

# 講演 演

第 20 卷 第 12 號 昭和 9 年 12 月

## 丹那トンネル工事を顧みて

(昭和 9 年 10 月 23 日土木學會創立 20 周年記念講演會に於て)

會員工學士 平山復二郎\*

### Some Problems in the Construction of Tanna Tunnel

By Fukujiro Hirayama, C. E., Member.

#### 内容梗概

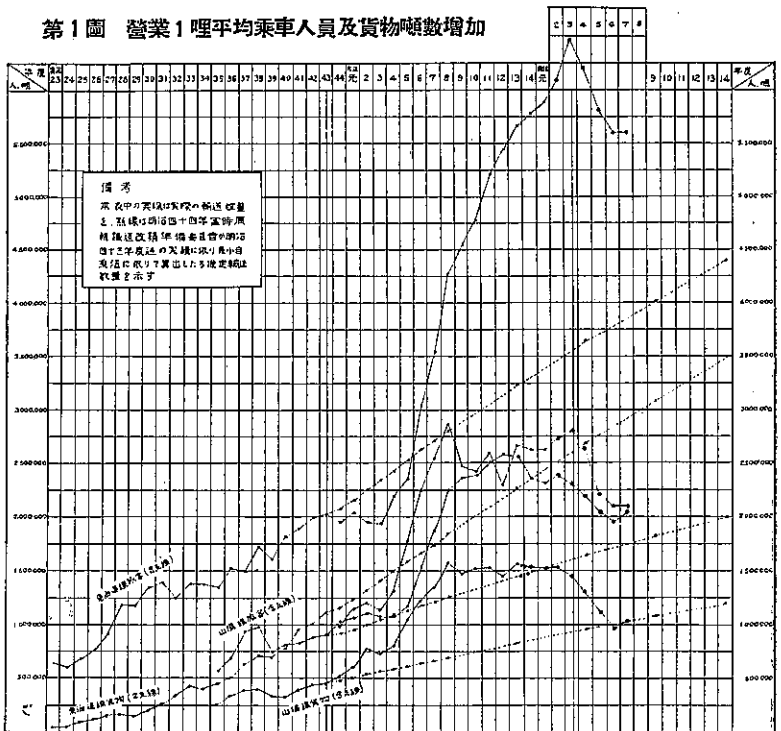
本講演は、丹那トンネル工事に關聯し、熱海線の計畫、複線型断面の決定、工事方法の一般に就いて、完成の今日から見た所感を述べたものである。

丹那トンネルは、既に皆様御承知の通り、16 年も掛つた稀有の難工事でありますから、完成の今日になつて、この長い過去を顧みて、論ずるとなりますと、實に色々の問題があるのであります。併し茲には、これ等諸問題の中熱海線の計畫、複線型断面の決定、工事方法の一般に就いて、聊か所感を述べて見たいと思ひます。

#### 1. 熱海線の計畫

丹那トンネルの掘鑿を必要とする熱海線の工事が目論まれたのは明治の末期、43 年頃の後藤鐵道院總裁の時代であります。今から約 25 年前の昔になります。當時熱海線を計畫した直接の目的は、勿論箱根越の 1/40 の勾配區間を、1/100 の勾配に緩和して、この區間の輸送能力を増そうと云ふ點にあつたのであります。併し考へて見ますと、當時は、未だ日本の交通國策として、鐵道の廣軌改築問題が、論議されて居つた時代でありましたから——今日ではこの大問題も最早解消の姿で、再燃しそうな氣配もありませんが——熱海線の計畫の背後には、この問題からの影響が多分にひそんで居つたのであります。日本の鐵道

第 1 圖 營業 1 哩平均乗車人員及貨物噸數増加



\* 鐵道技師 鐵道省建設局工事課長

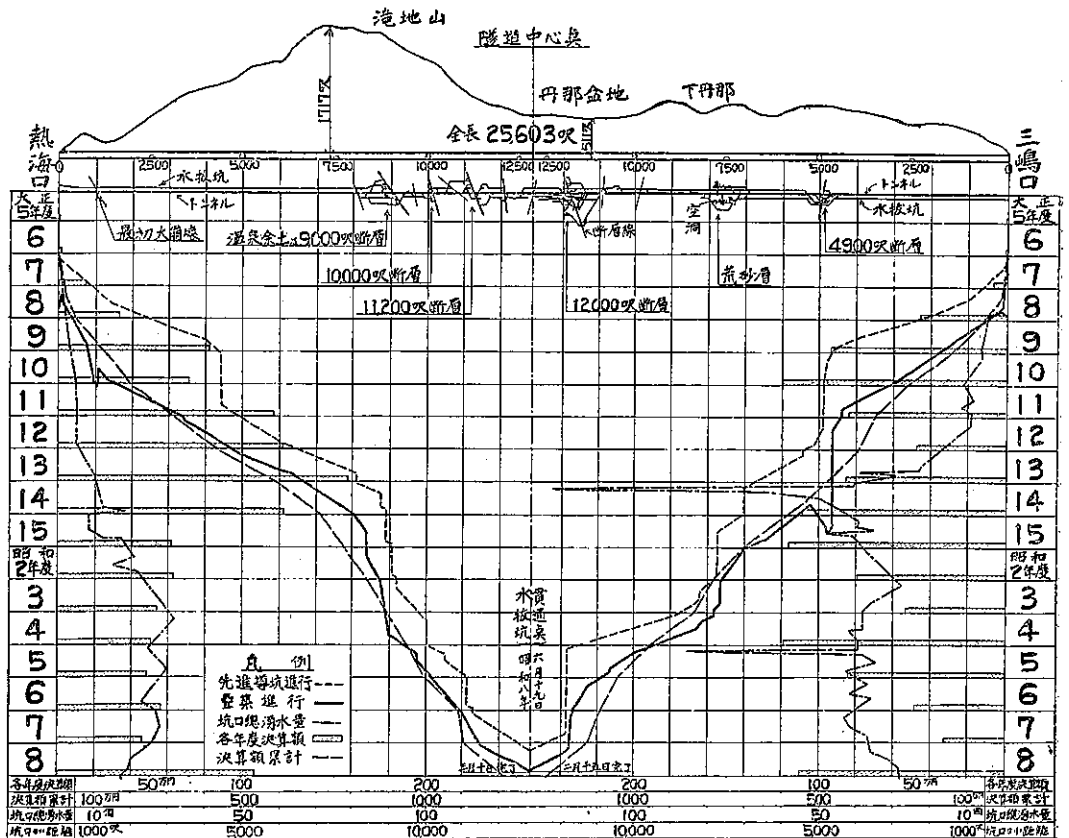
を廣軌に改築する必要があると云ふ理由には、勿論色々ありますが、當時考へて居つた有力な理由には、國運の發展に伴ふ將來の鐵道輸送量の増加と云ふことがあつたのであります。即ち將來日本の幹線は輸送量の増大につれて輸送能力の不足から行詰りはしないかと云ふ點から廣軌改築が論ぜられたのであります。この考からしますと、東海道線の1/40の勾配區間が第1に問題となるのであります。現に熱海線の計畫を必要とする理由にも、將來箱根越の線路が、輸送能力から不足すると云ふ數字的調査が基礎をなして居つたのであります。併しこの様な考が、今日から見て如何に思ひ半に過ぎなかつたかと云ふ事は、東海道線の現状を見れば想像がつくのであります。尙明治44年に設けられた廣軌鐵道改築準備委員會で調査して、廣軌改築を必要とする論據とした東海道線及び山陽線の將來に於ける推定輸送増加量と、今日迄の實績とを比較して見ますと、一層判然とするのであります。第1圖はこの比較圖であります。これを見ますと、當時想像した狹軌の輸送能力では、處理覺束なしと推斷した輸送量の數割も餘分なものを今日大した支障なしに輸送して居るのであります。この様な見當違ひの論議がなされたのはなぜかと考へて見ますと、全く今日に於ける軌道、信號機、車輛連結機、機關車等の技術的發達を、當時豫想出來なかつた爲だと思ひますが、この事實は、又一面、かういふ假定に基く數字的調査が、如何にたよりないものであるかと云ふ事を示す實例になると思ひます。斯うして見ますと、如何にも日本では廣軌改築の必要がなかつた、狹軌でよかつた、熱海線の計畫も必要がなかつた、現在の箱根線で充分だつたと云ふことになりそうですが、單に輸送量と云ふ數字關係から見ますればそれも言へませう。併し廣軌が鐵道として狹軌より色々な點に於て優つて居る事實には、何等變りはないのであります。若し廣軌改築問題が初めて論議されました初期に、思ひ切つて、廣軌に改築されて居つたならば、日本の鐵道は、恐らく今日以上に優秀な發達を遂げ得たのではないでせうか。又熱海線にしても同様であります。斯かる箱根線の輸送能力關係等とは獨立に、熱海線が1/100の勾配線として、補助機關車の必要もなく箱根線に比して運轉上の安全度を増大し、しかも温泉地帯伊豆の中心に幹線を通せしめて、この天恵の伊豆一帯をして、帝都の行樂地たらしめる鐵道としての文化價值——丹那トンネルの工事が、技術上に與へた莫大な貢獻は別としても——には何等の變りもないのであります。いつも大きな土木工事の計畫には、前記廣軌改築の問題や、熱海線の計畫と同様、利用上關係ある豫想的な數字を調査して、これに物を謂はせて、彼れ此れ論ずるのが普通であります。斯う云ふ數字的關係は、餘程其の本質をはつきり認識して、判斷しない限り、餘り重要視す可きものではないと思ふのであります。今日日本の土木工事として、重大な懸案である關門海峡の海底トンネル計畫に就いても、この點を考へる必要があると思ふのであります。關門に於ける將來の輸送量増加と云ふ點から數字的調査をして其の必要有無を考ふることも參考としては必要でせうが、これを決定する根本は、今日の技術的發達が斯かる工事の遂行を保證する以上、この工事が本州、九州間に列車の直通運轉を可能ならしめる文化價值に重きを置かなければならないと思ふのであります。又これを輸送量等から、本質の全然違ふ連絡船設備の改良等と比較して、運輸量その他から其の必要如何を論じますのも全く無意味なことでありまして、恰も馬車と自動車との經濟比較をする様なものであります。いくら連絡船設備を改善したとて、列車の直通運轉は出來るものではないのであります。話が少し横にそれた嫌ひがありますが、熱海線の計畫當時の事情を顧みて、聊か所感を述べた迄であります。

## 2. 複線型斷面の決定

次に丹那トンネルの設計當時、論議された「トンネルを單線型2本で掘るか、複線型1本で掘るか」と云ふ問題に就いて考へて見たいと思ひます。丹那トンネルの工事に掛つたのは大正7年でありますが、當時このトンネルは日本最長のものでありまして、其の時代には未だ機械掘に依るトンネル施工の經驗も極めて淺く、又複線型の

長大トンネルを掘つた経験も、生駒山トンネル位のもので、其の上トンネルの地質は、必ずしも安心出来る良好のものではないと云ふ懸念——勿論これ程の難工事にならうとは夢にも想像しなかつたのでありますが——もありましたので、この2本で掘るか、1本で掘るかと云ふことは、當時考究を要する重大な問題であつたのであります。単線型2本と、複線型1本との利害得失に就いては、色々の點がありますが、大體完成後に於ける利用上からは、複線型1本の方が優つて居るのであります。只トンネル掘鑿上から概念的に考へますと、一般に地質が悪い即ち土壓が大きい場所では、複線型の幅の広いトンネルを掘るより、幅の狭い単線型2本を掘る方が容易で危険が少く、従つて経済的だと云ふことが問題になるのであります。地質が悪く崩壊し易い場所では、勿論大きい穴を掘るより小さい穴を掘る方が、樂に違ひありませんから、これから單純に推論しますと、全く其の様な理窟になるのであります。こんな關係から、丹那トンネルは設計當時1本にするか、2本にするかに就いて、色々論議されたのであります。結局、複線型1本で掘ることに決定しまして、遂に今日複線型トンネルとして完成を見たのであります。併し顧みて、このトンネルが、工事中屢々、不良地質の箇所に出會ひ、大崩壊事故を起し、未曾有の難工事として多年苦心したことを考へて見ますと、右に述べた理窟から、このトンネルを複線型1本で掘つたのは、間違ひではなかつたか、単線型2本で掘つたなら、難工事の程度も軽減されたのではなかつたかと云ふ疑問が自然に起ると思ひます。無理もない疑問であります。丹那トンネルでなめた實際の經驗等からしますと、そう簡單

第 2 圖 丹那隧道工事工程一覽圖



にはこの抽象的の理害論に當てはまらない様であります。

丹那トンネルで掘鑿上苦しんだ箇所的大部分は、斷層でありましたが、外に火山荒砂、温泉餘土の地帯がありました。併しこれ等の箇所で、非常な難儀をした特別の原因は、丹那トンネルが貫く地山一帯が、高壓な(最高毎平方呎 290 封度)豊富な(最高湧水量 100 個)地下水を有つて居つた爲でありまして、斯かる湧水が、軟弱な地盤を崩壊して掘進を妨げたのであります。これ等の箇所ではたつた小さな導坑 1 本を通すことが、容易に出来なかつたのでありまして、導坑 1 本を貫くのに、1 年以上も時日を費した難場は全體で 6 箇所ありました。これを丹那トンネルの 6 大難場と稱して居りますが第 2 圖の上部に「温泉餘土及び 9 000 呎斷層」、「10 000 呎斷層」、「11 200 呎斷層」、「12 000 呎斷層」、「荒砂層」、「4 900 呎斷層」と記入した箇所がこれでありまして、この 6 箇所だけで導坑 1 本を通すのに、停滞した延べ年月を調べて見ますと熱海口が約 5 年 6 箇月、三島口が約 7 年 8 箇月になります。この様に丹那トンネルの不良地質箇所では、小さな導坑を 1 本通すのに、非常な苦心をしたのであります。一度導坑を通すのに成功して不良地帯の奥に達しますと、其の箇所の初水を容易にしぼることが出来ましたから、崩壊の爲地山を特別に緩めた場合ででもなければ、以後の切擴作業には何等苦心を要しなかつたのであります。工事の初期には、地質に對する智識も少く、斷層に對する認識等も幼稚でありました爲に、本線の導坑を先進せしめて、これ等の不良地帯に突入し、大崩壊事故を起して、切擴作業を爲す可き部分の地山を緩め、導坑の貫通後、湧水の減じた後になつても、切擴疊築作業に苦勞を重ねたことがありましたが、地質上の認識が進むと共に、本トンネルと別箇に、側方に 5 呎レベルを下げた水抜坑を平行に掘り先進せしめて、不良な地質にぶつかると、先づこの水抜坑を貫通することに努力し本トンネルの掘鑿は、不良箇所の手前で一時前進を中止し、假令水抜坑の掘鑿では大崩壊事故を起しても、トンネル部分の地山を緩めない様な方法を取りましてからは、如何なる不良箇所でも本トンネルの掘鑿、疊築作業には、大きな支障を來したことはありませんでした。この掘鑿のプリンシプルは丹那式とも稱すべきものでありまして、この方法を採用してからの丹那トンネル掘鑿上の苦心努力は、結局地質不良箇所に於て先進導坑の水抜坑——普通高幅共 8 呎位——を 1 本貫く點に集中されたのでありまして、トンネル自體を掘鑿することには、何等特別の苦勞を要しなかつたのであります。これから考へて、複線型を採用したこと、丹那トンネルの難工事には直接何等の關係がなかつたと云へるのであります。

單にトンネルの地質が悪いと云つても、實際には其の性質は色々であります。最も悪い種類の 1 つに丹那トンネルで経験した様な、斷層等の箇所、ルーズな地盤と、高壓多量の湧水との結合したものがあります。斯かる地質に出會つた場合の掘鑿法としては、丹那式にトンネル部分の地山を緩めることを避けて、トンネル側方に迂回導坑を掘り、これを貫通せしめて、崩壊の原動力であるこの部分の湧水をしぼり取つてから、トンネル自體の掘鑿に掛かるのが最もよい方法の 1 つだと思ひますが、この方法に依りますと、トンネル自體の掘鑿には、餘り困難がありません。従つて、この様な不良地質でも、トンネルの幅の大小は餘り、掘鑿上には影響がないことになり、複線型の大幅トンネルを掘る場合でも、單線型を掘るのに比べて、特別な支障はないことになります。

次に今 1 つ悪い地質の種類に、大量の湧水に關係がなくても、僅かな含水量等の爲に、強大な膨脹力を發揮し、其の爲に大きな土壓を及ぼす温泉餘土、頁岩、蛇紋岩等の地質があります。この種の地質には、大きな崩壊性はありますが、デリデリと絶えず強い荷が四方から掛る爲に、支保工が偏移破壊され易く、それに、普通の土砂等と違つて、掘鑿中緩んだ地山が、疊築完成後、自然締つて土壓が減ると云ふ傾向もありませんから、支保工の寸法、組立方、覆工の形、厚さも、トンネルの高さ及び幅に應じて、強い土壓に耐える様特別に設計しなければなりません。現にこの種の地質では、疊築が完成後強大な土壓の爲破壊された例がありますが、目下工事中の大

糸線の大野トンネル、最近改築工事を實施した北陸線の倶利伽羅トンネル、海熱線の泉越トンネル——何れも單線型で泉越は單線 2 列である——は其の適例であります。この様な譯で、この種地質では、トンネルの断面の大小が、工事上大きな影響をもちますから、複線型トンネルを掘るより、單線型トンネルを掘る方が、確に樂であります。併し單線型 2 本を並行に掘るとなると、この種地質では、トンネルを掘る爲地山内に生ずる應力及び變形が、相互に影響し合ふ傾向が大にありますから、並列トンネルの距離が重要な問題になります。並列トンネルを掘る必要は、複線鐵道を建設する場合許りでなく、既設單線鐵道を複線に直す場合にも必ず起る問題であります。普通の場合並列トンネルの距離を縮める方が、工事上には便利であります。後から掘る一方のトンネルの爲の土壓影響を考へますと、地質の悪い場合には、この距離を相當離さなければなりません。この關係に就いては、東京帝大の野坂工學士が、寒天を利用し、模型實驗をされたことがあります。實例としては、曾て大津、京都間の改良工事に於ける單線型並列（中心間隔 30 呎）の逢坂山及び東山トンネルで、この爲苦心した經驗があります。熱海線の泉越トンネル（延長 2.5 km, 工事着手大正 11 年）はこの線に於ける他のトンネルが全部複線型 1 本なのに係はらず、地質が悪いから單線型 2 本で掘る方が有利だと理由で——單線型 1 本の方を早く竣功させて單線運轉でいゝから、閉通を早めやうと云ふ理由も一部にはあつた様ですが——並列 2 本の單線型を採用しましたが、2 つのトンネルの中心間隔は、前記逢坂山及び東山トンネルで苦しんだ經驗から、同トンネルの場合の倍の 60 呎としました。然るに、丹那トンネルで出會つたのと同様な温泉餘土の區間に於て、先に完成使用した山側上り線トンネルの壘築が、海側下り線のトンネルの工事進行と共に、次第に變形破壊を來し、遂には使用に耐えなくなる迄になつてしまひました。この破壊の原因には、在來の馬蹄形の覆工が、強い側壓のある地質に不適當であること、又施工の不完全と云ふことも考へられますが、並列トンネルの中心間隔の 60 呎が、斯かる地質に對しては、尙未だ不足だつたと云ふことも有力な 1 つの原因と思はれるのであります。（この泉越トンネルの改築に就いては、瀧山工學士の「泉越隧道改築工事」、雜誌土木工學、昭和 9 年 4 月號参照）皮肉な事には、丹那トンネルの複線型では、同一の地質區間に於て、完成後壘築に何等の異狀がありませんでした。これは、複線型トンネルの覆工の形が、自然に側壓に適する形になつて居ることに依るのだと思ひますが、泉越の場合と對照して、興味ある事實だと思ひます。此様に、この種地質では幅の狭い單線型を掘る方に、有利な點がありますけれども、2 本並べて掘るとなると、相互の距離を何程にするか、茲に大敷しい問題があるのであります。果してこの種の地質に於てどの位な距離にしたらいゝのか、未だ決定す可きデータがありません。

トンネルで、工事上特別に苦勞する地質と云へば、大體以上の 2 つの種類になると思ひますが、上に述べました通り、この場合、地質が悪いからと云つて、單線型 2 本が必ずしも掘鑿上有利だとは云へません。完成後、複線型トンネルが單線型 2 本に比べて、利用上有利な點を考へますと、寧ろ、複線型 1 本を採用する方が得策だと云ふことになります。尙この問題に就いては、或る土壓を假定して、これに對する覆工の形、厚さを設計し、又掘鑿に對する方法を定めて、工費の經濟比較をして見ることも出来るのであります。もともと、かういふ計算は色色な假定に出立しますので、假定の如何に依つて、隨分結果は變つて來ます。現に古い公文書類を調べて見ますと、複線型 1 本を採用した理由書には、複線型 1 本の方が工費廉なりとの結論が出て居りますし、泉越トンネルで單線型 2 本を採用した理由書にはこの逆に單線型 2 本の方が廉なりとの結論が出て居ります。こんな譯で工費の比較も、假定が多いので、餘り信頼出来るものは作れません。今日一般のプラクティスを調べて見ますと、複線鐵道を建設する場合のトンネルは、殆んど複線型 1 本に依つて居ります。1913 年に起工、1930 年に竣功し本年春全通式を擧げた世界第 2 の延長 18.5 km のアベニ・トンネルも複線型 1 本であります。其の他複線の長大トンネル

ルの殆んど凡ては複線型 1 本であります。これ等の點から考へ、又以上に述べた論議からしても、複線用のトンネルを掘る場合には、一般に複線型 1 本が原則だと云つていゝと思ひます。

以上で、大體ながら、地質が悪い場合掘鑿上單線型 2 本がよいと云ふ抽象論が、實際にあてはまらないことを説明しましたが、獨りトンネルのこの問題に限らず、この様な抽象的、概念的な理窟は表面的、總論的には正しくても、少し深く具體的に穿つて考察して見ますと、其の儘あてはまらないことが屢々あります。だから、實際の具體的な實行問題を考へるに際しては、この種の理窟に囚はれる事なく、又常に實行から得た現實的な實績經驗から斯かる概論を修正して行く事が必要であります。どんな理論も、理窟も、實行から遊離してしまつては駄目であると思ひます。

### 3. 工事方法の一般

次に丹那トンネルの工事方法に就いて、聊か論じて見たいと思ひます。前にも述べました通り、丹那トンネルで工地上非常に苦しんだ難場は 6 箇所ありますが、この箇所にはける工事の重點は、先づ 1 本の水抜導坑をこの部分に貫通させることにあつたのであります。これが爲に色々な方法を試みたのであります。終始一貫變らなかつた方法は、水をしぼることに努めたことであります。水をしぼる方法としては、特に變つた方法も取りませんでした。不良地帯に向けて水抜坑を多く掘り當て又、地質調査を兼ねて水抜用のボーリングを多く掘つたのであります。水抜導坑を押し進める爲には、局部的には、水を止めるセメント注入又は空氣掘鑿を利用しましたが、これ等の方法に依つて掘り進めた水抜坑も、結局は水をしぼる爲に利用したのでありますから、大局から見れば、やはり水をしぼることが目的だつたのであります。かう考へて見ますと、極端な謂方かも知れませんが、丹那トンネルの難工事は、歸する所、高壓豐富な地下水を低下させることにあつたのだと謂ふことが出来るのであります。事實水抜坑の掘鑿延長が、トンネル延長の倍近くに達したと云ふ結果から見ても、そう云へるのであります。トンネル中央に當る丹那盆地の地表は、トンネル施工基面から 500 呎餘りでありましたが、工事着手前には、この盆地の地下水は殆んど地表にあつたのであります。これがトンネルの工事進行と共に次第に低下して、結局はトンネル盤まで低下して了つたのであります。斯く水をしぼることが、結局丹那トンネル工事の重點であつたとすると、實際に利用した水抜坑掘鑿に依る方法以外に、水をしぼる方法として別な案はなかつたかと云ふ疑問が起るのであります。今日から見て、實行したら面白かつたと思ふ方法は、丹那盆地から幾つかの豎坑をおろして、水をかひ出すと云ふ案であります。丹那盆地に豎坑を降ろすと云ふ考は計畫當初にもあつたのであります。この案の様に地下水をくみ出すと云ふ意味ではなかつた様であります。この案は大正 11, 12 年頃、丹那盆地で初めて地質調査用ボーリングを施した時に、故太田圓三技師が主張した案であります。この方法は難工事の原因の核心に觸れて居る點に於て、確かに興味ある案であつたと思ひます。この案の豎坑掘鑿は、普通の施工用のものと違ひ、地下水を低下せしめる目的でありますから、地下水の低下と共に徐々に掘り下げて行けばよいのであります。従つて其の工事は左程困難ではないと思ひます。この案に依る經費はどの位になりますか、はつきりしたことは解りませんが、假りに 6, 7 年間豎坑を掘り下げながら、20 個位の水を絶えず、くみ上げるとして、大體計算して見ますと、この案の經費は大略 300 萬圓前後のものではないかと思ひます。勿論これは極く大雑駁な調で、實際に實行するとすると、色々な支障があるかも知れませんが、この程度の費用なら全體の工費に比べて經濟的にも實行性のないものではないと思ひます。又この方法では地表に地下水をくみ上げるのでありますから、補償の爲 150 萬圓餘を費した丹那盆地其の他の濁水問題を緩和するのに大いに役立つのではないかと思ひます。この案の提出された當時は、兩口とも 5 000 呎位進行した時で、丹那トンネルとして、これから本式の難工事時代に入らうとする時代でありましたから、

未だ將來の難工事に對する見通しも淺く、從つて、餘り賛成する者もなく其の儘實行に移されずに終つて了ひましたが、若しこの案が實行されて居つたなら、どんな結果を齎したでせうか、甚だ興味ある問題であります。

丹那トンネルでは、難場の突破に水抜坑以外、空氣掘鑿、セメント注入を利用したと申しましたが、空氣掘鑿は三島口 7000 呎附近の火山荒砂地帯の水抜坑掘鑿に利用して成功を納めただけでありまして、セメント注入の方が多く利用されました。これ等の工事に就いては、土木學會誌昭和 9 年 6 月號及び 8 月號に石川工學士及び岡野工學士の報告があります。セメント注入方法は何回も利用した爲に、次第に経験を積み、大に其の技術の進歩改良を促しましたが、只普通のセメント乳を押し込め得ない砂層に對し、藥液注入に依つてこれを水密性として硬化せしめ、崩壞を防止する技術を獲得する迄には到りませんでした。茲迄研究を進めない内に、肝心のトンネル工事が終つてしまつたのですから、何とも仕方がありませんでした。この藥液利用の方法は、若し成功すれば注入利用の範圍が大に増す譯で効果があると思ふのでありますが、外國では既に成功を納めて居るの報告もありますから、注入技術として將來研究すべき面白い問題だと思ひます。

これで私の講演は終らうと思ひますが、16 年の過去を顧みて、多くの年月と、巨額の國費とを投じたに係らずこれが遂行を許して呉れた輿論に對しては、衷心から感謝の意を表し度いと思ひます。

尙本講演では丹那トンネルの工事自體に對する何等の秩序的な説明を致しませんでしたら、或は御了解し難い點が多くあつたのではないかと思ひます。併し丹那トンネルの工事の一般に就いては、既色々の雜誌類に其の説明がありますから、何卒これを参照して戴き度いと思ひます。又最近熱海建設事務所「丹那トンネルの話」と題し、工事中の逸話、笑談等と共に本工事の技術的な説明を平易に書いた冊子を出版に居りますから、これをも参照して戴き度いと思ひます。