

## 第13章 軟弱地盤の隧道

### 第1節 掘鑿方式

隧道の通過する地帯の地質が悪くて、工事中の支保工が重壓を受け、折損したり變形したりする場合には、今迄に述べた方法では甚だ危険であるか、又は全く工事を進める事が出来ないものである。

重壓の原因となる地質は大體次の様な數種に分類する事が出来る。

#### 1. 凝集力なき地質

これは隧道が崖錐や斷層角礫の中を通過するときに常に經驗される事であつて、隧道頂部から可成りの高さまでの重さが、支保工又は覆工に影響して來る爲めである。又何等かの原因で隧道が一度崩壊したとき、復舊の爲めその崩壊土砂の中を掘り進めば、常にこの種の重壓を受けるのである。

#### 2. 膨脹性の地質

風化し易き岩石中の隧道では、掘鑿後その新しい面が大氣に觸れると、著しくその容積を増して、非常な重壓が加はることがある。この實例は吾々が屢々遭遇するもので、古くは羽越線折渡隧道、安房線峰岡隧道、最近では大糸線大野隧道、伊東線宇佐美隧道等は有名なものである。

#### 3. 地表の山亡りによる偏壓

風化した表土の中へ雨水が滲み込んで地亡りを起したり、隧道を掘鑿した事が直接原因となつて表土が亡り出し、其の爲めに隧道が甚だしい重壓を受ける場合である。此の種のものは急に土壓が増加するので、往々にして崩壊事故の原因となるものである。

之等の諸種の土壓に對して講ずべき對策の大體の方針としては

1. 掘鑿に際し出来るだけ山をゆるめない事。従つて普通の場合には大きな斷面を一時に切り擴げる事なく、小さい斷面で少しづつ掘り進み、掘鑿と同時に又は掘鑿に先立つて縫地により完全なる山留めを施す事。

- 2. 掘鑿された部分は永く支保工のまま放置する事をさけ、出来るだけ早く覆工を完成する事。
- 3. 覆工の形を土壓の方向や性質に適する様考慮する事。即ち一方からのみ側壓を受ける場合には抱きを入れ、全體に重壓を受ける場合には圓形に近い断面を撰ぶ事は覆工の章で述べた通りである。

以上の條件に適する種々の施工方法があるので、次にそれを列記すれば

- 1. 逆巻法又はベルギー式掘鑿法 Belgian method
- 2. 獨逸式掘鑿法 German method
- 3. 伊太利式掘鑿法 Italian method
- 4. 米國式掘鑿法 American method
  - (1) Wall plate drift
  - (2) Needle beam
- 5. 盾構を用ふる掘鑿法 Shield system

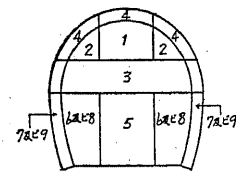
### 第2節 逆巻法又はベルギー式掘鑿法

一般に側壁の掘鑿に先立つて拱を完成させ、天端の土壓を拱で受けて、然る後側壁は小部分づつ順次に抜き掘りをして施工する工法を逆巻法と云ひ、頂設導坑によつて掘鑿し、逆巻法によるものをベルギー式と云ふ。

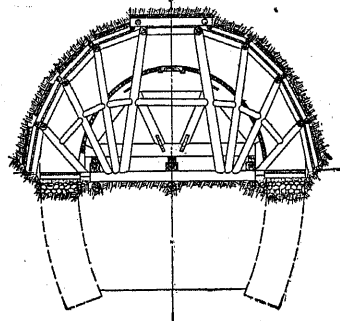
例へば日本式で掘鑿する場合頂設導坑、丸型、中脊の順に掘鑿を

終つたら、直ちに拱の疊築に掛るのである。此の場合大引は自然地盤の上へ直接に据えられ、其の上へ均し桁を渡し、楔材を用ひて拱架を据えつける。そして拱の底面に相當する所には皿板を敷いて、其の上へ混凝土又は塊材の覆工を施し、木外しをなしつつ作業をつゞけて迫め終るのである。此の際に側壁の完成までの拱の沈下を考へて、拱架の位置を多少上げ越して置く必要がある。上げ越しの量は地質によつて判断して定めるので、通常は 5 cm 乃至 10cm である。第 283 圖はこの時の状態を示すものである。

拱が完全に硬化するのを待つて大脊を掘鑿し、土平は第 284 圖の様にならば、左右千鳥に抜き掘りして側壁の一部を完成し、これに拱の荷を受けて、最後に残りの土平を掘鑿し、その部分の側壁を作り、覆工を完成するのである。此の際拱架を外す時期はなるべく早いのを理想とするが急ぐ場合には第一回側壁疊築が硬化したら外すのを通例とする。



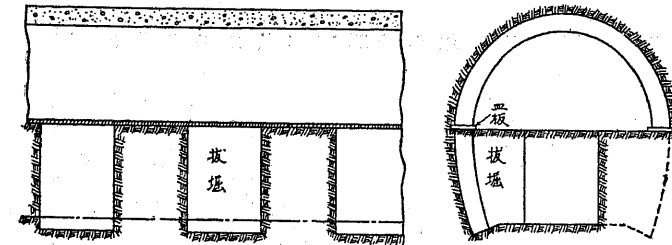
第 282 圖 逆巻法施工順序



第 283 圖 逆巻法施工圖

とするが急ぐ場合には第一回側壁疊築が硬化したら外すのを通例とする。

第 284 圖 逆巻法側壁施工圖



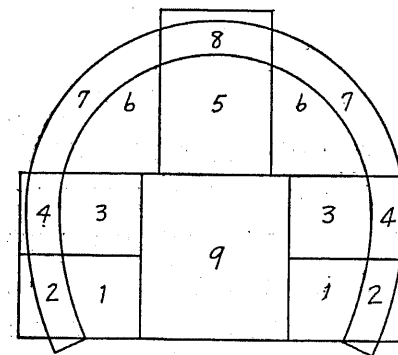
新填式で掘鑿中急に地質が悪くなつた時もこれと同様にして逆巻き法を行ふ事が出来る。ただこの場合には底設導坑が掘鑿してあると云ふ違ひがある丈けである。

現今我が國の隧道では時にこの逆巻法が用ひられるが、最初から逆巻法を用ふる様に計畫することは稀であつて、偶々地質が悪くなつた爲めにその一部にやむを得ず使用すると云ふ程度のものである。この工法による時は拱架も普通の工法に比して三倍に近い長時間、取りはずす事が出来ず、又作業個所の土平を掘鑿するのに少くも二回に分けて抜き掘りしなければならないので、奥の作業を可成り支障するからなるべく避けるのが普通である。而も土壓が更らに強くなればこの工法も用ふる事は出来ないのである。

### 第3節 獨逸式掘鑿法

この方法は最初フランスで施工されたのであるが、後に主として獨逸で用ひられたので獨逸式と云はれて居る。大體に於て覆工の部分に沿つて掘鑿をなし、側壁から覆工作業を進めて拱を完成し、然る後大脊に相當する個所を最後に掘鑿するのである。こうすれば支保工を施す断面は比較的少なく、且つ逆巻法の様にならば上部を先きに築造する等の無理は起らないのである。そして中央部に残る地山は支保工や拱架の支持に大きな役目をさせる事が出来る。然し單線鐵道の隧道の如く幅の比較的狭いものでは兩側壁導坑の間に残る部分が甚だ少なくなるので不都合であるが、複線隧道以上

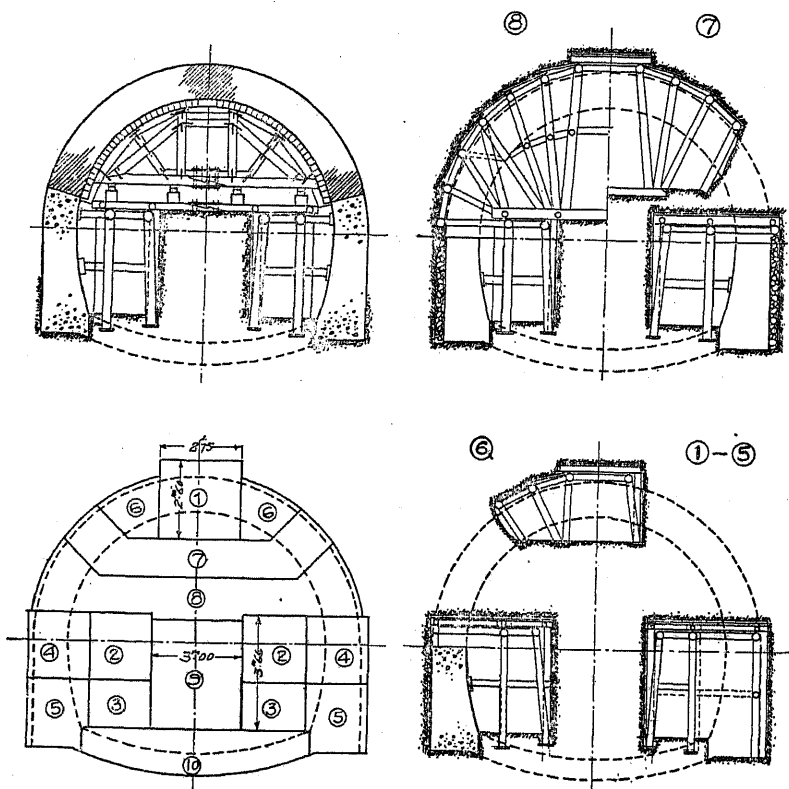
第 285 圖 獨逸式掘鑿順序



上の大型隧道で、地質の悪い場合には有利な方法である。

第 286 圖は熱海線小峰隧道の一部に用ひられた方法で、先づ(2)及び(3)を掘鑿して支保工を施し、上下二段に線路を敷設する。下段は掘鑿用の材料と礫の運搬に使用し、上段の線路は覆

第 286 圖 熱海線小峰隧道に於ける獨逸式掘鑿

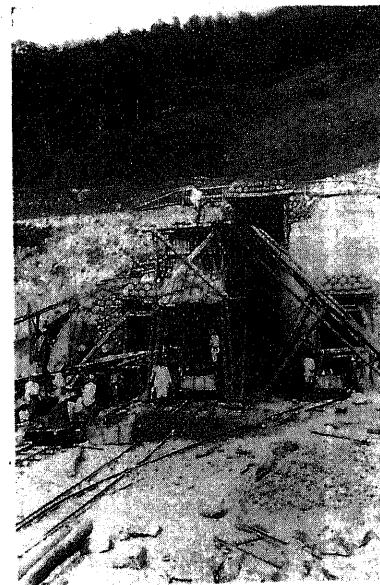


工用混凝土の運搬に用ひたのである。次ぎに(4)を掘鑿して(5)を掘り下げると直ちに側壁混凝土を打ち込む。それと同時に他の側の(4)(5)を掘鑿して左右交互に掘鑿と混凝土打ち込み作業を施行して進んだのである。頂設導坑は側壁導坑より少々遅れて進め(6)(7)(8)と支保工を施しつつ順次掘り下げて上部の覆工を完成してから(9)を切り取る。最後に仰拱部の(10)を小區間づつ掘り取って仰拱混凝土を打ち、全断面を完成するのである。其の後これと同様の方法を熱海線丹那隧道東口坑口附近にも用ひられた。第287 圖は其の實況である。

### 第 4 節 イタリア式掘鑿法

イタリア式掘鑿法は伊太利の Forgia & Benevento 鐵道の Cristina 隧道で初めて採用された

第 287 圖 丹那隧道東口坑口附近の獨逸式掘鑿



ものである。この隧道は非常に悪質の粘土層で、種々の方法を試みて失敗をした後、この方法を用ひて成功したので、伊太利式又は Cristina 式と稱せられる。

この方法では隧道の下の部分を先づ掘鑿し、仰拱と側壁の覆工を施して側壁の部分を一且埋め戻して終ふ。そこで上の半分を掘鑿し、拱を築造して最後に埋め戻した土砂を再び取りのぞいて、隧道を完成するのである。

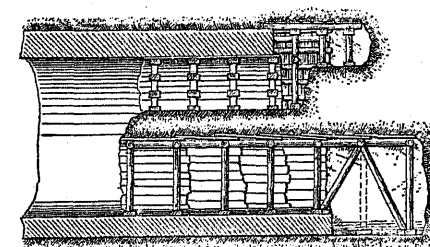
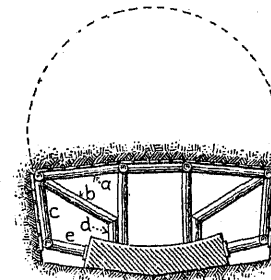
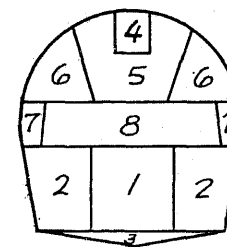
第288圖に於て最初の1の部分掘鑿し、2を切り擴げてから3の盤下げをなし仰拱と側壁を造る。それが出来る直ちに2の部分土砂を以て埋め戻し、頂設導坑4の掘鑿に着手し、日本式と同様の方法で5、6と切り擴げ、7を溝形に掘り下げて豫め施工した側壁の上面に達し、ここから拱の覆工を始めてこれを完成する。最後に8の部分と埋め戻した2部分を掘鑿し

て作業を終るのである。この作業で各切擴げの間隔は 2m 乃至 3m 以上にする事は困難であるから進行は非常に遅いのである。

第 288 圖 伊太利式掘鑿法施工順序

第 289 圖 伊太利式掘鑿法 下部支保工の例

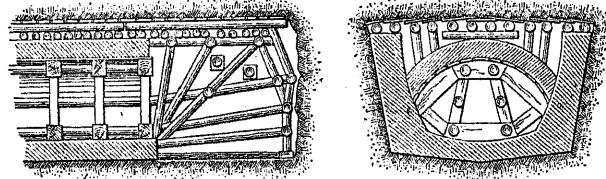
第 290 圖 伊太利式掘鑿法縦断面圖



又側壓の大きい隧道では2の部分土を埋め戻しただけではなほ不充分で、兩側壁は中心へ

向つて押し出される場合がある。イタリーの Stazza 隧道ではこれを防止する爲め埋め戻しをする代りに第 291 圖の様に一時的のアーチを両側壁に懸け渡して側壁を押へ、前と同様の方法で拱を疊築して、最後にこの一時的アーチを破壊して取りのぞいた。

第 291 圖 Stazza 隧道の伊太利式掘鑿



伊太利式の利點は、隧道の上下二つの部分を全く別々に掘鑿し、支保工を施し、覆工を築造するので重壓の隧道には適當である。特に他の諸式の様子に仰拱を最後に施工する代りに、最初に仰拱から始めて次第に上部の覆工を施す事は覆工作業の完全を期する點に於て有利である。この方法の不利益な點は工費が甚だしく嵩む事で、その爲めに我が國では未だ實例がない。

### 第 5 節 米國式掘鑿法

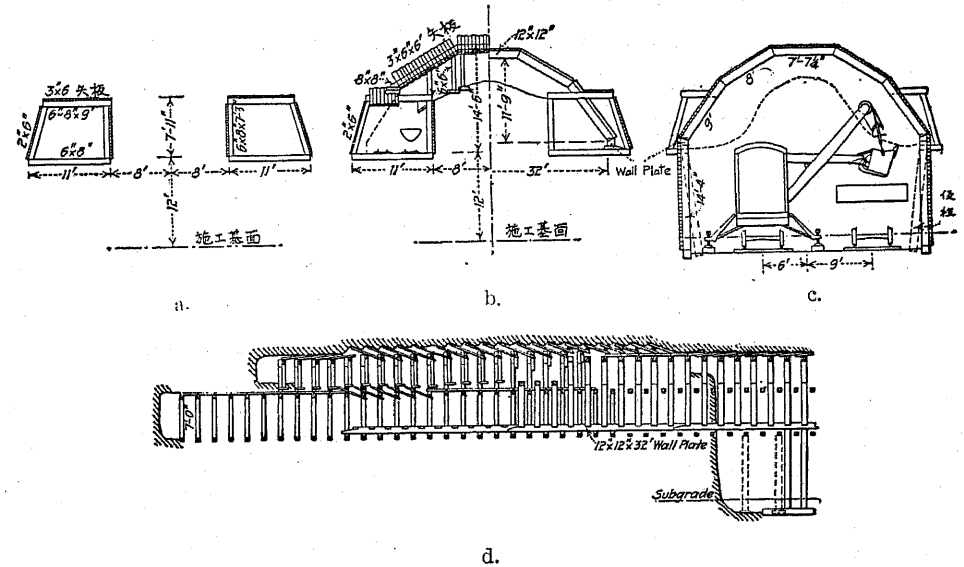
#### 1. Wall Plate Drift (敷桁導坑) による工法

米國に於ける掘鑿方式は主として第 12 章第 3 節に述べたベンチ式であるが、此の方式に従ふ時は悪い地質に出合つた時には普通の方法でアーチ式支保工を組立てる事が困難であつて、軟弱なる地盤に對して特殊の工法を案出する必要がある。Wall Plate Drift 法は恰も獨逸式掘鑿法で側壁導坑を掘鑿し、側壁の覆工を完成してから順次上部の作業を進めると同じ様に、第一にアーチ式支保工の Wall Plate に相當する個所に導坑を穿ち、この導坑から假支保工によつて上部に切り擴げながら Wall Plate を据へて本式にアーチ式支保工を組み立てるのである。Wall Plate より上部の土壓を完全にアーチ式の支保工で受けた後に Wall Plate を假柱で受けながら下部を掘鑿して次第に本柱 (Plumb Post) を入れて行く。又假柱で一時的に受ける事が危険である場合には、主柱導坑 (Plumb Post drift) を掘鑿して主柱を建て、アーチ式支保工を完成してから中央部の掘鑿をなす事もある。第 292 圖は加奈太太平洋鐵道の Rogers Pass 隧道の坑口附近で採用した方法である。

この隧道は延長 5 哩の複線隧道で、1913 年に着手し 1916 年に完成したものであつて、其の東口から 1,300 呎までの間は角礫であつたので、第 292 圖に示す様に先づ兩側に Wall Plate

Drift を設け、これより拱頂に向つて假支柱を用ひて掘鑿し、兩坑を連絡したる後 Wall Plate

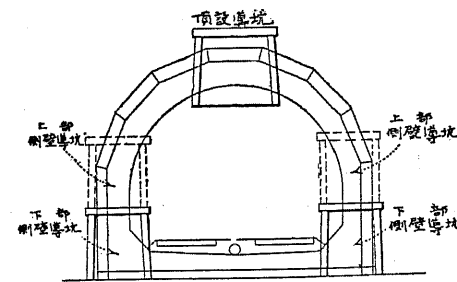
第 292 圖



上に 5 片よりなるアーチ式支保工を組み立てる。拱の支保工が完成すると第 292 圖 c の如く大型のショベルによつて中脊大脊の部分を掘鑿し Plumb Post を建て込む。

西口 400 呎附近では大玉石に水を含んだ地質であつて、第 293 圖に示す様に側壁導坑及び頂設導坑を併進させ、これ等を連絡させ、主柱から建込みを始めてアーチを組立て Wall Plate を用ひなかつたのである。

第 293 圖



要するにこの方法は小部分づゝ掘鑿をしてアーチ式支保工を組み立て、然る後永久的の覆工を施すのであつて、獨逸式掘鑿法を米國式のアーチ式支保工組立に應用したものである。

#### 2. Needle Beam を用ふる工法

この工法は軟弱な地盤の個所にベンチ式掘鑿を施行する時に利用するもので、アーチの部分に加はる土壓をニードルビームと稱する桁から放射狀の支材で受け下部の掘鑿をなし、Wall

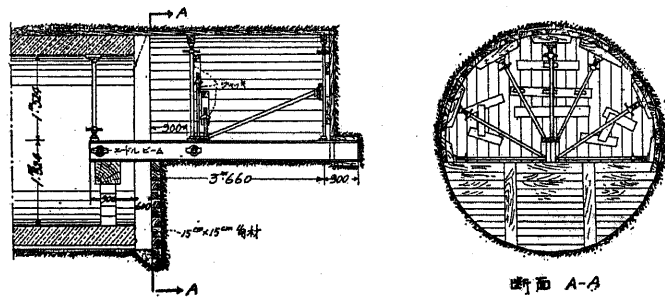
plate を使用する場合にはニードルビームより水平の腕を出して其の下面を支へ、本柱を建てるまで一時 Wall Plate を支持して、下部の掘鑿を安全にせんとするものである。

断面の小さい隧道では第6節にのべるシールド工法と同様の目的を達し、設備の簡単な割合に、工法の熟練と注意とによつてはシールドに劣らぬ位に安全で、進行も速いのである。

使用されるニードルビームは隧道の断面、地質其の他の条件によつて一定しないが角材、Iビーム又は兩者を組み合せたものが最も多く、施工の順序は、先づ上部の断面を掘鑿してニードルビームを1本乃至2本渡し込み、末端は施工基面から支柱を建て、支へ、先端を上部の掘鑿した部分の盤の上に支へ、又は特に切端に切り込んだモンキーホールと稱する角孔に差し込んで充分の支持力を與へる。次に放射状ジャック又は支材でアーチの部分の土壓をニードルビームに受けた後、ビームの下に當る個所を掘鑿して直ちに覆工を施すのである。

第294圖は米國クリーブランド市の下水道工事に用ひた實例で、ニードルビームを完全に組み立て、下部の掘鑿に着手せんとする時の状態である。この隧道は地質は Quicksand で断面は 10 呎乃至 11½ 呎の圓形であつた。使用したニードルビームは厚さ 3 吋の角材を 12 吋の I ビームの兩側に抱き合せたもので長さ 20 呎、放射状の支材は皆ジャッキである。

第 294 圖 クリーブランド下水隧道に於けるニードルビーム

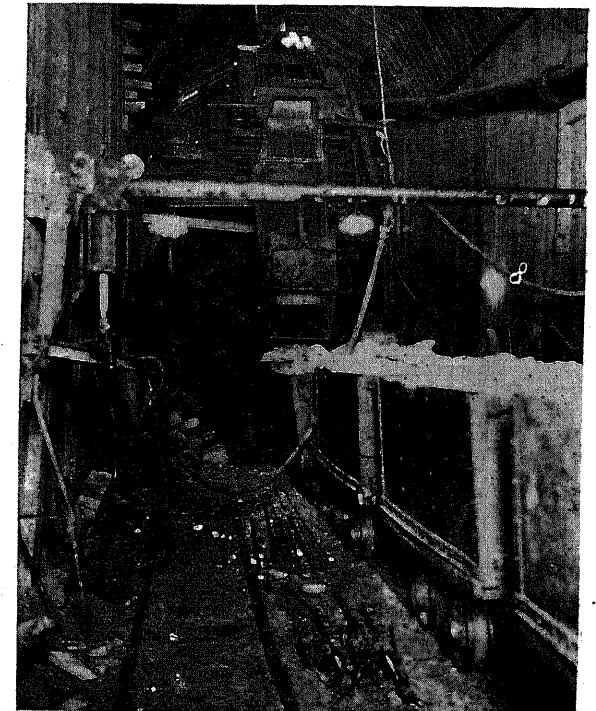


又 Detroit 市の水道工事で、粘土の地盤で直径 11½ 呎の圓形断面の隧道を掘鑿するのに 2 本の I ビームと木材とを組合せた長さ 22 呎のニードルビームを用ひ、一日三交代で、13½ 呎の進行を得て居る。

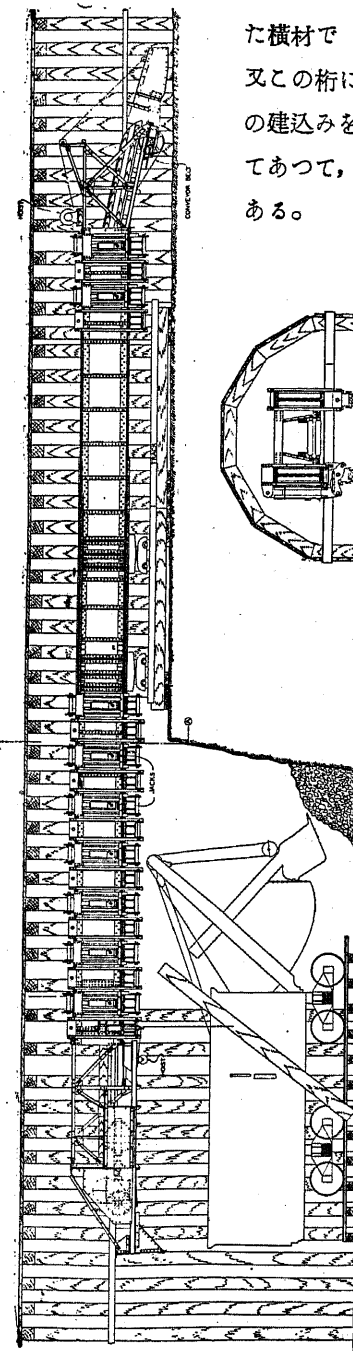
Moffat 隧道に用ひたニードルビームはこの種のもので、中最も大仕掛けのもので、前述のニードルビームが單桁として働いたのに反し、この場合はカンチレバーとして作用させたのであつて、設計者の名を取つて Lewis Travelling Cantilever Girder と呼ばれた。第 295 圖は其の構造を示すもので高さ 42 吋長さ 65 呎の可動式の鋸桁を上段の掘鑿盤に据え、先端に取りつけ

た横材で Wall Plate を受けて安全に下段の掘鑿を行ふ事が出来た。又この桁には小型のホイストが取付けてあつて、主柱を吊り上げて其の建込みを容易にし、尚ほ鋸桁の内側にはベルトコンベヤーが設備してあつて、上段の礫をベンチの後方に送つて運搬車に積み込んだのである。

第 296 圖 Lewis Girder の背面



第 295 圖 Lewis Grauellling Cantilever Girder

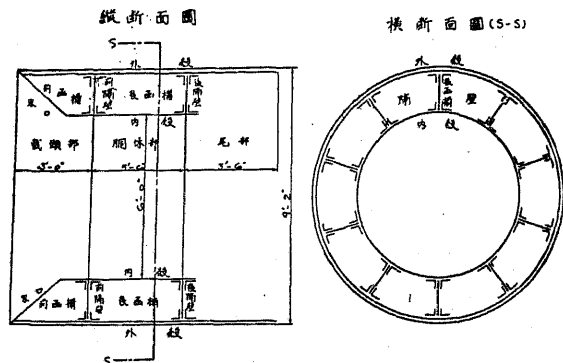


### 第 6 節 盾構を用ふる掘鑿法

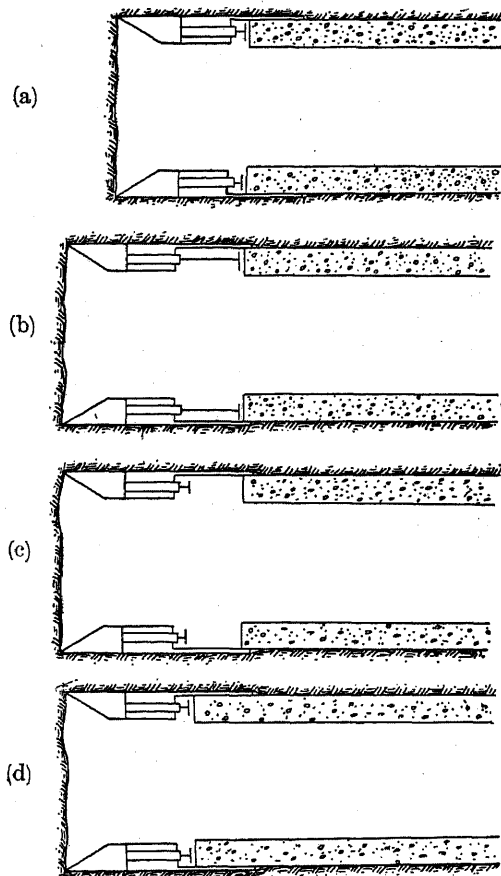
#### 1. 總 説

此の方法は元來水底隧道の掘鑿に用ひられるもので、1818 年佛人 Sir Isambard Brunel が英國に於て特許權を得、つづいて Thames 河の水底隧道に實施されたのが最初である。

第297圖 丹那隧道水抜坑に用ひたる盾構



第298圖 盾構作業順序



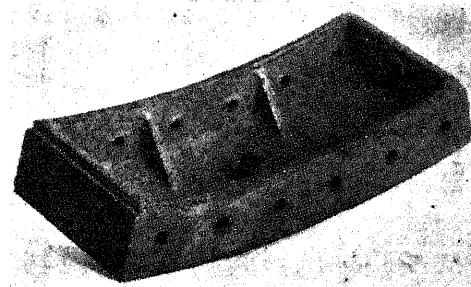
其の後歐米の軟弱地盤の隧道又は水底隧道に盛んに用ひられる様になつて發達を遂げ、今日は水底隧道掘鑿の重要な一方法となつたのである。我が國では羽越線折渡隧道と熱海線丹那隧道の水抜坑に各短期間用ひた二つの實例があるに過ぎない。

この掘鑿法では盾構 (Shield) と稱する鋼製の管狀の構造物を隧道の

奥端に据えて、掘鑿の進行につれて強力な水壓打重機 (Hydraulic Jack) によつてこれを地中へ押し込んで行くのである。盾構は第297圖に示す様に大體双口 (Cutting edge) 胴體 (Body) 尾部 (Tail) の三部から出來て居て、双口は斷面を楔狀として土砂の中に押し込むに都合のよい形とし、胴體には其の周圍に沿ふて多くの水壓打重機を備へて居る。尾部は盾構が打重機の運轉によつて進行した時、既に完成した覆工と盾構の胴體との間の土砂を一時支へて、新しい覆工を其の内部で組立てられる様になつて居る。第298圖は其の作業の順序を圖解したもので、a は覆工が出來上つて盾構を進行させる準備が出來た時、b は打重機が働いて盾構が押し進められた處である。c で示す様に打重機を縮めて土壓を盾構の尾部で支へ、d 圖の如く其の内側へ新しい覆工を施し、次にこの覆工を打重機の支へとして次ぎの進行をするのである。これを繰り返す事によつて盾構の通過した區間は完全に覆工が出来る。盾構式の掘鑿をな

す場合は覆工完成後直ちに打重機の支へとして働かせる必要があるので、鑄鐵又は鋼鐵を以て覆工をするのが普通である。其中第299圖の如き鑄鐵セグメントによつて覆工を施す事が最も多い。

第299圖 覆工用鑄鐵セグメント



## 2. 盾構の構造

### a. 外殼 (Skin)

盾構の外周を Skin と稱し通常數枚の鋼板を合せ銲接又は鑄接して作られる。其の直徑は尾部の内側で組み立てられる覆工の外徑によつて定まるのであるが、盾構尾部の内側と覆工の外側との間には一定の餘裕をとる必要がある。この餘裕は覆工組立作業の爲めと盾構が多少曲つて推進された場合とに役立つもので歐米に於ける實例の平均は盾構直徑の 0.8% である。この餘裕が多過ぎるとそれだけ餘掘の量が増加し従つて覆工の背面に裏込めとしてモルタル注入等を行ふ場合には其の量も増加する。又次章に述べる壓搾空氣掘鑿法を併用する場合には、その空氣の漏出の大なる原因となるものであるから作業に差支なき限り小さい方がよいのである。

尾部の長さは覆工の1延しの長さ即ちセグメントの幅によつて定まるので、セグメント1個の幅と既設の覆工の外側に残つて上部の土を支へる爲めの重なりとを加算したものである。稀れには2個のセグメントの幅をどつてなほ既設の覆工に一部重なる丈の長さを有するものもある。尾部の長さが長ければ覆工の組立には便であるが、一方尾部は盾構の最も弱い處であつても破損した場合には修繕も困難であるし又尾部が長くなると推進力も多く要するので、出来る丈短い方が全體として有利な場合が多い。

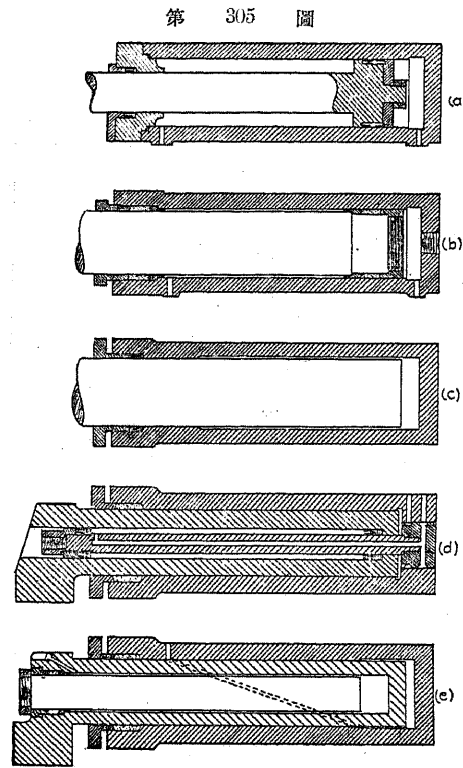
### b. 双口

双口は盾構の最先端にあつて推進に際し地山の中に喰ひ込む部分であるから充分強い構造と





水圧ジャッキは第305圖に示す様な構造を有するもので(a)及び(b)は Piston Type と稱せ



第 305 圖

られ、小型の盾構に多く用ひられる。この型のもは内部のバックギヤを修理する時に全部を分解しなければならぬ不便があるので其の爲めにcの如き単働式のものも用ひられた事もある。単働式ジャッキのバックギヤは外側から簡単に修理する事が出来るがプランヂャーを戻す時手で押し戻さなければならない。この缺點をのぞく爲めに補助のプランヂャーを設けて水圧に依つて主プランヂャーを押し戻す Single acting type with auxiliary plunger と云はるゝものがある。(d)(e)はその設計を示したもので、(d)に於てはプランヂャーが第2の小ピストンのシリンダーと成り、その小ピストンロッドは主シリンダーの底部に固定して居る。主プランヂャーが延びて推進の仕事が終つたら、プランヂャー内部の小シリンダー内に壓力水を入れると、ピストンが固定して居るのでシリンダーである主プランヂャーは元へ戻る。

(e)の設計では前進の際内側の小プランヂャーは主プランヂャーと共に押し出され、後退の際は小プランヂャーは覆工に押しつけられて、主プランヂャーのみシリンダーの中に押し戻される。小プランヂャーは此の操作の済んだ後手で押し戻すのであるがこの場合には(c)の時の様にシリンダーの径が大きくないので簡単に押し戻す事が出来る。

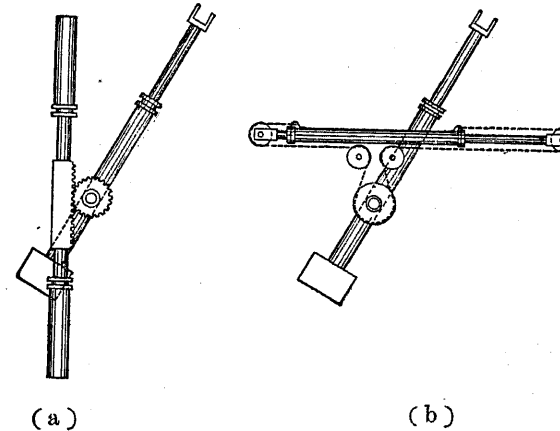
この水圧ジャッキを操縦する壓水管及びヴァルブは隔壁面に設けられ第306圖の様に左右對照に配置される。

(e) Segment Elector

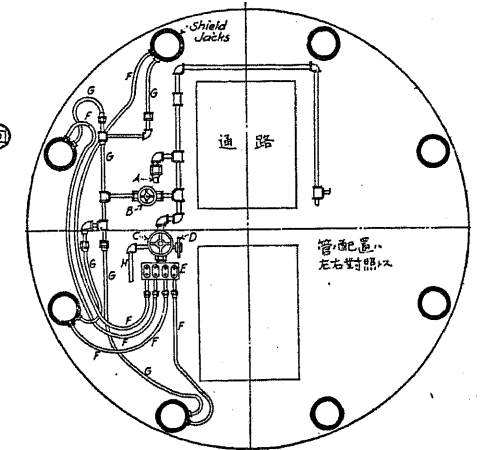
小型盾構では覆工用のセグメントを組み立てるには人力のみによるのであるが、大型のものになるとセグメントを所定の位置に持ち運ぶ爲めに一種の架設機を用ふ。架設機は隧道中心線に平行な水平軸の周圍に廻轉する伸縮自在の腕がその主要なる部分であつて、この腕を廻轉する爲めと伸縮する爲めに2個の水圧ジャッキを備へて居る。第307圖は Elector の略圖であつ

て(a)は廻轉用水圧ジャッキが垂直に取りつけられて rack and pinion によつて腕を廻轉させるもの、(b)は水平のジャッキと滑車及びチェーンで廻轉させるものである。廻轉腕の先端は

第 306 圖 Segment Elector



第 307 圖 水壓管配置圖



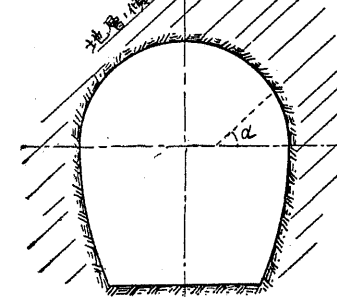
セグメントを掴む装置になつて居て、盾構が推進すると直ちにこの Elector によつてセグメントを1個づゝ順々に掴み腕の廻轉と伸長によつて 1 ring の覆工を完成する。腕の他端には Counter weight がついて居てその廻轉を容易ならしめる様設計される。

第7節 實 例

1. 折 渡 隧 道

羽越線折渡隧道は延長 1,489 米の單線隧道で、設計の勾配は秋田口より 1/600、岩谷口より 1/100 の上りで、中央部に於て拜み合せとなつて居たが、

第 308 圖 折渡隧道の傾斜層



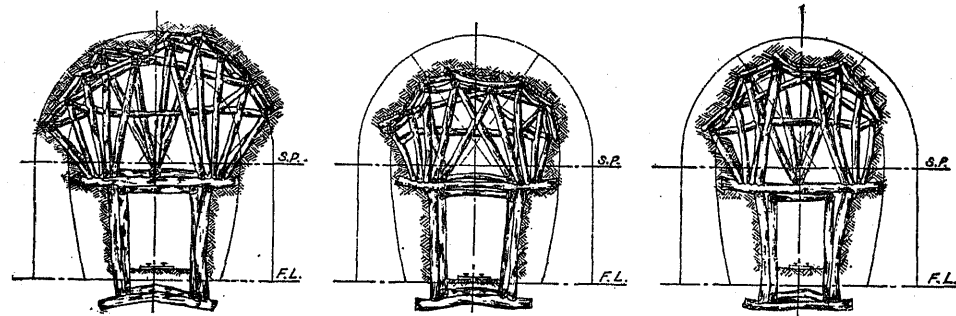
シールド工法を用ひた爲めに 1/825及び 1/60 の勾配を入れねばならぬ結果となり、中心線は最初直線の計畫であつたものが施工の結果は坑内に半径 1,600 米の曲線 2ヶ所を設置するの止むなきに至つた。

地質は主として軟質の頁岩で、掘鑿して1週間位放置すると表面風化し、甚しく膨脹する性質を有し、加ふるに地層は第308圖の如く水平面と10度乃至70度の傾斜をなして居たので、偏壓も働き、施工を一層困難ならしめた。



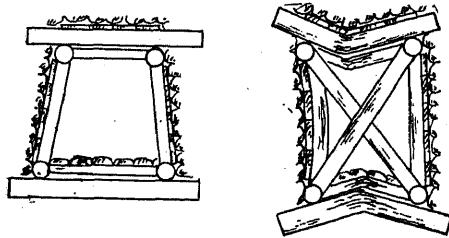
大正6年5月兩口同時に日本式掘鑿法によつて著手され、岩谷口は良好な頁岩であつた爲め順調に進行したが、秋田口は最初から悪質の粘土層で水を含むと崩壊する虞があつたので坑口を20米延長し、一方坑奥は導坑の進行につれて地質益々軟弱の度を加へ、湧水も増加して支保工の受ける壓力大となり、第309圖に示す如く變形して日々其の補強に忙殺される状態であ

第309圖 折波隧道支保工挫折變形の狀態



つた。岩谷口も地質次第に悪化し、坑口より60米附近で一部崩壊事故等を生じ、施工甚だ困難となつたが、それを冒して掘鑿を進める中に大正8年2月坑口より480米附近に達し裂罅多き軟質頁岩の層に會し、偏壓が加はつて進行も殆んど停止するの狀態となつた。同年6月10日前後には地盤の膨脹一層甚しくなり、導坑部分は第310圖に示す様に全く閉塞され、大脊、

第310圖 折波隧道導坑支保工掘鑿當初 偏壓を受けて後の狀態



中脊の掘鑿區間の支保工は殆んど壓しつぶされ、補強の爲めに建てられた支保材の倒壊したもの等が錯交して其の間僅かに空隙を残すのみとなつた。當時秋田口は頂設導坑490m附近迄進行して居たが、地質は次第に岩谷口に類似して來て地盤の膨脹支保工の破損も甚しかつた。其の頃地盤の隆起を測つた記録は第311圖の如く、掘鑿後時日を経過するに従つて次第に膨脹

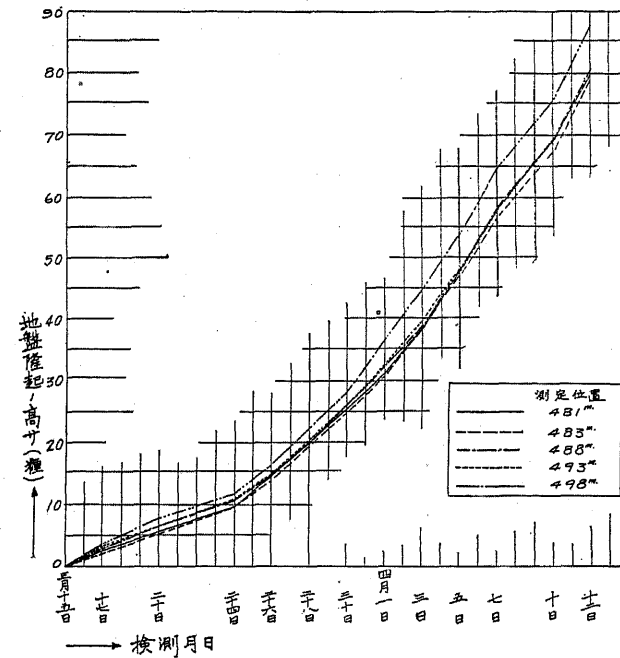
量を増して、1ヶ月の後には最大87cmに達し、それ以來は測量不能となつた。

此の間岩谷口秋田口共頁岩と粘土層との接したる部分でメタン瓦斯が出て引火爆發の事故も起つた。

8年8月になつて未掘鑿區間も此の種の軟質泥岩よりなり普通の施工法では完成する事困難であるとの豫想のもとに従來の請負契約を解除して、其の後は盾構を用ひ鐵道省が直營施工す

る事になつた。これが爲め一時作業を中止したので、當時の覆工終點(秋田口は坑口より342米、岩谷口は463米)の正面に土留工を施し、崩壊土の流出を防ぎ、それより奥は地山膨脹の爲め全く閉塞されて終つた。

第311圖 折波隧道地盤隆起圖表

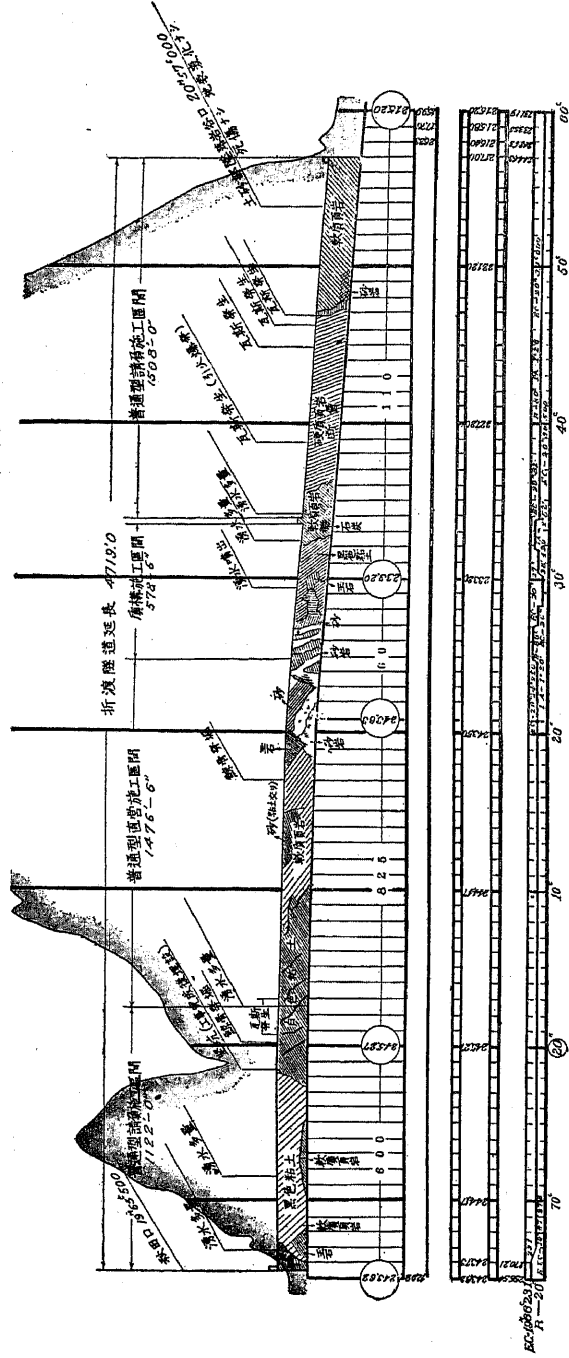


此の隧道に用ひた盾構は外徑7.37米、全長3.66米の圓筒形で重量86噸を有し、其の圓筒の周に沿ふて32個の25噸水壓扛重機を取りつけ推進を司らしめ、覆工は混凝土塊を用ひた。坑内にて盾構を組立てる爲めに大正8年10月岩谷口から463米より470米に至る7米間に隧道の一部斷面を大きくして直徑7.98米、卷厚0.9米の圓形斷面を有する盾構組立用隧道の掘鑿に著手したが、この部分は曩に地盤膨脹の爲めに支保工倒潰して閉塞された處であるから、其

の掘鑿及び覆工に當つては非常な困難をなし、前後8ヶ月を費してこれを完成した。一方東京横川橋梁製作所にて製作した盾構も現場に到着し、一旦坑外で假組立を行つた後、分解して坑内に送り、隧道内にて組立を了し、大正9年9月愈々推進を開始した。

最初の中は手動の15噸扛重機によつたのと、作業に熟練しなかつた爲めに遅々として進行せず、翌年6月水壓扛重機を取りつけるに及んで順調に進行したが11年3月頃から豫想を裏切つて地質好轉し、硬質砂岩などが現はれたので遂に掘鑿に爆薬を用ふるに至つた。第91表は此の間の進行狀態を月別に示したものであつて1ヶ月の最大進行は9米であつた。同年12月累計進行183mでシールド式掘鑿をやめ、再び頂設導坑による普通の施工法に變じ、特に大なる材料を用ひて五光梁式支保工を施し掘進し、大正13年4月著手してから8ヶ年を経て竣功を告げた。第312圖は同隧道の工事經過を示したものである。

第 312 圖 折波隧道縱斷面圖



第 91 表 盾構推進進行月別表

年月	進米	計	摘要	年月	進米	計	摘要
9	2.1	2.1	9月6日着手 {以上手動水壓 掘削機使用}	10	6.9	48.0	12月12日以後は掘削機 (手動)のみ進行 12月29日着手  12月11日限り 中止
10	1.4	3.5		11	0.4	48.4	
11	1.9	5.4		12	18.3	66.7	
10	0.2	5.6	1	18.0	84.7		
11	0.3	5.9	2	14.7	99.4		
12	0	5.9	3	5.9	105.3		
1	0	5.9	4	5.1	110.4		
2	0	5.9	5	7.3	117.7		
3	0	5.9	6	8.6	126.3		
4	0	5.9	7	13.5	139.8		
5	3.2	9.1	8	9.7	149.5		
6	8.1	17.2	9	13.5	163.0		
7	8.2	25.7	10	14.1	177.1		
8	9.0	34.4	11	6.6	183.7		
9	6.7	41.1	12				
10							

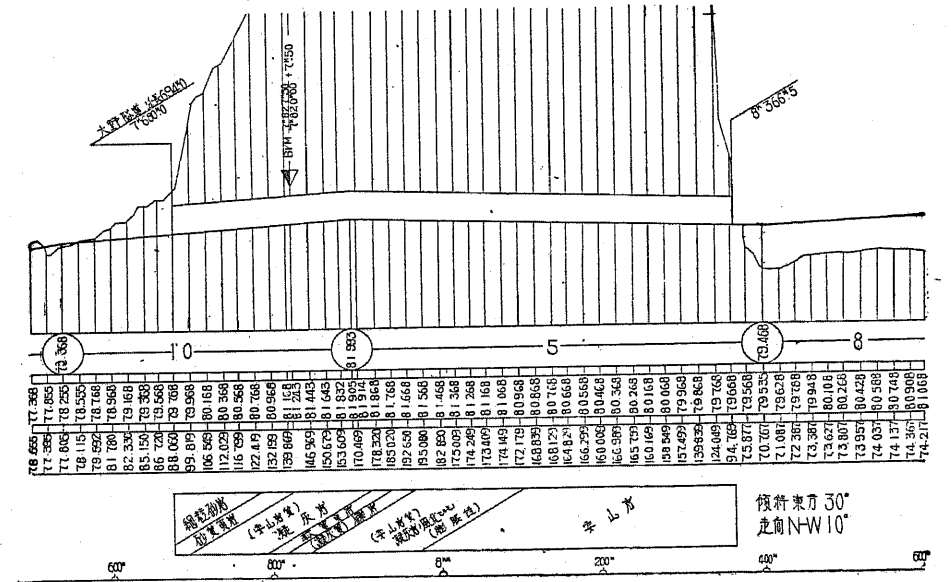
2. 大野隧道

大野隧道は大糸線米魚川起點 7k 680m にある延長 694m の小隧道で、姫川の沿岸に突出する

第 313 圖 大野隧道平面圖

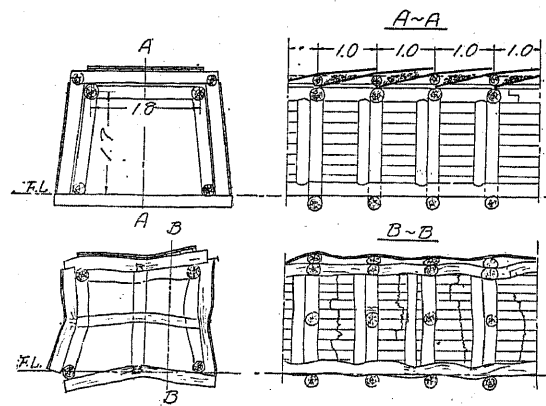


第 314 圖 大野隧道縱斷面圖



小丘を貫くものである。元來この姫川の溪谷は静岡糸魚川線と稱する一大斷層に沿ふ地帯で、地質的には充分の注意を要する地方である。然しこの隧道は糸魚川口は良質の砂岩、大町口は安山岩で外觀的には掘鑿後遭遇した様な困難は想像されなかつた。昭和6年末兩口より掘鑿に着手し順調に進行しつゝあつたが、中央に到つて安山岩質凝灰岩の風化せる層に出會つた。この部分は黄綠色、小豆色、青綠色を有する土塊で滑らかな肌を有し、掘鑿後の膨脹甚しく2.1×2.4米の加脊で掘鑿された導坑が第315圖の如く壓縮され、坊主(豎柱)切張等を施してこれを防止せんとするも數日にして折損取換を要した。

第315圖 導坑支保工の折損

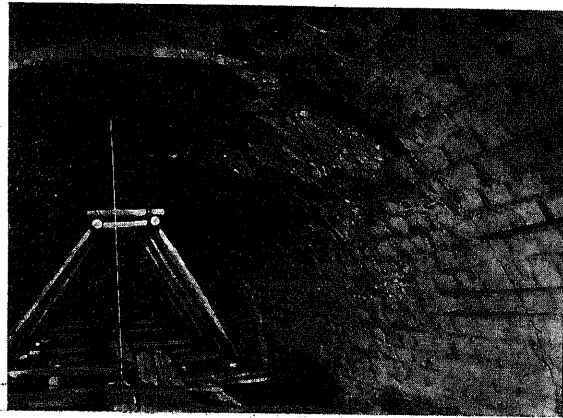


これを防止せんとするも數日にして折損取換を要した。

覆工は逆巻法を用ひ、初め1作業を7米として施工した。915米附近では起拱線附近で約10纏の揚越しをして拱巻き終り後1週間で側壁混凝土作業に着手したのであるが、この時は既に拱に重壓が加つて、上木は櫛型に、櫛型は臺梁に喰ひ込み、臺梁は折れて彎曲し、側壁混凝土を終る頃は起拱線附近で5~10纏の壓縮を受けた。側壁混凝土

施工に當つてはそれが充分硬化するまで土壓を受けぬ様に裏側に20~30纏の掘り越しをなし、杉葉、粗朶等を入れてクッションの役をさせる様注意したのであるが、この掘り越しが未だ塞がらないに係らず側壁は内側に押出されて、仰拱を施工し終る頃には約10~15纏移動した。これは下部の土が膨脹する爲めにそれに引かれて側壁が直立した儘の状態に移動したものと想像される。

第316圖 拱混凝土脱落の状態

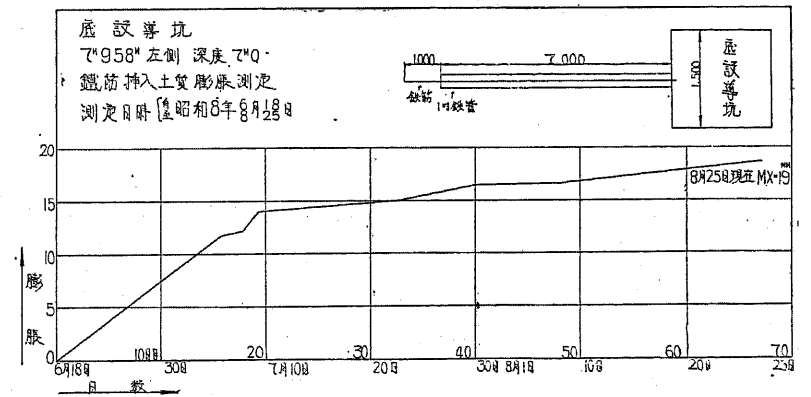
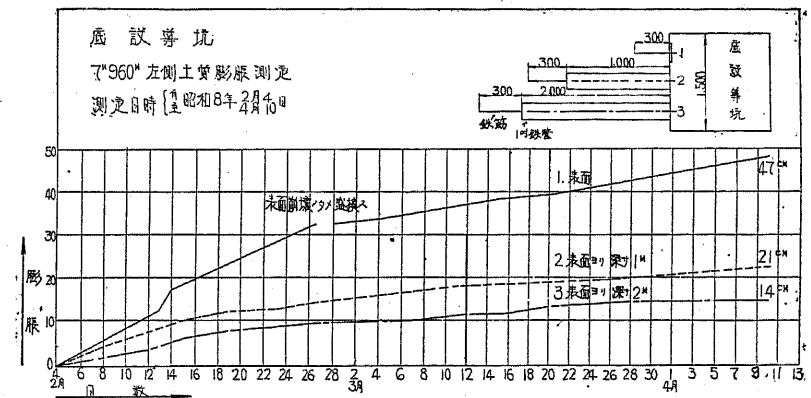


かくの如くして施工された區間は約1ヶ月の後先づ拱に龜裂が現れ、續いて側壁に及び、起拱線部分は次第に押し出されて、徑間が縮小するので、松丸太の胴張りを入れて其の状態を観測

したが、胴張りは數日で折損し拱頂部は第316圖の如く脱落してピリケン型に押し上げられる状態となつた。

かくの如く拱頂が押し上げられて側壁が内側に押し出されるのは、拱頂部の裏込が不充分で起拱線部に壓力を受ける時拱頂部には未だ充分の土壓がかゝらぬ爲めであると云ふ見地から、拱の裏込に混凝土を填充する事とし、一方施工日数を短縮する目的で1作業區間を3.5米に改め、淺野のペロセメントを使用して試験的覆工を行つた。覆工の厚さは以前の破壊された部分

第317圖 土質膨脹測定圖

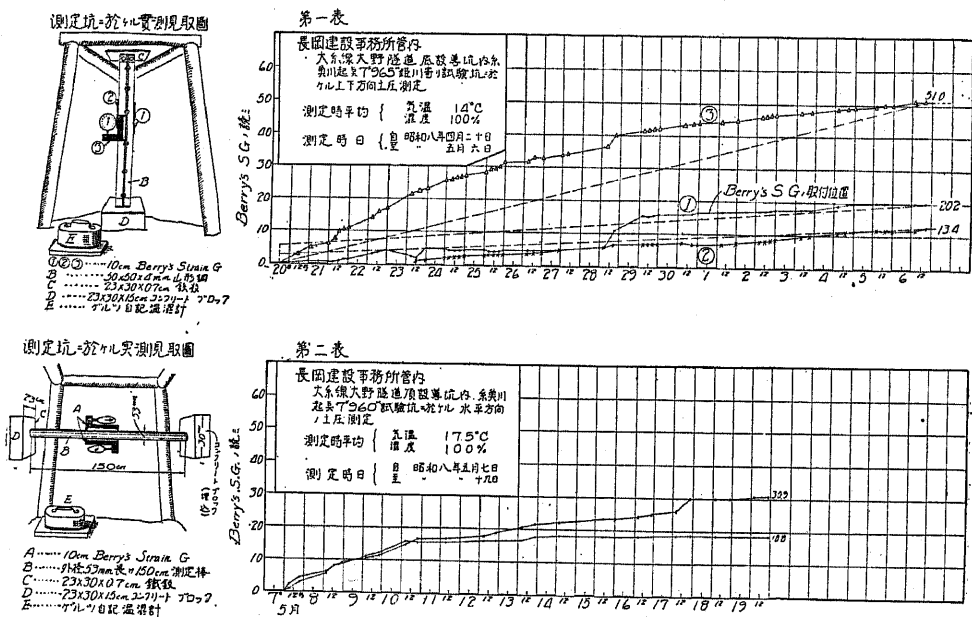


は64纏であつたが今回は80纏とし、1作業10日間で完了する様施工した。其の結果は施工中も施工後も何の異状も認めず、施工後1年の状況は側壁部に多少の龜裂を認め得るに過ぎないので、先づ成功したものと考へられる。

この様な膨脹性の地質は屢遭遇し、其の都度困難するのであるが、其の原因壓力の強さ等に關しては餘り知られて居ない。大野隧道ではこれ等を調査する爲め一時工事を中止して、其の中央部の最も地質の悪い個所を選び種々の實驗を行つた。

第1に行つた試験は、風化の影響が及ぶ深さ及び時間と膨脹との關係を知る爲めに、隧道側壁部に種々の深さの孔を穿ち1吋鐵管を挿入し、その鐵管の中を通し鐵筋を地中に突き挿してその鐵筋が土の膨脹によつて押し出される状態を觀測するものである。試験した深さは表面、1米、2米、7米、9米、15米の6種であつたが、9米、15米の2種はその膨出を認め得な

第318圖 土壓測定圖

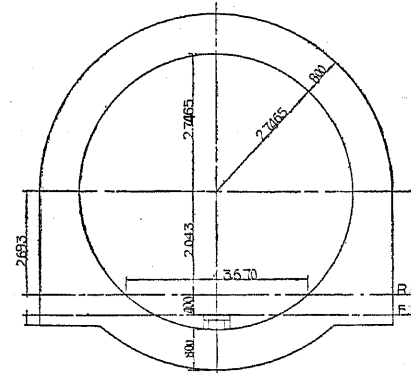


かつたので、他の4種についてその結果を見ると、第317圖に示す様に何れの場合も最初の數日は膨出が甚だ迅速で其の後は次第に緩慢になつて居る。

次に行つた實驗は土壓の測定であつて、第318圖の様にアングル又はパイプの兩端に混凝土塊を當て、垂直又は水平に裝置し、これに依つて地山の膨出に抵抗させる。アングル又はパイプは混凝土塊の面積に相當する土壓を受けて壓縮される故、其の壓縮量をストレインゲージで測れば壓力を算出し得るのである。アングルを用ひた試験裝置は上下よりの壓力の爲め多少撓曲を起し、各面に取付けた3個のゲージの中1個は特に大きな讀みと與へる状態となつたのでその結果は直ちに信用し得ないが、他の2個のゲージより計算された土壓は 7.7 疋/平方糎と

なつた。水平の方向にはパイプを用ひ、これに計器2個を取付けて觀測したが、この場合は略

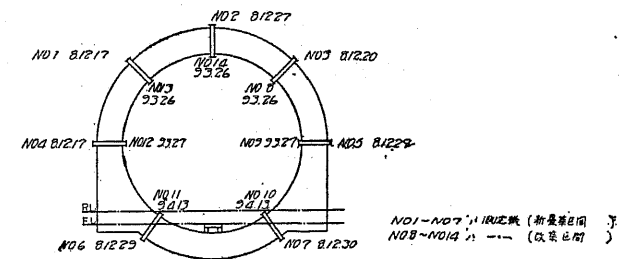
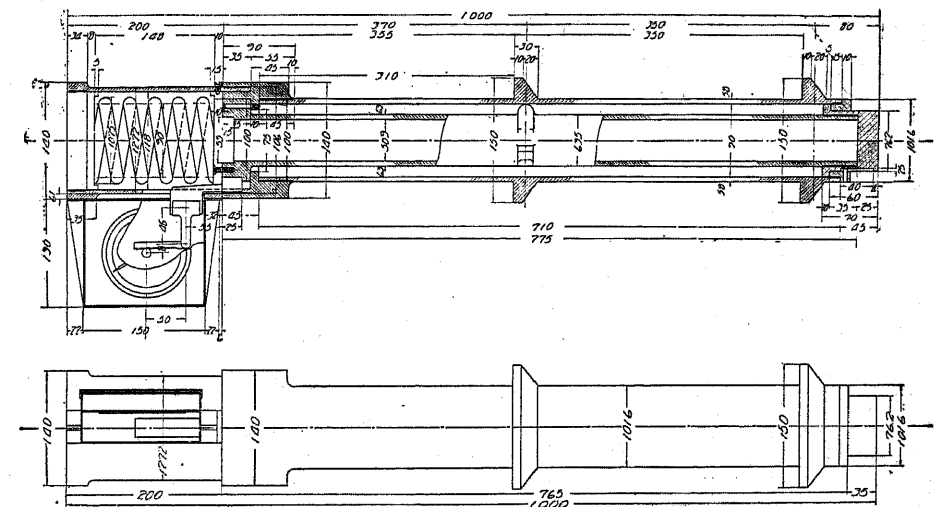
第319圖 大野隧道に於て最後に採用したる覆工断面



均一の値を得て土壓に換算して7疋/平方糎に相當する。

この試験は導坑貫通後相當の期間が経過してから行つたので、試験に際して約2米程掘鑿して新しい面を出したとは云へ或る程度の風化は既に起つて居たと考へられるので、現はれた土壓も導坑掘鑿當時に比し幾分少なくなつて居る事は想像される。それでそれ等の事を考に入れて結局此の隧道では9疋/平方糎の静水壓的の土壓が各部一様に作用するものと考へられた。

第320圖 土壓測定機と其配置



この結果から前に施工した区間の覆工を再考して見ると、第1に施工し破壊された64纏の覆工は厚さに於て既に不足であり、第2に施工された厚80纏の覆工は断面の形に不満足な点があるので、最後に静水壓的壓力に最も適する第319圖の如き圓形断面を採用し混凝土も1:2:4の配合とした。

第3に行つた試験は覆工完成区間の土壓を長期に亘つて観測せんとするもので、第320圖の如く覆工の周に沿ふて7個の孔を穿ち、各に壓力計を装置したのである。この壓力計は二重の圓筒より成り、外側の圓筒は覆工中に固定され、内側の圓筒はその一端がスプリングに支へられ、他の一端は地山に接觸して受壓面となつて居る。土壓が加はると内側の圓筒はスプリングを壓縮して引込むのでこの動きを内側に取り付けた目盛で読み土壓を計算するのである。

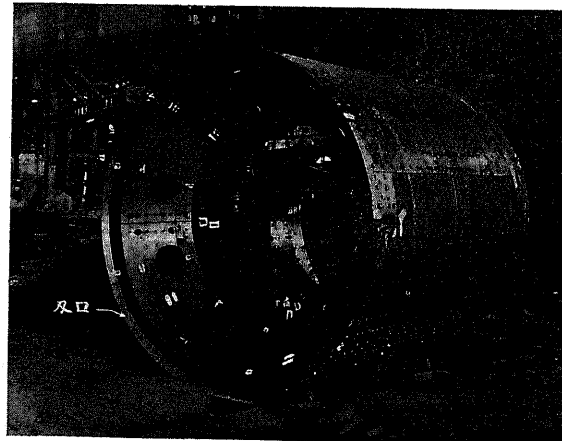
この試験の結果は他日に待たなければならないが、昭和8年12月28日に取り付けたものの中9年5月2日の記録の最高は8.3疋/平方纏に達して居る。

現場に於てこれ等の實驗が行はれると同時に鐵道省官房研究所土質調査委員會では種々の室内實驗を行つて居るが未だ結論に達するに到らない。

### 3. 丹那隧道水抜坑に用ひたる盾構

熱海線丹那隧道では其の東口から2,730米附近の青粘土の個所に盾構を使用し、一方壓縮空氣の力を借りて湧水を防止する方法即ち shield and compressed air system を採用した。

第321圖



この際用ひた盾構は外徑2.80米の小型のものである。及口は断面が45°の角をなす鑄鋼製で胴體は外徑2.80米内徑1.86米とし、胴體は10個のセグメントで出来て居て其各に一個の水壓扛重機を備へて居る。又胴體の先端には地質の悪い時のみ取り付け得る隔壁を設けて其の中央部に高さ1.2米幅0.9米の閘門を造り、兩側に溝形を立てて角落しを装置し、突然の湧水及び土砂の流出に際して

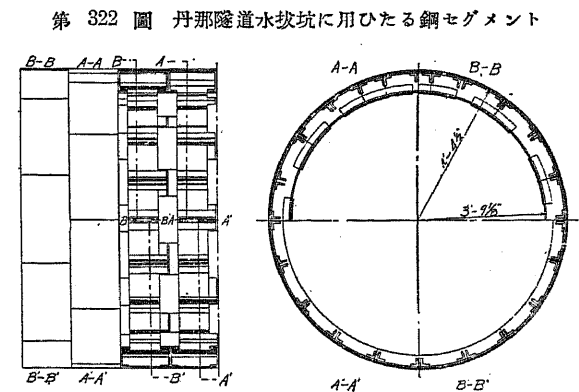
直ちにこれを閉ぢ坑内へ土砂の流出する事を防ぐ準備をした。盾構組立に際しては一旦坑外で假組立した後各部分に分解して、特に坑内で組立てる爲めに切り擴げた場所で行ひ、

軌條の上をウィンチによつて滑動させ、坑道の奥端に運搬した。

覆工は第322圖の如き鋼製のセグメントを用ひた。第323圖は覆工完成後の實況である。

水壓扛重機用の水壓唧筒は折渡隧道で使用する爲め製作したもので、次の様な寸法と能力を有して居る。

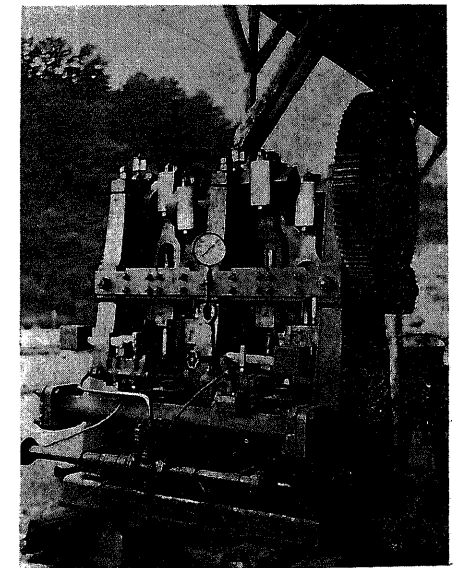
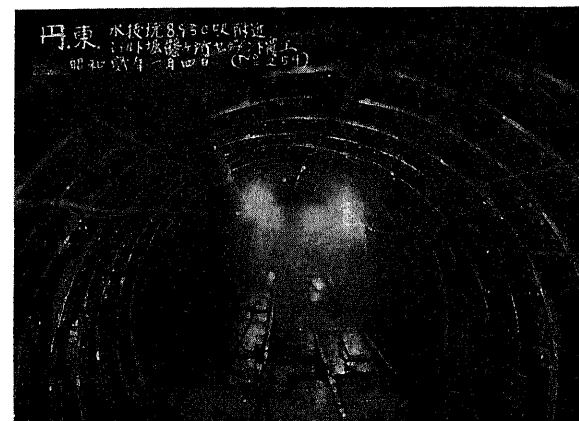
型式 40馬力4聯式フランチャーパーンプ  
 寸法 長さ5'~4" 幅7'~0" X 高7'~1 3/4"  
 容量 高壓毎分 1.6立方呎  
 低壓毎分 3.2立方呎  
 唧子數 4個 直徑2.5吋  
 行程6吋 回轉數65回  
 吐出壓力 低壓 2,000 #/sq"  
 高壓 4,000 #/sq"  
 電動機 40馬力 960回轉



第322圖 丹那隧道水抜坑に用ひたる鋼セグメント

第324圖 盾構推進用水壓唧筒

第323圖 丹那隧道水抜坑のセグメント覆工



水壓扛重機の推進力は500噸とし、常用壓力2,000 #/sq"として設計され、シリンダーの内徑を8 1/2"とした。又扛重機のピストンの行程は盾構尾部の長さと同覆工巻立ての1單位長さによつて決定される。丹那隧道の場合は尾部の長さ3'~6"で覆工のセグメントは1'~6"であつたので必要なピストン行程は18"であるが、これに多少餘裕をとつて24吋と定めた。第325圖は折渡に用ひた水壓扛重機と丹那に用ひたものとの比較した寫眞である。

第 325 圖



この盾構の準備成つて大正 15 年 11 月作業に着手し初めは粘土の中を掘進したので非常に順調であつたが間もなく安山岩の地質の中へ入るに従つて、275 封度/平方吋の高壓を有する湧水に遭遇し作業困難となつた。一方盾構は次第に上向きに進行する傾向となり最後には豫定より 60 糎も盤が上り、約 80 米此の安山岩の中を進んだ時斷層角礫に入つて湧水と破碎岩石の崩壞の爲め遂に進行不可能となつた。進行を開始してから 4 個月累計進行僅かに 8.6 米で盾構も其の位置に埋め殺しとなりこの計畫は失敗に歸したのである。

この盾構の準備成つて大正 15 年 11 月作業に着手し初めは粘土の中を掘進したので非常に順調であつたが間もなく安山岩の地質の中へ入るに従つて、275 封度/平方吋の高壓を有する湧水に遭遇し作業困難となつた。一方盾構は次第に上向きに進行する傾向となり最後には豫定より 60 糎も盤が上り、約 80 米此の安山岩の中を進んだ時斷層角礫に入つて湧水と破碎岩石の崩壞の爲め