第２回海外応用地質学関連サイト調査団報告

平成４年１１月

日　本　応　用　地　質　学　会

海外応用地質学関連サイト調査団

はじめに

平成４年11月11日より24日迄の２週間、日本応用地質学会主催の第２回応用地質学関連サイト調査が実施された。今回の調査は、昨年の第１回調査の経験に踏まえて、幹事の方々が比較的余裕のあるスケジュールを企画して下さったものの、やはり海外での研修旅行ですから、全体としては、結構いそがしい２週間でした。

多忙な中でも盛り沢山は日本人の御家芸なのでしょうが、今回も予定外スケジュールとして、折角フランスに来たのだからと言う事で、“ 有名なマルパッセダムの見学を！！”の声が高まり、多数の参加者と共に私も見学させていただきました。

マルパッセダムの事故報告は、今迄に、色々な方々の報文を拝読させていただいていたので、正直言って、多少“ 今更”という気がしないでもありませんでした。しかし、現場を見学しました時は、“ 来て良かった”に完全に変心してしまいました。学校卒業以降、土木地質、取分けダム地質に長く携わった者としてマルパッセの現場は相当な迫力でした。機会があれば是非見学させていただくべき現場だとつくづく思いました。この現場は、見学する方々の経歴、年齢などそれぞれの立場によって見られ方も違ってくるかもしれないとも感じました。

オランダのデルタ計画は、1958年国会通過後25年余りの歳月をかけて完成したプロジェクトでありますが、パンフレットの小タイトルとして'The Netherlands. A Country Wrested From The Sea' と書かれているのを読みましたが、まさに国土を守るために必死に取り組んだ土木事業と言う印象を強く受けましたと共に、いま話題になっている。長良川河口堰プロジェクトと重ね合わせて考えたとき色々な思いが横切りました。それにしても、いまから34年も以前に着工されたプロジェクトでありながら、環境問題を含め産学共同プロジェクトとして実に上手に進められたものだと感心しました。また、サイトに造られているデルタＥＸＰＯは興味あるＰＲ館でした。

今回の調査団の特色の一つは、純粋地学のための見学地が含まれていたことです。今年は、1960年のスウェーデンでのＩＧＣのExcursion の案内書を頼りにゴットランド島のシルリアンの地層を見学致しましたが、このような純地学的なtype locality を見学することは我々の学会主催の海外研修旅行として、大変有意義と思いました。

御承知のとおり、ヨーロッパ各国は、その地方地方で博物館が整備されていますので、その町の博物館をも併せて見学できました。ただ、私の如き化石オンチには、見学テーマに詳しい大学の先生方乃至は団員がおられ、簡単な講義を併った見学であればもっと勉強になったかなと自分の不勉強を棚にあげて感じました。

今回の研究のmain themeであったユーロトンネル見学は、サンコーコンサルタントの持田副社長にお願して見学させていただきました。普通の見学者（又は団）はＰＲ館迄であるところを、我々は持田先生の紹介でしたので、トンネル内にまで入れていただき十分な見学をさせていただきました。英仏国境での工事現場と言うこともあるのでしょうが、安全管理がいかに徹底しているかに驚きました。トンネルの寸法や内部については、既にライニングが終了していた関係で予想していたより小さく感じました。トンネルは、海峡底に分布するチョーク　マールに沿って掘削しておりましたので、トンネルは多少上下しております。余談ですが、20数年前私が技術士の面接試験を受験しました時の試験官が本学会の元会長、故田中治雄先生で御座いまして、その時の面接で、「君、発電用水路トンネルと鉄道や道路トンネルとの違いは何かね」と質問され、しばらく私がポカンとしておりましたら、「それはね、鉄道や道路トンネルは上下方向、水平方向に地質の悪い所をさけて掘削出来ることだよ」と言われたことを、英国のドーバー海峡に面した現場で、ユーロトンネルの地質断面を見ながら懐かしく思い出しました。

その他にも今回の研修旅行で印象に残った数々の見学が御座いましたが、紙面の都合で割合させていただきます。

最後に、第一回調査団の緒言の終りに岡本会長が記されておりますように、本学会の海外調査団がこれからも毎年継続して主催され、本学会及び学会員の国際化と技術研鑽に益々寄与するものになりますことを、私も切に希望する次第です。

今回幹事をしていただいた建設技研の宇田氏、アイ・エヌ・エーの内舘氏の両氏には、事前に準備、旅行中の諸事全般、事後のとりまとめ等々すべておまかせし、私自身、真に無責任な団長であったと反省している次第です。

今回の調査団が上述しましたように、大変有意義な研修が出来たこと、又全員無事に帰国出来ましたことは、両氏およびＪＴＢの笠原文子さんの御陰であったことは調

査団全員が深く感謝しているところであります。調査団を代表して御礼を申し上げます。

福　竹　養　造

目　次

1．調査団の概要

「第２回海外応用地質学関連サイト調査」は、1992年10月11日～10月24日の14日間にわたり、スウェーデン、オランダ、イギリスの北ヨーロッパを中心に実施され、主として純地質巡検としてのスウェーデン「ゴットランド島」のほか、オスカーシャムの「放射性廃棄物関連施設」、オランダの「デルタ・プロジェクト」、そしてイギリス・フランスを結ぶ「ユーロトンネルプロジェクト」等を見学した。調査団の参加者名簿および調査団の主な日程を表1.1 および表1.2 にそれぞれ示す。

写真1.1　調査団参加者（於ゴットランド島にて）

表 1.1 調査団参加者名簿

（順不同．敬称略）

氏　　名	[redacted]
福竹養造	
武田和久	
門藤正幸	
大浦　　寿	
川上祐史	
中村一樹	
和島　　實	
本荘静光	
武藤　　光	
内舘　　彬	
伊藤修司	
宇田進一	
藤野　　晃	
餅井秀樹	
石橋弘道	
笠原文子	

表1.2 調査団日程

月　日	日　　程	スケジュール・その他
10月11日	成田発　14:20 フランクフルト着　18:30	（フランクフルト泊）
10月12日	フランクフルト発　9:50 ストックホルム着　11:55 ストックホルム発　15:25 ビスビー　着　16:05	ビスビー市内施設見学 （ビスビー泊）
10月13日	ゴットランド島	ゴットランド島巡検 科学博物館などを見学（ビスビー泊）
10月14日	ビスビー　発　10:10 ストックホルム着　10:50	ストックホルム市内施設見学 （ストックホルム泊）
10月15日	ストックホルム ～オスカーシャム	「ＨＲＬ」放射性廃棄物関連施設視察 （ストックホルム泊）
10月16日	ストックホルム発　10:10 アムステルダム着　10:50	アムステルダム市内運河施設見学 （アムステルダム泊）
10月17日	アムステルダム ～デルタ・プロジェクト	デルタ・プロジェクト施設見学 （アムステルダム泊）
10月18日	アムステルダム発　11:10 ロンドン　着　12:15	ロンドン市内施設見学 （ロンドン泊）
10月19日	ロンドン	英国科学博物館など視察 （ロンドン泊）
10月20日	ロンドン ～ユーロトンネル	Ａ班；ユーロトンネル視察 Ｂ班；大英博物館など見学 （ロンドン泊）
10月21日	ロンドン ～ユーロトンネル ロンドン　発　20:10 パリ　着　21:30	Ａ班；大英博物館など見学 Ｂ班；ユーロトンネル視察 （パリ泊）
10月22日	パリ ～ニース	Ａ班；マルパッセダム視察 Ｂ班；パリ市内施設見学　（パリ泊）
10月23日	パリ　発　14:35 フランクフルト着　15:55 フランクフルト発　17:00	（機内泊）
10月24日	成田　着　12:15	

2. ゴットランド島の地質と地下水

GOTLAND島はスカンジナビア半島の南東 100kmの、バルト海中央部に位置するスウェーデン最大の島（図２－１位置図参照）で、南北に 125km、東西に最大50Kmの幅を有し、その面積は約3000km²に及ぶ。調査団一行は、前日の小雪混じりの寒さがうそのように晴れた10月13日、この GOTLAND島の露頭調査を行った。

2.1 地形概要

GOTLAND島は概してほぼ平坦な低地～丘陵地で、最も高い所で標高83m、平均的な標高は約25mである。しかし詳細にその地形を見れば、北東－南西方向に延びた五つの区域に地形区分される。すなわち、 GOTLAND島の北部、中央部、南部には上記の方向でほぼ平行した、標高30m～80mのやや高い丘陵地がある。これの丘陵地に挟まれて、標高ら35m以下の低地が存在している。この様な地形区分は、基盤の構成地質を良く反映しており、三つの丘陵地には主に石灰岩が分布している。また２ヵ所の低地には、石灰岩よりやや軟質な泥質石灰岩(Marlstoneと呼ばれている)が主体に分布している。

（図２－２参照）

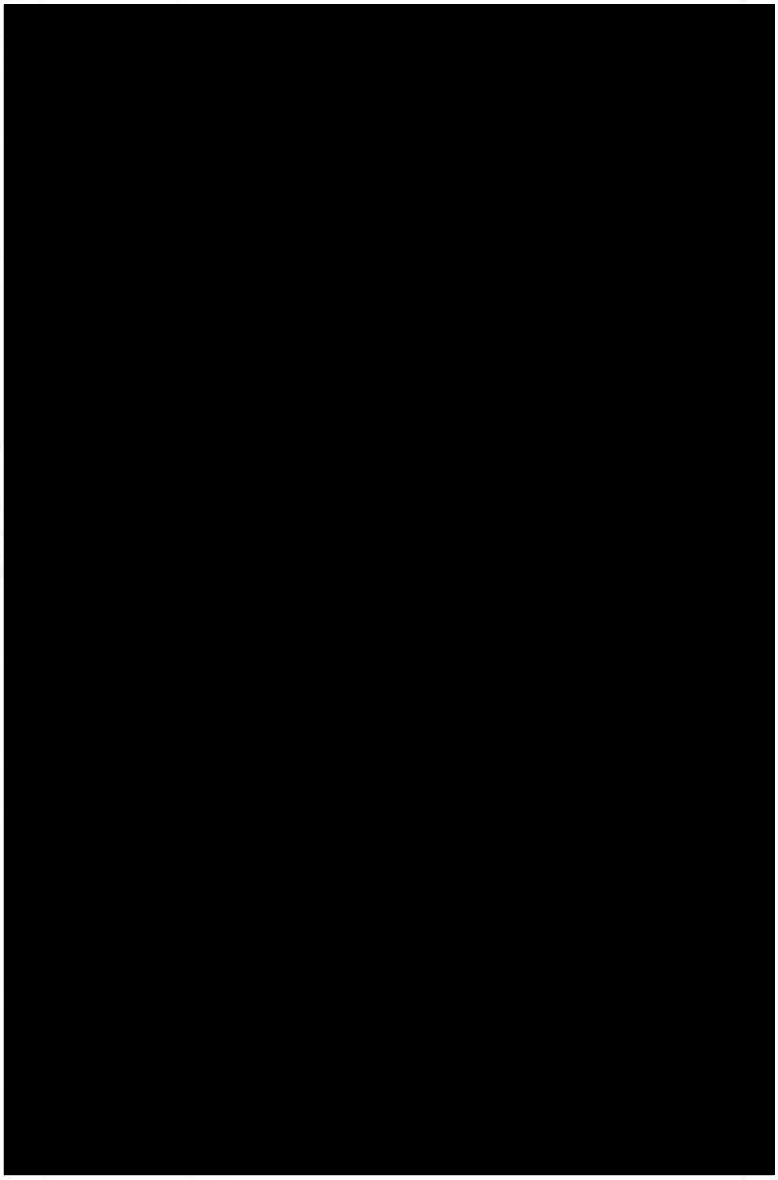

図２－２
ゴットランド島の地質および巡検地点

岩相区分境界（３区分）
地質層序区分境界（13区分）

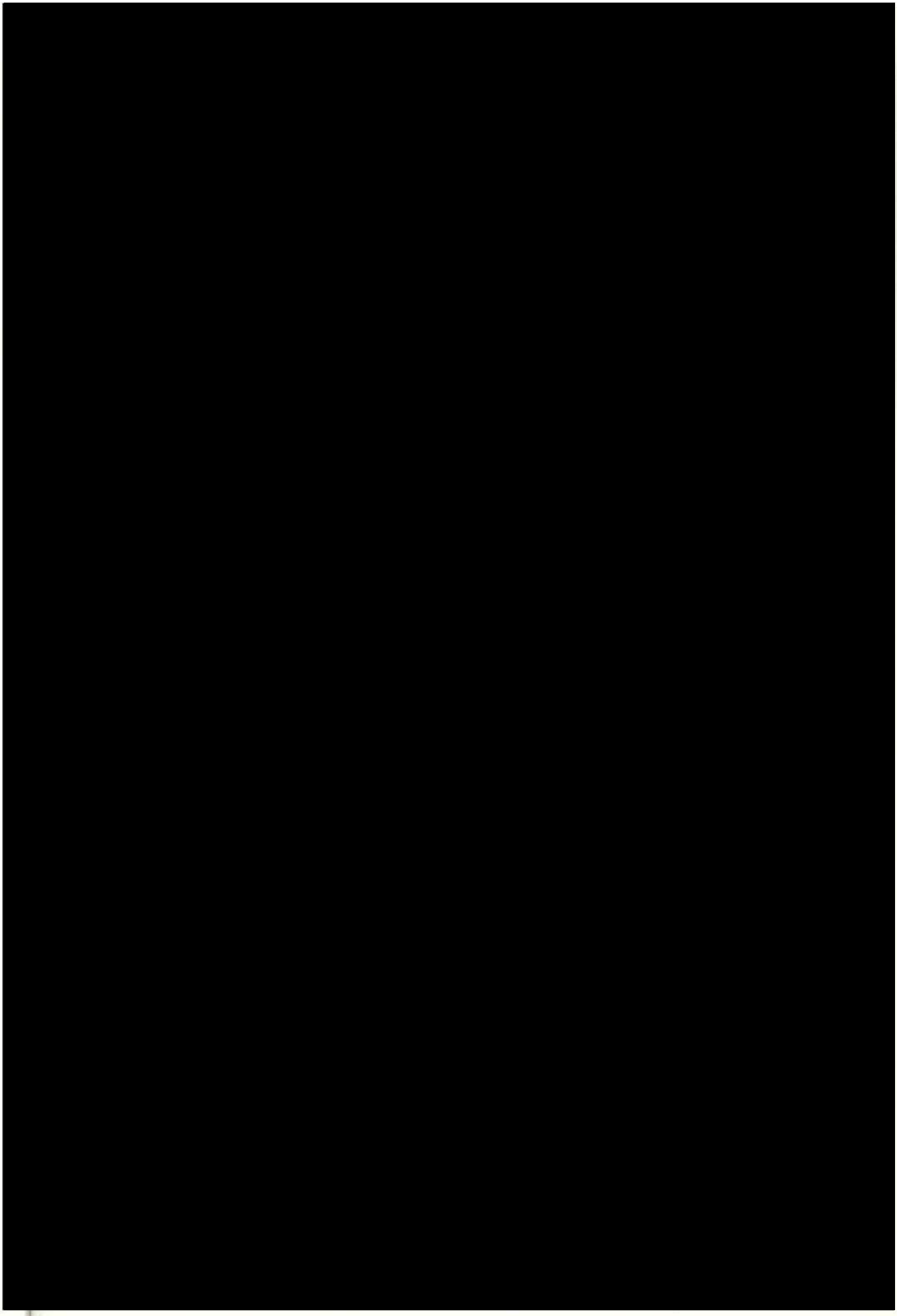

図２－１　スウェーデンにおける調査地

2.2　地質概要

GOTLAND島の基盤は、下部シルル系～上部シルル系（後期Llandoverian～後期Ludlowian)の層状石灰岩および泥質石灰岩を主体とし、砂岩・泥岩とこれらの漸移部によって構成されている。これらのシルル系は層厚が約500mあり、各岩相が北東－南西走向で帯状に配列し、緩く南東に傾斜（2°～3°）している。そのため最も古い地層が、北西の海岸沿いに絶壁となって露出している。

大規模な構造を画する断層は無く褶曲も認められていないため、地質構造は単純・明快である。（図２－３参照）

また石灰岩からは化石を多量に産出し（写真２－１および図２－４）、しかもほとんど変形を受けていないため、日本では現世の遺骸と見まちがう様な保存状態である。ヨーロッパで近代地質学の基礎（化石による地層同定の経験則）が発達したのは、この明快な地質構造と、豊富な化石によると改めて実感される。

GOTLAND島の岩相は次のように大きく３区分される。

① 石炭岩（Limestone）

GOTLAND島の全域にわたり広く分布する。明灰色～褐灰色、緻密な層状石灰岩～塊状石灰岩で、標高30m～80mの丘陵地を形成している。

② 泥質石灰岩（Marlstone）

上記の石灰岩に挟まれて、主に標高35m以下の低地に分布する。淡青灰色を呈する軟質な泥質岩で、浅海性の化石を多量に伴う。泥岩・頁岩様の岩相を呈すことがある。

③ 砂岩（Sandstone）

南部の泥質石灰岩分布域に挟まれて、局部的に分布する。

これらの GOTLAND島に分布する各岩相は、岩相と化石群集によって図２－３のように13の地層に区分されており、北西方向から供給された浅海性の堆積物であるとされている。

図２－３　ゴットランド島の地質

[redacted]

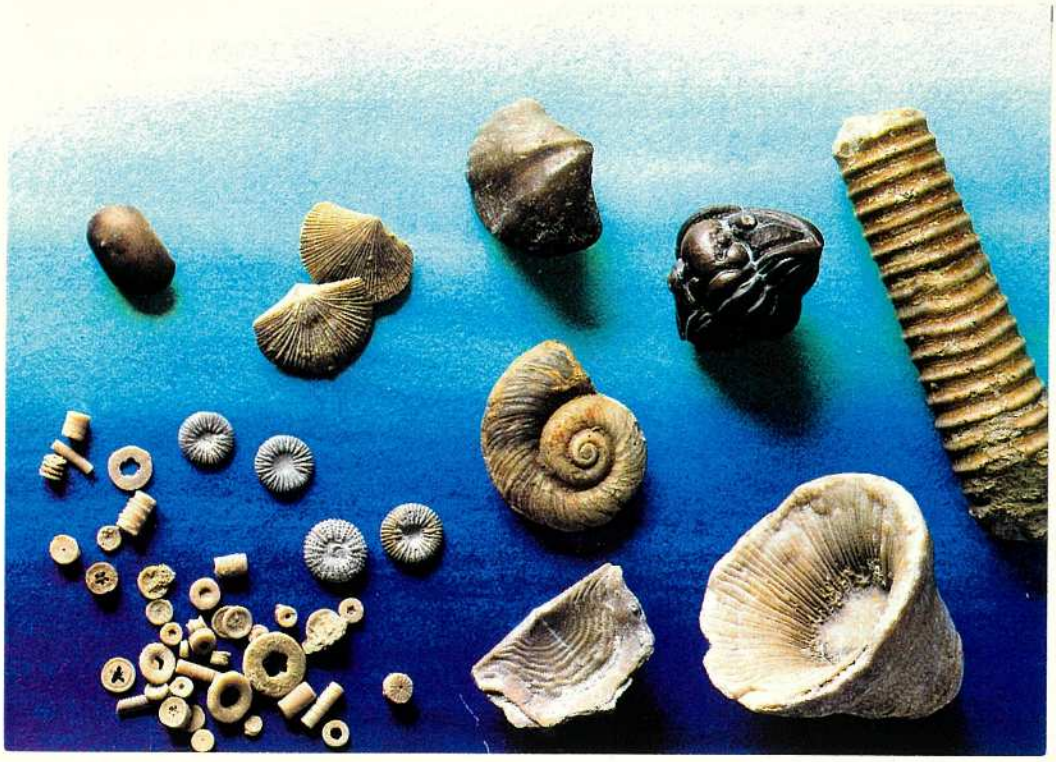

写真２－１　ゴットランド島から産出されるシルル紀の代表的な化石類

（ゴットランド島科学博物館所蔵）

2.3　露頭調査

１）Loc11;TOFTA BEDS(Limestone)

明灰色～明褐灰色を呈する岩片自体は緻密だが割れ目の多い層状石灰岩である。層状石灰岩には幅数ｃｍの泥質部を挾在し、地層はほとんど水平ないし傾斜10°前後の緩傾斜の地層で、サンゴなどの化石が認められる。

この露頭には、ゴットランド島内では希にしかみられないといわれている、高角度の小断層が確認された。

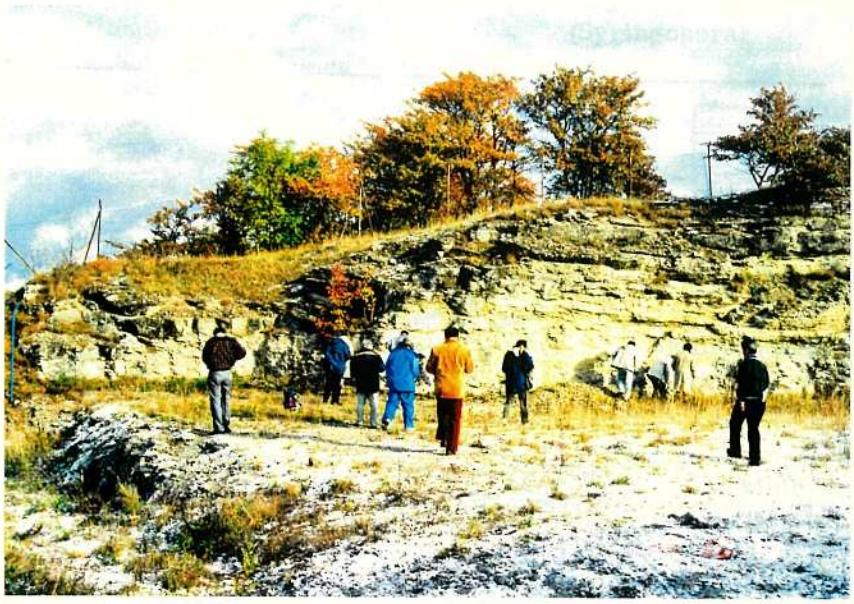

写真２－２　露頭調査風景（Loc. 11）

図２－４　ゴットランド島の主な化石

[redacted]

写真２－３　Loc.11の層状石灰岩と高角度の小断層

２）Loc.12;HöGKLINT LIMESTONE,UPPER VISBY MARL

バルト海に面した約50mの海食崖の下部にUPPER VISBY MARL、上部にHöGKLINTLIMESTONE が露出する。淡青灰色の泥質石灰岩と白色の石灰岩が、ほぼ水平な構造で累重し、真っ青な海と平坦な地形とが相まって見事な景観を作り出している。

石灰岩にはサンゴ・海ユリなどの化石が豊富で、採取しだすときりがなく予定された調査時間を超過してしまった。

写真２－４　Högklint岬からVisby方向を望む

写真２－５　石灰岩よりサンゴや海ユリの化石を採取

３）Loc.28;UPPER VISBY MARL

漁港建設時に浚渫した、堀削ズリである淡青灰色の泥質石灰岩が捨て土されている。泥質石灰岩は軟質で、日本の感覚では、シルル紀以来の続成作用を受けた岩石とは考えにくい。サンゴ・海ユリ・腕足類などの浅海性の化石が変形を受けていない生々しい状態で著しく多く産出し、しかも化石は基質の軟質な泥質部から分離して単体で産出しているので、現世のものと見まちがうほどである。

写真２－６　Gnisvärds漁港　写真右の部分を1930年に堀削し図３－９に捨て土した。

写真２－７　捨て土内の化石産出状況

４）Loc.44;HEMSE MARL

牧場内に堀削された水路の側壁に見られる小露頭であり、淡灰色の泥質石灰岩が見られる。この泥質石灰岩は、水平の層理がよく発達し、軟質である。泥質石灰岩を覆う堆積物は、表土と基岩の風化残留土を含めてせいぜい１～２ｍ程度の厚さである。

泥質石灰岩中には化石の破片が多く見られた。

写真２－８　牧場内の水路に見られる小露頭

2.4　ゴットランド島の地下水

この島は、標高40m程のほとんどテーブル状に平坦な地形であり、山もなければ侵食地形も見あたらない。年降水量は、図２－５に示したように 500mm程度で、７月から１月までの７カ月は50mm／月程、他の月は20～30mm／月程である。平坦な地形で、しかも降水量がこの程度では侵食を起こすような大きな流水の営力は生じないであろうし、そのため川らしい川も見あたらない。30年前の国際地質学会の巡検資料の記述とまったく変わらない小さな露頭が存在しているのには感心した。

ゴットランド島の地下水については、ＳＧＵ（Geological Survey of Sweden)によって詳細な水文地質図(Hydrological map ＝1/2.5 万）及び地下水面図が作成されている。南北約 100km、東西40kmの小さな島で、この様な調査図が完成していることには感心したが、降水量の少ない国で水源を求めるためにはこの様なきめ細かい調査はどうしても必要なことであったに違いない。

島のほとんどには、シ~~ルア~~ルリアンの石灰岩や泥灰岩（マールstone)からなる岩盤が分布する。このため、地下水の分布は大きく

1）　第四紀の漂礫土（Till）

2）　第四紀の砂礫層

3）　岩盤の亀裂・破砕帯

4）　石灰岩の空洞

などに分けて扱われている。

第四紀の地層は未固結層で、ほとんどが漂礫土(Till)として島全体に分布するが、部分的に波蝕などの営力による砂礫層が分布している。この第四紀の未固結層のあつさは、５～10m程度であるが、一部では20mあるいはそれ以上の所もある。

ビスビーから島の南端近くにあるBurgsvikまでは西海岸沿いの露頭を見学し、昼食後の帰りには、島の中央の道を走り続けたが、なんと手押しポンプが幾つも眼に入ったのには感動した。

ビスビーの町付近には、石灰岩からの多量の湧水が幾つも分布し、水源として利用されている。また島の北部には湖があり、取水プラントもつくられているようである。

水文地質図には、廃棄物の集積場 (Waste deposite area)が、ちゃんと明記してあるのには非常に参考になった。日本のように「よごれ」は、水に流すことができない国の生活の知恵であろう。

この後、スウェーデン本土にあるオスカーシャム原子力発電所の施設を見学できたが、ゴットランド島の地下水のあり方と基本的には同じようなものであると見ることができた。スウェーデンの地下水は、日本の地下水分布条件とは以下の点で大きな相違があるように思える。

1. 平坦な地形のため、地下深部における地下水の流動ポテンシャルは日本とくらべて著しく小さい。
2. 降水量は日本の１／４である。蒸発・蒸散を差し引くと、地下水への水の供給量は著しく小さい。
3. 岩盤は全体的に変動を受けていない為、日本の岩盤と比べて著しく亀裂や破砕帯が少なく、いわゆる地下水のBase Rock として分布する。

日本における地層処分の問題を考える上で、少なくとも上記の点に関して留意しなければならないであろう。

図２－５　ビスビー月平均気温と月降水量

図２－６　年降水量の比較

図２－７　ゴットランド島の水文地質断面図

2.5　ゴットランド島の印象

ゴットランド島の巡検は、天候に恵まれ、そして資料として持参された1960年の万国地質会議（ＩＧＣ）巡検で使われたガイドブックの丁寧な記載によって、硬い石炭岩から軟質なマールまで、それぞれ化石を多く含む各露頭で、貴重な体験をすることができた。これは、もちろんガイドブックによるところが大きいが、それと共にゴトランド島では、自然や建造物がＩＧＣ開催の頃と同様に残っていることによるおかげである。例えば、今回の露頭11の場所の記載は－Section just S of the windmill "Käringen" Visby －であり、この風車も露頭もそのままに残っているのある。（写真２－９）（写真２－10）

ゴットランド島に限らず、今回の旅行中に眼にした各国の風景からは、車窓から見られる法面には吹き付けやよう壁などを施工したものがほとんどなく、自然にあまり手を加えないか、ダムやトンネル等の構造物周辺においては、牧草地や植え込みによる緑化によって復旧を図っていて、極力景観を守っているという印象を受け、国内との差を感じた。この差は、地形や地質、気象あるいは地震の多少など、様々な条件によるものと思われるが、土木構造物の設計に対する姿勢の違い、あるいは求められる構造物の質の差も大きく関与しているのではないかと思われた。

ゴットランド島における砂や骨材の採取は、島が標高25m程度の平坦な地形を呈していることから、日本のように山の上部から切り下がるのではなく、２～３ｍの被りを除去して数m堀り下げて、その中に骨材プラントを平面的に設けて採取、破砕、選別している、ところ変われば方法も変わるものである。

我々の滞在したビスビーのホテルは、長さ約４kmに及ぶ城壁にめぐらされた旧市街にあり、12世紀から15世紀にかけて貿易港として繁栄した時代の事務所や倉庫、教会などに囲まれた中心街に位置していた。島全体で、５万人程度の人口であるが、ホテルから 200mのところには歴史博物館と自然博物館があり、５～６世紀のヴァイキングの遺品から４億年前の化石まで展示されている。（写真２－10）このような自然や環境を体験すると、気候の良い時期に再訪し、島内に 100近く残るゴシック調の教会など、歴史、文化遺産や化石採集などをして島巡りをしたくなる所である。

写真２－９　ゴットランド島に残る風車や教会

写真２－10　ビスビー，ストランド通りの歴史博物館

（写真手前）と自然博物館

3. スウェーデン・オスカーシャムの放射性廃棄物関連施設

3.1 まえがき

スウェーデンにおける原子力発電は1972年に開始され、2010年まで継続されることになっている。現在国内沿岸地域に4箇所、12基の発電所が稼働して最大出力は計1037万kwといわれており、国内電力需要の過半を賄っている。発生する各種の放射性廃棄物処分については同国内法が示す発生者負担の原則に基づき、原子力発電4社の共同出資による核燃料廃棄物管理会社（Swedish Nuclear Fuel and Management Company：ＳＫＢ）が担当している。ＳＫＢは民間会社であるが、政府の協力な支援・監督体制のもとに活動しており、同社の事業はスウェーデンの国家的プロジェクトともいえるものである。また、日本を含む6カ国との協力体制もとられており、同社の研究開発プロジェクトは国際的にも大きな注目をあびている。

首都ストックホルムの南南西約 300kmにあるオスカーシャム原子力発電所（3基）の構内および近傍には、ＳＫＢの主要な事業として、使用済燃料中間貯蔵施設として1985年以来、活動しているＣＬＡＢ（Central interim storage for spent nuclear fuel）および岩盤内最終処理施設建設技術の実証研究サイト（建設サイトでない）として調査研究実施中のＨＲＬ(Hard Rock Laboratory)が設置されており、今回調査団の見学を計画した。

たまたま時を同じくしてストックホルム市で同じくＳＫＢのストリパ・プロジェクト[注]に関するシンポジウムが開催され、日本からも東京大学小島教授はじめ10余名が参加された。オスカーシャムのＳＫＢ技術者（日本人2名を含む）もほとんどこのシンポジウムに出席したため、今回現地で全施設を見ることはできなかったが、同社の御好意によりＣＬＡＢを主としたオスカーシャム地点の見学により有益な知見をえることができた。

注：ストリパ・プロジェクト：ストリパ鉱山（現在廃坑）を利用して高いレベル放射性廃棄物の地層処分について研究する計画。ＯＥＣＤ／ＮＥＡの枠組みの中で進行中であり日本からは動力炉核燃料事業団が参加している。
（詳細は表3.2および図3.4に示した）

3.2　ＣＬＡＢの概要と視察見学

1）　ＣＬＡＢの概要

ＣＬＡＢは放射性廃棄物最終処理敷設でなく、図－3.1に示されるように原子炉から発生する使用済核燃料を集中かつ暫定的に貯蔵する施設である。

[redacted]

図－3.1　スウェーデンの放射性廃棄物処理システム

ＣＬＡＢ設置理由は次の２点である。

①　スウェーデンの各原子力発電所が持つ燃料プールが1985年頃より満杯状態になり、プールを増設するよりも使用済核燃料を１箇所に集中・管理し、貯蔵する方が有利であると判断された。

②　最終処分の前に長い期間貯蔵しておけば、放射能による発熱・強度が減衰し、処分の際有利となる。

2）　視察見学

ＣＬＡＢはストックホルム市内から高速バスで約４時間のオスカーシャム原子力発電所敷地ないに立地する。途中の車窓からの眺めは、草原と紅葉した樹林の中に湖が点々とし、北海道をスケールアップした風景を思わせる。13時、予定どおり到着。ナギラ女史に迎えられる。

サイト入口でパスポートをあずけ、ゲート入出キーと被爆線量計を胸にしたのち管理棟会議室へ向かう。建物の中は大学の研究室といった雰囲気で執務室は２～３人の小部屋にわかれており、データの山の中でパソコンに向かっている職員の方が多かった。

ＣＬＡＢのＰＲ映画を見てひととおりの概要説明をうけたあと、２班に分かれ

燃料受入れ施設と貯蔵プールを見学した。施設の概念図を図－3.2に示す。

図－3.2　施設の概念図

燃料受入れ施設では、搬入された燃料キャスクが水中でコバルト色に輝きながら冷却されていた。ここから燃料棒の詰まったキャニスタが取り出され、貯蔵プールへと運ばれる。

貯蔵プールは、地下25～30mの硬岩中に掘削された空洞（幅21m×高さ27m×長さ 120m）内に設けられている。 3,000㎥の貯槽4連からなり、 3,000ｔ－Ｕの貯蔵容量がある。プールの水は熱交換器を通し海水で冷却されている。キャニスタは30～40年間ここで貯蔵される。

サイト内は一切撮影禁止で、さらに各施設の扉は電子ロックで旋錠されていて、当初は放射性廃棄物管理の厳しさを感じたが、案内者の丁寧な説明かつ非常に親切な対応で、重々しい緊張感はなかった。

ガイドしてくださったナギラさんはいかにも育ちの良さそうな日本の叔母様といった感じの方だが日系人ではないらしい。説明は全て英語であったが、語学力のない筆者でも理解し易い説明であった。貯蔵施設の見学をおえ、会議室に戻るとナギラさんは、にこやかに笑いながら「Cofee beeak. Do you have any question? 」いわれ、質疑応答に入った。

ＨＲＬに所属するナギラさんは、最後に貯蔵敷設周辺の岩盤状況についての質問に対し、「The stable is aur lucky.」と答えられたのが印象的に残っている。

15時30分見学を終え、ゲート出口でそれまで終始付き添ってくれたナギラ女史と別れの挨拶を交わした。彼女は地球の反対側からきた同業の我々の乗ったバスが見えなくなるまで、手を振って見送って下さった。

写真３－１　ＣＬＡＢ施設（手前）とオスカーシャム原子力発電所

3.3　放射性廃棄物処理・貯蔵の現状と将来計画

1)　スウェーデンの放射性廃棄物処理・貯蔵施設

スウェーデンの放射性廃棄物処理・貯蔵施設の概要を表－3.1～表－3.2および図－3.3～図－3.5に示した。

原子力発電所の使用済燃料廃棄物を主とする高レベル廃棄物は、中間貯蔵施設のＣＬＡＢに一時貯蔵を行い、40年間で放射能濃度を10％まで減衰させ、最終貯蔵施設（ＳＦＬ）において自然放射能と同レベルになるまで永久貯蔵を行う計画になっている。

原子力発電所及びその他の放射性物質取扱い施設から出てくる低中レベル廃棄物は固体にしてフォースマルク原子力発電所近くのＳＦＲ（Final repoitory for radioactive operational waste)において貯蔵処分されている。本施設は1988年より稼働している。

最終貯蔵施設については計画段階であり、現在、地下 400～500 mの研究施設のＨＲＬにおいて詳細研究が行われている。2010～2020年で建設開始、2020～2030年で操業、2055年に貯蔵施設の最終的な埋設が行われる計画である。

表－3.1　スウェーデンの放射性廃棄物処理施設

名　　称	場　　所	地　質	概　　要
ＣＬＡＢ （使用済燃料中間貯蔵施設） ＊今回見学施設	ｵｽｶｰｼｬﾑ 発電所に隣接	花崗岩	1985年より操業開始 地下貯蔵プール方式　3000t （将来は9000ｔとなる予定） 貯蔵期間は30～40年
ＳＦＲ （低中レベル廃棄物処分場） ＊医療用・研究用産業利用の廃棄物を含む	ﾌｫﾙｽﾏﾙｸ 発電所 沖合1km 海底下 50m		1983年建設開始 1988年４月操業開始 ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ　長さ 160m　４本 ｻｲﾛ　１本　長径　26m　１本 高さ　50m ｱｸｾｽﾄﾝﾈﾙ　２本 ｻｲﾛの周辺の岩盤との間はﾍﾞﾝﾄﾅｲﾄを注入 第２期として1990年代広範にﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ１～２本、ｻｲﾛ1本が計画されている。
ＳＦＬ （高レベル放射性廃棄物処分施設）	未定	——	2000年までにサイト地選定。 2010年頃　着工開始 2020年頃　操業開始 （CLUBから使用済燃料を受入れ）

表－3.2　スウェーデンの放射能廃棄物処理研究サイト

名　　称	場　所	地　質	概　　要
Stripa Project	Stora(Stokhorm 西方 250 km) Stripa 鉱山 地下350m	花崗岩	1977～1980年　ｱﾒﾘｶ･ｽｳｪｰﾃﾞﾝ の 2 か国で共同研究 1980～1986年　OECD-NEAの組織する 8 か国が参加。（ｱﾒﾘｶ･ｽｳｪｰﾃﾞﾝ･ｶﾅﾀﾞ･ﾌｨﾝﾗﾝﾄﾞ･ｽｲｽ･ 日本・ｲｷﾞﾘｽ） 1986～1991年　ｱﾒﾘｶ･ｽｳｪｰﾃﾞﾝ･ｶﾅﾀﾞ･ﾌｨﾝﾗﾝﾄﾞ･ｽｲｽ･ 日本・ｲｷﾞﾘｽが参加。 試験項目は、深部のボーリング調査・水理調査・亀裂内透水試験・核種移行試験・緩衝材性能試験など。
ＨＲＬ	ｵｽｶｰｼｬﾑ発電所近く 地下500m	花崗岩	1990年　建設開始 1994年　完成予定（ﾌｨﾝﾗﾝﾄﾞ･ｶﾅﾀﾞ･ 日本・ﾌﾗﾝｽが参加） 1991年末までに1103mのトンネルを掘削。各種試験を実施

[redacted]

図－3.3　ＳＦＲ　施設の概要

[redacted]

図－3.4　Stripa Project施設の概要

[redacted]

図－3.5　ＨＲＬ　施設の概要

2) スウェーデンの放射性廃棄物処理・貯蔵施設周辺の地質

放射性廃棄物処理・貯蔵施設周囲の地質については詳細資料がなく、明らかではないが、いずれもバルトシールドの先カンブリア紀の極めて安定した岩盤内の地下深所に設置されている。バルトシールドは図－3.6（次頁）に示すとおり地帯区分がされている。ＳＦＲがSvecofennides 帯（Sv）、ＣＬＡＢが'Gothides'帯（G）に属する。

施設周辺の構成岩種は主に花崗岩及び片麻岩と思われる。ＳＦＲが水深10mの海底下50m、ＣＬＡＢが地下30mに設置され、核燃料最終貯蔵施設が地下 500mに計画されている。

スカンジナビア地方は最終氷期に氷河の重さで沈降していた陸地が現在年間数mmのオーダで隆起している。今後 500年～1000年以上にわたる廃棄物の有害期間の間、廃棄物が地下水位の勾配に緩い海底にあるように、また飲料用の井戸を将来とも人間が掘る恐れのない箇所に選定されたといわれている。

なお図－3.7にはスウェーデンの地質図を参考までに示した。

[redacted]

図－3.6　バルトシールドの地質図

[redacted]

バルトシールドは、スウェーデン、フィンランド、ロシア北西端そいてノルウェー、デンマークの一部を含む。今世紀始め以来、Sederhoim の花崗岩・ミグマタイトの研究、Escolaによる広域変成帯の京急、花崗岩の構造環境に着目した分類Kouvo, Polkanov-Gerlingらによる同位体年代学研究になど1960年頃までに先鞭的研究がバルトシールドでなされた。次のような地帯が識別されている。

（A）古期：Archean 区……バルトシールドの北東部に分布
Kt　Katarchan 残存片　3500～3000Ma
Sa　Saamides　2900～2150Ma
Be　Belomoeides　2100～1950Ma
（B）中期：Svecofennides 区……バルトシールドの南西部に広く分布
Kr　Karelides
Sv　Svecofennides　2000～1760Ma
G　'Gothides'　1700～1400Ma
（C）新期：Riphean 区……スカンジナビア半島の南部と北縁部に分布
D　Riphean　1100～ 900Ma
＋　Rapakivi型花崗岩
pG　先Gothian 岩石

図－３．７　スウエーデンの地質図

我々はＣＬＡＢ見学途中のストックホルム～オスカーシャム間はＥ４およびＥ22道路（ヨーロッパ４号線および22号線）を走行した。

氷床が後退したバルトシールドの丘陵地帯であり、Svecofennides および'Gothides'の花崗岩が広く分布している。

道路は丘陵部において岩盤部を浅く切り通し、谷部を掘削岩塊で埋めて建設されており切り通し法面は両側とも堅硬岩盤の切り放し状態になっているものがほとんどで、堅硬な花崗岩質岩盤が露出している。まれに、モレーン部で掘削岩塊で押さえた状態になっているものが認められたがコンクリート吹付け箇所は見られない。

途中でバスをおりて、露岩部で岩盤状況を観察したが花崗岩質の片麻岩であり、10～20m程は節理一つない一枚岩であり、金属音をたててハンマーを跳ね返し、サンプリンなど不可能な岩盤状況であった。岩盤の表面には氷河によってつけられた擦り傷がきざまれているが日本では地表では余りみられないＡ～Ｂ級の岩盤状況である。

また、ストックホルムもSvecofennides に属し、至る所にバルトシールドの堅硬岩盤が露出し、岩盤の上に町造りを行った感がある。トンネルバーナと呼ばれる地下鉄も主要３系統が中央駅（Ｔ－セントラーレン）に集まっているが、岩盤を眼鏡型に掘削したトンネルで駅部で繋ぎの道路を入れ、プラットホームを造っている。駅部においてもコンクリート吹き付けのみで巻立てが行われていない箇所が多く、新設線の深い箇所では岩盤を露出させそのまま残している所も多い。

写真３－２　オスカーシャム近くの花崗岩質片麻岩の露頭

写真３－３　ＣＬＡＢゲート付近　内部は撮影禁止

写真３－４　ストックホルム市内の岩盤の露出

3） 各国の放射性廃棄物処理・貯蔵の考え方と地質

地球惑星規模で環境問題の論ぜられている今日では、放射性廃棄物は、低レベルのものであっても海洋投棄は各国とも中止の方向であり、1980年代の後半には陸上部の「地層処分」という考え方に移行している。したがって放射性廃棄物から漏れる放射能や熱に対する天然バリヤーとしての地質（岩盤）について研究が進められている。

表－3.3～表－3.4に各国の放射性廃棄物処理・貯蔵の考え方についてまとめた。

表－3.3　各国の放射性廃棄物処理・貯蔵の考え方（低レベル放射能廃棄物）

[redacted]

平成元年度原子力白書より

表－3.4　各国の放射性廃棄物処理・貯蔵の考え方（高レベル放射能廃棄物）

国　名	高レベル放射性廃棄物の形態	処　分　方　法	候補地の地質	スケジュール
アメリカ	民生　使用済燃料 軍事　ガラス固化体	地下300mの岩盤中に地層処分 軍用は地下660mに処分	凝灰岩	～1984　地層調査 1995　ｻｲﾄ 地決定 2003　処分場運開
カナダ	直接処分か ガラス固化体か 未定	地下500m～1000mの岩盤中に地層処分	花崗岩	～1993　処分概念評価書の政府承認
フランス	ガラス固化体	地下300m～1000mの岩盤中に地層処分	粘土層 花崗岩 片岩 岩塩層	～1987　候補地決定 2000～2010　処分場運開
ベルギー	直接処分か ガラス固化体 未定	地層処分 （基本的には3水が存在しない地層）	岩塩層	1997　ｻｲﾄ 地選定 1990年代末　処分場運開
ｽｳｪｰﾃﾞﾝ	使用海燃料 ガラス固化体	使用済燃料は中間貯蔵所で集中貯蔵 地下500mの地層処分	花崗岩	～1990　ｻｲﾄ 地選定 2020　処分場運開 2050　処分場閉鎖
	溶液 ガラス固化体	東海処理工場内のタンクで保存 30～50年の保存のあと数百mの地下に地層処分	——	1993～　再処理されたものは青森県六ケ所村に貯蔵

4) 日本の放射性廃棄物貯蔵の現状と地層処分

① 低レベル放射性廃棄物

放射能を浴びた気体を濾過したフィルター、掃除用の紙屑、作業着、洗浄水等の低レベルの廃棄物である。現在、焼却して量を減少させ、ドラム缶につめ、コンクリートやアスファルトで固め、原子力発電所の敷地内に貯蔵している。

原子力安全委員会放射性廃棄物安全規制専門部会は1985年に「低レベル放射性廃棄物安全研究年次計画」をまとめ陸地の浅い所に埋める地層処分と海洋処分などを検討した。

その第一弾として1992年11月30日に青森県上北郡六ケ所村の低レベル放射性廃棄物貯蔵センター（日本原燃産業㈱が事業主）が完成した。

当初はドラム缶20万本、最終的には 300万本を約 300年間貯蔵する施設である。

図－3.8　低レベル放射性廃棄物の埋設

② 高レベル放射性廃棄物

主として使用済核燃料の再処理工場からでる放射能の非常に強い廃棄物で1991年3月までの累積は 365㎥。（高レベル放射性廃棄物は 100万kw級の発電所で年間25本のキャニスター(100ℓ／1本）となる。

安定な形に固化し、熱がおさまるまでキャニスターと呼ばれるステンレス製の容器にいれて長期間（30～50年）貯蔵し、地下数百mより深いところに埋める計画である。

③ 放射性廃棄物処理処分の研究・開発

日本の放射性廃棄物処理処分の研究・開発について下表にまとめた。

表－3.5　日本の放射性廃棄物処理処分の研究・開発

種　　別	事　業　者	内　　容
低レベル放射性廃棄物	日本原子力研究所 （財）原子力環境整備センター	（陸地処分） ・放射性核種の地中挙動に関する試験 ・放射性廃棄物再利用に関する技術開発 ・処分技術の開発 ・モニタリング手法開発のための調査研究
	関係官庁 （財）原子力環境整備センター	（海洋処分） ・試験的海洋処分の実施の研究
高レベル放射性廃棄物	動力炉・核燃料開発事業団	（固化処理技術開発） ・1978～模擬廃液をもちいた実規模でのガラス固化処理の試験 ・1982～実廃液を用いた実験質規模でのガラス固化処理の試験 ・1991年にガラス固化プラントが完成
	動力炉・核燃料開発事業団が主体 日本原子力研究所 地質調査所など	（地層処分研究開発） ・天然バリアに関する研究と地球環境特性の調査技術開発 －特に地震動・断層運動・深部岩盤の水理特性について ・人口バリアに関する研究 －人口バリアを構成するオーバーパック、緩衝材について地下水との相互作用・腐食・ガラスおよび放射性核種の溶解について ・地層処分システムに関する研究 －多重バリアシステムの長期的変化と放射性核種の挙動を明らかにする －処分場のレイアウトの設計・設計プログラムなどの開発

3.4　あとがき

ＣＬＡＢに於ける質疑応答のまえに福竹団長が「我々の多くは日本の建設コンサルタント会社に努める地質技術者である。」と自己紹介をされていた。考えてみると我々が行う地質調査の対象となる土木構造物であるダムやトンネルの寿命はせいぜい 100年以内であり、地質学の時計からすれば一瞬であるといえよう。長期の地質現象に関わるものとしては、第四断層に近接する構造物について配慮をする程度である。

紀

一方、放射性廃棄物の地層処分については数万年～数十万年の長期間にわたり、安全の確保を要求される。

地層処分箇所の周囲の天然バリアとなる地質状況は、日本の場合はきわめて不利といえる。大陸楯状地である各国の先カンブリア紀花崗岩に比較すればプレートの収斂箇所である日本列島の地質はご存じのとおり、良好とは言いがたい。付加帯特有のメランジュ、火山活動と温泉、現在も続いている造山運動、地震、それに伴う第四紀断層など問題点が多い。

しかし、海洋処分・地上の施設での保管に比べると地下数百ｍの地層処分の方が安全であり、自分のゴミは自分で処分するのが国際社会のルールである以上、今後は国のプロジェクトとして「地層処分」を考えざるを得ないと思われる。

現在のところ、「地層処分」については国の機関が研究開発を行っており、処分の候補地は白紙の状態である。しかし、近い将来、地層処分に関連する地質調査が民間コンサルタントに委託される可能性もある。

ダムの地質調査で地下数十ｍの範囲で、２ルジオン以下の岩盤を求めて調査してきた我々にとっては放射性廃棄物の地層処分については思考の変換が必要であると考える次第である。

最後に貴重な見学をさせて頂いたことに関して、ＳＫＢおよび日本応用地質学会の関係各位に御礼申しあげる。

参考文献　一覧表

放射性廃棄物処理の科学と技術　第３集 「スウェーデンの放射性廃棄物処理施設」	(1983)	日本原子力情報センター 石原建彦
世界の放射性廃棄物管理の現状	(1983)	放射性廃棄物管理調査団報告書 日本原子力産業会議
放射性廃棄物処理処分に関する研究開発 「Ⅲ・地層処分と日本の地層」	(1983)	産業技術出版　ﾃｸﾉﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ 木村俊雄
平成元年度原子力白書	(1989)	原子力委員会
平成４年度原子力白書	(1992)	原子力委員会
Geological Map, Northhern Fennoscandia	(1987)	Nordkalott Project, Bengt Loberg　C
世界の地質		岩波書店
スウェーデンのエネルギー事情の調査	(1990)	久留米工業高等専門学校紀要 VOL 5 №2 81-87 長谷川修
Activitys 1991	(1991)	Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company
CLAB(Central interim storage Facility for spent nuclear fuel)	(1991)	Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company
原子力年鑑 '92	(1992)	日本原子力会議
放射性廃棄物地層処分と地質長期未来予測	(1992)	地質ニュース 449 51-54 小出　仁
地中の虹	(1993)	近未来社 渡辺邦夫

4. オランダ・デルタプロジェクト

4.1 デルタプロジェクトの概要

4.1.1. 概要

1953年にオランダに発生した大洪水は、死者1835名に及ぶ大きな被害をもたらし、長年水と闘ってきたオランダ国会は、1958年デルタ法を可決し、このデルタプロジェクトは着手された。

このデルタプロジェクトは、ロッテルダムの東南部に拡がるデルタ地帯（図４－１参照）に10箇所に及ぶダムを建設して、北海からの偏西風による波浪を防ぐための防波堤を建設して、海岸線を一挙に数百Km短縮し、河川の流水の管理を容易とし、合わせて、ダム湖による淡水化を促進した。その概要は、図４－２および４－３に示すとおりである。また、その各施設の完成経緯をつぎに示す。

［ 各施設の完成経緯 ］　（図４－３参照）

1958年	Hillandse IJssel 偏西風防波堤	(図中 D)
1960年	Zandkreek Dam	(図中 E)
1961年	Veerse Gat Dam	(図中 F)
1965年	Grevelingen Dam	(図中 G)
1970年	Volkerak Dam	(図中 C)
1971年	Haringvliet Dam	(図中 B)
1971年	Brouwers Dam	(図中 A)
1971年	Eastern Scheldt Dam	(図中 H)
	Philps Dam	(図中 I)
	Oester Dam	(図中 J)

また、自然や環境への影響についても配慮されており、感潮区域はムール貝漁場として、淡水区域は農業地域として、さらに不感潮区域や遊水池が配置されている。

図４－１　デルタの変遷

写真４－１　偏西風と波浪を受けるダム

写真４－２　デルタプロジェクト模型（Delta Expoにて）
洪水、嵐、偏西風による波浪などをシュミレートして、ゲートが複雑に操作される

[redacted]

図４－２　位置図

[redacted]

図４－３　デルタプロジェクトの概要

4.1.2 Brouwers Damの建設

10 箇所に及ぶダム建設の中で、メーンイベントとも言うべきBrouwers Damの建設について、以下詳細に見てみることとする。

Brouwers Damの建設は、つぎの２つの特徴的過程を指摘することができる。これら過程について、得られた資料をもとに、より詳細に述べてみることとする。

(1)ピア基礎の建設

(2)ピアの製造、運搬と固定

1)ピア基礎の建設

Brouwers Damは、３つのChannel に建設された３つのダムから構成されており、それぞれ海底地形、水深、ピアの設置台数などを異にしている。（図４－４参照）

Schaar Van Roggenplaat Channel Damは、堤頂長1195m、水深28m程度、ピア17基、ピア設置距離 720mである。

Hammen Channel Damは、堤頂長1265m、水深30m程度、ピア16基、ピア設置距離 675mである。

Roompot Channel Damは、堤頂長1965m、水深36m程度、ピア33基、ピア設置距離1440mである。

これらのダムの基礎は次のような手順で施工が行われている。（図４－５参照）

①海底堆積物の圧密(Compaction)

②Bottom Mattress の敷設

③Upper Mattress の敷設

④Blook Mattress の敷設

⑤ピアの設置

①海底堆積物の圧密(Compaction)は、上下流80m、約15mの圧密部を造るように施工されている。

②Bottom Mattress は、①部を包む形で上下流 200mの長さで敷設される。

③Upper Mattress は、ピア基礎部となるもので、上下流60mで敷設される。

④Blook Mattress は、ピア基礎部の大きさの上下流48mで敷設される。

また、これらの各種マットは、陸上で蛇籠状に製作され、大きなドラムに巻かれて、ピア設置箇所に運ばれ、ドラムを解きながら海底に敷設される。（図４－６～４－８参照）

外海側の斜面は、アスファルトやコンクリートマットで更に浸食防止工が施されて、補強されている。（図４－９参照）

図４－４　チャンネル断面図

[redacted]

図４－５　ピア基礎の建設

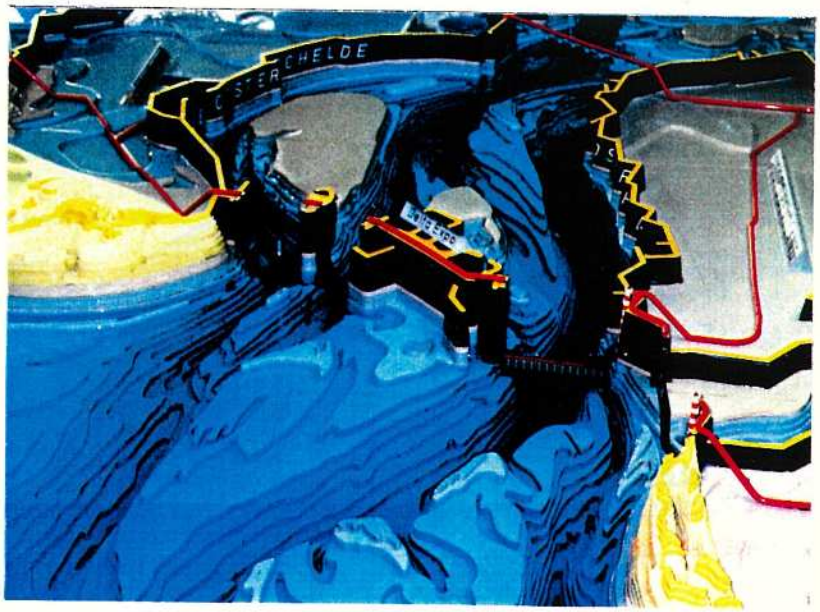

写真４－３　模型による海底地形

図４－６　マットレスの製作

①ドラム
②ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ
③ﾛｰﾘﾝｸﾞﾄﾗｯｸ

図４－７　マットレスの敷設

図４－８　マットレスの構造と敷設位置

[redacted]

図４－９　外海側の保護工

写真４－４　マットレスの構造

2)ピアの製造、運搬と固定

ピアの製造は7つの部分に分けられて、陸上の3つの建設ドックで製造される。その製造は、1979年から1983年初頭まで、3年半で66基が製造されている。（図4－10、図4－11参照）

ピアは、巨大なコンクリート構造物であり、連結ビームやゲートのためのジョイントを有している。また、基礎ブロックは中空式で空洞となっている。その建設現場は、堀込み式で、所定ブロック製作後に、海水によりピア頂部を残して水没するように設計されている。

製作されたピアは、船で敷設場所に運搬され、ロックマットレスの上に下ろされ、基礎部にグラウウチングが施工された後、中空式であった内部にバラスが詰め込まれて、海底に固定される。（図4－12および図4－13参照）

ピアの海底固定が終了すると、ピアはビームで連結され、コアと表層のSill を海上より投入して、ピア部のまわりは固定される。

これらピア部の全体の構造を図4－14に示す。

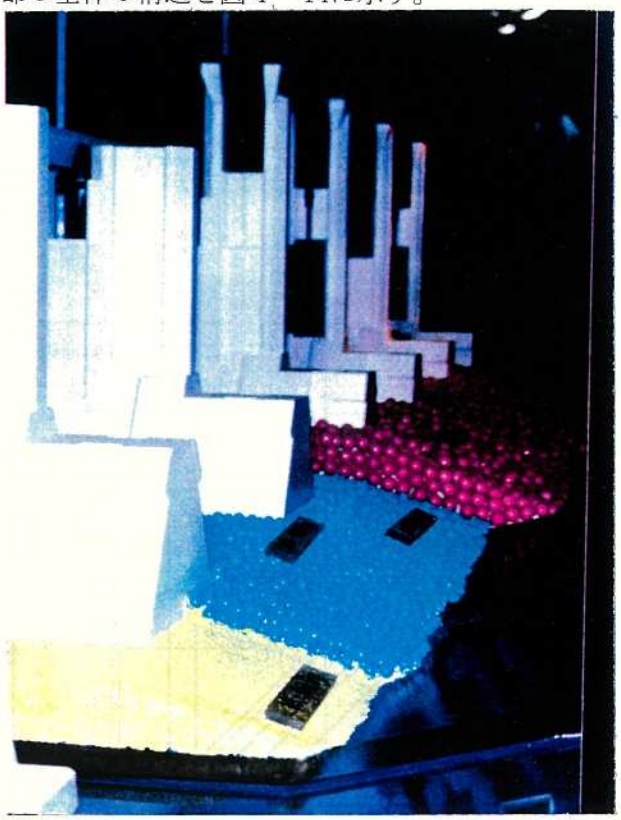

写真4－5　ピアの固定（模型）

[redacted]

図4－10　ピア製造プラント

[redacted]

図4－11　ピアの構造と製造

図４－12　ピアの運搬　　図４－13　ピアの固定

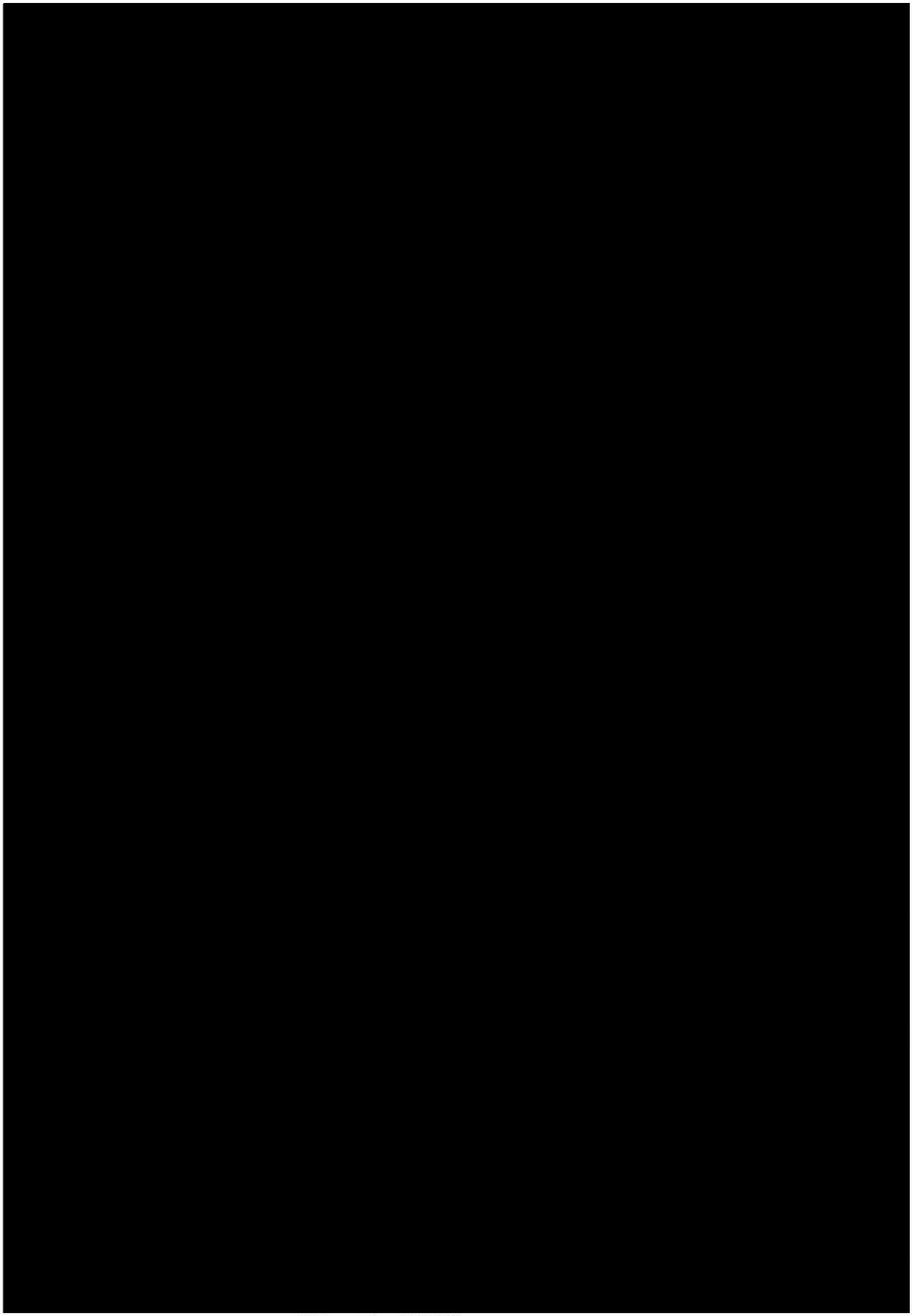

図４－14　完成図

4.2　オランダの地形・地質概要

入手できた資料によりオランダの地形・地質、特に「デルタプロジェクト」に関わる部分の地形・地質について述べると、次のとおりである。

オランダはライン川の河口に位置し、国土のほとんどがライン川の扇状地や海浜堆積物などの第四紀の堆積物から構成され、基盤岩を構成している石炭紀～白亜紀の地層はわずかに南部に分布しているにすぎない。このため、国土は全般的にほぼ平坦な地形を形成している。

文献によれば、古生代～中生代にかけてのオランダ地域は、北西ヨーロッパ堆積盆の一部に相当し、その堆積盆はＳＳＷ～ＮＮＥの方向性を有していた。三畳紀末のＥＳＥ～WNWの断裂構造が発達して、現在のオランダの主要構造である中央地溝を形成した。

その後、白亜紀後期には、この堆積盆は上昇に転じて陸化し、第三紀～第四紀にかけて浸食されて平坦化し、厚い第四紀層を堆積していったとされている。

また、この間新第三紀の地殻変動としてＳＥ～NW方向の断層系の発達がある。

古生層として石炭紀の砂岩が、中生層として白亜紀の砂岩・石灰岩が、第三紀層として海成砂岩が報告されている。また、第四紀層として、河川堆積物、氷河堆積物、および海浜堆積物が南東から北西に向かって幾重にも堆積している。

「デルタプロジェクト」は、現在の海岸線、主として新規海浜堆積物の分布地域に位置しており、この付近では、第四紀堆積物の厚さは、400～500 mとなっている。

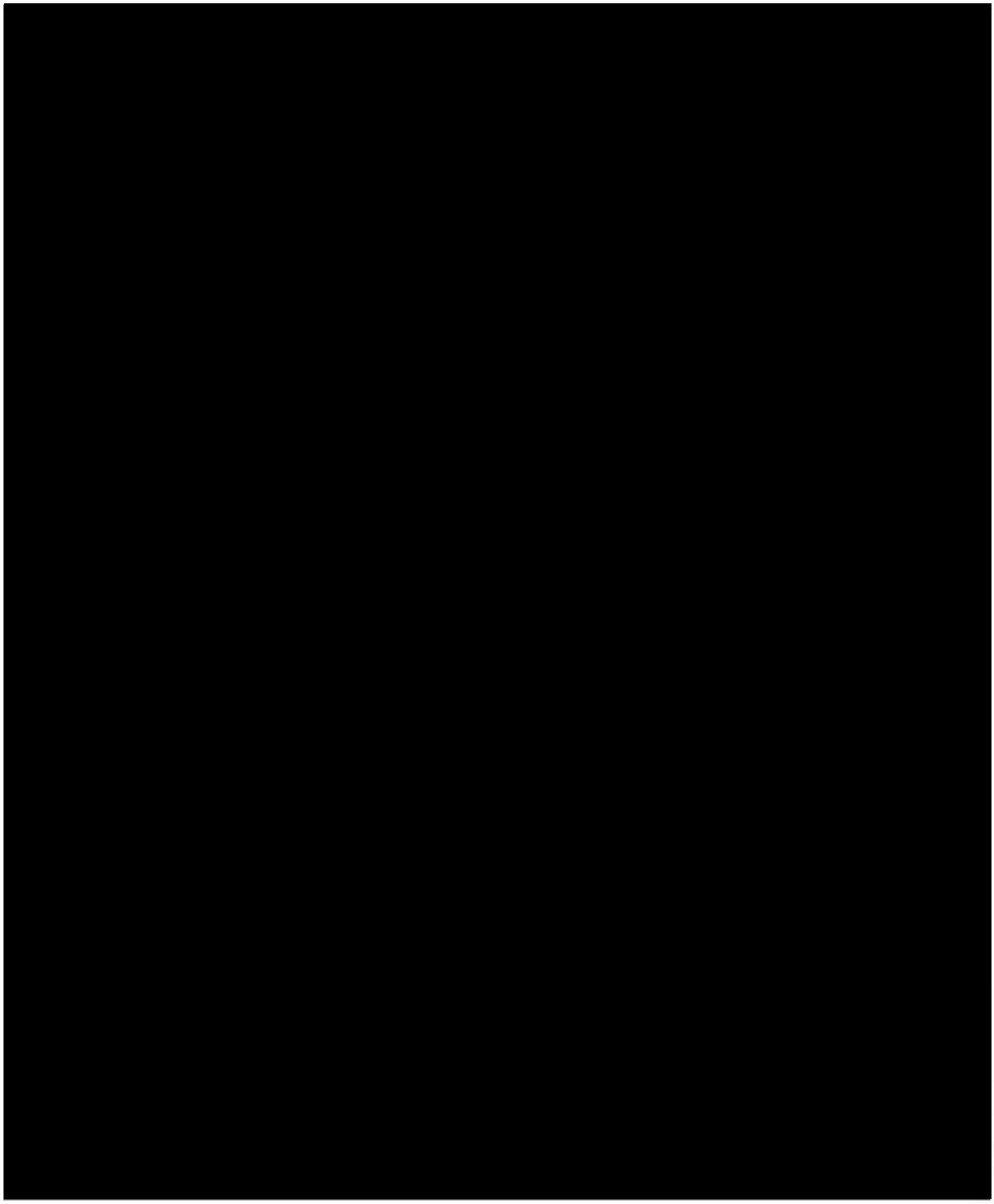

図４－16　オランダの地質略図

（ダム技術　No.52（1991）より抜粋引用）

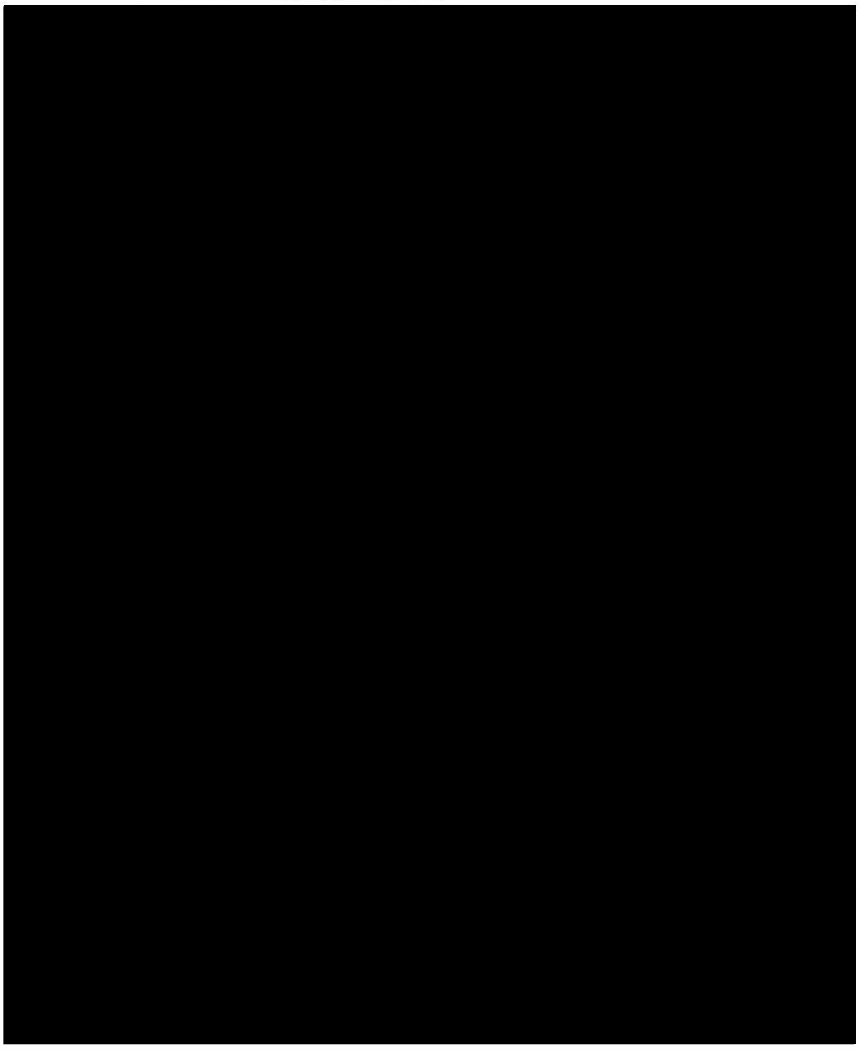

図４－17　第四系基礎岩の等深線図

（ダム技術　No.52より抜粋引用）

4.3　デルタプロジェクト施設見学の印象

『デルタプロジェクト』を見学して、まず驚かされたのは、デルタプロジェクトが多くのダム群から構成され、そのひとつひとつの規模が大きいことであり、工事の各施設が巨大であることである。しかも、基礎は第四紀の海浜堆積物であり、未固結の軟弱層にこんな巨大な建造物ができるのかという驚きであった。

建国以来、海と格闘してきたオランダの土木技術は、やはりかなり高いという印象でお国柄とはいえ、日本のダム現場がやけに貧弱に思えてならなかった。

『デルタプロジェクト』は、工事を紹介した映画によれば、当初より自然や環境に配慮して計画が進められており、いまから34年前のプロジェクトとしては、先見性があり、足が地についているなという印象を受けた。

また、デルタＥＸＰＯは、野外には工事機械、Ｓｉｌｌとした巨大な10ｔロック、かなたには、ピア建造ドックとピアがそのまま展示されており、ＰＲ館内には、プロジェクトの模型、ダムの模型、マットレスや各種機材があり、建設工事がつい先日終了したような雰囲気をつくっていました。

オランダの首都がアムステルダムで、「これからダム見学に行くんだ」といったら、「どのダムかね。わが国にはそこらいらじゅうにダムがあるよ。」と見学バスの運転手さんに笑われたように、オランダは「ダム」の国であり、その技術も素晴らしいものだと、前日みた、不等沈下にビルが傾き、建物を一体化させて倒壊を防いでいた市街の印象と不勉強を反省するのも忘れて、ただただ感激ばかりしていた見学旅行でした。

5. イギリス・ユーロトンネルプロジェクト

5.1 ユーロトンネルプロジェクトの概要

1) ユーロトンネルの概要

ユーロトンネルは、ユーロトンネル社がその事業主体で、事業費は、建設費1兆2800億円を含め約2兆円に達し、その3割は邦銀が融資している。工期は、1987年7月に工事を着手し、1993年6月開業予定である。事業内容は、海底部38kmと陸上部12km、総延長50kmのトンネル工事、英フォークストンと仏コクウエルのターミナル建設工事、線路敷設工事と車両が含まれる。これを、トランスマンシェ・リンク（英側5社、仏側5社のＪＶ）が請け負っている。

トンネル部の地質は主に三畳紀のチョークマールで、一軸圧縮強度が、100～250kgf／cm²程度の比較的掘削し易い均質で安定した岩盤で、通称ブルーチョーク層と呼ばれている。このブルーチョーク層に沿ってトンネルの線型を決定している。トンネルの掘削は主に、ロビンス社製と川崎重工業製のＴＢＭで行った。

トンネルは、北側と南側の本トンネルと中央のサービストンネルがあり、それぞれの内径は、7.6ｍと4.8ｍである。本トンネルとサービストンネルの間は、375m置きに内径3.3ｍのアクセストンネルでつながれている。また、列車走行時の空気抜きのため、本トンネル同志を内径2ｍの横坑で結んでいる。

2) ユーロトンネルの意義

英仏間をトンネルで結ぶ案は18世紀からあり1870年代には実際に両国から掘削を開始した実績がある。しかし、この時は途中で中断している。1993年のＥＣ統合に照準を合わせ、ＥＣ全域をひとつとしたインフラの整備が始まっており、ユーロトンネルもその内のひとつのプロジェクトである。ユーロトンネルが開通すれば、ロンドン・パリ間が約2時間で結ばれ、経済活動にもたらす影響は大であると思われる。そういった意味でヨーロッパの人々の200年にも及ぶ夢のひとつが、今、実現しつつある。

以上、ユーロトンネルは、言わば歴史的な一大プロジェクトであり、今回の

見学で、歴史と伝統のある古いヨーロッパから新しい時代のヨーロッパへと移り行く瞬間をかいま見たような気がした。

3) ユーロトンネルの運営

ユーロトンネルは、英仏間の鉄道専用トンネルとして1993年6月開通します。トンネル内の鉄道サービスはユーロトンネル（工事、運転共に責任を負っている英仏合弁企業）によりコントロールされ、フォークストン（英）とカレー（仏）の両ターミナルを結んでシャトルトレイン（バス、自動車等を運ぶ）が運営されます。

両ターミナルはそれぞれハイウェイに直接接続し、自動車は料金所を通過したらすぐに通関や両国間の出入国の手続きができます。この地点で自動車をエアコンのきいたシャトルトレイン内に移動させ、トンネル内をシャトルトレインで移動する間は普通、乗客は各自の自動車のなかで待ち、目的地側に到着後は一切の手続きなしに、そのままハイウェイに入ることができます。

5.2　トンネル計画

1)　トンネル計画概要

トンネルルートは図５－１に示すように、フォークストン・カレー両ターミナルを結ぶ延長50.5kmで、この内海峡部は、英国側シェクスピアクリフ、フランス側サンガットより海に入り、延長38kmである。

図５－１　英仏海峡トンネルのルート図

トンネル断面は、中央に内径4.8ｍのサービストンネル（ＳＴ）１本、それぞれの中心間隔15mで左右に内径7.6ｍのランニングトンネル（ＲＴ、本トンネル）の単線上下２本からなっている。（図５－２参照）、ＳＴとＲＴとは375ｍごとに内径3.3ｍのクロスパッセージで連絡され、非常の際の避難路や保守用通路となる。また、単線トンネルであるため列車走行による風圧軽減のための内径２ｍのピストンリリーフダクトによってＲＴのみが連絡される。さらに、海底部には英仏それぞれ１カ所ずつの本線の行き違いクロスオーバーが設計され、部分的に単線運転による取換修繕が可能となるように考えられている。
トンネル縦断面図では、掘削はチョークマール（Chalk Marl）層が最も安定した地層であり、縦断は多少凹凸があり、海底下のポンプも３カ所必要となり、かつ海底からの最少土被りも40mとなる。（図５－３参照）

[redacted]

図５－２　トンネル縦面図

[redacted]

図５－３　トンネル縦断図

また参考までに、日本の青函トンネルとの比較を表５－１に示す。

表５－１　青函トンネルと英仏海峡トンネルの比較

	青函トンネル	英仏海峡トンネル
連絡	国内・大陸間	２国間
建設主体	政府機関（鉄道公団）	民間（Eurotunnel）
運営主体	民間（JR 北海道）	民間（Eurotunnel）
建設資金	政府資金〔借入金〕 （運用部資金，債券）	民間資金 （資本金，民間借入金）
長さ〔内海底〕（km）	53.85〔23.0〕	50.5〔37.0〕
水深（m）	140	60
最小土被り（m）	100	40
最小勾配（‰）	12	11.5
最小曲線半径（m）	6,500	4,000
軌間（mm）	1,036，1,435	1,435
構造	本トンネル（複線１本） 海底部のみパイロットトンネル サービストンネル	本トンネル（単線２本） 全長サービストンネル
掘削方式	主として在来工法 （一部 TBM）	TBM シールド （オープン，クローズ）
地質	第３紀火山岩，堆積岩	中性代チョーク
湧水ほか	割れ目，断層等多く湧水多量	おおむね均一，割れ目少ない 湧水少量
止水	主として注入で止水	セグメント＋裏込め注入
覆工方式	吹付けコンクリート， 場所打ちコンクリート	セグメント

2) 地質状況

トンネル周辺の地質を図５－４～５－６にそれぞれ示す。

調査は、1957年以降に海底ボーリング(140本以上)、音波探査等の海底地質調査を行い、チョークマール層の厚さが20～30m程度であり、分布もよく確かめられている。

海峡下の地質概念図（図５－４および図５－８）および地質層序は次の通りである。

[redacted]

図５－８　海峡下の地質概念図

（地質層序）

① ②Upper and Middle Chalk……白い崖を形成、割れ目多し

③White and Grey Chalk……堅硬でフリントの大小固塊含有

④Chalk Marl……難透水層で安定した地層

（層厚20～30m）　（$\sigma n =$ 100～400 kgf/cm²）

⑤Gault Clay……膨張性の粘土層

⑥Green Sand

注）Chalk 層……炭酸カルシウム質微少化石

トンネル掘削岩盤であるChalk Marl層は、一部のクラックの多い部分を除ては、難透水性であり、切羽も自立する安定した地層である。

3) 施　工

Chalk Marlの海底部の設計上の諸元は、ヤング率：600(英)、900～2,000(仏)クリープ常数：1.8(英)、1.2～1.8(仏)、ポアソン比：0.3(英)、0.2～0.3（仏)

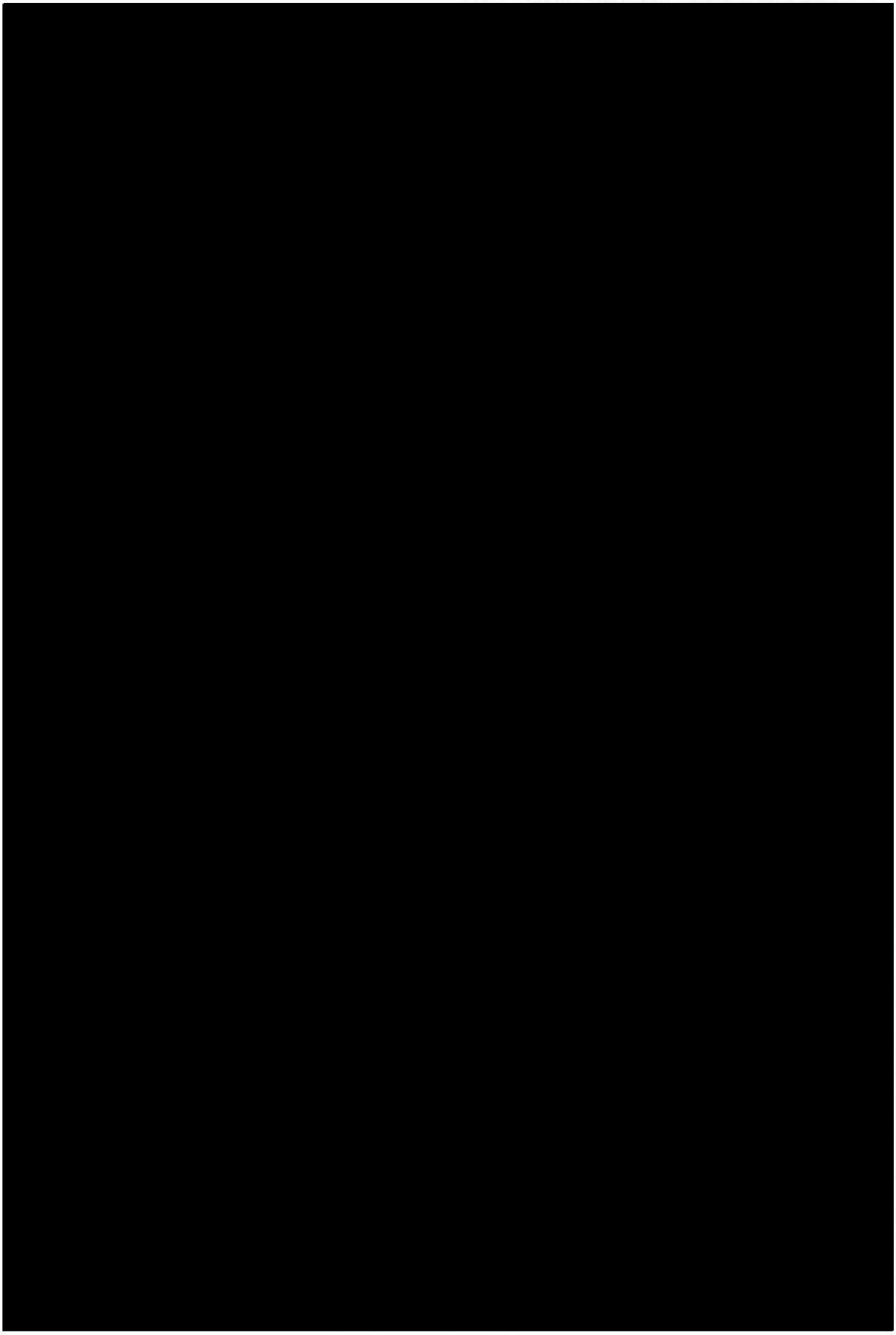

図５－９　トンネル周辺の地質柱状

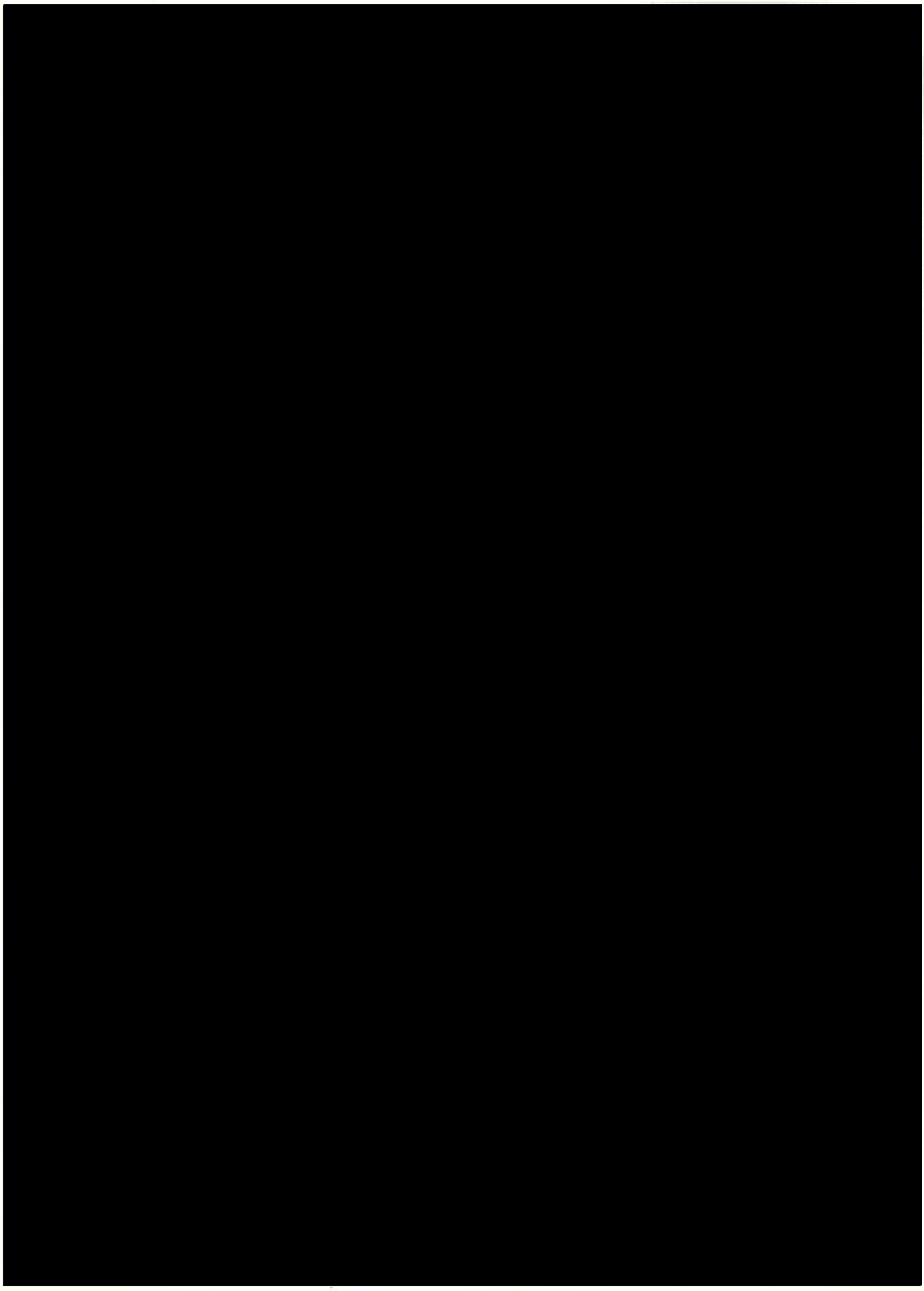

写真５－１　施工状況

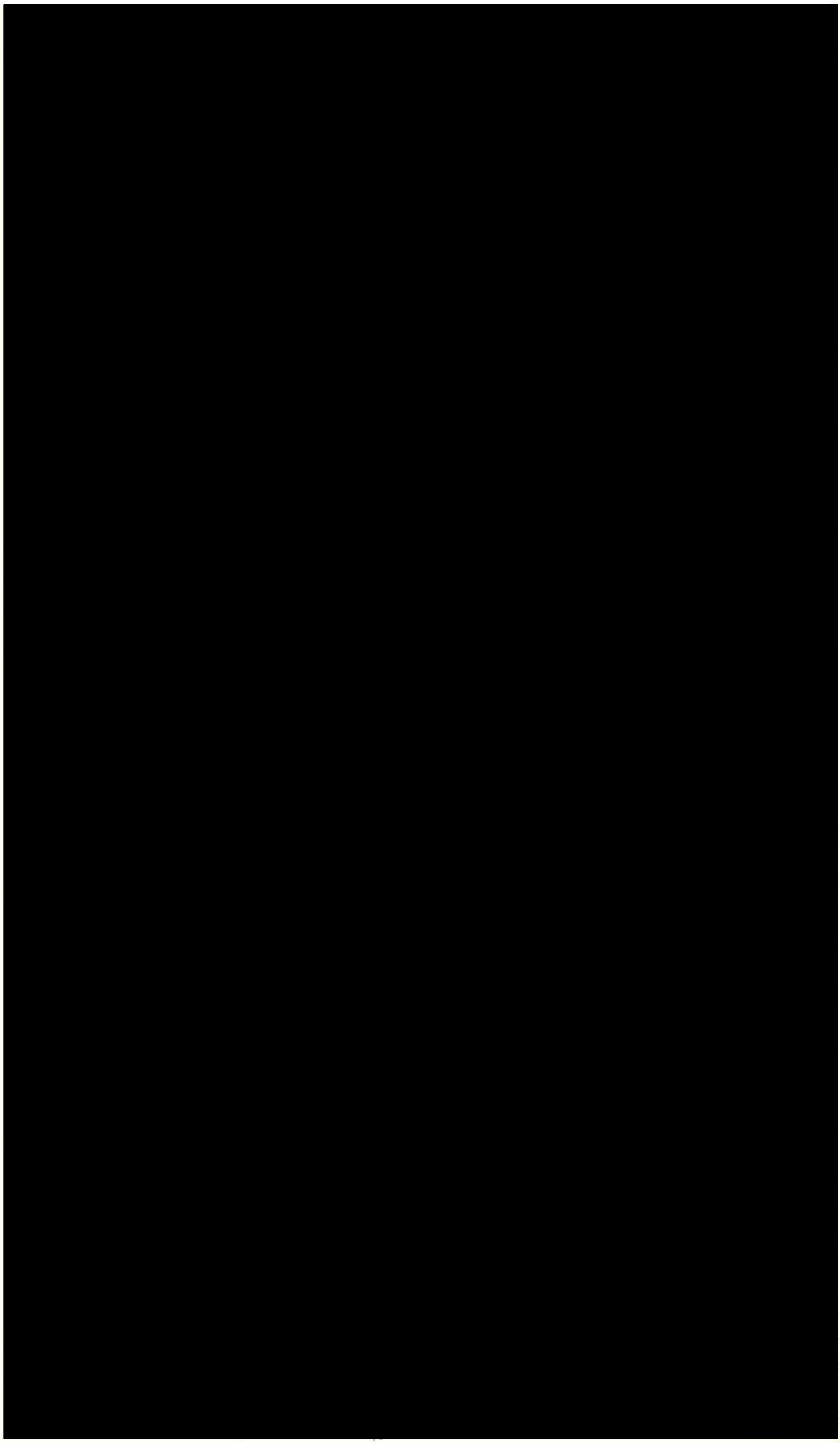

写真５－２　感激の貫通

等であり、かなり控え目な数字となっている。

英国側の掘削は、良好な地質で掘削速度をあげるためにオープンタイプのＴＢＭ（写真５－３）を使用し、掘進速度は、当初は 350m／月、その後は 700 m／月の速度を目標としている。青函トンネルと比較すると10～20倍程のスピードと推察する。

[redacted]

（写真５－３）　　（写真５－４）

掘進に当たっては、ＴＢＭから前方へ 100～150 mの先進ボーリングを行う。必要に応じて上・下・側方にも探査する。

覆工も速度をあげるために全てセグメントを組み前進して行く。セグメント建込み後は、なるべく早く裏込め注入を行う。

4)　シャトルトレイン・ターミナル（写真５－５～５－８参照）

Channel Tunnel最大の特色は、シャトルサービスの対応であり、フォークストーンおよびカレーに広大なターミナルが建設されている。両ターミナルは、それぞれハイウェイに直接接続され、自動車は料金所を通過したらターミナルの諸設備（コーヒーショップ等）が利用できたり、またすぐに通関や両国間の出入国の手続きをし、目的地到着後は一切の手続きなしに、そのままハイウェイに入ることができる。

[redacted]

写真５－５　ターミナル（イギリス側）

[redacted]

写真５－６　ターミナル（フランス側）

両ハイウェイ間は１時間になる（シャトルトレイン利用時間は35分）

（写真5－７）　ターミナル全景、フランス側を望む

人物は案内して頂いた　Mr. Queen

（写真５－８）　ターミナル全景、フォークストン市街方向を望む

また、自動車輸送に伴い、自動車の列車への積み降ろしを短時間で済ませるとともに、安全性についてターミナルの設計に多くの考慮がはらわれている。

プラットホームは全計画では両側とも15本ずつの予定だが、開業当初は８本である。

5.3　ユーロトンネル（イギリス側）を見学して

今回の調査団の出発に際し、目的について福竹団長から次のような話をいただいた。

① 欧州の応用地質に関連するサイトを見学し、知識，見聞をひろめる。

② 同時に欧州の歴史や文化に触れることにより、教養を深めていただきたい。

もともと外国、とくに欧州に関した知識は教科書程度しかない私は、事前の勉強もそこそこに出発を迎えてしまい。少なくとも訪問する国の目的地でひとつくらい何か得られればと考えていたが、今思えば、「百聞は一見にしかず」のことわざ通り、2週間という短い期間の間に、様々な知識を得る機会に恵まれた。福竹団長の言われた調査団の目的はもとより、私自身の目的も十分に達成することが出来た。その内のひとつ、英国側ユーロトンネルについて、後から得た知識も加えてレポートしてみたいと思う。

1.　行程

1992年10月20日、英国らしいどんよりした曇り空の中、目的地、ユーロトンネル英国側の基地であるフォークストンに向けて、早朝6：30ホテルを出発した。調査団一行15名は、トンネル現場受入れ側の条件で1日当り9名以下の1グループに限られたため、2班に分けられ、10月20日と~~20~~21日に渡って見学することになった。第1班の私は、福竹団長をはじめとする7名の方々に同行した。

写真5－9　ユーロトンネル展示センター

私の後ろに見えるT・B・Mには「FOR　SALE」とある

英国国有鉄道（BR）のコンバートメントの座席は快適で、近い将来このままフランスに直接行けるようになるだろうと思い巡らせながら9：30分頃にはフォークストン駅に到着した。

迎えの小型バスに乗り込んで、まずユーロトンネルの展示センターに行き見学した。センター内はいくつかのセ

クションに分けられている。「建設工事モデル」では、どのようにトンネル建設工事が進められたかが分かるようになっている。また、地質調査や考古学調査、環境調査などに関する展示品も多く見られた。

よびものは、Nゲージレイアウトの鉄道模型で、他にもシュミレーションによるユーロトンネル通過体験コーナーもある。驚いたことに、シャトルの実物大の模型があり、これも本物の乗用車を積んだコーナーがあった。これは、実際に利用する気分を味わってもらう意図で作られたようである。

コーナーの終わりに土産物の売店があり、これは日本と同じパターンであった。30分程度のセンター見学を終え、今度はシェークスッピアクリフの工事現場事務所に行き、担当者から以下のような説明を聞いた。

① 現在、全工程の80％完了しており、あと1年で完成する。主に電気やレール等の施設を布設している。

② サービストンネルは、トラックのレールの撤去を行っている。

③ トンネル内に何か起こった場合を想定してクロスオーバー部を英国側とフランス側に1ケ所づつ設けている。

④ ポンピングステーションは英国側に2ケ所、フランス側に1ケ所ある。

⑤ コンクリート覆工は完了しており、坑内でチョークマール採れない。

⑥ 現在10,000人の労働者が働いている。最盛期は15,000人であった。

断片的ではあるが、以上の他に、ＴＢＭを搬入した立坑はフランス側の立坑の1／5であるとか、何かとフランス側を意識しているようであった。

次に、出国のためとおもわれる手続きのためパスポートの提示を求められた。手続き完了後、坑内に入るためのビジターカードとＩＤカードを発行してもらい、ロッカールームに案内された。そこでは、ヘルメット、作業服、長靴、防毒マスク、保護メガネを貸してもらい、装備を整えた。防毒マスクは、万一の火災に備えた物である。

写真５－10　発行されたビジターカード

再びバスに乗り、いよいよトンネルの現場に向かった。現場の入口にはガードマンが居て、ビジターカードを見せ通過した後、ＩＤカードを入口の機械に差し込み、一人づつ通る回転扉をくぐりぬけ、やっと本坑に降りる立坑の上部にたどりついた。ここからエレベーターで本坑に降りる訳だが、立坑は何と100 年前に、陸軍工兵隊の手によって掘られたものであるということだった。

坑内はやや薄暗く、また足元にレールなどの障害物があり、３人の案内人が付き添っている割りには危ない感じがした。コンクリートのハツリ作業や仕上げ工事を行っている中を約 200m程度歩き、アクセストンネルで反対側の本坑に渡り、また戻って来るというルートで、およそ30分の見学を終えた。再び地上に戻り、借りた物を返却し、バスで建設事務所の中にある昼食会場へと向かった。

途中、ドーバー海峡を望む丘の上で、眼科にフォークストンのターミナル基地を見下ろしながら、記念撮影を行った。

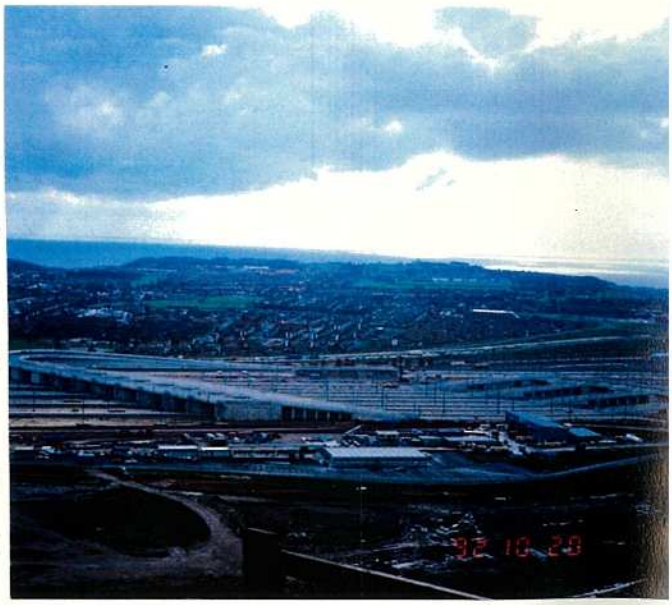

写真５－11　ドーバーを望む

手前がフォークストンの
ターミナル基地

昼食会場は、我々で言う現場の打合せを行う会議室のような場所で、壁には図面や

安全のポスターが貼ってあった。そう言えば、トンネルの現場内で、「レスキュー」と書いたヘルメットをかぶった安全担当者らしき2人組が巡回しているのを見かけたし、入坑手続きなどセキュリティシステムが厳しいことを考え合わせると、安全に対する意識の高さを窺うことが出来た。にもかかわらず、英国側で、少なくとも7人の犠牲者を出しているそうである。

昼食後、再びバスに乗り、フォークストンのターミナル基地の建設現場を見て改めてスケールの大きさに感心した。完成すれば、車 260台を載せたシャトルがフランスに向け、24時間体制で3分毎に出発するターミナルである。

その後、ガイドさんの好意で、残土置場に立ち寄り、トンネル切羽からと思われるチョークマールをサンプリングすることが出来た。チョークマールは思ったより軟質な感がし、日本で言えば、新第三紀の泥岩と言ったイメージである。以上で当日のスケジュールを終え、再びロンドンのホテルにたどりついたのは午後6時頃であった。

写真5－12　安全のポスター

5.4　Chennel Tunnel（イギリス側）見学記

はじめに

1992年10月20日（火）8時10分　チャンリングクロス（Charing Crass ST）発ドバー（Dover)行快速列車に乗り、フォークストーン（Folk stong ST)に向かう。コンバートメント車窓からのイギリス郊外ののびやかな晩秋の大地を眺望しながら、およそ1時間30分でフォークストーンに到着した。

Euro－Tunnel会社（英仏合弁企業）差回しのバスに乗り、フォークストーン郊外

にあるユーロトンネル展示センターに向かう。ここで本日案内をして頂くMr. Queenの歓迎を受ける。Mr.Queenは中肉中背の英国紳士であり、ゴルフのハンディは5～6のシングルプレーヤーとのこと。やはりイギリスではGentle-menの必要条件はゴルフにありと思われる。

ユーロトンネル展示センター、海峡トンネル坑内、シャトルトレイン、ターミナルの順で見学させて頂いた。これらの概要を示す。

1) ユーロトンネル展示センター

センター入口（写真5－13）には、トンネル掘削の主役である英国製、径8m程のＴＢＭ（イギリス人特有のジョークで、“ＦＯＲ　ＳＡＬＥ”とある）（写真5－14）と、1992年製径4m程のウイタカーＴＢＭが目に付く。

2階の展示場には、ビックプロジェクトの大要が把握できるように各種模型が展示され、また屋上の展望台からは広大なターミナルのすばらしい全景が見渡せられる。

写真5－13　展示センター入口

写真５－14　英国製ＴＢＭ　“ ＦＯＲ　ＳＡＬＥ”

展示場模型の概要は次の通りである。

○　メインホールは、ル．シャトルによるTunnel通過体験

直行の旅客列車や貨物列車をはじめ、車・オートバイ・バス・トラックなどで実際にトンネルを通過する気分を味わうとともに、ターミナルの料金所を通過し、シャトルに乗込み、高速道路に出るまでの生の体験が出来る。

○　トンネル建設工事の各種機材の展示、建設工事のモデル。

○　建設前の考古学、地質学および環境影響調査等の詳細な報告。

氷期やそれ以前の時代のこの地域一帯のすばらしい生態系を知ることができる。

○　広大なターミナルとトンネルの鉄道模型を見ることにより、プロジェクトの概要を一望することができる。

2)　英国海峡トンネル（Channel Tunnel）

1993年６月開通予定の鉄道専用トンネル（旅客列車・シャトルトレイン）、今回の視察はトンネル完成間近の坑内であり、英国側立坑周辺の見学となった。このため、地質屋として最も興味のある切羽の観察ができず残念である。従って、

トンネル内の紹介は、Mr.Queenの話および参考資料を中心にまとめた。

なお、トンネル内の出入坑に際しては、出入国手続きが必要であり、パスポートの提示が求められ証印された。これはイギリス人のジョークとも受取られるが、記念に残るものがある。

3) むすび

英仏を結ぶ海底トンネルの事業達成は、1800年代のナポレオン時代からの悲願であり、これ以来幾度となく両国間でチャレンジしたが、政治的および国防上の理由から中止、消滅している。

近年、東西の冷戦構造の終焉とともに、1985年にサッチャー（英首相）、ミッテラン（仏大統領）の間で、協定が結ばれ、1987年に実施組織である「Euro－Tunnel会社」が設立された。

来年６月の供用を目指し、最終段階に入っている。この大プロジェクトも着工から６年間と短期間で完成させるということは、我々日本人には考えられないことである。

この成功の要因としては、地質条件が良好で、ＴＢＭの機械掘削の威力が最大限に生かされたこと、また施工技術の開発を積極的に行った等が挙げられるが、やはり、およそ 200年におよぶ両国の悲願がここに来て爆発した結果であると思われる。

今後ＥＣ統合に伴い、このChannel Tunnelの経済性効果は計り知れなく高いものになるだろうと推察される。

以　上

6. マルパッセダム見学雑感

たまたま、私共の第２回海外サイト調査団の最終宿泊地がパリであり、１日予備日があったため、幹事の内舘さんが急遽希望者を募って、マルパッセダム地点見学を準備して下さったので、私も参加させていただいた。

同ダムの視察報告は、当学会主催の第１回海外ダム視察調査団報告書に多数報告されているし、その他、発電水力（現　電力土木）や大ダム等の雑誌にも報告されているので、ここでは思いつくままの感想を述べさせていただく。

アムステルダムから次の目的であるユーロトンネル見学のため、ロンドンに10月18日着。ユーロトンネル見学は、受入れ側の都合で２班に分け、Ａ班は10月20日、Ｂ班は10月21日に見学させていただくことになった。

私は、Ａ班に入っていたので、10月21日は昼前に起き、以前に見逃していたgeological musenum 一つに的をしぼって、１人でゆっくりと見学に出かけた。さすが大英科学博物館、丹念に見ると優に１日かかり、広い館内を歩くだけでくたびれました。

夜７時、ロンドン空港に各自集合し、全員でパリに21時30分に到着、ホテルには11時過ぎに入りましたが、明くる22日はマルパッセダム見学グループは、朝５時30分にホテルを出発、地下鉄でオルリー空港へ。そして、ニースには10時前に到着、ニース空港よりマイクロバスにてダムよりかなり下流に着き、後は河岸沿いの道をサイトまで歩く。サイトに近づくにつれて、大きなコンクリートブロックが転々と見られる。やがて右岸側にアバットメントのコンクリートの残骸を残したマルパッセダムが現れる。これは、まさに現代の遺跡だという第一印象をもった。

正直言って、35年も前の事故現場であるので、出発前の予想ではこれ程インパクトの強い現場が見学できるとは期待しておらず、せいぜい「ここがかつてのマルパッセダムサイトだよ」と言うことで、コンクリートブロックが転がり、岩盤がむき出しになっている程度を考えていた。第１回視察団の報分中、どなたかが次のような文章を書いておられた。

“ 我が国では、仮にこのような重大事故を起こした場合、その現場を永久保存出来るであろうか？このような不都合な現場は、すぐに片付けられると予想されるが、国

民性の違いを強く感じた。”

私も、現場に立って同じような思いを持った。

現場を見ての感想は、基盤に予想以上に多くの不連続面が見られたことです。調査時や建設工事中に、これらの不連続面を認識し、判断されたのだろうか、或いは、今露頭で見られる不連続面は、調査～工事中にはそれ程顕著に見られなかったものが（潜在していたものが）、ダム崩壊時に顕在化し、現在露頭に晒されているのかなとも思ってみました。なぜなら、これ程の不連続面が調査中に分かっていたならば、まさかあのようなthin arch dam を設計しただろうかという疑念を持ったからです。同時に、地質調査の不足を感じました。

昭和30年（1955年）から昭和40年（1966年）初め頃迄は、世界的にアーチダムが流行した時期で、日本でも昭和30年の上椎葉ダム（九州電力）の完成以後、官・民（電力）共に大規模なアーチダムが各所に建設されました。アーチダムが建設されたということは、それだけ基礎岩盤、地形共に良好な地点であったということが言えます。私も入社（昭和30年）早々、紀伊半島の十津川と北山川水系の担当になりましたが、この水系だけでも、昭和37～39年に坂本、二津野、池原と３つのアーチダムが完成しました。これら３地点はいづれも四万十層群に位置していましたが、北山川水系の坂本と池原は、熊野酸性岩の影響を蒙り四万十層の粘板岩がかなり珪化し、いわゆる碁石の那智墨の産地でもあったぐらいですから、良好な岩盤でした。十津川水系の四万十層群は、崩壊地の多いことで有名で、国道沿い斜面は保護工をやれどもやれども崩れるという粘板岩でしたので、二津野ダムは、水力計画上許される範囲内で砂岩の大きな岩体にダムサイトを選びました。従って、左岸の一部に顕著な断層がありましたのも結構良好な岩盤でした。このように、最近のダムサイトの地質と比較すると相当良好な岩盤でしたが、弾性波探査、ボーリングおよび横坑と一連の調査を行いましたし、当時の事ですから、新入社員が横坑の中に蓆を敷いて寝転んで、平板載荷試験のダイヤルゲージを読まされた記憶がまだ鮮明に残っています。

また、古い話しで恐縮ですが、マルパッセダムの設計を行ったCoyne Bellier （フランスの有名なコンサルタント会社）に一時おりました、Dr.Pier Londe （元大ダム会議会長）と、イラン－イラク戦争直前にイラクのベクメ計画という大規模計画で何

度も御一緒したことがあります。Londe 氏は、イラク側のBoard Memberであり、私はコンサルタント側の地質技師という関係でした。その時の記憶では、同氏は、地質に大変感心が深く、種々な質問を受けたことを覚えています。

あの有名なCoyne Bellier コンサルタントが、地質条件に配慮せずにThin arch damの設計だけを行ったとは、どうにも考えられないのです。

あれやこれや反芻してみますと、結局マルパッセダムの事故は、１つには計画の推進、予算管理等全体をmanagementする組織＝人間、そして２つには技術的問題に~~業~~対する判断、方針決定、実行＝人間に問題があったわけで、基礎の地質不良にすべての原因があった訳でないと感じた次第です。よく言われることですが、コンサルタントは人であるに行き着くのでしょうか。

以上がマルパッセダムを見学させていただき感じた所感で御座います。

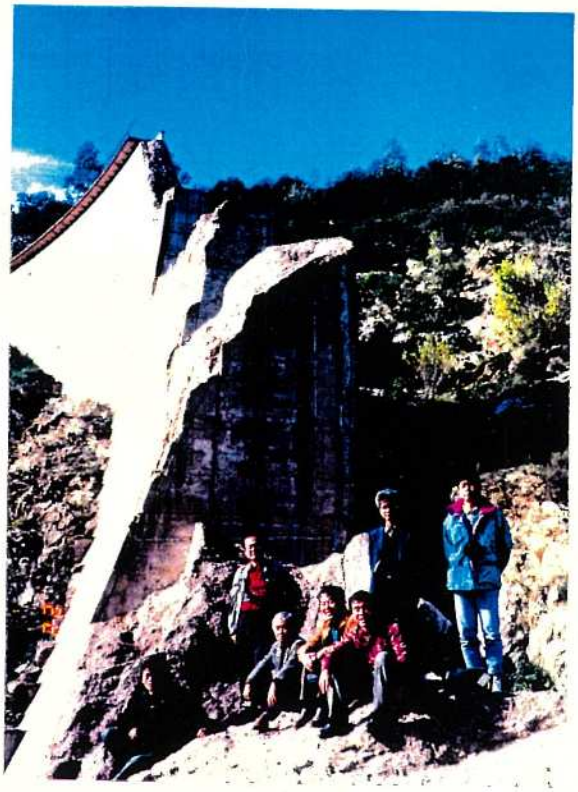

写真６－１　マルパッセダムにて

写真６－２　右岸より左岸取付部を見る。
くさび状のすべり面が太陽に光っている。

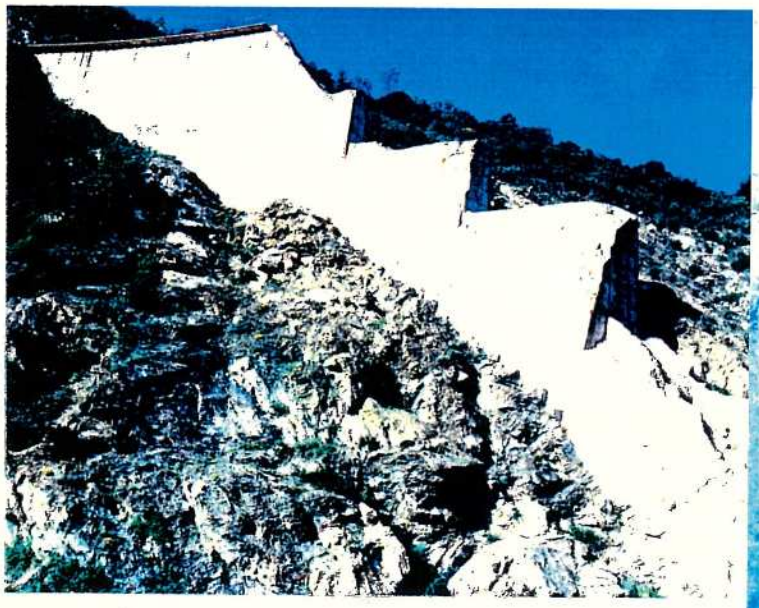

写真６－３　右岸に残ったダムコンクリート

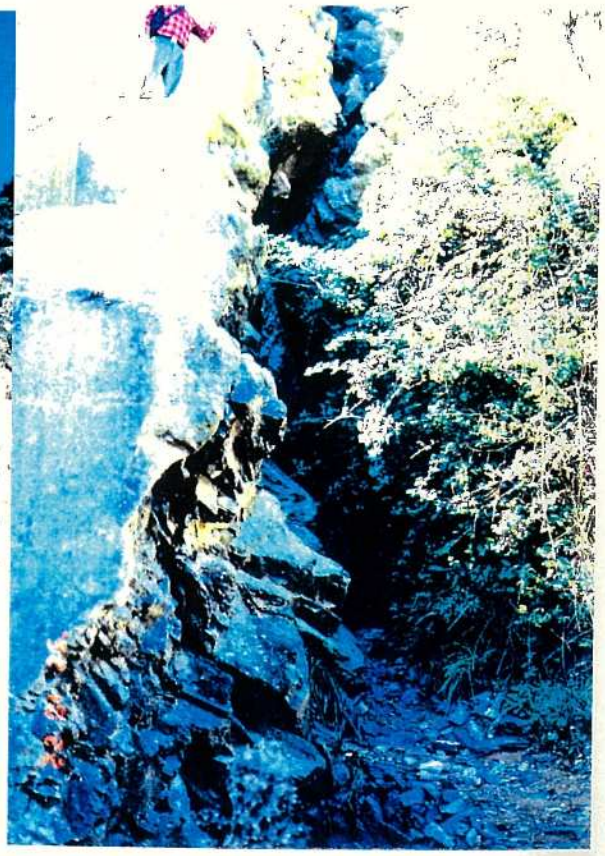

図６－４　右岸上流部面の開口部

写真6－5　全　景

あとがき

日本応用地質学会の海外研修を目的として行われた「第１回海外ダムサイト調査団」の成功に導かれて、初志を貫こうと気負って幹事を引き受けてみたものの、日頃から業務にのみ埋没している私にとっては、四苦八苦の仕事で、私自身にも貴重な経験となりました。途中で、煩わしさに往生して、投げ出したくなりましたが、宇田氏（建設技術研究所）の指導をうけ、また、出発後は、福竹団長はじめ、団員皆様の御支援やＪＴＢの笠原文子氏の御助成を受け、なんとか帰ってくることができた時は、正直ほっとしました。

しかし、また、調査団報告を書くにあたり、もっと準備を充実させて資料収集に努めて御案内しておればと、団員の皆様への申し訳なさで、改めて背筋が冷たくなる思いでした。

いずれにしても、調査団報告書を提出するまではと、再び気分を奮い立たせて、と思ったのですが、多忙にかまけて、大幅に発行が遅れてしまいました。関係各位には誠に申し訳なく、ここにおわび申し上げます。

ご覧のように、「第１回海外ダムサイト調査団」の報告書『ヨーロッパのダム(1)』に負けず劣らず、素晴らしい出来ばえ（？）となったのではないかと思います。

「第１回海外ダムサイト調査団」がダムと地質を主眼としたのに対し、今回は、まえがきにありますように、純地質サイトのゴットランド島と第四紀層を基礎とするダムと第三紀層に掘削された大トンネルとバラエティーに富んでいます。引き続いて、第３回も国際応用地質学会シンポジウムとピレネー山脈の地質構造、そして特徴のあるダムなど、地質屋ならではのユニークなコースの選定となっています。更に、雑談の中では、アフリカの地構帯、世界の火山と防災など、いろいろな意見が出て、日常の業務に埋没しがちな我々にとって、楽しみな研修会となりそうで、今後とも、ぜひ継続していただきたいと思います。

最後になりましたが、このような機会を与えて戴いた、日本応用地質学会会長はじめ関係各位ならびに団長を心よく引受けていただいた福竹副会長に深謝いたしたいと思います。また、ユーロトンネルの見学にはサンユーコンサルタント㈱の持田副社長に多大な御尽力を賜わりました。ここに感謝の意を表します。

調査団幹事　　内舘　彬

〔参考資料〕

入手資料

A．地図類

1) Eupore Western (1:3,000,000)

2) Sweden (1:800,000)

3) Gotland (1:200,000) (1:50,000)

4) Netherland (1:250,000, 1,000,000)

5) Britain (1:625,000)

6) Pteanco (1:1,000,000)

B．地質図

7) Geological Map of British Island (1:1,584,000)

8) Tectonic Map of Great Britain and Northern Ireland (1:1,584,000)

9) Hydrogeological Map of Gotland County (1:250,000)

10) Map Showing the Quaternary Deposits, Infiltration Capacity and Groundwater levels of Gotland County (1;250,000)

11) Map Showing the Depth of Quarternary Deposite of Gotland County (1:250,000)

C．文献

Gotland 関連

12) The Anatomy of a Silurian Carbonate Platforom
" Episoded" 1981.No.2 IUGS Newsmagazine

13) Excursions in the History of GOTLAND

14) Visby — a journay through the centuries

15) The Lower Palaeoyoic of Scappie the Silurian of Gotland
(The Geological Survey of Sweden)

CLAB関連

16) The Geological Disposal ofu Nudear Waste
Chapman & Mckinley 1987 John Wiley & Sons ltd.

17) Crntral Interim Strage for Spent Nudear Fuel CLAB (1991, SKB)

18) How Swedan takes Care of ito Radisactiue Wasto : Leoflet SKB OKG
(1991, SKB)

19) Nuclear Power in Swedan

20) ActivitIes 1991 (SKB)

21) We Provide the Power 1992

22) A Step Toward the Swedish Final Repository for High-Level
Radioactive Waste

Dalta Project 関連

23) The Dalte Project, 1990, Ministry of Tranepont and Public Worko
Information Division.

24) Doms in the Delta.

25) The storm surge barrier in the Eastern Schelalt
1987, DOSBOUW & Voorlchting Verkeer on Watertb.

26) Delta Final (VHS Video tepe, 27minutas)

Euro Tunnel 関連

27) BREAKTHROUGH TUNNELLING THE CHANNEL (Derel Wilson P.144)

28) The Project of Century (THE LINK P.67)

29) User's Guide (小冊子 日, 英, 仏, 独)

30) Key Plans