

青函トンネルとボスポラス海峡トンネル

VSL JAPAN 株式会社 営業本部

統括営業部長 梶 修

簡単に自己紹介をさせていただきたいと思います。私は昭和 53 年に東京都立大の土木工学科を卒業しまして、その年の 4 月に大成建設に入社しました。そのあと 1 年研修があつて、昭和 54 年から青函トンネル作業所に配属になり、5 年ほどずっと現場におりました。そのあとは本社に戻ってきて土木設計とか技術開発で平成 10 年まではずっとトンネル技術を担当しておりました。

20 年間トンネルを担当していたので、このままずっとトンネルで行くのかなと思っておりましたら、平成 10 年に異動がありまして、営業に行けということでした。そのころはまだ国土交通省でなく運輸省でしたが、運輸省の港湾空港関係を担当しろということで、平成 10 年からウォーターフロント協会をはじめ皆さんとお付き合いできるようになりました。昨年 4 月に 60 歳になり、大成建設は 60 歳になった月で定年退職となりますので、今は、VSL JAPAN というメーカーですが、再就職致しました。

それでは青函トンネルとボスポラス海峡トンネル、トンネルでも時代が違うとかなり掘り方も違うのでその辺をご紹介していきたいと思います。

青函トンネルはもともと新幹線が通るために掘ったトンネルですが、残念なことに青函トンネルが出来たときにはまだ新幹線がとどいていなかったもので、津軽海峡線ということで開業することになりました。その時は在来線用のレールを引きましたが、現在 3 本レールが引いてあります。新幹線が通れるレールと在来線が通れるレールです。在来線はなくなりますが貨物線が残りますので三線軌条、レールを三本引いて新幹線用と在来線用を通すという形になります。

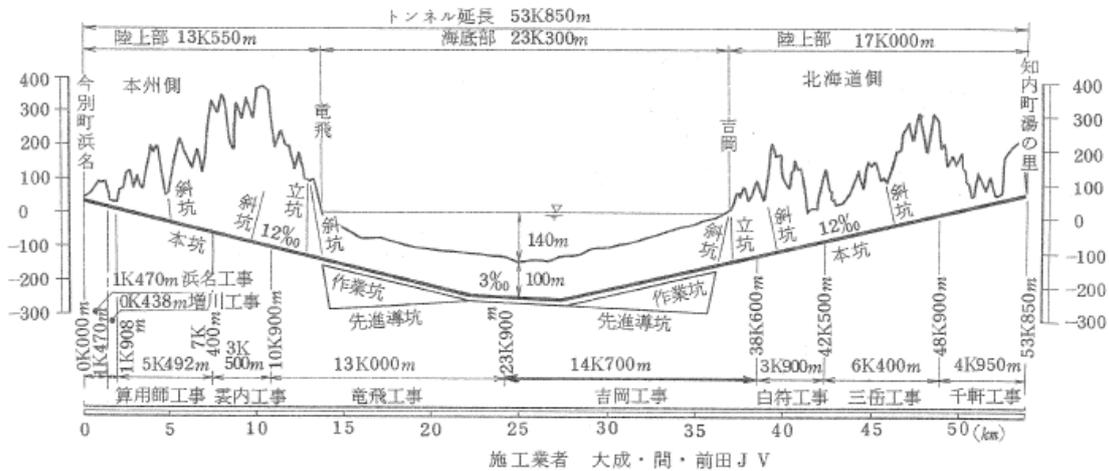
もともとは青函連絡船は、青森と函館を結び、この距離が 113km もありますが、これをまっすぐトンネルで掘ったのでは、なかなか完成しないので、要は一番短い海峡の部分を通そうということで左側の竜飛と福島を結ぶルートと右側が大間崎と汐首岬を結ぶルートと両方があったわけです。右側のルートというのは水深がかなり深く 240m ぐらいあります。現在通っている青函トンネルは水深 140m です。水深が深くなるとそれだけトンネルの延長が長くなり難しくなることと、右側の大間崎の方は火山帯が通っていますので、地質的にも難しいだろうということで竜飛崎からのルートに決定したということです。

◆◆◆第 80 回ウォーターフロント研究サロン◆◆◆

青函トンネルの歴史ということで戦前から構想はあったようです。実際動き出したのは昭和 21 年 4 月 24 日に地質調査が国鉄により始まりました。昭和 29 年 9 月 26 日に洞爺丸台風がありました。これで多くの方がなくなって青函トンネルは必要だという声が増分上がったと聞いております。

その 10 年後、昭和 39 年 1 月 26 日に北海道の吉岡側の斜坑が初めて掘削になって調査坑の掘削が始まったというわけです。昭和 47 年 3 月 24 日に、本州方の竜飛工事、北海道方の吉岡工事が、請負契約締結されて、民間が初めてここで入ってきたという形になります。調査坑自体は国鉄の直轄であって、そのあと鉄建公団が引き継いだという形で進んでいます。昭和 47 年に JV という形で民間の施工に入ってきました。

昭和 58 年 1 月 27 日、約 11 年後に、先進導坑が貫通いたしました。先進導坑というのは鉄道公団が掘っていたトンネルですが、ここで初めて本州と北海道がつながったということになります。その後、2 年遅れて新幹線を通すため本坑断面が昭和 60 年 3 月 10 日に貫通しました。昭和 63 年 3 月 13 日、昭和の最後に津軽海峡線ということで青函トンネルが開業しました。それから 28 年経ちますが、やっと来年 3 月 26 日、北海道新幹線が新函館まで「新函館北斗」という名前に決まりましたが、初めて北海道に新幹線が青函トンネルを通るということで来年を非常に楽しみにしています。

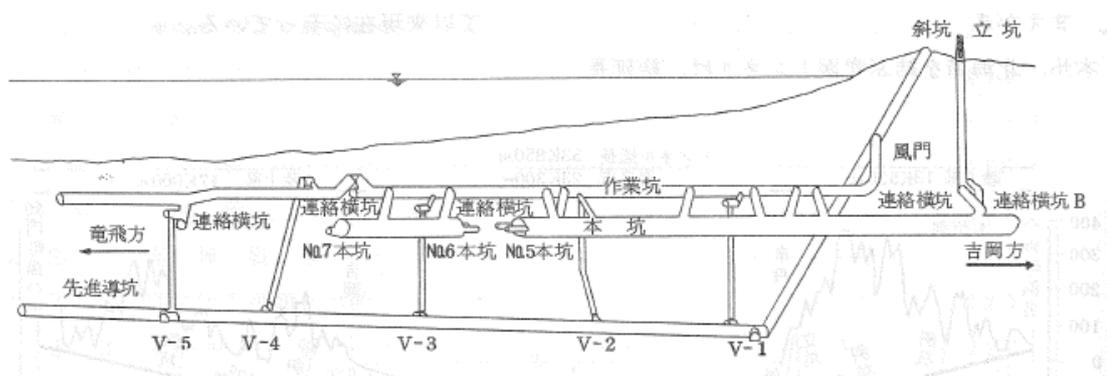


青函トンネルの全体図ですがトンネル全長は 53.85km、約 54km あります。右側が北海道で左側が本州側。それぞれ陸上部というのがあって、海底部というのは 23.3km ございます。これが竜飛工区と吉岡工区とに分かれています。私がおりましたのが吉岡工区、大成、間、前田という JV でした。竜飛工区が鹿島、熊谷、鉄建の 3 社 JV でした。JV で施工というのは全国でここが初めてでした。それまでは JV で施工するという請負体系はなかったようです。

トンネルは先進導坑、作業坑、本坑という 3 本あります。斜坑から入って行って一番下まで行って先進導坑が上り勾配で中央へ向かっています。これは今どんな使われ方をしているかという排水トンネルになっています。要するに、青函トンネルには湧水がありますので排水をどうするかということで真ん中にあつめて、それを両側の竜飛方、吉岡方、自然勾配で落ちていきますので先進導坑の坑底にそれぞれ本州側と北海道側でポンプを据えておけば青函トンネルの排水ができるようになります。

先進導坑と名前が示すとおり、調査坑、地質調査が目的だったのですが、いわゆる供用時になっても排水用として使われています。

作業坑というのは作業坑から分岐して本坑を掘るためのトンネルという形です。先進導坑は鉄道公団が施工して、作業坑、本坑というのは民間の施工業者が掘りました。地質はかなり複雑な地質で F10 断層という大きな断層がありまして、これで非常に苦労したということがございます。



これは昭和 53 年の 10 月で吉岡工事の状況ですが、斜坑があつて先進導坑がございます。作業坑というのが平行に走っていて横に分岐の連絡坑がございます。本坑だけをやっていくと時間がかかってしまうので、小さな断面で先に走ってその後方から分岐のトンネルを掘って本坑をやっていくというかたちで、施工速度を速めました。縦に繋がっている V4, V5 というのがありますが、換気のシステムですが、これだけ長いと換気が大変ですが、先進導坑にきれいな空気を送ってその戻りを上の作業坑に送るということで、斜坑から空気を入れて作業坑、本坑へ持ってくるということで大きな循環をさせる目的で換気用に途中途中に立坑を掘ったということになります。



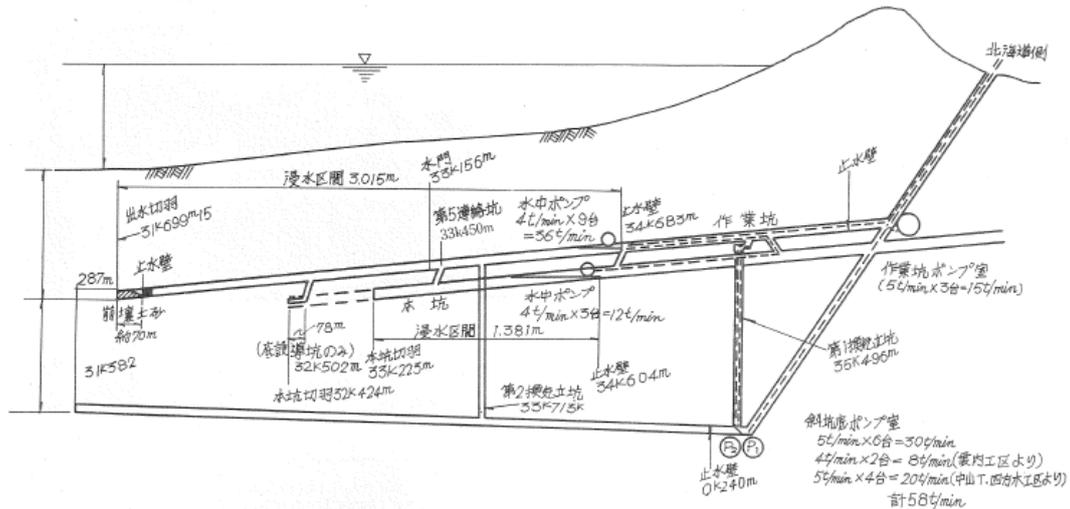
これが吉岡基地を上空から撮った写真になります。ここに鉄道が廃線された松前線の吉岡駅があってこの辺が吉岡の小学校のグラウンドです。これが吉岡の町です。丘にあるのが JV の基地になります。立坑があり、隣にバッチャープラント等の施設があります。これが JV の事務所ですね。こちら側の施設が作業員、社員を含めた宿舎が出来ています。こちらが公団の事務所と施設です。

斜めに見えているのが斜坑です。ここから資材を入れて中の切羽まで持って行くのですが掘った「ずり」は下からずっとベルトコンベアーで持って来ます。大きな谷がありますが、ここに青函トンネルの「ずり」を全部埋めるということで、今はもっと上まで上がってきて完全に埋まった形になっています。青函トンネルで掘った「ずり」はすべて斜坑から上にあげてここに埋立てました。向こう側が竜飛になります。

大きなトラブルとして異常出水がありました。第一回目の異常出水は昭和 49 年の 1 月 8 日にありました。この時は毎分 11 m^3 ということで湧出土砂が $1,100 \text{ m}^3$ 、坑道自体が 880m ほど水没したということになっています。第 2 回目、昭和 51 年 5 月 6 日になりますが、この時の出水はかなり大きい出水でした。最大出水毎分 85 m^3 、 85t ですね。土砂自体は $1,000 \text{ m}^3$ 。土砂の量は一回目と変わらないんですが、坑道が 3km にわたって水没するという大事故が発生しました。第 1 回目は、出水地点は断層が多いところでして、作業坑を掘っていた時に切羽から水が出てきて止まらないという状況になりましたので、後方へ退避しました。その時の復旧の工程ですが 1 月に出水して、10 カ月間、復旧にかかりました。出た水をどんどん排水するしかないのので、排水した後バルブヘッドということでトンネルを封鎖して

注入グラウトで固めて、前へ進んで行って出水した時点までもう 1 回戻っていく。そのために 10 か月を要したという形になります。

第 8-9 図 異常出水状況図



第 2 回目の出水ですが、このときは出水の量が多くこの作業坑の先端で出たのですが、基本的には水の量がものすごく出ました。排水しても排水してもどんどん水が出て来るものですから後ろへ下がっていった。作業坑自体でも耐えきれないのに、出来上がっていた本坑も水に浸かりました。本坑まで水没したという異常事態が発生しました。できることは水をポンプアップするしかないなので、この時は全国からいろいろなポンプをかき集めて先進導坑の下に入れてどんどんポンプアップしました。その時の湧水量ですが、5 月に出水が起きました。湧水がずっと続くわけですね。ただただ排水するしかない。ポンプを持ってきてどんどん排水し続けました。復旧の大まかな行程があるんですが、5 月に水が出て、11 月まで復旧にかかりました。1 回目比べると、経験があったせいでしょうか、前は 10 か月ぐらいかかったのですが、今度は 6 か月ぐらいで復旧しました。2 回目の出水ということでこの時は破碎帯があってここから水が出たのですが結局出水地点に戻ることはできませんでした。迂回坑を作って前へ進んだというのが 2 回目の出水です。ここをいじるのは止めよう、難しいところなので迂回してしまったということです。

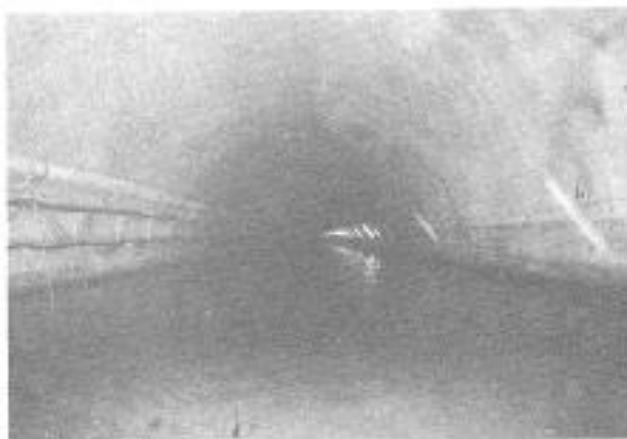
基本的には青函トンネルというのは水が問題なので異常出水の前から 2~3 km先の先進ボーリングをやっていたんですが、その時は異常出水は起きていません。ボーリングはあくまで点ですから、トンネルで大きな断面を

◆◆◆第 80 回ウォーターフロント研究サロン◆◆◆

掘るのとは全然違います。水道（みずみち）に当らない限りはボーリングでは水は掴まらないということです。本当は何にもなくていけると思っていました。予測できなかつたというのが実状です。



作業坑水没区間



本坑水没区間



作業坑 420mバルグヘット築造



作業坑排水

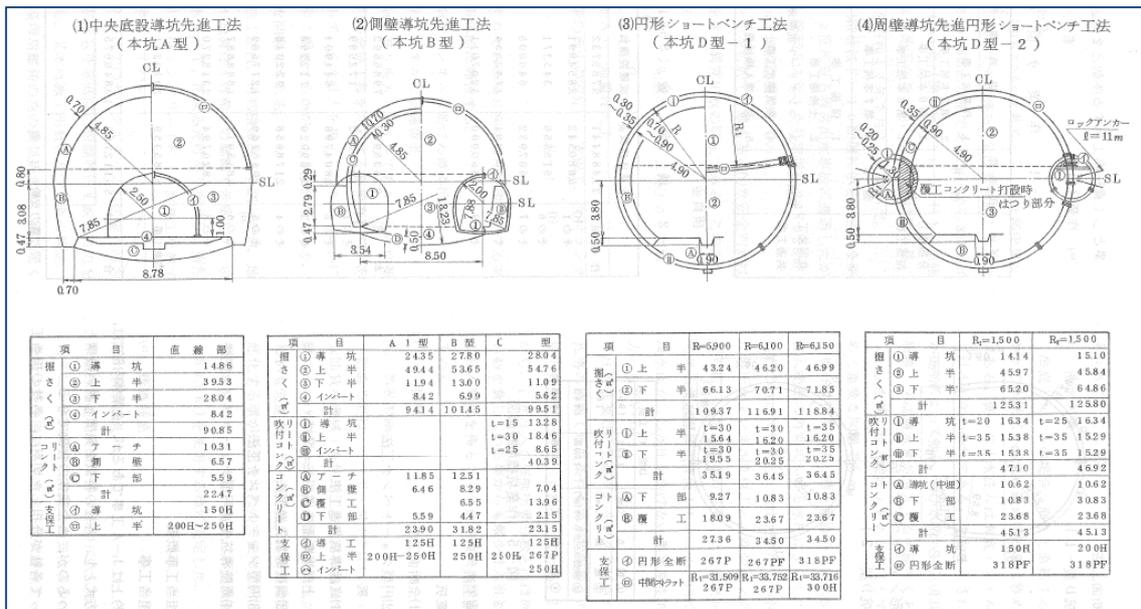


本坑排水

昔の写真で古くて見にくいですが、作業坑が水没している状況です。本坑も水瓶として使いましたので本坑も水没しています。一番下がバルグヘッド、セメント袋をどんどん積んでいる様子です。水が進んでくる前に止めようということですが、やはり止められないので何回も後ろへ下がっていったというのが実状です。途中で釜場を設けてポンプで排水しました。やることは排水ですのでポンプを設置してどんどん排水しました。これは作業坑である程度水が落ち着いたので、ボートに乗っている先の方を

点検、調査をしました。これは津軽海峡の下、二百数十メートルのところ
です。海の下、二百数十メートル下で、ボートに乗ったというのはこれ以
外にはないだろう、ギネスブックに申請したら登録されたのでと後で思い
ました。ただ、この出水した水は海水と成分が違うのですね。もし、上の
海水と完全につながっていたら収まらなかったでしょう。海水に近い成分
なのですが徐々に湧水が収まって排水量が勝ったので、水没せずにもとに
戻っていったというのが実状です。

海とつながっていたら、水没して青函トンネルは一卷の終わりになって
いたでしょう。そういう意味では海底面からトンネルまでの土被り(どかぶり
り)という言い方をしますが、それを設計者が 100m と決めたのですね。20
m とか 30m では薄いと当然海の水が直接入ってくる。ところが 200m にす
るとトンネルが長すぎて工事費もかかるのでどの辺がいいだろうというこ
とで、100m に決めました。それがたぶん正解でした。100m 土被りがあつ
たので湧水が出たけれども海の水と直接つながらなかったという結果だと
思います。



トンネルの掘り方ですが、一番左側が通常の掘り方です。中央底設導坑
先進です。まず小さな断面で掘ります。底設導坑というトンネルですが、
これは発破で掘って H 型の支保工を立てて、木の矢板を先に送って、また
発破で起して支保工を立てて、「ずり」を取って支保工を立てて、矢板で
先送りするというのが基本的なやり方です。こういう小さな断面でずっと
掘りまして、次に、上半分だけ掘ります。これも発破で起して大きな 200H

というような支保工を立てて、「ずり」を底設導坑に落として、搬出します。最後に両側の残りの部分を取ってトンネルが出来たあとセントルを組んで全体にコンクリートを打ちます。一番下の部分も掘ってコンクリートを流し込んで全体を覆工コンクリートで覆って出来上がりというのが当時の標準的、基本的なやり方です。

ただ、青函トンネルは地質が悪いので、導坑を両側に掘りました。側壁導坑先進工法です。導坑を両側に掘ってそのあとを側壁コンクリートで打設します。これで足を固めて上半を掘る時には側壁コンクリートの上に支保工を立てます。これで沈下が抑制されますので悪い地盤には最適だということでした。

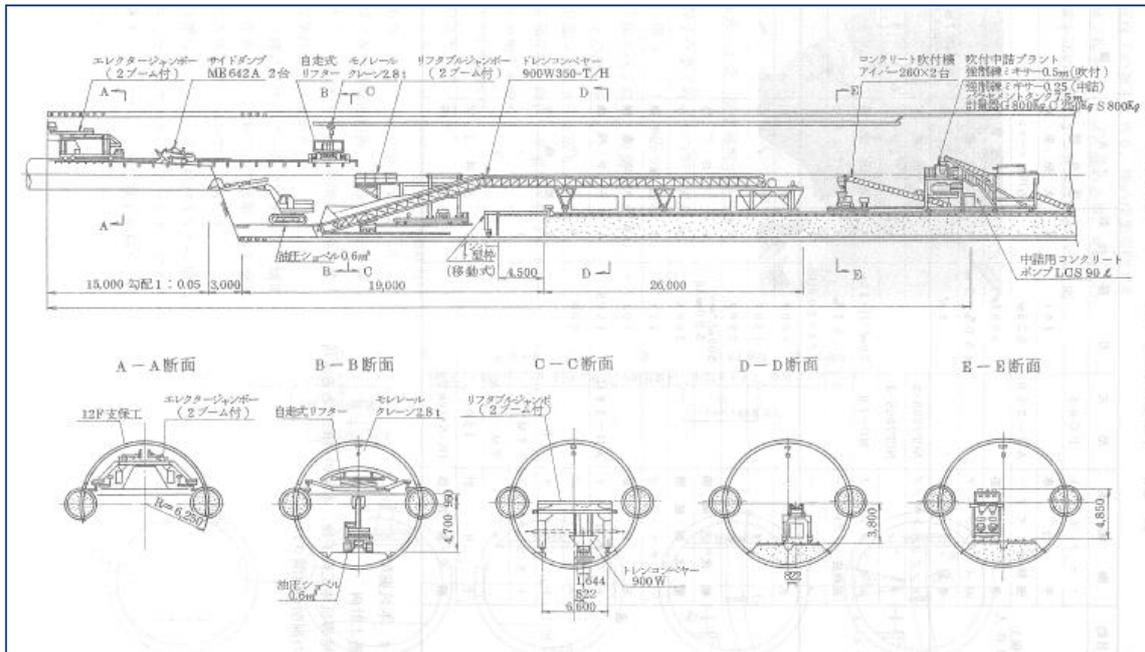
ただ、さきほど F10 の断層があるといいましたが、ここは基本的に膨圧のトンネルですので、かなり地山がでてきます。力学的には円形がいちばん強いですから円形を使用する方法があります。円形ショートベンチ工法です。ところが残念ながら円形は一瞬で円形で掘って使用できればいいのですが、上半分だけ掘ります。上半分で下にストラットを入れているのですが、形としては良い形ではないのでこれはちょっと問題となりました。

その F10 断層をクリアするためには周壁導坑先進円形ショートベンチ工法といわれる小さな円形のトンネルを最初に両側に掘ります。これを足掛かりにしていくと絶対に沈下しないです。このようにして上を掘って下を掘るというやり方で F10 という区間を抜けました。

それが第 5 本坑という区間なのですが工区としては 500m ぐらいしかありません。189m 間を円形ショートベンチ工法で上半分掘って、下半分を掘るというやり方をしたのです。円形ショートベンチということで、一応 200 t/m²の土圧がかかるという想定をされたのですがそれに耐えられる支保工ということで内空半径 4.9m の円形のトンネルなのですが、支保工自体が 10 インチのパイプで中にモルタルを入れて尚且つフープ筋を入れて 200 t/m²の土圧に耐えようということで当初設計されました。そのためにいろいろ試験をして、支保工一本で 800 t ぐらい持ちます。そういう支保工を選定して実際この形で最初は施工いたしました。支保工自体が 70 cm ピッチということでほとんど鉄のパイプがぐるっと囲むような形ですが、重い上半の部分を持ってエレクターという機械を使って支保工を立て込んでパイプの中にモルタルを入れて固めて行くというやり方で掘っています。下半を掘ってリングで閉合するというやり方です。

ところが、下を掘った時に上の部分にもものすごい変状が起きたのです。ここでは枕木を下から組んで抑えるというやり方で補強をやっていました。それから吹付コンクリートを増し吹付けたり、ロックボルトを打設しまし

たが、これでは前へ進めないということになりました。ほとんど中間ストラットも座屈してしまっていました。上の支保工も落ちてくるという状況です。それで、さきほど言いましたような円形の小さなトンネルを掘って、その中を上半と同等な支保工を入れてコンクリートで埋めてしまう。そのあと、上半を掘って、下半を掘るという掘削方法に変更しています。



これはレイアウトですが、このように横に円形のトンネルを掘っています。小さなトンネルですが、基本的に掘削の機械は、排気ガスが発生するエンジンを使えません。エア駆動が主体です。あとはバッテリー、電気を使用しています。当初から内燃機関は持ち込めません。トンネルが仕上がるとその半分を掘ってということを進めていきます。ロックボルトも当時はあまり使われていなかったですが、青函トンネルでは試験を含めて使いました。最後は円形のセンターというものでコンクリートを打って完了となります。円形で上半と下半を掘るというやり方では最大 80 cm ぐらい沈下しました。サイドのトンネルを 2 本掘っていくというやり方では、沈下は少なくなりました。ただ、軸力を計測すると 800t とか 600t の軸力が出ていますので、200 t/m² の土圧は実際かかっていたということが計測で確認されています。487m なのですが 48 ヶ月かかりました。2 年で 500m しか進めなかったわけです。それだけものすごい圧力があつたということです。



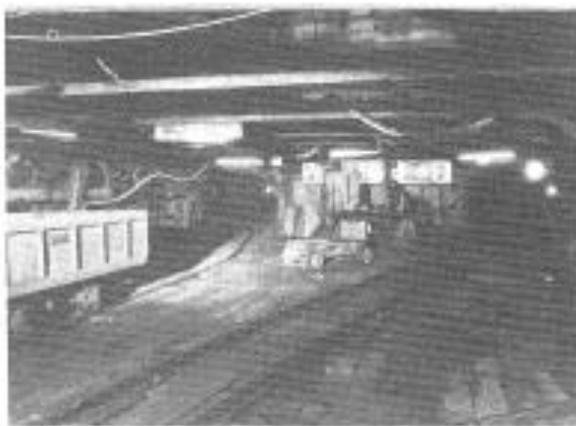
上半掘さく



第 5 本坑上半支保工変状及び補強（1 回目）

◆◆◆第 80 回ウォーターフロント研究サロン◆◆◆

写真ですが、上半はこういうジャンボがあって掘っていったのですが、コンクリートがあって、10 インチのパイプの支保工、モルタルも中に入っているんですが座屈してしまうわけですね。40cm、50 cmも沈下が起きていますので、崩れるとやばいというわけで枕木でサンドルを組んで抑えていたという状況です。途中のストラットも座屈しているという状況なので円形の上を掘って下を掘ってというやり方では対応できない。それで両側に周壁導坑というトンネルを掘るやり方に変更しました。



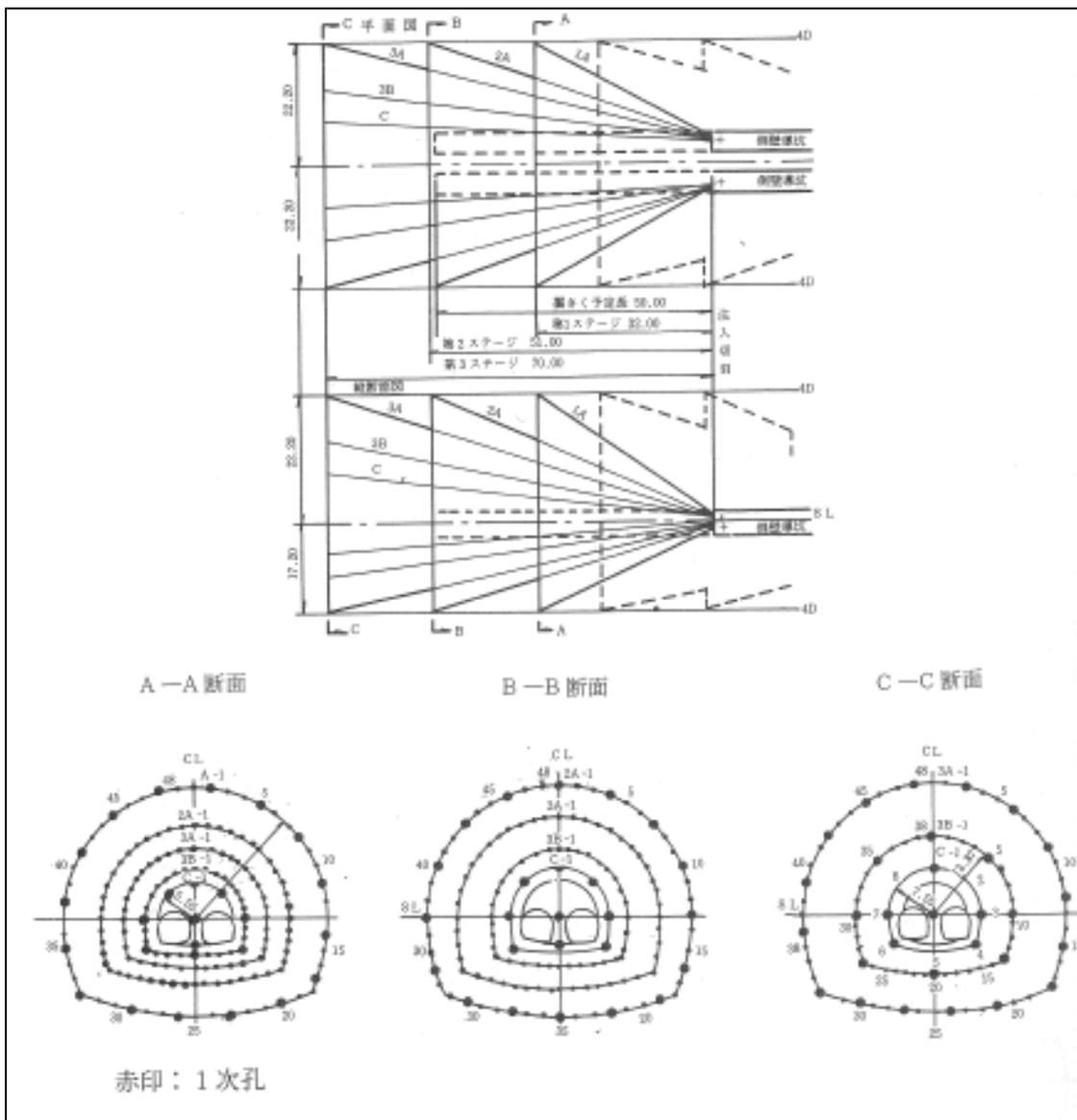
周壁導坑入口

そこにもロックアンカーを打ったり、パイプ支保工を中に入れて狭い中でモルタル充填して、周壁導坑内をモルタル充填して、上半掘削のために基礎となるトンネルを構築しました。



下半掘さく

これは下半掘削ですが、側壁に周壁導坑の円形部分の半分が見えていると思います。これをはつって覆工コンクリートで仕上げました。



青函トンネルでは地盤注入というのが非常に重要でした。出水以降、密に注入をやりました。これは平面的に上から見たものです。この中にラッパ状に第1ステージ、第2ステージ、第3ステージという形で注入をやっています。断面的に見たものですがそれぞれ外側、中側、内側ということで、注入自体はLWということでセメントと水ガラスですね。これを混ぜたものをボーリングした中に入れていくのですが、一本当たり7 m³~8 m³入りました。その中をボーリングしてまた水が出たらもう一回注入をやります。そういうことで注入を何回も繰り返しております。地盤注入の実績ですが

吉岡工区全部で 34 万 m³入れています。大体トンネル 1m 当り 23 m³入ったこととなります。第 5 本坑あたりでトンネル 1m 当り 10 m³入りました。トンネル 1m 当り 157 m³、これは第 13 本坑というところでして、ここでは水が非常に切れなかったですね。未固結の砂層地盤ですからボーリングをして 2～3 m³の水が出て注入をまた 10 m³いれます。また掘ると同じような水が出ます。この区間が注入では一番難儀をいたしました。トンネル 1m 当りの掘削量というのは 100 m³ぐらいなのですね。掘るより 1.5 倍ぐらい地盤に注入したというような状況がありました。そんな苦労がありまして昭和 58 年 1 月 27 日にやっと先進導坑が貫通しました。

初めて、本州と北海道が地続きになったということで、現地で大変感動した記憶がございます。

北海道新聞の夕刊に一面で「本道、本州今陸続き、難工事 19 年」ということで貫通点では北海道の堂垣内知事と青森県の北村知事が握手をしている写真が載っております。



そのあと 2 年して、昭和 60 年 3 月 10 日に本坑の貫通となりました。このときはもう私は現場を離れ本社に戻っていました。



私の写っている写真はこれです、どこにいるかというところが私です。25～6歳の若いころの私が写っています。後ろが吉岡JVの事務所です。当時、全体で120人ぐらいが吉岡JVに勤務していました。作業員としては延べ1,400万人の人が従事しました。吉岡工区だけでもピーク時は1,500人が働いていた。245万時間無災害という記録も残しております。

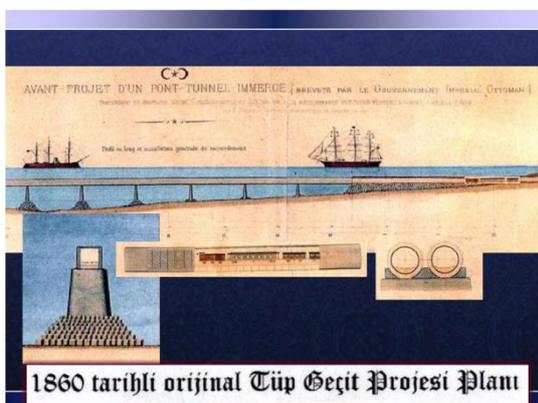
ここからボスポラス海峡の話が変わります。位置は当然御存知ですね。トルコのボスポラス海峡、黒海と地中海の間になります。イスタンブールになります。マルマライ路線ということでヨーロッパ大陸とアジア大陸を結ぶということで全長としては76.6kmの線路の計画です。私たち大成が担当したのはボスポラス海峡の13.6kmの部分を実行しました。



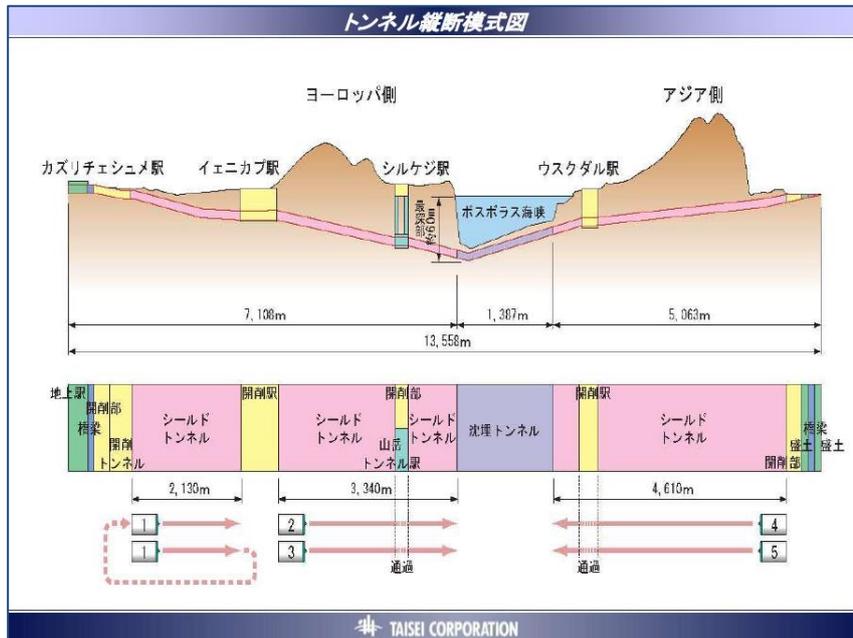
ここが旧市街、こちらが新市街。こちらがアジア側ということになります。新しく路線を作ったのはカズリチェシュメ駅からシルケジ駅、ここから沈埋トンネルになります。ウスキュダル駅があってここから在来線に繋がります。この区間を大成 JV が施工しました。



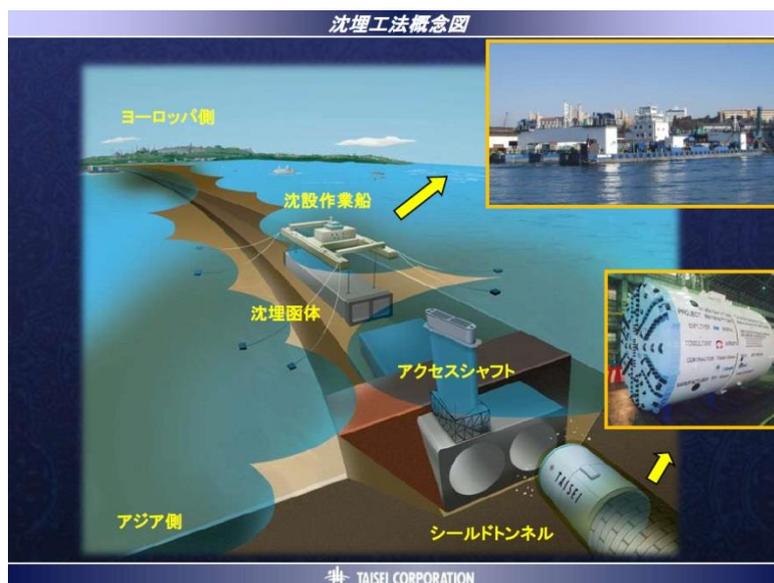
これはボスポラス海峡の写真です。こちらが湾になっていてこちらが海峡になっています。ここがかの有名なブルーモスクがある旧市街地になります。その下をトンネルで抜ける。海峡の下は沈埋トンネルでアジア側もまたシールドで掘る。



1860 年にこういう絵があるのですね。ボスポラス海峡にやはり鉄道を通したいということで、海底下を掘るのではなくて海中にトンネルを設置するのですね。海中トンネルは海底に設置された支保工というかピアに支えられている。そして中を汽車が走るといふ絵が 1860 年に書かれていたようです。そういう意味ではこれが 150 年経って実際に実現したということで、駅にこの絵が飾ってあります。



トンネル延長としては全部で 14km です。ボスポラス海峡自体いちばん深いところで 60m の水深になります。これが世界で一番深い沈埋トンネルとなっております。掘り方なのですが、沈埋トンネル工法、シールド工法、山岳トンネル工法、開削トンネル工法にて掘っています。この区間というのは 1 回掘ってまたシールドマシンを戻して掘りました。それ以外はそれぞれ 2 号機が掘って 3 号機が掘って、4 号機が掘って、5 号機が掘ってというように全部で 5 台のシールドを投入して掘っています。最後にここで沈埋トンネルにぶつけるという形です。沈埋は幅 15.3m 高さ 8.8m という断面です。シールドに関しては単線断面でこれを 2 本掘る。



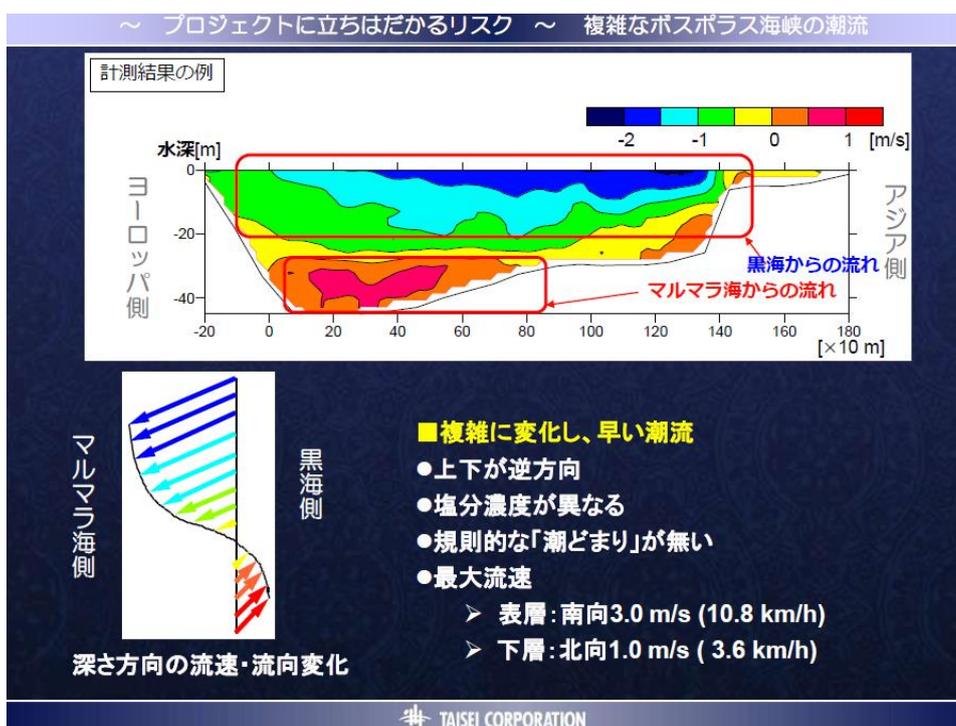
今回の沈埋工法の大きな特徴は立坑がありません。普通ですと、立坑を掘って立坑から沈埋トンネル設置するというのが普通の工法なのですが、立坑を掘るとそれだけ費用がかかるということでここでは立坑を掘らずにやっています。世界初になります。立坑がないものですからアクセスシャフトを設置して海の上から下に作業員が降りて入って行きました。最後に地上部との接続はシールドマシンが沈埋函にドーンと突っ込むという形です。これが沈埋函で幅が 15.3m、高さが 8.6m、長さが 98~135m で設置しております。

沈埋函の製作ですが通常ですとドック作って持って行くのですがトルコには大きなドックがありません。どうしたかという一回、ドライドックで半分だけコンクリートを打っています。そして浮かせてそれを曳航して係留して上のコンクリートを打つというやり方をしました。このドライドックが水深がないものだから全部打つと浮き上がらないので半分だけ打って引っ張り出して栈橋に並べて上を打設するという方法で沈埋函を作りました。

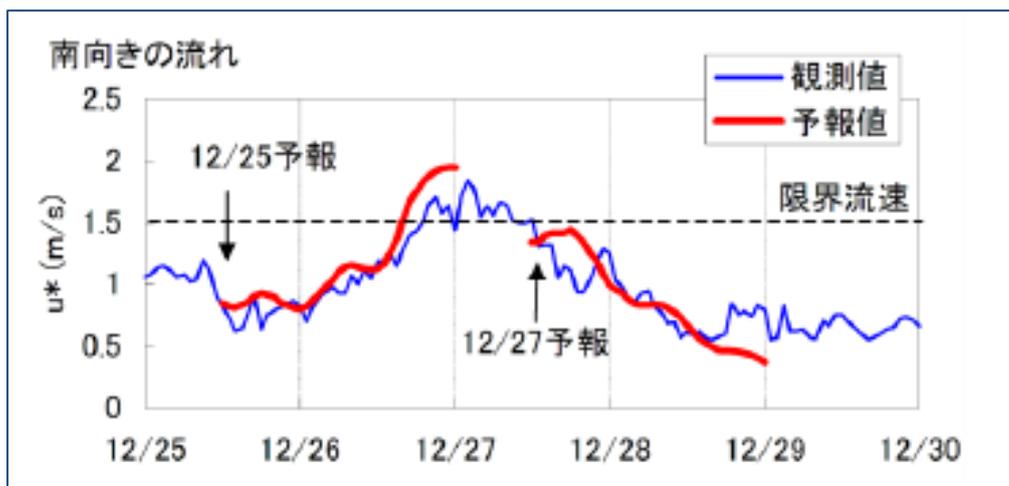
トルコも地震国なんで鉄筋が密になっています。ここにせん断補強筋がたくさん配筋され半分はフックになっていますが、片方にはプレートがありますね。ヘッドバーという商品なのですが、これを使っています。ヘッドバーというのが私のいる VSL JAPAN で作っている製品でして、通常のせん断補強筋は両端がフックになっているのですが、それだと組み立てに非常に苦労します。片側にプレートを付けたヘッドバーはボスポラス海峡で 120 万本ほど使っていていただいております。それは日本から作って持って行くのは大変なので現地で作りました。作り方は、プレートを毎分 2,000 回転で回転させて、鉄筋を押し付けます。1,200 度ぐらいになるのでそこでぐっつと押し付けるとくっつくという摩擦圧接というやり方です。自動車のシャフトなどはこの技術が使われているのですが、土木関係では摩擦圧接を取り入れたのは、このヘッドバーが最初ではないかと思えます。



ドライドックで製作した函体を持ってきて浮上打設といって浮いたところに上からバランスを取りながらコンクリートを打った写真です。浮上構築は世界初ということで偏ると変形したり、おかしなことが起きますので姿勢制御をしながらコンクリートの打設の順番を配慮してやりました。



沈埋函で問題になったのはボスポラス海峡の潮流です。上と下で流れの向きが違います。基本的には黒海から地中海に流れて行くのですが塩水濃度の関係で下は逆の流れになるのです。上から降ろす時に流れが変わるといことでうまく降ろさなければならぬ。そのためにどうしたかということと潮流が速いと沈設できませんのである程度潮流を予測しなければならぬ。



ボスポラス海峡の水位とか気象関係のデータを日本に持ってきて日本の技術研究所で解析して予測してやろうということで、潮流予測システムを作りました。こんな感じで流速が変化するので、打設日を決めるには

流速が穏やかな時を選ばなければなりません。これでは 12 月 25 日の赤が予測ですが、実際はこうだったというわけです。かなり予測がいけるねということで、このシステムを使って沈設する日を決定して全てうまくいきました。限界流速というのが 1.5m/sec でこれ以上になると、沈設ができないので、その日を避けて沈設の日を決めました。



これが沈埋トンネル区間の旧市街の夕焼けをバックにした浚渫工事の写真です。なかなかきれいですね。ここにいる船ですが関門港湾建設の船です。下が岩盤なのでなかなか難しくて浚渫ができない。トルコなりヨーロッパで探したようなのですが硬岩で浚渫する技術がない。それで関門港湾建設の船が一番優れているので来ていただきました。

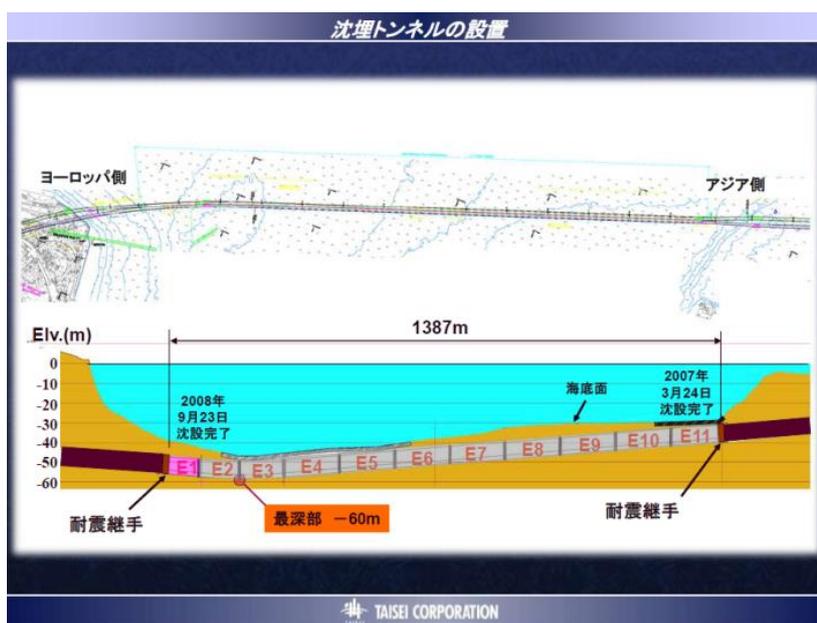


沈埋函の接合は水圧接合ですね。水を抜いて水圧でガスケットにてドッキングさせるといことです。せん断キーがありますね。これが地上にアクセスするためのシャフトです。シャフトは、かなりの流速のところで設置しなければならないのでフィンをつけたりいろいろな工夫をして下に降ろした沈埋函とシャフトで出入り口を作った時の状況です。どういうことかといいますとこの部分ですね。沈埋函を一旦設置して降ろしてアクセスするのに、栈橋を持ってきてここから渡って降りてくる。階段を降りて行ってこの中の作業をするというようになっております。

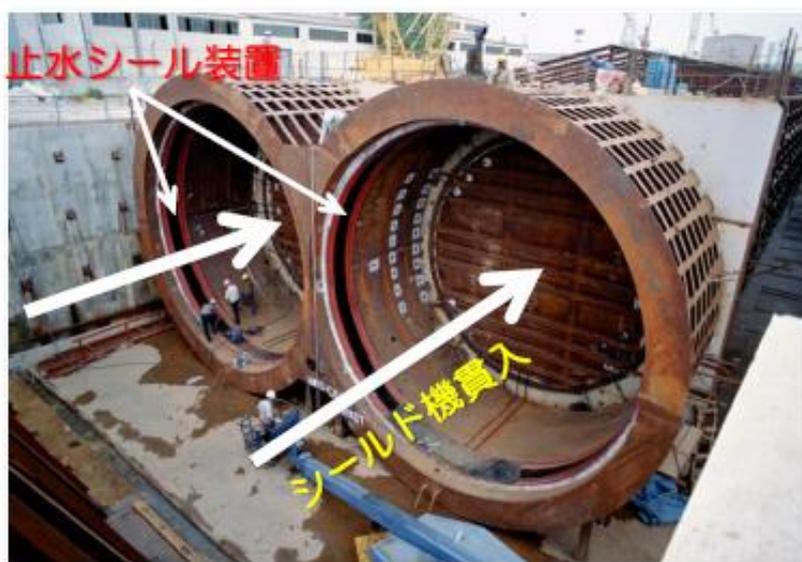
ここからずっとシールドマシンが来てここにドンと最後はドッキングさせます。ここはアジア側の基地になっています。国際航路でいろいろな船が来るのでこの辺は衝突防止とか安全関係のことに関してもいろいろ気を遣いました。シャフトはもしかしたら船が来てぶつかったら大変だ、中に作業員が取り残されるので、そのための救助の方法というのもいろいろ工夫をしました。その準備はしましたが使うにはいたりませんでした。



これは沈埋函を曳航しているところです。沈埋函を抱えています。



E11 から 2007 年 3 月に沈設していった最後に E1 ということで、約 1 年半かけて全部で 11 函の沈設を終わっております。



シールドをぶつけなくてはいけないので、沈埋函にこういう形のものを取り付けてそこにシールドをぶつけます。ぶつけ方なのですが、ぶつける部分は LW で固めています。上下で凍結した区間があってそこにシールドマシンがガーッと掘りながら入ってくるわけです。入れた時点で凍結を解除します。解除してここで弁を降ろして止水します。あと、グラウドを入れて、止水剤を入れて二重の止水をしたところで前面を開いて止水鉄板をして三重の止水をやった後、最後に貫通させる形で安全には安全を期して接合の方法をしております。



これがシールドマシンが沈埋函にドッキングした状態です。



それからこれがシルケジという駅で、旧市街になります。トプカピ宮殿がありますが、トンネルはその下を縫っています。尚且つ、駅にもいろいろな建物がある。旧市街のど真ん中に掘ろうということで立坑2カ所掘って、下に地下の駅を作りました。北と南の出入り口が2つです。古いシルケジの駅がありますがオリエント急行はここが始発でした。

トンネルの構造としては換気立坑があります。沈埋函のとき立坑を作らなかったのですが、ここで全てトンネルの換気をするということでかなり大きな断面の換気立坑になっています。これを作業基地にして下へ降りて行ってトンネルを掘りました。

トンネルの掘り方なのですが、先ほどの青函トンネルとは全く違っていて、NATM 工法というのが主流になっています。小さな導坑を掘って広げて行ってロックボルト、コンクリート吹付で支保していきます。支保工とか矢板とかはメインではなくて、メインはロックボルトと吹付で降りて行きます。即時支保すると安定化しますので、だんだん掘り下げて行く。駅部の最大断面は高さ 15 メートルなのでかなり大きな断面なのですがこういう方法で掘削ができます。地質の悪いところがありまして、沈下が一番問題になりますので、沈下に対してはフットパイルということで斜めに足元を固めていきます。足元を固めたところで掘って吹き付けて支保するという方法を取っています。その時の写真ですが人がこの大きさですから断面がどのくらいの大きさか分かりますね。



PFV-L の掘削状況

あと、遺跡調査で大変苦勞しました。換気用の立坑が 2 つあったのですが、掘る毎に 5 世紀が出てきて、これをまた掘ると 4 世紀が出てきてと、時代がどんどん遡り、遺跡ばかり出て来るので大変苦勞しました。ウスキュダル駅というところでは教会跡で人骨が出てきたり、イエニカブ駅では栈橋の杭が出てきたところもありました。古いビザンチン時代の船も確か出てきました。



いろいろな遺跡が出てきて、もともとの工程が 2004 年から 2009 年で済む予定だったのですが、遺跡調査に時間がかかりましたので工期が 5 年延長となりました。2013 年というのがトルコ建国 90 周年に当るのでそれに合わせて、安部総理も出席して開通式のイベントが行われました。工事としては駅の工事もありましたので、去年終わりました。以上です。

どうもご清聴ありがとうございました。