

津軽海峡連絡鉄道(トンネル)の調査について

正員 国鉄札幌工務局長 原 口 正 一

目 次

〔I〕 はしがき	140
〔II〕 調査経過概要	140
〔III〕 調査実績	141
(1) 地形測量	141
i) 陸上部	141
ii) 海底部	141
(2) 地質調査	141
i) 陸上ボーリング	143
ii) 海底部弾性波式調査	143
iii) ドレッシングと浅尺ボーリング	143
イ) ドレッシング	143
ロ) 簡易沈潜式ボーリング	144
iv) C.S.P (スパーカー)	144
v) 海底観察	144
vi) 航空写真撮影	144
〔IV〕 調査結果に基づく地形、 および地質の推定	147
〔V〕 工事設計および施工の基本的事項の 研究実績	147
(1) トンネルの断面	147
(2) トンネル掘さく上の要点と注入工法	148
〔VI〕 今後更に調査研究を進めるべき事項	148
(1) 地質調査	148
(2) トンネル施工の研究	149
i) 一般工法	149
ii) 特殊な工法	149
イ) 遠隔操作によるトンネル掘さく	149
ロ) 注入工法	149
ハ) 凍結工法	150
〔VII〕 結 び	150

〔I〕 はしがき

北海道の開発が、わが国経済の発展に重要な地位を占めることは明らかであるが、北海道の開発を促進するためには本州との間の輸送力を増強し速度の向上を計るとともに、天候に支配されることのない確実な輸送を確保することが重要な課題であつて、このためには津軽海峡をトンネルで渡ることが最善の方法である。わが国有鉄道では、昭

和21年より昭和24年まで津軽海峡の地域全般にわたり概略の調査を行なつたが、その後昭和28年第16国会で「青森県三厩付近より渡島国福島に至る鉄道」が、鉄道敷設法別表に予定線として追加され、本格的調査が開始された。(図-1参照)

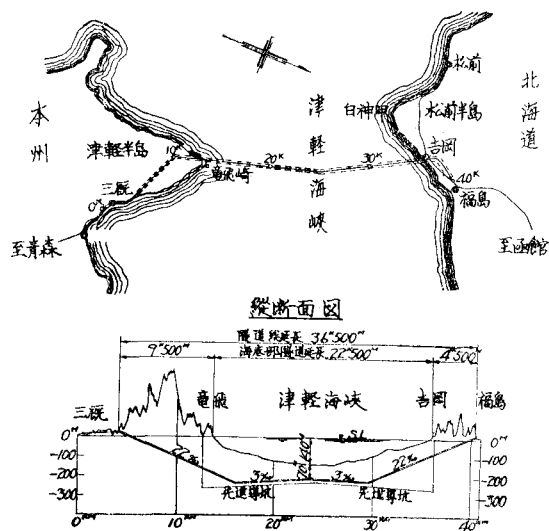


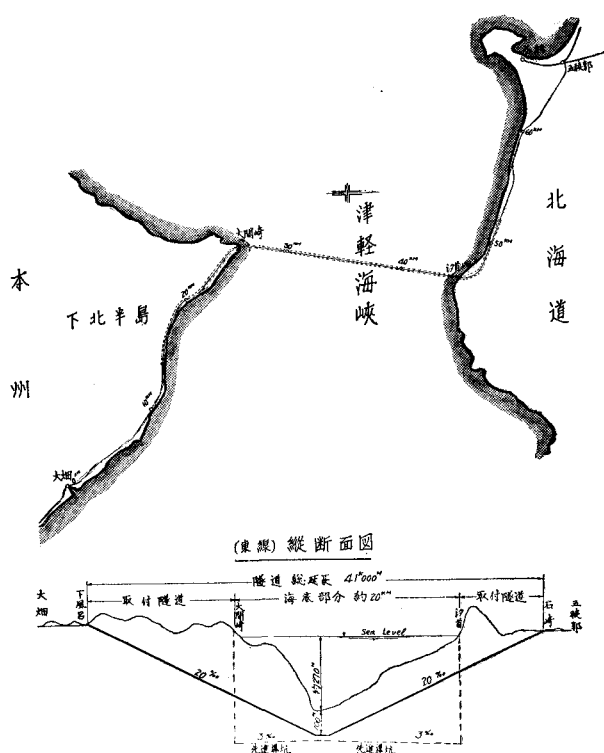
図-1
(西線) 平面図

〔II〕 調査経過概要

本州と北海道とを結ぶトンネルのルートとして考えられるものに、下北半島大間崎より北海道汐首岬に至る東線と(図-2参照)、津軽半島竜飛崎より北海道白神岬、あるいは渡島福島付近に至る西線の二つがある。この両線の比較を図上で検討するとともに、21年、22年にわたり関係地域全般の地質踏査を行なつたが、それによつて東西両線を比較すると、海底部の距離は東線約20km、西線約22.5kmで甲乙ないが、水深は東線260~280m、西線140mで大差があり、東線は

- 1) アプローチの陸上トンネル部を合せるとトンネル延長が著しく長くなる。
- 2) 下北半島北岸に沿つた海底の地形が断層地形を思わせる。
- 3) 那須火山帯の中軸にあたるので、火山作用の影響が予想される。

などいろいろの理由で不利と考えられた。それでその後は



図—2
(東線) 平面図

調査の重点を西線に置くこととし、昭和24年までに

- 1) 本州竜飛崎および北海道吉岡付近のボーリング
- 2) 三厩、竜飛間の陸上弾性波地質調査
- 3) 竜飛、吉岡間海上弾性波調査 (一部は後年に残る)

などを実施、以下にのべるように現段階で考えられるあらゆる技術を動員して調査につとめ今日に及んでいる。

〔III〕 調査実績

鉄道の線路選定にはまず既製の1/50,000の地図におよその線形を描き、その予定ルートに従って幅600~1,000m程度の範囲で1/2,500地形図を作製し、更に地形の複雑な部分は1/500の地形図および横断面図を作製してルートを確定する。トンネルなどの工作物および路盤を構成する切取、盛土の部分はいずれも地質により施工法に影響し、工事費に著しい変動をきたすものであるから、早く安全

な工事とするため、地質を調査し、ルートを決める仕上げを行なう。従つて予定ルート全域にわたりほぼ同一精度の地形図と地質調査を必要とするが、海底部分および海岸付近は陸地より更に詳細な調査が望ましいのである。海域の詳細な地形測量や地質調査は、波、潮流、および風に大きな制約を受けるが、この三者はそれ自体非常に難しい問題であるので、相当の費用と期間をかけても精確を期することは困難であるが、以下に述べるような作業を実施して、着々その精度をあげつつある。

(1) 地形測量

i) 陸上部

陸上部の地形測量はルートの決定および地質精査のために必要に応じ表-1のとおりこれを実施した。

ii) 海底部

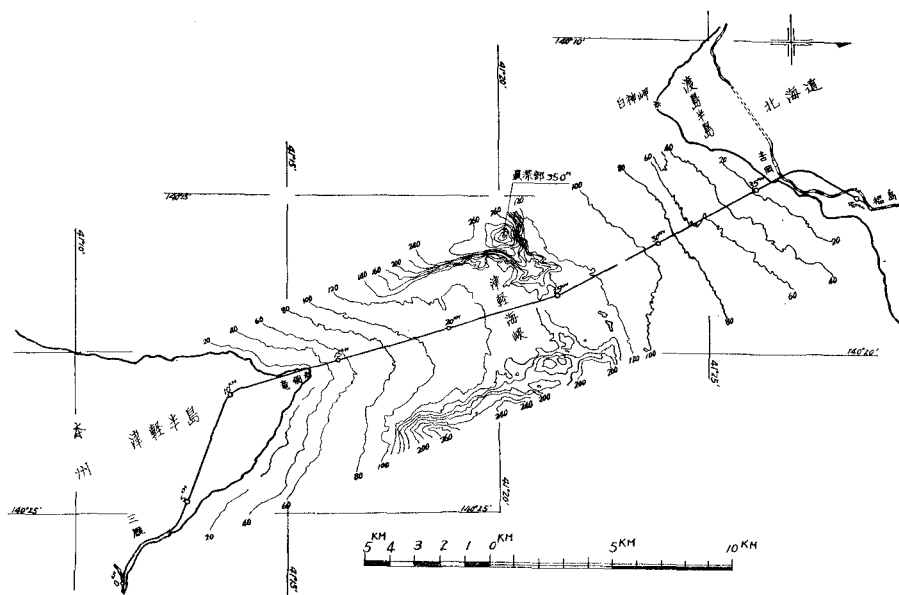
海底の深浅が本トンネルの延長に著しく影響するので、海底の地形によりトンネルは幾らか曲線が入つても地質の良い浅い所を狙つた方が得策であり、詳細な地形図を必要とする。また地質を調査するには直接のボーリングは水深50m以上は、わが国においてまだ経験もなく、海流、波浪、風の影響などが著しく、技術的に難しくかつ費用も著しく嵩むので、火薬の爆発による人工地震を利用する弾性波式、または電気火花などによつて生ずる音波を利用する方式などの物理的な間接法を多用することになる。従つて海底部地質の想定には陸地から、引続く地形による推定が比較的大きくなるので、海底部分の地形測量は陸地以上に詳細が望まれる。海底の深浅測量には測点の位置決定が問題で、このため測量は専門の海上保安庁水路部に依頼した。水路部では昭和30年に、当時最新の位置測定機械のデッカーにより、青森方大間岬、襲月、および北海道方吉岡の3点で三角を形成正確に測点を出し、竜飛・吉岡線を中心として幅3~4哩にわたり精細な測量を実施、1/20,000、2mコンターの海底地形図を完成した(図-3参照)。

(2) 地質調査

海水の下にトンネルを掘るので、海岸および海底部分の地質がトンネル工事の成否をきめることになる。トンネル工事の難易はトンネル内へ水が湧出してくる程度の如何によるもので、複雑な褶曲作用を受けた地山、熱により変質

表—1

測 量 区 域	縮 尺	外業実施年月	備 考
福島、白神間 (約9 km) の海岸付近	1/2,500	昭和 22. 8~10	
増川、竜飛間 (約13 km) の海岸付近	1/2,500	昭和 23. 7~ 8	
津軽半島、三厩、小泊線以北の区域	1/10,000	昭和 30. 6~ 7	航空写真より図化
渡島半島葺盤坂以南、白神岬に至る区域	1/10,000	昭和 34. 10~11	同 上



図—3 津軽海峡地形図 (2m コントアを省略)

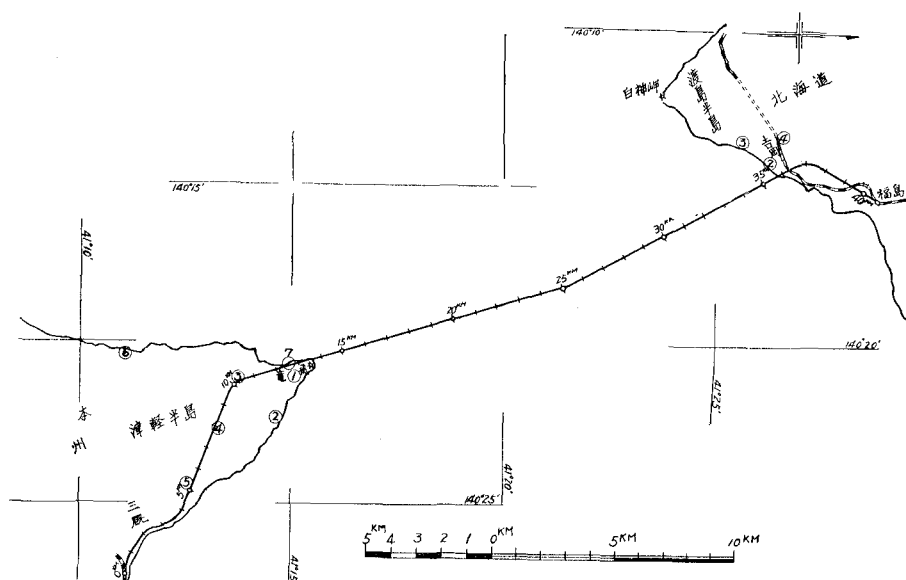
した脆弱な岩石、断層あるいは砂層でも湧水さえほとんどなければトンネル掘さくには左程困難ではない。大事故を起し掘さく不能に陥るのは湧水によるのであるが、陸地におけるトンネルでは極めて多量の湧水があつても、その量には限度がある。しかし大きな河川、まして海の下部を掘さくする場合、湧水が上部の河川の水または海水に続いていれば無限の水量が流入することになる。

水圧が水深 40 m 程度以内であれば、圧搾空気により湧水を押えて掘さくすることができるが、これ以上の水圧では圧搾空気です水をとりまることができても坑内での作業がで

きなくなる。従つて海岸近く、および海底において湧水がいかなる程度であるか詳細に知つておかなければならない。

岩石の性質および地層の重なりの状態、水成岩と火成岩の接触部分の変質の程度、褶曲作用の程度、また断層の規模およびその性質などにより湧水を推定するのである。

海底を直接ボーリングすれば、その地点における岩石の状態、および透水の程度も知ることができるが、水深の深い所でのボーリングは世界でも例が少なく、わが国では経験がない、従つて技術的に容易でなく相当期間も必要であ



図—4 陸上ボーリング位置図

るし、かつ、また費用も嵩むので海底部分についてはまず全般的の傾向を掴み逐次調査を進め、本格的な海中の深尺ボーリングは数少なくて済むように考えた。

以下調査の順に従って簡単に効果と実績を述べる。

1) 陸上ボーリング

地層の層序を定め層厚を知るには、層序測量という方法もあるが、これは露頭の連続露出を必要とし、一般的にはボーリング程直接的かつ正確なものはない。またボーリングは湧水の有無あるいは湧水量の判定、断層があればその破碎状況などをも併わせて調査することができる。

以上のような見地から津軽海峡の調査では、昭和22年度から昭和30年度までに本州側に7本、北海道側に4本、合計11本施工した(図-4、5参照)。

ii) 海底部弾性波式調査

海底あるいは海中で爆薬を爆発させ、海上に計器を浮かして一直線に曳航し、これを測線として地震波を記録させ、地震波の伝播速度により岩石の性質および層の境界を推定するのである。間接であるが広い地域の大勢を短期間に察するに適するが、海上作業では各発破地点、受振地点を同時に正しく所定の位置に保持するのが困難で、これが難点である。この海峡の調査に関連して今日までに実施したところを総括すれば表-2のとおりである。

iii) ドレッシングと浅尺ボーリング

イ) ドレッシング

海底の露頭は簡単に肉眼で見え、かつ手にとつて分析することができないので、船からドレッシャーにより海底岩石を採取して、海底表面の地質を判定するのであつて、一見いかにも原始的であるが、比較的短期間に多数地点で安価に底質を採取できるという大きい利点を有し、海底地

質調査の第1段階として不可欠のものとされている。この海峡では昭和28~33年の間に総計2,011点でこれを行ない、そのデータは地質推定上重要な参考資料となつている。しかしドレッジによる試料採取には、

a) 砂・泥などの堆積物が被覆していると下の岩盤を採取

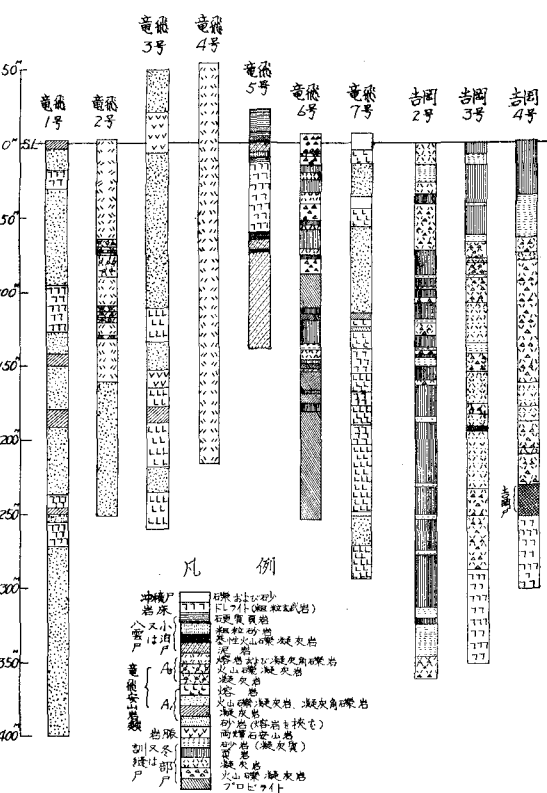


図-5 ボーリング柱状図

表-2

目 的	方 法	調 査 測 線	野 外 作 業 実施年月日
陸上部地質構造調査	通常の屈折波式	三厩-竜飛間 10.770km 竜飛崎付近で、上記と大体直交 910 m 吉岡-折戸間約 300 m	昭 22. 5.21~9.18 23. 6.15~6.30 24. 11. ~ 12
海底上表面の予備的概査	全長を10区間に分ち、各ブロックごとに両端で発破、感震器を中間各点に順次移動せしめる方式	竜飛-吉岡間 21.7 km (但し中央部 2.5 km は) 実施不能となつた	23. 7. 3~8.31
海底部基盤構造調査	全長をほとんど1測線と考えて、両端に感震器を固定し中間各点で順次発破を行なう方式	竜飛-吉岡間 { 北, 中部 21.7 km { 南 部 吉岡沖 2.3 km で上記に直交する直線上距岸 700 m 間	28. 7. 8~8.19 30. 7.10~8.17 29. 8.10~8.26
感震器浮遊移動方式の準備実験	感震器を borne に納め何箇かをある間隔で連結して海面下数米を曳航する方式	工技院地質調査所と協同し直営	30.8 中旬-9.下旬

し得ない。

- b) ある距離(100 m 以下にすることは至難)を引っぱって採取する関係上、その間の岩石が混合採取され位置の精度が低い。
- c) 採取した岩石が本当に岩盤の一部か、転石なのか、識別し難いことがある。
- d) 岩盤の一部が得られても、海底表面が風化していて確実な判定が困難のことがある。
- e) 地層全体としての固結度、割目の程度を知り難い。などの難点がある。

ロ) 簡易沈潜式ボーリング

上記の欠点を補うのは、海底に対するボーリングである。本格的な海底ボーリングは諸般の困難を伴うが、1 m 程度以内なら軽易に行なうことができる。海中に投入し、船上から操作できる簡便な沈潜式浅尺試錐機(小川式)の試作とボーリングを海上保安庁に依頼し、水路部において昭和33年8~9月に実施した。(本州寄5カ所、北海道寄21カ所)

iv) C.S.P (スパーカー)

これはここ数年、米国で急速に発達した新技術で音響測深機(ソノプロブ)と同じ原理によるが、より強力なものである。これは低周波の音源を用いて、単に海底面からの反射のみならず、海底下地層中の種々の物理的不連続面から反射してくる音波の伝播時間を連続的に測定し、連続的に地層の断面図を描くものである。

現場作業は昭和34年8月9日より19日に至る間に行な

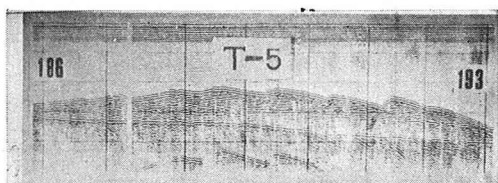


写真-1 スパーカー記録

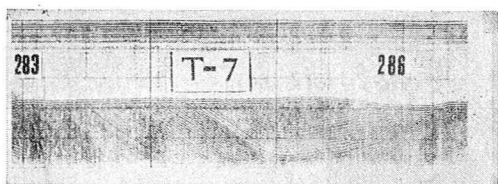


写真-2 スパーカー記録

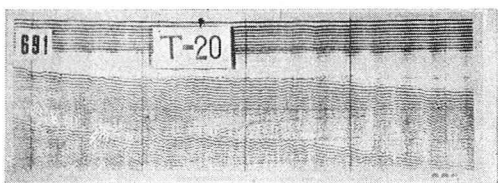


写真-3 スパーカー記録

い、28測線、総計208 kmの調査を実施し、地質断面の記録図の延長は141.7 mに達した(写真1, 2, 3参照)。

これだけでは地層の変化を知るだけであるが、測線の配置密度はまだ1 km² 当り1 km 程度にすぎず、本州-四国連絡ルートにあたる明石海峡で実施した5 km/km² に比しても不十分である。

v) 海底観察

以上のべたように、いろいろの手段を駆使して調査し、それぞれ資料を得て一応推定をつけるに至った。この推定した結果を更に直接肉眼で海底の地形および岩石の露頭を視て確認するために、昭和35年9月に三重県鳥羽市東海サルベージ K.K. 所有の白鯨号、東海号および北海道大学の黒潮号などの潜水艇を使用して海底の観察を実施した。

北大の黒潮号は約1.5 m 掘進することのできるボーリング機械を艇腹に取付けたが、この装置の取付けに手間取り充分の期間使用することができなかつたが、東海サルベージの白鯨号により17測線(1測線1 km) 観察することができた。

明石海峡は透明度が悪く、視界は2~3 m 以内程度であつたが、本海峡は透明度が良く水深160 m 程度の海底で水平方向左右約15 m 程度、下方10~5 m 程度までは詳細に視ることができた。海底の地形が見えるまでは濃い青紺色に包まれており、曳行のショックがなければ動きは全然分らない。海底は一面の砂礫部分もあり、また20 m 以上とも思われる切立つた絶壁もあり、海岸のように波浪の浸蝕によるなだらかな地形はなく凝灰岩の所は妙義山などと同様凹凸が激しい、従つて海底に工作物を設置する場合は場所により容易ではないと思われる。

観察の結果は今までの調査による推定は地質は極めて妥当であり、地形もほとんど差異はないと認めることができた。しかし海底に工作物を設置するには部分的に更に精査を必要とする(写真4参照)。

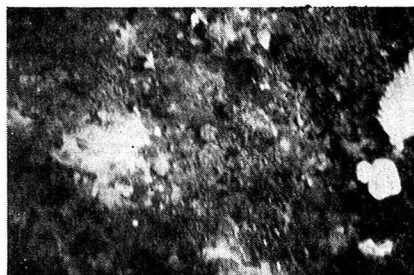


写真-4 第6測線深さ95 m の海底

vi) 航空写真撮影

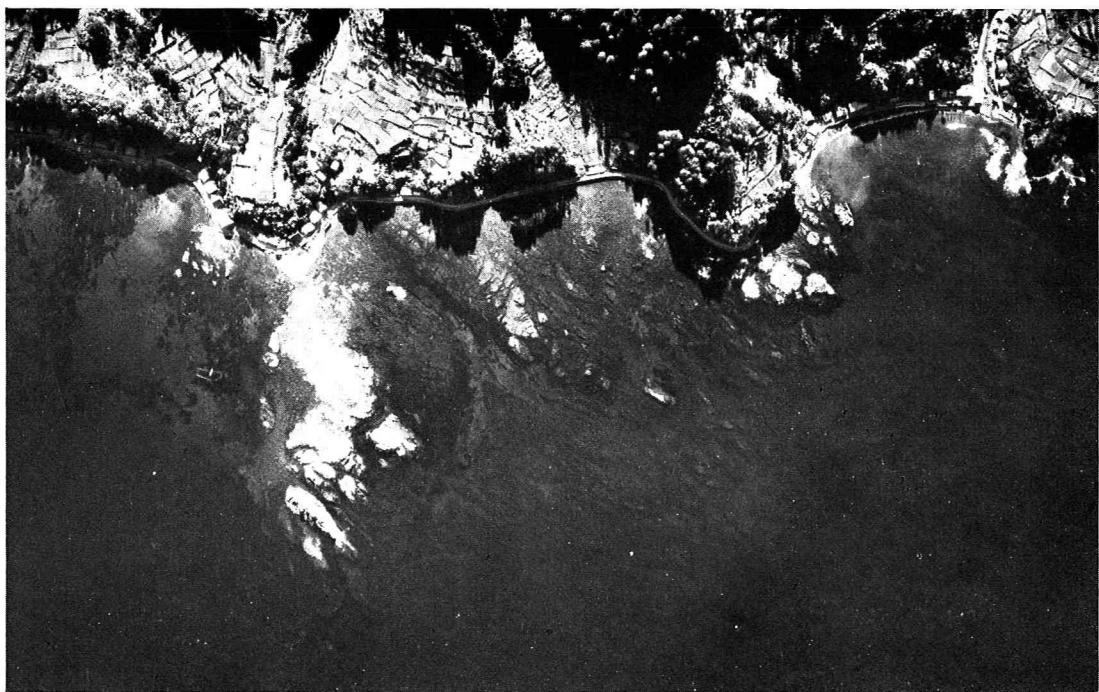
海峡の中、海岸に近い水深20 m までの浅い部分は、アクアラングなどによる海底の観察や、ボーリングも簡単に行なえるので前記諸調査を省いていたが、相当広い範囲になるので航空写真により地形図をつくることとした。昭和



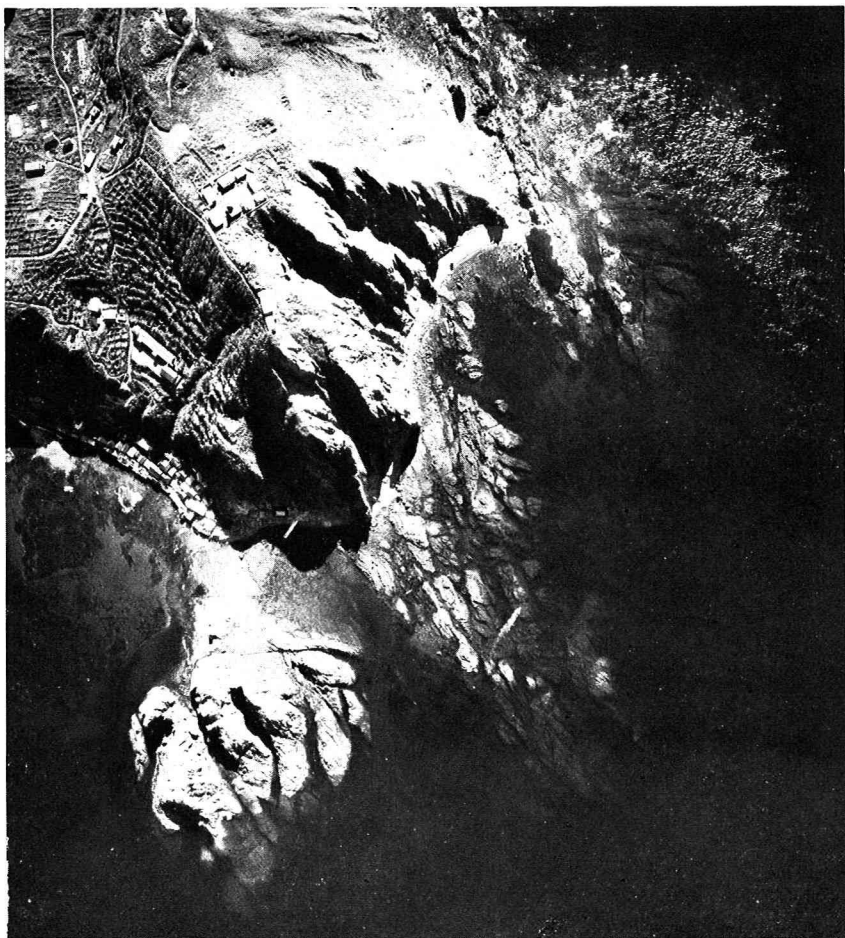
写真—5 航空写真(北海道方)



写真—6 航空写真(北海道方)



写真—7 航 空 写 真 (青森方)



写真—8 航 空 写 真 (青森方)

35年10月延長52 km、面積52 km²間に実施した。

この結果は既調査の陸地、海岸および深海部分の資料により、地層の配列および走向が明瞭に判り、脊斜、向斜の位置、断層の存在およびその走向を明らかにすることができ、陸地と深海部の地形、地質をほぼ完全に連絡することができた(写真5, 6, 7, 8参照)。

〔IV〕 調査結果に基づく地形および地質の推定

現在まで数年にわたり、上述のように各種の調査を行ない詳細な地形図(深淺図)、海岸における深尺ボーリング11本、海底のドレッシング2,000点以上、簡易沈潜式海底ボーリング26本などの資料および測線延長57 kmの弾性波による地質調査資料を基として、スーパーカーによる延長208 kmに及ぶ28測線の記録を1年にわたり詳細に分析した結果、地層の走向および傾斜、断層、地層の褶曲の状態など本海峡の海底の地質構造を相当細い点まで解明することができた。

以上により津軽海峡の地形および地質の概略は次のようである。津軽海峡西口付近は、大部分が水深90~120 m以内の陸棚からなつて広く、一大浅帯部を形成し、その中央部では、本州北海道間の最大水深が浅く138 mのところがある。ここが本州・北海道を直結する海底トンネルのルートとして地形上第一に候補としてとり上げられているわけである。この浅帯部の西側には水深約350 mと450 mの二つの海釜が東西に並んでいる。

海底部の地質は今までの調査結果から総合すると、竜飛吉岡間の浅帯部の西側面はいずれも顕著な断層になつており、東西両海釜には黒松内層~瀬棚層の若い地層が分布しているのに対し、浅帯部上にはより古い地層が発達して一大地壘をなしている。

この北部は、北海道側福島・吉岡付近の陸上で見られる地層および構造から大体追跡できるところで、白神岬北方あたりが大きな脊斜ないしドゥムの頂部にあたり、古生層を基底として、東または東南に福山・訓縫・八雲・黒松内と順次上位の地層が現われている。しかし音波探査の結果によると南北ないし北東方向の断層が少なく、細部的にはかなり錯雑した地層分布を示しているものと解される。吉岡沖付近から海峡中央部にかけては広範囲にわたり黒松内層が分布し、北北東に長軸を向けた向斜性の一大構造盆地を形成している。この層は比較的軟い凝灰質沈泥岩~細粒砂岩を主とし、中に極めて堅い泥灰岩の縞を数十層挟んでいるため、強い潮流に対して差別的に侵蝕されて見事なCuesta地形(硬軟互層に生じた小凹凸に富む鋸歯状の地形)を呈している。

地形図で、海峡中央部付近に不規則な小凹凸が多数あるのはこのためで、断層とは全く関係ないものである。

海峡の南半部には再び訓縫層相当の緑色凝灰岩類が発達

している。しかし竜飛沖6~7 km以内の間では、色々の火山岩類を多量に伴い、津軽半島北部と同様往時(第三紀)の激烈な火山活動の中心に近かつたことを暗示している。

現在、この海域はほとんどが侵蝕の状態にあるが、上記白神岬東方の外、福島・白符・宮歌・吉岡川などの川口沖では現に砂、泥が堆積しつつあり、更にその延長上には細長く礫の分布する地帯があつて、地形的にも旧河道とおぼしきものを水深60~70 m付近まで追跡することができる。また竜飛半島を取りかこむ地域でも、砂礫の分布するところが少なくないが、その大部分は往時の海岸段丘が溺れたものと解される。

註

瀬棚層……固結不充分的砂質岩が主で海棲介化石を多く産し、稍炭化せる流木や亜炭層を含む。

黒松内層……層理の乏しい、凝灰質泥岩乃至は凝灰質細粒砂岩が主体をなしている。

八雲層……ほとんどが通常の海成堆積物で暗灰色乃至灰色の硬質頁岩を主とし、下部は概ね板状節理をなし著しく珪化されて堅硬なるもの多く、その露頭は鋸歯状で特徴的である。

訓縫層……火山砕屑物を主とする厚層で凝灰角礫岩と緑色凝灰岩が主体をなしている。

福山層……この地方の第三系の最下部をなすもので、岩質は火山砕屑物が主で、凝灰岩、火山礫凝灰岩や中に浮石を含むものもあり、色は淡緑色が主である。

上記の順に下の方がかたい古い層である。

〔V〕 工事設計および施工の基本的事項の研究実績

(I) トンネルの断面

このような海底トンネルを屈さくするには、常識的にパイロットトンネルを1本先行させるが、これは北海道および青森方海岸に約280 m程度のshaftを掘り、いずれも3%の勾配で上向きに進める。これは本トンネルの水抜き坑とすると共に通信線、高圧電力線の架設に利用する。

本トンネルは複線型1本とするか、単線型2本とするか議論がある所である。

トンネルは天井が狭い方が安全であるから、単線が安全であり湧水がある場合も掘さく断面が小さい方が処理し易く、萬事掘さくには安全である、また完成後の換気も列車のピストン作用により、有効であるが高速列車の運行には空気抵抗が大きく、保守作業は断面が小さいだけ難渋するまた騒音も著しい。

複線は上記の場合の逆になるのである。単線2本の場合は、2度同じ苦勞を必要とするが、複線は1回で済む。地質が良好の場合は単線2本より複線1本の方が経済的であり、レール交換などの保守作業が著しく便利である。

地質が不良の所は性急に扱わず、注入による固結など十分の手当を行ないつつ、この地帯を残して地質の良い区域

に自由にパイロットトンネルから切上つて掘進することができるので、複線断面によるトンネル掘さく上の通常の不利は、相当減ずることができると思われる。従つて大型機械による施工速度の向上などを考え、今までの所、複線断面を採用することになっている。

しかし逆ベンチ、あるいはベンチカット工法を研究調査中であるが、この工法により、より経済的な結果が推定されれば単線 2 本を上下にして 2 階式のトンネル断面とすることが考えられる。

(2) トンネル掘さく上の要点と注入工法

海水が直結し、水深 200 m にも及ぶ水圧をもつ湧水があるとすれば、掘さくはまず不可能である。

海底からトンネルの天端まで 60~70 m の破りを予定しているが、陸地におけるトンネル掘さくと同様の工法で施工できる地質の所に、ルートを選定してトンネルを建設する積りである。トンネル掘さくに際しては必ず湧水がある。湧水により次第に岩の割れ目その他軟弱な層に水の道がつき、次第に発達する恐れがあるのでこれを防がなければならない。

軟弱と推定される場合、切羽から 50 m 以上のボーリングを行ない、更に地質を検討する。あらかじめ有効な注入による固結方法を研究しておき、随時迅速にセメントペースト、水ガラスなど、注入剤を注入し湧水を阻止するとともに軟弱な地山の固化を計り、また一方においては適宜水密な隔壁を設置しておくなどの準備が必要である。

わが国鉄では注入工法は今日まで多くの経験があり、慎重に施工したものはほとんど成功している。たとえば圧気または凍結工法を使用する箇所でも、注入工法を併用して岩石の割れ目をふさぎ湧水量を減少させることが必要である。

湧水の処理および軟弱地質の掘さくには注入工法が主力をなすものであると予想されるので、まずこの工法の試験研究に着手した。

注入方法では最終的には 20 kg/cm^2 以上の水圧を受けている箇所では試験をしなければならないと思うが、試験順序としては陸上の鉛直ボーリング孔からの注入試験を行なつた、また浅い海底下の横坑掘さくに伴う注入試験は秋田県八森海岸で進めている。

試験の対象は

- イ) 岩石の強さと注入圧の関係
- ロ) 各種注入剤の効果
- ハ) 注入機械の性能

である。

陸地において海底の地質と同一地質を選び岩石の強さと注入圧の関係を調査し、注入剤の効果を調べた。破り 25 m の黒松内層では $7 \sim 16 \text{ kg/cm}^2$ の水圧で破壊され、また注入剤としては、水ガラスとアルミン酸ソーダおよび不安

定水ガラスとセメントペーストの併用が効果があることなどが明らかになった。

⑤の注入機械の性能向上、軽量化までは手がつかなかった。

〔VI〕 今後更に調査研究を進めるべき事項

(1) 地質調査

今迄述べたように、海岸から海峡部分は大分地質調査を進めてきたが、包括的な間接法にもまだ不十分の点があり、スパーカーあるいは弾性波による地質調査も補足したい部分があるが、直接的な海底の本格的ボーリングが仕上げとして必須であり、これがなくては、決定的な判定はできない。

スパーカーによる調査としては海峡中央部で東西に約 10 本、南北に 5 本以上、北海道および青森寄りでそれぞれ 5 本以上は望ましい。また弾性波による地質調査も東西方向に 10 本、南北方向に 5 本程度は測線を補足したいが、計器を 1 列に浮べて海峡の潮流の流れの方向すなわち東西に一直線に曳航することは難しく大掛りになるので研究を要する。

沈潜式の浅尺ボーリングは船上からのものは今後必要ではないと思うが、潜水艇によるものは北大の黒潮号に装備した許りでまだ有効に使っていないし、昭和 36 年においても直ちに数多く行ないたいと思つている。

しかし最後の決め手になるものは、本格的な深尺ボーリングである。これにより岩石の透水性も知ることができるので、トンネル掘さく上、最も知りたいトンネル内への湧水の状態も、およそ推定することができるのである。海底ボーリングは水深が 40~50 m 程度以内であれば海中に脚柱を立て、この柱に取付けた platform を作業台としてボーリングを行ない移動には脚柱に取付けた platform を下げて barge として曳航する方式 (例えば U.S.A. Le-Tourneau 式の石油資源開発使用の白竜号) でできるが、これ以上深い所ではこの脚柱式では困難になり、100 m 以上ともなれば不可能と思われる。深い所は当然潜水艇または船上からの沈潜式ボーリングになる。platform 式も floating barge 式のいずれも現在使われているものは石油や石炭の探鉱を目的にして考えられているのでボーリング深さは浅くても 200~300 m、深い場合 2,000 m 以上にも及ぶボーリングが対象である。従つて現在外国で使われている深海用の機械は、相当大掛りのものである。ボーリング深さが 200 から 100 m 程度で済むこの津軽海峡の海底トンネルの地質調査には、機械は小型で移動が簡単であることが望ましい。

ボーリング作業は platform 式は水深 30 m の所で風速 50m/sec、波高 13 m 程度でも可能であつた実績があり、floating barge 式では水深 110 m の所で、干満の差 7.5 m、

流速 2.7 m/sec, 波高 3 m の場合作業の実績がある。台風時を避ければ floating barge も十分使えると思われる。しかし 250 ton 程度の steel barge を含み、設備費約 22,000 万円であり外国技術者の指導を受けるので作業費は消耗品費を含め 1 日 50 万円近くの費用を要する (写真 9, 10, 11, 12 参照)。

潜水艇によれば波浪, 潮流, 干満などに余り左右されないが, 作業日数が連続長期にわたる場合居住性に難点を生ずる。従つて極めて高性能のボーリング機械を必要とするのである。floating-barge によりロスアンジェルス沖で約 1,600 m のボーリングを 10 日間で済した実績があり, 1 日 160 m の穿孔速度になる。地質条件にもよるのでこれ程の実績を維持できるか疑問であるが, このようなボーリング機械を装備できれば 1 回 2~3 日の作業日数で済むと思われるが, 潜水艇による本格的ボーリングは可能性について一応の目途がついた程度である。

いずれにせよ相当の費用を要するが, 深海で直ちに実用

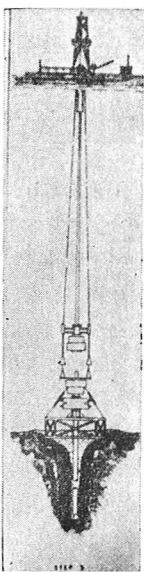


写真 11

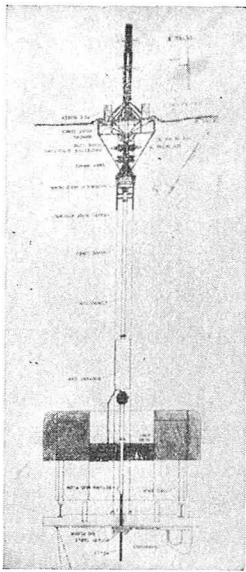


写真 12

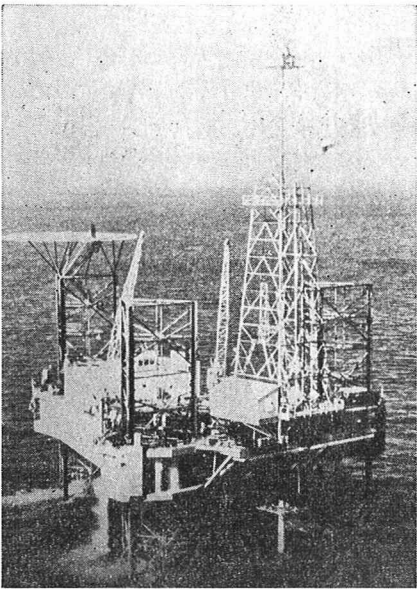


写真 9

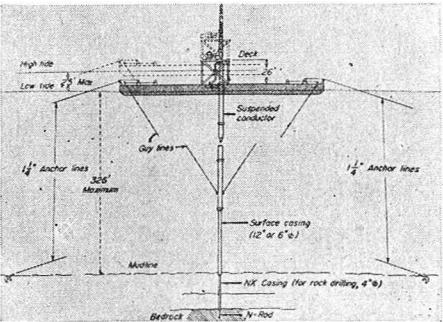


写真 10

できるのは floating-barge 式であつて, 現在本格的な海底ボーリングを始める段階にきている。

なお陸地部分は海岸のボーリングしか行なつていないから, 取付トンネルにつき包括的な地質調査に着手する必要がある。

(2) トンネル施工の研究

i) 一般工法

長大なトンネルであるから本地域の地質に最も適した, 全断面, 半断面, バンチカット, あるいはバンカットなどの工法を検討し, さく岩機およびビットの研究を進めなければならない。

なお使用火薬もできるだけ有害なガスの発生が少ないものとし, できれば発生する気体が全然無害なものとするようにしたい。

ii) 特殊な工法

イ) 遠隔操作によるトンネル掘さく。

圧気工法による場合 22 kg/cm^2 という高圧力下では, 人力作業は到底不可能で, 遠隔操作による作業を併用しなければならない。近年アメリカでは Robbins 氏の考案したロビンズ式ずい道掘さく機は直径 28 呎のトンネルを, 火薬を使用することなく 1 時間に 1.7 m の進行を示しているが, 将来このような機械を使用し, 遠隔操作により掘さくを実施することも考えられるが, このような高気圧の下で行なう覆工などについても今後検討されなければならないと思う。

ロ) 注入工法

注入工法としては, 今年度の海底下横坑掘さくに引継ぎ更に注入効果の昂上と進度の促進について研究を進めるとともに, 海底下の断層破碎帯における止水工法の研究を進

めて行かなければならない。また注入孔の穿孔に時間がかかり、かつ注入機械はその設置に手間がかかるので、ボーリング機械とともに更に軽量小型のもので極めて性能の良いものえ改良を進める必要がある。

ハ) 凍結工法

空げきが小さいため、止水剤の注入が困難であり、しかも湧水があつた場合崩壊するような地層は掘さく作業を最も困難ならしめるものである。微砂層、断層破碎帯などはこの代表的なものであるが、このような地層が無限の湧水下におかれた場合、例えば海底掘さくに当つては特に作業を困難ならしめるものである。凍結工法はこのような場合の解決法として検討されなければならないと思われる。凍結工法の最大の欠点は掘さくの進行が非常に遅くなることであるが、この欠点を除き工期を短縮するため、冷水予備注入あるいは冷水注入後、零度以下に過冷却した凍結剤(メタノールその他)を直接地盤に注入し、これを吸い戻すことにより地盤を早期に凍結させるなどの方法が考えられている。

以上一般工法にせよ、特殊工法にせよ、本海峡の海底を構成する地質に適合した工法、および機械器具を見出し試作するのであるから、海岸に堅坑を下し、海底に向つてパイロットトンネルを掘つてテストしてゆくべきである。

青森方の火成岩と北海道側の凝灰岩とは、全然岩石の性

質がちがうから、当然兩岸においてテストを行なう必要がある。できれば海岸近くで海底で、海峡の深い所で遭遇することが予想される断層や、変質した岩の層と同様な地質を掴まえて、テストするようにしたい。

〔VII〕 結 び

以上本海底トンネルに関する今日までの調査概況とその成果、および今後の問題などについて所見を述べた。現状においても、われわれの土木技術でこの津軽海峡海底トンネル掘さくの自信はあり、当初考えられている工事費を更に軽減することも可能と思われる。しかし本トンネルの必要性は単に国鉄のみが判断すべきことではなく、国民全体の問題として考えるべき国家的の大事業であろう。

従つて今後、この大事業が、つつがなく大成されるか否かは、唯単に技術的問題だけに留まらず、国民各位の積極的な御支援が必要であり、着手に踏切るまでは、国鉄において全力をあげて調査、研究を進めてゆき、萬全を期したいと思つている。

最後に日本の土木技術者として本州四国連絡とともに1日も早く着工し、日本の四つの島を実質的に陸続きとすることにより、日本全土の生活環境の格差が消滅するようになることを切望する。

技術資料編集委員

委員長	北海道開発局	古 谷 浩 三
	北海道土木部	蛭 名 晃 朗
	北海道土木部	菅 原 鴻
	北海道開発局	川 島 雅
	国鉄札幌工事局	余 湖 平 八 郎
	北大工学部	渡 辺 昇
	北海道電力KK	宮 前 繁 也
	札幌市役所	岡 本 成 之
	北海道開発局	小 林 道 郎

昭和 36 年 2 月 10 日印刷
昭和 36 年 2 月 20 日発行

技術資料・第十七号

発行所 土木学会北海道支部
札幌市大通り東1丁目
北海道電力株式会社土木部内
TEL. ⑤-1111

編集兼 古 谷 浩 三
発行人

印刷所 合名会社 文栄堂印刷所
札幌市北3条東7丁目
電話 ③2711-5560 ⑤0851