブルはあった

が）、正常な掘進ができるまでには約八ヵ月かかり、目標掘進速度が月に約七〇〇メートルに達するのに一年八ヵ月を要した。そのため、STはフランス側から一五・六キロメートル、英国側からは二二・三キロメートルの所で、一九九〇年の十一月に貫通した。フランス側からは全体の約四一％しか掘れなかったことになる。

二つ目は、英国側がオープン・タイプで前述の通りシルドの直後の裸の地山の下でセグメントの組立て作業をやるために、上から岩片が崩落する（肌落ちといっている）と作業が困難になり、場合によっては負傷者も出る。これが泣きどころであった。一・五メートルの長さで掘ったあとが覆われない裸だと、割れ目が多いときには肌落ちが起こりやすい。それでシルドの中からジャッキの腕を出して、セグメントを仮止めしたり、シルドの後方に、伸縮自在の鉄のシス（鋼板）を上部に出して、肌落ちを防ぎながら作業する。このために掘進速度は相当下がる。STでもあったが、特にRTはSTよりも大きいので、その影響が掘削開始からずつとあり、なかなか掘進速度が出ず、これも約八ヵ月くらいは予定の掘進速度に達していなかった。

掘進速度が上がりだしても、フランス側では、今度はシルドTBMのカッターがひび割れしてきた。これは、普通はやわらかい地層の中で使うので、掘削面は自然にカッターの方にかぶさってくる。しかし、ここの地層は充分以上に硬いので、掘削するためには相当の力で押さないと、カッターが切り込まない。TBMの推力ジャッキは非常に強く（二五〇〇トンから二七〇〇トン）、

相手の岩盤も硬いので、カッター面に普通の場合にはない強い力が作用して、回転数は同じだが、回転の周辺速度がちがう中心部と端の方との間に亀裂が生じてきたのである。そこで掘進を思い切って二週間ほど中止して補強改良したので、その後は起こっていない。

一方では、フランス側のセグメントを真空中で吸着して移動させる方法が気になっていた。何回か離れてうまくいかなかったが、負傷者もなく、セグメントの内側(吸着する側)をコテで滑らかに仕上げることで、最後まで使うことができた。

種々の阻害要因を考慮して「全使用時間中、三分の一以上掘進することができれば、おおむねTBMとしては合格ライン」と何度も言ったが、なんとか合格ラインを突破することができた。さらに、あまり水が出ないと予想される部分(前方に孔を長く掘り、水の前方予知を常にやっていた)は、フランス側もオーブンで掘ることにより、さらに掘進速度をあげることができた。その点でも、言うことをよく聞いてくれたと思う。小断層では水は出たが、大きな障害ではなかった。

ロジスティックと進行

今一つ大きいのは、ロジスティック(坑内外の輸送)の問題が徐々に改善されたことである。

英国側は、セグメント搬入用の台車と、ズリを入れる鋼車を数両ずつ、掘進速度に合わせて列車編成し、斜坑底でズリをブンカーに投入し、ブンカーの中のベルトコンベアで移動し、斜坑のメ

インのベルトコンベアに乗せ換え、メインコンベアを少しずつ延ばしながら、すでに防岸壁が出来る上っている海に捨ててゆく。(海には汚濁水が出ないようにしてある。これは現地ケント州政府との約束である。)

一方、セグメント工場から特別列車で輸送されたセグメントは、大きいクレーンで降ろされて貯蔵され、必要に応じて斜坑底へ運び下ろされ、一時積み置きのと、台車に必要な数が積まれる。このあたりは一部機械力と人力である。このような列車が斜坑底から三本ずつ海陸両方向に出てゆく。ズリの最大搬出量は一日で最大一万八〇〇〇トンにも及んでいる。列車には、さらに人車や、機械部品、電気材料、鋼材、注入材、セメント等々の幾多の種類の材料を積んだ台車列車が連結され、それらを必要箇所まで運び、また不用材料の搬出も行なう。錯綜した列車または機関車の運転であるので、このロジスティックの管理に当り、乱れなく整然とやるのは相当に熟練を要する。

英国側では最後までウォークリーキーと列車無線とでやっていたが、あとで指令センターを設けた。二、三人が交代で各ST、RTごとに、主通話器で早口でまくして、メモをしてゆく。そのときの線路の状態、つまり一方で連絡通路の掘削や保線作業などをしてしていると、その部分の線は通行止めとなるので、複線使用、単線使用の区別を横長の大きい紙にマジックインクとチョークで書いて、それを見ながらやっている。交代要員はそれを手助けしながら状態を熟知してお

いて、一定の時間で交代している。これはいかにもくたびれる仕事の一つで、頭の中にインプットされている図面、状態に馴れながら、拡大し細密化してゆくよりやり方がない。しかし、切羽の全使用時間中の、輸送の遅れによるロスタイムが徐々に減少してきた。それが掘進時間の比率をさらに上げてゆく。

フランス側も同様であるが、機関車のバッテリーを立坑の上で充電して、クレーンで下ろしたり、同じくセグメントも一台車分ずつ、立坑に下ろしてゆく。この作業に危険区域の表示や安全ネットがまったくないのは驚きであり、恐ろしくもあったが、フランス側では平気であった。搬出されたズリは、粉碎され水と混ぜられてスラリー化してパイプで送り出されることは前に述べた通りであるが、沈澱池（大泥水ダム）であまり沈下せず、量が減らないので、堤防（ダム）の高さを七メートルばかり上げる工事を途中で急いでやって、容量の増大をはかったが、少し余裕がなさすぎた。現在では無論よく乾燥して、植物が生えるようになっていく。

運転指令は、当初はほぼ英国側と同じであったが、あとでバリ地下鉄のコントロール・システムを入れて指令所を作ってやっていた。この方が正確である。ロジスティックの進展により、切羽の掘進時間比率が向上したことは英国同様である。

以来、種々の改良と、作業員の熟練、管理の熟達などのいわゆる学習効果（ラーニング・エフェクト）で、掘削進行を図に描けば、文字通りラーニングカーブが見られることになる。このよ

うな幾多の人々の努力によって成ったことも意味が深い。

裏込め注入

掘ったあとをしっかりと覆工し、セグメントを真円に近く組み立てると、そのトンネルは一応完成することになる。しかし、その品質を高めるためには、セグメントと地山との間の空間（テールボイド）を確実に注入（裏込め注入）をして、地山とセグメントとを接着し、前述のように一体のものとせねばならない。そうすることによって、水圧（一キログラム／平方センチ）や地圧に耐えられるようになる。円い卵を握ってもなかなか潰すことはできないが、親指でも立てて握れば簡単に壊れる。それと同様に、円型セグメントに均等な力がかかれば充分耐力はあるが、その一部が均等でなくなる、つまり裏込め注入が欠けるか、弱い部分があると、ちょうど親指で潰されるように十分な耐力を持ち得ない。また裏込め注入は、地山から水が入ってくるのを防ぐことをも兼ねている。この注入のことを、英国側とフランス側の双方の工事責任者にたずねても、あまり明確な答は返ってこなかった。特に、折角双方ともに「セグメントは、海水に腐蝕されない配合でコンクリートを造り、ちゃんと勉強をしています」と言っているにもかかわらず、最も重要な注入材料と注入の方法が、あいまいである。

たとえば、セグメントと地山との間は、切羽から少し水が洩ると、水で一杯になると、水が流

れる。その場合、仮に海水の腐蝕に耐えられる配合の注入材料を注入しても、海水（または水）のために、予め設計した配合とは異なったものとなるか、あるいは流されてしまうおそれがある。そのことを指摘しても、水と注入材料が置き替わるくらいにしか考えていない。それで、セグメントの隙間から水が洩れてくるところも出てきた。

そこで現場の責任者（所長）に、セグメントに裏込め注入を施工し終えた所を、上下左右に数百本ほど、セグメントを貫く短いボーリングをして調べるように勧めた。すると、注入がきれいに入っている所はわずか二割くらいで、あとは注入材と水と地山、砂だけと地山、水だけと地山というように、八割は完全には入っていない。特にあとのほうは問題である。この水がトンネルの上からはんの一滴でもレールに落ちると、その上を回転の速い車輪がたえず通過してレールを磨耗させるので、レールは劣化し、凸凹になり、交換せざるを得なくなる。レールは、トンネル内では青函トンネル同様に溶接して、大体一本になっている。それを交換するには、部分的に切断して新しいレールを入れ、双方の継ぎ目を溶接せねばならない。

裏込め注入がきわめて重要で、適切な施工法をとらねば、充分信頼できる結果を得ることはできない。そしてそれは、トンネルの品質と耐久性を保つためには不可欠なものである、ということに気づいてもらうためには、かなりの面倒な作業（数百というボーリング）を何回もしなければならなかった。しかし、その後は、よく研究もし、かつ二度三度にわたって注入を繰り返して、より完全なものにしていった。特にフランスには世界的に著名な注入の専門会社があり、注入そのものの技術は充分あったので、何度もやる間に、水の洩れない、水圧と地圧に耐えられるトンネル構造が出来上ってきた。

貫通

一九九〇年十一月のサービス・トンネル（ST）の貫通は、これも青函でやったように行なわれた。双方の切羽が約一〇〇メートルくらいに近づいた点で、ボーリングをして位置の精度を確かめたのち、双方から掘り進み、TBM同士がぶつかっても仕方がないので、接近した所で少し残して、英国側TBMは右の方へ斜めにSTの断面からはずれる所まで進む。フランス側はトンネルの正規の方向に進み、英国側の掘ったSTのすぐ横にきたところで、いよいよ双方の側壁の間の岩をコールピックという削岩機の一つで掘って貫通した。英仏海峡の有史以来の連絡路の貫通にしては少しささやかであるが、これで英国とヨーロッパ大陸がつながったことになる。

このあと、英国側のTBMが斜めに掘ったトンネルは、TBMもろともコンクリートで埋められ、そのあとをフランス側TBMが掘って完全なトンネルとなった。筆者はその直前に貫通点に行って、わずかに残ったボーリング孔からフランス側の灯りを見た。そしてハンケチを孔にあけると、吸い込まれるようになる。これも青函と同様に、理屈からいっても北の方が気圧が高いか

らで、英国側からフランス側へ空気が流れていたのである。もっとも、常に北の方が気圧が高いとは限らないが、確率的にはこれだけ離れると北の方が高いことが多い。

あまりにもささやかな貫通なので、ドーバー城で十二月一日に盛大な貫通式を行なった。光線が色とりどりに夜空を飾り、花火も上がる中で、大テント内での式であった。大勢の作業員を含めた英仏の人々が、それぞれ国歌を歌って始まった。このような景気の良い式で、少しきこしめしているときは、英国のゴッド・セイブ・ザ・クイーンの荘重さよりも、フランスのラ・マルセイエーズの方が、よく合っている気がする。それが、現場での双方の気分を表しているようである。さりながら、英国側ではトンネルを掘る人々にスコットランド人やアイルランド人が多いので、バグパイプにキルトや、さらに昔風のキルトを着けた人も多く、その中の一人がニコニコしながら握手を求めてきた。いつも現場で会う幹部の一人であった。

STの最大掘削進度は、英国側では週二一五メートル、月一〇五六メートルが最高で、フランス側は週二三八メートル、月一〇三五メートルである。合計では英国側から二二・二九七キロメートル（この長さは一つのTBMで単独で掘った最長距離である）、フランス側からは一五・六一九キロメートルであった。

RT(T₂)はフランス側の北側から掘り始め、その後、順次各RTも掘進を始めた。途中で種々のことがあったが、一九九一年五月に北側が、一九九一年六月に南側が貫通している。最大

進度は、英国側は週三八三メートル、月一九一一メートル、フランス側は週二六一メートル、月一二五六メートルであった。貫通はST同様に、南北それぞれで行なった。ただしRTの場合は、英国側が下向きに掘って、跡をTBMもろともコンクリートで埋めた点が違っている。

北側RTは、英国側から一七・九一八キロメートル、フランス側から二〇・〇一〇キロメートル、南側RTは、英国側から一九・〇三〇キロメートル、フランス側から一八・八六一キロメートルであった。南側RTは最後の貫通であった。薄い紗のヴェールの向こうのフランス側TBM(T₂)が回転を始め、岩を切り崩しながら、ヴェールを破って顔を出した。このTBMはカトリヌという名前が付けられていたので、掘ったTBMのカッターの間から最初に英国側へ出てきたのは、カトリヌという名の少女であった。

貫通式は演説後、日本で見られるみこしで運んだ酒樽の鏡開きと違って、シャンパンで景気の良い音を出しながら乾杯するのであった。その後、ロンドンのヴィクトリア駅の上のヴィクトリア・プラザで、全通の祝賀会が政治家などを招いて行なわれた。ET社もなかなか演出がうまいものである。

全体のうごき

トンネルはできたが、それに並行してトンネル内外の設備が始まると、少しずつ遅れが目立ち

感じられる。一人一人に聞けば割合そうでもない面もあり、日本同様にシフトは一種の歩合給的なものもあるのだが、なにぶん段取りがあまりよくないし、応用問題に少し弱い。これは組合が職能別であって、分野分野で責任を持ち合っているため、簡単なことでも、他の分野はたとえできたとしても手を出さない。また班長・テクニシャンが現場を完全に統括することがなかなか難しいようである。しかし、これも徐々に、これではいけないと感じて、仕事をしだしたことは確かである。

このような状態で、トンネルの付帯設備になると遅れが目立つようになったが、他方、トンネル作業員の人数が日本から見ると大変な多さで、職能別組合であるとしても倍近いと思われる。工事推進担当本部長（専務）に「月に一〇〇〇人ずつ減らしていくのが正常な姿になる一方法と思う」と言ったが、大体二ヵ月ごとに建設現場に行くと、二〇〇〇人くらいずつ合理化されていることが二回ほどあった。これは失業対策としての意味もあるので、こちらが工事合理性のみの立場から言うのもどうかと思ったが、少し多めであることは気になるところであった。彼らの立場に立ってみれば大変難しい問題を提起したものと、その後はあまり執拗に言うことを控えざるを得なかった。

だした（資金のことは別項で）。現場の工程管理がさらに重要なので、まず共同企業体TML社の幹部が、今までロンドン郊外のサットンにいたのを一歩進めて、現場のトンネル出口とターミナルなどの設備工事を行っているフォークストンに進出し、次いでET社の工事推進本部も同様にフォークストンに進出して、現場の進行を掌握しやすくした。

工程管理、工費管理は、各種の進行データがコンピュータに入力され、TML社とET社がうまくつながって、即時に対応できるようになっている。しかし、本場の現場（切羽などを含めた作業箇所）の詳細なデータは無形のもので、現場をよく見て判断する以外にはない。

トンネルを主として考えると、まず設計思想がかなり日本と違うことがわかる。どちらかといえば、デスクワーク的な合理性に重点を置きすぎて、理に落ちるような点が見うけられた。これはあともまとめて述べるつもりだが、計画設計の政府による認可も影響しているし、また両国ともに、大きい経済基盤整備は十九世紀から二十世紀の初めに終ってしまっているようで、外国での経験はあるが、施工経験は両国内では少しづつ減少して安定しているかの感がある。それに比べて日本は、インフラの整備は第二次大戦後が主なので目下進行中というところで、現役としての経験が数多くあり、生々しい。このあたりの違いが、技術の格差のように見られる。特にトンネルは経験工学的な部分が多く、計算に乗らない自然条件の判断などがあるからである。

一方、作業員やその班長クラスは、施工経験の長年のブランクとまではいかないが、稀薄さが

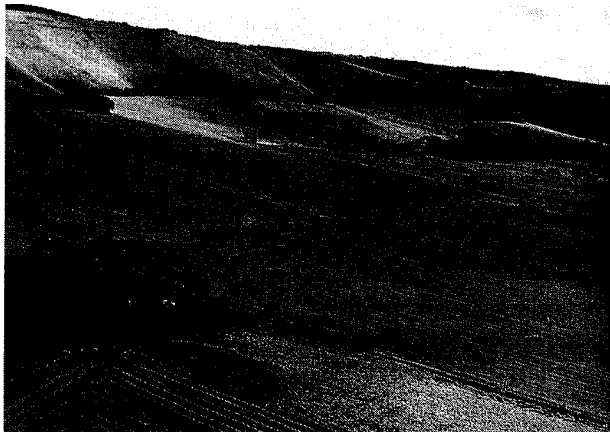


図19 英国のフォークストン・ターミナルの工事前(上)と工事中(1990)の風景

二カ国間なるがゆえに——輸送設備

トンネルが英国とフランスにまたがるがゆえに、輸送設備をめぐって考え方で大きい食い違いが出てくる。双方ともに自国設備の延長上で物事を考えるが、輸送の基本は安全であるとしても、それを实际的に表現してゆくとところで、考え方、コンセプトの違いが生じる。これを調整するため、協定に基づいて組織された二カ国委員会 (Intergovernment Commission. IGCと略記) (図14参照) がある。しかし、これを構成するのも両国なので、コンセプトの違いがまま表面化する。

全体計画とターミナル

さきに見たように、英仏二カ国間協定によってスタートしたこのトンネルは、掘削方法やその設備に独自の工夫をしながら、それぞれの長所を生かしつつ、少なくとも時間の上では巧みに貫通をさせた。それに並行して、輸送設備が施工されることになっている。

輸送設備の中では、自動車が列車に降り降りするための設備を主にしたトンネル外のターミナル設備に、まず第一に取りかかった。これは建設中も、多くの設備の作業基地として、立坑・斜



図20 フランス側のコクウェル・ターミナルの工事前(上)と工事中(1990)の風景

坑とともに使用されることになる。

このターミナルは、英国側が二〇〇ヘクタール、フランス側が五〇〇ヘクタールと、広さがまったく異なる。これは地形の上でやむを得ないところであるので、二ヵ国間の意見の違いというより、地形上の差異である。概して英国側は土地が狭く、フランス側はゆったりしているのは、島と大陸との違いが表れているのではないかと思う。

英国側は、フォークストンの街と、トンネルの出口の東側の丘との間が狭く(といっても日本ほどのことではないが)、しかもその丘が地入りで白い山肌が丘の上部に露呈しているので、下方を切り取ったりすることは不可能である。そのために、丘の麓から少し離れた所を敷地とするターミナルの建設が始まった(図19)。

この土地は丘と鉄道、高速道路との間に位置する、いわば交通至便の地である。しかし、地に対しての考慮から、ターミナルのためなら盛土の下に約二メートルの砂の層をつくって、水はけをよくしている。砂は五キロメートル以上離れた海岸から太いパイプで圧送して、敷地全体に砂層、すなわちサンドマットを造り、その上に適当な性質の土を敷く。その盛土はほとんどがトンネルのズリを利用し、陸上部のトンネルを使って運搬され、サンドマットの上に敷かれた。ここには、そのあとにいろいろな設備が作られる。トンネルから出る上下線を含んだ多くの車両検査線や、自動車が列車に乗降するホームその他、電気、信号関係の建物や指令センター、自

動車の乗員・乗客のためのサービス設備（ガソリンスタンド、レストラン、免税売店など）も、すべてこの上に建設されている。

フランス側のコクウェル・ターミナルは広くて、ほぼカレー市街と同じくらいの規模である（図20）。ここが広く残っていた理由の一つとして、地盤が軟弱であったことがあげられる。そのため、早くからその軟弱な地盤の上に土を盛って重量をかけて、やわらかい地盤を圧密して、沈下しないようにする、先行荷重（ブローディング）工法をとった。これははなはだ単純ではあるが、地盤全体がやわらかい欠点を確実に取り除く工法であり、かつ盛土そのものが基礎地盤となるので良い工法である（軟弱の程度にもよるが）。しかし、時間が必要である。そのために、実際フランス側は最終的には工期が長くなった。設備そのものはあまり英国側と変わらないが、広いので設備がゆったりしている。たとえば、乗用車と貨物自動車との乗降が別であったり、E T社の車両整備工場があったりして、英国側と少し違う面がある。

これらの違いは、土地の広さや地盤条件の違いであって、必ずしも二カ国間であるがゆえに起こることではないが、列車の指令センターの建物は英仏ともにある。これは普通一カ所（センターであるから）でよいのだが、英国が常時使われ、フランス側は予備であるという苦しい理由づけをして双方に設けられている。しかし実際は、英国側の設備に重要な部分の予備があれば足りるので、これは二カ国間であるがゆえの措置であろう。トンネルの前後のロンドンまで、あるい

はパリまでの指令センターは、別に英仏の国鉄が設けているのであまり関係がない。

国際連絡

自動車輸送（シャトル）についてはすでに述べたが、鉄道輸送は英仏の電化方式が違うので、大きい障害となった。英国は、このロンドンより南の地域は電化が早く、第三軌条から電力を取っている。つまり東京の地下鉄の銀座線などと同じ電化方式である。フランス側は日本のJRなどと同じように、パンタグラフで上のカタナリーから電力の供給を受けている。したがって、電力方式のみならず、陸上部の線路のトンネルや、線路を横断する橋梁の高さなどが違っている。

この双方を連絡運転するために、いろいろな工夫が必要である。海峡トンネル部はほとんどフランス側と同じ電化方式を取っている。そのため、パリからフォークストン（実際はさらにその北のドーランドムアー）までは、交流二万五〇〇〇ボルト（新幹線と同じ）できた旅客列車、つまりフランスのTGV型の特急は、ドーランドムアーで電力を第三軌条から取るために、別の集電装置をセットして、下から電力を取ることになる。つまり交直上下両用の特別な機関車でパリを出てロンドンへ行くことになる。この列車を「ユーロスター」といっている。これによってロンドンーパリ間は三時間で連絡することになる。航空機とちがって、ほとんど都心から都心へと連絡するので、ちょうど日本の東海道新幹線と航空機と似た関係となる。つまり鉄道は定時性が高

いたために、現在、東京—大阪の利用客の八〇%程度のシェアを新幹線が持っている。この数字は現在、新幹線の運輸能力（時間帯を含めて）の限界に近いが、その能力をもう少し上げればさらに上がるものと考えられる。ロンドン—パリ間の航空機もたびたび利用したが、都心間を四時間間で連絡することはほとんどまれで、五時間程度はかかる。したがってトンネル開業によって誘発された旅客を含め、業務用旅客の大半はこれに移るものと考えられる。

また、ECの本拠であるブリュッセルへも、リール経由でほぼ三時間である。この実現は、リール—ブリュッセルの新線が工事中で、一九九五年以降でないか実現しないから、現在は在来線（高速鉄道と同じ軌間なので自由に往来できる）で連絡することになる。一方、フランス国内、ドイツ国内、スペイン国内など各国が高速鉄道網を建設中または供用をしている。英仏海峡線の開業によってヨーロッパの主要鉄道網の発達は著しく拡がり、海峡中央から一〇〇マイル（約一六〇キロ）圏の人口は二〇〇万人（ロンドンを含む）、二〇〇マイル（約三三〇キロ）圏の人口は七〇〇万人（バーミンガム、パリ、ブリュッセル、アムステルダムを含む）、三〇〇マイル（約四七〇キロ）圏内には一億二〇〇〇万人（リバプール、マンチェスター、ツールーズ、ボン、デュッセルドルフ、ケルンを含む）、四〇〇マイル圏内となると、エンジンバラやチューリッヒ、ジュネーブなども入ってきて、旅客は航空機が次第にシェアを増すが、貨物列車（特にコンテナ）やトラックなどがこのヨーロッパの中心地域で活動を増し、収益性も客貨、自動車ともに上がるものと思われる。

れる。

貨物列車の英仏連絡は、旅客列車と別に在来線により、フランス国鉄（SNCF）から来て、トンネルを抜けたところのドーランドムアーで機関車（ディーゼル）を付け替え、すぐ近くのアシフォードで、英国各地に向けて仕分けされるものとなる。環境問題などでモーダルシフト（輸送手段の転換）が行なわれている現在、この利用法はさらに、全ヨーロッパに拡がってゆくであらう。

英仏の鉄道はトンネルから直通であるが、自動車は両方のターミナルで、料金所、出入国手続きを経て、さらにはテロなどに備えた（空港の荷物検査に使われるより何十倍も大きい）危険物検査装置に車両もろともかけられ、詳細にチェックされる（一部のものに限る）。

軌道

以上のように、ET社運営の自動車運行（シャトル）は、ET社の線路で両ターミナル間を客貨ともに通る。国鉄の旅客はフランス（パリ）から新線の別線、つまりTGV北線を通り、途中ブリュッセル以遠からの列車をリールで受けてターミナルに至り、ET社の線路で英国に渡り、トンネルを出てからは、在来線でロンドン（ウォーターlooー駅）に至る。貨物列車は在来線で各国からカレーに集まり、ET線に乗ってトンネルを通り、ドーランドムアーで機関車を取り替え

て、アシュフォードで各地に分散させられて在来線を通る、という輸送形態となる。

現在、トンネルからロンドンまでの列車用の新線が計画されているが、供用になるのは数年後となるであろう。そのときはバリー・ロンドン間の所要時間は二時間半となる。

これで見ると、トンネル内の軌道構造をどうするか、両方の列車運行への対応と、工事そのものために、重要なポイントとなる。当初は、海底トンネルなので安全を期して、脱線防止装置をつけることになっていた。しかし、青函トンネルでは、普通に軌道を確認して造ってさえおけば、勾配、曲線の関係は大きい脱線要素となり得ないし、むしろ防止装置のため工期・工費が余分にかかるので不要であるとしていた。そこで、英仏海峡トンネルでも強いて付ける必要はないのではないかという意見を出したところ、双方とも賛成して、いずれは軌道そのものを立派に造らなければならないので、脱線防止装置はやめることとなった。

次いで軌道構造そのものであるが、英仏では方法がかなり違う。これをどちらにするかで相当論議が続いた。

英国側は、重要な線路ではコンクリートの短い枕木をトンネル下部のコンクリート道床に埋める方法を主張し、フランス側は、コンクリートの短い枕木の下半分以上をプラスチックのゴムのようなもの（ブーツ）で覆ってから、コンクリート道床に埋め込む方法を主として国内で経験しているのです、それが主たる主張であった。双方ともに自国の方式が良いと信じているのでなかな

か折り合わない。といって、トンネルを半々ずつ英仏二方式でやるのも子供じみている。この双方のはざまに坐って、双方に良い顔もできかねる。困ったことの一つであった。

英国式は、レールと枕木との間にゴムの絶縁板を置いてショックを取るやり方、いわば一カ所で列車荷重のショックをやわらげて、下に伝える一重の弾性方式である。フランス式は、レールと枕木との間の絶縁板は同様であるが、さらに枕木と道床コンクリートの間のブーツでもショックを取ることができ二重弾性方式である。日本の新幹線は、絶縁板と枕木（コンクリートの横二メートル×縦五メートル、高さ約二〇センチメートルの板）と道床との間に、アスファルトモルタルといてセメント、砂、アスファルトを混ぜて固めた、コンクリートよりはやわらかいものが入っている。これも二重弾性方式といてよいであろう。

英国式だと工事費は安い。しかし、レールの高さの調整がかなり難しい。というのは、レール敷設前に正確な高さが定まっていないと、レールが波を打つおそれもあるので、測量に相当な時間がかかるからである。一方フランス式は、二回にわたって（日本の場合も同様）レールの高さが調節できるので、測量にはそれほど時間がかからない。

つまり工事の進行速度からいうと、フランス側の方が速いことは経験的にわかる。この工事は利子の付いた資金により実施されるので、工費も大きい要素となる。

これらを考えると、二重弾性でショックが少なく、工期の短いフランス式を取るようになった。

弾性については、一重二重の長短はあるかも知れないが、工期の上では明らかに、高さの調整が簡易なほうを選んだことになる。しかし、この英仏のはさまに立って、どちらかに荷担すると、それに決まってしまうときは辛いものである。前ロンドン交通局長であったE T社の工事推進本部長（専務）がやや不満げに「どうしてもフランス式でなければいけないのか」と少し未練をもってきたのに対し、「工事工程やあとの保守を考えるとフランス式にしたほうがよいのではないか」と筆者が話したときの彼の残念そうな顔が眼に残っている。ただし、この方式も完全であるとはいえない改善の策というべきであろう。

実際に軌道工事をするには、トンネルの下部にコンクリートの道床を作らねばならない。そのため最初にやらねばならないことは、掘削工事を中心に、工事用の仮設線路の下に溜った泥その他の沈澱物の処理で、これが大変であった。泥を運搬する特別な台車が必要となり、さらに泥のすくい上げに延々と時間がかかった。この仕事は、電気・信号・通信などのトンネル内の工事や資材運搬を、なるべく阻害しないようにやらねばならない。

そして最終的には下のコンクリート・セグメントの面を清掃し、その上におく道床コンクリートが密に接着するようにしなければならぬし、またTBMを推進するためにセグメントにひび割れが生じていると、セグメントの中の鉄筋が海水などで腐蝕するので、入念に直しておかねばならない。清掃は、フランス側では、一〇〇気圧くらいの空気とともに水を噴出させて清掃する

方法を取った。これは傍で見ていると、噴出装置が急激な勢いでトンネル下面の円形部を走りながら水を出しているので恐ろしい感じがするが、その高圧であるがためにセグメントの表面がザラザラに面荒しをされて、あとから打つ道床コンクリートの接着が大変良くなる。面白い工夫である。

信号・制御・運転

電力については、両国ともに五〇ヘルツなので問題はなかった。しかし、列車の制御をする信号方式には違いがあった。

フランス側は戦後、電気による高速運転を逐次技術開発しながら、現在の高速鉄道TGVに至ったので、信号方式などは高い水準にあった。一方、鉄道発祥の国である英国では、この方面で戦後それほど大きな技術開発がなかったので、割合簡単にフランス側を主体とするシステムを採用することとなった。すでに実用化された技術を、このプロジェクトの基本コンセプトとして使用するのが適していたからである。

信号区間や細部については多少の論議はあったが、大勢としてフランス側のやり方でE T線内は実施された。この信号を受けて列車の運行を制御するために、コントローラー・センターが置かれる。これは列車の制御のみならず、両方のターミナルに入ってくる自動車への、乗車方法、乗

車位置（ホーム、車両）、駐車などの制御で、主としてカーラジオと道路の上の方の指示板で行なわれる。また、防災上の指令、トンネル内外の設備の運転状況とその結果もたらされるトンネル内の温度や風速、ポンプ室の作動状況のモニター、火災その他の検知、必要な場合の消火の指示なども、一切ここでやることになる。

列車に対する運転指令は信号で自動的にされるが、日本と違って口頭でも伝えられる。それで、それはどの言葉でやるのかとたずねると、英仏二カ国語でやるという。やはり、このあたりも二カ国なるがゆえであることは、英仏にセンターがあることと同様である。

この信号やコントロール・センターの要員は、建設時からある程度の人員が共同で従事してないと故障その他のリスクに対応できなくなるので、そのことを強く言っておいた。それで、保守・指令要員を二年以上前から雇用して、実際、建設時からテスト時まで共同作業もさせ、パリ高速鉄道などで見学訓練を受け、さらにコントロール・センターの近くに学習室を設けて、開業に備える種々の訓練を行なった。

一方、運転要員の養成も重大で、ほぼ同時に募集し、練達の運転員をチェコから得てチーフとした。テスト運転がET線でできないときは、要員養成を車両の試験を兼ねてプラハの近くの試験運転線で行なった。

いずれにせよ、たまたま東西の壁が消滅したのも、種々の面で好影響を及ぼしている例である

と思う。施設ももちろん充分に適合したものであることは必要だが、最終的に安全を確保するのが人間であることに変わりない。

コントロール・センターには、本線その他、関連設備の保守のための通路として、サービス・トンネル（S.T.）を管理するシステムも必要である。サービス・トンネルには、保守要員、保守材料などの運搬自動車だけではなく、必要なときには、種々の測定・救急用自動車、火災時の緊急車両など、多くの種類の車両が運行するので、それらの所在を示す運行管理システムも入っている。これは、地上の自動車道に應用し、汎用することができれば、自動車運行の混雑は多少緩和することができるのではないか。自動車の絶対数を減らせないとしても、事故の減少にはつながらるものと思われる。このような未来性も持っていて、実際どのような効果を表すかは興味深い。

民間なるがゆえに——安全テスト

さきに述べたように、このプロジェクトは英仏両国政府の協定によって発足したので、その管理・監督のためIGCが設立された。この機関がET社のすべての計画、設計を事前に提出（A.P.S.という）させて審査し、その承認によって建設が始められることになる。それは、トンネル、ターミナル、軌道電気などの設備、車両、試験計画その他、数千件に及ぶ膨大なもので、それに

要する智力、労力ははかり知れないものがある。

かつて、日本の民鉄が新しい線を建設したり、大きい設備を変更する際には、トラック二台分の書類や図面が必要といった時代があった。国鉄が民営化されたので、今では民鉄の手続きもかなり簡略化されてきている。それに対してこちらでは、一昔前に逆行したような錯覚を起させざる審査の連続である。しかも日本では、民鉄には日本鉄道建設公団を通じて低利の資金補助があるので、口も少し出すが、金も全部ではないにしても出すように変わってきている。ところがこちらは、両国の経済の環境や、さきに述べた歴史的経緯からも、金は出さないようになっていく。しかし、最終的に営業免許を与えるために、安全性重視の立場から口は相当出している。そして両国の安全に対する重点の置き方が異なるゆえか、簡単に結論が出ないことが、工期短縮の一つの阻害要因となっているように見える。さきに述べた軌道構造の設計もそうである。

トンネル内の火災などの事故に関しては、青函トンネルとやや似たような検知システムを取っている。つまりトンネル内外で列車の温度異常、煙の検知、さらに一酸化炭素の濃度検知をするとともに、火災と判断すると、列車を止めて、右側（連絡通路側）のホームに乗員・乗客を降ろし、三七五メートルおきにある連絡横坑からサービス・トンネル（ST）に避難し、送風圧が常にRTより高いST（つまり煙や熱風が入らない）で待つて、反対側のRTに來る列車に乗ってトンネルを脱出することになっている。その際は、センターからスピーカーを通じて種々の指令が

ある。一方、センターに待機する消火要員は、一定の人員数でSTから火災場所に急行し、その近くを通っている消火用水パイプにホースをつなぎ、消火に当ることになる。

青函トンネルは、前述のように海岸下の二カ所に停車場を設け、そこに避難、防火の設備を置く、いわゆる定点方式を取っている。これに対して英仏海峡トンネルでは、どこでも避難消火ができるような、非定点方式である点が異なっている。

どちらの方式が良いかは、実際に火災の起こる状態によって種々変わるのだから一概に言うことは難しい。いずれの方法も効果的と思われるが、でき得べくんば、可能な限りトンネル外に出ることが望ましいことはいうまでもない。

さらに両国の認識の違いが明瞭に現れたのは、各車両の通路幅である。事前設計審査では、その幅は七〇センチとされていたのであるが、製作を開始した頃に七〇センチでは車椅子が通り難いということで、ロンドン地下鉄のキングスクロス駅で起こった火災に起因するの（？）、九〇センチに拡げるように急いで設計変更をせざるを得なくなった。それが工期、工費に影響を与えたこともあるやに聞いている。

運転開始前に、最終的なテストが、部分、全体というふうに繰り返し行なわれた。IGCの検査といっても、納品検査に似た詳細なもので、ET社やTML社にとっては、考え方によればさらに安全確実性の裏付けができる利点はあるが、合格決定までにかかりの時間がかかっている。

これは二カ国間のコンセプトの違いもあるのであろうが、海底トンネルの生みの苦しみと云ってよい。

テストが繰り返され、徐々に関係各所が馴れてきたともいえるが、掘削時の学習効果（ラーニング・エフェクト）ほど顕著ではない。民鉄なるがゆえのハンディキャップは、この時間を要することで端的に経済性にはね返る。建設利子の増加と営業運転開始が遅れるための収入減とが重なってダブルパンチとなって利いてくるので、手際よく、しかも安全性を十分に事前に確認することに努めている。しかし、それに要する時日が、いろいろ理由はあるとしても考えられないくらい長い。

建設費

前述のように、車両納入を含めてすべての建設は、E T社がTML社に発注して行なわれている。実際、建設が進んでくると、当初考えられていた工事内容やその難易度にかんがりの変化が生じてくる。これは、このようなビッグ・プロジェクトではよく起こることである。日本では、このような際には、それが起こる都度、設計変更として、発注側と受注側との協議で実態に即して設計そのものと、それに伴う費用を変えてゆく。また工期も変えてゆく。

この工事の場合も原則的には同じであるが、建設費の変更はかなり多くの事柄が発生して、相当な量になるまで改訂はしない。建設費は当初から、資本金と銀行などからの借入金を資金とし、その両者は、一〇億ポンドと五〇億ポンド相当の計六〇億ポンドでスタートした。この中には、建設時の支払費用と、その後運賃収入を中心とする営業収入から運転保守費や開業後の投資（たとえば、輸送量の増加に伴ってターミナルの線路の数を増加したり、車両などを増強したりする費用など）を引いたものを実収入として、それによって銀行借入金を返済することが入っている。その中には当然、利子や経済環境の変動による負担増も考慮に入れられている。これがあるために、設計変更などの都度、資金計画を変えることはきわめて煩わしいので、変更量がある程度に達するまで建設費全体は据えおかれたままである。

一九八七年から実際の工事が始まって、種々の条件が変わってきた。もともと土木工事は自然を相手にするだけに、自然条件と当初の想定との不一致がよくある。大体においては合っているが、細部はやってみなければわからない部分がかんがひ存在するのである。また、経済環境の違いもあって、当初考えられていた物価などが予想より著しく変化する場合もある。

このようなことが積み上げられて、建設費のかなり大幅な増大が一九八九年頃から見えてきた。これに対しては、受注側からクレーム（異議申立て）の形で発注側に出される。この場合は、必ずしも工事資金が不足したという事態に至らないうちに工事の先行きを見越した、一種の設計変

更の催促である。

これを受けて一九九〇年末に、第一回の資金計画および建設費の増額が、幾つかの経緯はあったが、合意を見た。この増加の原因は、大略は次のように考えることができる。

(1) さきに述べたように、自然相手の工事では自然条件が変わることがままあり、通常、当初の契約では良好な条件を想定するので、増加は普通避けられない。そのために、全体的には予算に相当の余裕をとっておかねばならないのが普通である。ましてや海底トンネルの経験はほとんどないし、さらには長いトンネルであるから、思い切った額の余裕を加えておくべきであったが、実際はわずかに二・五%くらいしか見ていなかったもので、不足となるのは当然ともいえる。

ただ、これはさきに述べたように、幾つかの案を政府に提出して、その結果選定されたいわゆるコンペ方式で、しかも政府は資金を出さないものであるから、あまり多くの余裕を持つことは、コンペに勝つには不利である。もし政府が資金を出すのなら、あまり低額だとあとで困ることになるようなことも働いていたといえよう。しかし、それにしても余裕がなさすぎるということも、経験不足も影響しているというべきであろう。

(2) 当初の想定よりも作業人員がかなり多くなっている。さきに述べたように、人員が多過ぎるほど使われていたことが、今一つの大きい理由である。それに気づいて、かなり前から、

合理化するように求め、助言したが、種々の理由でできなかったことが、この結果を招く一つの理由となったと考えられる。ユニオンの形態など特別な理由は確かにあるとしても、人数が多すぎた。

(3) ヨーロッパでは環境問題を主に、自動車を減らないまでも増えないようにしながら、経済の活性化と成長に伴って増加する輸送量を鉄道の方に振り替える、いわゆるモータリシフトが行なわれ始めた。それに伴って、一時は縮小されていた鉄道車両市場がにわかに活性化し、予想以上の価格の高騰という局部的インフレともいえるものが起こってきた。それに伴って、車両建設費を増加させるプレッシャーが働いた。日本でもこの頃は、JRの発足に伴って新しい車両の発注が多くなり、民鉄でも同様に、単なる長期使用による機能低下のための更新のみではなく、周辺技術の進歩を取り入れた高性能化も含まれて、車両市場は活性化していた。このような背景で国際入札が行なわれたが、ヨーロッパを中心としたメーカーが落札したものの、その後も全体の騰勢に影響を受けざるを得なかった。また、一方の反省点としては、ET社がTML社に発注するのであるが、TML社は建設業者一〇社のジョイント・ベンチャーであって、車両製作に関する社内の技術者をほとんど持っていなかったし、ET社にも社内技術者は少なかった。このようなインハウス・コンサルタント・エンジニアが少なかったことも、価格審査について不利な点であったと思われる。

このような状態が、E T社とT M L社との間で続いてゆく。それが一部マスコミにも出てきて、工事の難航の報道となって表れた。

ここでE T社の支払方法を少し述べることにする。通常、日本では工事のできた部分に対して支払いがなされるのであるが、E T社の場合は、前月の下旬までに、次の月の必要とする支払額がT M L社から申請される。それを審査して、その月初めに前払いをする。それが予定よりも違ったときは、次の月で調整する方式をとっている。これらはT M L社側の資金コストを低くするためである。この支払予定額は細かい単価と数量よりなっていて、工事工程も予想されているので、E T社とT M L社は現場ごとにコンピュータ回線で接続され、審査し得るように効率が高くなっている。この回線によって工程管理、資金管理も、短期間のもののみならず、中・長期のものについても分析総合ができるようになってきている。共通のマネージメント手法である。

ただ、インプットされるデータ類がE T社とT M L社とでやや異なるので、種々の差異やクレームが生じてくる。このクレームも、E T社とT M L社との間で話し合いをつけるのが常道であるが、合意でき難い場合のために、パネルという五名からなる苦情処理機関が契約上定められていて、何回かこれにかけられたことがある。これでも合意し難い場合は、国際商工会議所（I C C、ブリュッセルにある）に提訴することになる。これは一度だけあったが、あとで両者間では合意をみた。

資金は、資本金からの引出しは別として、銀行借入金は、最初に成立した資金供与協定に基づいて、三ヶ月（後で変わることもあった）に一度、引出し額の実行を銀行団（約二〇〇行以上）に求め、可否を問う。それを可とするものが六〇%以上となると引出しが可能となる。このような手続きで、ポンド、フラン、ドルの三つの種類の金で払われる。一度、T M L社が支払われないと提訴したのは、このような手続きが遅れて、月初めの支払いが遅れたことによったもので、日ならずして解決している。これは日本ではあまり考えられないことである。

銀行団は二〇〇〜二三〇行ほどの数の銀行で構成されている。日本からは、都市銀行はすべて、それに地方銀行、信託銀行などを加えて三八行が参加し、現在は銀行の合併などで三六行となっている。銀行団の中で種々の変更事項などを審議するため、世界中で二四行の幹事銀行がある。日本からは四行はいつており、日本興業銀行、三和銀行、日本長期信用銀行および東京銀行である。これらの諸行は、たとえば一九八九年から一九九〇年にかけての増額などに際しては、たびたび会議をロンドン、パリで交代に開催している。主催は、さきに述べた英仏のエージェン・ト・バンクである。

二回目の借入協定変更は、建設費の最終調整と一九九〇年以降の実際工事にかかっている軌道、電気、車両などの設計変更と工期延伸について行なわれる。これについては、さきと同様な理由のほか、なかなか表面だってはいえないと思われるが、I G Cによる変更や延伸の最終的調整と

して総額変更が行なわれねばならない。しかし、この調整は英仏双方の考え方の相違のために時間がかかる。この時間の遅れが経費と収入に厳しくのしかかってくるのである。

テクニカル・アドバイザーとして

融資条件としてテクニカル・アドバイザーが置かれ、その中に私も選ばれたが、もともと就任の条件として、青函トンネルでの経験を生かしてアドバイザーをしてみたいとのことなので、単に融資銀行団へのアドバイスだけに限定されなかった。青函トンネルのことは彼らもよく勉強してはいたが、実際上の技術的施行となると机上での勉強とは異なるので、直接現地の人々やロンドンの幹部に会ってアドバイザーすることのほうが多かった。

前述のようにE.T.社やT.M.L.社の人々は上下を問わず、世界で唯一の実例である青函トンネルの実績と工事の実態に大きな関心もあり、質問したいことを山ほど持っていたので、それに真面目に対応することにしていった。英国は経験重視のお国柄であるし、フランスは着想と明晰さを好むゆえに、両国とも経験の持つ事実としての明快さを尊重してくれた。

それで、トンネル建設や付帯設備そのものに対するアドバイザーを、直接E.T.社やT.M.L.社にしたのである。これら技術者の中には旧知の人々もいて、考え方を伝えるには有効であった。この

ような技術的な問題の解決も、最終的には、いかにコストを少なく、かつ工期を短くして、一つ一つを完成するかにあり、かつ品質の良いもの——この場合は保守にあまり手間（費用）がかからず、湧水も少なく、耐久性の強いもの——を造るかということにかかっている。このことは、とりもなおさず、直接融資銀行団の利益にも適合すると考えられる。また、青函トンネルで得た知識を、広くいえば人間の共通の財産として種々のところで生かし、さらに今回の英仏海峡トンネルを通じて次の他の国のプロジェクトに生かしてゆければ、それにこしたことはない。

これには、トンネル工事全般が関係し、さきに述べたように、安全設備、軌道、換気・冷却、トンネル内の運送、掘削方法、裏込め注入等々、枚挙にいとまがない。なにしろ八年間にわたって言ってきたのだから、多数になるのも当然である。このような技術上、設計施工上の問題にとどまらず、作業要員の数や、有能な職員・作業員の養成などにも多くの助言をした。

その一方で、一九九〇年の第一回目の融資協定変更の前に、ヨーロッパ投資銀行（E.I.B.）の融資銀行団への参加を求めた。この銀行は各国の拠出によってできたもので、半ば公的な機関であるから、ここからの融資はプロジェクト自体の健全度を示すものである。そこでE.I.B.を訪れることになった。

緑深いルクセンブルクの丘の上にこの銀行はあった。その投資本部長その他に会って、青函トンネル工事を終えた眼から見て、英仏海峡トンネルの可能性を説明した。そのあとで彼らを青函

第三章 技術と自然条件の違い



トンネル完成式（1994年2月26日）にて、左よりサッチャー前英首相、筆者、モートンE T 社会長

トンネルに案内し、実際に営業運転をしているところや、海底駅の安全設備や函館のコントロール・センタ―を見てもらった。海底長大トンネルが立派にでき運営されているところを実際に見て信頼感を得、E T 社のプロジェクトは融資するに値するものであるとの印象を持ってもらうことができた。

この八年で、E T 社、T M L 社も話を早く理解できるようになったのは、経験を共有したことによるものである。それゆえに、相手の情報もよく入り、E T 社とT M L 社がクレームで係争中でも本音が聞けて、双方に益することがあったと思っている。ただ両国の考え方や技術の異なるはさまに立たされて、双方によく納得してもらうにはどうすればいいのか、という点が最も苦しかったところである。

この両国の異なる点や、われわれ日本人との対比については、別に章を改めて整理したい。