

ヨーロッパの土木地質事情

高橋 彦 治\*

私は昨年(1966年)9月25日から1週間にわたってポルトガル国リスボン市で開かれた第1回国際岩盤力学会に出席するとともに、約1ヵ月間、フランス、オランダなど欧州諸国における土木地質事情の一端を視察することができたのでここにその一部をご報告致します。

1. ドーバ海峡トンネル計画

SETECの指示に基づき、10月6日パリ市内レオナルドダビンチ通りの地質研究所に、Channel Tunnel Study Groupの地質調査専門委員のMr. G.P. Destombesを訪問した。

ドーバー海峡は地質的には、ドーバー(イギリス)とサンガット(フランス)の間で東西方向の背斜構造をなし、その北側の翼部に中生代白亜紀のセノマニアンに属する白亜層が存在している。白亜層の厚さは全体として300mほどあるが、ドーバー海峡トンネルのルートは、その下部層(下部白亜層)をとおるように選定されている。下部白亜層の厚さはイギリス側で80m、フランス側で60mである。調査の結果、下部白亜層の詳細な分布が明らかにされている。

ドーバー海峡トンネル計画に関する地質調査は、遠く一世紀前の1876年に開始されている。研究グループの構成員は、地質学者、科学者、技術者などである。1965年度に補足的な海上ボーリングが行なわれて、地質調査は一応終了した形である。この間行なわれた調査の主なるものは、ドーバーおよびカレーにおける陸上部地質調査のほかに、特別調査船(アジャックス)による海底岩石標本の採取(7000地点、コア直径7in、同長さ10cm)、ドレッジ、音波探査(延長600mile)、弾性波探査などである。これらはおおむね青函トンネル計画

表-1 白亜系の層序

地層名	地質特徴	速度 $V_p$ (m/s)
白 亜 系	上部層 白色, 細粒, フリント質	
	中部層 灰色, 団塊, 凝灰岩, 粘土を含む	3000
	下部層 青色, 粘土含有量多く, 均質, 非フリント質, 緑泥石を含む緑色岩一部砂質, 膨膨れ, 滞水層	2500
ジュラ系 ゴール粘土		2000

\* 正会員 理博 国鉄鉄道技術研究所地質研究室長

における地質調査と同様なものであるが、地質構造が単純である割合には、調査測線の延長、地点の数などは、わが青函トンネルの場合より大きい。これは、そのキャリヤーが違うこと、潮流がそれほど大きくないので調査がやりやすかったなどの理由があるので当然であろう。白亜層の上下の層序は表-1のように示される。

白亜層の色は粘土の含有によって定まるらしい。さらに白亜系の分帯は炭酸カルシウム( $CaCO_3$ )の含有量で行なわれた。 $CaCO_3$ は岩石に溶解性を与える。 $CaCO_3$ は上部程多い。上部白亜層は塊状、細粒、緻密で仕事はしやすいが、割れ目ははいると、これが大きく割れる性質のため湧水を導くと考えられた。下部白亜層は成層しているため、きれつが入っても小さくて済むので、全体としては大きい透水性をしめさないであろう。白亜層は一般に水をとおさないが、上のような分帯と性質とを勘案して、同委員会では、下部白亜層に重点をおいて以後の調査を進める方針がとられたということである。

この他前述のように $CaCO_3$ の含有量による下部白亜層の分帯が行なわれたが、この分帯は透水性の点からも興味ある関連を示したということである。すなわち $CaCO_3$ の少ない下部層が平均透水性が小さい。

1882年フランス側のサンガットでビューモントのトンネル掘進機により直径2.13m、長さ1.8kmの円形の試掘坑が掘削された。その後、約一世紀を経過してから、サンガットの立坑および試掘坑の中の水を排除して調べたところ、素掘りのままの下部白亜層の岩石が100年前と全く同じように健全であったということである。長さ1.8km間の試掘トンネルからの湧水量は、建設当初の記録では30l/secとなっており、そのときに測定された水圧は4kg/cm<sup>2</sup>であった。その水質は1/3が塩分、2/3が軟水であった。100年後試掘坑の水を排除して測定したところによれば、延長800m間の湧水が32l/secであった。このように、下部白亜層は海水に対して全く安全であることを見せてくれた。

2. パリーの地下鉄工事

10月7日、R.A.T.P.所管のエトアール工事事務所を訪問した。パリーの地下鉄は約30年前に189kmを完成しているが、都市集中化、自動車交通の激増などに

起因する路上交通混雑緩和の問題に直面し、最近地下鉄網の増強が行われてきた。La Folie から Etoir をとおって Auber に至る約 13 km の地下鉄が計画された。まず、La. Folie から Etoir に至る約 8 km を工期 2 カ年で作ることになる。その第 1 期工事が 1962 年末に着工された。

1966 年 10 月現在では、全区間が着工されている。第 1 期工事においては、シールドおよびトンネルボーリングマシン（ロビンス型）を入れて一気に掘るつもりで（工期 2 年の予定）スタートしたのであるが、4 年を経過してなお半分くらい残しているようであった。セヌ河下を横断するため多くの困難は予想されていたらしいのであるが、対岸のセヌ河に接近した所で崩壊があり、道路が 70 cm も沈下するという事故を起こし、対策に苦心を重ねることになった。この事故の原因は、セヌ河の旧はんらん原（河床の一部）が沖積地の下にかくされていたことにあるらしい。地質調査がラフでこのような事情を予測できなかったということらしい。

エトアールの方では、トンネルボーリングマシンを入れていくらも掘らぬうちに、水を含んだ砂の流出に遭遇し、圧気工法を併用する計画に変更された。ところが、この送気による酸素が粘土や砂の中に含まれている炭質物に作用し燃えるという現象が起きた。そのため炭質物とそのまわりの粘土は焼結された。砂に予想以上の水が含まれていたことと、送気のために起きた自然発火などの事故に直面して、計画が大きく変更された。そのためボーリングマシンのピット付近に限定する予定であった圧気の使用を、急きょ変更して、後方、ずり運搬車の先端の位置に設けた安全ロックまで拡大するなどの処置がなされつつあった（1966 年 10 月上旬）。したがってトンネルボーリングマシンが実際に活躍した日数は、きわめて少ないということである。

欧州大陸の沖積平野、洪積台地における地質特性は、新しい堆積層が薄く堆積し、大規模な連続性をもっていることである。先のドーバー海峡底下にあるジュラ紀のゴルト粘土やパリ地下鉄の新生代初期始新世の未固結の砂と粘土、イギリスにおける第三紀のロンドンクレイなどは、ともにかなり古い地質時代の生成にかかるものであるのに、未固結で軟かい状態にあるということである。このような地質は、ベルギー、ドイツの一部、フランス北部、イギリスの一部に共通して認められるということであった。一般に第三紀層は中生代の白亜紀の白亜の上に載っている。表-2 に層序の概略を示す。

地下鉄のルートは、主として石灰質岩の下の未固結の砂層、および粘土層の中をおるように選定された。その理由は、地下水が少なく（というのは特殊な地下水脈地帯を外せば、一般に難透水性のためであるらしい）掘

表-2 フランスの平野部パリ付近における地質

	層厚(m)	地 質
沖積層	10~30	未固結の粘土、シルト、砂
第三系 (始新統)	10	石灰質岩、硬く成層、粘土薄層をはさむ
	6	未固結の砂層
	10	軟い粘土
	白 亜 系	

りやすいということであった。未固結の砂を注入によって固結するということに自信をもっていることから、石灰質岩は硬くて掘りにくいという判断であった。

### 3. オランダにおける沈埋式トンネル工法

10 月 11 日オランダではロッテルダム地下鉄とアムステルダム高速道路の沈埋工法を Neederhorst 社の Mr. K.F. Brons の案内で視察した。

#### (1) オランダ平野部の地質

オランダ平野部における平均的な地質条件は、つぎのようである。沖積層のピート、粘土、砂から成る上部層と洪積層の砂層からなる下部層とに分けられる（上下部層とも多分スカンジナビヤ地方の氷河堆積物の漂積土らしい）。下部層までの深さは一般に 25~35 m であるが、アムステルダムでは 70 m くらいのところもある。それより下の層はよくわかっていないようである。上部層の砂は細粒でルーズであり、下部層は一般に支持層とすることができる。

軽いビルディングは上部の砂層を基礎にすることができるが、あまり大きいものはできないので、オランダの都市の古い建物の多くは 4~5 階建であった。ロッテルダムは、戦争で破壊されたために地階を持った高層（比較的、8 階程度）のものが建築されている。最近の重要な構造物は、下部の砂層に達するくい基礎を施工し、建物では地下室を持つものがつくられている。アムステルダムからロッテルダムまでの自動車道路のとおる平原は、平均して海水面下（約 -4 m）の標高を示している。アムステルダム市郊外に新しく建設中の Sohiphof 飛行場の下を潜るところは、海水面下（-10 m）である。この平原の中で 3000 m 級のボーリングが天然ガスを探る目的で実施されていた。パリでもそうであったが、欧州のこの辺の周縁部の構成地質は、平坦な沖積層や洪積層が一樣に広く分布しているのが特徴である。父祖の時代から永年にわたり、同じような地質を対象として行われてきた多くの工事が、経験的に発展してきたように思われる。

両市に共通していることは、市民に対するサービスの一つとして考えられたものと思うが、工事中展示室を備

えて市民および見学者に解放していることである。設計の考え方、工法、施工の順序などを専門家でなくとも、よく理解できるような図表にし、これに解説を加え、模型、実物などを備えた展示室が工事用敷地内の街頭側に設けられていた。これは市民の技術的教育の普及のほか、工事に対する市民の理解と協力を得るのに大いに役立っていると思われた。

## (2) ロッテルダム地下鉄

地下鉄は、ほとんど地下水面に没し、ルートは一部 Maas 川を横断している。Maas 川底部の工事はすでに完了していた。駅部に近い位置のルートの上に、ルートを避けて、ドックが配置されている。ドックは、トンネルエレメントをこの中でプレキャストし、これを地下水面下にできた臨時の人工運河を利用して曳航するものであるから、トンネルエレメントが地下水面以下に没するだけの深さを有する。掘削は、矢板を二段に打ち、セメントまたは薬液注入により水止めをした上で、排水しながらドライで行なわれたようである。

トンネル部の施工順序は、まずトンネル部分の外側の粘土層の中にシートパイルが十分に深く打ちこまれる。シートパイルの上端は一本のストラットで支えられる。シートパイルの打込み深さは、トンネル部の掘削に際して砂のボイルングが起こらないように、土の性質によって定められている。トンネル部の掘削はもちろん水中掘削である。つぎに所要数のコンクリートパイルがトンネルエレメントの基礎ぐいとして打込まれる。このぐいの目的はコンプレッションパイルである。普通のところでは、やはりトンネルエレメントの方が、その排除した土よりも重いということになっている。ついで、コンクリートパイルの先端付近で注入を実施する。頭部にはゴム継手をもった特殊なジョイントコンクリートブロックが継ぎ足される。このゴムの継手に空気を送って頭を揃え、トンネルエレメントの底面の水準を正す。この継手にはセメントスラリーを注入して固結させる。横方向の矯正は、掘削面の側壁部に反力をとって行なわれる。感心させられたのは、トンネルエレメント周辺の間げきは砂粒で充てんされるが、底部にはよく入らないから、将来予想される市街地工作物の沈下防止のために、あらかじめ基礎用のプラットホームが木ぐいとコンクリートとで作られていることである。

## (3) アムステルダム的高速道路

アムステルダムは、駅の北側をほぼ東西方向に流れる I.J. 川によって交通が断されているため発展が阻止されている。この交通上の支障をとりのぞくために I.J. 川横断の連絡道路が計画されたわけである。施工中の川

底部の現場と、取付部およびトンネルエレメントのドックを視察することができた。

特に気が付いたことは、取付道路から川底部へのアプローチでは、トンネルエレメントの安定のために、コンプレッションパイルのほかに、浮上り防止を目的としたテンションパイルが施工されていた。水位が 40 cm 上ると、トンネルエレメントには一基当り 200 t の浮力が作用するということであった。

ドックの見学中、スペイン語で呼び合う労務者を見掛けた。第一線労務者の少なからぬ部分が南方系の外来者であるということで、欧州圏の中で先進国北欧の建設業界が抱えている労務事情を見せつけられた感じがした。日本も例外ではなさそうである。

## 4. 西ドイツ炭坑における地圧研究

八幡製鉄欧州事務所王子氏の案内で、10月13日エッセンクレイの石炭総合研究所、10月14日アーヘン工科大学の Hoffmann 研究室を訪問した。

### (1) 石炭総合研究所(Dr. Ing. G. Evering 研究室)

坑道周辺における地山の変形の問題が、主として模型実験によって解析する方法を用いて研究されていた。坑道掘進および炭層切羽の掘削に際して現われる周辺地山内部の変位を、大規模かつ莫大な数のモデルテスト(3年間で120基)によって解析するのである。経費の大部分は、炭坑協会のようなところをとおして炭坑資本の方から支出されているらしい。坑道周辺または炭層切羽の掘進にもなって、坑道周辺の地山内部に変位が現われるが、その理論的解析は実用的には全くナンセンスであるという認識を持っていた。地中応力とか土圧の測定は、不均等質かつ非弾性体であるわれわれの炭坑では意味が少ない。数学的計算は最初から放棄している。現象は数式にはのらないと断言していた。できるだけ現場の地質条件を詳細に取り入れた岩盤模型を用いて、変形または破壊テストを行なっている。その成果は、主として Glückauf 誌その他に報告されている。

炭坑における坑道は閉塞充てんされるが、最終的には潰れてしまうものである。鉄道や道路トンネルでは、掘削後伸長変位してくる坑道の断面の破壊縮小を阻止し、ある時点で、所要の内空を維持するように防護されなければならない。ここに両者の間の違いがある。しかし鉄道トンネルにおいても、コンクリートで永久覆工をするまでの間は支保工によって地山の変形を処理しなければならない。ここに、両者の共通問題がある。炭坑における地質条件は比較的単純であるが、鉄道や道路トンネルでは多様にして複雑であり、予期しないところで強い土

圧に遭遇することを覚悟しなければならぬので、もっと慎重な研究が要求される。

支保工の鋼製化について 坑道支保の鋼製化の現況は、西ドイツの炭坑では 90% くらいと見られる。坑道の担いのようなところにも水平鋼材が用いられている。

ロックボルトについて——ロックボルトによる坑道の安定化はきわめて有効であると考えられるが、なにゆえか、西ドイツの炭坑現場での利用はきわめて少ない。その理由はよくわからない。しかし、鋼線を用いたロックボルト (Seilanker ausbau) が最近用いられており、いまその適切な利用法について研究中である。

カッペ方式による採炭切羽においては、自走式支保工がよいが、その利用状況はイギリスの 30% に対して、西ドイツでは 15% 程度である。

## (2) アーヘン工科大学 (Hoffmann 研究室)

Hoffmann 教授を中心に、炭坑採掘跡の地表陥没に関する問題の研究がなされており、大規模かつ数多くの模型を用いて解析する方法が行なわれていた。トンネルと坑道との相違に関する認識は、石炭総合研究所の場合と同様であった。実験は、西ドイツの炭坑における層状地質構造を取り入れた 1/1 200 の模型に炭層切羽に相当する空間を作り、各層ごとにまたは層状に等間隔に、したがって格子状測点を 40 点以上設けておく。模型に正面して作られた測量用固定ステージにすえられた数台の精密級測量器械 (レベル、トランシットの類) で、水平、垂直の変位が測定される。この作業だけでも 3~4 人がかりで、4~6 時間もかかる仕事量である。その結果図面に示し、これを数式化している。

## 5. スイス国鉄

スイス国鉄が計画中の New St. Gottard Tunnel (長さ 45 km) に関して地質事情を聴取する目的でいたが、担当者が旅行中で訪問を中止した。Dr. J. Britt の手紙によれば、同計画はアルプス造山帯を横断する計画なので、地質的には興味ある問題が多く、特に湧水、土圧など工事を困難にするような特殊問題があるということであった。

## 6. イタリア国鉄

主として南部線増計画における地質事情を聴取する目的をもって、10月20日イタリア国鉄を訪問した。

### (1) Saleno トンネル

Saleno は Naples の東南約 50 km の地点にあり、Saleno トンネルはナポリ湾を抱くように突きでたソレ

ント半島の基部の低所を貫くもので、長さ約 11 km の複線トンネルとして計画された。

Saleno トンネルの地形は、縦断面の上では山頂が出口側にいくらかかたよっていて、入口側では低平な地形が長く続き、出口側では低平な地形がそう長くない。この低平地形を示す部分は未固結の堆積層であって、特に入口側では、これが数 km も続き、土かぶりが小さく多量の湧水が予想された。この低平地形に対する地質調査の結果、最終的には、ルートを東北側に移し、さらにう回させることになった。すなわち最終ルートは未固結堆積層の部分を数百 m に短縮し、基盤である層状石灰岩をはさむ古期岩層 (ソレントの半島の基盤である) の中をより多くとおる。出口は土かぶりの浅い未固結堆積層の部分でトンネル天盤の直上 4 m のところに高層ビルディングが建っている。その一部は、オープンカットになるが、建物の下は、トンネル案よりほかにかないで、その対策に苦慮していた。現在この区間に対する対策案はプレキャストのコンクリートブロックを用いて掘削後、早急に巻立てることになっている。東海道新幹線における工事は参考になると言っている。

### (2) 土圧の大きい場合のトンネル工法

Saleno トンネル出口の土かぶりの浅い区間の直上にあるビルディング対策についての話が、土圧の大きい場合のトンネル工法に発展した。サイロットと上半の掘削、外巻きおよび内巻きアーチコンクリートの方式をとる日本風の最近の工法に対しては、とても納得できないようであった。イタリアでは、土圧の強い場合、軟弱地質の場合、プレキャストのコンクリートブロックまたはレンガを多用している。側壁コンクリートは場所打ちとし、必要があれば、鉄筋コンクリートとする。側壁コンクリートの上にコンクリートブロックまたはレンガを用いてアーチ覆工を作る。この方法では、覆工は完了と同時に外力に抵抗する。すなわち、初期の強度を大きく作ることができる。インパートを必要とするところでは、側壁とのジョイント部に注意が払われている。さすがは古代ローマの建設以来、アーチ構造物になじみのお国柄だけであると感心したが、その主張の中には、われわれ日本の土木技術者が傾聴すべきものをもっていると考えた次第である。

## 7. あとがき

——土木地質専門家としての感想——

欧州の先進諸国は大陸の平野部にあるという立地条件を有し、極端な表現であるが、山間部とえば、たとえばアルプスを国境とする地域に限られている。平野部の大部分はきわめて安定した地塊に属するので、沖積層ある

いは洪積層の下に隠されている基盤面の形も変化が少ないであろうことから、地下を対象とする都市交通機関の建設工事の施工技術の改善、発達に注意を集中できたように思われる。

これに対して日本では、交通は山間部を除いては考えられない。若い造山帯に属する日本の山間部の地質は、複雑で変化に富んでいる。また平野部にあっては、地下谷のようなもので特徴づけられているように、支持層または基盤面の凹凸が激しい。このような事情のもとに、日本では技術者の注意が建設工事の着工前の調査の方より多く払われていたといえる。

建設工事の数量が比較的多く、地質条件が多様であることは、日本における地質専門家の活動に刺激を与え、その職域が多方面にわたる結果を招いているような思いがする。土木工学と地質学との境界領域を専門とするものは、土木地質学の専門家に他ならぬが、この領域に対する要請は日本においてはここ当分増加の一途にある。日本の建設技術が多くの部分で世界的水準に達し、特にトンネル工学では他国のそれをリードしているという評価がある。日本の各機関における土木地質の専門家がそ

の要請に答えて行くことの中には、この分野において他国の水準を越えてこれをリードする潜在的要素があることに思い至るのである。

以上は、短い欧州出張をとおして、筆者が感じたことであり、これを筆者自身の戒めとしたい。

終りに当って下記の各位に多大なお世話になったので記して謝意を表したい。

今回の欧州出張は、社団法人土木学会の視察団の一員として参加したものである。土木学会事務局の労に感謝するとともに、また欧州出張の機会を与えていただいた国鉄当局に感謝の意を表します。出張先においては、国鉄パリー事務所（五十嵐勇所長）、運輸省ロンドン観光事務所（見角修二所長）、八幡製鉄欧州事務所（デュッセルドフ、古荘源次郎所長）、リスボン市 横地森太郎氏、国鉄本社建設局 菊田郁次郎氏のご協力を賜わり、ここに感謝の意を表します。最後になりましたが、訪問先に対する紹介の労をとっていただいた篠原武司、森 正治、古賀登、白石俊多の諸氏に感謝の意を表します。

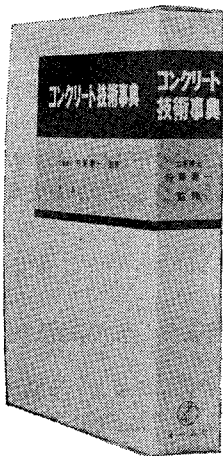
(1967. 11. 20・受付)

# コンクリート 技術事典

4 月発売

監修 狩野春一

編集  
幹事 近藤芳美  
大島久次  
亀田泰弘  
上村克郎



## 本書の特長

- セメント、コンクリートの性質、材料から施工、関連二次製品にいたるまでの関係技術用語4000項目を網羅。
- 単なる語彙の羅列・説明にとどまらず、現場技術に最も必要な図・データ2000余を集録。また、重要な項目には参考文献を掲載。
- 今日求められる全国80余名の最高執筆陣で、データブックの機能を持たせたコンクリート技術の集大成。

## ●付録に

内外コンクリート関係研究所一覧  
内外コンクリート関係雑誌名一覧  
B 5 判・P.920・予価 ¥8,000

はがきでお申込下されば  
内容見本お送り申し上げます

## オーム社

東京都千代田区神田錦町3-1  
振替：東京20018  
TEL (291) 0912(代)

