

# 論 說 報 告

第 20 卷 第 6 號 昭和 9 年 6 月

## 丹那隧道西口に應用した空氣掘鑿に就て

會員 工學士 石 川 九 五\*

On the Excavation in Compressed Air applied to Tanna Tunnel

By Kyugo Ishikawa, C. E., Member.

### 内 容 梗 概

本文は丹那隧道西口に於ける含水砂層帯にて壓縮空氣を應用し無水状態にして掘鑿せる工法に就て述べたものである。

#### 1. 大 湧 水 (地 下 洪 水)

大正 14 年 5 月 8 日西口底設導坑が 7 008 呎に到達した時、爆破と同時に大湧水が一時に湧出してその量は最大 122 個に達し工事は一頓挫を來した。122 個の數字は坑口に於て測つた隧道の總湧水量である。

この地點まで土砂の浚泥や湧水の始末をして、再び底設導坑に着手出来る様になつたのは 1 年後の大正 15 年 6 月 21 日であつた。この湧水量は丹那隧道最大なもので、この際 800 餘坪の土砂を流出した、多量の湧水があるだらうと云ふ事はその前から考へられてゐた。大湧水前既に 40 個であつたが或る人は 100 個位の水は出るだらうと云ひ、或る人は 150 個と云つてゐたが何れもえらい根據のある譯でなくそう云ふ豫感を持つてゐただけである。この様な大湧水即ち地下洪水と呼ばれる大量の水は一體どこから來るのであらうか？

#### 2. 大 湧 水 個 所 以 奥 の 地 質

大湧水個所を突破したる後、はつきり判つたことであるが、始めは色々の説があつた。その一つは大湧水個所は斷層であつてこれに水を堰止めて居り斷層の壁を破つて出て來るものであると云ふ説、これはそれ迄の經過によつても斷層背後の湧水には惱まされてゐたからである。

又一つは、大きな水路があつてそれに打當つたとする説、この説はわかり易い説明であるが水路と云ふものはどう云ふものを指してゐるか判然しない。要するに大きな水溜りに突き當つたことは間違ひない事實である。大湧水個所までは地質は集塊岩であつて、掘れば掘る程水が増加し 42 個に達してゐた。然し大湧水個所直前はあまり増加がなかつた。大湧水個所地點に到達して見ると、空洞が諸所に出來てゐて、坑奥の地質は約 1 000 呎の間砂地で、その境は泥岩と黒砂の互層であつた。茲に稱する泥岩は極く微細な火山灰の沈澱堆積固結したもので tuffaceous shale (凝灰質泥板岩) と稱してもよい様なものである。

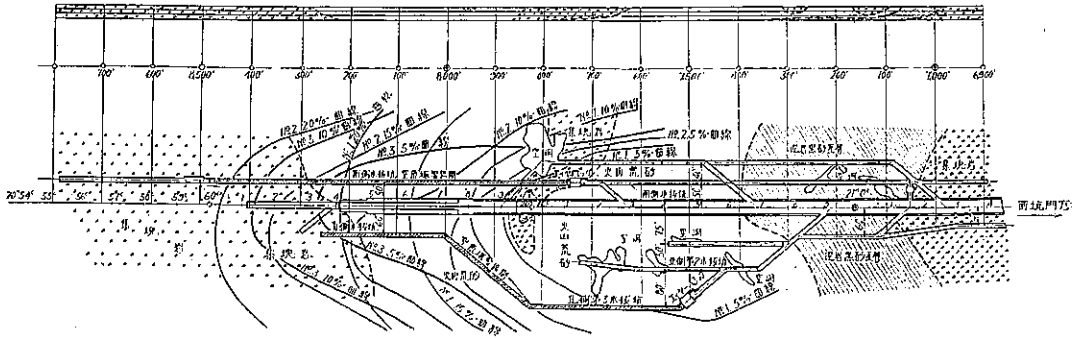
地質圖(第 1 圖参照)に明瞭である様に上部から泥岩黒砂の互層が下りて來て、施行基面の高さから緩く坑奥に傾斜し、その奥が全部砂である。

依つてこの不滲透層たる泥岩層に奥の地下水は遮られ非常に多量に貯藏されて居り、泥岩層の壁の厚さがうす

\* 鐵道技師・鐵道省熱海建設事務所

められた時坑奥の地下水壓に破られて、水は砂と一緒に流されて來たのである、丁度水桶の底を割つた様なもので、然もこの水桶が非常に大きなものであつたのである。

第 1 圖 丹那隧道西口坑内 8,000 呎附近地質圖 (昭和 4 年 4 月 1 日現在)



### 3. 空 洞

坑奥を調べて見ると、諸所に空洞があつてこれが大湧水當時の水路を作つてゐた様である。この空洞は皆泥岩黒砂の互層並に砂層の所にあつた。

坑奥に掘進するには先づ水を取らねばならないから左右に水抜坑を掘つた、その頃はもう湧水量も大湧水前の 40 個程度に戻り、坑奥の湧水は 1 個所にまともな水抜坑掘進の切羽の水はたいしたものではなかつたが、地質が火山荒砂であるために實に難澁したのである。

第 1 圖を見ると坑道の奥端にきまつて空洞が出来てゐる、これを見てもわかる様に空洞は出来るが奥へ進むことが出来ない。空洞が出来た原因は含水砂層が悪者であるが次の 2 様の出来方がある。

- (1) 大湧水個所のように、隔壁があつてその奥の火山砂に水が飽和されてゐると、隔壁が破れる際、奥方の火山砂が崩れて来て忽ち空洞を作る。

中脊盤坑道と云つて施行基面より 10 呎高く掘るものは、集塊岩が隔壁の作用を爲した爲奥に溜つてゐた水が砂を崩して來た、これは空積約 400 立坪あつて空洞の中最大なものである。

- (2) 次の地下水の項に於て述ぶるが如く水抜坑を掘り進んで行くと水位が段々高くなり、砂層が水を含んで加脊の高さ以上になると隙さえあれば出様とする。砂を出さずに水だけ出し乍ら掘ると云ふ器用な眞似は時々出来ないから矢板の先が段々と飽和していつかは崩されてしまふ。

北側水抜のものは全部これである。

### 4. 地 下 水

火山荒砂層と地下水との關係を述べやう。丹那隧道は結局水に惱まれたのであるが水のいたづらの仕方に色々ある。

前に述べた様に湧水個所を突破して行くと踏前(即ち盤)には水が湧出して居るが上部には水がない、坑道も掘り進めて行くと切羽の水位が段々上つて來る、又底設導坑には水があるが頂設導坑には水がない、然しこれを進めて見ると纏て湧水がある。はつきり云へば地下水が地下水勾配を有してゐることが判つたのである。而て坑道を進めるに當つて坑奥地質調査の意味に於て諸所に試掘を行つたがこれに依つて砂層が當分續くことゝ、地下水

位が  $\frac{1}{7} \sim \frac{1}{9}$  で坑奥に昇つてゐることが判つた。

火山荒砂層は均一のもので出来てゐないが實際的には uniform であると考えて差支へなかつた。

試掘で知り得た地下水勾配は、坑奥の貯溜水が多い間は急傾斜であるが段々に緩傾斜となつて最後に constant flow となる迄下つて行く譯であるから時間的に坑奥の水は少くなり、従つて掘鑿は楽となつて行く。

坑道を掘進するに當つて地下水が高まつて掘進が危険となればこれを中止し何らかの方法によつて水を抜けば又暫く掘進出来ると云ふ様な状態であつた。

上述の様な理由で底設導坑或は水抜坑の掘進は困難であつても中脊盤、頂設導坑の掘進は樂であつた。然し最後には含水砂層の中に這入つて空洞を作つてしまつた。

### 5. 砂層に於ける掘鑿方針

以上述べた如く普通に掘進して行くことは如何に含水砂層帯の掘進が困難であるかを知り得たのみで、この地帯の突破には絶望であつた。その頃東口に於ては盾構を使用して空氣掘鑿を施行して居つたが壓搾空氣の使用はこの砂質には最理想的なものであると思つた。

空氣掘鑿決定に至る迄の理由は次の如くなる。

- (1) 普通の方法では空洞のみを作り掘進不可能である、適當なる工事施行法を見出さねばならぬ。
- (2) 地下水位の低いこと、地下水勾配を  $\frac{1}{7}$  となし空氣の壓力を 45 封度迄働くとすれば地下水下 100 呎迄掘進出来ることになり、一つの空氣閘門により 700 呎掘進出来る。試掘の結果地下水勾配は大體  $\frac{1}{7}$  程度のものであつた。
- (3) 盾構を使用せざること、水さえなければ支保工は問題ではなかつた、砂地を樂に掘りぬけることが出来るので盾構は使用せぬことにした。

上記の様な理由で空氣掘鑿を施行することに決定した、後から考へて見るとすこし時期の遅すぎる嫌があつた、結果は豫想した當時より地下水位も漸時後退し、壓搾空氣の壓力もあまり上昇しない内に目的を達することが出来て好都合であつた。

尚含水砂層帯が 700 呎進んでも尙抜けぬ時は更に空氣閘門を設け左右交互に進めて、この難場を切抜けることにした、然し幸に約 700 呎で地質が集塊岩と變つたので左右 1 回づゝで空氣掘鑿は終了したのである。

尙付加へて話して置きたい事は、空氣掘鑿を施行した水抜坑の目的である。これは丹那隧道は多量の湧水と惡地質に悩まされたので、水抜坑の必要を感じたのである。水抜坑を先進せしめて、不良地質を突破せしめ、湧水を排除して、本線の進行を容易ならしめんとしたのである。

### 6. 空氣掘鑿設備

空氣掘鑿施行に方針が決定したのでこれが準備に取掛つた。必要なものは

- (1) 空氣壓搾機
- (2) 空氣壓搾機より現場迄の空氣輸送管
- (3) 空氣閘門

空氣掘鑿施行に當り空氣量がどれ程要るものか仲々この決定はむづかしく空氣掘鑿施行後空氣量が不足を來したが所要空氣量に就ては別の項にのべるとしてこゝには始めの考を記して置くに止める。

諸外國の例を見ると次の様になつて居る。

隧道名稱	外徑 D (呎)	隧道の數 N	空氣準備量 C (毎分立方呎)	$\frac{C}{ND^2}$	地質その他
Black wall	27.00	1	10 000	13.8	砂利層
Baker St. & Waterloo	12.81	1	3 200	19.4	
Rotherhithe	30.00	1	16 667	18.5	緻密なる地質
Hudson & Manhattan	{ 19.50 16.58	2	8 954	13.7	"
" & "	16.58	2	5 040	9.2	泥砂
" & "	16.58	2	5 550	10.0	"
" & "	16.58	2	10 840	19.7	砂, 砂利
P. R. R. Hudson River	23.00	2	13 167	12.4	岩, 砂, 泥砂
P. R. R. Hudson River.	23.00	1	13 167	24.8	砂, 砂利
P. R. R. East River.	23.00	4	35 000	16.8	砂, 岩石, 玉石, 粘土
P. R. R. East River.	23.00	4	45 000	21.3	
P. R. R. East River.	23.00	1	19 000	35.9	
Concorde Metropolitan	25.54	1	9 500	14.6	石灰岩, 砂
Greenwich.	12.75	1	1 640	10.0	砂利, 砂, 粘土

上記のうちで  $\frac{C}{ND^2}$  の最大なものはイースト河の 35.9 であるがこれは河底を吹抜いた際のものである故 ハドソン河の 24.8 が最大な例となる。所要空氣量は隧道斷面に比例するものである。今  $\frac{C}{ND^2}=24.8$  とし、9 呎の徑のものを掘るものとすれば  $\frac{C}{ND^2}=24.8 \therefore C=2009$

今回施行のものは 8.8 の加算の計畫であつた。

即ち空氣量 2 009 立方呎毎分を要することとなる。

西口の計畫前熱海口に於て盾構を併用して空氣掘鑿を施行した、温泉餘土の中を掘進したのであるが大正 15 年 11 月 20 日から昭和 2 年 2 月 17 日迄約 3 箇月壓搾空氣を使用した。私も這入りましたが空氣の出口つまり鐵管の先端に逆上瓣の作用する蝶番の蓋がついて居りましてそれが空氣が送り込まれる毎にパタパタやつて居つた。そんな具合でこの時は空氣量も極く僅であつた。西口で空氣掘鑿を始めるに當つて熱海に据付てあつたウォーシントン會社の低壓壓搾機を移しこれに高壓型として据付てあつたインガーソル・ランド會社製のものを當てることにした。

ウォーシントン會社製	200 馬力	$1\ 350 \times 1 = 1\ 350$	} 3 951
インガーソル・ランド會社製	200 馬力	$867 \times 3 = 2\ 601$	

毎分 3 951 立方呎を供給出来ることになるから諸外國の例に比しこれで差支へないだらうと云ふことになりこれで始めることにした、然し實際は空氣が非常に要るので後で増設致したのである。これは後で詳しく述べる事とする。それから現場迄輸送するのに 8 吋鐵管を低壓用として敷設することにした、これも施行に當つて不足なので又別に 6 吋鐵管を増設した、なにしろ壓搾機室から使用箇所迄 8 000 呎もあるから壓力低下が仲々大きい、西口 12 000 呎の難場も砂地で掘鑿に非常な困難を來し再び空氣掘鑿を施行する計畫をたてたこともあつたが、此の時は今お話しする 7 000 呎の空氣掘鑿にこりて壓搾機は坑内作業箇所近く据付ける案をたてた。隧道の坑奥深く空氣掘鑿を 2 度とやる場合は殆んどないであらうが相當考慮すべき點である。費用の點に於ては輸送管が助かるのと電氣代が非常に違ふ。又管の問題になりますが管の徑が適當でない、いかに壓搾機を廻しても現場の壓力は高

めることが出来ないことになる、従つて充分に仕事が出来ないことになる。7000 呎の場合に於ても坑奥に掘へた方が徳だつたらうと思ふ。管代を 3 萬圓も拂つて今日これは屑金として賣る様なことになる。電線は後で大概使途があるからそう無駄にはならない。次に空氣閘門の位置の問題であるが、坑奥は第 1 圖で示す様に空洞が澤山あるから、これに空氣が洩れては大變なのでこれを避けることにした。空氣閘門を作る場所は出来るだけ地質のよい所が望ましいので撰定には大分弱つたが、結局處女地に行くことに決めて北側のはしに持つて行き空洞を廻つて掘つて行くことにした。

## 7. 空氣閘門

北側第 3 水抜坑を第 1 圖の位置迄掘進してこゝに空氣閘門を設けることにした、段々水位が上昇して來るので危険とならぬうちに此處で止めた。

空氣閘門設置の爲切換掘鑿に着手したのが昭和 2 年 6 月 10 日ですつかり準備が終つて最後に扉を取付け、始めて空氣を送つて試験して見たのが 9 月 2 日で空氣閘門を作るのに約 80 日かゝつた。空氣を送つた所、空氣濕潤の多い所があつたのでこれを修理して 9 月 29 日から空氣掘鑿作業に移つた (第 2 圖参照)。

空氣閘門は人氣閘と材料氣閘とから出來てみて人氣閘に應急氣閘を付けたので人氣閘側は扉 3 枚で奥方のものは常に開き萬一に備へた。材料氣閘は扉が 2 枚である。主體はコンクリートでこれに骨格として鐵を用ひ又鐵筋を挿入した箇所もあります。人氣閘の大きさは幅 2 呎、高 5 呎 10 吋材料氣閘は幅 4 呎 2 吋、高 4 呎 6 吋である。空氣閘門として打つたコンクリートは長 23 呎、幅 16 呎、高 14 呎である。空氣閘門の設計に重大なのは種々の用途の鐵管の埋込みであつて次の様なものがある。

第 2 圖 北側水抜坑空氣閘門正面



1. 低壓空氣輸送管	8 吋或は 10 吋	1 本
2. 高壓空氣輸送管	4 吋	1 "
3. 排水管	6 "	2 "
4. 材料氣閘送氣並に排氣用鐵管	4 "	2 "
5. 應急用排氣管	2 "	1 "
6. 人氣閘送氣並に排氣用管	2 "	2 "
7. 人氣閘並に材料氣閘用の壓力計用管	1 "	2 "
8. 人氣閘點灯用鐵管	2 "	1 "
9. 換氣管	4 "	1 "
10. 坑奥壓力計用管	1 "	1 "

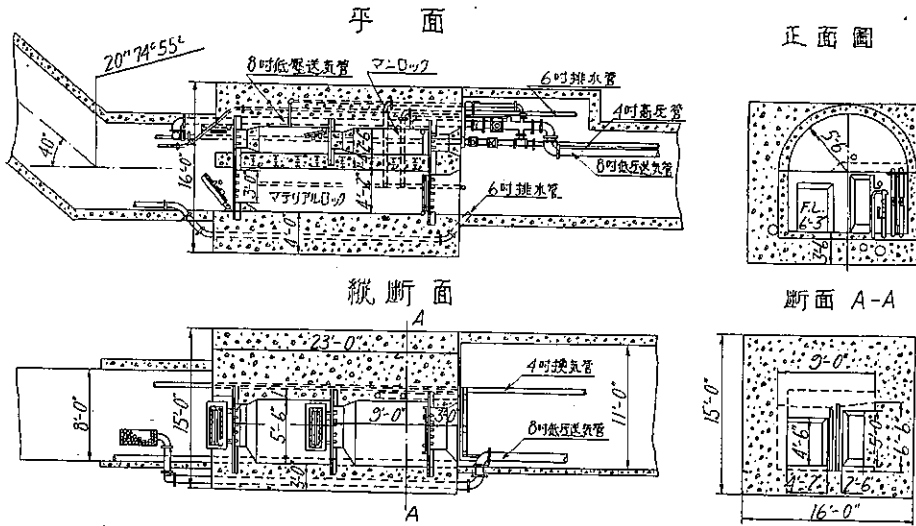
- |                 |     |     |
|-----------------|-----|-----|
| 11. 坑奥警備用鐵管     | 1 吋 | 2 本 |
| 12. 電鈴線並に呼鈴線用鐵管 | 1 〃 | 1 〃 |
| 13. 坑奥點灯用鐵管     | 2 〃 | 1 〃 |
| 14. 材料氣閘點灯用鐵管   | 2 〃 | 1 〃 |

このうちで換氣管は閘門内の空氣がよごれる場合適當に空氣を抜いて空氣を清淨にする主意であつたが今回は非常に空氣を要するのでこれは不要であつた。北側のも南側のも大體同じものであつて、掘鑿の施行も南側の方が2度目で旨くなつたが、閘門も全體として旨く出來た。南側のものは特に本線施行基面の高さに置き水抜坑の上に設けたが排氣のとき非常に好都合であつた。

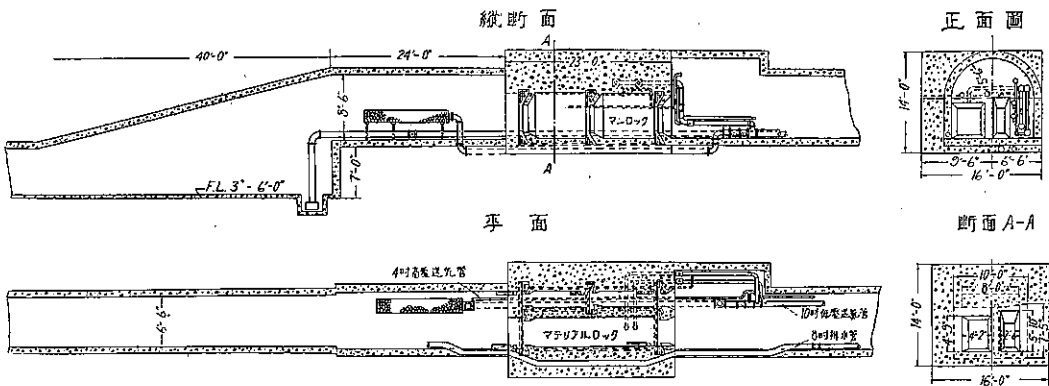
話が前後するが、空氣を抜くとき北側の如く水抜坑の盤と閘門と同じ高さであると仲々不便がある。

北側の如き場合送氣を止めて排氣を始めると閘門は直ぐに水が滲みだし湧出して排水管の瓣も開く。排氣管から水と空氣と交つて出て來る勢は非常にえらいもので、どうなるだらうと思ふ程寒い音がして緊張させられ刻々水

第 3 圖 北側水抜坑空氣閘門圖



第 4 圖 南側水抜坑空氣閘門圖



は増すにかゝらず坑内の壓力は仲々零にならない。そしてやつと壓力計が零を指す。そこで扉を開け様としても内外空氣の壓力は等しくなつた譯であるが仲々開かない、この時は随分心配した、然るに南側の如く閘門の位置が高いと坑内に満水して、上に昇つて來て閘門から流れ出すことになるから安心して扉があけられる、約700呎坑道が進んで居り、これから溢れて來る迄約1時間位かゝつた。

余談であるが水があふれ出様としたときボコン、ボコンと大きな音がしたので坑奥が崩れて來たのかと心配したことがあるが、これは坑道が奥に向つて上つて居る爲に段々に壓縮された空氣が一時は坑奥の上部に溜つたものが逃げ場がなく入口に出て來た爲であつた(第3圖、第4圖參照)。

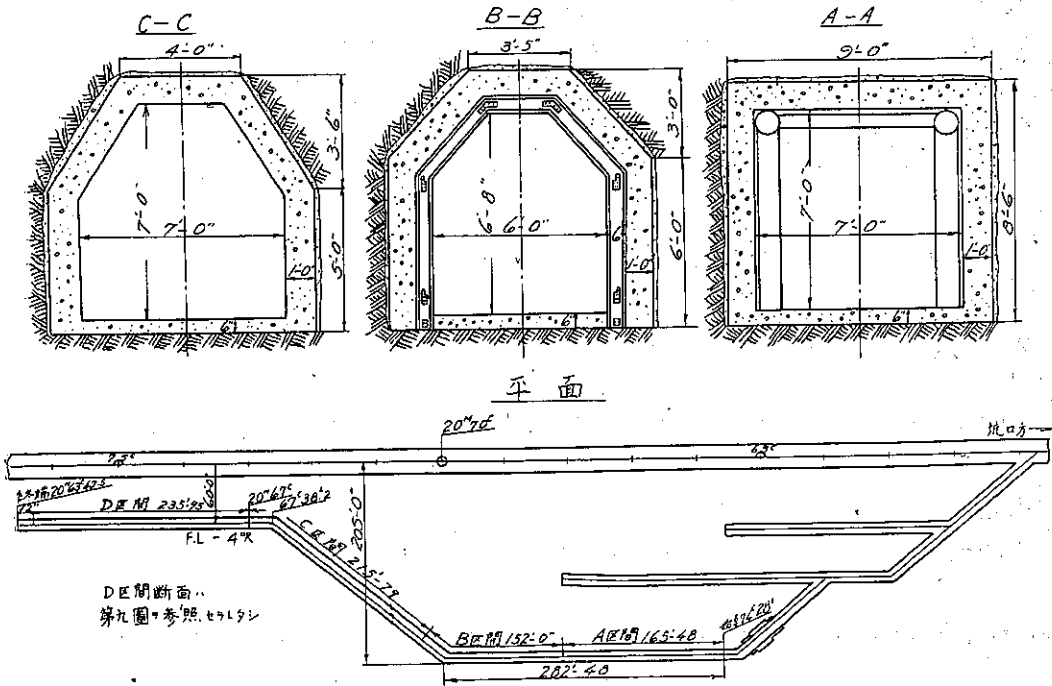
### 8. 北側水抜坑掘鑿

昭和2年9月2日に閘門が出來たので空氣を始めて入れて試験して見たことを述べたが、壓力6封度で坑内の湧水皆無となつた、當然の事とは云へ非常な喜びと希望を感じたのである。空氣掘鑿の目的は掘鑿後湧水排除が大眼目であつた。坑内は普通の掘鑿法で行く事にして居たが空氣が非常に逃る事が判つたので疊築して進む事にした(第5圖參照)。

空氣量の問題に就ては、又別項に述べる事とす。進むに従つて壓力も上昇し、壓力の上昇に従つて空氣量も非常に多量を要する事となつたので、1月30日一時空氣作業を中止して低壓壓搾機の増設を急いだ、この頃迄が空氣掘鑿の試験時代であつて、色々莫然と考へてみた事が明瞭となり色々新しい試みも行つた。

第一に空氣洩れに悩んだ事であつて、これはモルタルの塗布が最有效である様に思つた。又空氣量の問題からトマ<sup>フダマ</sup>一間或は二間即ち4呎か8呎位素掘し、疊築して進めて行く事にした。最初は支保工を設け、支保工だけでは

第5圖 北側水抜坑空氣掘鑿断面圖



空氣が逃げて困るので、周圍にコンクリートを打つたが、空氣漏洩を防ぐ意味で疊築せねばならぬので直ちに疊築する以上支保工をする必要を認めなくなった。

3月1日空氣壓搾機の増設工事が竣功したので再び着手した。この頃から上述の様に空氣の逃具合を見ては4呎、8呎づゝ素掘して疊築した。

壓搾機増設以前は空氣の不足から天端の砂が崩れて露出面が大きくなると、空氣壓力が下り、又崩れて來ると云ふ具合で困つたことも度々あつた（第6圖参照）。又空氣量が一杯なので短時間の停電でも壓力が下つて崩れ出す、地質の悪い所もサラサラと砂が落ちて來て、色々と臨機な處置を取らねばならなかつた、又1月30日に止める頃は何としても空氣量が足りないので2段にして掘つた事もあつた、3月1日以後は、加骨も出来る丈け小さくした。

壓搾機を増設してからも、空洞の澤山ある邊を迂回して行くときは、空氣を多量に要して、空洞の先端に滞りこんで見ると空氣掘鑿箇所から空氣の洩れて來ることが判つた。斯様にして最後には幅6呎6吋、高さ6呎6吋の大きさにし、上部は合掌型にして疊築した、さうして仕事が順調に進む様になつたとき約2時間に渉る停電に會つて大分崩してしまつた。

#### (1) 停電事故

停電に遭ひましたのは、昭和3年5月25日午後6時より約2時間の間でありまして、北側水抜坑の切端は、坑門起點8164呎迄到達し8157呎迄疊築が出来上つて居た、地質は火山灰砂層から集塊岩に移り變りの所であつた。

停電の原因は、坑門起點2000呎附近の南側に敷設してあつた普通高壓3300Vの電纜が短絡破壊し、短絡電流並に接地電流の爲、變電所内動力線引出用油入開閉器並に變電所内變壓器2次線側油入開閉器が働いた爲である。

然るに過電流遮断の瞬間に油入開閉の兩端子間に閃絡した爲、絶縁用碍子及び炭刷子が破壊され使用にたへなくなつた、その爲坑内全部停電し空氣壓搾機も運轉不可能となつた。

直ちに油入開閉器を撤去し、電線接續を變更したが遂に2時間も停電したのである。

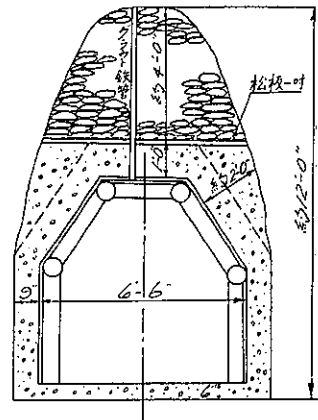
#### (2) 停電の場合に對する處置

回轉型壓縮機が3臺増設されて空氣量が増して仕事はどんどんと出来る様になつたが、地下水の壓力が段々高まる爲仕事は出来るとは云へ一杯一杯であつた、それ故もし空氣が余程逃げて行く様な地質に行つたなら實に仕事に困難を來すこととなるのである。

(1) 切端が崩れる場合 砂ではあるが天盤の肌落ちが割に少い爲に仕事が出来たのであるが、もし大きく崩れたらばどうなるであらうか、地肌の壓搾空氣の曝露面が廣くなれば必ず壓搾空氣の量を増加せねばならぬ。この場合準備せる供給量が不足すれば空氣壓力は減少し益々崩壊を大ならしめ原因は結果となり結果は原因となり空氣の壓力は段々と下降し、下手をすると湧水する迄になつて防ぎ切れなくなることがありはしないかとおそれてゐた。

(2) 空洞のある場合 大きな空洞に遭遇するとか大きな空洞が接近してある場合も一應考慮に入れて見てゐた。

第6圖 上部崩壊せる場合の工事圖





空洞がそうあつてはたまらぬ譯であるがこの附近には無数の空洞を作つてしまつた。勿論これは我々が掘鑿突破せんとして失敗して造つたものであるから、斯かる原因によつて出来たものはない譯であるが、この原因は急激に地下水を出した爲に粗鬆な砂が流れ出たのであるが長い間水が流れてゐる場合徐々に砂を運び出してゐる場合が無いとも云へない。

丹那盆地に於てD號の試掘を2度行つたが、2度目のものは確かに空洞と思はれる所にぶちあてた、又空洞と云ふ字にこだはらないで割目の存在もあるし、この割目も相當大きいものと小さくても數多くある場合もあるだらうと考へられた。要するに空氣が多量に逃げ出して行く場合に遭遇したときの事である。

この場合直ちに崩壊は起らぬとしても空氣壓力は低下し、停電して、空氣が溢れなくなつたときと同一の結果になる。然し上述の場合は地質が堅岩の場合に起り易いのであるが全然無いとも云へなかつた。

(1) と (2) との場合をおそれてゐたが結局停電した場合空氣が来なくなつた場合と同じ事になつて来る際にかに處置すべきかと考へてゐた。それで私はその際の事を交代交代の班長に出来るだけ崩壊防止の最良の手段は勿論盡すとして結局壓力は低下するし、壓力が低下する爲に湧水はどんどん増加し土砂を交へて流出して来たときは、開門の扉を開放しろと命じてゐた、その理由は、

(1) 停電の爲でないときは今後再び壓搾機を相當増設せねば空氣掘鑿が出来ぬ事になるのであるから、最後に引上げる時開門の扉を開けぬときは、折角掘つた坑道を無駄にしてしまふのであるから扉をあけて奥が崩れて来ても、水を流出させて地下水位を掘鑿終端まで後退させた方がよいと思つた。

(2) 又、停電の場合でも地質が砂地である故、停電が長時間に亙るとき必然的に切端は崩壊して相當の空洞を作るだらうと考へた、そうすれば(1)の場合と同じになつて再び空氣を透つた所でもう空氣掘鑿は出来ぬ様な状態になるであらうと想像した、よつて(1)と同じ様な手段をとるべきであらうと考へた。以上の様な考で萬一事故の場合には前記の如く處置し様と思つてゐた。そこへ停電が来て實際の經驗をしたので、教へらるゝところ多かつた。

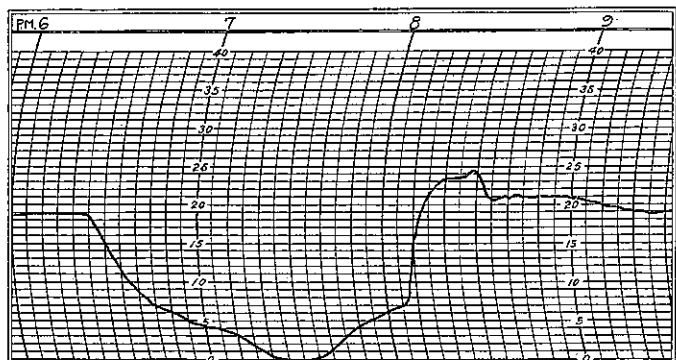
停電するや停電時間が長い爲に壓搾空氣の輸送は止まり坑内の氣壓は段々と下つた。遂に坑奥端には土砂崩壊の音が聞えて来るし湧水はひたひたと流れて来る様になつた。

豫め豫備灯も設備してあつたから作業場は眞暗にはならないがいかん共術がないので班長は一同と外に出て空氣開門の扉を開放し、然る後適當な方法を取る事にした。私は停電のときは現場に居なかつたが早速入坑して開門の所迄行つて見ると凡ての排水管と排氣管を全開して居た。然るに坑内の水深は刻々増加し坑内氣壓は氣壓計に依ると零を示して居るが仲々あかない。

これではいくら排氣管をあけて居ても扉をあける事は出来そうもないので方針を變へて扉を閉じ坑内を水でみたす事にして空氣の來るのを待つてゐ

た。6時20分に停電して7時半頃迄空氣拔をやつてゐた。8時2分に送電出來た、7時半頃に扉をしめると坑

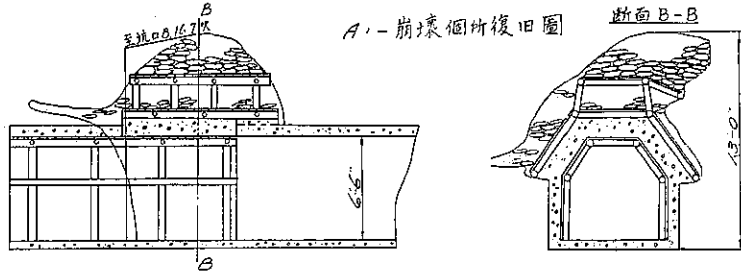
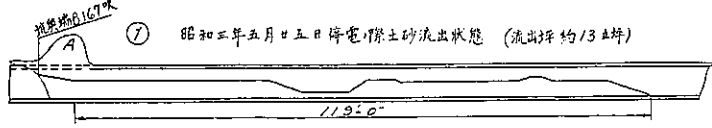
第7圖 北側水抜坑口より8164呎迄到達せる際の停電事故に於ける壓力降下圖



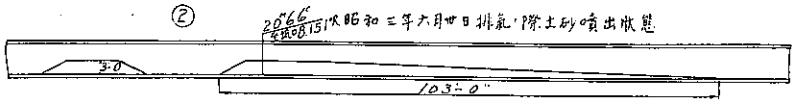
内の湧水が段々と貯溜され空氣は逃場もない爲に壓迫されて壓力を高めて來た、壓搾空氣が來る様になつたときは 7.5 封度に自然に上昇してゐた。

第 8 圖 北側水抜坑土砂流出並に復舊圖

8 時 8 分頃から閘門内に送氣し排水を始めたが水が大分溜つてゐたので漸く 10 時頃に閘門に這入れる様になつた (第 7 圖參照)。



水は平均 4 尺程の水深に達した様であり、土砂流出は約 11 坪、切羽には約 2 坪の空洞が出来た (第 8 圖參照)。



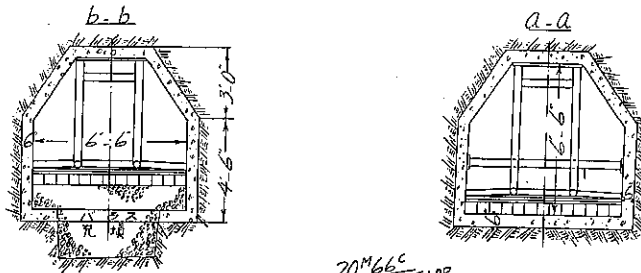
どしどし送氣して見ますと 19 封度迄氣壓を上げる事が出来たので、崩壊箇所を始末して奥に進む事にした、結果に

於て閘門の扉は開放しなかつた方がよかつたのである。河底で空氣掘鑿施行の際もし吹き抜いたらどうするか、この場合閘門の扉をあけるものは無い、閘門の扉の閉閉に就てそんな事は問題の無い事だと云はれるかも知れないが河底の場合は問題はない即ち閘門の扉をあけた所で有利な事一つもないが、西口の空氣掘鑿は色々の點に於て特色があつた譯であるから、前述の様な方法もとつた譯であつて結局開放しない方がよいのであつた。

(3) 排氣後の土砂噴出

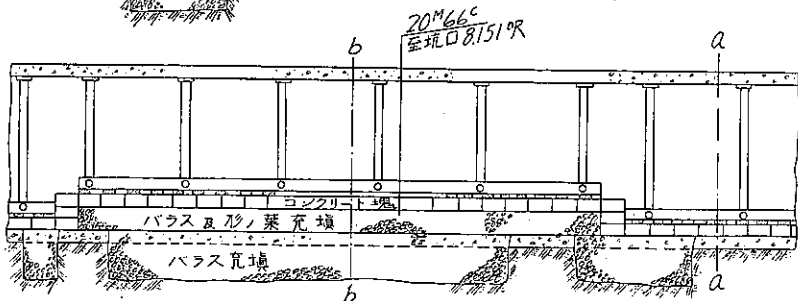
北側水抜坑空氣掘鑿は停電に遭つたが、その後無事掘進して 6 月 29 日 8 255 呎に達し、氣壓は 23 封度に昇つた。

第 9 圖 北側水抜坑土砂噴出箇所防備圖



地質は集塊岩に變じて普通の方法で掘れる様になつたので、空氣掘鑿を中止する事にした。

6 月 30 日排氣作業をした所奥方地質砂層の所の敷コンクリートが破壊されて、土砂を噴出させ乍ら地下水が湧出して來た、この儘排氣する譯にも行かぬの



で又空氣を入れた。

土砂噴出箇所を砂利並に杉葉を入れて水だけ出して砂の出ぬ様にし、押へにコンクリート塊を並べ柱を立て、噴き出されぬ様にした、噴出箇所を相當廣くした爲に、

7月15日排氣作業を無事に終了した(第9圖参照)。排氣のとき土砂を崩されぬ様に丈夫に、つまり厚く壘築する事も問題となつたが氣壓に耐えるだけのものを作るより如何に旨く水を抜くかに問題があつた譯で、南側水抜坑の際は巧妙な設計をし手際よくこの問題を切抜けた。

排氣の結果この坑道から湧水5.5個出た、又、坑道兩側に徑約2時の孔を穿つて、水を絞り最大14.5程に達した(第10圖参照)。

### 9. 南側水抜坑掘鑿

この砂層地帯は兩側を空氣で掘る事に決定したので、北側水抜坑を空氣掘鑿して居る間に空氣閘門の準備をし、北側がすみ次第いつでもかゝれる様にした。

7月15日に北側を了へて19日から南側水抜坑を空氣掘鑿に掛つた。空氣閘門の處で述べた様に本線施行基面と同じ高さに設けた、これは北側で排氣のとき困つたのと閘門の手前でポンプをかけずにすむのと空氣閘門の築造の樂な點にあつたが、悪い點は奥へ掘り下つて段取が付く迄が大變なものと、將來下部を水抜坑につなげるときの問題があつた。また2階になる分が無駄になるかこの方が有利であつた。

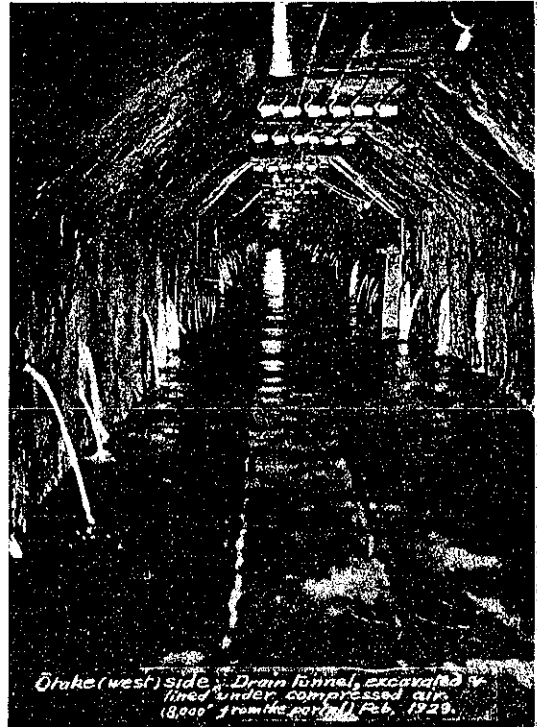
閘門奥方の斜坑から切下つて行く間は丁度本線の奥端の切續部分に接近してゐた爲に大分空氣が逃げた。

最初5封度で仕事を始め水抜盤に達して8封度、奥方に行くに従つて氣壓を上げて進んで行つた。頂設導坑の空洞、中脊盤坑道の下部を進んで行くときに空氣が餘程入りはせぬかと心配して行つたが、それ程の事もなく無事通過した、北側水抜坑で約10箇月程空氣の仕事をやつたので、従事員一同大分仕事になれ、定つた仕事を順序よく迅速に丁寧に出る様になつた。

定つた作業とはどう云ふ順序かと言へば、これは普通のトンネルを掘るのと變りないが先づ第一に山を崩して4呎程掘り進める、次にすぐ型枠を組む坑道の断面は第11圖の通りである、このとき上部の危ない所は板をあて、型枠から受けて置く、普通の支保工を組んだ事は一度もない。次に側壁から上部のコンクリートを打つ、これが3間位進むと氣壓を少し上げて敷コンクリートを打ち、そして又進んで行く。この間適當の時期にモルタル塗布とモルタル注入の仕事をする。モルタル塗布は必ず1回やり隨時状態に應じて2度3度行つた。

空氣の一ぱん逃げるのは合掌の上部に當る所で、坑道なりに手前に逃げて行く様であつた。セメのコンクリートをやる頃となると逃げる空氣が纏まつて來るので非常な風である。帽子等を持つて行くのと吸ひつけられてしまふ。又、コンクリートもセメの部分はお團子にして押さへつけるが、水分を大分とられる様でいゝコンクリートは出

第10圖 北側水抜坑排氣後湧水の狀況



來なかつた。風のある日は乾物がよく乾く理由と同様である。故に適當な時期に 填充し上部の隙の出來ぬ様にし  
て極力空氣量を少なくす  
る様に注意した。

モルタル塗布は、簡  
單で一番有效であつ  
た。しかし氣壓が一度  
下がると逆に外側から  
押されて直ぐ剝脱して  
困つた、それ故に氣壓  
は段々に上げる方針で  
氣壓はひどく下げぬ様  
にした。

1 日平均どの位進ん  
だかと言へば 1 月續け

て仕事をしたときの平均を探れば、北側は 3.4 呎~4.4 呎、南側は 4.4 呎~7.4 呎である。然も北側は壓力が高くなつ  
てからの方が仕事が進んだので始めは色々と拙い事をやつた譯である。

南側は氣壓の低い間は 7 呎程進めた譯で氣壓が高くなつてからは、南側と同じ進行で、その延長南側 726 呎、  
北側 769 呎、どちらも 23 封度が最高であつた。

(1) 湧出管の設置

北側水抜坑では排水後土砂が噴出して困つた事を話したが、南側ではこれを旨く解決し様と考へた、その結果  
が圖示の様な断面を得たのである。即ち内空断面は八角形として、兩側下部のコンクリートの下には砂利を入れ、  
この中に鐵管を挿入した(第 11 圖参照)。

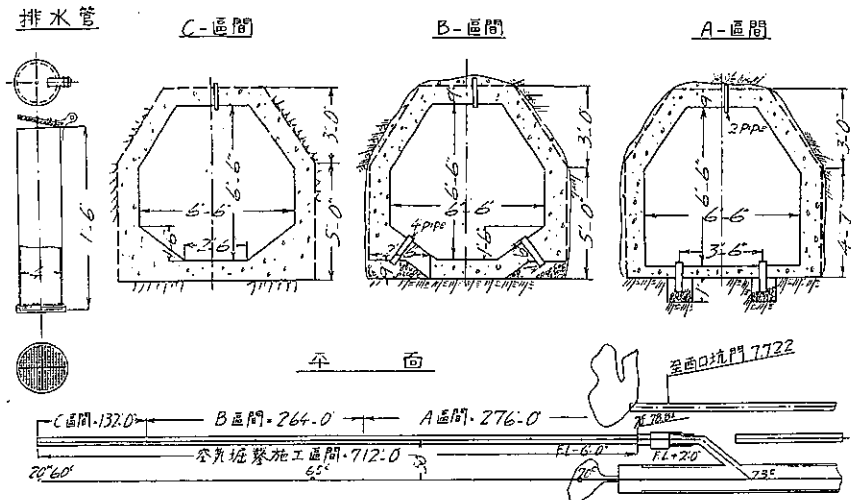
排氣の際はこれから水を湧出させ様とした、湧出管の構造は長 1 呎 6 吋の鐵管の上部には、蝶番を有したゴム・パ  
ッキング付きの蓋を有して居り、入氣中には蓋を閉じて空氣の逃げぬ様にし、排氣の際は湧水の壓力に依り蓋をあ  
けて、水が出て來る様にした、下端には 5 分目と 20 (メツジ) の 2 枚の金網を張り、地下水湧出の際砂の吹き  
出ぬ様にした、そして鐵管の挿入してある部分には砂利を 1 呎程入れこの湧出管設置の爲、下部の平な所が僅か  
になる故、作業に困りはせぬかと思はれたが、別にたいした事もなく仕事が出来た。この湧出管は大成功であつ  
て、排氣の際氣壓が下つて行くと奥から順に蓋を押し上げて水が出て來た。この時は實に氣持がよかつた。

壘築の厚さは 9 吋であつたが地下水壓力は湧出管から水が出る爲、あまりかゝらぬ様で、故障もなく無事に排  
氣することを得た。もう一つ面白かつた事は切羽の空氣の逃げるのを防ぐ意味で大體掘り終るとセメントの粉を  
振りかけて見た、これは空氣が地山に吸ひ込まれるときセメントを持つて行くから空隙を填めて空氣の洩れを防  
いで呉れたが、氣壓の變化の際薄層となつて剝脱する爲うまい方法ではなかつた。

時々填充をしてゐたからセメントをふりかけるよりセメント乳を填充ミキサーで吹きつけた方がよいだらう  
と、やつて見た處、全體に平均  $\frac{1}{4}$  吋程固める事が出来たので空氣の漏洩も防ぎ砂の脱落も防いで一舉兩得であつ  
た。

斯様にして砂の部分の掘鑿も上手になり、進むうち、8283 呎から地質は集塊岩に變じ 8481 呎迄續いたから、

第 11 圖 南側水抜坑空氣掘鑿断面圖

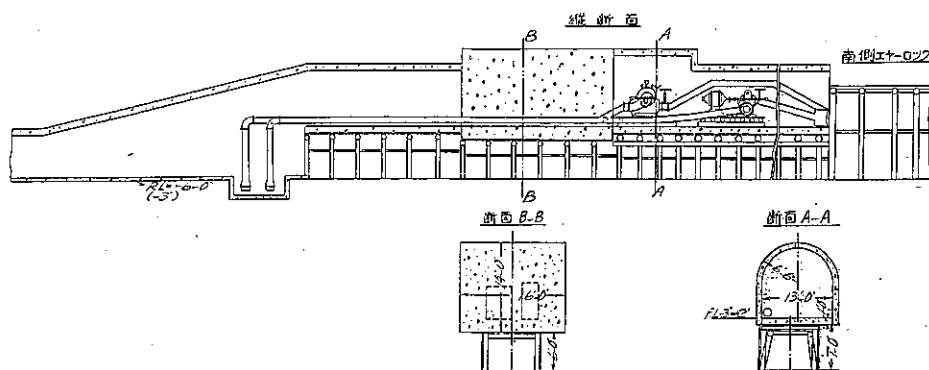


普通掘鑿に移る事として空氣掘鑿を止めた。

## (2) 閘門下部の掘進

湧出管の設置によつて排氣も無事にすみ、これから 8.5 個の湧水があつたが、その次の仕事は空氣閘門の下部を掘つて水抜坑を續ける事である、空氣閘門の手前の地質は、極く細かい砂の厄介な處であつた、これに水でも廻ると始末に困る所であつたから開閉器取扱者の居た場所に 15 吋のポンプを 2 臺据付て、坑奥の水を本線に汲み上げ、注意して掘進した、これも幸な事に 1 回も停電がなかつたので、最後に空氣掘鑿の際作つたコンクリートの壁を破つて無事通水することが出来た (第 12 圖参照)。

第 12 圖 空氣閘門下部掘鑿



## 10. 空氣漏洩量

空氣掘鑿施行中一番悩んだのは、非常に空氣を要する事である。前述の様に諸外國の例を見ると大體一定である。即ち  $Q$  を空氣準備量、 $D$  を盾構の外徑とせば  $\frac{Q}{D^2}$  を比較する事になるが、この數字が 10 から 20 の間である。然るに西口に於ては

$$Q=7761 \text{ 毎分立方呎}$$

$$D=8 \text{ 呎 (圓形に直して 8 呎の徑のものと假定す)}$$

然るときは  $\frac{7761}{8^2} = 121$  となり桁が 1 つ殖えてゐる。

非常に多くの量を必要としてゐる、これは次の理由から増加するのである。

- (1) 盾構を使用せざる事、これが爲曝露面が多いこと。
- (2) 河底と異なる事、即ち今回は地下水位が傾斜し居り、河の場合は一定である事、即ち河の場合は河に丈け逃げるのであつて盾構の徑、即ち高さだけの及ぼす壓力差によつて空氣が逃げるのであるが、今回は切羽の手前によい逃げ口がある事、従つて坑奥に進むに従つて手前の方の壓力の差は大きくなる事。
- (3) 覆工の異なる事。

外國の例は大體鐵のセグメントを使用して合せ目に填塞を施す故、覆工の出来た所は殆んど完全にエヤー・タイトであるのに、西口の場合はコンクリートを通して逃げる量の大きい事。

併し乍ら諸外國の前記の例の常用壓力は條件に應じて異なるが、こちらは 23 封度迄のものであつて、これ以上の壓力下で仕事は殆んど出来ぬ状態になつた。もつと壓力を高めて 40 封度迄仕事をするとしたら  $\frac{Q}{D^2}$  は更に大となる。

参考の爲實際の結果を調べて見ると次の様である。

種々の状態に於ての空氣の所要量を調べて見たが、次に述べる様な理由から極めて概略の事より判らない。

- (1) 空氣量測定の器具を有せざる事；これがため各瞬間の空氣量は不明であるから、廻轉した空氣壓搾機の容量を以てするか或ひはこれに使用された電力量によるのみである。
- (2) 地質の一定せざる事；砂質と云つても細粗色々であるから各單位面積の漏洩量は非常に異つてゐる。
- (3) 同一條件の得難き事；加脊の不同、コンクリート延長の不同その他の理由から色々な條件があるので計算の基を出すのに不適當である事。
- (4) 作業場壓力の一定せざる事。

これから述べるものは上記の様な條件に適當に接配して出来るだけ妥當な價を得やうとしたものである。

空氣漏洩量調査表

調査番號	月	日	空氣壓力	A	C	進行呎	記 事
No. 1	2,	9,	8	2.00	—	17	A は曝露面, C は疊築完成
"	"	"	11	3.29	—	"	區間の 1 平方呎當り漏洩
"	"	"	14	4.58	—	"	量毎分立方呎
"	"	"	17	5.87	—	"	"
No. 2	2,	10,	16	—	0.60	71	空氣壓力は封度毎平方時
"	"	"	19	—	0.99	"	進行呎は空氣閘門よりの
"	"	"	7	—	0.25	"	もの
No. 3	2,	11,	"	3.50	0.25	148	
No. 4	3,	1,	9	4.00	0.29	398	
No. 5	3,	3,	11	—	0.04	400	
No. 6	3,	6,	22	—	0.21	747	
No. 7	3,	9,	15	3.12	0.47	382	
No. 8	3,	11,	13	—	0.39	735	

上表中 No. 5 は空氣の漏洩量が多いので一時進行を中止して切羽に壁を打ち、よくモルタル塗布をして出来るだけ漏洩量を少くした際の記録であつて、この中コンクリート壁の漏れ 1 平方呎當り 0.04 立方呎を得たのである、その後これ以下になつた事はない。作業場の壓力によりもとより異なる譯であるが今回施行せる 20 封度迄迄では大體 1 平方呎當り 0.3 から 0.4 立方呎漏れて居た様であり、切羽は砂地では 3~5 立方呎位が普通である様であつた。集塊岩は疊築完成部分と大差ない、故に前疊築部分の漏洩量を皆無とすると  $\frac{Q}{D^2}$  は次の如きものである。8呎×8呎の加脊を 4 呎素掘したとすればその曝露面積は

$$8^2 + 8 \times 4 \times 3 = 160 \text{ 平方呎, 今 1 平方呎當り 20 封度で 6 立方呎逃げるとすれば } 6 \times 160 = 960 \text{ 立方呎}$$

$$\text{故 } \frac{Q}{D^2} = \frac{900 \times \pi}{8^2 \times 4} = 12$$

それ故、これは外國の例と大差ないものである、故に 40 封度迄迄施行するとしても、盾構を使用し、鐵セグメントを使用して行けば、 $\frac{Q}{D^2}$  は 20 を超さないものと考へられる。

要するに疊築完成部分に今一段と適當なる方法を必要とするのである。

## 11. 空氣漏洩防止方法

前述の様に覆工の部分から空氣が非常に漏れ、その爲に作業上に及ぼした影響は非常に大である故、極力これ

に留意して施行した。

北側水抜坑に着手し、漏洩量の大きなるに驚いて壘築を直ちに追かけて施行せねばならなかつた、施行を充分にしても防水の目的には不完全なる事は周知の事實である。最近防水工學が發達してコンクリートに特殊の防水劑を混じるか、幕板を外した後で防水劑を塗布するか、或ひはアスファルトを使用してその目的にかなふ様にしてゐる、空氣は水よりも漏れ易いが、水も漏さぬ様にするのが第一の方法である。第二に、鐵の構造物に於ける錆止工も空氣を絶縁する方法である故空氣漏洩防止になつてゐる。依つてペイント或は光明丹塗布も効果がある譯である。

煤煙の多い跨線橋の鐵材が腐つて困つたときに(セメント・ペイント)を使用して結果のよかつた話を讀んだのでこれを試みた。

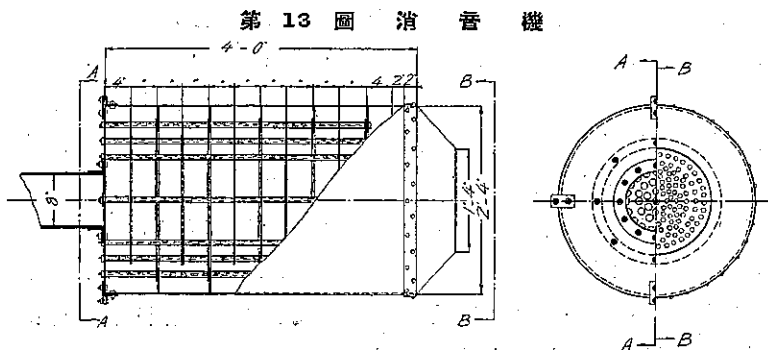
セメント	32 封度
赤レット	12 "
煮アマニ油	5 "
ヂヤパン・ドライヤー	3 "

上記の調合のものを用ひた、乾きが悪いが薄層に塗れば乾きの程度は困る程でなく非常に有效の様であつた、しかしこれは材料費を多く要するのでモルタルを $\frac{1}{8}$ 吋乃至 $\frac{1}{4}$ 吋程度に塗布するのが簡單であり、効果もあるので、終りまで空氣漏洩の防止はこれによつた。この缺點はコンクリートとの膠着悪く氣壓の降下の場合壓力の掛り方が逆になるので中へ押されて剥げ落ちる事であつた。

現在ゲンコー等、コンクリートの防水塗料も仲々多いが臭氣のあるものは使へぬし、黒色のものは作業場が陰鬱になつて感心しない。

### 消音装置

空氣漏洩防止とは關係ないが多量の空氣を要するとなると送氣管の末端に於て空氣の奔出する爲に依る騒音は凄いで、そばでは普通に話が出來なかつた。全く豫期してゐなかつたので急いで消音装置を施すことにした。何しろ周圍がコンクリートばかりである爲、音が反撥して益々大なる譯である。コンクリートの音の吸收係數は非常に小さい、8吋管より1分間3000立方呎程吹き出るのであるから、熱海側に於てフラッパー・バルブがバタバタやつて居たものと比較にならない、本を讀んだり、人に聞いたりして消音装置を作る事にした、始めは簡単なものを作つた、それは空氣の通路をぐるぐるまはして勢を弱めておとなしく出る様にしたのである、然し消音装置から出るときは靜かになつてゐる様であるがその中で風のぶつかる音がひどくてまだうるさい、そこで自動車等に装置してある消音装置を參考にして、前後に穿孔消音器を有し途中に瓣膜を數枚そなへたものを作つた所、非常に成功し騒音が全くきえた(第13圖参照)。このモデルに徑2吋用のものを作つたが、これを浴場の蒸氣管の先端につけた處、音も消え



振動もなくなつて非常に具合がよかつた、それまでは蒸氣で熱湯を作つてゐる容器がゆれて困つてゐた。

これで音を消す方は旨く行つたが同轉型壓搾機を増設してから油噴霧が空氣に混じつて來るので、南側の空氣掘鑿をするときには管の末端には換氣管に使つて居た 30 吋鐵管を 1 本持つて來て接續し、これにヨークスをつめて使ひ油噴霧を取ると共に消音の役目もした。これが爲に 2 封度位の損失があつたが差支へなかつた。

## 12. 輸送管に依る壓力低下

壓搾空氣を鐵管にて輸送する場合の鐵管の摩擦抵抗に依る損失に就ては、深く考へた事もなかつたが、空氣を多量に送らねばならなくなると輸送管の問題も實に重要である事をしみじみ感じた。種々の場合に於ける壓搾機室と空氣閘門に於ける壓力を調査せる結果實驗的に相當參考になるものを得た。大體次の様な事になる。

西口に於ては壓搾機より閘門迄直線距離に直して約 8500 呎に相當する長さがある。

空氣漏洩量を調べる際鐵管に依る壓力低下を調べた、壓搾機室の壓力を 50 封度作業場の壓力を 30 封度とするとき鐵管 8 吋 1 本を以て送氣するときは約 5000 立方呎に於て 20 封度の管損失となる、即ち坑内作業壓力が 30 封度に昇るときは 5000 立方呎以上は送れない事になるのである。空氣の不足から更に同轉型壓搾機 3 臺を増設すると高壓並に低壓の壓搾機の合計容量は 7761 立方呎になる、故にこれを送るのに 8 吋 1 本を以てしては不充分なので送氣用として 6 吋 1 本を増設したがこれでも不充分であつた。

壓搾機 6 臺によつて 6894 立方呎を送つた所、坑内の氣壓が 29 封度に昇つた。このとき壓搾機室 49 封度で管損失は 16 封度である、そして壓搾機は 49 封度で無負荷裝置が働いて居るのである、それ故に設備容量 7761 立方呎を要する場合には空氣閘門内は約 26 封度より以上に上らぬ。

幸ひ作業壓力の最高が 23 封度で終つたから不都合はなかつたが、26 封度以上に於て働くとなると折角の設備の壓搾機を使へぬこととなる。然し西口の場合に於ては 30 封度にも作業壓力を必要とするときは、空氣漏洩量が非常に多量となるからどちらから云つても、23 封度邊で目的が達せられて幸であつた。

### 同轉型壓搾機

仕事を始めた處空氣が足らぬそこで空氣壓搾機を増設することになつた。その時買つた壓搾機は同轉型壓搾機と言ひ、今までの往復運動型のものとは大分變つて居る、これのよい所は

- (1) 安いこと
- (2) 据付の場所が狭くてすむ事

である、然し當時これは瑞西ロコモチブ會社の製品であつて、日本には 20 馬力程度のものは大分出來て居たが、200 馬力と云ふ大物は始めての様であつた。その爲折角据付けた所取扱が悪くて始めは大分てこずつた、會社から來た外人技師も始めての代物でこの時、潤滑劑にヒマシ油を大分買込んだ面白い話もある。

大體の構造は氣筒と同轉子とが中心が變つて居つて、同轉子の同轉に連れこれに植えつけられた羽根が遠心力の爲に飛び出して同轉し、空氣を壓搾して行くのである、細部分まで甚だ巧妙に設計してあるが、高溫度に昇る爲に羽根や同轉子の膨脹が計算に這入つてゐる爲に冷却水があまり冷め過ぎてもいけないのである、又油は高溫度に於て燃えない様に引火點の高いもの粘りの適當なものとなる。

設計の要點をよく考へて行きますと氣筒の徑の大なるもの、長さの大なるものはその構造上から問題が仲々あるのである。西口に於ては最後に使用する油も解決もしたが高價なものを使用せねばならず、又消費量が多いので今までの往復運動のものと比較して 3 倍程度にかゝる。ですから原價が安くても油に食はれてしまふと考へて





準備工事費のうちには兩側共通のものは擧げなかつた。

この爲に買つた壓搾機代及び鐵管代を計算すると尙高くなる、又電氣費は壓搾空氣を作る必要な電氣代だけであるから、之よりもつと掛つた事になる、又鐵道省の人間の給料は入れてない、壓搾空氣代は壓搾機を動かすのに要した K. W. H を 1 K. W. H. 約 4 錢弱として計算したものである。總體に南側の方が 2 度目であつた爲、仕事も上手に行き空氣代は大部少なかつた。

どの項にも云ひ残したが潜函病患者は壓力が低かつた事も原因して居るが、極く輕微なものばかりで、その罹病數も僅かに 9 件であつて、特にお話する事もない。(完)