

## 第二章 堀 鑿

本章では、堀鑿の内容である、切崩、礮出、支堡工に就いて、説明するつもりである。

### 九 切 崩

トンネルの地質が、土砂の類であれば、切崩は、鶴嘴、シベル類を用ひ、人力だけで出来る。併し堅い岩石だと、どうしても爆薬を使用して爆破する、「はつぱ爆破」に依らなければならぬ。

爆薬を使つて切崩す、即ち發破をやるのには、岩石中に深い小徑の孔をくつて、之に爆薬を装填し、之を爆發させる。だから、發破には、

一、穿孔せんこう

二、爆破

の二つの作業が伴ふ。

穿孔は、鐵棒とハンマーとを使い、人力でも出来るが、此の効率をあげるのには、鑿岩機と稱する機械を使用しなければならぬ。此の人力に依る場合を手堀、鑿岩機に依る場合を機械堀と稱してゐる。

堅くしまつた砂礫や粘土等の場合で、爆薬使用の必要はないが、人力では能率のあがらない場合には、鑿岩機と同構造で、手持で運轉出来る小型ショベル機が用ひられる。

なほ、土砂類に對しては、切崩して、之を運搬車に積み込む迄の作業を、自動的にやれるトンネル堀鑿機が發明され、歐米では、實用に試みられたこともあるが、未だ一般化する迄には、成功を納めてゐない。

次に先づ穿孔、爆破等に就いての一般説明をしてから、トンネル工事に於ける發破に就いて、述べようと思ふ。

### 一、穿孔

穿孔には、硬質の鋼棒の先端を刃形にし、之を岩面にあてて、回轉しながら、打撃を加へて、岩を粉碎しつゝ孔を深めてゆく。此の鋼棒を錐鋼（俗にタガネ又はノミとも稱す）と稱し、先端の刃形部分を俗に鑿先（のみまき）と呼んでゐる。

手堀を一人でやる場合には、片手持の小型ハンマー（俗にセットと稱す）を用ひ、鑿先をつけた錐鋼を回轉しながらたゞき、時々水を注いでやる。錐鋼は穿孔の進むにつれて、鑿先の大きい短いから、順次鑿先の小さい長いのものに取換へる。又孔底にたまる破碎岩粉は、時々、先に耳搔形（かみかき）のついた細い丸鐵棒（俗にキャレンと稱す）でかき出す。又鑿先は、鈍るにつれて、火造しかへる。二人以上で、穿孔する場合には、一人の場合より、太い錐鋼を用ひ、一人が之を支へ、他の者が玄翁（かみかき）の類でたゞくか、又は直接、錐鋼を二、三人で、動かし岩面にたゞきつげながら、岩石を砕いて行く。

機械堀用の鑿岩機は、以上の穿孔動作を、動力でやるのだが、錐鋼に依る打撃、錐鋼の回轉、注水等が、機械的に出来る機構をもつてゐる。

鑿岩機には、其の機構の方式から、色々種類があるが、今日、トンネル工用として、最も能率的なのは、壓搾空氣を動力とするハンマー型式である。此の型で、動力に電氣を使用する

ものが、發明され、わが國でも製作されて、多少使用されてゐるが、其の效率は、未だ到底、壓搾空氣に依るものに及ばない。又最近、合衆國にガソリン運轉の小型のものが、製作されてゐるが、未だトンネル工事等に廣く用ひられる迄に至つてゐない。

ハンマー式の機能は、手堀で、人間がハンマーで錐鋼をたぐくのと同様で、壓搾空氣でシリングダー内を往復するピストンが、ハンマーの作用を爲し、シリングダーの先に挿入してゐる錐鋼をたぐくのである。此の鑿岩機の機構には色々な種類があるが、大體空氣の壓力は、毎平方糎六―七疋、打撃數は、一分間一五〇〇―二〇〇〇回位である。

錐鋼を廻轉させるには、ピストンを往復運動の際廻轉させて、之を錐鋼に傳へると、全然別に小さな空氣運轉の回轉装置を取り付けたものがある。又注水は、中空な錐鋼を使用し、中空なピストン内を通し、壓力水を送つて、錐鋼の先端から噴き出させる。孔底の岩粉は、此の壓力水の爲に、自然に孔外に送り出される。又機械に依つては、水の代りに、空氣を吹き出せるものもあるが、岩粉を飛散せしめる點に於て、保健上から面白くない。

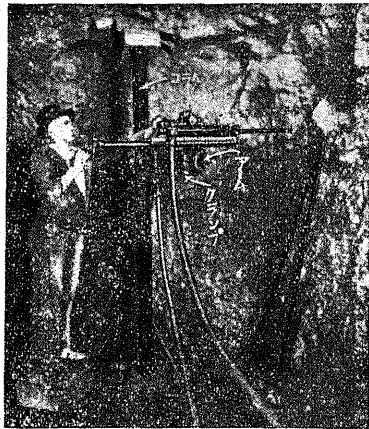
鑿岩機は、其の用途から、次の三種の區別がある。

一、ドリフター (Drifter)

二、シンカー (Sinker)

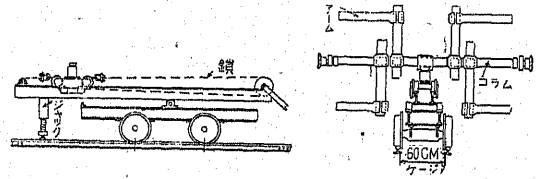
三、ストーパー (Stopper)

ドリフターは、普通、水平或は水平に近い上向、又は下向孔を穿つのに用ひられる、強力大



第七圖

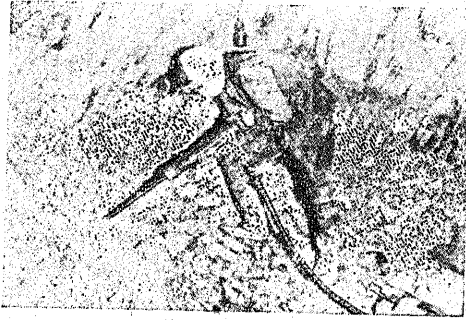
型のもので、運轉には、何か支へに取付けなければならぬ。トンネル内の狭い坑道等では、普通第七圖に示す様に、上下或は左右の地盤に、縦又は横に、つばつて据付けた、鐵製中空の鐵柱 (コラム Column と稱す) に取付ける。此のコラムの一端には、コラムの長さを多少加減し、且つ地盤につばる爲のスクリーが付けてある。ドリフターをコラムに取付けるには、クランプ (Clamp) を



第八圖

用ひるが、コラムを水平に据付ける場合には、これを直接コラムに取付ける。併しコラムを縦に据付ける場合には、別にコラムと直角に短い中空鐵棒のアーム (Arm) を取付けて、之にクランプを取付ける。此のコラムの使用は、据付、組立、取脱しに、時間を要するので、近年北米のトンネル工事に於ては、一作業現場で、同時に運轉するドリフター全部を取付けたコラムの臺枠を、車輛に取付け、軌道上を移動出来る装置にしたのを用ひてゐる。之を鑿岩臺車 (Drill Carriage) と稱するが、第八圖は小坑道に用ひる小型の例で、小さな臺車の上に、一つの蝶番で取付けた梁があつて、此の上を、鑿岩機を取付けるコラムが、鎖で引つ張られて動く様になつてゐる。又第一八節の第六〇圖及び第六一圖は、大きな断面の穿孔用に使ふ、大型の例であるが、之は鑿岩機 (Drill jumbo) とも稱する。ドリフターは、支へに取付けて運轉するのだから、穿孔が進むに

つれて、機械を前方に送り出す装置が必要である。これには普通、機體を、後端にハンドルの



第九圖

あるスクリュー棒に取付け、此のハンドルを、手で廻しながら、機體を送り出す仕組のものが用ひられてゐる。最近、オートヒーダーと稱し、ピストンの往復運動の反動によるシリンドラーの運動性を利用して、機體に取付けた特殊のスクリュー棒を廻轉せしめ、自動的に送り出す装置のものが使用されてゐる。

ドリフターでは、鑿先に注水するのが普通だが、之には鑿岩機とホースをつないで、壓搾空氣で、水が鑿岩機中に送り出せる鐵製の水槽が必要である。此の水槽も、同時に使用するドリフターの數が増す場合には、大きなのを、車輛に取付けるか、又は、鑿岩臺車を使用すれば、此の上に取付けて、發破の度毎の片付け、持込みを容易

にする。

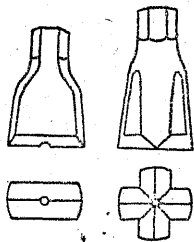
次にシンカーは、一名ジャック・ハンマー (Jack hammer) とも云ひ、普通、第九圖の如く、手持で、下向きの孔を穿つのに用ひられる。併し、二人で持つか又は何か臺で受けながら、穿孔すれば横向にも使へる。ドリフターよりは、一般に軽く小型だが、大小色々な種類がある。大型のはドリフター同様、注水が出来るが、小型のは、壓搾空気を吹き出して、孔底の岩粉を吹き飛ばす仕組になつてゐる。本節の初めに述べた、土砂類の切崩しに用ひる、手持小型シベル機は、大體シンカーと同じもので、たゞ錐鋼の代りに、短い柄のある小型のシベルを用ひるのである。

次にストーパーは主として、上向の孔を割るのに便利な様、造られたものである。機械の下端には、壓搾空気で、自動的に押し出る足があるから、機械を上向にし、地盤につつばらせながら、運轉出来る。又ピストンは、直接錐鋼を打たずに、其の間に、鋼塊が狭まれてゐる。之は、上向孔から錐鋼を傳ふ岩粉が、シリンダーにはいるのを防ぐ爲と、錐鋼がピストンの後退に當り、深くシリンダー内に落ち込まない爲とである。普通、注水又は空気が噴出の装置はなく、

又錐鋼の回轉は、機械についてゐるハンドルを、手で動かし機體を回轉して、之を錐鋼に傳へる。

トンネル坑内で使用する鑿岩機を運轉する爲の壓搾空気が、坑外に高壓空気を據付け、これから、鐵管で各穿孔作業場に供給し、更にこれから、ゴムホースで、各鑿岩機に分岐供給するのが、普通である。此の供給鐵管は、壓力が低下せざる様、大きい直径のものを使用しなければならぬ。長大トンネルでは、普通二〇糎—二五糎位のが用ひられる。

次に、鑿岩機に使用する錐鋼と、其の鑿先處理とに就いての説明をしよう。



第一圖

錐鋼は、強い繁劇な打撃に耐へなければならぬから、其の材料には、普通炭素含有量の多い硬鋼が使用される。寸法は、鑿岩機の大小により、直径二〇糎乃至三糎のものを用ひられる。又長さは、穿孔の深さに應じて、三〇糎乃至五〇糎飛で、順次短いから、長いのを用意し、穿孔の進行に伴ひ、取換へ使用する。

錐鋼の鑿先の形には、色々あるが、普通に使用してゐるのは、第十圖に示す様な、一文字型と十文字型である。鑿先の大きさも、孔が深くなるにつれて、寸法を減じて行く。即ち使用する錐鋼の長さに従つて、鑿先の寸法を小さくする。此の關係をゲージ・ドロップ (Gauge drop) と云ふが、之は穿孔長、岩質、作業關係等に依つて、適當に定めなければならぬ。

鑿先の仕上の如何即ち整形、硬度等は、穿孔の能率に重大な影響がある。いくら鑿岩機が強力でも、鑿先が直に鈍る様では、効果があがらない。又鑿岩機のピストンの打撃を直接受ける、錐鋼の根元の仕上に就いても、同様である。此の仕上が、適當でないといふと、ピストンの打撃力を損じ、又ピストン等の破損を招く原因となる。使用して摩損した鑿先及び根元は、之を作り直すなければならぬが、之には加熱、鍛錬加工、焼入等の鐵の熱處理作業が必要で、穿孔の能率を發揮するには、此の作業に注意を拂はなければならぬ。

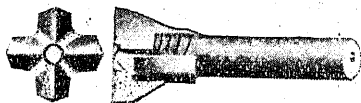
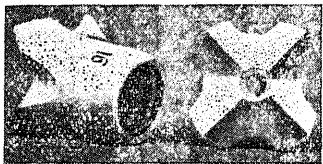
此の作業の詳細を述べることは、省略するが、今日、加熱に對しては、油の噴出火焰により、温度の調整、加熱の正確を期し得る油爐、鍛錬加工に對しては、正確迅速な作業をなし得る、壓縮空氣運轉のシャープナー (Sharpener) 機がある。要するに此の熱處理作業は、鐵材に對す

る熱處理の科學的智識を基として、優良な材質の錐鋼を選び、前記の諸機械の完全な利用に依り、初めて期し得るのである。

最近、右に述べた現場に於ける鑿先の熱處理作業を減じ、錐鋼の消耗を節約する等の目的から、鑿先を、錐鋼と別に製作して、錐鋼と換り合はせ、使用する取換鑿先が製作されてゐる。

此の方法は、合衆國で實用化され、同國では今日一般に普及してゐるが、わが國では、未だ試験使用の程度を出てゐない。之にも種類があるが、第一一圖は、其の一例である。使用摩耗した鑿先は、現場で研磨機に依り、寸法を小さくした双先に作りかへ、焼入再利用し、再用に耐へなくなつたものは、製作工場に返送する。

穿孔についての説明は、一應之で打ち切り、次に爆破の一般説明をしてから、更に之を綜合した、トンネルの切崩作業について、述べようと思ふ。



第一一圖

## 二、爆破

工事用の爆薬には、最も古くから使用されてゐた「黑色火薬」を初め、色々の種類があるが、今日トンネル工事に、主として利用されてゐるのは、ダイナマイト (Dynamite) である。

ダイナマイトは、爆發性を有する液體、ニトログリセリンを主成分としたものであるが、之にも、種類がある。トンネル工事に主として使用されてゐるのは、ニトログリセリンに、綿火薬を捏和して、膠の如くした膠質ダイナマイトである。其の爆發力は、ニトログリセリンの含有量に依つて變るが、ニトログリセリンと綿火薬のみから成るブラスティング・ゼラチン (Blasting Gelatin ニトログリセリン含有量九〇パーセント以上) が、最も強力で、之に、木粉及び硝石を混じて、ニトログリセリンの量を減じ、其力を弱めたものに、ゼラチン・ダイナマイト (Gelatin Dynamite ニトログリセリン含有量七五パーセント程度) とゼリグナイト (Gelignite ニトログリセリン含有量大體六〇パーセント以下) とがある。

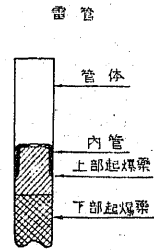
本邦製成品中、松印と云ふのは、ブラスティング・ゼラチンで、竹印は、ゼラチン・ダイナマイト、櫻印は、ゼリグナイトである。此等のダイナマイトは、市場製品として、直徑二六耗

前後、長さ一〇〇耗前後の圓壘狀に作られ、紙に包装されてゐる。

普通のダイナマイトは、攝氏七度位で凍結するが、凍結したダイナマイトは、より不安定となり作業上に危険がある。之に對し、攝氏零度内外迄凍結しない不凍ダイナマイトが製作されてゐる。冬季温度の低い地方の工事では、ダイナマイトの凍結に對し、貯藏に注意し、又使用前、凍結したダイナマイトを、温湯等により融解する安全な設備が必要である。

なほ爆薬に就いては、爆發力、爆發速度其他爆薬の諸性質に就いての説明も必要だが、こゝでは省略する。

爆薬を爆發させる、即ち起爆の爲には、高熱と衝撃とを與へなければならぬ。これには雷管を使用する。雷管は、底のある内徑六耗前後の短い金屬筒で、中に起爆劑が填充してある。起爆劑には、普通下部に、硝酸鹽類であるテトリール、トロテイル、又は兩者の混合劑を、上部に雷汞又は窒化鉛を用ひてゐる。此の上部と下部に、二種の起爆劑を用ひるのは、硝酸鹽類は威力は大きい、火焰に起爆しないからで、上部に火焰で起爆する雷汞類を用ひる必要があるのである。此の起爆劑の量に依つて、雷管にも大小があり、其の力も違ふが、強力なダイ



第一二圖

ナマイトには、大きなものを用ひる方がいゝ。雷管は番號に依つて、其の大きさが區別されてゐるが、トンネル工事に於ては、六號又は八號が、普通用ひられる。

雷管を爆裂させるには、黑色火藥の細粉を細長く包んで、紐にした導火線を用ひる方法と、電流に依る方法とがある。

之に依つて、雷管の構造も變るが、電流に依る雷管を、電氣雷管と稱する。第一二圖は、導火線に依る普通の雷管の例で、管上部の空間に、導火線をさし込むのである。

導火線は、黑色火藥粉を心糸と撚り込んだものを、芯として其の上を、糸と紙等で巻いたもので、單に防濕程度に作つたものと、特に丁寧に、防水用に作つたものがある。燃焼速度は、長さ一米が一〇—一四〇秒位で、雷管に結び付ける長さに依り、點火後、爆藥が爆發する時間を加減する。

電氣雷管の構造は、普通の雷管に、電流で灼熱する白金線と、之に依り點火される綿火藥とで、出來てゐる電氣點火装置を取付けたものである。之にも色々な種類があるが、此の雷管は電流を通ずると、瞬間的に爆裂する。だから、爆藥をつめた多くの孔がある場合、此等を同時に、或る順序で、爆發させようとするのに、不便である。それで、電流を通じてから、爆裂する迄に何秒か宛、色々な時差のある遅發雷管と云ふのが作られてゐる。其の構造は、普通の雷管と、電氣點火装置と、導火線とを組合はせたもので、遅發の時差は、此の導火線の長さに依つて加減される。

電氣雷管を爆裂させる電源としては、電壓一定な電線からも取れるが、又特に此の爲に作つた可搬式な小型の電氣發火器も用ひられる。爆藥をつめた多くの孔を、爆破させる場合、電源との結線方法には、直列と並列と此の併用との三通りがあるが、何れにしても、發火前、結線が完全であるかどうか、導通試験をやる必要がある。此の用途に、雷管が爆裂しない程度の弱い電流で、試験出来る、簡單な導通試験機が作られてゐる。

日本のトンネル工事では、未だ一般に導火線が使用され、電氣雷管を使用する迄に進んでゐない。たゞ鐵道省の直轄施工に依るトンネル工事では、近年遅發電氣雷管を使用して、好成績を擧げてゐる。



次に爆薬の装填に就いて、少しく説明すると、先づ、導火線と雷管との取付だが、之には爆破の穿孔數、其の爆破順序等から、所定の長さで切つた導火線の一端を、雷管の薬面に達する迄、充分差し込んで、其の口をペンチ様の雷管鉋で、雷管を廻しながら充分締め付ける。電気雷管では、かういふ作業の必要はない。

次にダイナマイトと雷管の取付だが、ダイナマイトの徑と同じ位な太さの木又は銅の雷管装填棒で、ダイナマイトの一端に、孔をあけ、これに雷管の全長を押し込み、開いた包装紙をもとに直して、糸で結ぶか、又は電気雷管なら導線を巻きつけて、雷管が抜けない様にする。一つの孔に、數本のダイナマイトを込める場合、雷管は、其の内の一本のダイナマイトに一個取付けばよい。

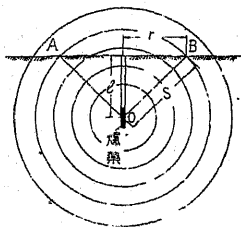
穿孔に爆薬を装填するには、木製の込棒で、靜に一本宛ダイナマイトを孔奥に隙間なく詰め込み、普通最後に準備した雷管付のダイナマイト（之を俗に「親ダイ」と稱し、他の雷管がついてないのを「増しダイ」と稱す）を挿入してから残りの孔口迄の空隙は、濕つた粘土の詰物で、充分填充する。此の詰物は、爆發力の一部が抵抗の少い孔にそつて、空費されるのを防ぎ、

爆破の效力を増大する爲に用ひるのだが、豫め粘土をこねて、ダイナマイト状のものを作つて、使用すると便利である。

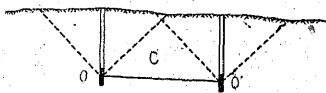
次に、斯うして装填した、爆薬の爆破現象に就いて、少しく説明しよう。第一三圖は、爆薬を装填した孔を示したのだが、岩石が等質で、爆薬の爆發力が、装填爆薬中の一點Oに集中して、一時に起り、且つ孔の影響がないと假定すると、爆發力は、Oを中心として、圖上に圓で示したごとく、四方に球面狀に波及して、其の強度は、中心を去るに従つて次第に弱まると考へられる。此の場合に、OからSなる距離に於ける傳播の爆發力が、岩石の強度に打ち勝ち得る限度だとすれば、岩石は大體Oを頂點とし、ABを底面とするOABなる圓錐形をなして、

破碎し、此の圓錐形の容積が、爆破に依る岩石の切崩量と想定出来る。

岩面から爆發力の中心點O迄の距離、即ち破碎圓錐形の高さ $l$ を、最小抵抗線と稱するが、一定の $l$ に對し、圓錐形の形は



第一三圖



第一四圖

爆發力、即ち裝填爆藥量に依つて變る。破碎圓錐形の底面の半徑を $r$ とすれば、爆發力が大となれば、 $r$ なる比はより大となり、又小となれば、此の比はより小となる。だから $r$ なる比は、或る岩質に對し、爆藥量と破砕量との關係を示す指數となる。

こんな理窟から、爆藥裝填量を圓錐形の形、即ち $r$ と $r$ との關係をつけて、色々な實驗式が發表されてゐるが、元々實際の爆破の成績は、こんな算式で表される程簡單ではなく、色々な原因に左右される。だから、實地に當つて、穿孔の深さ、爆藥裝填量等を定めるには、此等の算式を參考とし、實際やつた爆破の成績を基としなければならぬ。

以上は、單純な一つの孔に爆藥をつめ、且つ露出岩石面(之を開壁面又は自由面と稱する)が一つの場合に對する爆破の説明であるが、接近した二つ以上の爆藥裝填孔を同時に爆破する場合、又開壁面が二つ以上ある場合には、此の爆破の効果は著しく變つてくる。

例へば、第一四圖に於て、O及びO'の爆藥を、別々に單獨に爆發させれば、夫々點線の如く、

岩石を破碎して、Cの部分は殘る譯だが、若し同時に爆發させると、Cの部分に兩方の爆發力が、同時に傳はるから、O O'の距離が餘り大でない、Cの部分も破碎される。同時爆破に於て、Cの部分を破碎し得るO O'の距離は、岩質と爆發力とに依るが、一般に堅岩の方が、軟岩より爆發力を充分發揮出来るから、此の距離を大きく出来る。又電氣雷管を使用すれば導火線

に依るよりも、同時爆發が、完全に出來易いから、此の點效果は大である。

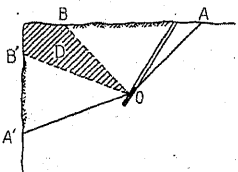
又第一五圖は、A B及びA' B'と二つの開壁面をもつ場合の爆破であるが、爆藥Oの爆發に依る、各開壁面の破碎O A B及びO A' B'の爲に、間接にDの部分迄、切崩される。

以上で、一通り穿孔と爆破の一般説明を終つたから、次に、トン

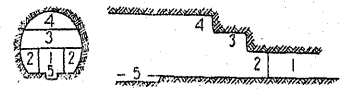
ネル工事に於ける穿孔と爆破、即ち發破に就いての説明に移らうと思ふ。

### 三、トンネル工事に於ける發破

トンネルの全斷面を一回の發破で、一度に切崩すこともあるが、斷面が大きくなると、幾つ



第一五圖

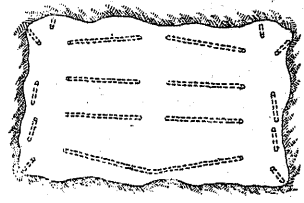


第一六圖

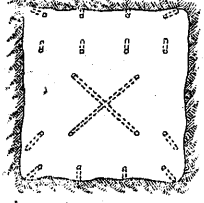
かに區劃割して別々の發破で、切崩して行く方法が用ひられる。之には色々なやり方があるが、例へば、第一六圖は其の一例で、五つに區劃して、下部中央の1から始めて、順次番號順に、上部へ切崩しを進める。  
此の場合、他に先んじて真先きに切崩しを進める1の部分で導坑(俗に引立または切羽とも云ふ)導坑に遅れて進む他の部分を總稱して切擴と稱する。此の區劃割は、地質に應じ、崩鑿、覆工其他色々な關係から、定めるのだが、これに就いては、後節崩鑿方式の説明の際、改めて述べるつもりである。

以下、導坑と切擴の發破に就いて、説明しようと思ふが、導坑についての説明は、大體其儘、導坑と切擴とに區劃せず、全斷面を一度に切崩す、トンネルの發破にも適用出来る。

導坑の發破は、開壁面が一つしかないから、此の發破の效力を有効にする爲には、中央部分を周圍に先んじて發破せしめ、周圍殘部の發破に對し、開壁面を多くする必要がある。此の中



第一七圖



第一八圖

央最初の發破を、心抜と稱するが、此の心抜をやる爲の穿孔の配置には、次の二つの種類がある。

- 一、楔又はV形心抜(第一七圖参照)
- 二、角錐形心抜(第一八圖参照)

初めの楔形心抜は、圖示の如く、導坑の中心線に向つて、楔形に兩側から數對の孔が夫々會する様配置したものである。又後の角錐形心抜は、圖示の如く、導坑の中心點に向つて、角錐形に幾つかの孔が、一點に會する様、配置したものである。

心抜用の發破は、同時にやるのだが、其の孔數が多い場合には、時差をおくこともある。心抜について、其の周圍の上部、左右、下部の孔(夫々俗に、冠、拂、踏前と稱す)を發破させるのだが、此等の孔の配列及び發破順序は、導坑の斷面の形、大き、岩質等に依り色々である。普通の發破順序は、拂から、踏前、冠で

あるが、時に掘鑿面に堆積する礫を、最後にはね飛ばして、次回の作業に便する爲、特に踏前の爆藥量を増して、之を最後に爆破させることもある。

斯ういふ爆破の順序は、點火に導火線を用ひる場合には、其の長さを加減し、電氣雷管を用ひる場合には、遲發雷管を按排して行ふのである。

次に是等穿孔の深さはどの位にするかと云ふと、手堀の場合は、機械堀に比べて、一般に孔の深さはずつと浅い。機械堀の場合でも、一・五米位の浅いものから、三米位迄深いものがある。

浅いものと、深いものでは、色々利害があるが、要するに岩質、導坑の大きさ、其他作業關係等から、適當に定めなければならぬ。大體心拔が完全に出來る程度に應じ、導坑の幅の五〇—七〇パーセント位にするのが普通である。又心拔孔は他の孔より、多少深くするのが一般である。

穿孔の總數は、導坑の斷面、岩質に依つて色々になるが、大體導坑の斷面、〇・二五—〇・六平方米につき、一本位の割合である。

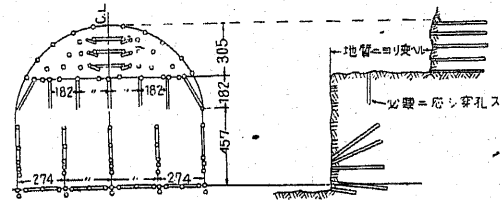
導坑の大きさ(俗に「加脊」と稱す)は、地質、切擴方法、發破方法等から定めるのだが、作業上から、少くとも人間が樂に立つて働けるだけに、高さは一・八米位、幅は一・五米以上に

切 するのが普通である。機械堀の場合は、穿孔の能率が手堀の場合より、いゝから、導坑の加脊も、自然大きく出來るが、北米のトンネル工事に於ては、丈夫な岩質の場合に、隨分大きな斷面のトンネルを、導坑と切擴とに區劃せず、全斷面を導坑と同じ様に、一時に掘鑿してゆく工法(全斷面 Full Face 又は Full heading 式と稱す)が、屢々用ひられてゐる。此の場合の發破の要領は、大體本節で述べた導坑のと同じである。此の方式に就いては、更に第一八節に於て説明する。

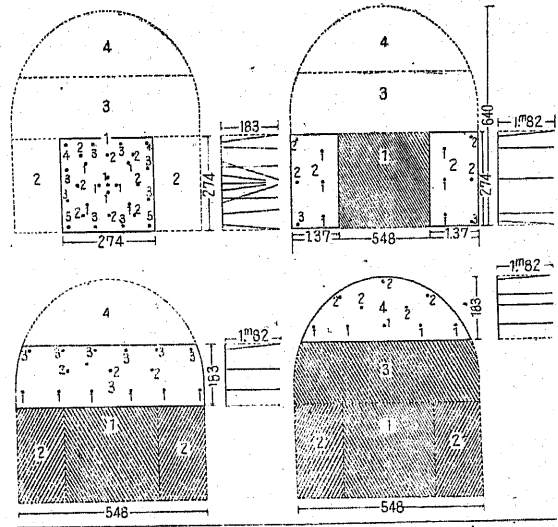
掘 堅坑又は斜坑も、多くは全斷面式で、掘下げるが、此の場合の發破も、穿孔が下向になるだけで、導坑の場合と大して變りはない。

切 次に切擴に對する、穿孔に就いては、切擴の方法自體に、種類が多いので、一般的な説明は出來ないが、要するに切擴の發破は、二開壁面以上となるから、導坑に比べて發破の效率も大きい。二、三の切擴方法に對し、穿孔の配置を例示すると、

第一九圖は、頂部に導坑を進め、下部を段形に残して切擴ける方法(ベンチ Bench 式と稱す)に對する實例で、また第二〇圖は、第一六圖に示した、底部に導坑を進め、左右と上部へ、順



第一九圖



第二〇圖

次切擴げる方法（上部開鑿 Top cut 式と稱す）に對する實例で、番號は、爆破の順序を示してゐる。なほ此の問題については、第四章掘鑿方式の各節に於て、更に説明するつもりである。

導坑の穿孔には、ドリフターを使用するのが、普通だが、切擴の穿孔には、作業の都合によりシンカー或はストーパーをも使用する。

次に、所要爆藥量に就いて説明すると、其の多寡は、主として岩質に依るのは勿論であるが、岩質と云つても、其の内容は複雑で、單なる硬軟程度ではなく、爆破の力が、切崩上から、有效に働くか否かに依るのである。たとへ軟くても、割目等の多いのは、爆破力が強く作用しないので、案外爆藥を多く要するものである。

又同じ岩質に對しても、作業上から、早い進行を希望するとか、或は備取扱上から、礫を大塊でなく、細片に碎きたいとかいふ様な要求等から、所要爆藥量は變つてくる。即ちかういふ目的があると、爆藥は切崩すだけの經濟量以上、餘計使はなければならぬ。又之に對しては、穿孔の深さ、數も大に關係がある。

穿孔に装填する爆薬量は、實地に當り實驗的に定めるのだが、大體穿孔の深さの四分の一—二分の一位を装填する。

導坑の消費爆薬量は、一般に切擴の分より大であるが、極く大體で、毎立方米一・五疋位から四疋位迄である。記録としては、もつと少いのも、多いのもあるが、大體此の範圍の間である。切擴の消費爆薬量は、之も極く大體で、導坑の消費量の四分の一—二分の一位である。

トンネルの切崩は、設計で定めた限界以上に餘分に大きくしない様にしなければならぬ。併し實際には、殊に發破に依る場合には、切崩が必要以上に餘分になるのが普通である。此の餘分を餘堀よぼりと稱してゐるが、之には色々不利が伴ふ。第一に、それだけ切崩の費用が無駄にされる譯で、なほ餘分の掘出をしなければならぬ。又覆工の背部に空隙が残るから、之を何かで填充しなければならぬ。なほ此他にも色々損失があるから、特に餘堀を必要とする場合（例へば湧水に對する排水設備をする場合等）を除いては、極力之を減ずることに努めなければならぬ。之が爲には、切崩限界附近の穿孔の配置、深さ、装填爆薬量等に、特別な考慮を拂ふ必要がある。

## 一〇 掘 出

掘出は、軌道上を走る運搬車に依るのが、最も普通の方法であるが、掘鑿方法の如何に依つて、此の方法のやり方にも、色々相違がある。掘出も、切崩と同様、野外の土工運搬と、共通な點が多くあるが、たゞ掘出は、トンネル内の限られた狭い窮屈な場所で、切崩、支保工作業等と聯關して、作業する點に、其の特性がある。

一般に、地山から切崩した土砂岩石は、其の容積を増すものである。特に堅い岩石に於て、掘が大きいとさうなる。だから、掘出には、地山で設計斷面から計算する切崩量より、餘分の量を取扱はねばならないが、之に餘堀の分が加はると、一層増すことになる。日本の單線鐵道トンネル工事で、容量一立方メートル程度の小型掘運搬車で、調べた實例から見ると、餘堀の分も加へ、設計斷面に依る地山の量より、七〇パーセントから、二〇〇パーセントも、増すことになる。

掘出の作業を、分析してみると、

一、積込…切崩した礮を運搬車に積込む作業。  
 二、運搬車の牽引…坑外から切崩現場へ空車を引入れ、又積込を了した盈車を坑外へ引出す作業である。

此等の作業は、手積、手押の人力でも出来るが、色々機械力も利用出来る。例へば、積込には、礮積込機を、又運搬車の牽引には、機關車等を使用する。

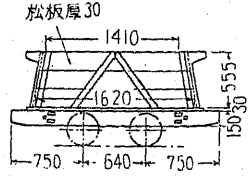
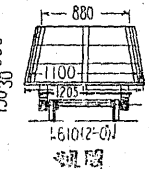
此等の作業に對する説明にはいる前に、礮運搬車と、軌道に就いて、少しく説明をして置かうと思ふ。

手積、手押の場合には、礮運搬車の大きさ、重さには、或る限度がある。大體、容量で、一立方米以下の小型が普通である。

たとへ機械を利用する場合でも、導坑には、又切擴でも、支堡工がたて込み、作業空間が狭ければ、小型の礮運搬車しか利用出来ない。大體、容量で一立方米から二立方米位迄である。

斯ういふ小型礮運搬車（俗に「礮トロ」と稱す）では、軌道の軌間も七六糎（二呎六吋）又は六二糎（二呎）が普通で、軌條の重さも、毎米九疋から一五疋のものが使用される。軌間は、

車の寸法とも關係するが、又狭い導坑内等で、複線を敷く上に、導坑の幅を定めるのに、大きな關係がある。又軌條の重量は、トンネル内の如く、作業條件の悪い現場にあつては、比較的重い丈夫なものを用ひるのが、有利である。殊に機械を利用する場合に於ては、其の必要がある。

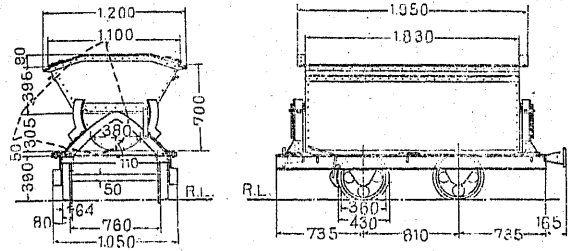


第二一圖

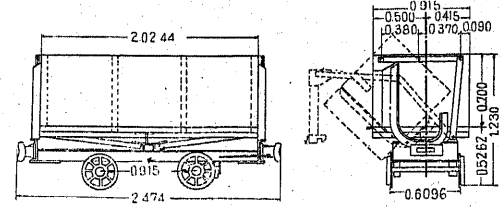
後に説明する様に、切擴等で、積込に大型な動力シヨベルを利用する場合には、礮運搬車も、軌間も、軌條も、自然それに應じて、大きなものを使用する。

礮運搬車の構造には、材料からは、木製と鐵製、軸受の種類からは、ボール又はローラー・ベヤリングと簡單な普通のもの、又礮を空ける仕組からは、車臺と別に車體だけが傾けられる、即ちダンピング出来るものと出来ないもの等、色々な種類がある。次に二、三種類を例示すると、

第二一圖は、延長の短いトンネル工事等で、手堀、手積、手押



第二二圖



第二三圖

で、機械を使はない場合に、最も多く用ひるもので、野外の土工工事で能く使ふ、俗にトロと稱する車である。木製で、臺車上に木枠を乗せた簡単な構造で、脩を空けるのには、車臺もろ共傾けなければならぬ。容量も、〇・六立方米位である。

第二二圖は、鐵製V形(鍋形)の兩側何れにもダンピング出来る小型脩トロである。又第二三圖は、鐵製箱形の片側にしか、ダンピング出来ない小型脩トロである。後者は前者に比べて、同一の寸法、重量で容量

が大きく出来る利益がある。機械を利用する長大トンネル工事に於て、使用する小型脩トロは、多く此の類のものである。

合衆國のトンネル工事に於ては、切擴に、大型な脩積込機を使用するが、此の場合には、普通の土工工事に用ひる、大型の土運搬車を使用する。

一、積込

手積では、ショベルで脩をすくひ、直接、運搬車に投げ込んだり、或は、脩が岩石の場合には、鉤状の特殊な脩撮(俗に「ホッパ」と稱する)で、鐵製手箕にかき込み、運搬車にあけたりする。

脩が岩石の場合には、發破前、切端に近く、鐵板を敷いて、發破で飛ばされない様脩等で充分押へて、發破に際し、脩を此の上に落とすと、ショベルですくふのが楽になる。

切擴げ方の如何に依つては、重力を利用して、積込むことも出来る。例へば、第一六圖、第一七圖、第一八圖の如く、導坑を下部に進めて、上方に切擴げる場合、導坑中の軌道を覆ふて、支保材で棚枠を組み、所々に開口を残して、板類を敷き、上部切擴の脩を此の棚上に落とすと、

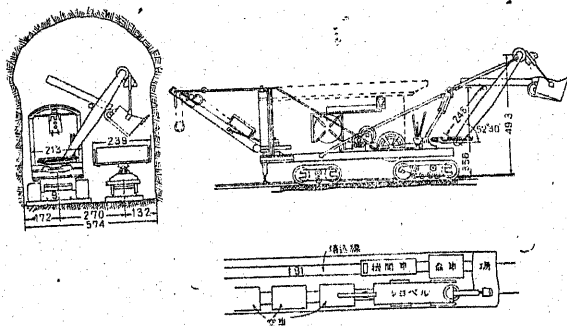


開口から下方軌道上の運搬車に、重力で積込むことが出来る。  
機械積に使用する機械には、色々な形式のものがあるが、使用動力は、坑内作業の關係から、電気又は壓縮空氣が用ひられる。機構から、此の礮積込機を區別すると、次の三形式になる。

- 一、シ・ベル (Shovel) 型
- 二、シ・ベル・コンベヤー (Conveyor) 型
- 三、スクレーパー (Scraper) 型

此等諸型式の機械に對しては、北米合衆國の諸會社に、色々な製品がある。茲で、此等の諸機械の詳細な説明をする餘裕はないから、簡單に其の機構だけを説明すると、

第一のシ・ベル型は、人間が、シ・ベルで積込む動作と同じに、バケットを動力で、礮中に押し込み、しやくひ上げて、バケットからちかかに、後方又は側方の運搬車にあけるのである。動力シ・ベルは、一般の土工工事でも、大量の場合に使用されてゐるが、トンネル内では、作業空間の關係から、大きさに制限を受けるので、特に其の構造上に工夫を要するのである。併し切擴の部分で、作業空間が相當廣ければ、一般の土工工事に使用するものと、同じ構造で、た

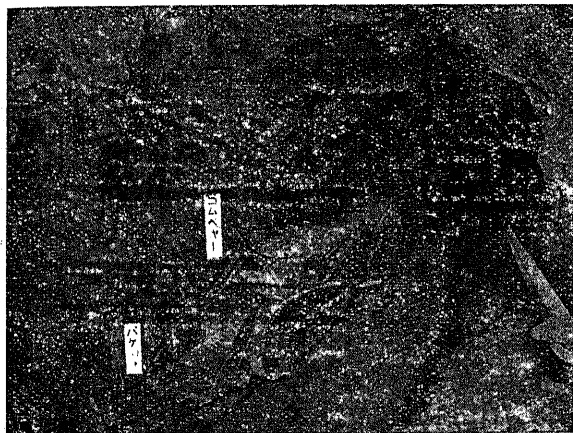


第二四圖

だ寸法を多少縮めた大型のものが使用出来る。第二四圖は、合衆國の最長鐵道トンネル、ニュー・カスケード (第四頁の表参照) に使用した、此の式のシ・ベルで、動力は壓縮空氣である。後端にある空氣運轉のクレーンは、後方の空車を、積込線へもち上げて、入替へるのに使用する。

空間の狭い導坑に於ては、この式のシ・ベルは利用出来ないで、色々な小型シ・ベルがアメリカ合衆國に於ては製作使用されてゐる。日本のトンネル工事でも、曾て、其の二、三を購入使用したことがあるが、次に述べるマイヤース・ホールレー機以外は、今日殆んど用ひられてゐない。

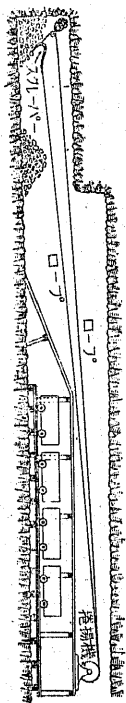
次に第二のシ・ベル・コンベヤー型は、バケット



第二五圖

から直接、礮を運搬車にあげずに、一度ベルト・コムベヤー上にあけて、コムベヤーで後方の運搬車に、運搬積み込むのである。第二五圖は、其の一例であるが、鐵道省の直轄トンネル工事で、使用してゐる電氣運轉のもので、マイヤース・ホールー積込機と稱し、元は北米合衆國の製品である。

第三のスクレーパー型は、礮搔で手箕に礮を搔き入れて、之を運搬車にあける動作に則つたもので、スクレーパーをロープと捲揚機で動かし、礮を熊手式に搔きよせ、傾斜面を有する積込臺上に搔きあげて、運搬車に落し込むのである。第二六圖は、其

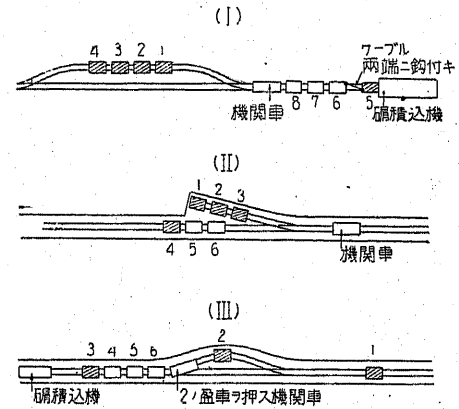


第二六圖

の一例で、四臺の運搬車に積み込む装置になつてゐる。此の圖では、捲揚積込臺が木造の假設備になつてゐるが、一臺宛積込む小型のもので、軌道上を移動し得る様、車臺上に取付けた鐵製のものもある。

礮積込の能率をあげる上に、重要な要件は、積込み終つた盈車と、空車の入替を、迅速圓滑にやることで、殊に積込機を利用する場合に於て、其の必要がある。

積込を軌道の途中で、重力でする様な場合には、たゞ車を一方に移動するだけだから、面倒な入替の問題は起らないが、導坑等の様に、軌道の突端で、積込をする場合には、入替の方法を特に考へなければならぬ。



第二七圖

單線と複線とで、方法は違ふが、複線の場合は、簡單で樂だから、積込機を使用するなら、成る可く複線にする方がいゝ。

單線の場合の入替には、次の二つの方法がある。

一、側線を作る方法

二、軌道外に、空車を取外して置く方法

第一の方法の例は、第二七圖の(I)、(II)、(III)に示した通り、碇積込機の後方に、側線を敷いて、入替へるのであつて、圖面には、機關車を使つて、何臺か宛、連結牽引して入替へる場合を示

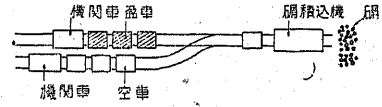
してゐるが、人力で動かす場合には、之を一臺宛やるのである。圖上、影線のある四角は、盈車を、然らざる四角は、空車を示してゐるが、又番號の1、2、3等は、夫々のトロの積込順

序を示してゐる。

圖面の(I)の方法は、盈車を餘計ためられる側線を置いた場合で、積込済みの盈車5は空車列車の最後尾の車6と、鈎のあるケーブルでつなぎ、引出してから、空車6が、轉轍器を通過すると直ぐ、轉轍器を側線に開いて、盈車5の車のみを側線に送り込むと、機關車は、又空車を押し、積込場に戻るのである。

圖面の(II)の方法は、短い突込側線を置いた場合で、圖の如く、突込側線が、盈車三臺で一杯になると、積込済みの盈車4を、空車と共に引き出して、引込側線の轉轍器の手前で、機關車の連結を一旦とき、之で側線内の盈車の1、2、3を引き出して、空車6に連結し、全列車を引いて、4の車だけを、突込側線に押し込んで、更に全列車を動かして、空車5を積込場に送るのである。

圖面の(III)の方法は、一臺だけの側線を置いた場合で、3の車の積込がすむと、空車と共に引き出し、側線をぬけて、3の盈車だけを側線上に解放し、2の盈車を本線上に押し出し、1の盈車と共に、本線上に残してから、本線を通つて、空車4を積込場に送り込み、以後同様な



第二八圖

一、渡線に依る方法。

二、空車を持ち上げて積込線へ移す方法。

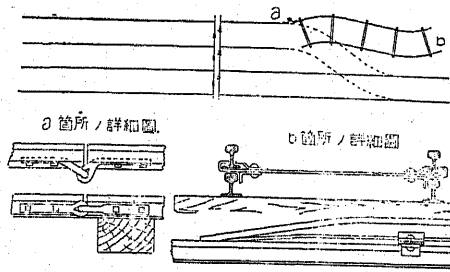
第一の方法は、複線間に、渡線を設けるのであつて、第二八圖は、其の一例である。掘鑿が進んで、渡線が積込現場から、餘り遠ざかると、入替に不便になるから、渡線は前進させな

方法を繰り返すのである。

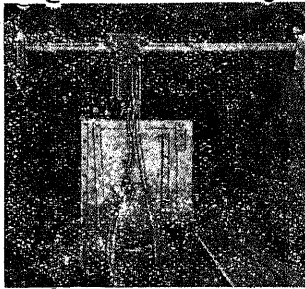
掘鑿が進んで、側線の位置が、餘り切羽から遠ざかると、入替に時間を要するから、新規な側線を設けなければならない。次の複線の場合に説明する、取外し移設の簡單に出来る渡線は、此の場合にも利用出来る。

次に第二の、空車を軌道から取外して置く方法だが、之は甚だ簡單で、取外した空車を、一臺宛軌道上に移して、積込み引き出せばよいのである。空車を軌道上にのせるのは、人力でも出来るが、次の複線の場合に説明する様な機械を利用すると便利である。

複線の場合の入替にも、二通りある。



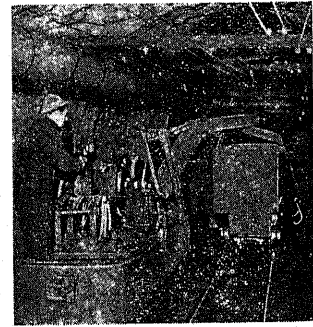
第二九圖



第三〇圖

第二の方法は、複線の一線上に、空車を待たして置き、積込機のある積込線に、置換へる方法で、持ち上げるのには、色々機械力を利用されてゐる。導坑に於ける掘トロに對する例を示すと、第三〇圖は、左右兩壁に渡した、棒の上を移動する、

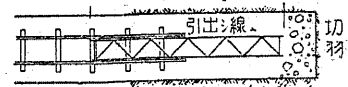
滑車に吊した小型空氣ホイストで、車を吊り上げる仕組で、又第三一圖は、小型クレーンに依



第一圖

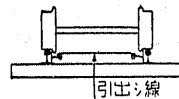
るものである。又全断面堀鑿方式に依る場合、又は切擴箇所、大型な礮積込機又は、鑿岩櫓を用ひる場合には、其の後尾に、空車置換用のクレーン其他の機械装置を取付ける。第二四圖は、其の一例である。

堀鑿が進むにつれて、積込機用、



第二圖

運搬用の軌道は、順次延ばして行かなければならないが、一本の軌條の標準長さは、大體一〇米位だから、此の距離だけ前進する迄は、本式に軌道が敷設出来ない。だから其の間は、一時假りの軌道で間に合はせる外ない。此のやり方にも、色々あるが、第三二圖は導坑に於ける其の一例で、軌條を横倒しにして組立てた引出線を、本軌道の軌條の側から、堀鑿の進行につれて、



引き出すのである

以上の如く、積込みの作業も、機械を使つて、能率的にやる爲には、單に機械の運轉ばかりでなく、之に伴ふ附帶的な諸作業を、能率的にやる様、考へなければならぬ。

## 二、運搬車の牽引

礮出用の運搬軌道は、又トンネル内へ搬入する支堡材、覆工材の運搬にも利用するから、本節で説明する牽引關係の説明は、礮出用許りでなく、搬入諸材料の運搬車の牽引にも、適用出来る。

人力に依る場合は、引くより押すのが普通で、所謂手押である。此の場合の礮トロは、第二一圖に示した様な小型のもので、一臺に二人掛りで、礮の積込みから、礮捨て迄の作業を、此の二人でやるのが普通である。

人力の代りに、牛馬を利用することも出来る。牛馬の牽引力は、人力に比して數倍の能力があり、設備資本も機械力よりも少なくてすむから、人力の場合より、長いトンネル工事に用ひて有利である。併し、牛馬を使役することは、坑内を不潔にし、且つ機械の進歩した今日、其の

利點も薄らいだから、餘り用ひられない。

機械力で牽引する方法としては、機關車に依るのが、最も普通だが、機關車も、今日では電氣機關車を使用するのが一般である。電氣の發達しない時代には、壓搾空氣運轉の機關車を利用したこともあるが、今日では、最早特別な場合の外、問題にならない。

電氣機關車にも、色々種類があるが、大別して、次の三つになる。

一、架空線式

二、蓄電池式

三、以上二式の併用

架空線式は、運轉區間に架空線を張り、これから直流電力の供給を受けて運轉するもので、廣く一般の鐵道交通輸送に用ひられる型式である。トンネル工事に用ひるものは、電壓二五〇乃至五〇〇ボルト、重量は、小さいのは三噸位から、大きいのは三〇噸位迄が普通である。

此の式を利用するには、架空線と、軌條のボンディング (Bonding) が、必要だから、導坑等の狭い坑道で、架空線が張り難い場合、又、後から切擴げをやる場所には、利用上に面倒

がある。又停電の際は、直に運轉不能となる。併し、工事上大型を必要とする場合には、此の式の機關車を用ひる外はない。又第二の蓄電池式に比し、機關車の構造が堅固で、保守が樂なのと、運轉費が少いのは利點である。なほ此の機關車を利用するには、供給の交流電力を直流に變流する爲の廻轉變流機即ち電動發電機が必要である。

蓄電池式は、蓄電池を機關車に積み、之を電源とするもので、大きさは二噸から一〇噸位迄で、小型に限られてゐる。

此の式の利害は、大體架空線式のと反對だが、何より、運行上制限を受けることの少いのが有利である。即ち架空線等、送電設備の必要なく、何處でも軌道上を自由に運轉出来る。此の點から、近來我が國の長大トンネル工事では、此の式のみが用ひられる傾向になつた。

此の蓄電機關車を使用するには、蓄電池の充電設備が必要である。之には、架空線式と同様、直流に變流する爲の變流機を要するが、近年は電動發電機の代りに、取扱も簡單で、設備に面積を要さない、水銀整流器に依る充電設備が用ひられてゐる。

最後の二式併用の機關車は、架空線式と蓄電池式と結合した機關車で、何れの式に依つても、

運轉出来るものである。此點からは便利で、我が國のトンネルでも用ひたことがあるが、其れだけ、寸法も重量も増すし、運用も複雑になるから、一般には餘り用ひられない。

なほ此等電気機關車に關しては、架空線、ボンディング、電池、充電等、電気技術上の説明が必要であるが、こゝでは一切を省略する。

機械的な牽引方法として、機關車に依らず、鋼索と、機械力とを利用する方法がある。

此の方法に二通りある。一つは、鋼索の一端に、運搬車を結んで捲揚機に依り引つ張る方法で、他は、軌道に沿うて環狀に鋼索を緊張して配置し、之を機械で回轉して、此の鋼索に運搬車を取付けて、牽引する方法である。

第一の方法は、堅坑又は斜坑等に主として用ひられるが、普通のトンネル工事に用ひるのは、第二の方法である。其の例は少いが、日本では、鐵道省の豊肥線（九州）の坂ノ上トンネルと紀勢西線（紀州）の由良トンネルとで利用した。

## 一 一 支 堡 工

支堡工は、切崩し後、覆工完成迄、土壓を支持する爲の假構造物であるが、地質の如何、トンネルの形狀、大き等に依り、其の構造は色々と變つてくる。堅固な岩石なら、全く此の必要がないし、又水を含む軟弱な土質だと、土砂類が流動状態で、崩壞してくるから、普通の支堡工では、支持不可能となり、特別の方法を講じなければならぬ。

併しこんな兩極端の場合は、別として、中間的に、色々な程度の支堡工を要する場合がある。斯ういふ場合の土壓關係は、一般に、地山切崩し後、時日がたち、其の凝聚力が弱まり、組織が緩むにつれて、大きくなる性質があるから、支堡工は、構造物として、變位の少い丈夫なものである以外に、構築上、切崩した地山に充分密着して組立てることが必要である。若し、支堡工との間に、空隙が出来る場合には、礫の類を以て、之を充分填充し、又變形移動の模様があれは、直に之を補強して、地山の緩む範圍を、少くすることに努めなければならぬ。

支堡工は、假構造物である關係から、材料には木材が、普通用ひられる。併し、特に丈夫な支堡工を要する場合、又は之を覆工の一部に利用する場合等には、鐵材も屢々用ひられる。一般に木材の方が、價格も安いし、それに、現場で加工組立が容易である。

支堡工の構造は、外側からの土壓を支持する枠を、或る間隔をおいて組立てて、之を相互連結するのであるが、此の枠の構造上から、次の二つの區別が考へられる。

### 一、支柱式

#### 二、アーチ式又はアメリカ式

支柱式は、日本や歐洲に於て、一般に用ひられる方式で、第三五圖、第三六圖に示す如く、土壓を支持する枠は、主に支柱で組立ててある。アーチ式は、別名アメリカ式と云はれる如く、アメリカ合衆國、カナダで、一般に用ひられる方式で、第三九圖に見られる如く、アーチ型に組んだ枠を利用してゐる。日本でも、最近鐵道省の直轄施工の工事で、施工の機械化の目的から、此のアーチ式を、試験的に試みたことがある。

支柱式には、主として丸太材が、用ひられるが、日本内地のトンネルでは、皮剥の生松丸太が用ひられる。松材は靱性に富み、強度もあり、又用材としても得易いからである。アーチ式では、構造上から、主として角材が用ひられるが、又形鋼材も、屢々利用される。

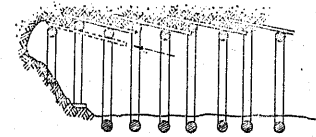
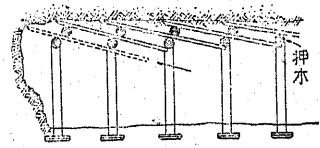
此の兩方式の詳細に就いては、何れ後節で説明するつもりだが、圖面から一見して、解る運

り、支柱式は、土壓に對し、支柱を適宜建て込んで、支持するだけで、導坑から切擴げるのにも、支柱さへ取り替へればいゝのであるから、比較的簡單で、又後から、補強するにしても、支柱さへ増せばいゝから、融通性がある。之に比べると、アーチ式は、組立てて、アーチ作用が完全にならない限り、支持力がないから、導坑から切擴げる場合でも、地質が悪いと、一時支柱で、假りに土壓を支へてから、別にアーチ式支堡工を、組立てなければならぬ場合もある。

地質が特別悪くなく、又一度の切崩面が餘り大きくないと、多くの場合、地山は切崩した後、暫時支持せずには放置しても、崩れるものではない。従つて、此の間に、支堡工を組立てて、支持するだけの時間的餘裕がある。此の様な支堡工組立を、俗に「後普請」と呼んでゐる。併し緩み易い土砂類其他の不良な地質になると、後普請で、切崩と支堡工とを、時間をおいて別々に、施工するのは、危険な場合が多い。斯ういふ地質に對しては、矢板工（俗に縫地）と稱する方法を用ひる。

此の方法は、第三三圖に示すやうに、支柱と横木（之を俗に押木、又は轉と稱す）で組んだ





第三三圖

丈夫な支保工框を建て込み、之に適當な長さの木矢板（普通幅一五糎―二五糎位、厚さ四糎―五糎位の松枝の先端を尖らしたものを、轉に對し、最初、圖上點線の位置に置き、其の後端を、槌の類で圖上矢で示した方向に、地山内へたゞき込み、天端地盤を支へながら、順次前面の切崩しを爲し、矢板の長さだけ進んだら、又新規な支保工框を建て込み、此の方法を繰り返すのである。地質に依つては天端許

りでなく、左右側面に對しても、矢板を用ひ、此の縫地の方法で、地盤を支へながら、切崩さなければならぬ場合がある。又特に悪い地質で、崩れてくる心配が多いと、切崩す前面も、板で土留しながら、少しづつ切崩して進まなければならぬが、斯ういふ場合だと、先づ低い支柱の支保工框で上半部を切崩してから、長い支柱に建て替へて、下半部を切崩す等、何段かに分けて、掘鑿を進めなければならない。又地質が悪い場合には、木矢板では、強度が足りな

支  
いので、鋼矢板を使用し、又支保工框にも、鋼材を用ひることがある。前記の第三三圖は、大體導坑に對する矢板工を示したのであるが、切擴に對しては、小區劃に區切りつゝ、各區劃につき、順次斯ういふ方法を繰り返して進むのである。又堅坑掘鑿に於ても、地質に依り、此の方法に依らなければならぬが、要領は大體同じで、支保工框を、水平に配置し、矢板を下向に打ち込みつゝ、進むのである。

堡  
後普請程度で、差支ない良好な地質だと、トンネル断面の大きさにも依るが、普通、掘鑿作業と覆工作業とを、夫々獨立にすゝめられる。即ち、導坑と切擴とを、先進さして、其後から、覆工を施工して行く。併し、前に述べた様な、縫地を必要とする不良な地質だと、餘程しつかりした支保工を組立てない限り、全部の切擴を完了してから、覆工を施す迄に、時日をおくのは、地盤を緩めて危険である。なほ地質の如何に依つては、全部の切擴をするのさへ、心配な場合がある。こんな場合には、掘鑿と覆工とは、無關係に別々でなく、相互によく連繫させて、施工する必要がある。其の方法には、色々あるが、要するに、掘鑿と覆工との施工を、時間的に接近さすのである。即ち、先進する切擴は、全部掘鑿せずに、一部に止め、後進する覆工を

待つて、残りの切擴をすると、すぐ覆工に取掛るとか、或は、短區間宛、全部の堀鑿を完了すると、すぐ覆工を施工しながら進むとか、或は、覆工の一部を、施工出来るだけ、部分的に堀鑿して、直に其れだけの覆工をすまし、次で残りの覆工の部分に、之を繰り返して、全部の覆工を完了するとかの方法をとるのである。此等の工法に就いては、何れ第四章で、詳しく説明する。

斯ういふ方法として、最も徹底した完全な工法は、シールド (Shield) と稱する、移動式な一種の機械的鐵製支堡工の利用である。之に就いては、何れ第二五節に詳しい説明をするが、要は此のシールドで地盤を支持しつつ、堀鑿と覆工とを、小區間宛、交互に施工する工法である。

トンネルの建造上に、大きな困難を來す、普通の原因の一つは、前にも述べた通り、地下水即ち湧水である。水さへなければ、なんでもない平凡な地質が、水を含む爲に、堀鑿上非常に厄介なものとなる例が屢々ある。斯ういふ場合、前記の色々な堀鑿工法以外に、困難の主因である湧水自體を、堀鑿に都合よく、處理する各種の工法がある。

#### 壓搾空氣を用ひるもの

セメント又は藥液等を注入するもの (グラウティング Grouting と稱す)  
凍結に依るもの

#### 迂回水抜坑を掘るもの

が、それであるが、此等の諸工法に就いては、何れ第五章で説明する。

次に、支柱式とアーチ式の支堡工に就いて、構造上の細い點を説明しようと思ふ。

#### 一、支柱式支堡工

縫地に進む様な、悪い地質の場合には、矢板と地山との間が、すくことはないが、後普請の場合には、第六三圖等に見る如く、地山面に接して、支柱で支へた丸太材上に、松板を敷き列べるのだから、地山との間に空隙が出來易い。此の空隙は充分幅の類で、詰めなければならぬ。此の場合の松板は、俗に掛板かけいと稱し、厚さも、矢板に比べ、二・五纏—三纏位の薄いのを用ひる。

普通中央上部の掛板は、トンネルの方向に、長手に置く關係上、之を受ける丸太材 (俗に轉

と稱す)は、トンネル方向と直角に、又、其の兩側アーチ部分の掛板は、トンネル方向と直角に、長手に列べる關係上、之を受ける丸太材(俗に桁と稱す)は、トンネル方向に配列する。そして、第三五圖、第三六圖、第六三圖等に示す如く、轉は、之をトンネル方向に配した別の丸太材(俗に擔と稱す)で受けて、此の擔に支柱を取付け、又、桁には、直接支柱を取付けて、此等の諸支柱を、下部地盤から支持出来る様、トンネルの形に應じて、框に組立てたのが支柱式支堡工である。此の框の骨組には、支柱としての主要部材以外に、つなぎとなる補強の梁を、適宜配して、全體として變形移動しない様にしなければならぬ。

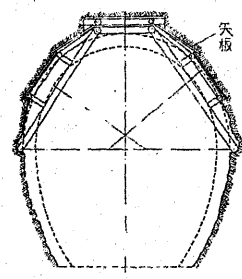
此の框の組立方は、導坑の様な、四角で断面の小さいのは、簡單である。轉の兩端を支柱で、鳥居形に受け、轉の間にトンネル方向の繫梁つなぎばりを入れればよいが、地質が悪い場合、又はあとから切擴をする導坑であれば、更に第六三圖等に見る如く、支柱で受けた擔を、内側に入れて補強する。

トンネルの断面が大きくなると、此の框の組立方には、地質と、断面の形とに依つて、色々な方法がある。こゝで、之を色々な場合につき、一々詳しい説明をすることは出来ないが、一

例として、トンネルの空虚断面の高さと幅が五米内外の、單線鐵道トンネルを基準にした、日本の方式について、説明すると、此の構造上には、大體次の三通りがある。

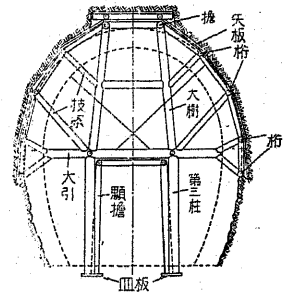
- 一、合掌式
- 二、枝梁式
- 三、後光梁式

合掌式は、地質が岩石等で、殆んど支堡工の必要がなく、單に豫期出来ない局部的な落磐(俗に肌落と稱す)を防ぐ爲に、利用する最も簡便なもので、第三四圖は其の一例である。其



第三四圖

の構造は、擔を受ける主支柱の合掌梁を、おがみ合せにして、側面の地盤に踏張らせ、之に桁を受ける短支柱を取付ける。之は、構造上、アーチ式支堡工の性質をもつてゐるが、合掌梁の支持點の地盤が、發破其他の原因で、弛むと、支堡工としての働きがなくなるから、此の點特に注意を要する。



第三五圖

更に其の内側に支柱頭擔柱をたてて、之を補強する。

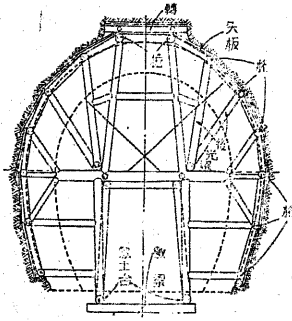
第二の枝梁式は、最も普通に用ひられる構造で、第三五圖が其の一例である。此の各部材には、圖上に記入した様な、俗稱があるが、此の構造は、中央の擔を受ける支柱大樹、之を受ける大引、更に之を地盤上から支持する第三柱の三つを、根幹の骨組として、之に他の桁を支持する支柱の枝梁を、恰も枝の如く取付けるのである。上部よりの土壓が少し大きい場合には、第三柱の外に、

後光梁式は、最も丈夫な構造で、第三六圖が其の一例である。枝梁式と異なる點は、上部アーチ部分の桁を受ける支柱を、枝梁とせず、大樹に準じ、後光の如く、直接大引で支持する點にある。此の式を一層強固な構造とするのには、第三七圖の如く、桁を支持する後光梁の數を増加する。

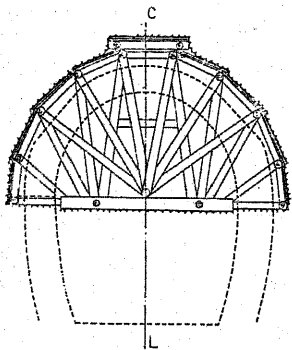
此等の構造に用ひる丸太材の太さは、トンネル断面の大きさ、土壓の多少、部材の種類等に依

つて變るが、細いのは、補強材である鑿梁つぎまはらの末口一〇纏位のから、太いのは、主材である大樹、第三柱、大引等の末口三〇纏位迄のが用ひられる。

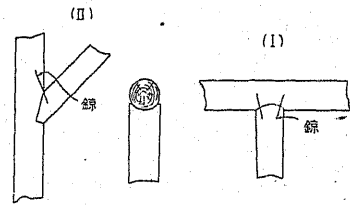
以上は、高さと幅が五米内外のトンネル断面についての日本の方式を説明したのだが、これ以上幅が大きいトンネルになると、たとへアーチ型の断面でも、合掌式、枝梁式の構造は困難で、大體後光梁式に依らなければならない。そして、大引も二本組合はした長物を用ひ、第三



第三六圖



第三七圖



第三八圖

柱も、四本たて、顯擔柱の數も増し、又使用丸太材も、太いのを用ひなければならぬ。

次に、此等丸太材の接合だが、元來支堡工は假物で、覆工の施工と共に、取外されるし、又原則として、壓縮應力を受けるものであるから、接手構造は、比較的簡單で差支へない。二部材が丁字形に交る場合には、普通、第三八圖(I)に示す如く、支柱の働きをする方の部材受口を弧形(之を俗に鯨口と稱す)に削り、又斜角に交る場合には、第三八圖(II)に示す如く、支柱を受ける部材の方にも、多少の切込を付け、相互部材の接觸面を大きくして、密着をよくし、且つ、其の移動を防ぐ爲、移動方向に成る可く平行に、長さ一八纏—二七纏位の鯨を打ち込む。又桁等の長手の接手は、普通合缺鯨止めにし、特に強度を要する場合には、兩側に鐵板をあてて、ボルト締にすることもある。第三柱、顯擔等の如く、地盤にたてる支柱は、第三五圖第三六圖に示す如く、地盤の支持面を増し、不均等な沈下を防ぐ爲、地盤上に皿

板又は敷土蓋及び敷梁を置いて、其上に建て込まなければならない。

日本のトンネル工事では、斯ういふ支堡丸太材の加工、組立は、普通の大工でなく、斧指と稱する特種な専門工が、之を擔當してゐる。用具として、幅の狭い特種な斧を主用具として、鯨口を削るので、此の名稱がある。

此等の支柱は、何れも、一米乃至一・五米間隔に建て込み、トンネル方向への連結は、擔と桁、其外に支柱仲間に入れる繋ぎの補助部材に依つて、保持される。併し、其の構造上から明らかなき様に、此の式の支堡工は、全然部材が張力には耐へないから、土壓が四方から均等にかかる場合は、丈夫だけれども、不均等にかかる、即ち偏壓を受ける場合は、變形破壊される危険が多い。だから斯かる際には、之に對する特別な補強支堡材が必要になる。例へば、坑門附近の支堡工は、土壓の關係から坑外に向つて、押される傾向がある。だから普通、坑門近くには、第六三圖に示す様に、不遣と俗稱する斜材をかつて、之を支持し、又土被の浅い入口の支堡工上には、特に土俵類を積み重ねて荷重を加へ、之を押へる方法をとる。

此等の支堡工は、可なり丈夫に組立てても、土壓が大きい場合には、長期間放置すると、次

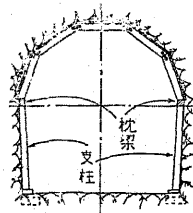
第に壓縮されて、全體として變形沈下する傾向がある。又切擴げ毎に、何度か支堡工をやりかへる際、或は覆工の進行につれ、支堡工を取外す（俗に木外と稱す）際にも、幾分宛、變形沈下するのが普通である。だから斯かる心配がある場合には、地質とトンネル断面の大きさに應じ、此の壓縮沈下の量だけ、豫め餘裕を見越して、大きく掘つて、支堡工を組立てないと、場合に依り、所定の厚さの覆工施工が困難になる。特に上部のアーチ部分に、此の必要が多いが、之を俗に上越と稱する。

導坑を掘り進めてから、順次切擴げる場合、支堡工を如何に組立てて行くか、其の方法は、切擴げ方即ち掘鑿方式と關聯して、色々であるが、要するに、トンネル周壁部分の地盤を直接支持する板、轉、擔、桁は、一度建て込んだら、其の儘置いて、之を支持する支柱だけを、切擴げの進行につれて、順次建て換へながら（之を俗に盛換と稱す）、全断面を切擴げて、最後の支堡工の組立を了るのである。此の盛換に際しては、特に直接地盤面に接する、周壁部分の板桁の類を、出来る限り、沈下せしめない様注意しなければならない。覆工に支障を來す許りではなく、地質不良な場合には、地盤を緩めて、屢、崩壊事故の原因ともなるからである。

色々な掘鑿方式に於ける、切擴げに伴ふ支堡工の組立方の實例は、第四章掘鑿方式の説明圖（第六三圖、第六七圖、第六九圖等）を参照して貰ひたい。

## 二、アーチ式支堡工

先づ木材を使用する、アーチ式支堡工の構造を説明すると、上部アーチの部分は、トンネル断面の大きさに依り、三片又は五片以上の角材を弦として組立て、其の接手には、鐵の込栓こせんを入れるか、又は接目板を當ててつなぐ。地質が岩磐等で、比較的よければ、此のアーチ枠は、合掌式と同様に、左右側面の岩磐を切りかいで、之に受けさせ、或は、第六〇圖に示す如く、左



第三九圖

右側面の岩磐中に、短い鐵棒をさし込んで、之にトンネル方向に梁を渡して（此の梁を枕梁と稱す）受けさせることもある。斯う簡單に出来ない地質だと、第三九圖及び第八一圖に示す通り、施工基面地盤から、支柱を建てて、直接、又は頭部に枕梁を渡して、アーチ枠を支持する。又トンネルの形が、圓又は之に近い場合には、側面或は下面迄、支堡工を弧形に組立てるこ

此等の枠は、地質に應じて、普通、一米乃至一・五米位の間隔に配置し、上面に掛板を渡して、地盤を支持する。此の枠の間には、内梁をかつて、トンネル方向の連結を丈夫にする。地質が特に悪い場合には、枕梁間にも、内梁をかひ、或はアーチ枠を、内外二重に組み、或は枠の距離を、一層つめ、極端の場合には、密接せしめて建て込むこともある。

外周の掛板と、地盤との間隙には、礪又は木片等を、充分詰め込んで、地盤を緩めない様にするのは勿論だが、更に、アーチの弦材の接目箇所と地盤との空隙に、楔を打ち込んで、之をしつかり止めることもある。

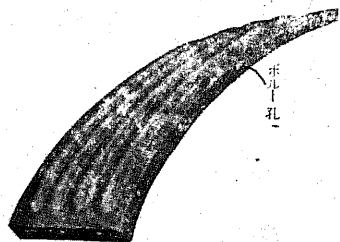
用ひる弦の角材寸法は、トンネルの大き、地質の如何に依つて、異なるが、大體弦用としては二〇厘角から、四〇厘角位迄のが用ひられる。用材は、杉、樅、松等種々である。

次に鐵材を利用する場合を説明すると、弦材用の形鋼としては、主にI形鋼を用ひ、接手は普通、兩側より鐵板をあてて、ボルト締にする。アメリカ合衆國では、屢々、突縁が特に長く出来てゐるH形のものが、用ひられるが、此のH形はI形に比し、同じ強度に對し、高さが低い

から都合がいい。形鋼使用の場合も、角材使用の場合と同様、アーチ枠は、側部の地盤がよければ、直接之で受けさせ、地盤が悪ければ、枕梁、支柱を建てて支持し、又アーチ枠間には、鐵材又は木材で、相互の繋ぎを充分に取り、其の外側には、掛板を渡し、掛板と地盤との空隙も、充分な裏込をする。此等鋼材使用のアーチ式支堡工は、之を場所詰コンクリート覆工で、

其儘埋め殺して、覆工の一部としても、利用出来る。

最近アメリカ合衆國で、ライナー・プレート (Liner Plate) と稱し、第四〇圖の如き、波形をつけ九薄鐵板 (三耗から九耗位の厚さ) を、弧形に仕上げ、周邊にボルト組立用の突縁をつけた製品が、支堡工用に用ひられてゐる。大きは、長さ一米、幅四〇厘位、重さは、一五呎から三七呎位迄であるから、取扱ひも左程厄介ではなく、又強度も相當あるから、利用して、便利である。トンネルの断面が大きいか、地質が悪い場合には、單に此の鐵板だけで組立てずに、横斷の圓接



第四〇圖

手の間にIビームを骨に入れて組立てたり、或は此の鐵板だけで組立てた内側に、Iビームを骨に入れたりして、補強する。

アーチ式支堡工は、弦材をアーチ作用出来るだけに組立てない間は、單獨に支堡工としての働きをしないから、後普請で進める場合は、利用上格別困難はないが、地質が之を許さない程度に悪い場合だと、組立上支柱式に比べて、厄介である。

此の式の支堡工を利用する掘鑿では、多くの場合、第一九圖に示した様に、上部アーチ部分を導坑として進め、切擴げを下部に及ぼし、且つ此の導坑は、餘り先走りさせずに、切擴げと接近さして行くベンチ式掘鑿方式を採用する。此の方法に依り導坑の切崩がすむと、直にアーチ部分の支堡工を組立てる。之を側面の地盤で支持する場合だつたら、地山に切缺きを造らなければならぬ。若し此の切缺きを發破で造る爲、形が旨く出来なかつたら、コンクリート等で、埋め戻して之を繕ふ必要がある。又、アーチ枠を支柱で支持する場合だつたら、導坑の左右側の地盤面を均らして、之に枕梁を敷き並べ、之を土臺として、アーチ枠を組立て、下部を切擴げた際、支柱を建て込む迄の間、一時枕梁でアーチ枠を支持出来る様にする。若し切擴げ

が、二段ですむ場合には、第一段の切擴げが終つたら、假りの短い支柱で一時受けて置き、第二段の切擴げがすむのを待つて、本式の長い支柱を建て込む。

若し地質が悪く、右の様に、導坑と切擴の斷面を大きくして後普請で、掘進するのが危険な場合には、部分的に切崩して切擴げ、一時假りの支柱式支堡工で支持してから、アーチ式支堡工を、別に其の内側に組立てる等、特種な掘鑿方法に依らなければならぬ。之に就いては、第二二節の四に色々説明がある。

アメリカ合衆國の鐵道トンネル等では、地質が比較的いゝ場合に、此のアーチ式支堡工を施しただけで、直にトンネルの利用を開始し、永久的な覆工を後廻しにすることが、行はれてゐる。即ち支堡工に、一時覆工の役目をもさせるのであるが、アーチ支堡工は、見方に依つては、覆工の一種とも考へられるのである。

次にアーチ式支堡工と、支柱式支堡工とを比較して、主要な利害を説明すると、アーチ式支堡工の利點としては、

一、組立てた後には、トンネル内が、支堡工の爲に、邪魔されることがないから、掘鑿後、



トンネル内の空間を、他の作業に充分利用出来る。即ち穿孔、掘出、覆工作業等に、能力のある各種の機械や装置の利用が可能である。

二、アーチの覆工に、鐵筋コンクリートの利用が樂である。又地質が悪い場合、支堡工を取外さず、其儘埋め殺して、覆工を施工するのが容易である。

三、前にも述べた通り、トンネルの種類に依り、支堡工を組立てた儘で、トンネルの利用が開始出来る。

## 第二章

掘等が、主なものであるが、缺點としては、

一、丸太材の利用が困難である。

二、地質が悪い場合、組立てが厄介で、且つ偏壓其他に對し、補強が困難である。

三、支堡工を要する場合の掘鑿に、ベンチ式以外の方式利用が困難である。

等が主なものである。之に對し、支柱式支堡工の利害は、大體此の逆になる。要するに、施工上から考へると、アーチ式支堡工の利用は、主として、機械力の利用、即ちトンネル施工の機械化を伴つて、始めて價值が出るのであつて、之を度外視しては、其の意義の大半がなくなる。

これで、支堡工の説明を終らうと思ふが、次に、以上三節で、個々に説明した、切崩、掘出、支堡工の三作業を綜合した、掘鑿作業に就いて、少しく説明しようと思ふ。

## 一一 掘鑿作業

### 掘

導坑、切擴げ各區劃の掘鑿作業は、夫々別な作業組に依つて分擔される。掘鑿作業としては、穿孔、爆破、支堡工、礮積、礮運搬の諸作業を實施しなければならないが、日本の實情では、穿孔、爆破、即ち發破と支堡工とを一つの班にし、又礮積、礮運搬とを他の一つの班にし、切崩と礮出の二班で、分擔するのが普通である。併し場合に依つては、之を全部一つの班にすることもある。此の作業班は、一日二交代又は三交代で、晝夜兼行で、各分擔の導坑なり、切擴區劃なりの掘鑿を、計畫の掘鑿方式に従ひ或る順序を保ちつゝすすめて行く。

例へば、導坑の機械掘では、切崩班が、所定の穿孔を終ると、直に爆藥を裝填し、爆破して切崩し、暫時爆破の硝煙が、切羽から抜けるのを待ち、斧指と礮出班が、切羽に近づき、爆破に依り、切崩された地山面に残る落ち掛つてゐる岩片（俗に浮石と稱す）を去除き、必要に應

じ支堡工の組立に掛ると共に、礮出作業を開始する。爆破後の硝煙を、切羽から早く散らす爲には、普通、鑿岩機用の壓搾空気を、暫時吹かしておく。礮出が進んで、鑿岩機が据えられるだけになるのを待つて、切崩班は切羽に入り込み、次の穿孔を開始する。斯くして交代時間が来る迄作業すると、各班は夫々、次の班と入れ替つて、切崩、礮出の作業を連続繰り返して、掘鑿を進めて行く。

斯かる導坑の作業に於て、掘鑿の進行速度は、結局、一日何回、發破がかけられるかに依つて定まる。發破計畫、即ち穿孔の位置、數、深さ、方向と、各孔の裝填爆藥の種類、量とは、岩質と掘鑿區域とに應じ、豫め定めて作業するのだが、一日、作業班が三交代で、三發破しか出来ないのと、四發破五發破出来るのでは進行の上に大きな差がある。斯ういふ風に發破回數を増すのには、切崩、礮出等の内容となる諸作業を機械化した、其の優秀な技術に俟たねばならないのは勿論だが、又各作業の協同連繋が、交代を通じて、眞に能率的事であることが必要である。例へば鑿岩機に依る穿孔にしても、穿孔途中に交代時間が來れば、機械をとめずに、運轉の儘直に次の班の者に交代引繼ぐと云ふ具合に、一交代の作業時間内は、少しの遊びもなく

働く能率的な作業を続けなければならない。

日本のトンネル工事の實情を見ると、未だ一般に、其の掘鑿技術は、こんな域に迄、達してゐない。機械掘の場合でも、二交代二發破、三交代三發破しか出来ない現狀で、機械掘をやりながら、一交代一發破と云ふ、手掘の舊慣習を破つてゐない。たゞ最近、鐵道省の直轄トンネル工事の導坑に於て、三交代四發破、五發破の成績をあげ得る、技術の向上を見るに至つた。

仙臺と山形間の仙山トンネルは、鐵道省で昭和十年から十一年にかけて、直轄で開鑿したが、加背、二・八米、五・三米の大型底設導坑に於て、一日三交代で、發破回數一日最大五發破、一日最大進行記録九・六米、一ヶ月最大進行記録、二〇九・五米と云ふ成績をあげた。又昭和十一年に着手し、昭和十五年中に完成した、新潟縣糸魚川と長野縣大町間の大糸線の眞那板山トンネルも、鐵道省の直轄工事で、開鑿したが、此の工事では、加背、二・八米、三・八米の導坑に於て、一日三交代、一日最大發破回數五回で、一日最大進行一〇米、一ヶ月最大進行二二八・七米と云ふ日本として最高記録を出してゐる。此の二トンネルとも、導坑の發破は、遅發雷管利用の電気爆破で、又其の鑿岩機は、ドリフターを仙山トンネルでは四臺、

10 月	爆 破 時		
	時 分	時 分	時 分
1	午後 12:15	午後 6:45	午前 1:15
2			
3	午前 1:45	午前 7:45	
4	午後 12:40	午後 6:10	午前 12:35
5	" 1:00	" 6:15	" 12:10
6	午前 9:50	" 4:20	午後 9:30
7	" 9:10	" 2:50	" 8:10
8	" 11:25	" 4:50	" 9:55
9	" 10:40	" 4:20	" 11:35
10	" 10:35	" 4:30	" 9:35
11	" 9:40	" 3:00	" 8:20
12	" 11:35	" 5:50	" 10:25
13	" 8:20	" 1:00	" 7:00
14	" 10:15	" 3:15	" 8:45
15	午後 12:50	" 6:00	夜 12:00
16	午前 9:45	" 3:45	午後 9:30
17	" 11:30	" 5:30	" 11:00
18	" 10:25	" 3:40	" 8:10
19	午後 12:35	" 6:05	" 11:00
20	午前 9:10	" 1:50	" 7:20
21	午後 12:35	" 5:45	" 11:35
22	" 12:55	" 6:00	" 10:30
23	午前 8:40	" 1:45	" 11:50
24	午後 12:20	" 5:50	" 10:25
25	午前 9:55	" 3:35	" 9:20
26	" 11:25	" 6:15	" 11:30
27	" 11:20	" 4:45	" 10:15
28	" 9:20	" 3:05	" 9:45
29	午後 2:20	" 8:05	午前 1:00
30	" 12:45	" 7:05	" 11:45
31	" 12:50	" 6:45	" 2:20

間	進 行	
	一 日	累 計
	29	29
	0	29
	15	44
午前 7:20	33	77
" 5:30	36	113
" 3:20	36	149
" 12:55 午前 5:50	46	195
" 3:55	38	233
" 4:55	39	272
" 3:35	27	299
" 1:00 午前 6:00	48	347
" 3:25	35	382
午後 11:45 午前 5:25	46	428
午前 1:50 " 6:45	47	475
" 4:45	34	509
" 2:10 午前 7:00	42	551
" 5:00	36	587
" 2:15 午前 7:40	50	637
" 4:15	38	675
" 1:40 午前 7:15	52	727
" 6:50	37	764
" 3:45	39	803
" 1:05 午前 6:45	47	850
" 4:00	36	886
" 1:50 午前 7:30	47	933
" 5:25	38	971
" 3:45	35	1006
" 2:45 午前 7:30	46	1052
" 7:10	40	1092
" 6:20	38	1130
	27	1157

眞那板山トンネルでは三臺を同時に使用運轉し、隅積込機には、マイヤース・ホールレーを一臺使用した。此の兩トンネルとも支堡工の必要が少く、湧水も餘りなく、比較的岩質に恵まれたのであるが、斯かる大型導坑で、これだけの進行を見るに至つたのは、一に技術の進歩に依る發破回數の増加に依るのである。これ迄、日本のトンネルでは、一ヶ月二〇〇米以上の導坑の進行記録は、なかつたのであつて、一般の請負工事に於ては、未だ一ヶ月一五〇米程度が最大である。

北米合衆國のトンネル工事では、隨分素晴らしい進行の速度を出してゐる。第二三節に述べた先進坑道を利用する堀鑿で、名聲を博した、カナダのコンノート・トンネルに於ては、先進坑道の進行最高記録は、一ヶ月二八四米（一日最大進行一一・二八米）で、當時としては、素晴らしい記録であつた。又同じ堀鑿方式を採用した、アメリカ合衆國のニュー・カスケード・トンネルでは（第四頁の表参照）、一ヶ月の先進坑道の最大進行に、三五二・七米（一日の最大進行一五・八五米）と云ふ、驚く可き記録を出し、コンノート・トンネルの記録を、遙かに破つてしまつた。此のトンネルは、大部分地質が花崗岩で、支堡工の必要もなく、堀鑿条件にも恵まれ

てゐたのだが、こんな記録を出せるのも、要するに、堀鑿技術の熟練に依るのであつて、一日の發破回數の如きも、三交代で四發破、五發破が、普通である。併し、最近のアメリカ合衆國の工事報告を見ると、一ヶ月の進行記録、五〇〇米以上に達してゐるものがあるから、此のニュー・カスケード・トンネルの記録も、最早珍しいものではなくなつてゐる。

参考迄に、右のニュー・カスケード・トンネルの最大記録を出した、一ヶ月間の日々の爆破の時間表を示すと、前表の通りである。

次に作業班の組織であるが、之は導坑と切擴とに依つて違ふのは勿論、又全體的な堀鑿方法の如何に依つても、色々になるから、こゝで、一寸簡単に之を説明することは出来ない。併し参考迄に、前記仙山トンネルに於ける導坑の作業班を、一例として示すと、次表の通りである。

此のトンネルでは、導坑の加背が、普通より大きかつたので、鑿岩機も四臺同時に使用したことがある。此表中、多い方の人數は、鑿岩機四臺運轉、又少い方の人數は、三臺運轉の場合に對するものである。職名中、鑿岩夫は、鑿岩機運轉に従事するもので、坑夫は其の手傳として、或は切崩後の浮石落し等に働くものである。又隅積の機械工は、マイヤース・ホールレー積

込機の運轉手で、並人夫は其の手傳である。

次に、順序として、導坑なり切擴なりの堀鑿作業を綜合した、全體的な堀鑿方式、即ち導坑をどう掘るか、又導坑からどう切擴げるかといふ様な問題に就いて、説明しなければならぬが、此の堀鑿方式を定めるには、堀鑿に續く覆工の作業と關聯して、考へなければならぬから、此の説明は、後廻しにして、先に章を改めて覆工に就いての説明をしようと思ふ。

計	作業別				職名
	穿 孔	支 堡 工	礮 積	礮 ト ロ 入 替	
一 — 二 — 二	三 — — —	— — — —	— — — —	六 — — —	並人夫
三 — — 四	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —	鑿岩夫
五 — — 六	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —	坑夫
— — — 一	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —	斧指
— — — 一	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —	機械工
二 — — 二 — 四	四 — — — — 五	— — — — —	— — — — —	— — — — —	計