

青函トンネルについて

正員 浜 建 介*

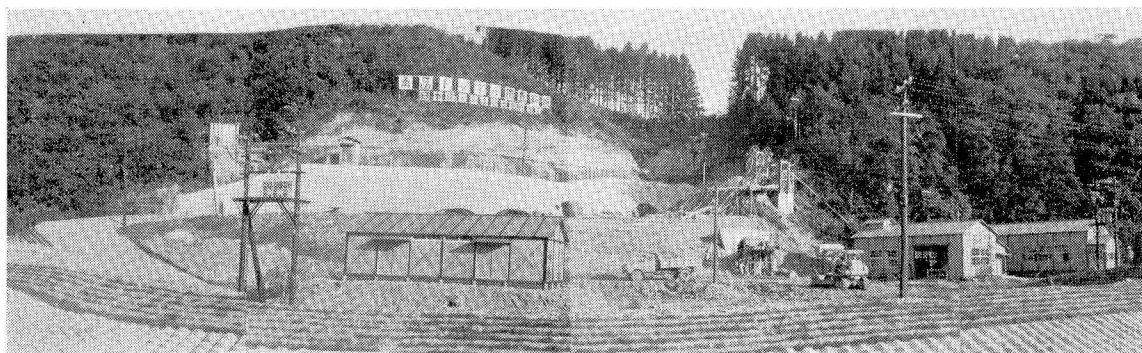


写真-1 青函トンネル調査斜坑全景

1. 調査の経過

青函トンネルの調査は昭和21年に開始されたのであるが調査の段階を大まかにみて

- | | |
|----------------|------------|
| A) 昭和21年～昭和24年 | 概査 |
| B) 昭和28年～昭和30年 | 技術的可能性検討 |
| C) 昭和31年～昭和36年 | ルートと施工法の研究 |
| D) 昭和37年～ | 直接調査 |

の4時期に分けることができる。

A) 昭和21年～昭和24年

この時期に津軽海峡の東口か西口かの比較路線の検討を行った。海図と局部的な音響測深を実施して予定ルートの水深の概要を知り、地質は現地の踏査によって調査を行なった。その結果東口の方が西口に比し著しく水深が大であり且地質も火山帯の中で、トンネル掘さくにはあまり良好な地質ではない等の理由から、西口ルートを決定した。

その後は調査を西口に絞り、まずトンネル掘さくの可能性についての概括的な調査を行なった。この地域では北海道側本州側の陸上の一部には古生層の岩石が露出しているのでトンネルルート附近での古生層の深度を調査した。まず陸上で両岸にボーリングを下し、本州側で深度400m(T1)、北海道側で200m(Y1)でも古生層に達しなかった。この地域に分布する古生層の上の地層(新第三紀層)が可成り厚いことが判明した。一方で弾性波式調査によっても第三紀層はかなり厚く海底にも分布していることが明瞭

となった。これによってトンネルルートは第三紀層の中を選び、且古生層が海底へは直接露出しないことが判明した。この地域の古生層はかなり激しい地殻変動をうけ、断層破碎帯や岩石の割目が多く湧水の可能性が強いので、海底トンネルの地質としては、あまり好ましくない。それに比して第三紀層は、この地域では比較的よく固結していて、地殻変動をうけた履歴も浅いのでトンネルの経過地点としては比較的よいと云える。この様にして昭和24年までに一応の概略的な見透しをうるに至ったが、更に技術的な可能性の検証は後年にゆだねた。

B) 昭和28年～昭和30年

昭和28年に青函トンネルのルートが法律的に鉄道予定線になり、調査は更に本格的となった。たまたま昭和29年の洞爺丸海難事故もあり、昭和30年1月に当時の国鉄に“津軽海峡連絡ずい道技術調査委員会”がおかれ、土木工海洋学、地質学等の技術者により、調査の重要事項についての審議検討を行なうこととなった。

水深測量：—— まず調査の基本となる海底地形図の作成を海上保安庁水路部に委託し実施した。水深測量は殆んど音響測深儀により、沿岸の極く一部を測鉛によって実施し、位置測定には、三点両角法による六分儀測定で沿岸部を行い、その他は英国デッカ社製の電波の位相差測定による位置測定器を日本では始めて使用して天候の悪い津軽海峡で効果を発揮した。これによって25km×8kmの海域で2m等高線の1/20,000等深線図を作製した。この作業

* 日本鉄道建設公団札幌支社青函トンネル調査事務所長

は昭和 29 年に概査を行ない、昭和 30 年に精測を行ない、2 年間で終わった。この等深線図は現在、調査の計画や実施に不可欠のものとなっている。

地質調査：—— 兩岸の陸上で更に 8 本 (T2~7, Y3~4) のボーリングが実施され第三紀層の層序、層厚に対する正確な資料を加えた。またこの時期に本格的な海底地質調査が実施された。先ず海底の岩石資料を得るためにドレッジングを海峡全域にわたって 1980 地点で行ない、始めて海底の地質の試料が得られた。その一部は海底の表面に新しく堆積した砂、砂利であったが、大部分は海底の岩石そのものの破片であり、これによってほぼ津軽海峡の地質の分布の大略が判明し、同一地層の分布を追跡することと、地上の分布との関連から、海底における断層等構造を類推することが出来た。これによって従来の海底地質に関する知識は著しく豊富になると共に、新しい事実も数多く判明して調査は更に前進した。海底の地質の判定にはドレッジング以外に海底写真撮影、弾性波調査、放射能探査等も併用し、当時として可能なかぎりの調査法を駆使して調査を行ったものである。

これらの調査の結果から前記の技術調査委員会は昭和 31 年に次のような中間報告をした。

- 1) 津軽海峡の海底トンネルは掘さく可能である。
- 2) その工期は 10 年以内、工費は附帯工事を含めて約 600 億円と推定される。

なおこの結論は、その時点までの地質調査の結果にもとづいてなされたもので、最終的な計画と具体的な施工法を決定するためには、なほ地質の細部にわたる構造と個々の断層の位置並びにその性状を明らかにすると共に、試験的に立坑及び水平坑を掘さくすることが必要であるとしている。

C) 昭和 31 年～昭和 36 年

上述のような委員会の中間報告のあとで調査は次の段階つまり地質構造の精査施工法の研究に入ってくる。

そのため地層の細部にわたって層序測量を行って陸上部の地質を確実に把握することに努めた。一方海底の岩石試料を更に確実に(位置的、岩質的)採取するため、ボーリング機械を海底に下し、船上よりリモートコントロールにより、浅尺沈潜式のボーリングを 27 地点で実施し、ドレッジングの成果を対比確認した。

この頃アメリカで急速に発達してきた海底地質調査法として音波の反射による海底地質の調査法があった。通常、sparker と呼ばれるもので、海面から比較的低周波の音波を発振し、海底下の地質の地層境界や岩石割目等の反射面を捉える調査法である。この音波探査をまづ昭和 34 年に全地域で 28 測線、測線延長 208 km を実施し、その成果を水深や海底地質資料等と検討解析し、更に昭和 36 年に補足として 42 測線、測線長 309 km を実施した。この結果海

底の地質構造は本州寄りの火山岩の多い地質を除いては非常に明瞭となった。これらの海上よりの調査を確認するため、4 人乗りの豆潜水艇により、在来の調査成果の照合確認を行なった。

本州寄りの火山岩については音波探査では明確なデータが得られなかったため、昭和 37 年に火山岩分布の調査をプロトン磁力計により探査を行なった。

これら一連の調査によって海底地質の大要は明瞭になったが、海底部には少なくとも 10 以上の断層の存在が確認され、且可成り割れ目の多い火山岩も海底に存在することが明らかとなった。このため施工面の研究として注入止水試験を実施した。海底トンネルのルートのも最深部は 143 m もあり、過去に関門トンネルで施工した圧気ケーソン工法を採用することは不可能なので、普通の山岳トンネルと同様の掘さく法を取らざるを得ない。このため青函トンネルの技術的な大きい鍵の一つは如何に確実に湧水を防止出来るかにある。昭和 33 年より 4 年間に亘って海底で遭遇すると思われる各種の地質に類似した個所を陸上で選り、地表からのボーリング孔を通じての注入工法の試験を行なった。北海道で 2 カ所、本州で 2 カ所において注入材料、注入法等の試験研究を実施した。

D) 昭和 37 年～

かくして海上あるいは陸上で、各種の調査研究を実施してきたのであるが、海水という厚い障害があって調査の方法、その精度を著しく阻害し、陸上では、海底に対する地質の類似性や高圧湧水が実際にはないこと等調査はいづれも間接的な方法であった。

昭和 37 年より海底ボーリングを開始した。長い鋼製の円筒を海底よりたて、これをアンカーワイヤーにて固定し、その上に樽をのせてボーリングを行うのである。水深 22.5 m、40 m、46 m で実施した。更にこの海底トンネルに関して施工上の具体的結論をだす為に、兩岸に立坑或は斜坑を下し海底へ調査のパイロットトンネルを掘さくし、現在の所未解決の

1) 海岸の断層の所在は明瞭だが、その規模、性状は(特に土木工学的に)なお不明である。

2) 本州寄りの火山岩の分布と性状がなほ不明瞭である。

3) 実際の高圧湧水の止水法等の問題を直接調査によって解決しようとしている。このため、昭和 38 年より準備工事に着手し、この春以来北海道方に於て斜坑を掘さく中である。

2. 調査の成果

地形：—— 津軽海峡東口の東側には水深 300~450 m の海谷が深く刻まれ、その延長は東口を横断して海峡中央に水深 200 m 以上の海谷を連ねつつ、西口東側の水深 280 m

の海釜に至っている。しかしこの海釜のすぐ西側の津軽半島から松前半島に至る海峡最狭部は殆んど平坦な陸棚よりなつて一大浅帯部をなし、その西側には水深350m~450mの海釜があり、あたかも馬の背のような地形をなしている。トンネルのルートは当然この浅帯部選ばれ、そのルート上の最大水深は143mであり、表-1のように本州寄りの方が少々傾斜が急になっている。ルート中海底部分22kmのうち水深50mを超えるのが、全体の約83%水深100mを超えるのが約47%を占めている。

地質：—— この地域の基盤をなす地層は古生層で北海道側では白神岬に、本州側では津軽半島西海岸に僅かに露出している。その上を新第三紀の凝灰岩を主とした地層

表-1 水深別による海底部の延長

水深 (m)	北海道側 (m)	本州側 (m)	計 (m)	%
0~25	1,010	340	1,350	6.1
25~50	1,580	880	2,460	11.2
50~75	1,830	1,030	2,860	13.0
75~100	2,080	2,980	5,060	23.0
100~125	2,860	4,710	5,570	34.4
125~150	1,800	900	2,700	12.3
計	11,160	10,840	22,000	100

が覆っている。この一群の地層は凝灰岩の他に泥岩、砂岩、礫岩等の通常堆積岩をも含むが、これらを総称してグリンタフと呼び、その分布する地域は日本海寄りの北海道一本州を通じて広範囲にわたっている。津軽半島もこのグリンタフ地域に相当し、北海道側、本州側も本来は一連の地質である。海峡最狭部の大浅帯部は地質構造的にも隆起帯であり、この隆起に前後して、東南に走る断層、海峡中央の盆状構造等の海峡部の沈降が起つた。その結果この隆起帯の東、西側には背斜の翼をきる断層が生じている。海峡中央部に向つた沈降のため、海峡中央部には比較的新しい(軟い)地層が分布している。(図1、図2、図3) この地域に分布する地質は北海道側では通常堆積岩及火山砕礫岩が、本州側では激しい火山活動の所産である火山岩、火山砕礫岩が非常に多い。北海道側陸上では之等の地層がほぼ南北の走行で東に20~30°の傾斜で単斜構造的に分布し、本州側でもあまり顯著ではないかほぼ東に傾斜している。海底部でも南北両側共幾つかの断層に切られはするが、大局的には同様の構造をなし、海峡中央部に至つて大盆状構造

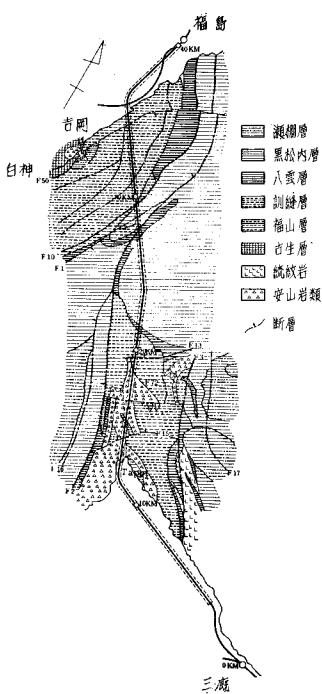


図-1 地質平面図

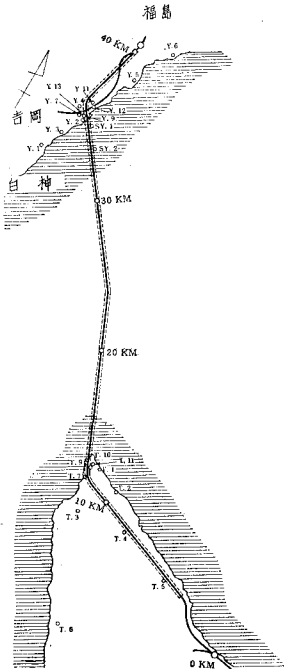


図-2 調査ボーリング位置図

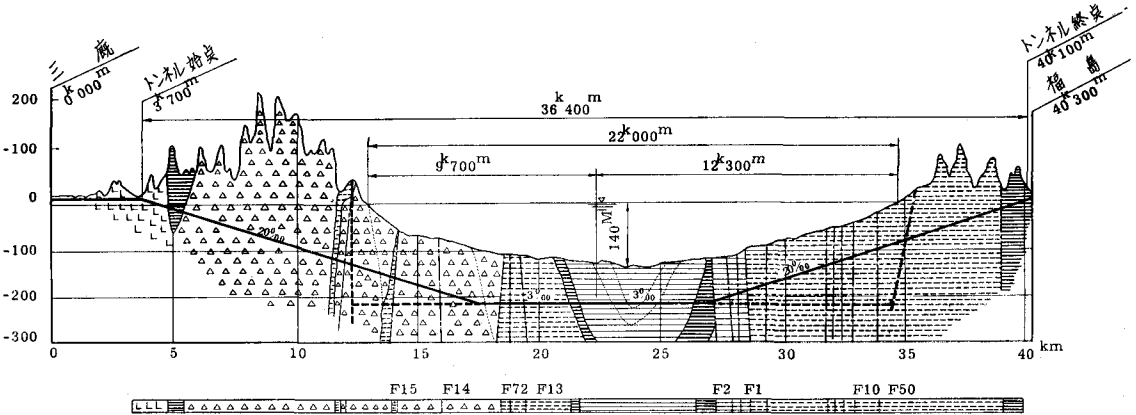


図-3 地質縦断面図

をなしている。

現在考えているルートの地質を本州側から順次説明する。トンネルの入口は比較的新しい火山岩の統紋岩である。この統紋岩は一部では凝灰角礫岩を挟んでいるが殆んどが熔岩或いは岩脈で堅くて緻密であり、柱状節理が可成り発達している。トンネル入口から約1.5 kmで硬質頁岩に入る。これは約0.4 km程でその下の安山岩類に入る。これは時期的には下部中新世に属し、この中でもしばしば凝灰岩を挟んでいる。岩質的には安山岩熔岩、岩脈の外に火山礫凝灰岩、凝灰角礫岩等を含み、これらは互に入り組んで複雑な互層状態をなしているが、大局的には東に傾斜し、トンネルの掘進に伴って、次第に下位の層へと進んでゆく。またこれら安山岩類に粗粒玄武岩の岩脈が各所で貫入して、更に地質を複雑にしている。竜飛崎附近には特に粗粒玄武岩の岩脈が多く見られ地層の背斜軸附近を経て、竜飛崎を南北に通る断層を経て海底部に入る。海底部も粗粒玄武岩で選入された安山岩類で、海底部へ入って約1.3 kmでF15の断層に達する。この水深は50 mである。その後更に安山岩類の中を進むがこの安山岩類は凝灰岩をよく挟み、小さい背斜向斜をくり返している。トンネルのルートはこれらの褶曲軸と斜交する。更に1.9 kmでF14に達し、比較的安山岩類の多い部分に入る。F14の個所は水深76 mである。F72を通りF14より3.6 kmでF13に達するが、この区間は比較的凝灰岩が多い。F13は安山岩類と北海道側の凝灰岩堆積岩との境界をなす断層で水深は117 mである。F13よりすぐ北側は半ドーム状の構造をなしていて訓縫層の凝灰岩から次第に上位の地層に入り、更に2.7 km進んだ点で中央大盆状構造の南翼の八雲層の硬質頁岩に入り、そして直ぐ黒松内層の凝灰質泥岩に入る。この地層は海峡のルート中の岩石中最も軟質な部分である。盆状構造のほぼ中央がルート中最深部の143 mの水深である。更に5.4 kmの地点で盆状構造の北翼がF₂の断層で切られる。水深は110 mで、この断層は地質的に最大の断層で、その規模は南部で最大で北に行くに従い小さくなっている。F₂の北はやはり黒松内層の地層である。更に1.6 kmでF₁の断層にぶつかる。水深は95 mである。

F₁も黒松内層からその北へ訓縫層へ変る規模の大きいものである。F₁以北は地層的にはすべて訓縫層であり、この地層は5つに分類され、下より比較的凝灰岩に富む部分と泥岩に富む部分とが交互に重畳して居り幾つかの断層が存在する。調査斜坑は前半が凝灰岩に富む部分、後半が泥岩に富む部分である。

地質の概要は以上の通りであるが、トンネル掘さく上の問題点は次の様なものがある。即ち

- 1) 断層及其周辺の擾乱帯に透水性の高い部分があった場合、いづれも可成りの水深のある個所であるから相当な高圧、多量の湧水の可能性があること。

- 2) 安山岩類及それに貫入する粗粒玄武岩等の岩脈類の中で可成り節理等透水性の高い部分がある場合。
- 3) 中央部の比較的軟質な黒松内層の中の特に軟質な部分。

又この外、火山岩帯部の地熱等も掘さく上の問題点となる。

注入止水試験：—— 海底トンネルのルートで湧水の可能性のある水質としては

- 1) 海岸部分での通常の地下水(真水)
- 2) 地層に固有する水(化石化水)
- 3) 海底からの海水、の3種類が考えられる。

このうち、1), 2) は通常トンネル掘さくでも遭遇する(但し2)は比較的少ない)が、いづれも有限の水であり、水抜坑等で絞りとれば、いづれは減少する。しかし海水の場合は、無限大であるため、湧水は減少せず、水路の拡大等により増大してゆく、従って湧水は必ず確実に止めねばならない。この為注入工法の現場を試験を行なった。

ボーリング孔を利用して実施したのは、三角形或は多角形の頂点にある注入孔とそれらの重心の位置にあるチェック孔により、注入法を定めて注入を行ないチェックの注水試験を行なった。これらの成果を要約すると

- 1) 黒松内層は、セメント或はセメント水ガラスによって25 kg/cm²の強度を節理割目を含めた全体として持たせることが出来る。但しカバーロックの厚さは考慮を要する。
- 2) 一般的な破碎帯で特に大きい空隙にはあらかじめ粗粒物を先行注入し、セメント注入の効果を高める。
- 3) 安山岩類等の堅岩割目を主とする破碎帯には2)と同様な注入法を用いる。この際は注入孔約3 m間隔にセメント注入を主体に入念な注入を行なうと共に、流動する水に対しては、セメント水ガラスの先行注入が効果的である。
- 4) 粘土を挟む破碎帯ではセメント或はセメント水ガラスの高圧注入により粘土の含水比を少なくして圧縮固結させ、同時に周辺部の空隙を、セメント、セメント水ガラス等によって充填し止水する。
- 5) 断層部に圧密固結し難い砂等を挟む場合は、やはりセメント、セメント水ガラス等による注入を出来るだけ行なうと共に、入り難い微小空隙にはAM9等粒子が少なく粘性の小さい注入液を注入して急結させて周辺部をゲル化し、水の流下を止めて、周囲を普通注入で固結する。
- 6) 砂、シルト等に対する固結法としての凍結工法は効果は期待出来るが凍結時間が長い等で狭小なトンネル内での実用化には今一步の距離がある。

等である。之等は、海底で予想される悪地質について一応の目的をたてることが出来たが尚多くの問題点をかかえて

いる。即ち

- 1) 各種注入法と適応する地質に対する検討
- 2) 高圧注入施工法

- 3) 岩石地質の空隙の評価
- 4) 注入ポンプ、ボーリング機械の高効率、高性能化等があげられるが、これらは実際の現場試験でしかも高圧

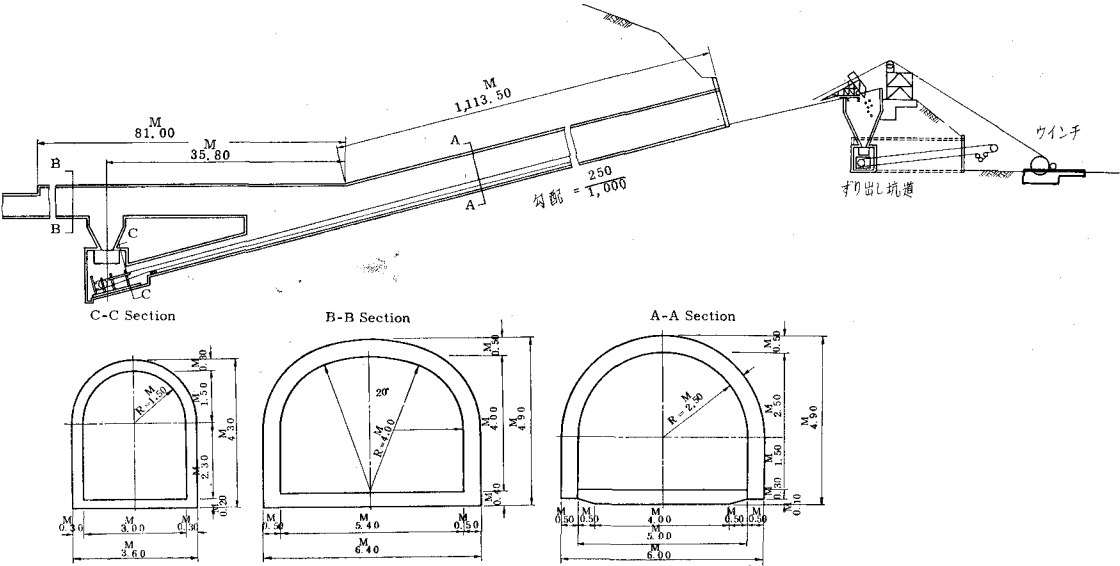


図-4 斜坑計画図

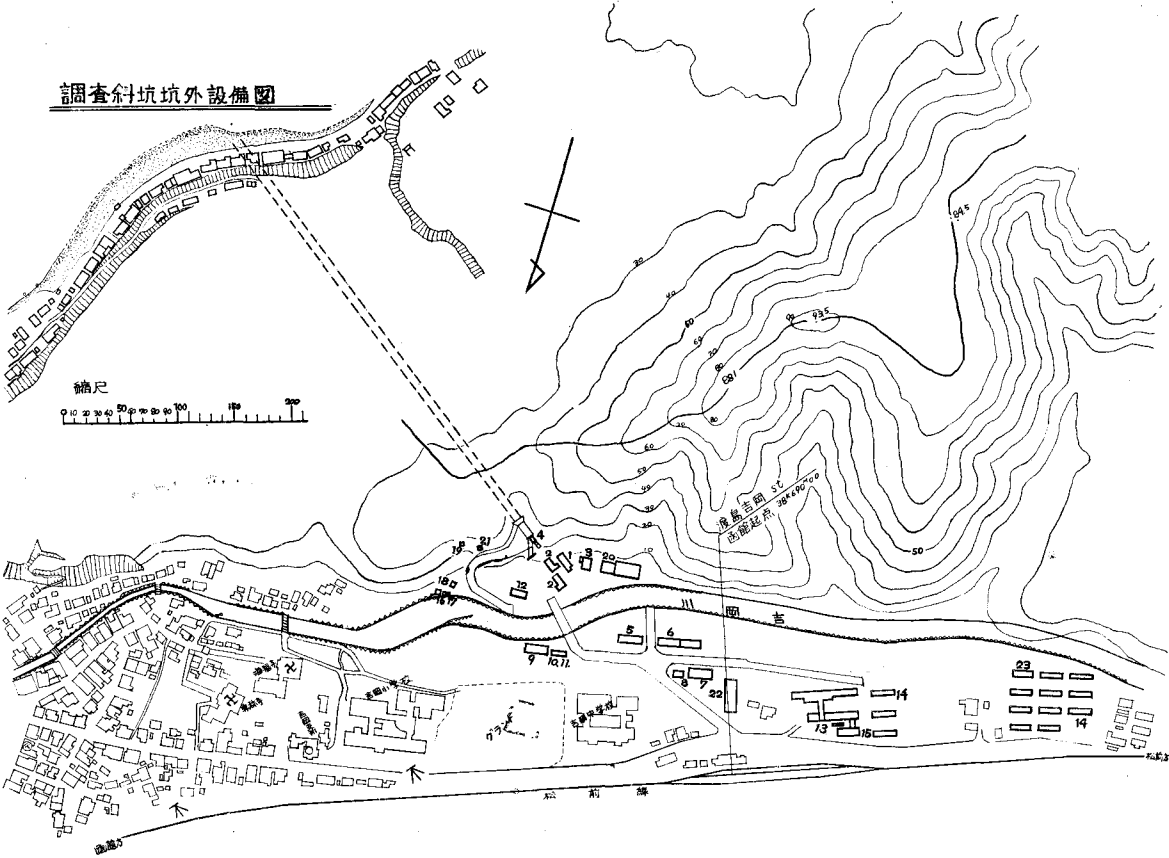


図-5 調査斜坑坑外設備図

主要建物設備

建物種別	面積	記事
1 動力所	47.2	
2 巻上室	85.5	第1号
3 発電機室	77.8	第2号
4 すりはん		48号
5 修理工場	166.5	
6 材料倉庫	155.5	
7 車庫	213.8	
8 油庫	64.8	
9 試験室	194.4	
10 見張	32.4	
11 岩盤監視機	32.4	
12 ベント倉庫	33.4	
13 岩盤監視機	716.8	
14 岩盤監視台	3560	
15 岩盤監視室	225	
16 集水槽		
17 泥溜槽		
18 泥溜槽		
19 貯水槽		
20 薬庫	127.2	
21 火薬取扱所	3.2	
22 建設所	505.7	
23 加圧部その他	145.9	
火薬庫	7.2	

主要機械設備

機械名称	性能	台数	記事
空気圧縮機	75kW	4	第1号
電気ウインチ	150P	各1	第2号
内燃発電機	625kW	1	
フリック	500P	各1	第3号
すり機	45-55 13m	1	
クレーン	14.5 6T	2	
コンベヤ	85-13 1.5m	1	
コンベヤ	15kW	1	
コンベヤ	15kW	1	
コンベヤ	7T	1	
コンベヤ	成和 3m	1	
クレーン	揚程25m 11kW	1	第4号
クレーン	32m 11kW	2	第5号
クレーン	64m 22kW	2	第6号
コンクリートポンプ		1	
回転式ポンプ	1.5m	1	
クレーン	15m 11kW	1	

図の説明

の湧水のある個所において実施せねばならない。

3. 試掘調査

上述のように従来の調査において地質施工の各方面におい

て幾つかの問題をかかえているが、之等を従来の海上或は陸上からの調査によって解明することは困難である。従って実際のトンネルルートに沿って適切な試掘トンネルを掘さくして各種の問題を解決するのが最も直接的かつ態率的な調査法である。

昨年暮より北海道方に於て斜坑の準備工事を始め、本年3月 日本鉄道公団発足と共にすべてを国鉄より引つぎ、直轄施工の体制のもとに調査斜坑の掘さくを開始したのである。現在は(11月末)未だ約300m程の掘進で海岸線(斜坑延長で420m地点)までは達していないが、丁度350m附近に小さい断層があるので、その地点に於て斜先進ボーリング、注入等の試験を開始すべく目下準備中である。又本州側においては、先に述べた調査ボーリングを追加してY12をおろし、目下調査坑をどう進めるか検討して居り来春にはいよいよ工事に着手する積りである。

斜坑が予定深度に達すれば3%程度の勾配で水平調査坑を推進する。

調査を開始してすでに20年に近い歳月を経、今ようやく試掘調査の段階を迎え、これら山積している問題を一步一步着実に解決し、自信をもって本工事に一日も早く着手したいと努力している。