

講 演

土木學會誌 第十五卷 第七號 昭和四年七月

關門隧道の調査及計畫に就て

(昭和四年一月十九日土木學會關西支部第二回大會に於て)

會員 工學士 大井上 前 雄

On the Planning of the Proposed Subaqueous Tunnel across
the Shimonoseki Straits

By Chikao Oinoue, C.E., Member.

内 容 梗 概

鐵道省に於て關門連絡線計畫に關し先般來地質其の他に關し調査中なるが本編は其の調査並計畫の概要を講演せるものなり

目 次

緒 言	2
第一章 沿革	2
第二章 關門連絡線々路の概要	3
第三章 水底隧道築造工法と其の關門海峡に對する適否	4
第一 裸掘式工法 (Heading Method)	4
第二 凍結式工法 (Freezing Method)	4
第三 涸干式工法 (Underground-Water Lowering Method)	5
第四 潜函式工法 (Caisson Method)	5
第五 盾氣式工法 (Air Shield Method)	6
第六 沈埋式工法 (Trench Method)	6
第四章 現場に於ける調査の概要	6
第一 地質調査	7
第二 通峽船舶の調査	7
第三 潮流調査	8
第四 漂砂に關する調査	8
第五 各種測量	9

第五章 盾氣式及沈埋式隧道の比較研究	9
第一 隧道主體の強度	10
第二 工事施行上の難易	10
第三 工費	13
第四 運轉上の得失	13
第六章 隧道開通の效果	13

緒 言

本日本會の關西支部大會を開催せらるゝ時に際し、關門隧道の調査及計畫に就て御話を致す機會を得ましたことは甚だ光榮とする所であります。本日は時間も充分でなく、且現場に於ける調査の概要は昨年六月の土木學會誌に出て居ります事故、之と重複する點は可成簡單に致しまして計畫の大體に就て申述べたいと思ふのであります。又豫め御斷り致し度き事は、今日は調査の中途であつて結論に達して居ない許りでなく、設計の内容も鐵道省としては未だ決定して居ないのであります。従て今日私が述べます意見も之は一個の私見に過ぎないのであります故、此の點を御了解の上御聽取を願ひ度いと思ひます。

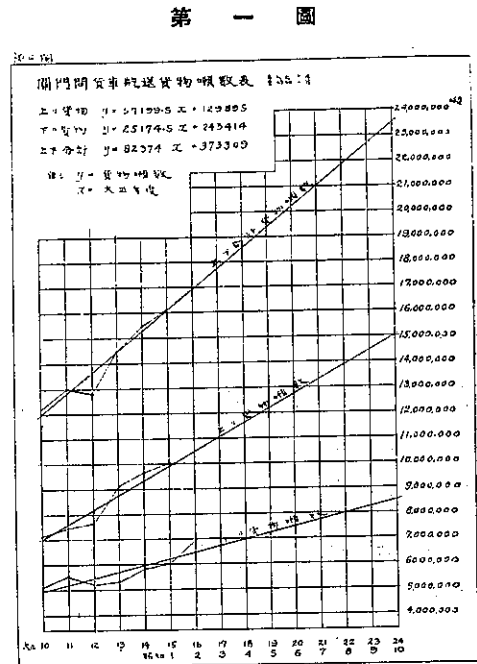
第一章 沿革

本土と九州間の鐵道連絡に就ては、有識の士は早くより着目されて居た事と思はれますが、具體的調査に着手したのは後藤鐵道院總裁の時代であります。此の調査により橋梁案と隧道案とを比較研究の結果隧道の連絡を採用することに決定せられ、第四十一議會では1816萬圓の豫算で10箇年繼續事業として工事を遂行することに可決せられたのであります。歐洲戰爭後物價勞銀騰貴の爲此の豫算では仕事が出來なくなつた爲着手に至らずして年々延期されて居ました。其の後關東地方大震災直後、豫算緊縮の爲改良計畫の改訂をなし本工事は豫算面より削除されました爲、今日に於て更に議會の協賛を経ざれば實現する事が出來ないのであります。

然るに其の後本州と九州間の鐵道輸送に就て調査せる結果、旅客輸送の方は現在の儘で當分差支ないが、貨物の方は近年貨車輸送の數量が非常の勢で増加し近き將來に於て行詰を生ずる。然して下關驛は構内狹隘で此の貨物の増加に對し設備を擴張する餘地がないから、前以て其の對策を考究する必要を認めて種々の案を研究して見ましたが、矢張り以前に決定せる通り隧道を開鑿することが最も安全で且經濟的であると云ふ結論に歸着致します。それで本省に於て種々審議せられた結果、輸送行詰の打開策としては隧道開鑿の外なき故、財源の許す限り速に工事に着手すると云ふことに省議を決定せられました。然し我國に於ては前例

のなき重大工事である故、其の工法に關しては充分の研究をなし、海外の實例を參照すると同時に現場に於ても必要なる諸般の調査を遂げ、あらゆる材料を蒐集して後設計を決定すると云ふことになりまして、此の専門的調査に従事する爲に工務局關門派出所が設置せられた次第であります。以上が沿革の大略であります

第一圖
 第一圖は大正 10 年度以降昭和 2 年度に至る貨車航送の貨物數量を圖上に示したものであります。之を基礎として將來の増加を最小自乗法によりて推定しますと此の直線の通りになります。關門間の貨物は上り下りが約 6 分 4 分の割合になつて居りまして、下りの航送は廻送の空車を含み常に餘力がありますが、上りの航送は全部盈車であつて其の數量が貨車航送設備の能力により制限せらるゝのであるから、此の圖表の中央の直線に就て考へればよいのであります。然して現在の設備で航送船を極度迄動かす時は、1 晝夜 168 回の運航により 1 箇年間に片道 143 萬噸を輸送することが出來、今日の數量に比し猶少し餘力があるけれども、此の圖表よりして昭和 9 年度を以て此の限度に達することが解ります。それで昭和 4 年度中に計畫が決定せられ、5 年度より工事に着手し、5 箇年間に竣工することが出來れば、丁度行詰に達せる時隧道が開通することとなり滞貨を見ずして済む譯であります故、出來得るなればそう云ふ具合に進行し得んことを希望して居る次第であります。



第二章 關門連絡線々路の概要

此の連絡線は下關の少し許り手前にて山陽線より分岐し、彦島を経て九州へ渡るのでありまして附圖第一中甲案と記してあるのが大正 8 年の調査にて撰定せられた線路であります。此の案では彦島の内務省埋立地より真直に山底ノ鼻に出で、斜に海峡を横斷して九州へ渡ることになつて居りますが、目下調査して居りますものは乙案と記した方でありまして、部分的に甲案を變更し内務省埋立地より田ノ首方面に出で、之より海底隧道にて殆ど直角に海峡を横斷することに致して居ります。斯く變更しました理由は、甲案にては彦嶋に於ける隧道

の出口が高き地點にある爲隧道の延長が長くなりますが、乙案によれば低き所に隧道が出る
ことになり延長を減じ得る爲と、今一つの理由は、隧道の築造に沈埋式工法を採用する場
合には、甲案の地點に比し潮流緩和せられて工事施行に都合よき爲であります。附圖第二は
此の乙案の線路の縦断面圖であります。

關門連絡線の總延長は約6哩で、其の内海底隧道の部分は甲乙孰れの案にても兩岸間の距
離約1哩であります。海底の最も深き所は干潮面以下甲案にては62呎、乙案にては58呎
程あります。隧道の取付の勾配を1/50とし、乙案で沈埋式隧道と致しますれば、海底隧道
の兩坑門間の距離は約1 $\frac{1}{2}$ 哩となります。此の連絡線の區間は列車運轉に電氣機關車を使用
する計畫であります。

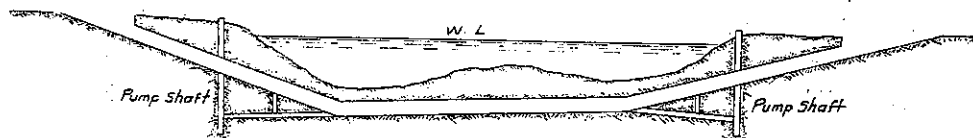
次に彦嶋と本州の間にある小瀬戸海峡の方は之を埋立て横斷するのでありまして、此の埋
立によりて海峡を締切る位置は初め其の口元に近き點を撰んで居りましたが、最近農林省に
て此の地に漁港を設置することが決定せられました爲、其の計畫に伴つて締切の位置を更に
東方に変更し、鐵道線路は圖面の點線の位置にて海峡を横斷することに致しました。此の締
切より西方の海面を下關漁港として山口縣により修築せらるゝのであつて、之に對する國庫
補助の案は今期の議會に農林省より提出さるゝことになつて居ります。

第三章 水底隧道築造工法と其の關門海峡に對する適否

關門海峡に隧道を開鑿するに當り如何なる工法が適して居るかと云ふ問題に就て、私の考
を申述べる前提として、水底隧道築造の工法を一通り簡単に説明致し度いと思ひます。

第一 掘削式工法 之は第二圖に示したる通り普通の陸上隧道と同じく平壓の空氣中で掘鑿
するのでありまして、兩岸のシャフトに強力なる唧筒を据付け、排水用の小隧道により湧水

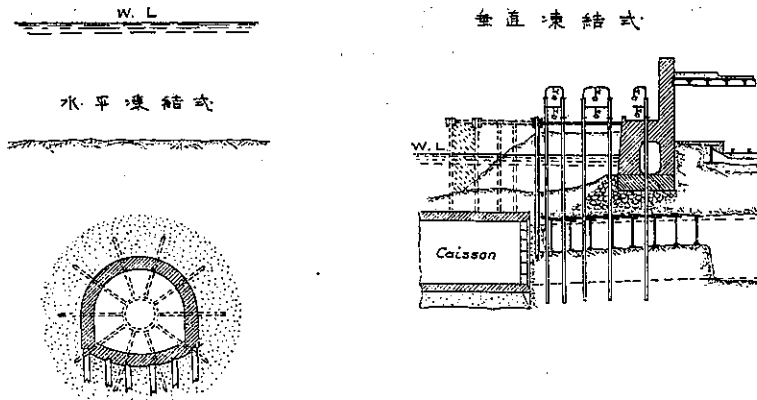
第二圖 掘削式工法圖



を排除しつゝ本隧道の掘鑿をするのであります。斯る方法である故、地質が岩盤であるか又
は餘り水を透さぬ地層でなければ工事困難であつて、例へば岩盤であつても、斷層があるとか
龜裂の多き岩質なれば湧水大なる爲此の工法は不適當であります。

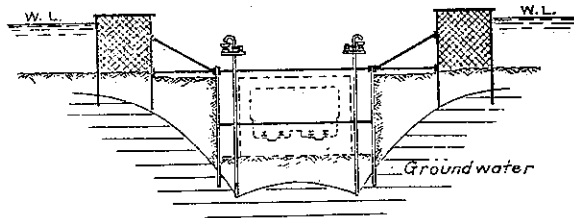
第二 凍結式工法 之には第三圖に示したる通り水平にやる法と垂直にやる法があります
るが、要するに隧道を築造す可き部分に鐵管を打込み、其の内部に低温度の冷却液を循環流
通させ、周圍の土砂中の水分が凍結して人造岩盤が出来るを俟つて其の中に隧道を開鑿する
方法であります。

第三圖 凍結式工法圖



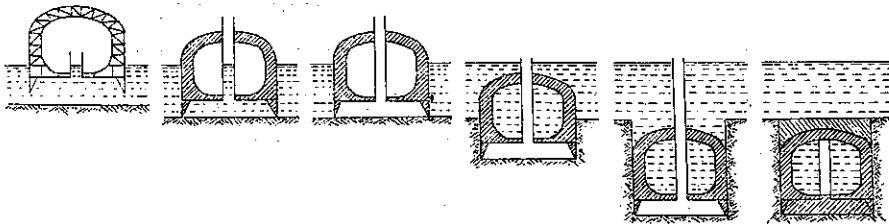
第三 潤干式工法 之は獨逸で地下水低下法と稱するのを意譯したのでありまして、伯林の地下鐵道工事に應用せられた方法であります。河の中に締切をして其の内部に掘抜井の如く幾本も鐵管を打込み、強力なる唧筒により水を汲出す時は、締切内の水位漸次降下する故裸掘にて掘り下げ、其の水位隧道の基礎以下に干上るに至れば基礎混凝土を施して、丁度オープン・カットにて地下道を作る時の如く隧道を作る方法であります。(第四圖参照)

第四圖 潤干式工法圖



第四 潜函式工法 之はパリ市の地下鐵道工事にてセイヌ河横斷に施行したのが好適例でありまして、第五圖に示した様な方法でケイソンを豫定の位置迄沈下させます、斯るケイソン

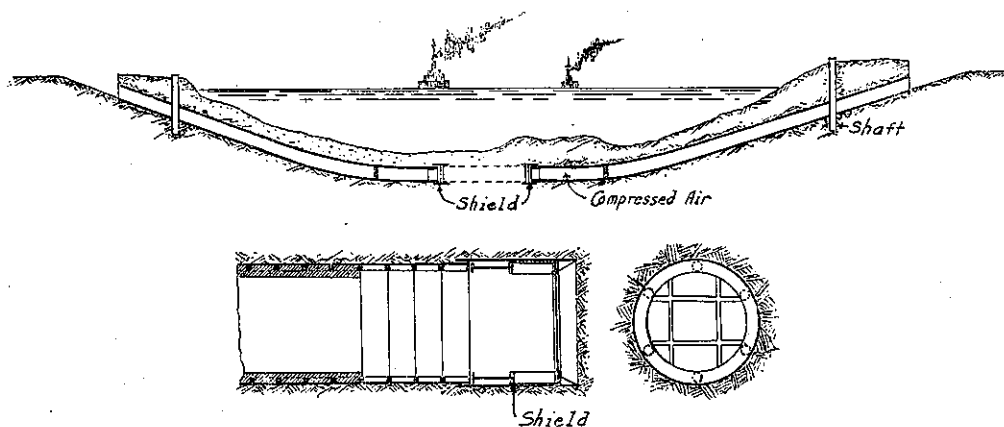
第五圖 潜函式工法圖



を必要なる數丈け順次並列して沈設し最後に之を連結して隧道を作る方法であります。

第五 盾氣式工法 之は御承知の シールド・メソッドと稱して最も古く且最も普通の方法であつて、壓搾空氣によりて水の進入を防ぎつゝシールドの内にて隧道を組立て且前面の掘鑿をなして前進する方法であります。(第六圖参照)

第六圖 盾氣式工法圖



第六 沈埋式工法 之は 1810 年に竣功せる米國のデトロイト河底隧道に初めて試みた比較的新しき工法であります。其のやり方は、先づ浚渫機で計畫の勾配通りに水底に溝を掘鑿し、陸上にて製作せる隧道大の鐵管の兩端に假蓋を取り付け浮かして現場に運び、假蓋に取付けたるバルブを開く時は水の流入によりて鐵管は溝の中に沈下す。此の沈設せる鐵管は前に沈設せる鐵管と水密の継手をなす様結合し、船上よりトレミー (Tremie) 管の装置により水中混凝土を以て鐵管を被覆し、其の上部には掘鑿せる土砂の埋戻をなす。然して河岸にあるシャフトより鐵管内の水を順次に汲出し、管内の内面を清掃して更に混凝土卷の仕上げをなす方法でありまして、壓搾空氣を使用せずして水底の工事を施行し得ることが此の工法の特長とする所であります。又此の方法を改案して鐵管の代りに鐵筋混凝土管を使用し、昨年竣功せるのがオー克蘭島の海底隧道であります。(附圖第三参照)

却説、水底隧道の工法としては以上の六法が外國で先例のある方法でありますが、關門海峡の場合に其の地質や現場の狀況により考ふる時は、裸掘式、凍結式、溜干式、潜函式の四工法は到底之を適用すること困難でありまして、唯盾氣式と沈埋式の適用が考へ得らるゝのであります。大正 8 年の調査の際は單に盾氣式のみにて就て考へられたのであります、今回の調査に於ては此の兩工法に就て比較研究をする積りであります。

第四章 現場に於ける調査の概要

目下調査中の事項は地質調査、通航船舶調査、潮流調査、漂砂に關する調査、各種測量で

ありまして、猶今後海底工事に使用す可き混凝土に就て實驗をし度く考へて居りますが、之より其の概要を説明致します。

第一 地質調査 大瀬戸海峡の隧道計畫線附近にて最初豫定せるボーリングは陸上 6 箇所、海中 17 箇所でありまして、其の中海中 2 箇所を除ける全部を今日迄に終了致しました。試錐は可成コアを得る事に努めまして、岩盤の箇所にてはボーリング・ロッドの先端にダイヤモンドを埋込みて之を切り取りました。此の試錐の結果を示せるものが附圖第四であります。今其の大要を申しますれば、彦島寄に當る海峡幅の約 $2/3$ は浅き砂礫層があつて其の下が岩盤であります。此の岩盤は石英斑岩、輝綠玢岩、頁岩、粘板岩、ホルンフェルス (Hornfels) 等があつて極めて複雑して居ますが、斷層の爲龜裂よく發達して居り従て其の質比較的脆弱であります。龜裂のない稍々完全と思はれるコアの取れたのは唯第十六號試錐一箇所であります。殊に海峡の中央に近き斷層の如きは岩石縦横に破碎して居る爲、大に苦心せるもコアを採取する事が出來ず碎けたる小片を得たに過ぎないのであります。又九州寄に當る海峡幅の約 $1/3$ は、薄き砂礫層及礫交り粘土層の下に花崗石の完全に分解せる眞砂土の層があります。之は掘鑿が容易で然も水密である爲隧道工事には最も都合よき性質のものであります。第三號試錐の位置では深さ 130 呎を掘り下げても依然眞砂土であつて終に岩盤に達せず、第五號の一試錐位置にて海底下 30 呎の深さにて初めて花崗岩の盤に到達致しました。此の花崗岩は彦島側には全く見當らず唯九州側にのみ顯はれて居るのであります。

以上地質調査の外に稍意想外の發見とも稱す可き事は、田ノ首前面の海底を潜水夫によりて調査せる際、粘土質の地層中より所々樹根と認む可きものを見出せる事であります。其の後下關土木出張所の浚渫工事にて大里寄の海底よりも同様の樹根を發見致しました。此れ等は皆 2, 3 米海底を掘り下げたる所より群をなして顯はれて居るものであり、又陸上の樹木と同じ様な状態で此の樹根が粘土の中に喰込んで居るものがある事等より考へ、之は他所より漂流して來たものとは思はれないのであります。此の外地質調査の結果此の大瀬戸に澤山の斷層ある事實や、海峡の西口大曾根附近の海底浚渫にて土木出張所が石炭層を發見せる事等を綜合して考ふる時は、此の海峡は有史以前に連絡せる地帯をなし樹木の繁茂せる事ありしも、幾回か地層の陥落せる事ありて瀬戸内海と日本海と相通するに至り、潮流の作用と相俟て今日の如き海峡を形成せるにあらずやと想像さるゝのであります。

第二 通峽船舶の調査 此の調査は沈埋式工法を採用する場合に參考として必要なるを以て、昭和 2 年 8 月以來田ノ首の山上に見張所を設け晝夜不斷の觀測をなし、通峽船舶は細大洩さず其の隻數、噸數を記録し統計を作りつゝあります。其の結果によれば、汽船は通峽隻數に非常なる異同なく 1 日平均約 200 艘内外であり、其の中千噸以上の船は 1 日 3, 40 艘

許りで其の多くは小型の汽船であります。汽船以外の帆船、胴船、舢舨等の数は天候、風向、潮流の關係で異同甚だしきも、之を平均すれば 1 日約 400 艘であつて、最大の月にては 1 日平均 500 艘を越えないのであります。

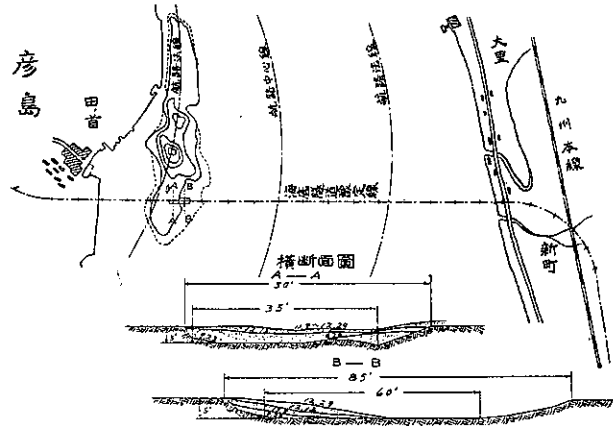
第三 潮流調査 之は大正 6 年に海軍水路部にて浮標を流して測定せるものもあるも、今回の調査は海中に傳馬船を碇置しカーレント・メーターを使用して海面、中間、海底 3 箇所の流速を測定しました。流速は海面のものが最も大であつて、大體は水路部の測定と略一致して居り、大潮の最大流速約 5~6 呎、小潮の最大流速 2~3 呎であることを確むることが出来ました。

第四 漂砂に關する調査 元來關門海峡の潮水は平常極めて清澄で漂砂等を含まぬことは一般に認められて居るのであるが、地質調査の爲田ノ首の前面に移動足場を据付けたる際、海底の一部に砂の堆積せる區域あることを發見しました。それで此の砂は潮流に従て海峡内を東西に移動する性質のものであるまいか、若し然りとすれば沈埋式工法にて海底に掘鑿

せる溝の中に流れ込むから其の對策を研究する必要があると考へ、先づ潜水夫を使用して豫定線附近の海底を検定することにしました。調べて見ると第七圖に示せる如く、田ノ首前面の一部細長き範圍内に漂砂が堆積して居り、其の深さは所によりて異なれども平均約 1 米位あることが判つたが、其の他の部分に於ては少しも漂砂の形跡を認めないのであります。又此の砂の

洲も數箇月間注意して觀測するに其の區域殆ど一定して變化しない、此の區域内に於ける移動は常にあるが全體として潮流に伴つて移動する性質のものでないことが判明しました。此の附近の海面は海峡の本流より凹形をなして陸地に入り込んで居る爲、潮流によりて一定の渦が出来、渦の中心に澱みを生ずることとなる、殊に西流の場合に於ては弟子待前面の狭き水路に制限せられたる潮流が急に田ノ首の方に擴げられる所へ出るのであるから、此の作用が殊更著しき譯であつて海水中に漂砂があれば此處に沈澱することは當然のことであります。此の海峡の潮水は前に申した通り平素は殆ど漂砂を含有して居りませぬが、烈しき風波の際には海底攪亂せらるゝ爲混濁せる潮流の流るゝことを認めますから、斯る場合に運び來れる漂

第七圖 漂砂堆積區域圖



砂が自然田ノ首前面一定の区域内に沈澱堆積せるものと想像せらるゝのであります。又此の区域の大部は下關土木出張所の海峡整理工事にて一旦 10 米の深さに浚渫せる範圍なる故、此の漂砂も其の後に堆積せるものなることが明瞭であります。土木出張所の第一期工事は本年度を以て完了することになる爲、昨秋浚渫船を再び此所に碇繋して法線内に堆積せる漂砂の大部分を除去されました。丁度よき機會であるので同出張所に御依頼致し、漂砂沈澱の区域内に幅 10 間及 5 間深さ約 5 呎の溝を掘鑿し、溝の中には目盛をなせる鐵錐を立て、漂砂堆積の状態を觀測することに致しました。其の今日迄に至る状態は圖面に示せる通りであつて、段々と殖へては來ますが其の進行比較的遅々たるものであります。此れ等の觀測は今少し時日を経過せざれば斷案を下し得ないのであります。要するに大瀬戸海峡に於ては著しき漂砂の移動は殆ど無いと云つて可なる可く、又田ノ首前面に於ける沈澱も懸念す可き程のものでないと思ひます。或は冬期外海の暴れる時分には今日觀測せる以上の沈澱があるかも知れませぬが、斯る傾向ある場合には工事着手前に此の区域内の堆砂をサンドポンプにて除去して置き、此の部分の工事を冬期前に施行する段取りとすれば困難を避け得る事が出來ると思はるゝのであります。

第五 各種測量 大瀬戸海峡にて施行せる測量は深淺測量、三角測量、水準測量等でありませんが今日は其の御話は省略致します。

第五章 盾氣式及沈埋式隧道の比較研究

關門隧道工事に盾氣式及沈埋式孰れの工法が適するかと云ふ問題は、諸般の調査完了して正確なる數字を得た後でなければ決定せぬ事でありますが、今日迄判明せる事實を基礎とし私の抱いて居る考を略述して見度いと思ひます。此の兩者を比較するには、先づ兩案の隧道の斷面や其の水面以下の深さを豫め假定する事が必要であります。附圖第五は大正 15 年に私が此の兩案に就て比較を試みた時作つた斷面圖でありまして、外國の實例に準じて假定したものであります。盾氣式工法による時は海底より隧道頂點迄の覆土の厚さは少くも 20 呎を要し之に水深 58 呎と隧道の直徑 21 呎を加ふる時は隧道の最下端は干潮面以下 99 呎となり、満潮時の水位は之より 7 呎上昇するものとすれば其の深度が 106 呎となります。又沈埋式の方は淺く沈設する程經濟的ではあるが、之も航海關係の將來を考慮し海軍省の要求がありまして、少くも 8 尋の水深を要する事になつて居ります。それで目下研究中の沈埋式隧道に於ては、海峡航路の中心附近では其の頂點を干潮面以下 15 米に取る事にして居ります。之に隧道主體の高さと下方に於ける掘鑿の餘裕を見込む時は、最低の掘鑿は干潮面以下約 78 呎、満潮面よりすれば約 85 呎の深度となります。先づ大體に於て斯の如きものと假定して兩者の比較を試み度いと思ひます。

第一 隧道主體の強度 附圖第五の如く盾氣式隧道と沈埋式隧道とを並べて見ると沈埋式の方が非常に丈夫そうに見へる事は勿論であります、兩者の正當の比較をなすには同一の基礎原理に立脚せる合理的の計算法によらなければならぬのであります。又關門海峽は船の交通頻繁なる許りでなく潮流が變化多く且急激なる爲、船舶の座洲又は沈没が非常に多く海難事故は全國第一位を占めて居る有様である故、隧道の設計に於ては普通の荷重以外に斯る事故より來る荷重に對しても安全なる様斷面を決定す可きであると私は考へるのであります、外國の既設水底隧道に於ては斯る考慮を設計に入れて居るのを見當らない許りでなく、普通其の設計は以前に出來たものを手本となし技師の經驗と判斷とにより隧道の大きや地質如何を考慮して斷面を決定すると云ふ風であります。即今日の水底隧道工事は理論よりも實地の方が先に進歩したものであつて、隧道工學は橋梁工學に比し此の點一步後れて居る様に思はれるのであります。それで從來書籍、雜誌等に發表せられて居る理論又は公式にては兩案に就て正當なる比較をなし且安全を確むることが出來ませぬ爲、私は自分で新しき計算法を研究し且沈没船より來る可き荷重をも考慮して隧道斷面の強度を査定することに致しました。其の理論及公式等は土木學會誌第十五卷第一號の *Stresses in Subaqueous Tunnels* を参照されたし、之に就て御覽を願ひ御討議をも受け度いと希望致して居ります。却説此の沈没船の荷重は種々の方面より研究して關門海峽に於ては 1 平方米に付 10 噸(米噸)と假定すれば充分であろうと考へるのであります、私の計算した結果によれば、附圖第五の沈埋式隧道は此の荷重を受けても充分に耐ふる強度がありますが、盾氣式隧道の方は普通の荷重以上に斯る荷重を受くれば安全の程度を超越せる過大の應力を生ずることになります。故に外國の略同大の隧道に準じた此の斷面では強度不充分であつて、更に大にして肉の厚き斷面を要すると云ふ結論に達した譯でありまして、沈埋式の方が盾氣式隧道よりも強度に於てはるかに優れることを理論上證し得ることゝ存じます。

以上は普通の外力に對する隧道の強度であります、地震の場合に隧道が水平力を受くるとしても沈埋式の方がはるかに強い。元來下關地方は古來大地震の記録がなく此の點に就ては寧ろ安全地帯であり思ふるに及ばぬかも知れませぬが、二つの單線隧道が結合して一體をなせる沈埋式隧道と一線宛孤立せる盾氣式隧道とを比較し、其の水平力に抵抗す可き Section Modulus を計算して見ると 3:1 の比例になつて居りまして、若し地震に對する抵抗が此の Section Modulus に比例するものと假定すれば、沈埋式隧道は盾氣式隧道に比し 3 倍強いと云ひ得らるゝだらうと思ひます。

第二 工事施行上の難易 盾氣式隧道の優良なる點は海峽の潮流及舟運に直接關係なく工事を遂行し得ることとあります、滿潮面以下の水深 106 呎もあれば壓搾空氣の氣壓は約 50 封度に達す可く、ハドソン河又はイースト河の工事に於けるより幾分大であらうと思は

れます。然して隧道の延長も大に且長期間に亘り高氣壓中の作業を要する爲、従事員の潜函病に侵さるゝ危険も尠からぬことゝ思はれますが、之よりも一層心配なることは空氣噴出の危険であります。私はボーリングの結果より見て殊更ら此の感が深いのであります。即海底岩盤の大部分は斷層の爲龜裂して居り殊に海峡の中央附近にては其の度一層甚だしく尤も完全に破碎せる爲、空氣の漏洩を防ぐことは到底困難であり従て噴出の虞大であると思はるゝのであります。隧道を深く穿つ時は此の虞を軽減し得るも同時に氣壓が上り 50 封度以上になれば作業が難しくなつて來ます。故に前に申した通り海底下約 20 呎の覆土を有する深度に隧道の深さを假定したのであるが、之で噴出に對して安全であるとは決して言へないのであります。萬一噴出事故を生じた場合には、海上より其の上方に粘土を投じて穴を塞ぎ注意警戒して工事をやり直す外ないのであります。關門海峡の潮流では粘土が流されて仕舞ふ處が大である、或は又粘土投入の作業が潮流の大なる時を避けて方向の轉換する前後の僅かの時間しか出來ぬと云ふことになれば、是又實際上中々困難なる作業と想像せらるゝのであります。

次に沈埋式の場合を考へて見ると此の工法にも幾多の問題が前面に横つて居りますが、其の中最も大なるのは通峽船舶の障害と潮流中の作業のことであります故、先づ此の問題より研究致し度いと思ひます。

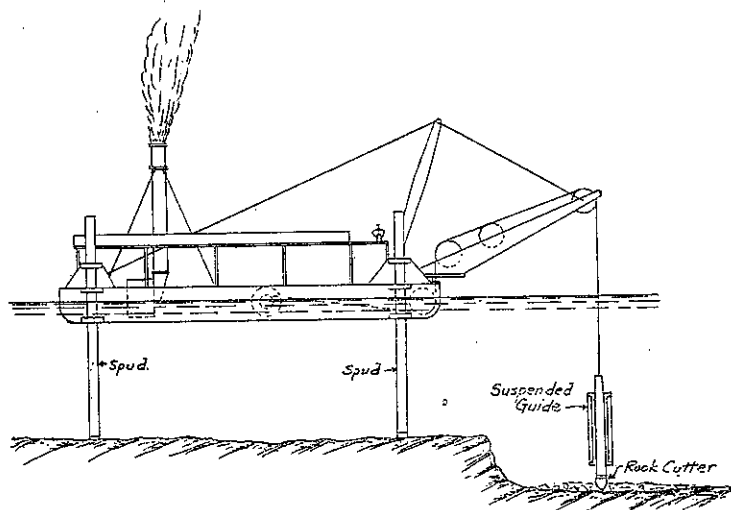
船の障害の點に關しては、地圖の上で隧道の豫定線を見ますと海峡の幅員一哩あり、其の中内務省の淺瀬により 10 米以上の水深を有する部分が 3 000 呎あります。然して此の廣き水路の中で作業船が工事中通航船舶の邪魔をする幅員は 400 呎内外に過ぎないと思ひます。通峽船舶の中汽船は其の隻數も少なく自航力があるのであるから、作業船の前後に標識を置くと同時に見張船を配置して通峽の船に注意を與へ警戒を怠らなければ、此所を通過するに當り別段困難はない筈であります。唯帆船、胴船等は自航力なく風と潮流とにより運航するのであつて、急に風が止み潮流によりて流さるゝ場合には思ふ通りの運航が出來ぬことがある。是等は主として若松港より關門地方又は中國地方へ石炭を運搬する船であります。其の現場附近を通過するものに對しては豫め相當の曳船を準備して置き、曳船により通峽せしむることゝすればよからうと思ふのであります。

次には潮流の關係であります。之は前に申した通り大潮にては 5~6 呎、小潮にては 2~3 呎が最大流速であります。沈埋式工事にて最も重要なる現場の作業は鐵管を沈下することでありますが、之は一箇月か一箇半月に一回位施行すればよいのでありまして、流速の小なる小潮時を撰んでやればよいと思ひます。三呎位の流速なればゲトロイト隧道の工事で何等困難なく施行した實例がありて心配することはないと思ひます。唯海底掘鑿作業又は水中混凝土の作業は大潮でも作業を要することがあると思ひますが、此の爲には作業船

を此の流速に對して固定し得る強度あるスパッド (Spud) を使用すればよいのであります。勿論スパッドと同時に錨をも併用することが便利であるが、錨丈では風や波や附近を通ずる船より波及する動搖を防ぎ得ぬ故、是非スパッドを使用することが必要であります。外國に於ても5哩前後の潮流の中で海底浚渫工事をなすに、此のスパッド附の作業船を使用して故障なく工事を實行して居るのであります。

次に海底に溝を掘鑿するには如何なる方法によるかと云ふことを簡単に説明致しますが、之は地質の軟き所なればクラムシェル浚渫機が最も便利であります。又岩盤の部分は初め之を碎いて置いて浚渫すれば宜いのであつて、岩を碎くにはドリル・ポートにより岩盤に鑿孔しダイナマイトにより爆破する方法と、ロック・カッターを用ひて機械的に粉砕する二つの方法がありますが、關門海峽に於ては種々の點よりロック・カッターを使用する方がよいと考へて居ります、之は第八圖に示した様な装置であります。

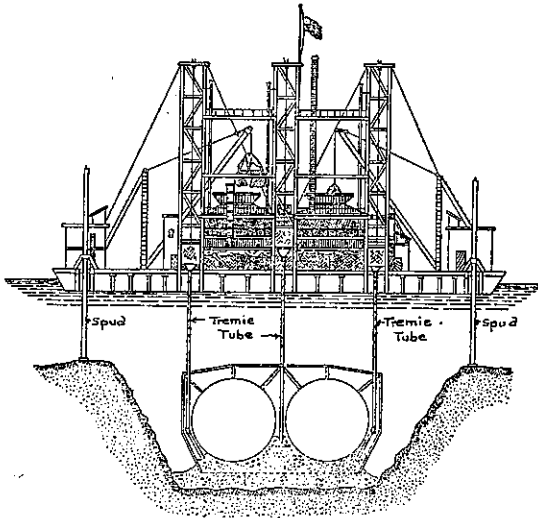
第八圖 ロブニツク碎岩機船圖



次に述べたき事は沈埋式に於て鐵管を被覆する水中混凝土のことでありませう。元來水中混凝土なるものは一般に其の性質不確實なるものと信ぜられて居る様であります、之は從來の方法が不完全なる爲、混凝土を沈下する際セメントが分離し主として砂利と砂よりなる貧弱なるものを残す爲であつて、セメントの分離せざる様に方法を改良すれば完全に近いものが出来るのであります。第九圖はデトロイトで施行したトレミー混凝土工事の作業を示したものでありまして、時間の都合で詳しいことを申す暇がありませんが、此の設備によりて施行した爲却て同時に陸上で作つたものよりも強度の大なる混凝土が出来ました。昨年竣功せるオークランド海底隧道工事にても鐵筋混凝土管の継手は同一の方法によりましたが、之も

立派な成績を擧げて居ります。

第九圖 デトロイト河底隧道水中混凝土施工圖



最後に附加へて申度きことは、隧道に使用した薄き鐵板が長年月海中にありて腐蝕する時は破壊の原因となるまいかと云ふ懸念であります、之は全く杞憂でありまして近年専門家の研究により鐵類の腐蝕は電氣分解作用に基づくことに學說一定するに至り、腐蝕作用には水分と酸素が必要であるが深海の底では酸素に接せざる爲此の作用が起らぬと云ふことになつて居ります。之は學者の机上の實驗許りでなく實例もあることであります今日は省略致します。

以上述べました事により、沈埋式の工事にも幾多の困難はありても、初めより適當なる準備をしてかゝれば打勝ち得ざる程度のもので無いことが御解りであらうと思ひます。私は盾氣式工法にて豫想せらるゝ壓搾空氣噴出の危険よりも却て安全であつて、工事施行に對し自信を持ち得る様感ぜらるゝのであります。

第三 工費 今日未だ正確なる數字を申述ぶる時機に達して居りませんが、私の概算で此の兩工法を比較して見ますに、沈埋式隧道の方が盾氣式隧道に比し約一千萬圓内外の節約をなし得らるゝ様に思はれます。

第四 運轉上の得失 沈埋式隧道は盾氣式隧道に比しレール・レベルが約 25 呎高き爲、隧道開通後は凡ての列車に對して 25 呎を昇降するに要する損失を永久に節約することが出来る道理であります。

第六章 隧道開通の効果

關門隧道が山陽線と九州線とを直接連絡することゝなれば鐵道の輸送系統に一新時期を劃することゝ思はれますが、之を旅客關係より見れば、直通の旅客に對し約 1 時間を短縮し乗客の乗換、荷物の積換は不必要となり、軍隊輸送の如き場合には非常に有效の働をなすことゝ思ひます。之を貨物關係より見れば、輸送時間を約 10 時間短縮し貨車の效率を増大致します。又現在九州へ出入する貨物は貨車航送の爲特別賃金を課して居ますが、隧道開通により之が不用になれば年額百數十萬圓の負擔が荷主より輕減せられ、物價低落産業助長の効果を

與へることと思はれます。

貨車航送不用となれば一日百數十回の海峡横斷がなくなり、通航船舶に對し今日與へて居る障害と危険とが全く除去せらるゝことになります。

九州本州間の海底電線は凡て隧道内に收容出来る故、通信の安全及改良に多大の便宜を與ふることが出来ます。

彦島の内務省埋立地は今日不用の土地でありますが、連絡線此の地を通過し新停車場が設置せらるゝ時は一躍して立派なる所となり、地方開發に非常の好影響を與へます。

小門海峡を鐵道の横斷箇所にて締切ることにより、從來は潮流の爲利用し得ざりし場所が平靜なる海面と化し、其の西側が漁港となる許りでなく東側に於ても之を浚渫して適當なる設備を施せば、將來に於ては立派なる商港に發達することゝ考へられます。

斯の如く本工事の遂行は鐵道の輸送關係上必要なる許りでなく、各方面に至大の影響を及ぼす可き國家的に重要な工事であります。又之を技術方面より見れば、非常に興味ある仕事であると同時に我國にては先例の無き大工事でありまして、大に工夫を凝らし設計を練る必要を感じて居るのであります。我土木學會は本邦の優秀なる技術家の唯一の集團であります故、會員諸君に御氣付の點や異つた御意見でもあれば願はくば御忠告下さいまして、此の大工事を最も科學的に且經濟的に完成し得るに至らんことを切望して居る次第であります。

講演を終るに際し御清聴を得ましたことを厚く感謝致します。

講演後次の質問及回答ありたり。

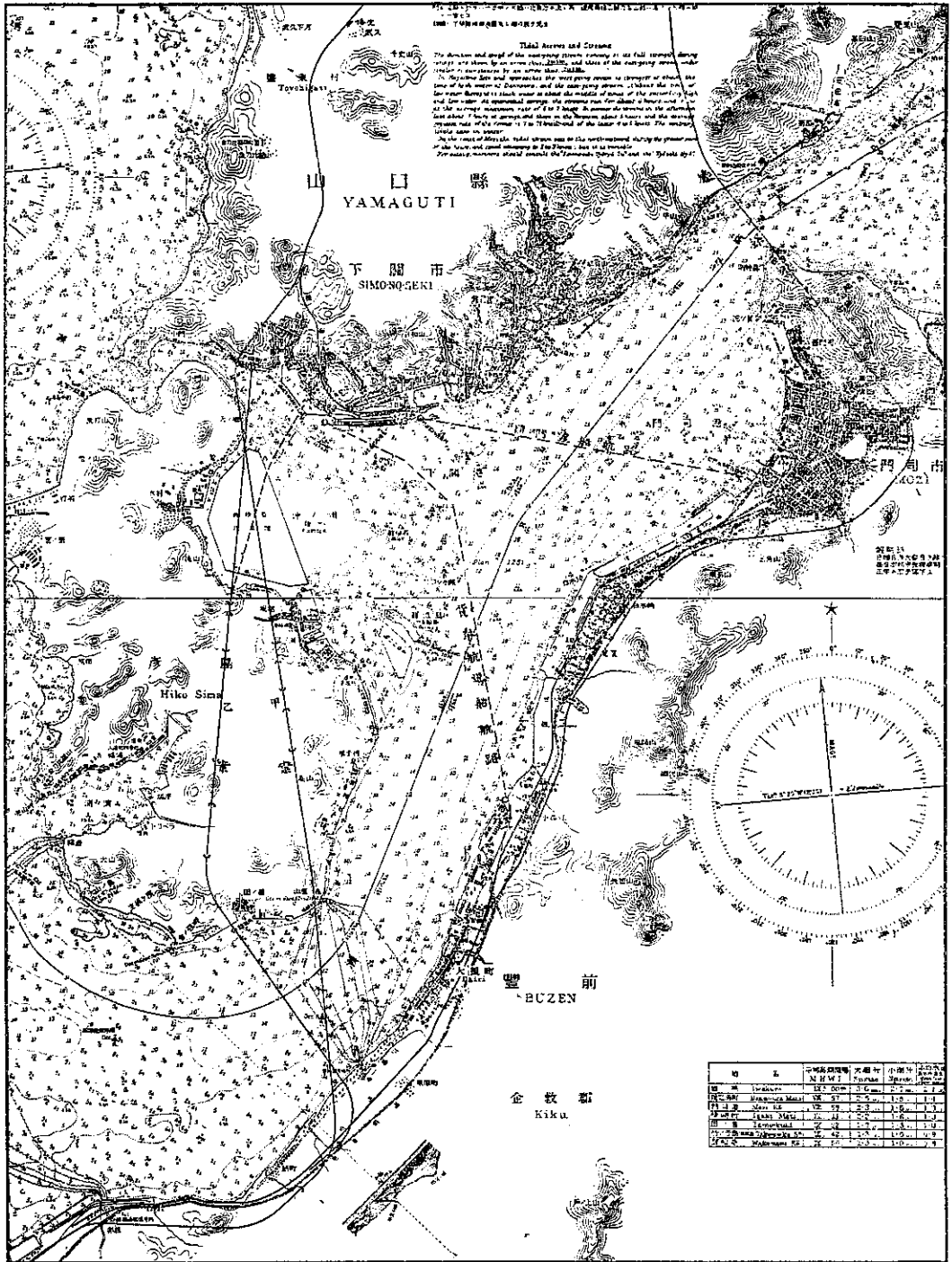
(問) 先程御話の水中混凝土工事は、どう云ふ風に施行致しますか。

(答) デトロイト隧道工事で行つた方法を第**九圖**に就て説明致します。同工事に於ては沈設鐵管の延長約 12 呎毎にダイヤフラム (Diaphragm) を以て其の外方に仕切りをなし、又ダイヤフラムの左右の端には張板を取付けたる爲、上下両面のみ開いて居る幾多のポケットにて鐵管を被覆せる状態となりました。

斯の如く鐵管の周圍を小ポケットに區分した理由は、水中混凝土の作業に多く流水の動搖によりセメントの分離流失するを防ぐと同時に、間斷なき作業によりて一ポケット内の混凝土を一回に仕上げる爲であります。次に此の混凝土を施行する方法はトレミー管により之を船上より降設するのであります。混凝土船には砂利、砂、セメント等の充分なる貯槽があつて、ミキサーにより間斷なく混凝土をトレミー管に供給し得る様になつて居る。トレミー管は薄き鐵板で作つた管であつて、地盤迄到達し得る充分の長さを有し、之を懸吊せる塔に沿ふて自由に昇降せしむることが出来る。先づ最初にトレミー管の下端が地面に達する迄降して置く時は管内の水位は無論外部の水面と同一位にあります、此の時セメント袋の如き詰物

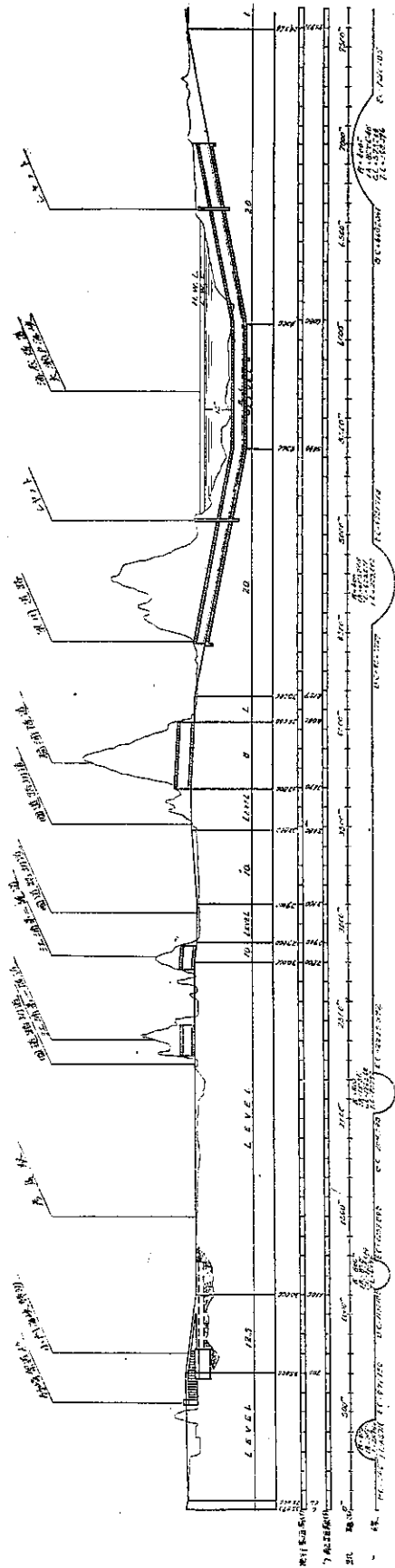
を管内の水上に置き、極軟く練りたる混凝土を其の上に投下し、混凝土が終に管の上端迄達せる時極少し許り管を引上る時は管内の水は其の下端より逃れて混凝土は之に従て下降して來る、此の間も間斷なく混凝土を上方より注ぎ込む時は終に管内全部混凝土を以て充さるゝに至ります。是より後はトレミー管を引上ぐるに従て混凝土が其の下端より流出して擴がるのである故、其の調節に注意して管の下端が常に 2,3 呎位混凝土の中に没入して居る程度に徐々之を引上ぐる時は、管の上部に投入せる混凝土が少しも水と混合する事なく其の下端より流れ出で、漸次に表面に持ち上つて來るのであるから、セメントが分離流失する虞がなく完全なる混凝土を施行する事が出來ました。此の方法により水中混凝土を施行する時セメントの分離せざる事は、潜水夫を入れて見ても普通此の種の工事に伴ふレイタンスと云ふ現象即水が牛乳の様に濁ることがなかつたのを見ても明であります。故に斯くして出來上つた混凝土は立派なものであつて、施行一箇年の後ドリル・マシンで此の水中混凝土のコアを壁より切り取りて試験せるに、等質の混凝土である許りでなく、却て同時に陸上にて施行せる混凝土よりも強度が大であると云ふ好成績を得ましたが、之は全く 40 呎の水壓の下で凝結した爲であると考へられます。

附圖第一 關門連絡線計畫平面圖

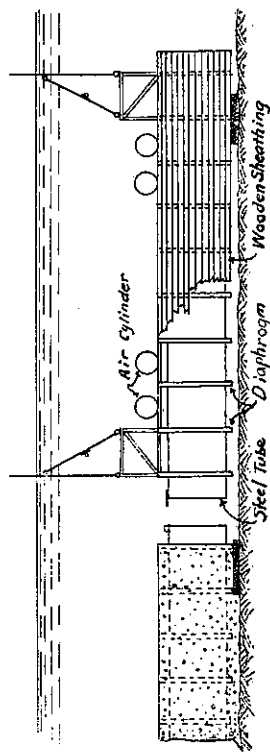
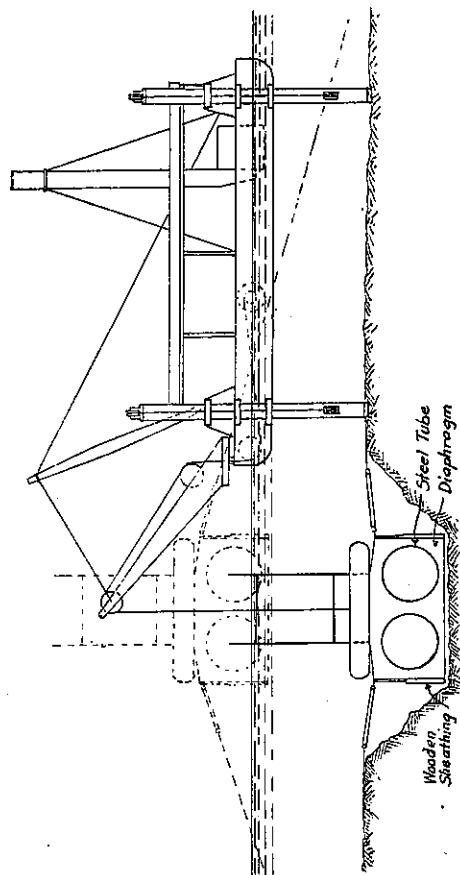
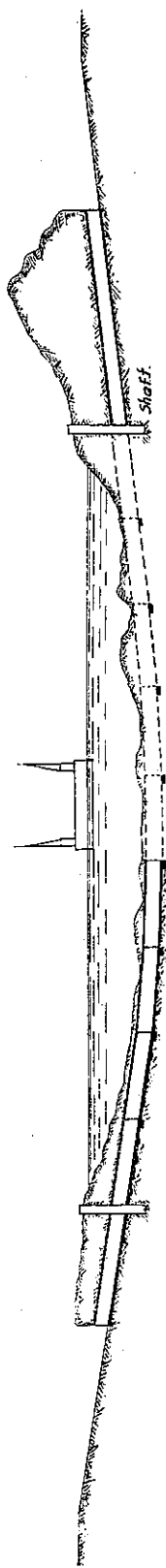


土木部設計第十七號圖(一)

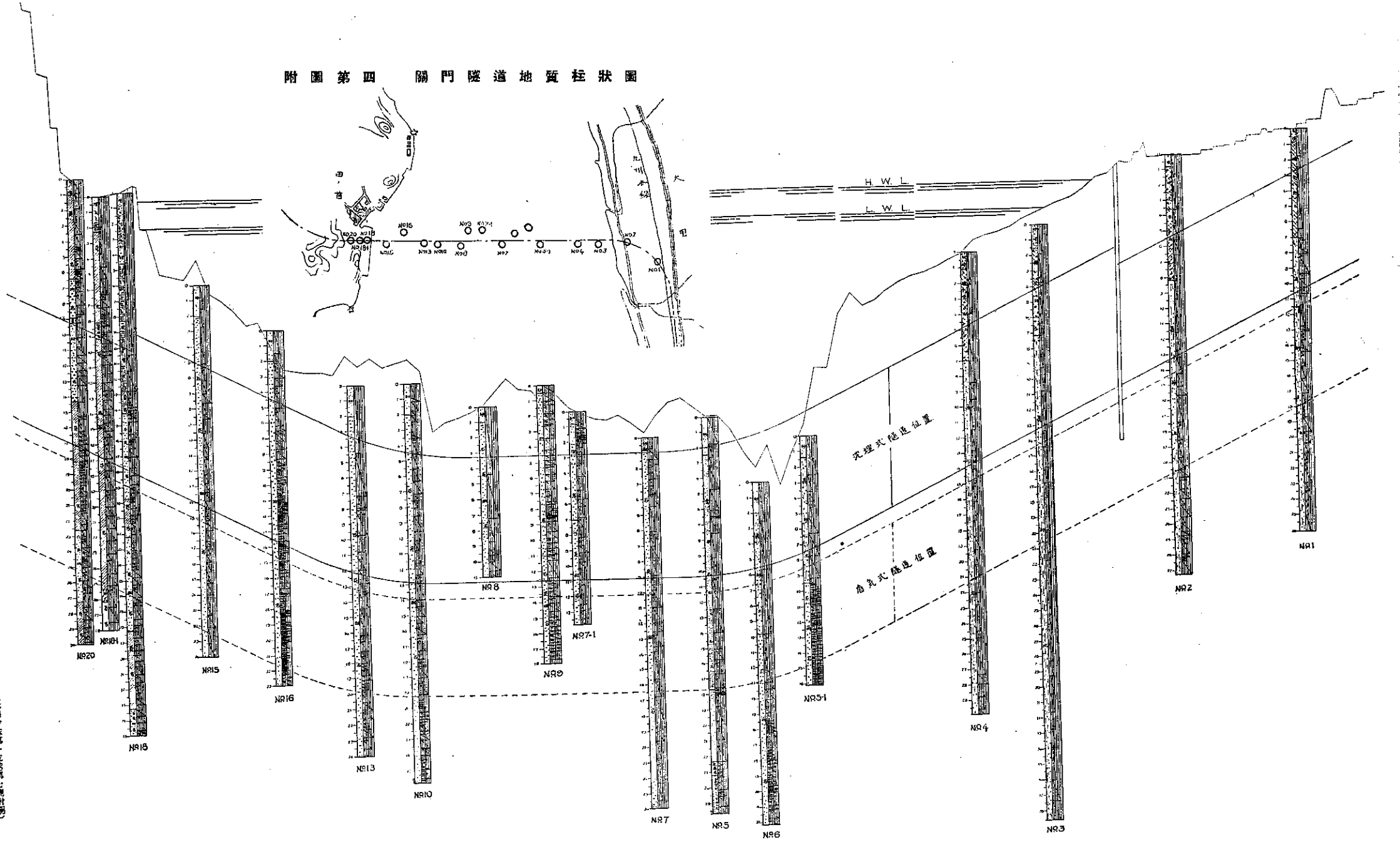
附圖第二 關門連絡線々路斷面圖



附圖第三 沈埋式工法圖



附圖第四 關門隧道地質柱狀圖



(土木學會誌第十五卷第七號附圖)

附圖第五 盾氣式及沈埋式關門隧道計畫圖

