

第十三章 隧 道

1 位置選定

隧道の位置により大別すれば二種類とするを得る。第一は山脈の一方から他の側に出るものであつて、國境山脈を貫くが如き長大隧道及び、一つの谷の奥から他の谷頭に出る普通の長さの隧道も之に屬す。第二は山腹を貫くものであつて、線路が海岸又は溪谷に沿ふとき、斷崖あり峻険にして河又は海岸に沿ひて線路を通す事の出来ないため、其の山腹を貫くもの、或は岬又は山嘴を曲線により廻り得ないで、其の山腹を貫くものである。

第一の種類では、隧道の位置選定に當つて最切に考ふ可きは、如何にして其の長さを短くするかと云ふことである。隧道は莫大なる工費を要する構造物である故、延長の短きを望むのは言を俟たない。昔鑿岩機の使用を知らず、隧道技術の幼稚なりし時代には、初めは 3,000 尺後には 5,000 尺を越ゆるを大隧道と稱し、其の竣工に長年月を要するので之を避けた。

相當必要なる線路も、隧道のために着手の運びとならなかつたものが多い。清水隧道のある上越線、丹那隧道の熱海線の如き其の實例である。兎も角も隧道の延長は位置選定に當つて考慮す可き重要事項である。

延長を短くするには、山脈の遙か手前より山腹に沿ひて施工基面を上げて行き、且つ勾配を急にして上れるだけ上り、最後に隧道とするより外はない。然しながら斯くすれば隧道の延長は短くなるが、途中の土工數量が増す。溪の平地を其の勾配を勾配として之に沿ひて上れば、切取築堤の量は少いが、施工基面を高くして山腹を通す場合は、溪の一方の側より他の側に移る時、或は谷の支流を越す時に、高き築堤又は橋梁を要する。且つ山の壁は高くなる程細かくなり曲線にて之を廻り難くなるので、切り盛りの量が増す、それ故に此の部分のみに就いて

云へば、一般に施工基面は低くする方が利益である。即ち隧道の延長を短くするには、之に達するまでの工費が増す。

普通山脈を越す時には、出来得る限り溪について廻り、溪から溪へ抜く事を考へるので所謂峠をねらふ事となる。然るに峠の地形は第四章に述べた如く、多くは斷層線に當るので、隧道の延長は短い地質不良にして難工事となる。

悪地質と闘つて如何にかして竣工せしめても、後故障が起り、甚だしき時は、崩壊する事がある。富士身延鐵道の勝坂隧道は其の實例である、延長を短くするために、兩側の迫つた谷を選んだが不幸にして之は斷層谷であつて、竣工後六年にして、一方の側の山腹が法長約 250 尺滑り出して、隧道の坑門附近 150 尺を崩壊せしめた。

一般に隧道工事中崩壊陥落せしめ、多數の死傷者を生ぜしむるが如き事故を惹起すれば、復舊其の他に 50,000 ~ 100,000 圓の費用は要する。亦工事中の小さき事故にして死傷者を生ぜずとするも、一度崩壊せしむれば、其の復舊に少くとも 10,000 ~ 30,000 圓は要する。普通の隧道 1 尺當りの工費を 100 圓とすれば、延長 300 尺短縮しても 1 回事故を起せば反つて不經濟となる。其の外に覆工の厚さの増加、支保工の費用、進行の遅延等の不利益を計算すれば、延長を短縮しても地質が悪ければ無意味となる。

斯る理由により、近頃は隧道の延長を極端に短縮するよりは、相當地質の良好なる地點を選び、其處より地下に入る事を考ふる。

勿論悪地質と雖も無條件に之を恐れ避けるには及ばない。豫想し得るものは、之を突破する方法と工費とを豫め調査し、隧道延長を増加するための工事費と、之とを比較して決定す可きである。

第二の種類に於て地質的に考慮すべきは、崖錐、單傾斜地層、及び斷層崖錐、河段丘及び海岸段丘であつて、是等の地形に於て隧道の延長其の他を多少犠牲にしても、堅固なる地山に隧道の主要部分を入れる事は云ふまでもない。

然しながら線路が山腹に沿ひて進む時は、曲線其の他の關係で此の希望が満されない。強いて隧道の地質的条件を良好にせんとすれば、其の前後に於て橋梁、高大なる土留擁壁等を必要として、莫大なる工費の増加を來す事となり、已むを得ず悪地質を承知の上隧道を掘鑿する場合は多々ある。

斯る場所は先づ地質的調査により、完全に之を突破する掘鑿方法と隧道竣工後の安全とを確め、工事費の増加を對照して判断を下す可きである。但し崖錐又は山崩れ跡であつて、僅少でも匍行する地質ならば、一時的に隧道を掘鑿し得るも、早晚破壊して之を放棄する運命に立ち到るのは必然であるから、絶対に隧道を避けなければならぬ。之を要するに、隧道に強大なる偏壓が働いても、一方の側壁に角巻を施して覆工の厚さを増し、且つ仰拱を附する事によつて、隧道の安全を期し得る程度でなければならぬ。

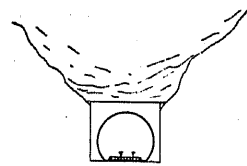
崖錐、河段丘等に於ては、地質的の悪条件地帯を、地山に入れる前に多少通過しなければならぬのであるから、其の条件を調査して豫知し、之に對する掘鑿方法を研究し、之に従ひて注意深く施工すれば可成りの悪地質をも突破する事が出来る。

2 坑門の位置

坑門は隧道中の一つの弱所である。極めて切立つた山に隧道を掘鑿する以外、地面を切取つて後隧道とするのである故、多くの隧道は坑門口に於て三方切り取る事となる。従つて徒に延長を短くする事のみを考へず、此の切取法面の保守をも考慮しなければならぬ。

悪天候の後、此の坑門の法面が崩壊して列車を止むる事故が屢々起る。又地震の際に崩壊するのは此の坑門口の切取口である。

且つ隧道の上の覆土薄き時は、土壓の平衡が破れ易く、工事中及び 後も危険である故、第1圖の如く、

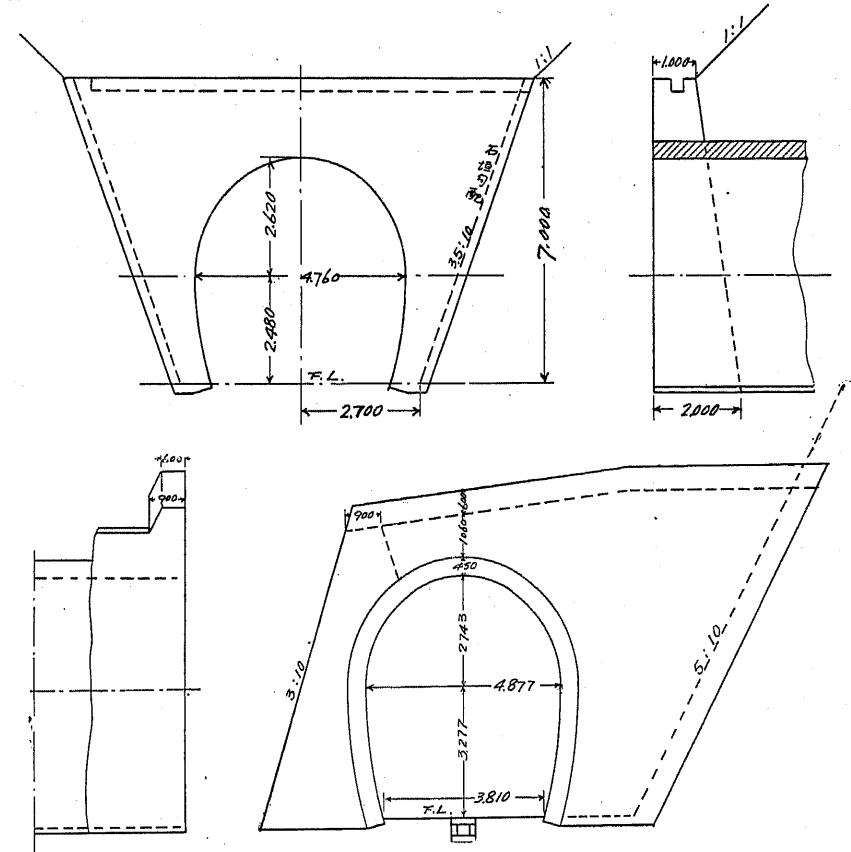


第 1 圖

兩側より迫れる谷底に坑口を設くるのは、隧道の延長が少し短縮しても不得策であつて、且つ谷川の仕末に苦しむ故、之を避けて山腹から地中に入る様にすべきである。

山腹隧道に於ては、坑門口に於て山側の切取法面は高く走るのに、川側は隧道覆工の脊中が現はれそうに薄き事がある。斯る地點では坑門口を多少斜角にして此の傾向を減ずる。

坑門上部の切取法面と、之に直角の方向の線路の兩側の法面との間に、同じ勾配の圓錐面を入れて、其の部分の法面の高く走ると落ち込み溝が其の部分に出



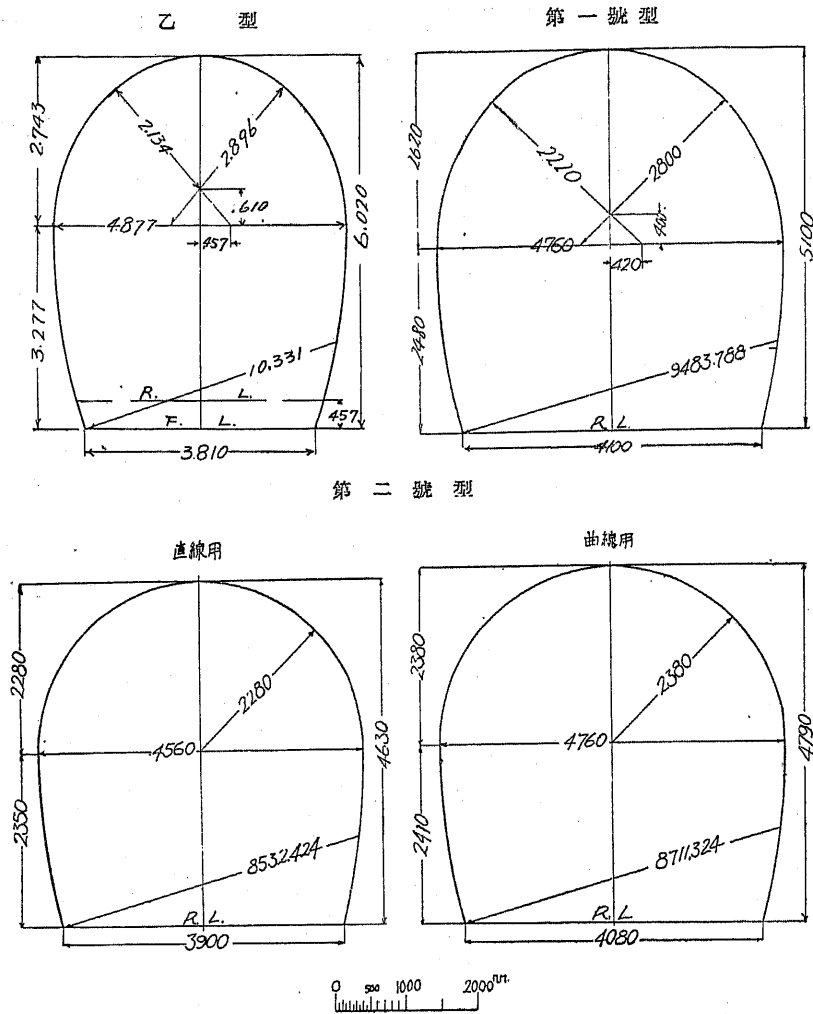
第 2 圖

來るのを防ぐ。

坑門口設計の實例を第2圖に示す。

3 隧道の斷面形

鐵道隧道の斷面形は之を通過する車輛の大いさと之に働く土壓とによつて定ま



第 3 圖

る。車輛は鐵道全線に共通し得るのが原則である。従つて全線を通じて、同一型である可きであるが、國有鐵道全線には現在數十種の斷面形がある。隧道は將來殆んど改築不可能の構造物であるから、將來の發展を見越し、機關車及び車輛の形が大きくなる事を豫想し相當の餘裕を置くのであるが、此の餘裕に對する考へ方が時代と共に變化するので、隧道の形も亦變化するのを免れないのである。

現在國有鐵道に於て使用されるものは第3圖に示す三種類である。

乙型は大正の始めに設定せられたるものであつて、當時國有鐵道の廣軌改築が盛んに唱へられたので、廣軌にしても支障なき斷面とした。それ以後建設線の大部分がこの型を採用した。

大正十年頃を境として、廣軌改築論は其の跡を絶ち、一方鐵道電化が問題となり、且つ新に計畫される新線は、漸次貨客の少なき地方を通るものとなり、幹線が少なくなつたので、一律に廣軌鐵道に近きものを建設する必要がなくなり。最近第一號型及び第二號型の二種類を設定し之を標準とする事になつた。

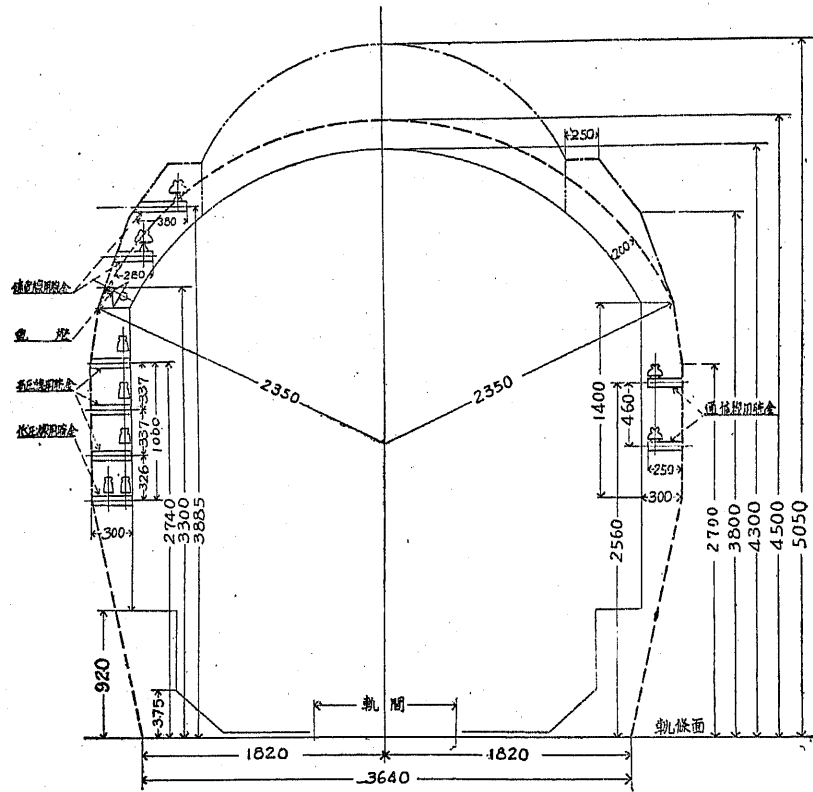
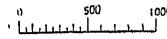
即ち將來電化する線は第一號型を、電化せざる所は第二號型を使用する。

隧道が曲線中にある時はボーギー車の偏倚、線路に高度を附する事などを考慮に入れて、二號型に於ては其の幅を増して少しく形を變へる。

國有鐵道に於て、昭和四年七月に改定せられた建設規定の建築限界に基き、之に相當餘裕を加へ、隧道限界を定めた。建築限界は、電化の區間に於ては、パンタグラフを縮小した高さ、架空線の位置等、集電裝置を考へて上を高くしてあるので、將來電化する見込みのある線路の隧道は、此の建築限界に入るゝに足る大いさにする必要があるので、第4圖の如く二種類の隧道限界を定めた。

此の隧道限界は、アーチ型を豫想し、第4圖に示すが如き電燈、電線等の添架に必要な最小限度の寸法を基準として定めたものであつて、軌條面に於ける幅は、最小限度の餘裕を考へた寸法である。隧道内に信號機、補強用の軌條製拱樑等を使用するのは稀に起る場合であつて、是等に對して總ての隧道を大きくして

- 一般の場合に対する建築限界
- 普通の區間に対する餘裕
- 架空電車線に依り電氣運轉を爲す區間に於て
隧道に對し建築限界を縮小し得る限度
- 架空電車線に依り電氣運轉を爲す區間に対する餘裕



等 4 圖 隧道限界圖

置くのは不經濟である故、之を考慮しなかつた。信號機の建植の必要ある部分は相當擴げなければならぬ。

此の隧道限界を充分容れ得る様に適度の形にしたのは、此の隧道断面形である。建築限界は曲線に於ては幅を増し、且つ軌道の高度に従ひ傾かしむるのである故、曲線用の隧道をも別に定めた。勿論隧道限界を入れさへすれば、如何なる

形であつても隧道の利用上支障がないのである故、場所により又土壓の方向により断面形を適當に變へるのが合理的である。

4 隧道に及ぼす土壓と覆工の厚さ

隧道掘鑿中の土壓及び覆工に及ぼす土壓に関する限り、種々の學説があるが、未だ之に信頼して數字的に解決し得るが如きものはない。隧道に及ぼす土壓は非常に複雑して居り、之を數字的に解決し得る曙光さへ未だ見出せないと言ふのが當つて居る。

従來の學説の内、或る場合にのみ多少信頼し得るのは、ビールバウムエル及びウキルマンの兩學説である。

前者の學説は、隧道上の覆土餘り高からず、且つ土を一様の粒集體と考ふる事が出来る様な場所、云はゞ盛土に類して、地表にさしたる高低のない低い丘の下の隧道、又は地下鐵道の隧道、或は坑門附近の覆工の厚さを、應力計算により檢するが如き場合に適す。次にそれを示す。

ビールバウムエル公式。

土質の休息角を α とし、土の深さ H 、土の單位容積の重量 γ とすれば、垂直荷重 W は次の如し。

$$W = \gamma H \left(1 - \frac{zH}{2H+w} + \sqrt{\left(\frac{zH-w}{2} \right)^2 + Htg^4} \right)$$

$$\text{但し、 } g = tg^2 \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$z = g \cdot tg \alpha$$

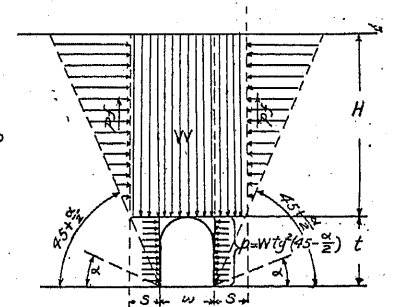
其の他の文字は圖に示す、寸法を表はす。

α の各値に對して g^4 の價は次の表の

如し。

$$\alpha = 15^\circ \quad 20^\circ \quad 25^\circ \quad 30^\circ \quad 35^\circ \quad 40^\circ \quad 45^\circ$$

$$g^4 = 0.35 \quad 0.24 \quad 0.17 \quad 0.11 \quad 0.07 \quad 0.05 \quad 0.03$$



第 5 圖

ウキルマンの學説は、隧道掘鑿により土の弛む範圍を考へ、隧道に來る土壓は此の弛んだ範圍の土の重量によるものと假定し、其の範圍を推定し、ランキン系の理論により、土壓を計算するのであつて、其の考へ方は或る場合には當つて居ると思ふ。

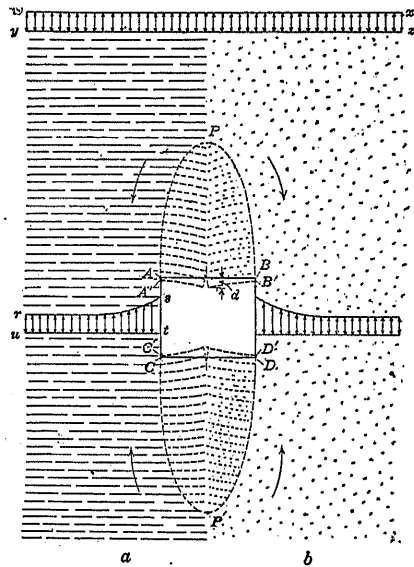
唯だ其の弛んだ範圍を推定する確實なる方法が見出されないのであつて、ウキルマンは之を橢圓形とするも、隧道が崩壞陥落して地表まで陥没し、又は地表に龜裂が生じたる實例を見るに、何れも不規則であつて、著者の見聞する範圍では橢圓形類似の龜裂が熱海線小峰隧道（小田原地内）の切り付け面に現はれたのみであつて、ウキルマン説の眞なるを示す實例は殆んどない。

矢張り經驗により、其の範圍を適當に推定するのが寧ろ眞實に近い。即ち附近の地層地質により、或は直上に或は左右何れか斜上に弛む範圍を推定し、覆工に及ぼす土壓の方向と量とを大略計算し、之に對應して或る部分の厚さを増し、或は或る部分に於て充分受働土壓を働かしむる爲めに、裏込めを完全にし必要に應じてグラウチングを施して間隙を填充する。

隧道覆工に關する範圍では現在の所、土壓の量よりは寧ろ其の方向を正しく知るだけで満足し、覆工に生じたる龜裂の判斷、或は側壁の角卷、仰拱等の施工の必要不必要を決定する材料とすべきである。

ウキルマンの學説を次に掲ぐ。

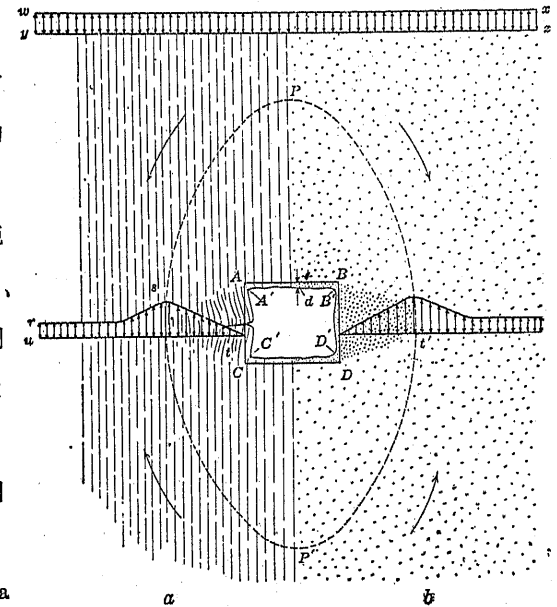
隧道を地表まで相當高き地盤中に掘鑿する時は、地盤の弛む範圍は第6圖の點線が示す如く限られて居る。隧道



第 6 圖

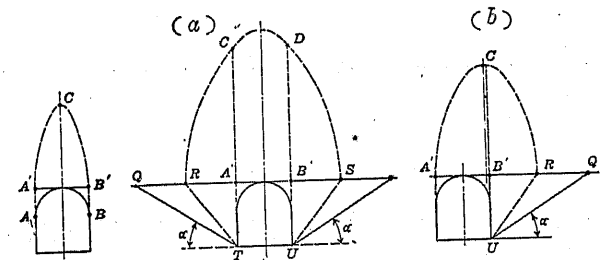
を掘鑿せざる以前には地盤全體に $wyaz$ の示す如き、垂直等布荷重が働いて居る。此中に $ABCD$ なる斷面の隧道を掘鑿すれば、其の天井の部分に働いて居た荷重は側壁に移る。側壁の岩盤が充分堅固にして増加せる荷重に耐え得る時は、第6圖の如き應力の配置となり $urst$ の示す如く、内空に面する部分の應力は最大となり、之を遠かるに従つて減じ、或範圍以外には隧道掘鑿の影響が及ばない。隧道に働く土壓は天井の爲めに弛んだ部分、 $A'P'B$ の土の重量から生ずる。

側壁の部分が強固ならず、増加したる荷重に耐えざる時は、第7圖の如くなり、土の弛む範圍は擴大さるゝ。土の弛む範圍は地質によつて異なるも、隧道の大きが増す程、側壁の部分の受くる荷重は増す故、其の參る機會も多く二重に土の弛む範圍が擴大さるゝ。



第 7 圖

其の形は普通 Parabola であると假定さる、之を決定するには種々の假定を要するも、休息角 α の土質ならば、第8圖に示す如く隧道の施工基面 TU より、水平線と角 α



第 8 圖

を爲す直線 TQ を描き、拱頂 $A'B'$ の延長線と Q に於て交らしめ、 QA' の中点 R を取り TR を結べば破壊面を得る。

隧道の拱は垂直荷重として $A'CD B'$ の土の重量を支へ、側壁及び拱は TRA' の三角形、及び $A'CR$ の部分の土重量より来る水平荷重に抵抗しなければならぬ。

一方の側壁が堅固にして他方が軟弱なる時は第 8 圖 (b) の如くなる。

土の弛む高さは、地質其の他掘鑿方法により異なる、Kommerell は之に對して公式を與へて居る、土の弛む形は Parabol と云ふも、此の高さを長徑、第 8 圖の RS 又は、 $A'B'$ 、 $A'R$ を短徑とする ellipse と假定しても宜しい。

隧道覆工の厚さは、主として經驗を基礎とした感じで定むるより外に方法がない。大略の標準を次に述ぶる。

普通の程度の土壓が来る地質、即ち崖錐等の惡地質に非らざる坑門口附近、覆土の高からざる所は 1 呎 6 吋とする。之に相當する支保工の型式は枝梁式である。之より少しく地質が良好で、稍手輕の枝梁式又は完全なる合掌式支保工を施す所では、1 呎 3 吋又は 1 呎とする。

地質は盤であつて、肌落ちを防ぐ程度で土壓と稱す可きものが現はれない所は、支保工は普通の合掌式とし、1 呎又は 9 吋とする。

岩石であつて、只裂目があり落ちる虞のある所のみ簡單なる合掌で止め、大部分支保工なしと云ふが如き場合は、6 吋とする。6 吋より薄き覆工は施工に困難である。

最後に完全なる岩盤であつて掘放しにする所は、表面風化してポロポロ落るのを防ぐため、ガンナイト即ちセメント吹き着けを行ふ。必要に応じて金網を張りセメントを吹きつける (切取法面保護の項参照)。

地質稍々不良にして、土壓が相當強き所は、支保工は後光梁式として、覆工の厚さを 1 呎 9 吋乃至 2 呎 3 吋として仰拱を施す。

之以上特別に地質不良の所、又は一度崩壊せる所は、2 呎 6 吋又は之以上にすも、斯る所は特殊の掘鑿方法により、一部分坑道として掘鑿し、之を混凝土にて填充し、更に隣接せる部分を掘ると云ふ、所謂獨逸式掘鑿方法によるものであつて、特別の場合と考へて宜しい。

覆工の厚さを如何に厚くしても、3 呎を超ゆる事がない。3 呎にしても尙不足にして破壊するが如き場所には、隧道を掘鑿し得ないのである。

5 膨脹する地質

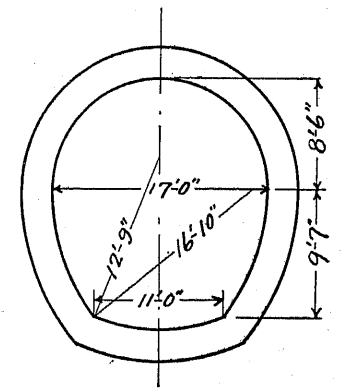
温泉余土、第三紀層の粘板岩の風化せる粘土、油頁岩等の軟弱なる地質の中には、掘鑿する時は相當硬くして屢々火藥を必要とするが如きものも、掘鑿後時日が経過するに従つて膨脹し始め、其の土壓は強大にして、之を支ふる何物をも、眞綿にて首を締むるが如くに破壊せざれば止まざる觀があるものがある。

然して掘鑿の當初は、一時掘放しにしても導坑位の大きさならば差支へなき程度であつて、其の後約二三週間にして土壓が働き始むる。此の間に掘鑿し覆土の疊築を終れば土壓が小さいのである。

斯る土壓の作用は到底普通の剛體力學又は粒集體の土壓理論では説明し得ない。寧ろ是等の地質は局部的には固體であるが、全體としては飴の如きプラスチックのものと看做す可きである。剪斷試験其他の示す所によれば、其の休息角は殆んど零に近く、掘鑿後膨脹し始むれば、四方より等しく土壓が加わり、床が上昇し、流體の壓力の如き土壓が加はる。

然して周囲の土を支ふる支保工が破壊し掘鑿断面が縮小しても、土には相當粘着力があるため、決して陥没崩壊しない。

斯る地質に於ては、上部からの土壓にのみ強



第 9 圖

固にして、横からの水平土圧には弱い従來の形は不適當であつて、仰拱をも含めて圓に近き形とするを要する。第9圖は其の一例であつて房總線嶺岡山隧道の斷面形を示す。

6 隧道の地表に及ぼす影響

隧道より地表に至る高さ大ならざる時、其の附近に家屋、土藏等があれば、掘鑿に伴ひ地盤が弛みて沈下し、其の沈下が不規則ならば家屋等の構造物に狂を生じ、甚だしきときは地破れして家屋が傾斜する。

隧道上の覆土の高さ低き所は、絶対に地表に影響を與へずして掘鑿し得る方法がない。地表が多少沈下しても、隧道が完成すれば少しも危険でないのであるが、地破れや、壁の龜裂、家屋の傾斜は住民の神經に觸り恐怖を感じしむるものである故、豫め之に備へなければならぬ。

掘鑿以前の狀態をそれとなく調査して置き、沈下が生じたる時之と比較す可きである。然して住民には説明して理解を求め、尙相當の補償を至急なす方が問題を紛糾せしめない。

一般に地表まで淺き所は、掘鑿に伴ひ常に地表の狀態に注意し、必要によりては測量觀測して、地表に現はるゝ龜裂の狀態及び沈下の量を知り、之によつて掘鑿施工方法に注意を與へなければならぬ。

長大なる山岳隧道にして、地表に溪谷あり水田あり人家あるものは、隧道掘鑿中斷層又は熔岩、或は岩脈より多量の地下水が湧出する場合、地表に於て地下水位の低下を來たし、井戸水が濁れ、泉の湧水が止まり、溪川の流量も減じて灌漑用水の不足を生じ、附近一帶の渴水問題を惹起する。

我國は到る所に火山があつて、此の火山よりの噴出物により形成せられたる地質は、多孔質であつて水を滲透し易く、多量の地下水を含有する。又到る所に斷層があり、此の斷層は屢々地下水の通路となつて居るので、長大隧道では、何處かに於て此の地下水に出會ひ、隧道内に湧出する事を覺悟しなければならぬ。

隧道掘鑿に原因し、地下水位の低下する傾向がある事が地方の人達に知らるゝと、平素干越の際用水に不足を生じて居たものをも、皆隧道工事の責任として、損害の補償を要求さるゝ事がある。それ故に隧道に多量の湧水ある時は、直に地表の諸水流の流量及び井戸の水位の觀測を始め、之を繼續して、如何なる程度に隧道工事が影響したかを判斷する證據とするを要する。

一般に地下水位を直接觀測する事は困難であつて、附近の雨量と、河川の流量とを觀測し、一定の雨量が、河川の流量に、隧道の湧水後如何に變化して現はるるかを知り、間接に地下水低下の狀況を推定し得るのみである。地下水位が低下すれば、小さき水流は濁れ、少し位の降雨量があつても、川に水が流れない様になる。

是等の關係は丹那隧道の附近一帶に於て觀測せる結果を參考として研究され度い。

雨量及び流量の觀測を愈々開始すれば、引續いて精密に規則正しく行ふに非れば信賴する結果を得られない。雨量觀測は、流域の適當の地點に雨量計及び蒸發計を置きて行ひ、流量は水路の所々適當の所に觀測用の堰を置きて、之によつて計る。三角形又は矩形の堰にして鋭角の椽にし、規定通りに建造し、周圍より洩水を絶無にしたるものは、之により極めて正確なる流量を知る事が出来る。

7 工事上よりの隧道の種別

工事の方法により普通の山岳隧道を大略次の四種類に區別する事が出来る。

(a) 手掘り (b) 機械掘り (c) 長大隧道 (d) 特殊隧道

隧道の延長が短くして、線路の其の區間の竣功期限が他の工事によつて制せらるゝ時は、急いで隧道を掘鑿するに及ばない。斯る隧道は普通手掘りとするのが最も經濟的である。然し隧道の延長が長くなり、之によつて竣功期限の制せらるるものは、隧道其のものゝ工事費が多少増加しても、其の竣功期限を早むるのが鐵道全體としては經濟的である。相當長き隧道にては、一般に其の大半の地質は

岩石であつて、岩石中に早く隧道を掘鑿するには鑿岩機を使用しなければならぬ。

手掘りと機械掘りとの別るゝ延長は、其の線路の竣功を急ぐか否かによつて異なるも、普通片口から工事する延長が 1 km を超せば機械を使用するのが経済的となる。手掘り隧道の最大延長は 5,000 尺片口から 3,000 尺と見れば大差はない。

國境山脈を貫くが如き長大隧道に於ては、其の延長大なる故、掘鑿の搬出、工事材料の隧道への運搬等に電車を使用しなければならぬ。且つ其の位置は交通不便の山奥にある事が多いので、労働者の收容小屋、工事係員の住宅、工事材料及び日用品の配給設備、傷病者のための醫院等諸種の施設を要する。清水隧道の如きは、従事員の子弟の爲めに特に小學校をも設け、兩口に各々入口 1,500 人以上を有する一時的の村が出来た。長大隧道に於ては、進工を早めるために、あらゆる施設をなしても経済的であるのは言を俟たない。

地質不良にして、隧道を造り得るや否やが技術上の問題となるが如き所では、完成時期などは考へずして、如何なる方法を探れば安全に工事を爲し得るかを案出しなければならぬ。其の工事方法は地質に應じて特殊のものを必要とする。

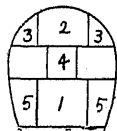
8 手掘り

延長短き隧道は鑿岩機を使用せず、地質柔軟なる時は鶴嘴を以つて掘鑿し、岩石は手錐と手槌にて鑿孔し、ダイナマイトを填充して爆破する。

掘鑿の順序は最初に導坑を掘り順次切り擴ぐる。以前は最初に頂設導坑を掘りたるも、此の頃は底設導坑を最初に掘る事が多い。

頂設導坑の缺點とする所は、導坑に湧水ある時に、此の水は中背其他の切擴げ階段に於て瀧をなして流れ落ち、此の部分の作業の妨害となる事と、頂設導坑、丸形切り擴げ等上段の掘鑿より生ずる礫の運搬の爲めに、切擴げ階段が邪魔になる事である。

底設導坑では湧水は最初より施工基面を流れ、又切擴げの礫は皆底設導坑の屋根に落ち、漏斗により土運車に積む故、他の作業



第10圖

の妨害とならぬ。只底設導坑の支保工だけが餘計物となるが、之は切擴げの礫を積むための礫棚に利用し得、其の費用は礫搬出の便に比しては遙かに小さい。

岩石に手掘りにより導坑を掘鑿するには、通常其の加背を 7'×7' 又は 8'×8' とし坑夫 3~4 人が手錐を以つて鑿孔する。

錐は徑 6 分の錐綱を使用し、錐の刀形は一文字、蛤形及びポイントの別があるが、最も普通に使用さるゝは一文字である。一文字刃の兩端は使用中に磨滅して、自然に蛤形となる故、始めより蛤形にする方が能率が宜しいとして、蛤形を好む者あるも、刃先きを造るには一文字の方が便利であつて、従つて鋭く堅固なる刃を得る。

手錐による孔徑は一般に 0.8~1.0 寸であつて、孔深 2.5 尺を超す事は困難である。平均 1 本の孔深は 1.0~2.0 尺であつて、堅岩にては 1 尺より深くしない。1 本の錐にて掘り得る深さは 1.0~1.5 寸であつて、其の間に刃が磨滅する故、錐を充分多數用意しなければならぬ。又錐燒にも注意して、錐綱の材質、燒入れの溫度及び方法に就きて、鑿岩機の錐同様職人を指導するを要する。

導坑に於ては孔の間隔を平均 2 尺とするのが有效である。手掘りに使用するダイナマイトは小形ダイナマイトであつて、導坑の如き一開面壁には、孔の深さの 50~70% の深さに火薬を填充すれば、岩石の「起き」の能率が善い。掘鑿の歩掛り、及び所要火薬量、1 日の進工尺は岩質の硬軟により異なる。

鑿岩する孔の深さは、堅岩では坑夫 1 人一交替 3 尺、普通の岩石では 4~5 尺を標準とする。一晝夜の掘鑿進行は 2~6 尺を標準とする。使用火薬量は導坑の 1 立坪當り 12~20 封度である。

切擴げ掘鑿の工費は、普通導坑掘鑿の平均約 60% と見る。

9 鑿岩機壓氣機及び送風管

鑿岩機。

壓搾空氣によつて動かす鑿岩機は、現在に於て完成の域に達した。鑿岩機が將

來異常の進歩を來たし、新しき型が出現するとすれば、夫は壓搾空氣を動力とせず、直接電氣によつて運轉されるものである。現在に於ても電動鑿岩機の二三の型が出現して居るが未だ一般的に使用される程完成されて居ない。

壓搾空氣鑿岩機は完成されて居るにも係らず、從來二三年毎に、常に新しき型が米國の製作場から發賣された。之は鑿岩機には壽命があり、連続して使用すれば 10 箇月又は 1 箇年にして廢物とするのが得策だと云はるゝ位であつて、製作場に於て、丁度自動車の新型の如く眼先きを變へて賣り出すのである。

勿論型が變る毎に多少の進歩はあるが、或る型は掘進速度を第一にし、或る型は重量の輕きを、或る型は取扱ひ簡易を、或る型は部分品の取換へ少きを、主意として設計されたものであつて、其の間に格段の進歩が無い。従つて鑛山等に於ては古き型を其の儘統一して使用して居る所がある。

勿論隧道工事の如く、着手に當つて新に買入るゝものは其の當時の新型を選べば宜しい。

鑿岩機の製作場は、米國にインガーソルランド、サリヴァン、デンヴァー、の三會社がある。人によつて好、不好があり、又三會社の製品は各々其の特徴を主張するも、使用者から云へば何れも似たものである。

鑿岩機を其の能力及び重量により區別すれば、ドリフター (Drifter)、シンカー (Sinker) 及びストーパー (Stoper) の三種類となる。

ドリフターは臺に取り着けて運轉するものであつて、重量大なると共に掘進能率も大であつて主として、導坑又は切端に使用する。シンカーは手にて押へて使用するも、場合によつては臺に取り付けて使用し得る。各鑿岩機の型式と重量、其の錐の大きさ、空氣使用量、掘進率(普通の岩石にて)等次表に掲ぐ。

鑽孔の速度は、錐の形状及び其の硬度並に質によりて差異がある。錐によりては 1 本が深 5.6 呎掘れば磨滅して孔の下りが悪くなるものと、普通の速度にて 2 呎位掘り得るものとある。勿論岩質により此の 1 本の掘り得る長さが異なるも、錐

1. Drifter

型 式	製 造 會 社	重 量 (封度)	全 長 (吋)	錐 鋼 徑 (吋)	空氣消費量 (立方呎/分)	掘 進 (吋/分)
N - 75	インガーソルランド	144	49	1 1/4 H.R	—	—
X - 71	〃	214	55 7/8	1 1/4 H.R	—	—
L - 74	〃	117	49 1/2	1.0 or 1 1/4 H.R	—	—
No 26	〃	114	40	7/8 H.H	115	3 1/2
7	ガードナーデンバー	132	—	7/8 ~ 1 1/4	130	—
107	〃	121	—	7/8 ~ 1 1/4	98	—
31	〃	146	49	7/8 ~ 1 1/4	145	—
DW - 64	サリバンマシナリー	150	46	1 1/4 H.R	160	6 1/2
T - 3	〃	156	46	1 1/4 H.R	—	—

2. Sinker

型 式	製 造 會 社	重 量 (封度)	全 長 (吋)	錐 鋼 徑 (吋)	空氣消費量 (立方呎/分)	掘 進 (吋/分)
BCRW 430	インガーソルランド	51	22 1/2	7/8 中空六角	80	3 1/2
DCRW 23	〃	61	24 1/2	1 中空六角	100	4 1/2
S - 49	〃	60	23 3/8	7/8 or 1 中空六角	—	—
11	ガードナーデンバー	100	21	7/8 ~ 1	90	—
L-7 (濕式)	サリバンマシナリー	47	23 1/4	7/8 H.H	—	—
DP-331(〃)	〃	43	17	7/8 H.H	90	—
ASD 11	足 尾	12.5	12 3/4	3/4 H.R	32	1 1/2

3. Stoper

型 式	製 造 會 社	重 量 (封度)	全 長 (吋)	錐 鋼 徑 (吋)		
BCW21(濕式)	インガーソルランド	79	52 3/4	1 H.H		
BC21W2(乾式)	〃	80	53 1/4	1 H.H		
CC 11 (〃)	〃	78	51 1/4	1 S.H	}	1 1/8 CRU
CCW11(〃)	〃	83	53	1 H.H		
50MAU(濕式)	アトラスデーゼル社	70 1/2	53 1/8	1 H.H		

を換へるには時間を要する上に、其の度毎に刃の幅を 1/16 ~ 1/8 吋狭くしなければならぬ。孔底の内徑を一定に保つには、錐を換ふる度数の多き程、初めの錐の刃幅を大にしなければならぬ。即ち孔全體の容積が大となるので、それだけ鑽孔の

仕事量が増し、二重に鑽孔の速度が遅くなる。

現在錐の双先きの形は殆んど十文字形と一定されて居る。單に鑽孔の速き點から云へば、二重弧形双（ダブルアークビット）が勝るも、双形を造るに困難である。十文字双を機械的に造るシャープナーもある故、シャープナーのドオリー及びダイスの形を時々検査し、取換へて一定の形を保たしめて、機械の命する儘の作業をすれば完全の双形を造り得る。

之に焼入れをするに當つては、第一に錐の鋼質を検査し、焼入れの温度と方法を常に之に適合する様に一定に保ち、岩質に適する同じ形の同じ硬度の双を造る様に勉めなければならぬ。錐鋼のシャンクの部分も同様である。

鐵道省建設局鑿岩爆破委員會にて規定せる錐鋼の仕方書及び錐燒き方法の標準がある。

10 空氣壓搾機

同時に使用する鑿岩機の種類と臺數が決定すれば、其の空氣使用量より、常用する壓搾機の容量を決定する事が出来る。

同時に數臺使用すると云つても、鑿岩機は常に空氣を要するものでなく、錐換の節等は休むのである。且つ壓搾空氣のレシーヴァー及び送風管中の容積は、空氣使用を調節するに役立つ故、同時使用の鑿岩機の空氣量の總計を、壓氣機の容量とする必要はない。總計にある係数を乗じたもので宜しい。其の係数は大略15臺位で75%、10臺にて72%位である。

空氣壓搾機は堅固なる機械であつて、故障の生ずる事稀である、且つ長き隧道工事には、必ず月に一回又は二回の休日をは置くのは普通であるから、検査、部分品の取換へ等此の休日に行へば宜しい。従つて豫備機を必要としないが、錐燒等夜間には休む作業もあり、所要空氣量に差異ある故、其の間小型のものを運轉して、動力の節約を計るのが得策である。豫備として別に小型のものを備ふるのが普通である。

定置式空氣壓縮機性能一覽表

製造所名	Air cylinder Size			Rero Per.m	R.H.P. Belt wheel		Belt wheel		Pipe dimension			Over all Length			Floor Space sqft	備 考
	L.P	H.P	Stroke		80% HP	100% HP	Diam	Width	Air Inlet	Air Discharge	Water Coding	Length	Width	Hight		
Ingersollvan Compressor	14"	9"	12"	210	71	80	54"	11"	5"	4"	10"	6"	5'	63	Steamdriven	
"	12	7 1/2	12	210	52	59	52	10 1/2	5	4	9.5	5.5	"	52	"	
"	14	9	12	210	71	80	54	11	"	"	9.0	6.0	"	54	Motor Belt driven	
"	12	7 1/2	12	210	52	59	52	10 1/2	"	"	8.0	5.5	"	44	"	
"	17	10 1/2	14	240	134	147	78	18 1/2	6	4	11.9	7.0	7.0	57	"	
"	13	8	12	250	72	79	60	12 1/2	5	"	9.5	5.10	6.0	117	"	
"	20	11	16	170	132	152	96	20 1/2	6	5	13.0	9.2	7.0	83	"	
"	16	10	14	185	92	104	84	16 1/2	5	4	11.0	7.8	"	60	"	
"	14	9	12	210	68	76	72	12 1/2	"	"	9.9	6.1	6.0	47	"	
"	12	7 1/2	12	210	50	57	60	12 1/2	"	"	8.4	5.7	"	30	"	
"	10	7	10	275	—	44	58	10 1/2	4	"	9.9	3.2	5.8	83	"	
Sullivan Machinery Company	18	11	14	250	142	—	76	19	9	5	11.3	7.7	9.8	36	"	
"	14	8 1/4	10	240	72	—	70	10	6	3	8.10	4.0	7.2	24	"	
"	10	8	10	260	—	38	50	10 1/2	3 1/2	3	7.5	3.0	3.4	113	"	
Worthington Works Compressor	16	13	16	220	250	275	80	25	10	7	12.10	8.9	8.0	86	"	
"	14	15	14	245	154	—	72	19	30	8	11.6	7.6	7.6	32	"	
"	10	10	12	250	—	54	—	—	—	—	9.1	3.4	4.4	70	"	
Gardner Compressor	20 1/4	10	10	360	—	120	42	10 1/2	6	4	10.0	7.0	5.0	65	Motor direct Coupling	
Sentinel Compressor	10	4 1/4	10	300	—	600	48	12 1/2	4	2	9.4	7.0	4.6	47	Motor direct Coupling	
Ingersollvan Highpress 600*	10	4 1/4	10	300	—	600	48	12 1/2	4	2	9.4	7.0	4.6	47	"	
Swisslocomotive Rotary Comp	400 m/m	490m	1,200m	485	50 u	210	—	—	11	8	10.6	4.6	4.6	47	"	

空気圧搾機を設置する位置を選定するに當つて、特に注意を要するは、壓氣機には必ず之を冷す水が必要な事である。其の水量は普通壓氣機 100 馬力につき 15~25 ガロンである。又其の基礎には混凝土を要する故、地盤軟弱ならざるを要する。

普通使用さるゝ壓氣機の型及び容量を前表に掲ぐ。

最近使用さるゝ廻轉式は形が小さく便利である、壓力毎平方吋 100 封度のものは二段壓縮となる。日立製作場より Swiss loc 型を改良せるものを發賣する。

11 送風管

壓搾空気を送る管は、普通其の内徑を 4 吋、6 吋又は 8 吋とする。空氣量常壓毎分 900 立方呎にして長さ 6,000 呎迄は 4 吋、1,000 立方呎にして長さ 12,000 呎以上は 6 吋夫れ以上は 8 吋を使用する。

底設導坑の掘進に従ひて之を延ばして行くも、時に當初 4 吋又は 6 吋の小さき鐵管を敷設し、覆工疊築の進行に従ひて、徑の大なるものと敷設し換へる事がある。

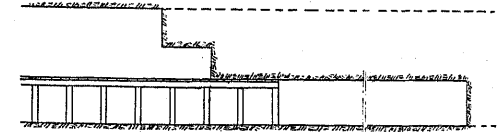
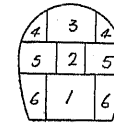
鐵管の継手は普通固定継手を用ふるも、三箇所に一箇所は可撓とする。可撓式には D. C. Coupler ヴィクトリック森式等あるも、森式が喜ばる。約 20 m 毎に、切擴げのための鑿岩機運轉用の枝線を出すためマニフォルドを置く。

送風管の保守には常に注意するを要する。途中に洩れる箇所があれば、只動力の損失であるのみならず、切端に於て壓力の低下を來たし、鑿岩機の能率を妨げ、隧道全體の進行に影響する。送風管を嚴密に保守するため、特別の係員を置いて、其の費用は洩氣による損失を償つて餘りある。

12 機械掘

隧道の延長 1,500 m 以上になれば、鑿岩機を使用して動力によりて掘鑿する。我國の山岳隧道に於ては、延長 1,500 m を超すものは、普通其の地質は大部分岩石となり、竣功期限よりしても鑿岩機使用が得策となる。機械掘りの掘鑿方式

に種々あるが、我國に於て延長 5,000 m 以下



の中隧道にては、

第 11 圖

第 11 圖に示すが如きトップカット、即ち逆階段掘りが、最も適當なる様式であると著者は信ずる。

此の掘鑿方式では最初に底設導坑を掘る。其の加背は 2 呎軌間の運搬線を複線に置く時は 10'×8' 又は 10'×9' とし、2 呎 6 吋軌間の複線を置く時は、最初に 8'×8' の加背に掘り、其の後に追ひて直に幅 11 尺に擴ぐる。

隧道内の運搬線路は、一時軌間を 2 呎 6 吋とせる時代あるも、著者は既に所有する輕便機關車其他の車輛が 2 呎 6 吋軌間ならば已むを得ないが、新に造るならば 2 呎軌間とするのが遙かに便利であると推奨する。

此の底設導坑の上を引續き (2) 及び (3) と掘鑿する。此の二つは同時に爆破し、其の掘礮を底設導坑の支保工の上に落す。即ち底設導坑の支保工は掘礮棚の役をする故、相當堅固にする。時には中央に柱を建て、補強する事がある。

其の次に (4) 及び (5) を掘鑿し、其の掘礮も皆底設導坑支保工の上に預け、之をトロ箱に落す。(6) の部分の土平は最後に掘鑿する。此の時は掘礮棚は不用である。

此の逆階段掘の長所とする所は、掘礮の大部分を重力を利用してトロ箱に積み込むを得る事である。

延長大ならざる機械掘隧道は、犠牲を拂つてまで進工を早むる必要がないのであるから、逆階段掘式により、一晝夜二交替とし、一日 10 呎乃至 14 呎の進行を得る。斯る進行を標準とすれば使用する鑿岩機の數は次の様である。

ドリフター (1) に 2 臺、(2) 及び (3) に 2 臺、計 4 臺。

シンカー (4) に 2 臺、(5) に 2 臺、(6) に 3 臺、計 7 臺。

ストーパー又はハンドハンマー當り取りその他雜用3臺。

上記の内實際に同時に働くのはドリフター級3臺、シンカー級7臺と考ふれば宜しい。

之に對して設備する空氣壓搾機の容量は、常用として常壓空氣量毎分 400 立方呎、壓力每平方吋 100 封度 100 馬力のもの2臺、此の外に豫備又は補充として、同毎分 300 立方呎 75 馬力のもの1臺を備ふれば充分である。

送風管には内徑6吋の鐵管が適當である。延長 1,500 m 前後の稍短き隧道には、内徑4吋のものを使用しても宜しい。都合によりては坑口寄り相當延長を6吋鐵管とし、其の先を4吋とする。

前記の如き壓氣機を備ふれば、錐燒用に油爐及びシャープナーを一揃使用しても充分である。

掘礮及び壘築其の他の材料運搬には、比較的短き隧道にして且つ勾配が急ならざれば、手押トロにて充分であるが、隧道の延長 2,000 ~ 2,500 m 以上になれば、動力を使用するのが得策である。動力は普通電氣機關車、即ち輕き蓄電車が最も適當であるが、壘築の完成せる部分のみ、エンドレス式に捲上機によりケーブルを運轉する事がある。延長大ならば架空線を張り普通の電車を運轉する。

火藥は岩質堅硬なる時、或は導坑の進行を特に急ぐ時は、プラスチックジェラチンを使用するも、普通はジェリグナイト即ち普通のダイナマイトを使用する。其の量は岩石により異なるも、導坑掘鑿には1立坪當り 20 ~ 35 封度、切擴げには 8 ~ 12 封度使用する。

二交替ならば導坑の鑿孔の深さを約 6' ~ 7' - 6" として一爆破に 5 ~ 7 呎掘鑿する。

延長1哩乃至2哩の岩石隧道に於ける大體の掘鑿工費を次に示す

坑内掘鑿1立坪當り

勞力費 36 圓

内譯……鑿岩及爆破	12 圓
礮出し	14
支保工	5
坑外雜役 (動力、倉庫其他)	5
材 料 費	32 圓
内譯……爆 藥 類	8
鑿岩機部分品	2
木 材 類	7
地 金 類	2
其 他	13

電 力 費 10 圓

合 計 78 圓

但し電力代 1 KWH につき 0.04 圓

進鑿夫賃金 2.50

並 人 夫 1.50 とす。

13 長大隧道

隧道の延長 5 km を超せば、其の完成に5箇年以上を要する事となり、少々犠牲を拂つても進行を速かにし、完成期間の短縮を計らなければならぬ。此の進行を制限するものは導坑掘進の速さと、掘礮の搬出及び壘築其の他に要する諸材料を運搬する能力とである。

導坑掘進の作業は鑿岩機による鑽孔、爆破、及び之によつて生ずる礮の搬出とである。更に細かく別ければ

(a) 鑿岩機を切端までの運搬及び其の据え付け、之は特別のドリル、キャリアー (Drill Carrier) を用意すれば、此のキャリアーを前進せしむる事によつて此の二作業を終るのであるが、我國に於ては未だドリルキャリアーを便宜に使ひこな

した實例がない。

普通のスタンド、コラム又はシャフトと稱する、径3吋乃至4 $\frac{1}{2}$ 吋長さ6~9呎の鋼の柱の一端にジャッキを備へ、之に沿ひて動き且つ自由にそれを軸として廻轉する腕を有するものを、兩端に木のパッキングを岩壁にかひ、堅固に建て込み、此の腕に鑿岩機を取付け適當の位置に於て腕を締め付け、堅く鑿岩機を据える。

掘礮を取除きたる後、此のコラムを垂直に建てるのが普通であるが、掘礮の上部を取除きて全部を積み込まない内、之を水平に岩壁に渡し鑿岩機を取付け、一方に於て残りの掘礮を出しながら、上部の鑽孔作業を行ふ事あり。斯く水平に取付くるものを横シャフトと稱す。

鑿岩機を据えつくと共に空氣管にホースを取り付け、同時に水タンクとも連結して鑿岩機運轉の用意をする。

コラム、鑿岩機、何れも相當に重量のあるものなる故、其の運搬及び取付け作業には一かどの勞力を要する。

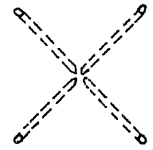
(b) 鑽 孔

鑿岩機により鑽孔し其の能率を充分發揮せしむるには、進鑿夫の技倆の訓練の必要なるは言を俟ない。送風管の洩りを絶対に無くして、導坑の先端に於ても壓力低下せず、鑿岩機に必要な壓力を常に保たしむる様、送風管の保守に嚴密なる注意を要する。

又鑿岩機が作業の途中で故障を生ずれば、其の取直し替りの機械の取付け等に時間を要して作業の妨げとなるのみならず、狭き導坑先端のことであるから他の鑿岩機の妨害ともなる故、其の絶無を期さなければならぬ。即ち鑿岩機を相當多數用意し、交替毎に坑内一定の検査場に於て一應検査し、部分品の取換へを要するものは取換へ、作業の始めには常に働作の完全なる機械を職工に渡す様に努め、其の能率を充分維持しなければならぬ。

鑽孔の位置、深さ、方向に付きては、歐洲、米國に各異つたる習慣と主張とがあるが、日本では、米國式の10呎以上の深き孔を穿ち、多量の火薬を填めて爆破する方法は不適當であつて、1本の孔を最深7呎として、中央にVカット即ち心抜き孔を穿ち、之に多量の火薬を填め最初に爆破し、次に「かぶり」(天井)、「拂ひ」、「ふまへ」(下方)と周圍を爆破せしむる方法が適當である。

岩石が堅緻にして「起き」の悪き時は第12圖の如く心抜き



第12圖

の4本の孔が中心に於て出會ふ様に、角錐形に爆力を集中すれば宜しい。

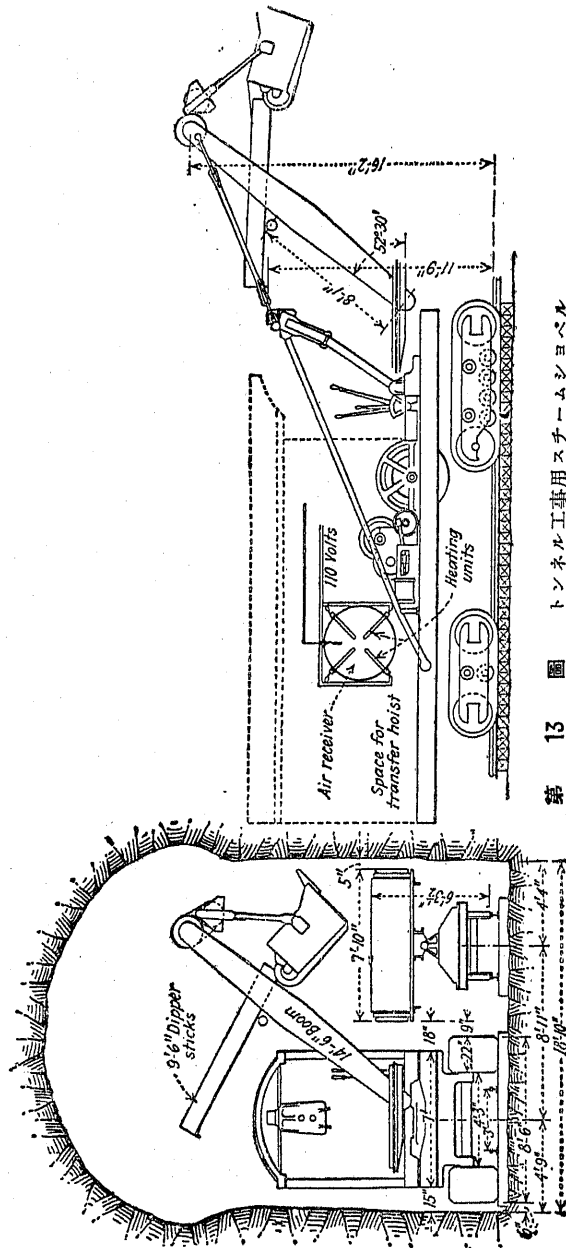
(c) 導坑内の礮の搬出

導坑の進行の速度を制するものは、其の掘礮の積み込み搬出である。普通の隧道ならば、爆破の前に切端に混凝土の手練りに使用するが如き鐵板を敷き、其の上に礮の過半が乗るやうにし、ショベルの滑りをよくして手で積み込むのであるが、長大隧道にて進行を急ぐ場合は、ショベローダー其他の機械を使用して土運車に積み込む。

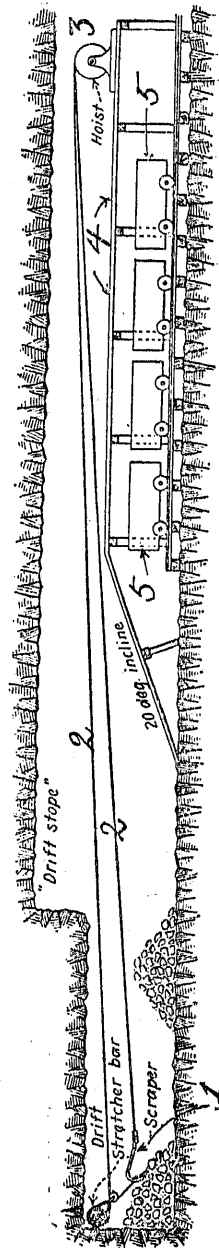
ショベローダーには種々の型があるが、常に豫備を用意し、機械に熱れ、検査、部分品の補充に注意し、故障を生ぜざるやうに取扱へば、手より遙に早い。能率の良き手積みは、一合トロに礮を積み込むに平均7~8分間を要するも、ショベローダーは2~3分間を要するに過ぎない。但し機械の作用を充分理解せず、其の取扱方法に誤りあり、故障百出すればこれ程厄介至極のものはない。

此の外、壓搾空氣運轉のダブルドラム小捲上機よりスクレーパーを往復せしめ、積み込みのために移動し得る小インクラインを設け、之に沿ひてスクレーパーを以つて掘礮をかき上げて、トロ箱に積む装置は、便利のものとして著者は推奨する。

掘礮の搬出は、爆破後其の烟がまだ多少残つて居る中に手早く仕事をするのである。



第 13 圖 トンネル工事用スチールシヤシヨム



第 14 圖 スクレーパ

總て是等の導孔の作業は、岩質の變化せざる限り、常に同一の作業を繰り返へすのであるから、労働の能率を最善たらしむる様、秩序整然として働かせしむるを得るのであつて、一定の工場に於て一定の物品を造ると同じ方法に従ひ得る。

然るにも拘らず、我國にては未だ研究及び労働者の訓練が充分でなく、米國の如く 1 箇月平均 1,000 呎と云ふ如き快速記録を出し得ないのが残念である。

即ち一晝夜三交替として、毎回 6 呎の進行を出すか、四交替として毎回 5 呎の進行を出し得るか等、岩石其の他、運搬能力等地方的事情、労働者の素質と其の數等を考慮して、詳細の動作まで分析研究して、作業の順序を定め、懸賞其の他獎勵の賃銀支拂方法をも考へ、能率を上げる労働に對しては、少々極端なる位に多額の賃銀を支拂ひ、是等の計畫に基き一糸亂れず規律正しく働かせしむれば、良好なる進行を得る。

長大隧道の掘鑿方式は前記逆階段掘りで宜しい。只掘鑿搬出線路を支障なき複線にするため、底設導坑を直ぐ後から幅 11 呎以上に擴げて行く。

然して 1 日の進行を極力多くする時は、全體の掘鑿搬出量は多量に上り、それ以外に疊築用諸材料をも運搬するのであるから、1 日平均 15 呎以上の進行を出さんとするには、掘鑿の搬出能力を高めなければならぬ。底設導坑を複線にしても途中の土平切擴げの爆破、覆工の混凝土疊築作業、排水溝の掘鑿等に妨げられ、搬出回數を増加するのは容易でない。此の運搬能力を増すには、本隧道に並行して、之より 50~60 呎を離して、別に先行導坑を掘鑿し、搬出路を増加するのが最良の方法である。

我國の如く火成岩質にして斷層に富む地質に於ては、長大隧道掘鑿に際しては、必ず一二度地下の水脈に出會し、坑内に多量の湧水あるか、或は一二箇所に於て水脈に出會せざるとするも、各所よりの總湧水量は多大に上り、其の排水の爲めに、別に排水坑を掘る事を餘儀なくさるゝに至る事が多いのであるから、最初より先行導坑を掘鑿し、之をして排水坑を兼ねしむるのが得策である。

又先行導坑は地質の調査ともなり、坑内の通風のためには、別に1本導坑を有する事は空氣の循環を良くして、甚だ有效である。以上の諸利益を考慮に入れば、別に導坑を掘鑿する工費を償つて餘りありと云ふ可きである。

先行隧道は本隧道に着手せざる以前、坑口の切取などを行はざる内に着手し、本隧道の着工の節は、2,000~3,000 呎位前方に進んで居るを要する。斯く進んで居ればハンデキャツプとなつて、先行隧道の1日の進行は本導坑ほど急ぐに及ばない。従つて之を本隧道の運搬用に用いるを得る。本隧道の施工基面よりは5呎程下げて掘鑿し、相當水が深くなつても、運搬線路の妨げとならぬ様、高さを高くし、9'×8' 位の加背にする。本隧道とは約 600 呎毎に横坑を掘りて連絡する。

米國に於て行はるゝ如く、全断面を二階段として、同時に爆破せしめ、掘鑿を一度下段に落して、容量大なる電動ショベルにて積み込むと云ふ、純粹の階段掘式方法もある。

此の方法は掘鑿の作業距離が短く、殆んど一箇所集中され、掘鑿した後直に覆工を施して仕上げて行くのであるから、簡單直明であるが、大なるショベルを働かせるのであるから、支保工を施しても内部に充分餘裕のある事を必要とするので、日本式の大引、太立を主要部分とする支保工では、絶對に不可能である。

支保工を必要とすれば、矢張り米國式の支保工と云ふよりは、木材の覆工と云ふ可き型にしなければならぬ。従つて岩質良好でなければ我國に於ては行ひ難いのである。

地質悪く土壓のある箇所に米國式の支保工を施す技術は、未だ我國の隧道職人は會得して居ない。従つて米國式の階段掘は我國に於ては行はれ難い。

長大隧道に於ける礪及び諸材料の運搬には電動機關車を使用する。

延長大にして奥深くなるので、長大隧道工事には換氣用の通風装置を必要とする。隧道の通風設備は中々困難なる問題であつて、未だ適當の解決が着いて居ない。空氣の出入の通路を別ける必要があるので、徑 2~3 呎の薄い鐵板の送

風管を覆工の完成せる部分に置く。

掘鑿作業中の部署へ送風するのは、一層困難なる問題であつて、爆破の直後鑿岩機用の壓搾空氣を吹かせて、局部的に通風する方法は不經濟と知りつゝも、一時的に已むを得ず行ふ。

排水隧道又は先行隧道があれば、之を利用して、小さき扇風機を爆破後動かして、局部的の空氣の循環作用を助成し排風する。

總て自然の空氣の循環作用を觀測して、之を助成する様扇風機と、風を止むる幕の位置を、適當に配置するを要する。丹那隧道の水抜坑は、毎秒約 15~30 箇の水を流すのであるが、毎分約 6,000 立方呎の空氣が水と共に運動するのを觀測し得た。要するに隧道の通風は困難なる問題である。

我國の隧道工事中換氣設備をなした實例を次に掲ぐる。

隧道名	使用機械	容 積 立方呎/分	馬力	風 壓 ポンド/平方吋	臺數	送風管 の徑
清水隧道	土合口 三菱製 Blower	5,000	36	0.6	4	21吋
	土樽口 "	"	"	"	"	"
丹那隧道	東 口 M.B.C.H. 五段	"	200	5.0	2	30
	西 口 スタートバンド製 size 7	"	75	1.5	2	30
第一飛鳥隧道	日立製 A.D.B. form C.H.	"	75	1.5	2	21
猪鼻隧道戸川口	三菱製 Blower	"	36	0.6	3	21

14 隧道内運搬用の機關車及び車輛

隧道工事用の軌道は、2呎6吋軌間より2呎軌間の方が勝る事を前に記した。運搬用の機關車は、現在では電車に限られて居る。電車には架線式と、蓄電池式と、此の二者を併用するものと三種類ある。導坑其の他工事の區間に入出入りするものは、蓄電池式に限るのは言を俟たない。

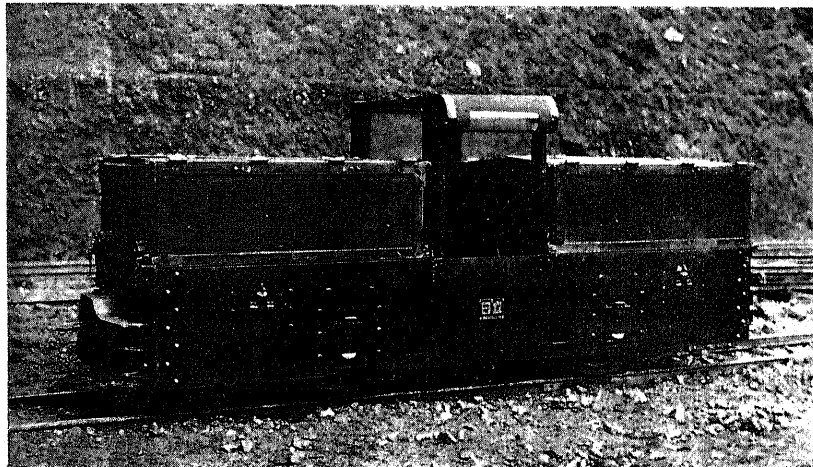
長大隧道に於ては、覆工の完成せる終端附近に於て列車を編成して引き出す故、之より奥を蓄電車、以外を架線式とすることがある。又覆工の完成せる部分のみに架線電車を使用し、それ以外を手押しとする隧道もある。

蓄電池の發達に伴ひ、我國に於ても蓄電車の製造が出来る様になり、架線式に比しても運轉費の差額も多くはないが、架線式の方が故障が少ない様に思はるゝ。蓄電車は蓄電にかゝるので、蓄電池を常に使用する倍數だけ備へなければならぬ。

架線式と蓄電車とを比較するに、1箇月の輸送量(車輛の重量をも含む)20,000噸を超す工事場に於ては、蓄電車の方餘り高からず、其の差は約二割位であるが、之以下に於ては遙に高くなる。

鐵道省の隧道工事の全體の統計の示す所によれば、1箇月約20,000噸の輸送量の隧道に於ては、噸哩の輸送費は、蓄電車 7.7 錢、架空式 6.4 錢である。1箇月60,000噸の輸送量のある所は、架空式にて噸哩 3.5 錢である。但し多くは昭和二年頃の物價により、電力費 1 K. W. H. 3.5 錢としての計算である。勿論償却費其他全部を含む。

斯の如き輸送費の差額を以てしては、導坑其他へ自由に出入し得る、蓄電車の便利なるは言を俟たない。最近欽明寺隧道用として購入せる2呎軌間の蓄電機關車の仕様書を次に示す。



第 15 圖

蓄電池機關車

1 運轉すべき軌道の状態

(イ) 軌 間	610 mm (24 吋)
(ロ) 軌 條	I 型 1 m の重量 9 ~ 15 kg
(ハ) 最急勾配	100 分の 1
(ニ) 最小半徑	7,600 mm (25 呎)

2 型式機能並構造

型 式 中央運轉室型
機 能

(イ) 重 量	6 噸 (蓄電池を積載せる場合)
(ロ) 定格速度	毎時約 5 km
(ハ) 牽 引 力	定格速度に於て約 1,110 kg
(ニ) 電 動 機	

種 類	直流直捲全密閉型
容 量	10 馬力 (1 臺に付)
電 壓	120 ボルト
箇 數	2 臺 (1 輛分)

(ホ) 蓄電池

種 類	ニボナイトクラッド型、鉛蓄電池
容 量	367 アンペア時 (1 箇に付) 以上 (6 時間率)
箇 數	60 箇 (1 輛分)

右全數を二分して各鐵函内に納め中央運轉室の兩側に積載するものとす

鐵函はローラーを具備し運搬積替に便ならしむべし

直接制御直並列式、轉向器付

(ヘ) 制御方式

3 構 造

(イ) 車輛限界

高 軌條面上	1,470 mm 以内
幅	1,070 mm "
長	4,000 mm "

(ロ) 車軸數

2

- (ハ) 軌條面と車體部分との間隙 75 mm 以上
- (ニ) 減速装置 二段減速齒車式
- (ホ) 制動装置 手動式
- (ヘ) 車 輪 鋼
- (ト) 連結器中心の高さ 軌條面上 228 mm (9 吋) 乃至 457 mm (18 吋) 間に於て 4 段に連結中心を區分すべし
- (チ) 運轉手室 車體の中央に設備し常時無蓋とし必要に應じて着脱自由なる防水カンバスにて屋根側面等を覆ひ見透し窓等具備せしむべし
室内には運轉手座席を具備し運轉手は運轉正姿の位置にて先方約 10 m の點を見透し得るものとす

4 設備事項

- (イ) 撒砂装置 1 式
- (ロ) 警 鈴 1 組
- (ハ) 前 照 燈 2 箇 (前後に各 1 箇宛)
- (ニ) 運轉手室燈 1 箇
- (ホ) 手提燈用ソケット 1 箇
- (ヘ) 手提燈 (電纜及ブラツク付) 1 組
- (ト) 電燈回路用開閉器 1 式
- (チ) 充電用栓、電纜及栓受 1 組
- (リ) 開閉器類、保安裝置、起動用抵抗器其他 1 式
- (ヌ) 電 量 計 1 箇 (運轉手室に取付)
- (ル) 直流電壓計 1 箇 (")

○豫備品 (機關車 1 輛に對するもの)

5 豫備品

- (イ) 電動子 (小齒車付) 1 輛分
- (ロ) 電動子線輪 1 輛分
- (ハ) 電磁線輪 電動機 1 箇分
- (ニ) 電 刷 子 1 輛分
- (ホ) 制 動 子 2 輛分
- (ヘ) 電 量 計 1 輛分
- (ト) 蓄電池及鐵製納函 1 輛分
(電量計其他附屬品一式付)

- (チ) 栓及栓受 各種に付 1 輛分
- (リ) 防水カンバス (運轉手室用) 1 輛分

6 試 験

本機關車の各部は製作者の定格に基き米國電氣工師會標準の規準に準據し行へる試験に合格することを要す。

掘礫棚より落して積むものには、鍋トロが堅固である故好んで使用さるゝも、導坑の礫用には箱トロが便利である。特に途中にバツタして外に除けるには之に限る、電車により牽引する隧道工事用の車輛には、抵抗を少くするために、車軸にボールベアリングを備ふ。之を備ふるものは、其の検査とグリス油の補給注入を怠らず、大切に使用す可きてある。

15 覆工疊築

隧道覆工の材料は現在混凝土に限る、混凝土覆工に二種類あり。一つは混凝土塊積にして他は場所詰混凝土である。普通の隧道では側壁部を場所詰に、拱を塊積にする。岩盤ならば、拱の過半部を場所詰にして、最上部の拱の「迫め」の部分のみ作業上塊積とする。

土壓強くして疊築したる部分が直ちに土壓を受くる時、或は之に支保工を盛り換へる必要のある時は、全部混凝土塊積とする。

特に請負工事にては、土壓強き部分に於て支保工の桁其の他が押されて、既定の覆工の厚さを容るゝを得ない程狭くなつても、場所詰ならば、其の儘厚さを薄くして施工する處あるが、塊積ならば明かに狭くして積み得ざるを發見する故、所要の覆工の厚さを容るゝに足る程度に縫返して擴ぐる。それ故に覆工の厚さを盜まるゝ處がない。

岩石の部分に於ては、逆に掘鑿を粗雑にする爲め、掘鑿線に凹凸を生じ、覆工の厚さは場所によつて厚薄を生ずる。岩盤である故混凝土が之に密着すれば、厚さ薄き部分があつても差支へない。

普通場所詰の場合は塊積の如く、裏込めを入れず、地山に密着せしむる故、必

要以上に掘り過ぎて、之を混凝土にて埋めるは企業者につて利益とならず、セメントを支給する時反つて損失となる故、疊築線を示し、之より或る程度の凹凸（普通約6吋とす）を許し、それ以外の掘り過ぎは請負人の責を以つて埋める様にする。此の線を Pay line と云ふ。

混凝土塊は國有鐵道では、其の大きさを 6"×9"×1'-0" に統一して居る。1 箇の重量約 6 貫目にして、取扱ひにも、又約 3 吋速に適當の覆工の厚さを得るにも、此の一種類の塊にて好都合である。積む時の目地の厚さを 1/4 吋とする。

混凝土の配合は 1:3:6 を標準として、鐵製型枠を使用し、極めて硬煉りとして、搗き固め、底板の上に乗せた儘、周囲の型枠を直に撤去しても形の崩れない程度にする。底板と共に運搬し棚に載せ、濡庭にて被ひて養生する。

硬煉にして水量少き故、硬化せざる以前に乾燥し硬化に必要な水を奪はれざる様注意を要す。製作後 4 週間にして使用するも、冬季温度の低き時はセメントの硬化遅れ、2 箇月以上も経過せざれば、充分なる強度を發揮しない事がある。

混凝土塊の製造は、女人夫の手により臺の上に於て爲し、搗き固めの錘は撥ね竹より吊し、弾力を有せしむ。その他簡單なる混凝土塊製造用の機械がある。1 箇の製作勞力費は約 0.5~1.0 錢である。

長大隧道に於ては、疊築作業が掘礮搬出の妨げとなる事を極力避けなければならぬ。1 日に 15 呎以上進行せしむるには、各作業が互に他を妨げざる様、相當考慮して順序を定めなければ混雜する。

一回に施工する覆工の長さ、拱架の形狀、拱架を支ふる足場、側壁の型枠及び其の組立等充分研究して、適當に計畫するを要する。一回に施工する長さも、20 m, 15 m, 10 m 等の長短がある。例せば側壁の一區間を 20 m として、1 日に片側混凝土を打ち終るか、10 m にして兩側を打ち終るか等、覆工の厚さ、型枠の設計及び用意する型枠延長等により、適當に判斷するを要する。

運搬を妨げずして、拱架足場の組立取放しを行ふには如何なる設計にし、如何

なる時期を選ぶ可きか等考慮を要する。又混合装置を坑外の何處に置く可きか、水は何處で混合するかをも考へなければならぬ

掘礮運搬を妨害しない様にするには、拱架を鐵製にし、中に束を置かず自由に通行し得る様にし、足場の上に拱架の中を通して輕便軌條を敷き疊築材料の車を足場の上に取り其の上を動かす。車を足場の上を取る方法に種々ある。

一つは足場の後端に垂直の方向に動かし得るインクラインを置き、其の上の軌條は、施工基面の軌條に對して、垂直面の轉轍器の如き働きをなさしむ。覆工の疊築材料を積んだ車を其の儘捲上機にて、インクラインを引き上げ、足場に上げし、拱架の間を通して側壁疊築部分まで運び得る様にする。

坑奥へ掘礮運搬車を運轉する時には、此のインクラインを其の本の部を軸として上に捲揚げて、支障なき様にし、疊築材料車の來る時にのみ之を下げる。此のインクラインは覆工疊築の進捗するに従つて、坑奥へ移動し得る様にする。

又インクラインの代りに、エレベーターの如く垂直に捲き上ぐる事がある。即ち車輛 1 臺の乗る軌條を備ふる臺を造り、平素此の臺が下つて居る時は、此の軌條は施工基面上の運搬軌條と接続して居るので、坑奥へ出入する掘礮運搬車は自由に此の上を通過し得る。疊築材料を積んだ車が來る時、此の上に乗せ、臺と共に捲き上げ、足場の上の軌條と接続せしめ、車を上段に通す、此のエレベーターも亦覆工疊築の進捗に伴ひ、坑奥へ移動するを要する。

斯るインクライン、エレベーター等を不便として、坑口より全部、疊築の完成せる部分にも足場を置き、疊築材料運搬車は坑口より掘礮運搬車と通路を別にして、足場の上を通す事があるが、長き隧道に於ては、疊築完成部全體に斯る足場を置くのは不經濟である。

混凝土塊積では、疊築の背後、地山との間の間隙には裏込栗石を填充する。湧水ある箇所は、トタン板にて覆ひながら作業し、膠泥の流るゝを防ぎ、湧水は裏込栗石の間を流して、側壁下部に排水孔を置き之より排水渠にとる。場所詰混凝土

を施工する所も、湧水あれば、裏込めを置き之を排水孔にとる。

16 軟弱地質に於ける掘鑿方法

軟弱地質に隧道を掘鑿する際支保工に於ける土壓の強度は地質によりて種々異なるも、一般に次の二事項は大略確實である。

(a) 土壓は掘鑿断面の加背が大なるに従つて増す。7'×7' の加背にて掘鑿した際土壓が殆んど感じられなくとも、之を普通の隧道断面に切り擴ぐる時は著しく土壓の來る事がある。又單線隧道より複線隧道の方が、多く土壓を受くるのは言を俟たない。

(b) 掘鑿後時間が経過するに従つて土壓が増す。假令支保工で押さへても、山が弛むに従つて土壓が加はるのは防ぎ得ない。温泉余土等の如くプラスチックの性質を有するものは、當然壓力強度は時間の函數である。「掘鑿したなら直に巻け」と云ふのは普通隧道技術者の憲法とも稱し、昔から主張されて居るのであつて、我國の如く地質柔軟なる所に於ては格言として遵守すべきものである。

軟弱地質に於ける隧道工事方法は、皆以上の二事項に従ひて案出さるゝのであつて、主なるものとして擧ぐれば獨逸式と「逆巻き」とになる。

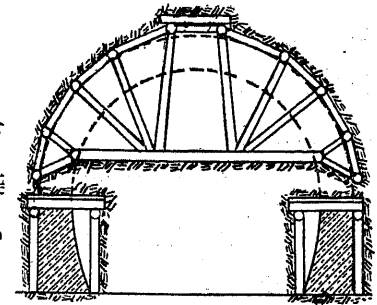
獨逸式掘鑿方法にては、覆工外側に沿ひ、6'×6' 或は之以下の加背の坑道を掘鑿し、60～100 呎掘鑿すれば、直に全部に混凝土を填充する。場所狭くして混凝土の運搬に困難なる時は、壓搾空氣による混凝土ブレーサーを使用する。一箇所掘れば一箇所混凝土を填充し、互に隣接せしめ、切擴げ可能の部分だけ最後に切擴げて疊築し、内部の土を取り除き、仰拱を施工し終りて後覆工内面を正しく仕上げする。

斯の如くに工事し得る延長は 60～100 呎であつて、兩口より施工して 200 呎を超す事困難なるも、最悪の地質又は崩壞箇所は、延長 200 呎を超す事が少ない。之より長くなれば二つ以上に區切つて施工する、即ち覆工が完成しても乙内部の土を一部殘して置き、其の中に別に坑導口をつけ、曲つた坑を掘りて適當の

位置に達せしめ、其の方向に掘鑿して前の如く繰返す。

斯の如く掘鑿しては混凝土を填充して行く方法は、非常に手数を要するのであつて、延長の比較的短いものに應用する。悪地質が 1,000 呎以上も續く場合には、此の方法によれば進行遅く不經濟にして且つ危険が伴ふ故、延長が長き時は構盾 (Shield) 或は壓搾空氣法により掘鑿する。

崩壞箇所の如き短區間にのみ此の方法は適す。最初に側壁部の坑道を掘鑿し、之に混凝土を填充して後、上部を第 16 圖の如く掘鑿して、丸形の部分を掘り下げ、丈の低い特別の拱架を使用して疊築し、最後に中の土を取り除くのが、此の方法として普通のものである。



第 16 圖

17 逆巻き

此の方法は我國に於て少し地質の悪い所に於ては普通に行はれたものであるが、中には最初から其の計畫によつて掘鑿するのではなくて、何かの手違ひにより、掘鑿せる後に直に疊築に取掛る譯には行かなくなり、暫く放置したため、豫想以上の土壓が加はり、支保工が參り始め危険になるので、應急の手段として掘鑿の終へた上部を先づ疊築し、其の後順序を追つて直に側壁部の足付けに取掛ればよいものを、夫れも後れるので其の間に拱が沈下し龜裂が入つたり、不規則に波打つたりして、醜き出來榮えとなるので、人によつては逆巻きを嫌ひ、絶対に之を許さぬ監督者もあつた位である。

覆工の醜き出來榮えは逆巻き法の缺點と云ふよりは、寧ろ其の施工方法を誤つた爲めであつて、最初より計畫し順序よく施工すれば、進行こそ稍遅いが、支保工の節約となり、危険が少ない。延長短き隧道に於て順序よく正しく工事すれば、効果擧るものと著者は考ふる。

逆巻き法に於て特に注意す可きは、拱の疊築前或は後に所謂第三、即ち、大引より施工基面に至る中央の部分を掘鑿する際、其の左右の土留を充分にする事である。拱に來る土壓及び其の重量は、拱の起拱部（普通皿板を敷き均らし其の上に拱を積む）に全部加はる、「第三」の左右の土を弛むれば、此の起拱部の下の土が弛むこととなるのであるから、全體に沈下する。土平の部分を抜き掘りする際は、其の延長大ならず、拱が充分桁として働くのであるから、餘り沈下する憂がない。

如何に注意しても、拱の多少の沈下は免れない。それ故に拱を「上げ越し」て高く疊築して置く。此の「上げ越し」の量は地質軟弱の度によつて異なる。崩壞箇所などでは6吋以上も上げ越す事があるが普通は3吋以下である。

要するに逆巻き法は文字通り逆の工事法である故、熟練せる職工と經驗ある監督者を必要とする。