

第一章 總 說

一 トンネル

トンネル (Tunnel) とは、何であるかといふことは、トンネル工學等と學問的に取扱つて、嚴格な定義を考へると一寸面倒だが、常識的には、誰にでも、大體解つてゐることだと思ふ。平易に之を云つてみれば、トンネルとは、鐵道、道路、運河、用水、下水等、色々なものを、地下に通す爲に、地中に掘る大きな通路であつて、此のトンネルの技術は、要するに、人間が地下にもぐらうといふ慾望から生れたものである。

一般鑛山で、採鑛する爲に造る地中の通路は、トンネルには違ひないが、通路としての利用目的が、大體鑛石の採掘搬出に限られ、一般土木關係のトンネルの如く、廣範圍に互つてゐない。英語にも、鑛山用のトンネルには、Adit とか Drift とか、區別した用語があり、日本語

でも、之を坑道等と譯して、普通、トンネルとは云はない。併し地中に孔を掘る技術の點からは、トンネルも坑道も、大體共通である。

地表から地中の本トンネルに對し、豎、横或は斜に掘るトンネルを、特にシャフト (Shaft) と稱するが、位置に依り、豎のを豎シャフト又は豎坑、横のを横シャフト又は横坑、斜のを斜坑と區別して呼んでゐる。此等のシャフトは、トンネルに附帶し、通路用、通風用等、色々の目的から利用するが、永久的に造るものもあるし、又トンネル工事用だけに、一時的に造る場合もある。

トンネルは、單に山や丘の下を、くゞる爲に造るばかりでなく、都會地内等に於て、路面の下部に、下水道、地下鐵道、又は地下道等を造る爲に、或は橋梁の代用として、海底、河底等を横斷して、通路を造るのにも利用される。

二 トンネルの發達

トンネルの技術が、有史以前の太古の昔からあつたことは、穴居の遺跡からも判るのだが、

橋の技術が、水流をまたいで倒れた樹木から、氣付いたと云はれる如く、トンネルの技術も、恐らく自然が作つた洞穴等から、思ひ付いたのではなからうか。

人間の文化が進むにつれて、此のトンネルの技術も進歩し、其の利用の範圍も、多種多様になつて來た。

有史以後の文化的民族と云へば、支那、印度、エジプト、バビロニア等で、其後に續くものに、ギリシャ、ローマ等があるが、此等の民族は、何れも地中の墓所、寺院、通路、通水、採鑛等の爲に、地中に通路を造るトンネル技術を使つてゐる。

今茲に歴史的な、此等古代のトンネル技術を、詳しく述べる餘裕はないから省略するが、總ての技術が、十七、八世紀から十九世紀にかけて、科學の進歩と相俟つて、空前の發達を遂げたと同様、トンネルの技術も亦、此の時代から今日にかけて、著しい進歩を遂げてゐる。特に十九世紀の中葉から、鐵道の普及に伴つて、多くのトンネル、しかも長大なトンネルを掘鑿する必要から、一層其の進歩に見る可きものがあつた。

三 著名なトンネル

鐵道用トンネルとして、延長の大きなものを示して見ると、左表の通りである。

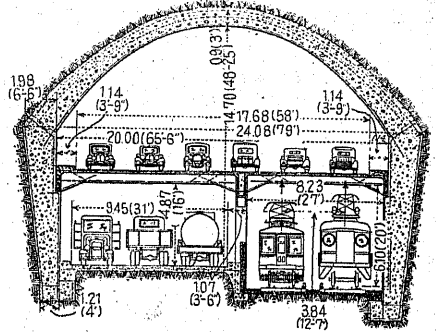
トンネル名	所在國	延長(杆)	断面	工事着手 (西曆)	工事竣工 (西曆)
一 Simphon シムフン	スイス	一九・七七〇	單線型	一八九八年	一九〇五年
二 Apenhne アペンネ	イタリー	一八・六一八	複線型	一九二〇年	一九三〇年
三 St. Gotthard セントゴットハート	スイス	一四・九一〇	複線型	一八七二年	一八七八年
四 Loetschberg ロイツェンベルグ	スイス	一四・六〇五	複線型	一九〇六年	一九一二年
五 Mt. Genis モンゼニス	フランス	一二・八二〇	複線型	一八五七年	一八七一年
六 New Cascade ニューカスケード	合衆國	一二・五三八	單線型	一九二五年	一九二八年
七 Arberg アーベルグ	オーストリア	一〇・二五〇	複線型	一八八〇年	一八八四年
八 Moffat モフガット	合衆國	九・八〇二	單線型	一九二三年	一九二七年
九 清 水 シズキ	日 本		單線型	一九二二年	一九三一年
十 Ricken リッケン	スイス	八・六〇四	單線型	一九〇四年	一九〇八年

右の表から解る通り、今日世界一の長い鐵道トンネルは、延長一九杆餘のシムフロン・トンネルで、又日本の最長鐵道トンネルである清水トンネル（高崎市と長岡市とを連絡する上越線に在る）は、世界に於ける第九番目の長トンネルである。又難工事の點で有名な日本第二の長い鐵道トンネルである丹那トンネルは、長さに於て、世界第二〇番目である。鐵道に於ける長トンネルは、多くは山脈を横に、直接貫く場合に出来るから、其の工事は多く兩口からのみ掘り進める外はない。

鐵道以外の水道用又は水力用の水路トンネルには、前記世界一のシムフロン・トンネル以上の長いものがあるが、此等の水路トンネルでは、普通所々地表から浅い箇所を通る様、位置を選定して、此の箇所工事用の堅坑、横坑又は斜坑を掘つて、これからもトンネルを掘り進めるから、鐵道トンネルと違って、全長の長いトンネルでも、多くは幾つかの短いトンネルを掘るのと同じである。だから、全延長は長くても、工世上からは比較的楽な場合が多い。

斯ういふ長水路トンネルで、最近の著名なものを舉げると、

一、合衆國サン・フランシスコ市水道用のヘッチ・ヘッチー工事に於けるコースト・レーン



第一圖

シ (Coast Range) トンネル…延長二八・五哩
 (四五・九呎)、工用シャフト數五箇所。
 二、合衆國ニュー・ヨーク市水道用のデラウェア河
 水道工事に於けるトンネル…延長四五哩(七二・
 四呎)、工用シャフト數九箇所、目下工事中。
 三、合衆國南カリフォルニア水道用のコロラド河水
 道工事に於けるサンジャシント (San Jacinto) ト
 ンネル…延長一三哩半(二一・七呎)、工用シ
 ャフト數三箇所。
 次にトンネルの断面の大きいので、有名なのを擧げ
 ると、

一、フランスのマルセーユ港に關係するローブ (Rove) 運河トンネル…内空断面寸法、幅
 二・二米、高さ一五・四米。

二、合衆國サン・フランシスコ—オークランド灣橋梁の途中にあるヤーバ・ブエナ (Yerba Buena) 島の道路トンネル(第一圖参照)…内空断面寸法、幅六五・五呎(一九・八五
 米)、高さ約四八・二五呎(一四・七〇米)、延長五四〇呎(一六四・五九米)。

三、合衆國ボールダー堰堤工用の排水トンネル…内空断面寸法、直徑五〇呎(一五・一
 五米)の圓形。

前記のローブ運河トンネルの内空断面積は、約三〇〇平方米位あるが、鐵道の複線用トンネ
 ルの内空断面積の約六倍位、單線用トンネルの内空断面積の約一五倍位の大きさである。

海や大きな河の底をくぐる水底トンネルは、日本では、目下工事中の關門海峡に於ける、鐵
 道及び道路用の二トンネルが、始めてであつて、實際に出来上つたものは未だ一つもない。併
 し、歐米各國には、既に數多くのものが、完成されてゐる。英國ロンドン市のテームス河底や、
 合衆國ニュー・ヨーク市のハドソン及びイースト兩河底には、何れも鐵道用、道路用合せて十
 本以上の水底トンネルが出来てゐる。

橋梁を架設することが出来ない様な、幅の廣い海峡を横斷して、通路を造るのには、其の水

底をトンネルで貫く以外に方法はないが、現在かかる計畫で發表されてゐるものには、次の如きものがある。

一、英佛間のドーバー海峡横断トンネル……海底部分の延長約三八・六浬。
 二、歐阿間のジブラルタル海峡横断トンネル……海底部分の延長約三二・二浬。
 最近、日本の満洲、支那大陸に於ける發展につれ、曾て國防關係の見地から、問題にされたことのある、朝鮮海峡横断トンネルが、更に新たな意義を加へて、問題視されてゐるが、これなども、前記の海峡トンネルと同様、今日必ずしも、技術的には不可能なものではない。

四 トンネルの技術一般

一般に、トンネルを造るには、

一、先づトンネルを通ず地盤の土なり岩なりを切崩して、之を外に運び出し、若し地盤が崩れさうなら、一時假りに、丸太や板類を使つて支へながら、地中に、所要の大きさの孔を掘り進めなければならぬ。

二、次に斯うして掘つた孔の周壁に、耐久的な丈夫な材料で、支へを造つて、其の内側に、通路として差支へないだけの必要な空間を、残さなければならぬ。此の永久的な支への材料には、煉瓦、コンクリート、鐵等が用ひられる。

地盤が、割目等の少い、丈夫な岩石で、崩れる懸念がなければ、切崩し中の一時的な假支へのいらぬのは勿論、又永久的な支へも、省いていくこともある。

以上の第一と第二の二つの作業が、トンネルを造る技術にとつて、根本的なものであるが、前の第一の作業を「掘鑿」と云ひ、後の第二の作業を「覆工」と云ふ。此の掘鑿と覆工の二つの技術は、夫々又部分的に分解すると、色々細く區分出来るが、之に就いては何れ後から詳しく説明する。

トンネルの工法としては、右に述べた如く地下にもぐつて掘鑿をやるのが、一般であるが、トンネルを地表から淺く、通す場合には、地下にもぐらずに、地表から掘削をやつて、此の中に露天でトンネルを築造し、後から埋め戻して仕上げることもある。例へば、市街の下を通す地下鐵道用のトンネル等には、此の工法が用ひられるが、此の工法には、施工上、地下にもぐ

つて造るトンネル技術としての特質は、薄らいでしまふ。

トンネルは、橋梁や建物等と同様、利用目的に應じ、各種の外力に耐へる様、諸材料を利用して、固定的に造る構造物 (Structure) の一種である。橋梁とか建物とか、地上に造る構造物にとつても、基礎の關係から、地質の問題が、重要な關係をもつが、トンネルの如く、全く中に造る構造物にとつては、地質の問題は、特に重要な要件であつて、之がトンネルの技術のすべてを、支配すると云つても、差支ない位である。それで、先づトンネルの建造にとつて、關係のある地質のことに就いて、次節に少しく説明をしておかう。

五 トンネルと地質

トンネルにとつて、地質上最も關係の深い性質は、地盤の硬軟と崩壊性である。割目等の少い、丈夫な硬い岩石は、切崩すのに困難するが、其の代り崩壊する心配は少いから、覆工を施す迄、一時的な支へもいらぬし、又覆工もさほど堅固にする必要はない。之に反し、割目の多い軟い岩石や、粘着力の少い土砂類だと、切崩すのは樂だが、其の代り崩壊し易いから、

一時的な支へも、充分にしなければならぬし、又覆工も丈夫にする必要がある。

切崩しに當つて、丈夫な假支へを要する様な、崩壊性の多い地盤は、假支へには勿論、覆工に對しても、或る壓力を及ぼすが、之を技術語で、一般に土壓 (Earth Pressure) と稱する。

此の土壓の力學的な性質を知ることが、トンネルの技術にとつても、必要であるが、之は應用力學の一部門、「土壓理論」の研究にまたねばならない。併し今日此の理論の進展も、精々、性質の單純な土砂の土壓現象に、適用し得る程度であつて、實地に出會ふ、各種の地質に於ける複雑な土壓現象を取扱ひ得る迄には、到つてゐない。従つて、工事に際し實際に出會ふ色々な土壓現象に對しては、實地の經驗智識に依る判斷にまたねばならない場合が多い。

地質と
地表から深いトンネルでは、たとへ崩壊性に富む土砂類の地質でも、決して地表迄の土砂が、壓力を及ぼすものではなく、堀鑿中に、地盤を緩める程度に依つて變化する。此の緩める程度は、同じ地質同じ形のトンネルでも、工事方法、即ち堀鑿の仕方や、堀鑿後覆工を施工する迄の期間等に依つて、違つて來るが、これ等も、理論的に研究することは、なか／＼むづかしい。又地質が岩磐の場合は、其の弱い割目や、離れ易い層等から、地盤がゆるんで、意外に大きな

土壓が掛つてくることが屢、あるが、これ等も、偶然的なもので、理論的には決定出来ない性質のものである。又トンネルに限らず、土留擁壁等でも、同じ現象があるが、掘鑿中に地盤を緩めてる時には、相當大きな土壓があつても、一度覆工を施工して、地盤一體をしつかり支持してしまふと、一旦緩んだ天然地盤が、自然に落着いて締り、土壓としての力が弱まる傾向がある。これ等も、なか／＼、理論的には取扱へない複雑な現象である。こんな譯で、今日、土壓理論から、力學的に、假支への必要強度や、覆工の形、寸法等を決定することは、一般にむづかしいのである。

尙、前記の切崩しに對する地盤の硬軟、土壓としての地盤の崩壊性以外に、トンネルの技術に關係のある地質の現象には色々なものがある。次にこれ等につき簡單な説明をすると、

一、膨脹性

地質に依つては、崩壊性と區別される、膨脹の性質があつて、之が意外に大きな土壓を起すことがある。

斯かる性質を有する地質は、頁岩又は泥灰岩其他之に類似の岩石が風化腐朽した軟粘土、

蛇紋岩の變質して軟質岩となつたもの、火山岩が其の割目に沿うて噴出した熱、水蒸氣、硫氣等の作用で、變質腐朽した溫泉餘土等である。

日本の鐵道トンネル工事に於て、斯かる地質に遭遇し、頑丈な假支へ、時には完成した丈夫な覆工さへ、破壊されて、工事上大なる苦心をなめた實例がある。此の膨脹性の地質には、餘り崩壊性がなく、よしあつても、膨脹の進行に伴つて緩慢に發生し、切崩し後直に、假支へを必要としないものさへある。處が膨脹から來る其の壓力が、極めて大きいので、意外な破壊作用を起すのである。

伊豆地方の火山地帯を貫いたトンネルである、東海道線中の丹那トンネル、泉越トンネル、伊東線の宇佐美トンネルでは、溫泉餘土の膨脹性の爲に、非常な困難をした。又房總線の嶺岡トンネルでは蛇紋岩、大糸線（糸魚川、大町間）の大野トンネル、羽越線の折渡トンネルでは風化粘土に出會つて、同様、工事上意外な苦勞をした。

二、地下水或は湧水

地下水も其の量が少く壓力が小さければ、工事上大したことはない。併し、大量で、壓力

が大きい場合には、トンネル内に大湧水となつて、流出して来るから、工事に甚だ厄介である。特に、軟い崩壊性のある地質に、之が伴ふ場合には、恐る可き、大崩壊事故を起すことがある。此の湧水が、河とか、湖とかの地表水と通じてない、一般の地下水に依る場合は、之を放流して置くと、時日の経過と共に、漸次其の量と壓力とを減ずるのが普通である。

地下水の爲、苦しめられたトンネル工事の例は極めて多い。特に地表深くもぐる長大トンネルに於て、多くの経験がある。難工事で名高い丹那トンネルの施工を苦しめた主な原因は、高壓多量な地下水であつた。其の中には、水量、毎秒三・四立方米、水壓、毎平方糎二〇疋と云ふ大湧水があつた。又最近工事が完成した、合衆國の長大水路トンネル、サンジャシント(第六頁参照)では、水壓、毎平方糎四二疋と云ふ大量湧水に遭遇して工事に苦心した。又世界第一位の長大鐵道トンネルである、シンブロン・トンネル(第四頁の表参照)でも、多量の湧水に見舞はれたが、其の中心近くでは、多量な高熱の温泉にぶつかり、非常な難儀をした。一つの温泉で、湧水量が、毎秒〇・〇九立方米、溫度が攝氏四七度と云

ふのがあつた。

三、地表水の浸入

之は主に、河底や海底に、トンネルを掘る場合に起るのだが、此の場合には、一般の地下水と違ひ、時間的に減水、減壓の見込がない。地質が丈夫で、崩壊性がなければ、未だ始末がいくが、さうでない場合には、崩壊と共に、トンネル内が大洪水となる心配があるから、工事に特別な方法を考へなければならぬ。

第二五節と第二六節に於て説明するシールド工法と、壓搾空氣工法とは、主として此の場合に採用される施工方法である。

四、地熱

地表下深く穿つ長大トンネルに於ては、地熱が問題になることがある。此の點で有名なのは、前記の温泉に遭遇したシンブロン・トンネルで、作業上坑内の溫度を冷却する爲には、多量の冷水、冷氣を送入する等非常な苦心をした。又伊東線の宇佐美トンネルでは、變質した安山岩中の硫化鐵が、大氣に觸れて酸化する化合熱の爲、工事中坑奥の氣温が、攝氏

三七度位迄昇り、作業上苦勞をしたが、換氣に努めると共に、作業現場に氷塊を挿込んで冷却に利用した。

五、天然瓦斯

炭礦等では、珍しくないが、トンネルでも、天然瓦斯の噴出に苦しめられることもある。わが國でも實例はあるが、何れも少量であつた爲、大きな危険をとまなはなかつた。此の點で有名なのは、世界第二位の長大鐵道トンネル、アペニン(第四頁の表参照)である。此のトンネルでは、工事中、多量のメタン瓦斯に出會ひ、トンネル史上、珍しい爆發火災の大事故を惹起し、非常な難工事を續けた。又合衆國サン・フランシスコ市水道用の長水路トンネルである、コースト・レーンジ(第六頁参照)でも、メタン瓦斯の爲、爆發事故を起し、色々な用意のもとに工事を續行した。

六、地盤内の應力

一般に地盤の下層は、上層の自重から、壓力を受けてゐるが、地質が弱ければ、トンネルを掘つた際、地盤は此の壓力の爲に崩壞して、之が土壓としてトンネルに作用する。之は

普通の土壓であるが、かう云ふのではなく、地盤が、地殼の變動に依つて歪められ、其の時受けた複雑な應力が、局部的に残存してゐて、之が、トンネルの掘鑿で平衡を破られ、土壓として作用することがある。

例は比較的少ないが、シンブロン・トンネル等に其の顯著な例があつた。又日本の最長鐵道トンネルの清水トンネル(第四頁の表参照)でも、ごく局部的ではあつたが、此の現象が見られた。

七、地盤の移動

屢、或る區域の地盤が、全體的に極めて徐々に動いてゐる場所があるが、結局之は、山崩なり地沈なりに發展する。又移動はしてゐないが、構造上から、僅かな地盤の平衡状態を破ると、直ちに移動を生じ易い状態にある場所もある。

斯かる地點に、不用意にトンネルを掘ると、トンネルを通す地盤自體が、移動或は大崩壞を來して、トンネル全體、或は其の大部分を破壊に陥れることがある。之は構造物としてのトンネルに、局部的に作用する土壓や、部分的に起る地盤の崩壞と違つて、大規模に構

造物全體を動かしてしまふものである。

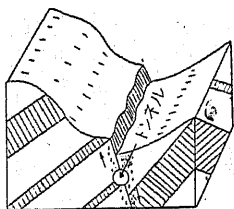
此の例は、非常に多いが、有名なのは、世界第四位の長鐵道トンネル、ロッシュンベルグ（第四頁の表参照）である。工事中、北口から二軒半許りはいつた地點で、突如大崩壊事故があつて、トンネル延長一・八軒の區間を埋没した。此の爲にトンネルの方向を一部變へて、此の崩壊區間を迂回して完成した。わが國の鐵道トンネルにも、例は數多あるが、鐵道開通後、此の事故に遭ひ、線路の變更を餘儀なくされたものでは、關西線の龜ノ瀬トンネル、磐越西線の松野トンネルが著名である。

以上に挙げた諸現象は、其の程度が大きいと、何れもトンネル工地上、困難を來すものであるから、トンネルの計畫に當つては、根本に、斯かる地質區間を極力避けることが大切である。之には、斯ういふ工地上困る諸現象と、地質との關係を明かにする、應用地質學の智識を基にして、豫めトンネルを通す地盤の地質調査をしなければならぬ。

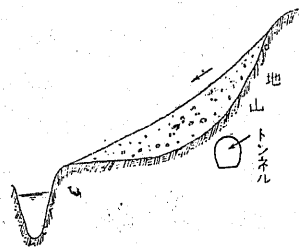
次に前記諸現象と關係の深い、地質上重要な構造的地形的な事項につき、少しく説明すると、
一、斷層帯

地殼の變動に伴ひ、二つの地塊が喰ひ違つた境面には、大小多くの割目をもつ一つの破壊地帯が出来る。これを地質學上、斷層帯または斷層群、時には、簡單に斷層と云ふ。これには、規模にも大小があり、また喰ひ違ひの具合にも違ひがあつて、地質學上色々區別があるが、要するに、此の部分は、破壊を受けた地殼の一つの弱點であつて、地下水が浸透し易く、又破碎割目には、礫や粘土を狭んで、崩れ易くなつてゐるのが普通である。従つて、流水の浸蝕に對する抵抗が少く、地表では、谷や澤や河になつてゐる場合が多い。

圖 二 第



だから、地下で此の斷層帯にトンネルを掘り當てると、高壓多量な湧水に出會ひ、又崩壊の事故を起す危険が多い。それも、トンネルが斷層帯を直角に近く横斷する場合は、未だいゝが、第二圖の如く斷層帯の線内に並行に近く、トンネルが走ると、トンネルの長區間に互り、湧水、土壓からの困難を受ける。第一三頁の二に述べた多量の湧水から苦しめられた、トンネルの多くは、此の斷層に起因するものが多い。



第 四 圖

崖と云ふ。

此の場合にも、前記段丘の場合と同様な、工事上の危険があるが、特に崖錐の場合には、堆積岩層が透水性であり、又傾斜面に堆積してゐる關係から、之を切崩して平衡を破ると、移動崩壊し易い。だから崖錐内に、トンネルを通すと、間々、土壓がトンネルの一侧から強く働いて、偏壓となり、堀整作

する危険がある。だからトンネルは成る可く、第三圖の(1)及び(3)の如く砂礫層内か、或は深く岩層内を通す方が安全である。河や海岸に沿ひ、山側を比較的淺くぬくトンネルの場合に注意を要する。此の失敗をなめたトンネルの實例も、鐵道の建設には、數多くある。

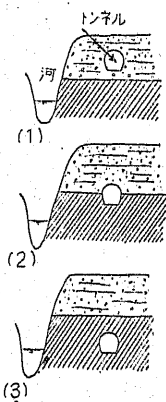
四、崖錐、地亡地

谷川に沿ふ山側には、屢、風化作用等の爲崩れた岩層が、崖の麓に、傾斜堆積してゐる箇所がある(第四圖参照)。之を「崖錐」と稱する。時に之が斷層で出來た、崖の麓に沿うてゐる場合があるが、之を斷層崖

二、褶曲

地層が、地殻の變動から、歪みを受けて屈曲した場合、之を地質學上「褶曲」と云ふ。褶曲にも、其の屈曲の具合に依つて、色々な區別があるが、第一六頁の六に述べた地盤内の應力の原因には、此の褶曲に依るものがある。

三、段丘



第 三 圖

河や海岸に沿ふ岩層の段上に、砂礫層が厚く堆積してゐる場合がある(第三圖参照)。若し岩層が、水を透さない性質のものだと、砂礫層と、岩層との境界面には、地下水が滲出し易い。

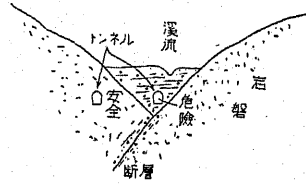
トンネルを、うっかり、第三圖の(2)の如く砂礫層と岩層との境界に通すと、土壓が上部と下部とで異り、堀整作業が厄介である許りでなく、岩層境面からの地下水で、苦しむ心配がある。又此の地下水の量が多かつたり、岩層面が傾斜してゐたりすると、砂礫層が滑動

業上、困難する許りでなく、其の程度が大きいと、第一七頁の七に述べた、地盤の移動に依る事故を惹起する危険がある。

それ故、崖錐地にトンネルを通す、場合には第四圖の如く、成る可く、下部の地山内を通さなければならぬ。

工地上、右の崖錐と同様な危険を伴ふものに、地亡地がある。之は過去に、山崩なり地亡なりを起して、移動した土地である。斯ういふ箇所、トンネルを通して、失敗した實例も數あるが、第一八頁に述べた、龜ノ瀬トンネル、松野トンネルの如きは、何れも此の地亡地に於ける破壊の例である。

其他、峠等の鞍部とか凹地とか、地形上特種な地貌を示してゐる箇所は、多くは斷層とか、軟質岩石とかの浸蝕風化が、其の成因で、不安定な地盤關係をもつてゐるから、トンネルの位置選定上、注意を要する。例へば、第五圖の如き峠の場合、トンネルは、斷層を避け、しかも、堅固な岩石地盤内を通す方が、安全である。



第五圖

六 トンネル技術の内容

第四節に、トンネル技術の根本要素は、掘鑿と覆工だと説明したが、是等の二つの技術は、更に、工事作業上から、細分すると、次の如くなる。

掘鑿を區分すると、

- 一、切崩…天然の地盤を切崩す作業で、岩石だと、爆薬を使用する。
- 二、礮出…切崩した土砂又は岩片は、共に「礮」と云ふが、礮をトンネル坑外に搬出する作業である。
- 三、支保工…切崩後覆工が出来る迄、一時假りに地盤を、崩れない様支持する爲の假構造物を造る作業である。地盤の性質に依つては、此の必要はない。

覆工を區分すると、

- 一、型枠工…覆工の材料には、今日多く、場所詰コンクリートを利用するのが、其の型枠作業である。材料に煉瓦、コンクリート塊等のブロック類を用ひる場合でも、上部アー

チの部分には積立用の支持型枠が必要である。

二、材料搬入：主として覆工材料を坑外より搬入する作業である。覆工材料以外、支堡工
 其他の材料の搬入の必要もあるが、普通覆工材料が、最も多量を占める。

三、疊築てんちやく：場所詰コンクリートの場合には、型枠内への填充作業、煉瓦、既製コンクリー
 ト塊等のブロック積の場合には、其の積立作業である。

以上に區別した諸種類の作業自體は、何もトンネルの工事に限つた譯ではなく、一般の土木
 工事にもあるのであるが、たゞトンネルの工事は、地下にもぐり、開口に比べて奥行の非常に
 深い孔を掘る關係から、作業場所、又これへの往來等が、窮屈で制限を受け、且つ暗黒である
 爲、常に照明のもとに作業しなければならない等の點から、屋外作業に比べて、特殊な技術を
 必要とするのである。

なほ、以上の堀鑿と覆工の諸作業に共通して、トンネル工地上、左の如き附帶的技術が必要
 である。

一、測量……トンネルを掘進する上の方向、水準等を定める作業。

二、照明……坑内の暗黒な作業現場は、照明しなければならない。

三、通風……坑内の空氣は、爆破の瓦斯、労働者の排氣等から、汚毒されるから、之を清淨
 に保たねばならない。延長の短いトンネルでは、自然通風がきくから、其の必要はない。

四、排水……地下の湧水は、坑外に排出しなければならない。

五、坑口切付……トンネルの坑口に達する迄の、坑外切取工事である。

六、坑外設備……堀鑿、覆工、右の諸附帶作業をする爲の諸機械、動力、修繕等の設備、従
 事員の住宅と諸材料の倉庫施設は、之を坑外に準備しなければならない。又此等の運営に
 は、坑内作業と關聯して、運輸交通施設等を完備しなければならない。

トンネルを造るのには、以上に區分説明した諸技術を要するのだが、トンネルの建設に際し、
 期限の上からも、經濟の點からも、合理的に要求通り、之を造り上げるのには、之等諸技術に
 對する諸方法を、相互矛盾なきやう、撰擇安排して、全體的に能率ある総合的な計畫を實施し
 なければならぬ。即ち部分的な技術ばかりでなく、総合的な技術をも發揮しなければならぬ

なほ以上に區分説明したトンネルの諸技術は、何れも現地でトンネルを造り上げる上の「施工」関係のものであるが、實際にトンネルを建設する場合には、なほ、造る可きトンネルの構造其他を決定する上の設計關係の技術が必要である。此の設計關係の技術の内容を、區分してみると、

- 一、トンネル位置の選定。
- 二、トンネルの形、延長、勾配の決定。
- 三、覆工と坑門（トンネル入口）の設計。
- 四、附帶的諸施設の設計：…出來上つたトンネルを利用する上に必要な、照明、通風、排水等の諸施設である。

此等の設計關係の諸技術は、何れも、トンネルを通路として利用する目的に、應じなければならぬのは、勿論であるが、又施工の諸技術と同様、相互密接な關係を有するものであるから、総合的に考へて、全體として合理的な設計を纏めなければならない。又更に、施工の諸技術とも、連繫的総合的に考へて、設計と施工と相互、矛盾なき様考へて、トンネルの築造全體

として、合理的なものとしなければならない。

従つて、トンネルの技術を説明する以上、是等、設計と施工との諸技術を網羅しなければならないのだが、限られた本書に於ては、到底不可能なことであるから、以下、主として掘鑿と覆工とに關する施工技術に就いて説明をするだけに止める。又トンネルを廣く解すると、下向に坑道を掘り下げる、シャフトをも、含めなければならないが、これが説明をも省略する。

七 施工の技術一般

トンネルを造る施工技術も、一般に、他の工業關係技術と同様、其の發達の歴史的な經過は、人力と道具による手工の段階から、動力と機械による機械化への段階と進んでゐる。

即ち、掘鑿、覆工、附帶的諸技術の内容をなす各部分的な諸作業に、各種の有能な機械を利用することにより、是等諸作業の能力を著しく増進せしめ、トンネルの掘進、完成の速度を早めた許りでなく、手工時代に於ては、恐らく征服不可能と思はるゝ、工事上の諸困難を打ち破ることが出來た。併し、今日すべてのトンネル工事が、機械化してゐる譯ではない。機械化す

る爲には、固定資金を要するから、小規模な作業量の短いトンネルでは、機械化は經濟的に引合はない場合が多い。だから、小さなトンネル工事では、機械を餘り利用せず、手工によるのが普通である。

トンネルの工事を進める箇所の関係から、工事方法を區別してみると、

一、坑門口からのみ、工事に掛る場合。

二、坑門口以外に、中途に、工専用シャフトを掘つて、これからも工事を進める方法。

三、坑門口以外に、トンネルと平行して、其の側に、坑門口からの堀鑿に先走る別の坑道（先進坑道 Pioneer drift; Pilot Tunnel）と稱するを堀進して、これからも、堀鑿を進める方法。

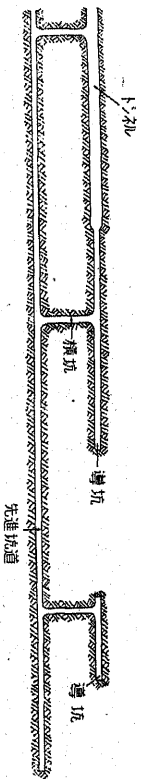
四、地中にもぐらずに、地表から堀割つて、トンネルを造る方法。
とがある。

第一の方法は、最も普通の工事方法で、短いトンネルは、皆此の方法に依つてゐる。兩端坑門口から、工事を進める場合もあるが、時には、一方の坑門口からのみ進める場合もある。第二、

第三の方法は、何れも長いトンネルに利用されるのだが、トンネル工事に掛る箇所を、兩坑門口からの二箇所の外、途中にも増すことが出来るのである。第四の方法は、トンネルが、地表から浅い場合、即ちトンネルの「土被」（土被り）が少い場合に用ひられる特殊のものである。なほ是等の方法につき、今少しく説明すると、

第二の方法は、トンネルの中間、地表から浅い箇所を選んで、地形に應じ、堅、横、斜のシャフトを掘り、これからも、工事を進めるのだが、シャフトを掘る工費を犠牲にしても、本トンネルの促進を期するのが、有利な場合に用ひられる。第三節に擧げた、長水路トンネルは、何れも、此の方法に依つたのであつて、利用したシャフト数は、記載した通りである。鐵道や道路のトンネルでは、此の工専用シャフトを、完成後、通風等の目的に利用することもある。此の方法を用ひるのには、前にも述べた通り、トンネルを通す位置が問題で、途中にシャフトが利用出来る、浅い部分がなければ駄目である。

第三の方法は、米國に於て、實績を擧げたもので、第六圖に示す如く、先進坑道は、本トンネル堀鑿より、先に進めて、所々横坑で、本トンネルと連絡し、これから本トンネルの導坑堀



第六圖

鑿を進めるのである。だから此の先進坑道は、恰も第二の方法のシャフトに相當するもので、地下深くもぐるトンネルで、中間にシャフトを掘る浅い部分がない長大トンネルに利用される。此の平行な坑道を掘る方法は、古く、世界一の長大鐵道トンネル、シンブロン(第四頁の表参照)に、利用されたのだが、眞に先進坑道としての効果を、工事進行上に示したのは、カナダのカナディアン・パシフィック鐵道會社のコンノート(Connaught)トンネルで、延長約七・八九四杆の複線型を、一九一三年から一九一六年迄の僅か三年間で完成した。其後、第四頁の表中に擧げた、合衆國の長大鐵道トンネル、モファット及びニュー・カスケードの二トンネルにも、

此の方法を利用して、其の効果を發揮した。

第四の土被りの浅いトンネルに利用する工事方法には、左の如き三つの種別がある。

- 一、開鑿式
- 二、沈埋式
- 三、ケーソン工法

施設の技術的設備

第一の方法は、地表から、トンネルを通す位置に、トンネルが建造出来るだけの幅と深さの溝を掘り、此の中に露天で、トンネルを造つて、埋め戻すのである。此の工法は都市内の街路下を通る、地下鐵道用等のトンネルに、多く用ひられる。又普通の山のトンネルでも、坑門附近の土被りの少い區間に、屢々用ひられる。

第二の方法は、水底を淺くもぐる水底トンネルに用ひられるもので、第一の方法と同様、トンネルを通す水底に沿うて、溝を掘り、此の中に、豫め陸上で造つた半完成のトンネル構造物を、順次沈下連結して仕上げを爲し、之を埋め戻すのである。此の方法に就いては、更に第二四節に於て説明する。

第三の方法は、第二の方法の如く、豫め造つたトンネル構造物を、地表から、トンネルを通す位置に沿うて、壓搾空氣を利用するケーソン工法に依り、順次掘鑿沈下して連結仕上げるのである。此の方法では、第二、第三の方法の如く、豫めトンネルを造る位置に、溝を掘つて置く必要はないのであつて、陸上、水底何れのトンネル建造にも利用される。なほ此の方法に就いては、第二六節に於て説明する。

以上、工事に着手する箇所關係からの諸方法の何れを採用するかと云ふことは、トンネルの性質、地質地形の具合、期限工費等の經濟關係、又利用し得る技術の如何等を考慮して、技術的經濟的に決定しなければならぬ。

八 坑口切付と坑門

トンネルの坑口は、普通、其の天端から、地表迄の土被が、或る深さになる迄、地盤を切取つてから、設置する。

坑口の地形に依つては、此の切取區間が、短くてすむ場合もあるし、又長くて坑口に達する迄の土工が多量な場合もある。後の場合だと、此の切付の土工をすましてから、トンネルの掘鑿に掛ると、着手迄に、時日を要するので、時に、此の切取を一部に止め、或は、假りに此の部分で坑道で進んで、早くトンネル口に達する方法を、講ずることがある。

坑口には、普通、トンネル方向即ち縦の方向に、土壓が掛るから、之を押へる爲に、土留壁の作用をする「坑門」を造るのが普通である。尤も地盤が丈夫な岩盤類で、此の土壓が掛らなければ、元より坑門の必要はない。又トンネルが、山側に口を出す場合には、トンネル正面の坑門と接続して、側面にも、土留壁を造らなければならないことがある。

トンネルの種類に依つては、例へば市内の道路トンネル等では、坑門は以上の用途以外に、美觀的な關係を考慮する必要がある。

坑口の位置は、以上に述べた諸關係から、地形、地質に應じて、適當に定めるのだが、一般に、坑口部分は、其の正面と左右、三方に切取面がある凹地となるから、其の地質が悪いと、兎角崩壞埋没される機会が多い。又雪國だと、雪崩に襲はれる心配が多い。だから斯かる傾向のある地質地形では、坑口は、成る可く地表面から奥に突つ込まずに、寧ろトンネルが外に露

出する位、地表面から浅く選んだ方が安全である。