

# 第十七編 隧道測量 (Tunnel Survey)

## 第一章 隧道

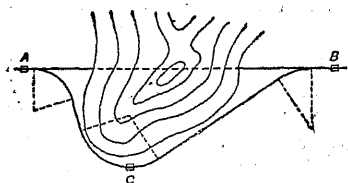
### 371 隧道及び切取 (Tunnel and Open Cut)

隧道とは鐵道、道路又は運河の如き交通線或は水力電氣、水道等の通水路が山嶽又は他の水路を横斷する時に設くる地中構造物であつて、其の兩坑口は地表に露出して居る。鑿山の坑道は其の目的が交通用でなく且つ其の坑口も必ずしも地表上に有しない、又測量其他の方法も大分異つて居るから隧道とは云はない。

山嶽隧道の場合は先づ切取 (Open Cut) との關係を調査するを要する。此の兩者の撰擇は大體のものであるが、隧道は建設費を多く要し且つ施工困難である、然し切取には限度が有り大なる切取面の維持は甚だ困難である。大體切取の深さが 20 m 以上の場合には隧道にした方が宜い。

### 372 隧道及び迂廻線 (Tunnel and Detour)

交通線を求むるに當つて迂廻線 (Detour Line) となし得る事がある。此の迂廻線の長所とする所は其の建設費が廉く従つて工事が容易で早く出来る。



第 836 圖

又は迂廻に依て他の都市を連絡し開發せしめる事が出来る (第 836 圖)。其の不利益とする點は距離の増加の爲めに用地費、維持費及び運轉費を増し、殊に高速交通線にては運轉時間を増大し速力を遅

らせる。之に對して隧道の利害は丁度迂廻線の夫れと相反するから之等は實

地に就いて宜く比較せねばならない。然し隧道工事の進歩に伴ひ次第に隧道を利益とする様になり、鐵道は勿論道路にも隧道を用ひ、殊に水力電氣、水道の通水路は山崩其他の障害を避け、且つ距離、曲線に依る損失水頭を減少せしむる爲め殆んど隧道の連続となつて居る。

### 373 地質測量 (Geological Survey)

隧道の地質、湧水量、瓦斯及び地熱の高低等は直接建設方式の選擇、支保工、壘築工、工事期限、建設費等全體に影響を及ぼすものであるから、選定に當つては詳細に地質を調査し成る可く良地層の箇所を通過する様にする。隧道延長の小なる場合は地質調査所の地質圖 (Geological Map) に依り地質の大體を知り尙ほ土木技術者が踏査して地質を推知する程度で宜しいが、大なる隧道に在つては専門の地質學者に委嘱して鑑定せしめ、地質斷面圖 (Geological Profile) を作製せしめ、之に依て工事上の對策を定める。但し地表の狀況及び岩石の標本に依て内部を推定する事は非常に困難で單に推定の他はない。地質學者の鑑定決して無用では無いが、現在の地質學の程度では工事施行に絶対不可缺と迄には到らない。隧道の天井が浅い場合或は重要なる場合には中心線に沿つて試錐 (Boring) を試みれば最も精密に地質を知る事が出来、之に依つて地層の厚さ、岩石の質、傾斜、斷層等を知る。隧道技術上の地質分類は次の 4 種になる。

- (1) 硬岩 (Hard Rock) — 支保工を廢し得る程度のもの
- (2) 軟岩 (Soft Rock) — (1) と (3) との中間位
- (3) 普通土 (Ordinary Soil) — 鑿岩機を要せざる程度のもの
- (4) 流砂 (Quick Sand) — 水を以て飽和された土砂 (最も危険)

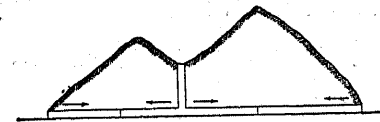
次に工事上最も重要なるは大湧水で、隧道上の地層が透水層であれば湧水

があり、多量な場合は別に排水隧道を掘る。總て長き隧道では之等の事は判らないから、工事に着手した後實際に地質に當つて其の對策を定めた方が確實である。隧道工事に如何に地質が重大なる關係を有するかは熱海線丹那隧道の例に依て充分承知の事と思ふ。

### 374 豎坑 (Shaft)

隧道は鐵道、水力電氣等に於て工事期限を左右する事多く従つて工事を早める爲め、地勢の許す限り豎坑を下し、この豎坑からも掘鑿を進める。然し豎坑は隧道の深さが地表から浅い場合 (大體 200 m 以内) に用ひられ、又近年爆藥及び鑿岩機の發達の爲め豎坑の效用は昔よりも少くなつた。

豎坑を分類すれば

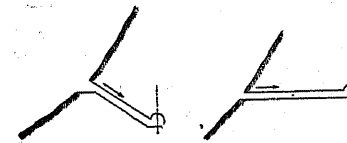


(a) 豎坑

(1) 豎坑の位置及び勾配に依り

(a) 豎坑 (Vertical Shaft)

(第 837 圖 (1))



(b) 斜坑

(b) 斜坑 (Inclined Shaft)

(第 837 圖 (2))

(c) 横坑

(c) 横坑 (Horizontal Shaft)

(第 837 圖 (3))

第 37 圖

(2) 豎坑の方向に依り

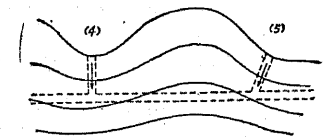
(d) 隧道中心線と直角を爲すもの (第 838 圖 (4))

(e) 隧道中心線と斜角を爲すもの

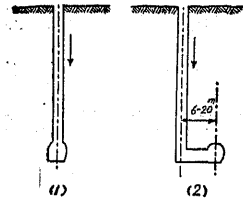
(第 838 圖 (5))

(3) 豎坑の目的に依り

(a) 本豎坑 (Permanent Shaft)



第 838 圖



例へば通氣豎坑 (Air or Ventilation Shaft)

(b) 作業用豎坑 (Working Shaft)

(c) 試掘坑 (Trial Shaft)

第 839 圖 (4) 豎坑を中心線直上に置くか否かに依り

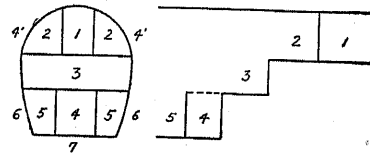
(a) 中心豎坑 (Center Shaft) (第 839 圖 (1))

(b) 側豎坑 (Side Shaft) (第 839 圖 (2))

375 隧道の掘鑿法 (Excavation of Tunnel)

隧道の掘鑿法は各國共独自の創案に係るものを使用する習慣があり、本邦も又日本式を有し明治時代は全部此の方式に依つたが、之等諸法の中には互に長短あり、其の施工箇所特別の事情に依り其の適否必ずしも同一でない。大體に於て本邦にて最も多く使用せらるゝ方式は次の 5 種類である。

(1) 日本式 掘鑿順序は第 840 圖の如く、其の各部の名稱は次の如くである。



第 840 圖 日本式

1 導坑 (Heading)

2 袖丸形又は第一切擴 (First Enlargement)

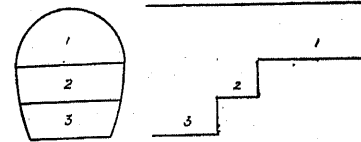
3 中背打又は第二切擴 (Second Enlargement)

4 大背打又は第三切擴 (Third Enlargement)

5 土平落又は第四切擴 (Fourth Enlargement)

掘鑿は上部より下部に、疊築は下部より上部に向ふを一般的法則とする。近時の機械力應用に不便多く、従つて手掘法に依る小隧道の外は使用せられない。

(3) アメリカ式或はベンチ式 (American or Bench System) (第 841 圖) 上部より下部に向つて 2~3 段に分け掘鑿するもので、支保工を要しない



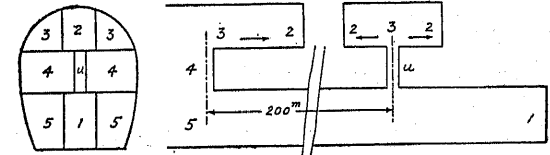
第 841 圖 アメリカ式

い硬岩の場所ならば作業箇所を一箇所に集中し機械力を有効に使用し進捗著しく工費低廉となり、且つ透風、採光の効率宜しく坑内を清潔に保つ事が出来る。唯

地質錯綜の場所には用ひ難い。

例 清水隧道南口、禮文華隧道、猪鼻隧道。

(3) 新奥式 (New Austrian System) (第 842 圖) 初め底設導坑 (1) を設け其の進行が或る程度に達した後に切上り即ち豎坑 (Upraise) u を穿ち隧道頂に達し頂設導坑 (2) 及び切擴 (3) を施行する。豎坑は礮出及び従業員

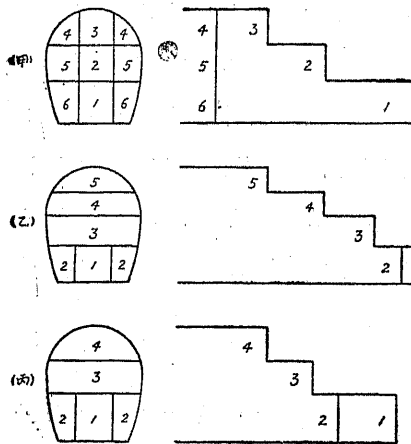


第 842 圖 新奥式

の通路とする。其の相互の距離は 200 m 前後。地質の變化に對して安全であるが、上下二條の導坑を進むる爲

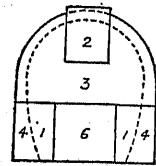
め工費が増加する。例 清水隧道北口、丹那隧道。

(4) 上部開掘式 (Top Cut System) 新奥式と同じ位置に底設導坑 (1) を設け、順次に上部に向けて切擴げ隧道頂に達したる後、兩肩 (4) を切擴げ (5), (6) の地山を取り除くのである。断面小なる隧道に於ては(乙)又は(丙)の如く導坑上部を堀上ぐる。前述のベンチ式の逆行法で地質堅岩にして石目少き場合は最も適當である。其の利點としては掘鑿能率大なる事、爆藥量少き事、上部の礮出は重力を利用して土運車に載せ得る事等である。



第 843 圖 上部開掘式

(5) 獨逸式 (German or Center Core System) 砂地に適當する方法で、先づ側壁部に導坑(1)を設け、次で中央頂部に頂設導坑(2)を設け(3)の切掘げを行ふ間に(4)の壘築



第 844 圖 獨逸式

を行ひ(3)が終れば拱卷立(5)を行ひ、最後に(6)の地山を取り除く。

376 著名なる隧道

(1) 世界に於ける長大隧道

第 62 表 世界に於ける長大隧道

順次	隧道名稱	國名	延長	大きさ	建設年次
1	Simplon I II	Suisse-Italy	19729 <sup>m</sup> 19770	單線型 並列	1895—1906 1913—1918
2	Apennine	Italy	18510	複線型	1921—工事中
3	St. Gotthard	Suisse	14984	同	1872—1882
4	Lötschberg	Suisse	14536	同	1907—1913
5	New Cascade	U.S.A.	12518	單線型	1923—1929
6	Mont Cenis	France-Italy	12233	複線型	1857—1871
7	Arlberg	Austria	10250	同	1880—1885
8	Moffat	U.S.A.	9809	單線型	1924—1927
9	清 水	日 本	9702	同	1922—1931

10	Ricken	Suisse	8604 <sup>m</sup>	單線型	1904—1908
11	Grenchenberg	Suisse	8565	同	1911—1915
12	Arthur Pass	New Zealand	8553	同	1908—1923
13	Tauern	Austria	8526	複線型	1901—1908
14	Roncò	Italy	8310	同	1882—1889
15	Hauenstein-basis	Suisse	8135	同	1912—1916
16	Colde Tende	Italy	8098	同	1890—1899
17	Karawanken	Austria	7976	同	1902—1906
18	Rogers Pass	Canada	7908	同	1913—1915
19	Somport	France-Spain	7857	單線型	1909—1915
20	丹 那	日 本	7807	複線型	1918—工事中

(2) 本邦に於ける長大隧道

第 63 表 本邦に於ける長大隧道

順位	隧道名稱	延長	大きさ	線名	所在區間	摘要
1	清 水	9702m	單線型	上 越	湯 檜 會—中 里	(國有鐵道)
2	丹 那	7807	複線型	熱 海	熱 海—三 島	工事中(同)
3	笹 子	4656	單線型	中央本	笹 子—初 鹿 野	(國有鐵道)
4	石 北	4329	同	石 北	上 越—奥 白 瀧	( 同 )
5	猪 之 鼻	3845	同	讚 豫	財 田—箸 藏	( 同 )
6	青 山	3430	同	參宮急行電鐵		(私設電鐵)
7	生 駒	3580	複線型	大阪電氣軌道	鷺 尾—大 軌 生 駒	( 同 )
8	冷 水	3279	單線型	築 豊 本	筑前内野—筑前山野	(國有鐵道)
9	物 見	3075	同	因 美	美作河井—那 岐	( 同 )
10	(水路No.7)	3068	同	宇治水力電氣	大 津—宇 治	(水電導水路)
11	禮文華山	2726	單線型	長 輪	靜 狩—禮 文	(國有鐵道)
12	冠 着	2656	同	篠 井	麻 績—姥 捨	( 同 )
13	小 佛	2545	同	中央本	淺 川—與 瀬	( 同 )
14	泉 越	2457	單線型 並列	熱 海	湯 河 原—熱 海	( 同 )
15	(長等山)	2451	單線型	京都疎水		(疎水路)
16	新達坂山	2325	單線型 並列	東海道本	大 津—山 科	(國有鐵道)

17	坂の上	2283	單線型	豊肥	宮地一	野	(國有鐵道)
18	第一飛鳥	2263	同	山田	淺岸一	界	(同)
19	下久野	2241	同	木次			(同)
20	大刈	2217	同	萩	須佐一	田郷	(同)
21	矢岳第一	2096	同	肥薩	矢岳一	幸	(同)
22	第二白坂	2084	同	篠井	明科一	西條	(同)
23	宮	2078	同	高山			工事中(同)
24	平瀬	2006	同	盤越西	日出谷一	瀬	(同)

377 隧道測量の分類 (Classification of Tunnel Survey)

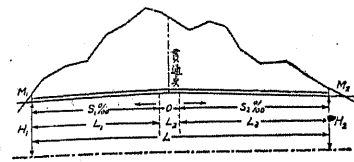
- (1) 表面設置 (Surface Alignment)
- (2) 地下設置 (Underground Alignment)
- (3) 高低測量 (Leveling)

第二章 表面設置 (Surface Alignment)

378 隧道の中心線 (Center Line of Tunnel)

隧道の両端の入口を坑門(Portal or Entrance)と云ひ、坑門の外に連る路線の部分に接近線(Approach Line)と云ふ。隧道の接近線は附近一帯の地勢に依り大體定まるものにて、坑門の近き所に2點を選び、之等二點の距離及び方向は三角測量或は其の他の方法に依り極めて精密に測定せねばならぬ。

中心線の方向が定まれば坑門に近く施工に差支無き所に水準基標(B.M.)を設け兩坑門間の水準測量を行つて施工基面の高さを定める。此の施工基面の高さは隧道延長の方から必然的に定まる場合もあり、又反對に接近線の位置から定まる場合もあり、何れにしても施工基面、勾配、隧道延長の間には密接不離の關係がある。坑門の位置は經濟上よりは普通土 20 m、堅岩 12 m



第 845 圖

位迄切取とした方が利益であるが、實際上坑門上部の切取を成る可く浅くする方が宜しいので、通常切取の深さ 10 m の地點に坑門を築造するが宜い。

隧道の長さが 500~600 m 以内であれば普通の路線測量の如く一端より他端に向つて中心線を表面に設置する事が出来る。障害物の爲めに中心線を直接表面に設置されざる時は折測法或は經緯測量の方法に依つて坑門及び堅坑の位置を計算しても宜い。4km 以上の長大な隧道の場合には三角測量に依らねばならぬ。三角測量と普通の路線測量とを併用すれば兩方比較して相互の誤差を見出す事が出来る。三角測量に依らず長隧道の中心線を設置した例もあるが、夫は特別の地勢に依るのである。

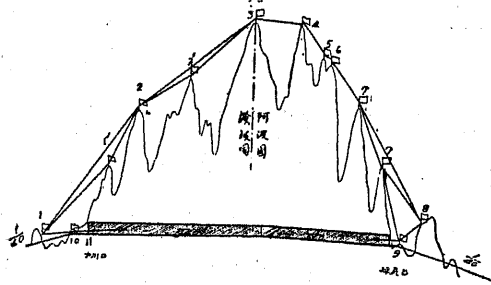
379 普通の方法に依る表面設置 (Surface Alignment by Ordinary Method)

隧道の長さが極めて短い場合には別に器械を用ひず向桿の如きものを用ひて方向を定め、且つ竹鎖又は鋼卷尺を用ひて距離を測定し得るが、長さが大なるか又地形が不適當なる時は中心線の方を定むる爲に轉鏡儀を用ふる。

山頂から兩坑門及全中心線を見透し得る場合には比較的簡單に行ひ得る、即ち山頂に假りに轉鏡儀を据えて兩坑門口を視準して遂に兩坑口を連ぬる直線中に測點を見出し、此處に觀測臺(Observatory)を設置し尙其の直線上に他點より視準する爲の測標を設ける。豫め陸地測量部の  $\frac{1}{50000}$  地形圖にて隧道位置及び觀測臺の位置其他を調べて置くと實際に當つて大變都合が宜い。山頂より直接坑門口を見透し得ない場合は測鎖測量に於ける「山を越す法」(上卷 65 頁参照)を應用して山頂の測點を次第に坑門口に連絡して漸次に

一直線に表面設置を行ふ。

第 846 圖は土讃線猪之鼻隧道 (3850 m) に於ける隧道中心線の表面設置の有様を示す。中心見透し點は總計 8 點で此の中 (2') は (2) と (3) との距



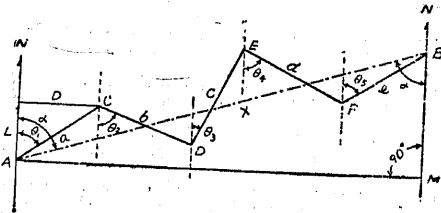
第 846 圖 猪之鼻隧道の中心線設置

離餘り大なる爲補助點として取つたのである。戸川口にては (1) より (1') 又は (2) を視準して其の線上に (10) を取り、次に (10) より逆に (1) を視準し轉鏡して (11) を取る。坪尻口にて

は (8) より (7) 又は (7') を視て (9) を取り、(9) より逆に (8) 或は (7') を見て坑内に入った。測量は大正 9 年 (1920) に行はれた。視準距離は 12 = 1152 m, 23 = 1375 m, 78 = 889 m, で Gurley 製 5 吋 20 秒讀の轉鏡儀を使用した。

380 經緯測量に依る表面設置

地形状態又は障害物に依り中心線を表面に設置し得ざる時は折測線に依て兩坑門を連絡し、計算により中心線の方角を見出す。勿論此の場合も總ての折測線は距離測定を要する故、道路又は他の路線ある時は極力之を利用し、又單に偏角のみならず必ず磁針方位を忘れてはならない。



第 847 圖に於て

第 847 圖

AB = 隧道中心線  
ACD...B = 折測線  
AN = 子午線又は假定子午線  
D = 經距  
L = 緯距

とすれば

$$a \sin \theta_1 + b \sin \theta_2 + \dots = \sum a \sin \theta = \sum D = AM$$

$$a \cos \theta_1 + b \cos \theta_2 + \dots = \sum a \cos \theta = \sum L = BM$$

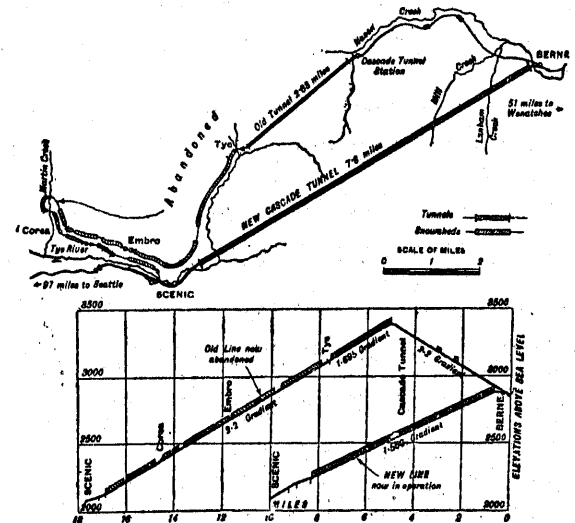
$$AB^2 = AM^2 + BM^2, \quad X = (\sum D)^2 + (\sum L)^2 = (\sum a \sin \theta)^2 + (\sum a \cos \theta)^2$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\sum D}{\sum L} = \tan^{-1} \frac{\sum a \sin \theta}{\sum a \cos \theta}$$

.....(516)

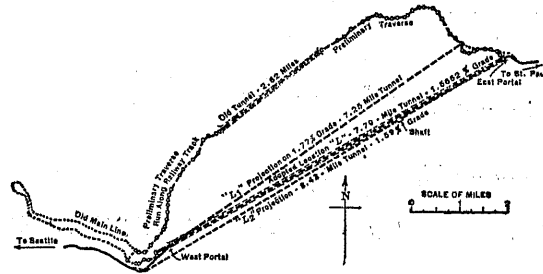
第 848 圖は米國 Great Northern Railway の New Cascade Tunnel で

ある。同隧道は崩雪の損害及び雪覆、除雪費等を減じ、且つ距離、曲度、山頂海拔及び勾配を減ずる目的を以て、長さ約 12500 m の大隧道を設けたもので、1925 年兩坑門の位置が決定されると共に、營業線に沿ふて第 849



第 848 圖 New Cascade Tunnel の平面圖及び勾配圖

圖に示す如き約 16,000 m の折測線を選んで豫測を行ひ、その結果隧道は約 1.5% の勾配を有し、又 Mill Creek に豎坑位置を見出した。更に山嶽用轉



第 849 圖 New Cascade Tunnel の豫測圖 (折測線測量) せしめ得た。

鏡儀を以て第二回目の  
經緯測量を行ひ其の結  
果大體の隧道中心線の  
方向及び中心線の貫く  
山峯を知り、之に據り  
兩坑口より導坑を前進

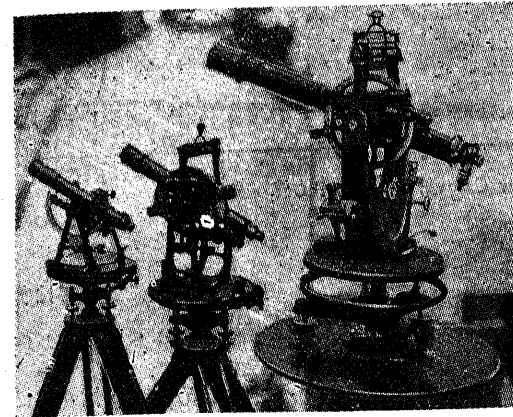
正確なる確定測量は 1925 年 12 月から次の種類に涉つて行はれた。

- (1) 中心線の方決定 (Alignment)——山頂を越して中心線の表面設置を行ひ且つ Mill Creek に於ける豎坑の位置を求める。
- (2) 隧道の延長測定 (Distance)——中心線に沿ふての隧道の距離及び豎坑位置の兩坑門よりの距離の測定。
- (3) 隧道の勾配決定 (Grade)——兩坑門及び豎坑の高低關係の測定。

但し此の節では (1) の中心線の方決定だけ述べる。

最初の山頂を越えての中心線の表面設置は 1925 年 12 月小型の山嶽用轉鏡儀 (Mountain Transit) で行はれた。山頂は時として風雪あり観測者を保護する爲測點附近に小屋を作り、太陽の直接光線に依る屈折を避くる爲に夜明け又は夕方に観測を行つた。更に直ちに之に續いて 18 cm 10" の大型精密轉鏡儀 (Precise Transit) (望遠鏡の長 28 cm, 擴大率 28) を用ひて山頂に數箇の測線を觀測し、之に依つて前の山嶽用轉鏡儀に依る隧道中心線は眞の直線に非ずして同一方向に幾何かの誤差を有し、従つて兩坑門間に曲線をなす

事が判つた。夫で兩坑門を連ぬる此の曲線の弦を計算し、中間の "Cowboy" 及び "Big Chief" 觀測點に於ける外れの距離 (Offset Distance) を出し、

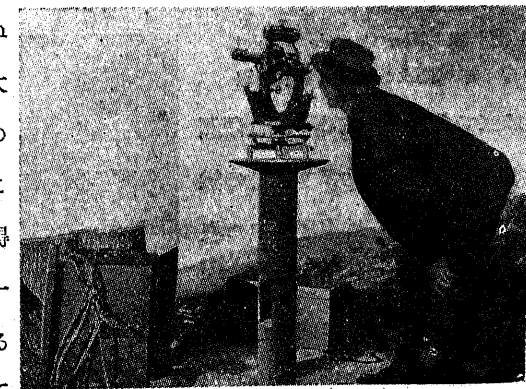


第 850 圖 New Cascade Tunnel 測量に使用せる轉鏡儀

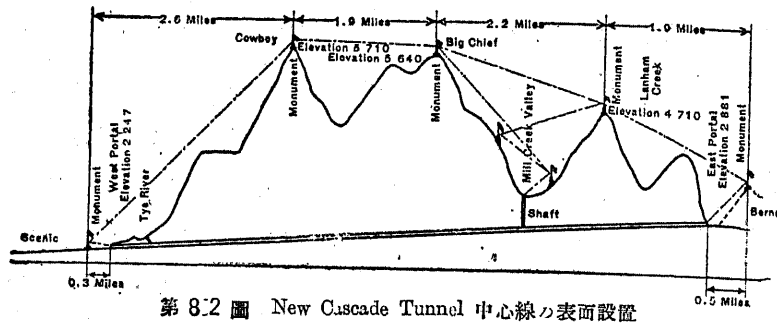
更に此の兩測點を連ぬる線を基線として之を兩坑門の方に延長せられた。勿論 "Cowboy", "Big Chief" 山頂に正確な觀測點を決定し得る迄には、何回も假測點を選んで視準して見ねばならないことは云ふ迄もない。前述の精密轉鏡儀にて山上 7 箇の觀測點にコンク

リート製觀測臺を築造して差支無き程度に直線を設定した後、此の中心線を最も精確に設置する爲に方向經緯儀 (Direction Theodolite) が用ひられた。

之は水平盤の直徑 25 cm 望遠鏡の長 56 cm、擴大率 30 及び 45 の二箇の對眼鏡を有し、測微鏡に依り直接 2 秒を読み得る。更に其の上部には一目盛 5 秒の感度を有する強力な標準器が附屬して居る。第 850 圖は之等各



第 851 圖 New Cascade Tunnel 測量觀測點に於ける轉鏡儀支臺



第 812 圖 New Cascade Tunnel 中心線の表面設置

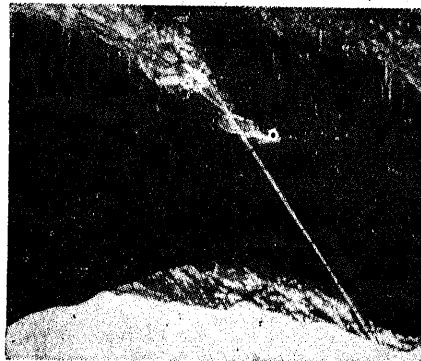


第 853 圖 New Cascade Tunnel  
東坑門及び伐開せる中心線

直に立てられた。第 851 圖は観測  
點に於ける器械臺を示す。此の鐵  
管の下部 46 cm は混凝土中に埋  
められ、混凝土の直ぐ上に幅 7.6  
cm、長さ 17.8 cm の穴を穿ち、  
錘心を用ひて器械の中心を合せ得  
る様になつて居る。初め木塊の上

種の轉鏡儀を示す。

此の經緯儀に對しては普  
通三脚は充分なる安定を與  
へざる爲め三脚の代りに長  
さ 1.53 m、直徑 15 cm の鐵  
管の上端に器械の基部を載  
せる爲に臺を付け、各観測  
點のコンクリート基部に垂



第 854 圖 New Cascade Tunnel  
西坑門及び中心線の方

に打つた眞鍮紙で器械の中心を表はして居つたが、中心線が最後に確定され  
てからは木塊は眞鍮板に取換へられ中心點を表はす爲に之に穴を穿つた。

第 852 圖は山を越えて表面設置の有様を示す。“Mill Creek Shaft” と  
“Big Chief” の高差大なる爲め之を連絡するに中間に 2 観測點を要した。  
隧道の中心線が略確定すれば其の後の確定測設及び距離測定のため一直線  
に中心線に沿ふて森林を伐開して測定に便する。第 853 圖及び第 854 圖は  
New Cascade Tunnel に於ける場合を示す。

### 381 隧道延長の測定 (Measurement of Length of Tunnel Axis)

隧道延長及び坑門より堅坑迄の距離の測定は次の方法の何れかに依つて行  
はれる。

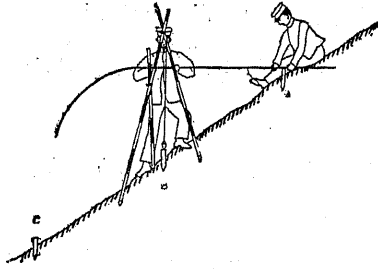
- (1) 隧道中心線に沿ふて山頂を越して測る方法
- (2) 經緯測量に依る方法
- (3) 三角測量に依る方法

隧道延長が短い場合或は地勢險阻ならず森林少き場合には直接中心線に沿  
ふて一直線に山頂を越して測る方法が一番宜い。通常行はれるのは竹鎖或は  
鋼卷尺を以て水平に測り、其の都度下振にて垂直を下す、一部分急傾斜にし  
て距離測定不能の時は測距儀其他の方法に依て宜い。米國にては長尺の鋼卷  
尺及び轉鏡儀を用ひて傾斜距離及び傾斜角を測り、之れより水平距離を算出  
して居る。

猪之鼻隧道にては其の延長測定をなすに當り、最初は三角測量に依らず普  
通竹鎖を以て測定した。測量隊は三組に分れ、最初の組は既に設置したる  
主測點間の樹木伐栽をなし、第 855 圖の如く中心線上に A, B, C 等の如く杭



を打ち込み枕頭に中心釘を打ち乍ら進む。之に續く第2組は2人編成にてボールを以て三叉を組み合せ、之れより重量約1kgの錘を下げて枕頭の釘上に



第855圖 猪之鼻隧道中心線の延長測定法

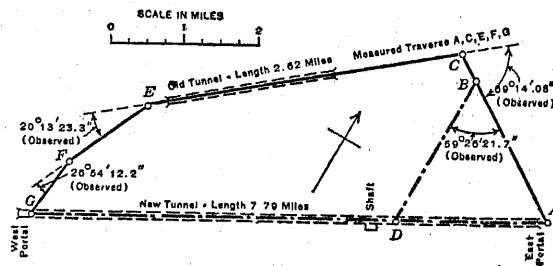
に垂直線を作つて進む。之に使用する三叉は作業の迅速を期する爲め3個準備し約6人にて作業した。第3組は距離測定組にて、竹鎖を引くもの2人竹鎖の水平は掌準器にて側面より観測した。此の観測者1人、観測者の合圖に依り竹鎖に鉛直線との切合點の印を

附けるもの1人、合計4人で組織された。斯の如くにしてA,B,C等の如き距離を累次加へて隧道の總延長を測定した。

障害物多く直接測定不可能なる時は経緯測量或は三角測量を行ひ延長を決定する。成る可く道路其他路線改良の場合は營業線等に沿ひ伐栽を少くすると同時に、多角形の一辺を大にし邊數を少くする方が精度を上ぐる。米國にては此の場合も矢張り長尺の鋼卷尺を使用し作業の迅速を期して居る。

New Cascade Tunnelにては兩坑門間の延長及び堅坑迄の距離を測定する

爲に第856圖に示す如き4邊より成る開多角形(Open Traverse)を組み、其の最大邊は營業線の隧道中心線を利用し之を延長した。此の折



第856圖 New Cascade Tunnelの延長及び堅坑位置測定のための精密折測線測量

測線の視準を良くする爲に直徑1m以上の大木を伐栽して幅廣き通路が作られた。先づ折測線に沿ふて適當の間隔を置いて強固な杭を打ち込み、更に其の枕頭に眞鍮釘を打ち轉鏡儀の視準線中に在らしめ、一方枕頭の高さを水準儀にて決定した。地形の關係上之等の枕頭は一定の傾斜を有し、此の上に鋼卷尺を掛けて實際の距離即ち傾斜距離を測定し、之に觀測時に於ける溫度及び張力の補正を施した。使用鋼卷尺は二種で、最大邊たる Old Cascade Tunnel線の觀測には152.4m(=500')、其他の部分には91.4m(=300')の鋼卷尺を使用した。何れも合衆國政府の原器と比較檢定をしたもので、尙此の外に水平位置及び傾斜位置に於て張力に依る伸長、弛みに依る短縮を調べる爲に實驗をなし、内業の場合に資する爲め各鋼卷尺に加ふ可き補正の量を圖表とした。此の圖表は方眼紙上に大體補正量0.3mm程度迄讀み得る様に作られた。

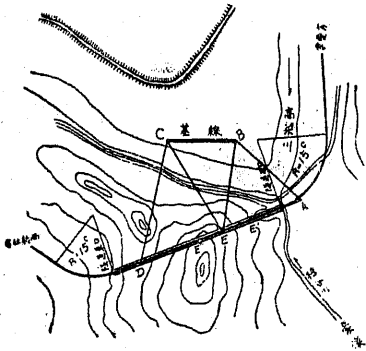
前述の隧道中心線の設定に使用した精密轉鏡儀を用ひて折測線の成す5角を測定し、其の方法は反覆3倍角の測角を3回繰返して行つた。之等より邊長を計算する場合地球曲率の影響を省略した。之は五邊形を平面上に在るとしても最大邊の誤差は3cmに過ぎないからである。兩坑門を連ぬる中心線の距離も同様な方法で測定された。

### 382 三角測量に依る表面設置 (Surface Alignment by Triangulation)

隧道の延長長さか或は障害物の爲め他の方法に不適當なる時は三角測量を行はねばならぬ。其の測定方法は第十五編に詳説した如くで、唯隧道中心線に對する三角測量には次の注意が必要である。

- (1) 隧道貫通場所一帯は山脈相迫つて基線を設く可き比較的平坦なる土

地に乏しく、従つて基線を隔遠の地に求め之と聯絡する三角網を必要とする事がある。第 857 圖の如く河原、裾野、高原等を極力利用する事。陸地測量



部三角點を利用されれば野外觀測を減じ得る。

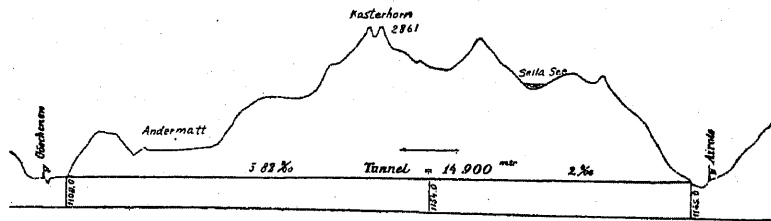
(2) 山頂に三角點を設くる關係上濃霧、風雪其他の故障の爲め觀測時間が極めて少ない。成る可く山頂の状態の最も順調な時期に測量を行ふこと。

(3) 器械其他の附屬裝置は成る可

く重量を減ずる爲め新型のものを用ふること。測角は  $1''$  程度迄讀むこと。

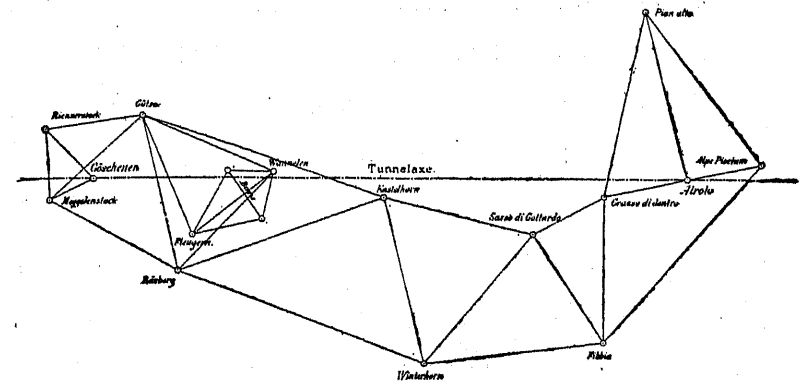
次に三角測量に依る表面設置の例を示す。

(1) St. Gotthard Tunnel (14984 m) St. Gotthard Tunnel は 1880 年 2 月に貫通したる瑞西内の大隧道で、第 858 圖は其の縦斷面を示す。三角測量を二回全く異りたる人に依り異りたる時間に別の三角系に依て行はれ



第 858 圖 St. Gotthard Tunnel の縦斷面圖

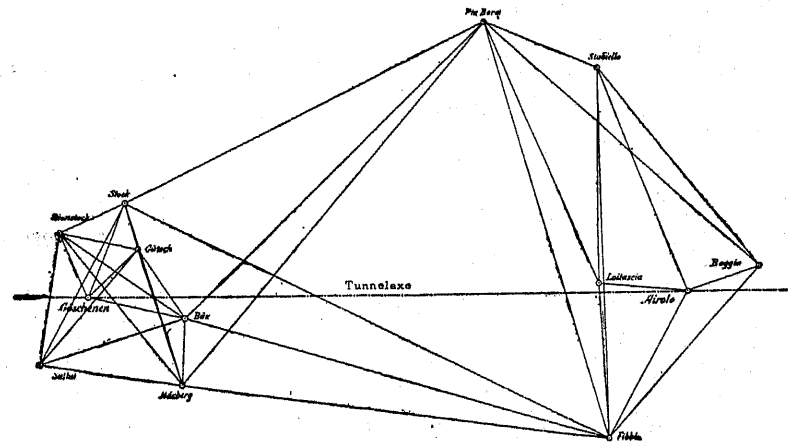
た。Gelpke 氏の三角網は第 859 圖の如く測點數 17 個、Koppe 氏の夫は第 860 圖の如く測點數 13 で大小不同の三角網であるが、之は中心線の兩坑



第 859 圖 St. Gotthard Tunnel 三角測量圖 (Gelpke 氏の三角網)

門 "Airolo" 及び "Göschenen" 兩點が低く視界が限られて居る爲で全部必要である。此の撰點には瑞西 Alpenklub の地形圖を利用し相互の見透し充分なるを極めて後設定した。

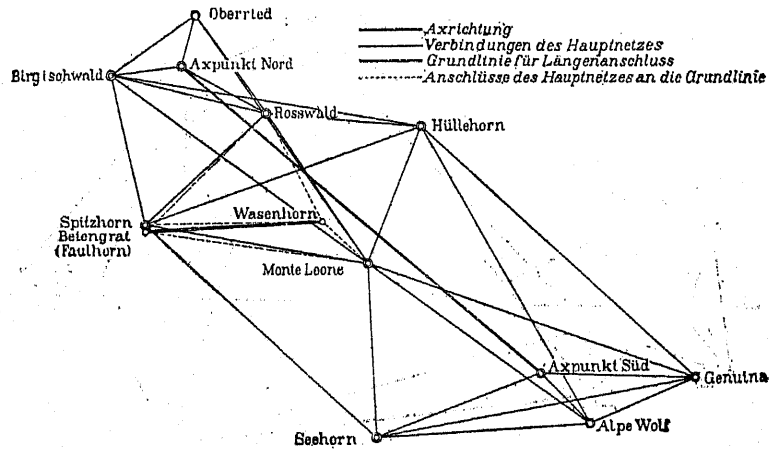
測角の平均誤差は  $1''$  位、三角網全體を最小自乗法に依て調整し誤差を合



第 860 圖 St. Gotthard Tunnel 三角測量圖 (Koppe 氏の三角網)

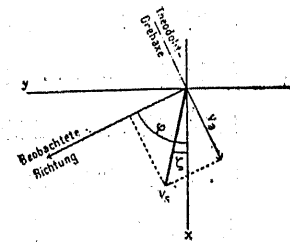
理的に分配した結果、隧道中心線を決定する兩坑門間の三角測量に依る中心線の推差は“Geschenen”にて 0.8”、“Airolo”に對して 0.7”と計算された。今兩點の中心線の推差 1”とすれば隧道中點 8 km の地點では直線から 0.04 m 外れる計算となるが、1880 年 2 月 29 日導坑貫通した時の結果は 0.30 m 外れて居つた。

(2) **Simplon 隧道** (19729 m) Simplon 隧道は 1905 年 2 月貫通したる瑞西、伊太利間の世界第一の長隧道である。此の隧道の測量は 1878 年から初められたが、三角測量は Max. Rosenmund 氏に依り 1898-99 に涉つて行はれ、未曾有の大隧道の測量が斯く成功したのは此の人の努力に依るのである。第 861 圖は同氏に依る三角測量圖で三角點 11 箇所は皆海拔 2500 m 以上に在り、中にも中央の Monte Leone は海拔 3561 m にて、之等の測量は實に困難を極めた。兩坑門口は Rhone 及び Diveria の谷に臨み、北側は半径 300 m、延長 150 m、南側は半径 400 m、延長 300 m の曲線部



第 861 圖 Simplon Tunnel 中心線測量の三角網

を有する爲め、三角測量にては假設導坑の方向を取り直線として設定した。三角網は Swiss 國の一等三角網の線“Wasenhorn-Faulhorn”に連絡せられ、之が此の三角網の基線として用ひられ、隧道延長の推差 0.8 m を超過しない爲め實測は行はなかつた。特に注意すべき事は大なる山塊の爲に生ずる



錘線の外れ (Deviation of Plumb Line) に依る補正を行つた事で、第 862 圖の場合

- $v_s$  = 錘線の外れの量
- $\zeta$  = X 軸と  $v_s$  の方向角
- $\varphi$  = 規標即ち觀測の方向
- $\alpha$  = 規標を觀測する時の傾斜角

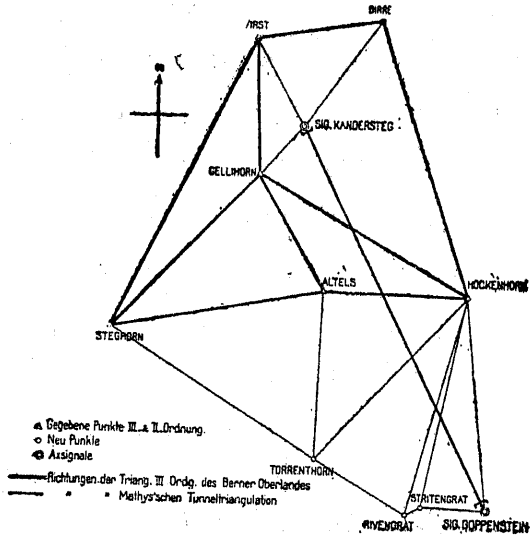
第 862 圖

とすれば  $v_a = v_s \sin(\varphi - \zeta)$  従つて觀測方向の補正量  $\delta$  は

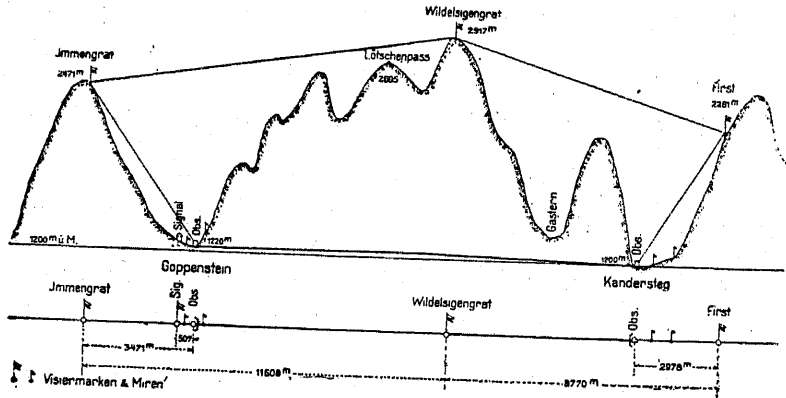
$$\delta = v_s \sin(\varphi - \zeta) \tan \alpha \dots\dots\dots(517)$$

$\delta$  の値は一方向に對して 5”にもなり得る。三角形の平均閉合誤差は  $\pm 3.1''$  である、然し之に前記の錘線誤差を補正すれば  $\pm 1.7''$  となる。三角測量に依る隧道軸の誤差は  $\pm 0.47''$  と計算せられ、之に依れば貫通點に於て 0.05 m の外れとなる、但し實際の貫通點の誤差には坑内測量の誤差を多大に含む。三角測量のみに依る隧道延長に關する誤差  $\pm 0.14$  m、但し實際は使用せる基線の誤差により影響を受けるから夫を考へに入れば  $\pm 0.83$  m、Rosenmund は  $\pm 0.56$  m と推定して居つた。

(3) **Lötschberg Tunnel** (14536 m) Lötschberg Tunnel は Simplon Tunnel に近く瑞西内に在る隧道で、最初は第 863 圖に示す如き三角測量を 1906 年より初め 13744 m の直線隧道を計畫し、工事進行中 1908 年 7 月 24-25 日北坑門より 2675 m の Kander 河底に來りし時、水を飽和した



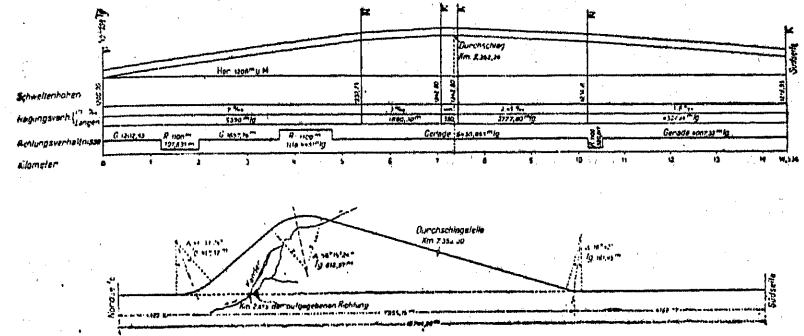
第 863 圖 Lötschberg Tunnel 中心線測量の三角網



第 864 圖 Lötschberg Tunnel 中心線の表面設置

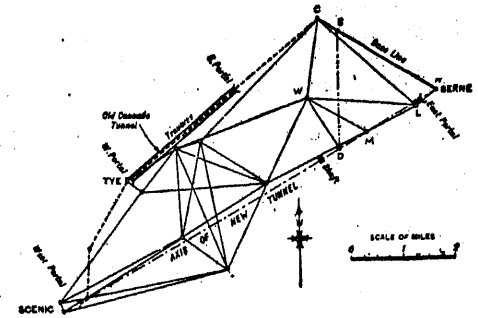
(4) New Cascade Tunnel (12518 m) New Cascade Tunnel にては前述の経緯測量に依る照査の目的を以て 1926 年夏三角測量を行つた。第

る土砂上部より崩壊し導坑及び既設箇所約 1 km を埋没して了つた。依て此の地質不良の個所を避けて第 865 圖の如く半径 1100 m の三個の曲線に依て延長 800 m を増加して工事を進め遂に 1911 年 3 月 31 日導坑貫通するに至つた。



第 865 圖 中心線變更後の Lötschberg Tunnel 平面圖及び縦断面圖

866 圖は其の三角網を示す。尙此の場合基線として前の経緯測量で測つた“Berne”に近い一線 AC を取つた。又“Mill Creek Shaft”の位置を定める爲に基線 CA 中に堅坑 D を見透す B を定め、AB を基線として三角形 ABD を解いて D の位置を定めた。



第 866 圖 New Cascade Tunnel 三角網圖

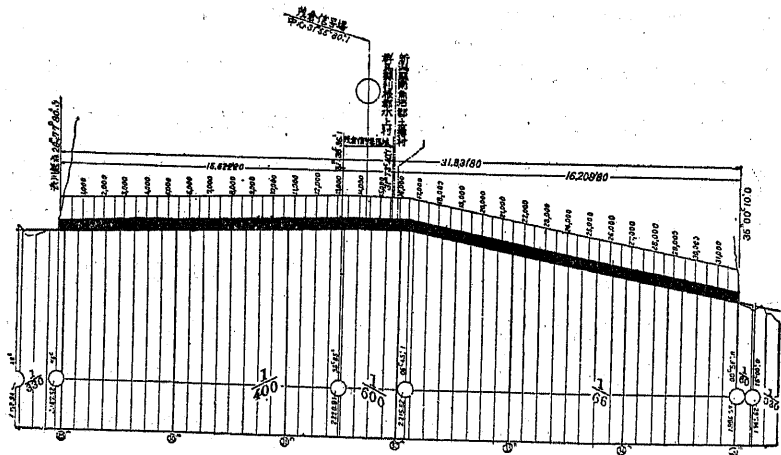
(5) 猪之鼻隧道 前述の如く直接測定に依りたる外主として照査用として工事着手後大正 12 年 (1923) 1 月三角測量を行つた。基線を設く可き適當の土地無く、戸川口材料置場及び國道に沿ひ 251 m (=660') の基線と坪尻口附近込野部落の如中に 91.4 m (=300') の基線を設ける事が出来、第 868 圖の如き三角網を組んだ。第 867 圖は同隧道の縦断面を示す(巻末折込)。

(6) 清水隧道 (9702 m 33) 上州高崎及び越後長岡を連絡する上越線が上野、越後國境東山々脈を貫く單線型直線隧道で、延長 9.7 km 東洋第一の

大隧道である。大正 8 年 (1919) 6 月より測量に着手し、三ヶ年を費して地形並びに中心線の實測をなし、大正 10 年 (1921) 秋漸く兩坑口が決定され、尙大正 11 年 (1922) より工事に着手した。昭和 4 年 (1929) 12 月 29 日導坑貫通し、昭和 6 年 (1931) 9 月 1 日より開通した事は記憶に新なる所である。

隧道中心線の方角を求むるに當り山頂より兩坑門附近を見透す事を得ず、止むを得ず谷川富士及び茂倉嶽の二觀測點を分水嶺の中心線上に定め、之より双方に視準線を延長して、第 869 圖 (卷末折込) に示す如く全中心線を 7 區に分ち、各區間の距離を求むる爲めに獨立の三角網を有し、基線の數も 6 個に達して居る。大部分四邊形より成り、基線  $AB$  に依り中心線 1-2 を求め、更に基線  $CD$  に依て 2-3 を求むる如く、斯の如き部分的三角網も地形上止むを得ないのである。

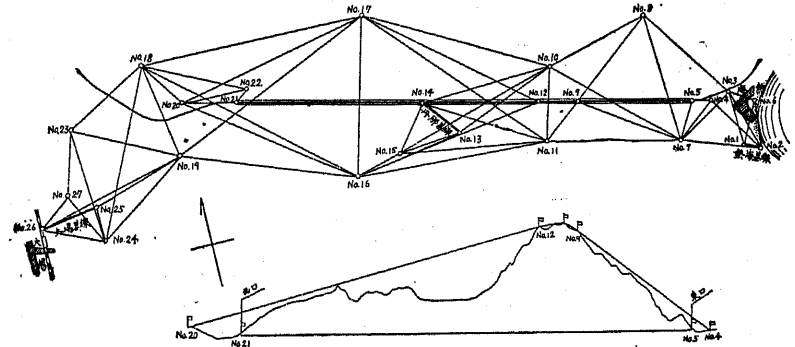
第 870 圖は同隧道の縦断面を示す。高崎口より  $\frac{1}{400}$  上り勾配、長岡口



第 870 圖 清水隧道縦断面

より  $\frac{1}{66}$  上り勾配で、中央に茂倉信號所設置の豫定で約 600 m の間  $\frac{1}{600}$  の緩勾配とし幅及び高さを切り擴げてある。

(7) 丹那隧道 (7807 m) 丹那隧道は東海道線中園根迂回線を改良する爲め静岡縣熱海町と大竹との間に設けられた複線型直線隧道で、明治 45 年 (1912) 5 月以来實測を初め昭和 4 年 (1929) 第 3 回の三角測量を行つた。第 871 圖は丹那隧道の三角測量圖にて、土地緩傾斜の爲め三角形の連絡略良好である。



第 871 圖 丹那隧道三角網及び表面設置圖

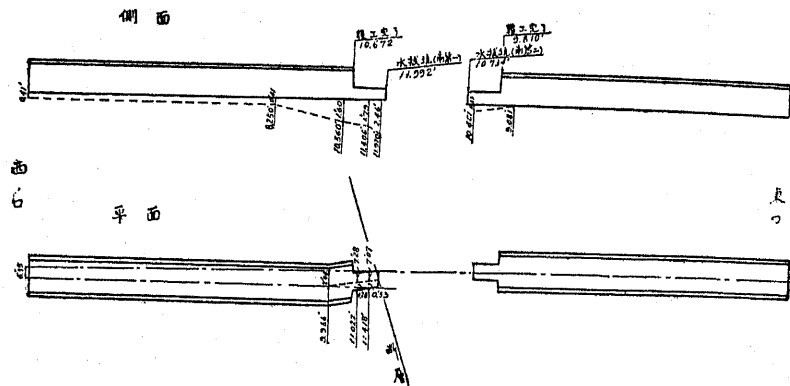
昭和 5 年 (1930) 11 月 26 日の北伊豆の地震に依り影響を受け先に三角測量に依つて定めたる中心線及び水準は相當の移動を示して居る。次に其の移動の概略を示す。

丹那隧道震災後中心線及水準検測

(1) 中心線

- 東口 東口坑内掘鑿終了部分の中心線検測の結果は、直線にして異状がない。
- 西口 東口は移動なきものとし (目下廣い範圍に涉り、陸軍省參謀本部に於て、測量中であるが、その結果が判れば、東口は移動したか否かが判明する筈である。然し東口坑内掘鑿終了部分の中心線、地表面の東口及瀧地山をつなぐ舊中心線とは一致して居る)

東口坑内掘鑿終了部分の中心線を延長して検測するに、西口は南方に移動して居る。尙西口は坑門より坑奥が少し南方に移動し、坑門起點 9966 呎附近に於て、折れて坑奥が少し北方に移動して居る。而してその移動の程度は、坑門に於て 6.35 呎、坑門起點約 9966 呎(約 7 吋上下の段違を生じた附近)に於て 7.44 呎、11022 呎に於て 7.28 呎、11418 呎(斷層面附近)に於て 7.07 呎である。



第 872 圖 震災當時中心線及び水準の移動狀況(東口は中心線及び水準とも移動なきものと假定す)

(2) 水 準

東口 東口坑門は移動なきものとすれば、坑門起點 9081 呎迄は移動なく、10401 呎(本坑底設導坑掘鑿末端 10666 呎)に於て 0.33 呎低下して居る。

西口 西口は東坑門を移動なきものとして検測するに低下して居る。その低下の程度は、坑門より坑門起點 8250 呎迄は 0.41 呎、10560 呎(覆工完了末端 10672 呎)に於て 1.60 呎、11406 呎に於て 1.79 呎、11920 呎(本坑底設導坑掘鑿末端 11795 呎、南側第三水抜坑掘鑿末端 11985 呎)に於て 2.46 呎である。

(3) 今後掘鑿の方針は中心は S 型曲線を挿入し、勾配は地盤の低下に倣ひ、一部變更する。而して覆工完了部分は現状の儘で差支ない。

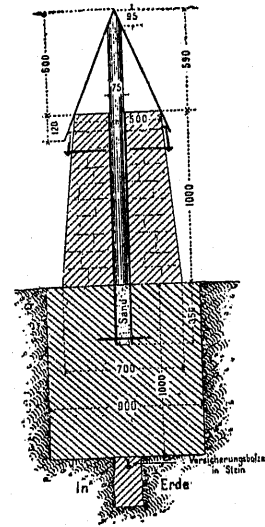
383 規標及器械 (Signal and Instrument)

(1) 規標 (Signal) 普通三角測量に於ては器械を据付けて觀測を行ふ

觀測臺 (Observing Tower) と他測點より視準せらるゝ規標 (Signal) とは別の構造とするが、隧道測量にては兩方を併せて規標上に器械を据付けて觀測を行ふ場合が多い。勿論小隧道の場合は普通三脚上にて觀測し規標も向桿其

他に依る。隧道測量に於ける規標は次の如き特徴を具ふるを要する。

- (1) 他測點より明瞭に識別される事
- (2) 器械の中心を正確に規標の中心に合せ得る事
- (3) 山頂は風雪強く又修繕困難なる故構造堅固にして移動、沈下等の生ぜざる事



第 873 圖 Simplon Tunnel

三角測量の規標 (1) は更に木桿を入れ、其の上にブリキ製の圓錐形覆

ひを被らして居り、此の覆ひは鐵釘に依て築壘工に固定されて居る。勿論鐵管木桿及び覆ひの中心は精密に地下標

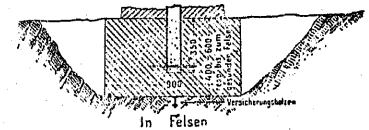
と合致されて居る。之を器械觀測點として使ふ場合は覆ひを開き木桿を取り

除き、鐵管に同心圓をなす様に器械の

水準螺旋を置く、此の爲に前以て築壘

工の上面にブリキ板を張り、夫に鉛筆で鐵管に同心なる圓を畫いてある、更に

規標位置を示す爲に周圍の岩に第二の十字を刻み、規標よりの距離を測り



第 874 圖 Simplon Tunnel 三角測量の規標 (2)

照査とした。

第 876 圖も同一の構造で Albula Tunnel (5866 m) の三角測量に用ひられたものである。鐵管の内徑 8 cm、中に 7.5 cm 長 2.0 m の木樁を入れる。第 877 圖は Löttschberg Tunnel

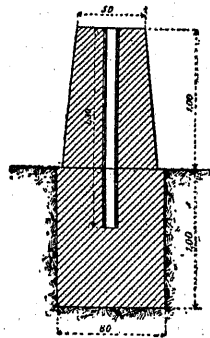


第 875 圖 Monte Leone 三角點視標 (Simplon Tunnel 三角測量)

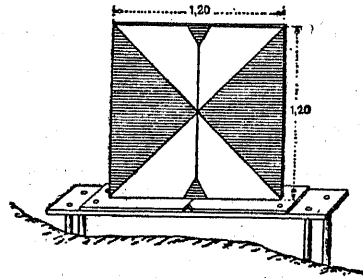
の表面設置に用ひた

規板 (Sighting Board) で、隧道中心線に直角に 2.0 m × 0.5 m の板を水平に置き、之に中心線を有する 1.20 × 1.20 m の板を軸に直角に設け、視準を

容易ならしむる爲め對角線に依て黑白に色分けして居る。

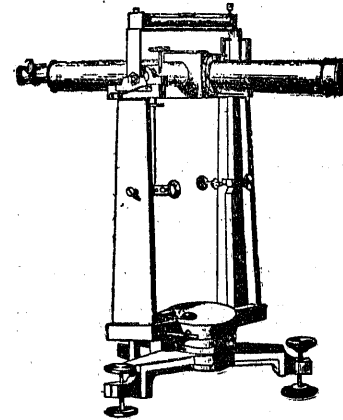


第 876 圖 Albula Tunnel 三角測量の視標



第 877 圖 Löttschberg Tunnel 表面設置用規板

(2) 器械 第 878 圖は Mont Cenis Tunnel (12234m) (1871 年完成)



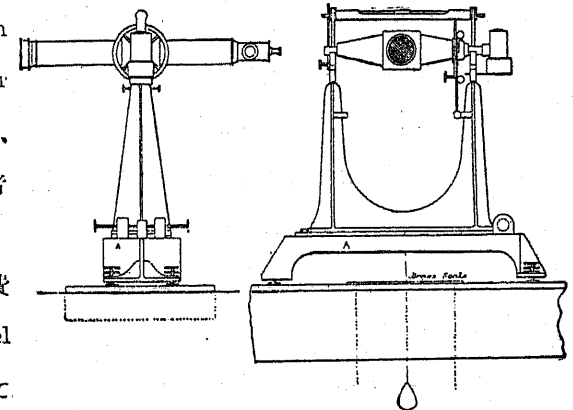
第 878 圖 Mont Cenis Tunnel 中心線見透用經緯儀

同じく第 879 圖は英國 Totley Tunnel (5697 m) (1892 年完成) の中心線見透しに用ひた器械である。之等は何れも所謂見透用器械 (Passage Instrument) と云はれ、現今の轉鏡儀の如く萬能ならず強力なる望遠鏡及び跨準器に依り見透用にのみ役立つもので、器械の發達と共に古典的となり現今は使用されない。

次に用ひられたものは測微器を有する大型の反覆型經緯儀 (Repeating Theodolite)

で、水平分度の外尙ほ垂直分度を有し、三角水準測量をも行ふ事が出来る。Simplon Tunnel (1898 測量) には初め Kern & Cie in Aarau の反覆型測微經緯儀を用ひた。之は水平分度圓 21 cm、垂直分度圓 16 cm、測微器の一目が 4" を示し、垂直分度の遊標は直接 10" を示す。不幸にも此の器械は

倒壊して破損し 24 cm の遊標經緯儀 (Vernier Theodolite) を用ひた、尤も器械は異なるが兩者の精密度は同一で 13 測點に對し 41 日を費した。Albula Tunnel (1898-99 測量) にも Kern & Cie の 21



第 879 圖 Totley Tunnel 中心線見透用經緯儀

cm 及び 24 cm を用ひ、望遠鏡正、倒の位置で 10~12 回観測を行ひ同様に合計角が 360° になる様にした。Lötschberg Tunnel にても初めは Kern の反覆経緯儀を用ひ、後には 21 cm 測微器付反覆経緯儀を用ひた。

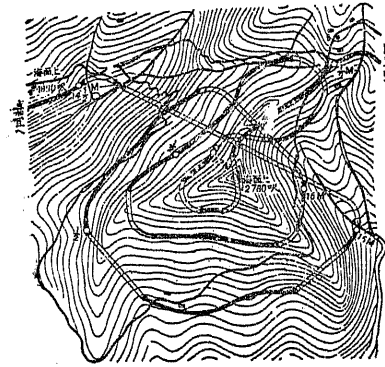
之等の経緯儀は重量重く取扱ひに不便で、現在は望遠鏡其他の改良の爲め同一精度に對して重量は半減して居る。本邦の山頂には大低三角點があり之等を利用し得る機會が極めて多いから、従つて大型経緯儀の必要は減多になり。本邦では普通三角測量に 12 cm 10" の轉鏡儀を用ひて居るが、視準距離 1 km を越す場合には不適當で前述の Wild, Zeiss, Otto Fennel 等の経緯儀を用ひねばならぬ。

### 384 曲線隧道の表面設置

曲線隧道は其の測量及び工事に困難なるのみならず完成後の保線、運轉にも厄介であるから成るべく直線を選ぶ可き事、但し地形、地質に依り止むを得ず曲線とする時は成る可く大なる半径を用ふる。大隧道にて接近線に良好な連絡を得ない時は入口に曲線を置くが、初め直線に假設導坑を設けて全體の方向を定め後に曲線を設置する。曲線隧道として特に著しいのは所謂ループ隧道 (Loop Tunnel or Tunnel Spiral) で、之は地表の平均勾配より緩やかな勾配の路線を設くる時に用ひられる。

中心線に曲線を用ふる場合は先づ地上に於て切線交角 (I) 及び切線長 (T) を測り曲線長 (C.L.) を定むる事一般路線測量の場合と同じ、然し堅坑を用ひない場合には地上に曲線を測設する必要はない。ループ隧道の場合は片勾配となり従つて兩線路の交點を生ずる。此の交點に於ける高低差は正確に定めなければならぬ。成るべく正圓で複曲線特に反向曲線は最も宜しくない。

今  $h$  = ループ隧道交點に於ける高低差



第 880 圖 臺灣阿里山森林鐵道

軌間 0.762 m, 最急勾配  $\frac{50}{1000}$   
最小曲線半径 45.72 m

$R$  = ループの半径,  $\frac{1}{n}$  = 勾配

とすれば正圓の場合は

$$h = \frac{2\pi R}{n} \dots \dots \dots (518)$$

複曲線の場合は

$R_1, R_2, \dots$  = 各曲線の半径

$\frac{1}{n_1}, \frac{1}{n_2}, \dots$  = 各曲線の勾配

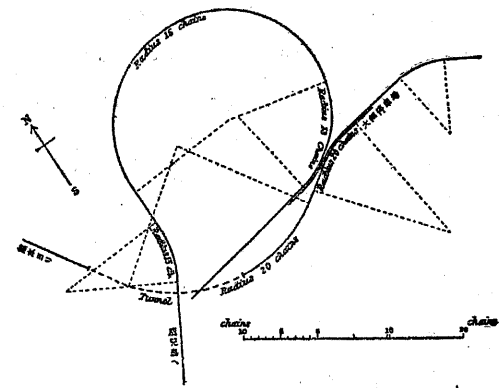
$\theta_1, \theta_2, \dots$  = 各曲線の中心角

$\rho$  = Radian

とすれば

$$h = \frac{R_1\theta_1}{n_1\rho} + \frac{R_2\theta_2}{n_2\rho} + \dots = \frac{1}{\rho} \sum \frac{R\theta}{n} \dots \dots \dots (519)$$

ループ隧道は外國には多いが、日本には例が少く僅かに臺灣阿里山の森林鐵道 (第 880 圖)、九州肥薩線矢嶽峠附近 (第 881 圖)、及び近頃出來上つた清水隧道の兩側に在る湯檜會及び松川のループ隧道である。之れは水上→石打間地表の平均勾配  $\frac{1}{30}$  の所に  $\frac{1}{50}$  の線路を設ける爲で、兩ループ線共  $R=400$  m,  $\frac{1}{n} = \frac{1}{55}$  の正圓である。



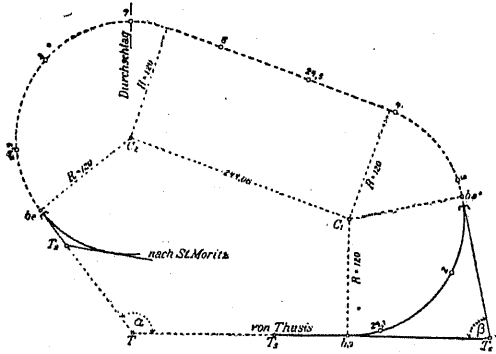
第 881 圖 肥薩線大畑停車場附近

次に瑞西 Albulal 線中の



曲線隧道設置の例を示す。

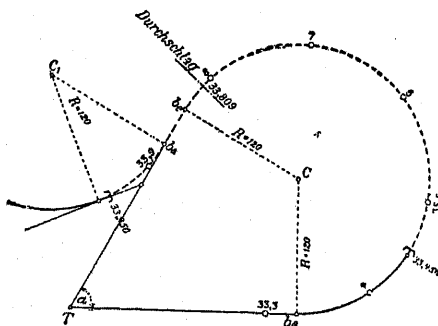
例(1) Greifenstein Tunnel (693 m)(第 882 圖) 兩切線の交點  $T'$  を求め其の交角  $\alpha$ 、距離  $T_9-T_1$  及び  $T-T_5$  を測る。更に  $ba-T_6$  及び交角  $\beta$  を計算し、 $T_5$  より  $T_5-T_6$  を取り其の點に於て  $\beta$  をなす方向に  $ba'-T_6$  を取つて  $ba'$  を定める。又  $TT_9$  の延長上に切線長  $be-T_9$  を取つて他の位置  $be$  を定めて隧道内に入る。



第 882 圖 Greifenstein Tunnel

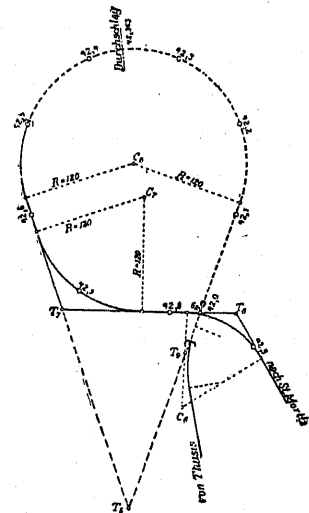
交點  $T$ 、切線交角  $\alpha$  及び切線長  $T \rightarrow ba$  及び  $T \rightarrow be$  を求め、此の線上に直線  $be \rightarrow ba$  及び反向曲線の切線長  $ba \rightarrow T_1$  を取り、更に  $T_1$  に於て  $\beta$  を測つて隧道入口を決定する。

例(3) Obere Toua Tunnel (535m) (第 884 圖)  $6a-T_7$  の距離及び  $6a$  並びに  $T_7$  に於ける角を測り切線交點  $T_8$  を定める。 $T_8 \rightarrow T_9$  を



第 883 圖 God Tunnel

例(2) God Tunnel (485 m)(第 883 圖) 一方側の入口近く障害物の爲め反向曲線を有する爲め馬蹄形隧道の切線



第 884 圖 Obere Toua Tunnel

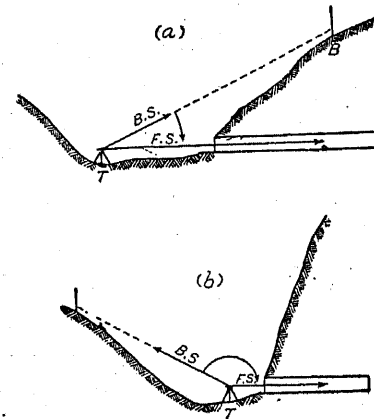
測つて入口を決定し其の方向を岩に示した。

第 885 圖(巻末折込)は北海道長輪線禮文華峠附近の線路を示す、同地は一個の長大隧道とするよりも施工の便宜上小隧道に區分したのである。

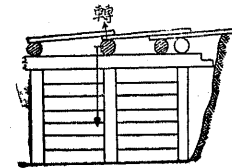
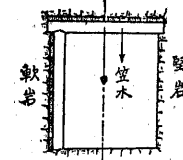
### 第三章 地下設置 (Underground Alignment)

#### 385 坑門よりの地下設置 (From Portal)

中心線の方角と坑門の位置及び高さが定まれば中心線は之を地下に延長する。第 886 圖の如く轉鏡儀を坑門外の測點又は其他工事に差支無き中心線上の一定點に据付け、表面設置に依る既知點を視準して之を地下に延長する。此の際轉鏡儀はあらゆる方法を講じて誤差を除く様にする。之を導坑の笠木或は轉 (Cap Piece) の上に移し第 887 圖の如くなす。第 883 圖は打込む釘の種類を示す。導坑より切擴を行ふ場合は常に此の中心杭を中心として掘鑿する。拱架も矢張り之を中心として据付け拱の巻立を行ふ。



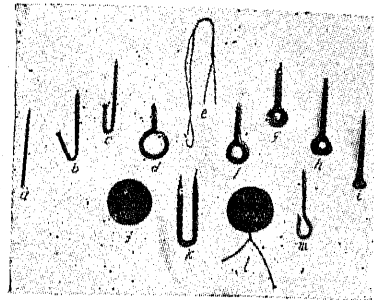
第 886 圖



(普通土)

第 887 圖

更に深く導坑が進みたる時は相當に離れた中心點の間に下振を下げ、又は Lamp を吊して、之等を見透しつゝ中心釘を前方に打込む。次に掘鑿を終り側壁及び拱を巻立てる時は其の中央部に木棟瓦又は木塊を埋め込み、平素は蓋をして障害物に備ふる。必要の場合



第 888 圖

蓋ひを取去つて視準する。又巻立をしない隧道ならば岩盤中又は横木に中心釘を打つ。

猪之鼻隧道にては其の中心線を壘築完成部分に對しては 300 m 毎に中央下水蓋の上に確實な點を取り、此の點は下水蓋製作の際特に埋め込んだ木片の上に取り、此の點に據つて切擴の附近迄中心を延長し、之より先き導坑に中心を移すには距離に應じ太さを異にせる測針を立てた。

Simplon Tunnel にては中心線の地下設置を行ふ爲に極度の注意を爲し、



第 889 圖 Simplon Tunnel 南口假設導坑及び坑外觀測臺

經緯儀が風雨其他及び周圍の交通に依り影響を受けない様に第 889 圖の如く建物で蓋はれた内法 4.5 m の圓形觀測臺を築造した。此の觀測臺の中央に器械を設置する爲の重き堅固な

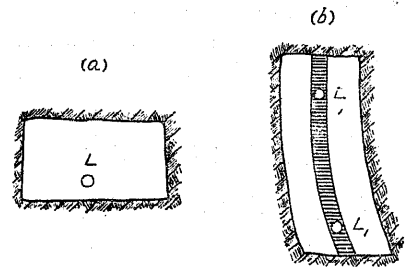
繼目なき臺が置かれ、之れより直接三角測量の測點を視準して簡單に中心線を隧道内に延長した。然し南口では工事用輕便線と地質不良の爲に 22 m 後の岩盤中に築造した。此の中に 24 cm Kern and Cie in Aaran の經緯儀を据付けて觀測した。

隧道内部の中心線測量は何等普通と異ならず二點を視準して延長する法で、視準誤差は大體 km に就き 10 mm 以内になされた。延長 4 km 以上となると地球の曲率の影響 1 m に達する爲に規板は見えなくなり坑外の觀測臺からは視準出來ず、夫で觀測臺上に Lamp を置き之を規標として内部に進んだ。此の内部の中心線設置には前と同型である Kern and Cie 21 cm の經緯儀を用ひた。

此の地下測量は一ヶ月毎、三ヶ月毎及び一年目毎に行はれ、三ヶ月毎の時は特に注意して行ひ、一年一度の測量は 12 月 4 日即ち Santa Barbara 記念祭當日を選び、其の日は總ての工事を休み測量の爲に坑内を清潔にし且つ特に通氣に注意した。隧道内の中心線は 100 m 及び 200 m 毎に固定點を設け、測量中はアセチレン燈で照された。

此の隧道では坑外の冷空氣と坑内の溫空氣との屈折力の相違に依り規標の

縱線を透す光線は恰も拱の一部の如く上部に於て曲つて居た。隧道の導坑断面は高 2.5 m、幅 2.0 m で地球の曲率を考へる時普通の屈折の場合は第 890 圖 (a) に示す如く其の上半部及び觀測臺の光の位置  $L$  を見得べきに拘はらず、(b) に示す如く約 2.5



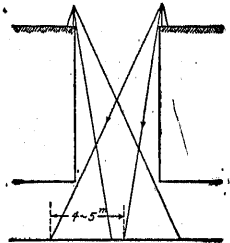
第 890 圖

倍位高く且つ強く曲つて見え、 $L$  は其の上部に更に下邊に近く第二の像  $L_1$  を生じ、前述の如く  $L$  と  $L_1$  とは同一垂線上に非ずして水平角  $4.5'$  を夾み、之は 5600 m の距離にて 1.20 m の外れに相當する。\*

386 豎坑よりの地下設置 (From Shaft)

豎坑の位置は地上の中心線内又は特定の點に之を定め、豫め水準測量に依て定めた深さ迄掘鑿して而る後地上の中心線を地下に移す。之には次に示す二法が用ひられる。

(1) 轉鏡儀に依り直接行ふ法 豎坑が大きく且つ浅い場合或は排水ポンプの振動その他で振子を使へない場合に適する。元來鑛山關係では此の法を



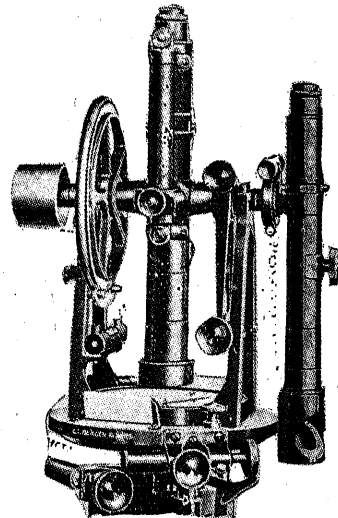
第 891 圖

よく用ふるが隧道には餘り用ひない。

第 891 圖の如く中心線上豎坑の兩端に近く 2 個の轉鏡儀を据付け錘を用ひて坑底に引張

りたる約 100 m の針金を視準する、約 4~5 m は視準し得るから此の針金を直して地上の中心線と合せる。此の時導坑は大體の方向に合せて掘鑿して置く。

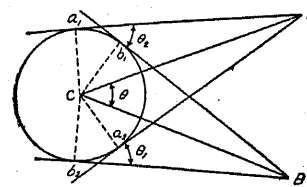
普通の轉鏡儀では豎角  $55^\circ$  以上視準不可能で此の場合は主に偏心轉鏡儀 (Transit



第 892 圖 側望遠鏡附轉鏡儀

\* 詳細に就ては Sch. B.Z. 2 Aug. 1902. S. 43-46

“Ueber einige Wahrnehmungen bei den Richtungs Kontrollen am Simplontunnel.”



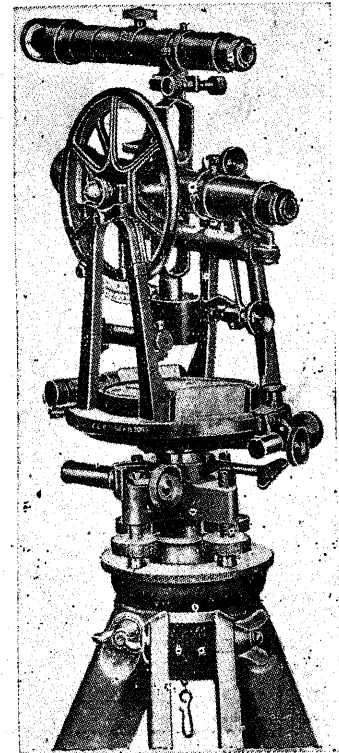
第 893 圖

with Eccentric Telescope) を用ひる。第 892 圖は即ち之れで二點間の角度を測る場合は第 893 圖の如く一度は望遠鏡を右にして測り  $\theta_1$  を得、更に望遠鏡を左にして同一角を測り  $\theta_2$  を得た時は眞の角は  $\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$  であ

る(上巻 162 頁参照)。第 894 圖は普通望遠鏡の上に更に小型の望遠鏡 (Top Telescope) を備へたものである。

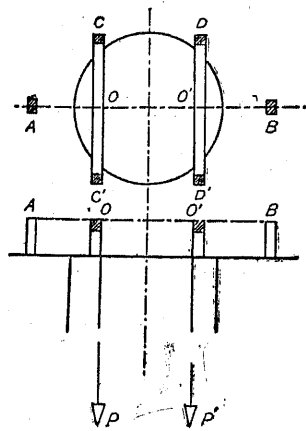
(2) 下振線に依る法 (Wire Plumbing) 表面設置の後之を地下に移すには普通下振を用ふる。勿論正確に行ふ場合には五角プリズム其他を應用せる光學的錘線 (Optical Plumbing) に依らねばならぬが、其の裝置が簡単な爲と相當の精度迄達し得る爲め主として振子に依る法が用ひられる。振子に依る法には (1) 二本の下振線を用ふる所謂二線法 (Two Wire Plumbing) と (2) 三本の下振線に依る三線法 (Three Wire Plumbing) がある。

二線法は中心線中豎坑の兩端に近く二點を定め是等の點より下振を下げて地中に中心線に移すのである。第 895 圖に於て豎坑の中心線より 15~30 m を距つる中心線



第 894 圖 頂望遠鏡附轉鏡儀

上の二點 A, B に杭を打ち、其の先端に釘を打ち其の釘の間に絲又は針金を

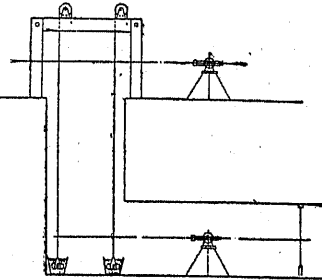


第 895 圖

張れば AB は中心線の方  
向を表はす。之を坑  
底に移すには AB に直  
角の方向に C, C' 及  
び D, D' なる二對の  
等高の杭を打込み、  
之等の杭の上に小横  
木 CC' 及び DD' を  
架し其の上面は糸と  
殆んど觸れる様に  
し、斯くして AB 線  
と横木の縁の交點 O  
及び O' より各下振  
り OP 及び O'P' を  
下す。振子の振動  
を除く爲に其の錘  
(Plumb Bob) を水  
又は油の中に浸し、

振動静まり

たる後下振を見透す  
か或は之等に接する  
線を張つて地下に  
中心線を導く。中  
心線の方  
向を設置し終れば  
横木 CC' 及び DD'  
を取外し且つ A, B,  
C, C', D, D' 等の  
杭を充分保護し、  
他日必要の場合  
直ちに下振を



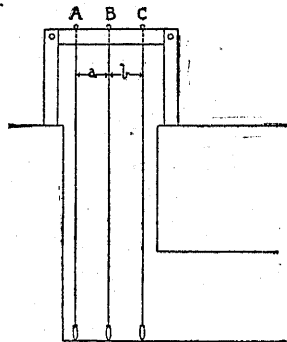
第 896 圖 二線法

下し得る様にする。

第 896 圖は下振及  
び轉鏡儀に依る地  
下設置を示す。

三線法は第 897 圖  
の如く三本の下振  
線を用ふるもので、  
二線法に比し方向  
誤差が少ない。但  
し堅坑の大小なる  
時は用ひられない。  
普通下振間隔 a, b  
を等しくする。

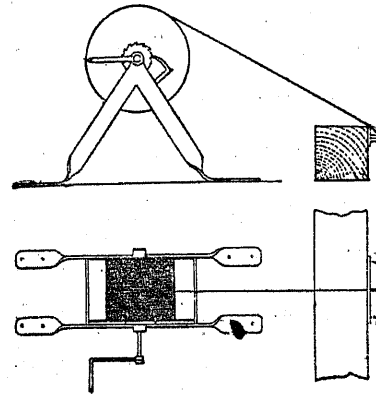
下振を下げる場合  
に其の位置を確定  
し且つ其



第 897 圖 三線法

の調整を容易ならし  
める爲に垂下装置  
を用ふる事がある。

Totley Tunnel に於  
ては堅坑より中心  
線を移すに第 898  
圖の如き装置を用  
ひた。之は鐵框の  
上に取付けられた  
巻揚鼓輪 (Winding  
Drum) と之を任意  
の位置に保つ齒車  
及び齒止 (Ratchet  
and Paul) とより  
成り、針金は調整  
装置を通過し、螺  
旋を廻す事に依  
て糸を任意の位置  
に置く事が出来る。



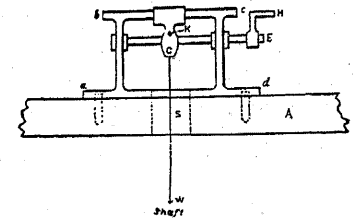
第 898 圖 Totley Tunnel 堅坑に於ける下振線垂下装置

意の位置に保つ齒  
車及び齒止 (Ratchet  
and Paul) とより  
成り、針金は調整  
装置を通過し、螺  
旋を廻す事に依  
て糸を任意の位置  
に置く事が出来る。

第 899 圖は英國  
Mersey Tunnel の  
測量に用ひたる  
下振垂下装置  
である。

a, b, c, d は砲  
銅製で高さ 8~10  
cm, 長さ 15 cm  
位の臺で横木 A  
に取付けられる。  
此の横木は隧道  
の中心線に直角  
に隧道を横切つ  
て置かれたもので、  
横木には S なる  
孔があり、臺底  
の橢圓孔と相應  
する。下振は摺  
み C に掛けられ、  
此の摺み C は二  
部分に分れ其の  
一は臺の上部に  
在る横柱 bc に  
嵌り、他は

把手 H に依て回  
轉する螺旋軸 E  
に連絡し、把手  
の回轉に依り左  
右に移動する。又  
中心線上の一點  
に轉鏡儀を据付  
け中心線を視準  
し乍ら一方把手  
H を廻轉して一  
點 K を精密に中  
心線上に重なら  
しむ。此の装置  
を堅坑の兩端に  
設くる時は非常  
に便利に中心線  
を定むる事が出  
来る。又砲銅臺  
及び横木は取付  
け、取外し共に  
輕便である。



第 899 圖 Mersey Tunnel に於ける下振垂下装置

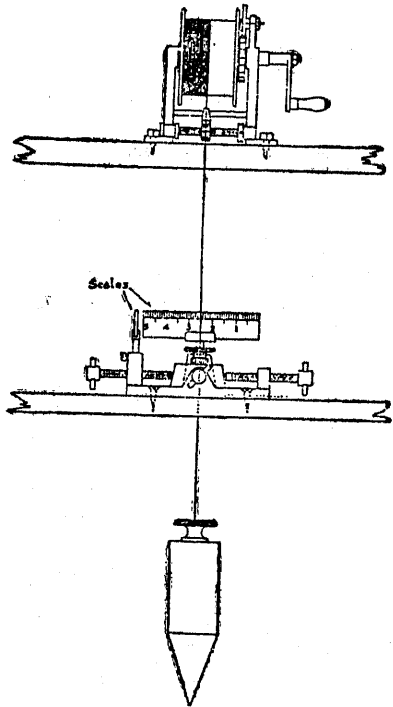
第 900 圖も同様に下振の位置を確定する装置で下振を鑄鐵製の基板の中央の孔に通し、更に基板には互に直角の方向に水平に尺度を装置してある。轉鏡儀を尺度に直角に据付け合焦して針金及び尺度の目盛りを視準し、其の振動の量及び平均位置を記す。次に 4 個の調整螺旋を動かして尺度の中央に針金が在る様にして位置を確定する。

下振を用ふる場合は下振間隔の大きなほど長さ基線を得て有効であるが、普通の堅坑は幅 3~5 m 若くは直径 3 m 位で従つて針金の間隔も 2.5~4 m 位である。鑛山等には

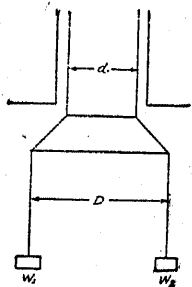
下振間隔が小なる時第 901 圖の如き増大棒 (Extension Bar) の装置を用ふるが、隧道測量には殆んど使用されない。

錘は通常鉛で其の重量は堅坑の深さに依て異なるが 4~20 kg 位である。針金は特に強き Pianoforte Wire を用ひ、直径 0.5~1.0 mm 位で、アルカリ液に浸した方が坑中で錆びない様である。

New Cascade Tunnel の Mill Creek Shaft には其の大きさ 2.44 m x 7.3 m の矩形で Size No. 20 (=0.8

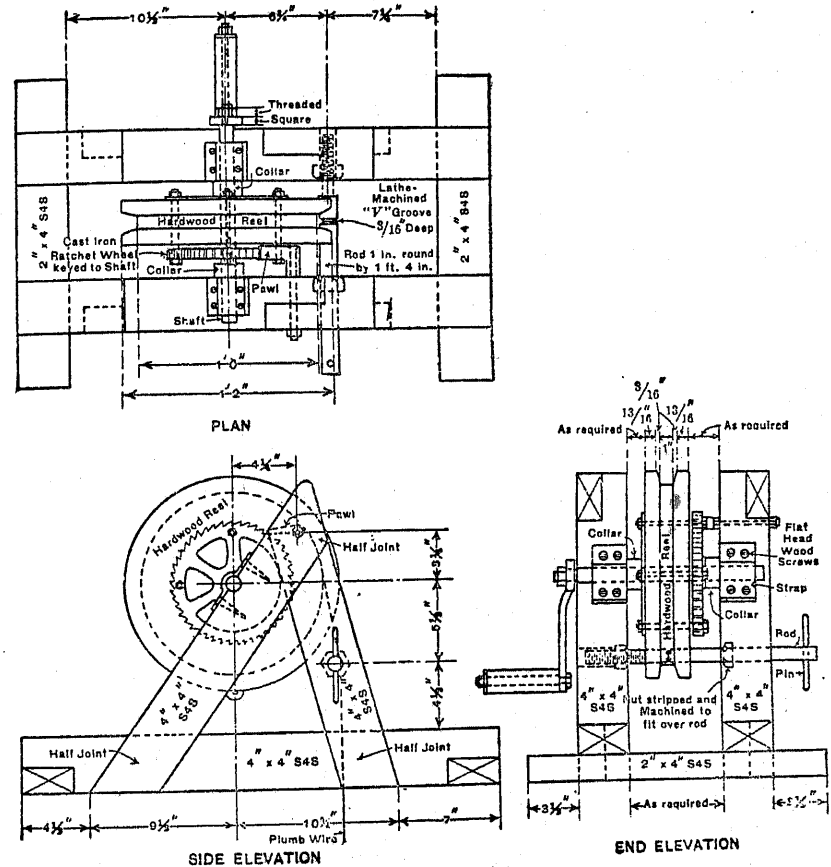


第 900 圖 下振線垂下装置



第 901 圖

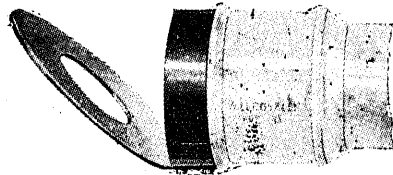
mmφ) の 2 本の Piano Wire に 27.2 kg の錘を付け、其の錘は振動を防ぐ爲に水槽の中に入れられた。是等の針金の間隔は 6.23 m で之を基線として地下設置を行つた。針金の長さ 190 m、此の針金の垂下及び堅坑の上部に於ける位置の確定には第 902 圖に示す如き装置を用ひた。



第 902 圖 New Cascade Tunnel の Mill Creek Shaft に於ける下振線垂下装置

387 坑内測量用器械及び其の照明

坑内測量用器械は次の如き特徴を有さなくてはならぬ。



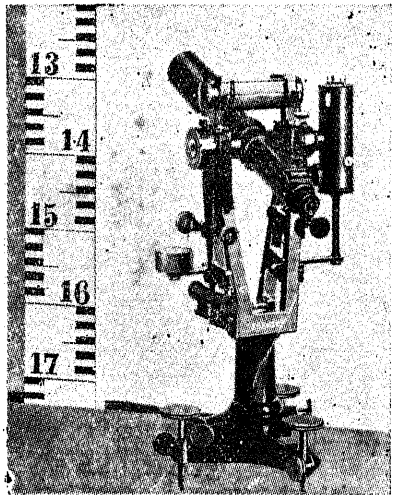
第 903 圖 又線照明器

(1) 坑内測量は主として中心線の見透しであるから、特に直線延長に適當なること。

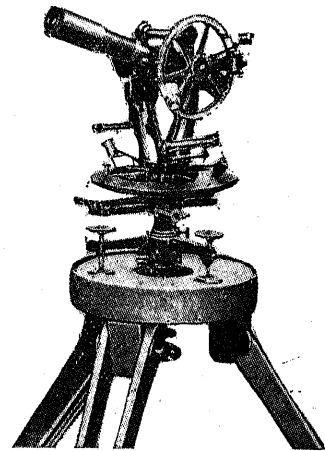
(2) 障害物、振動其他の關係上普通三脚に依らず特別な堅固なる支臺を必要とする。

(3) 坑内暗黒の爲め器械の又線及び分度面を照す装置を要する。

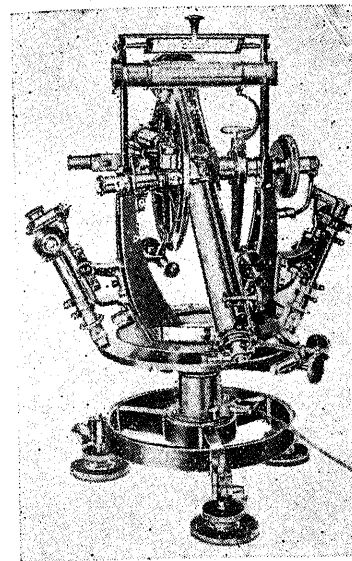
此の中最も重要なものは(3)である。又線の照明には昔は器械の横軸を中空にし軸の一側に特別の Lamp を置いて照すか、又は第 903 圖の如き又線照明器(Cross Hair Reflector)を用ひて居つた。第 904 圖は Simplon Tunnel の



第 904 圖 Simplon Tunnel の坑内測量用經緯儀



第 905 圖 Albula Tunnel の坑内測量用經緯儀



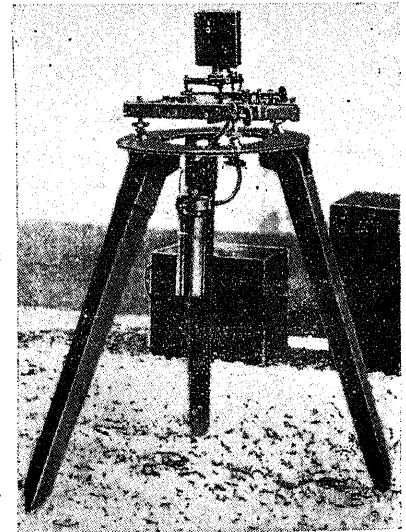
第 906 圖 Lötschberg Tunnel の坑内測量用經緯儀

mp) 等を處々に装置したもの多く、照明及び讀取り共に非常に良好である(上卷 133~137 頁参照)。

普通の轉鏡儀を坑内測量に用ふる場合は前方に電燈を置いて照し、分度の讀みには懐中電燈がよい。

坑内測量は軌道其他の障害物、水濕、振動の爲め堅固な然も速に取運び得る器械支臺を要する。普通鐵製の三脚が用ひられ、特に断面の側方

坑内測量に用ひた Kern & Cie の器械、同じく第 905 圖は Albula Tunnel の坑内測量に用ひた Kern & Cie 21 cm 反覆經緯儀で何れも横軸を中空にし Acetylene 燈にて又線を照して居る。第 906 圖は Lötschberg Tunnel の坑内測量に使用した Max. Hildebrand の 21 cm 測微經緯儀である。測微鏡大率 60, 直接 2" 讀み、0.2" 推讀で電氣照明が施されてある。總て現今の新型器械には器械内部に乾電池に依る豆電球 (Osram La-

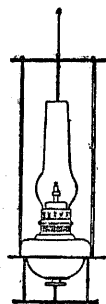


第 907 圖 Simplon Tunnel 坑内測量用視標及び鐵製三脚

に器械を設置する時は木或は石にて支臺を築造する事もある。第 907 圖は Simplon Tunnel に用ひた器械及び規標燈用の鐵製三脚である。

388 規標燈 (Target Lamp)

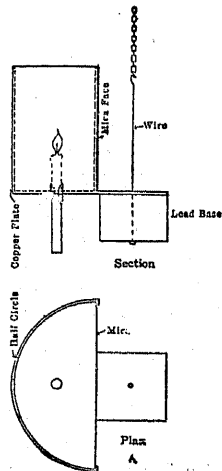
隧道測量にては又線のみならず見透し線を照さなくてはならぬ。見透し線の照明は昔は蠟燭又は石油燈であつたが現在は専ら電燈である。又視準距離大なる場合は下振線は視準出来ないから直接燈火を視準する、之を規標燈と云ふ。



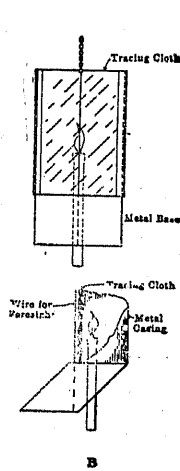
第 903 圖

第 908 圖は Totley Tunnel に用ひた丸心石油規標燈である。第 909 圖は鑛山で用ひられる所謂 Butte Backsight と稱するもので、下振燈の一種である。重き鉛の錘にて針金を吊しその背後に蠟燭立があり、半圓形の薄銅板にて背後を保護し前面は雲母板を置き全體の重心を下振線上に在らしめてある。鑛

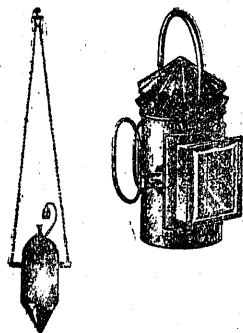
山にて用ひられる第 910 圖の如き下振燈 (Plummet Lamp) 或は規標燈も



第 909 圖 Butte Backsight

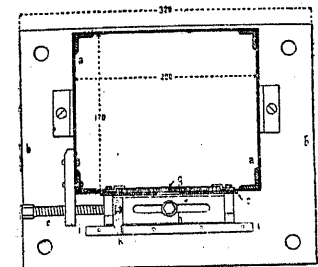
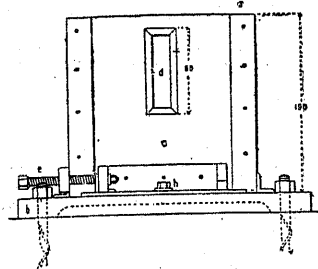


時として隧道に用ひられる。見透し線の後に摺硝子又は



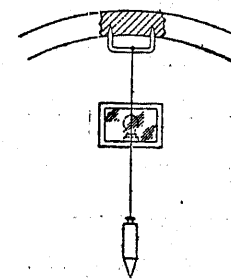
第 910 圖 下振燈及規標燈

寫圖紙の類を擴げ之を背後の電燈で照せば最も良好な視準が得られる。更に距離が遠い場合は一定の幅



第 912 圖 Simplon Tunnel 坑内測量用固定規標

d=摺硝子 g で蓋ふた間隙 (Slit) a の中に石油ランプを入れて照した。同じく隧道内部に於ける移動規標としては前述の第907圖の如き規板に 5mm の間隙を作り之を Acetylene 燈で照し、移動の便宜上圓筒狀瓦斯發生器を附屬して居る。第 913 圖は Simplon Tunnel のものを真似て作り Albula

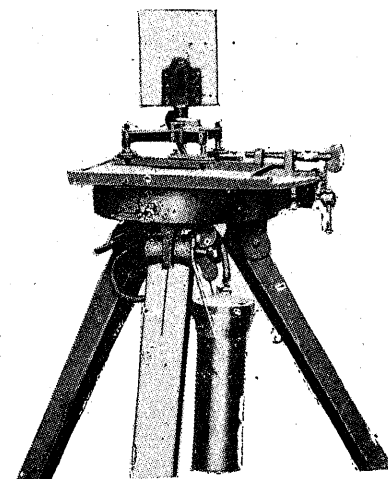


第 911 圖 見透し線照明装置

を有する空隙の後に電燈を照して視準する。第 912 圖は Simplon Tunnel に用ひたる固定規標 (Sighting

Mark) である。圖中

- a=鍛鐵の箱
- b=鑄鐵板で基礎の上に固定される
- c=螺旋 e に依て移動する滑り (Slide)



第 913 圖 Albula Tunnel 坑内測量用規標燈及び三脚

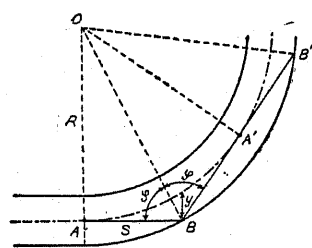
Tunnel に用いたものである。

坑内照明として石油燈を使用した時代には隧道内は煤煙の爲め汚され従て測量を行ふ日は作業を休止した。夫れ故に休工を厭ふて一月に1~2回しか測量しなかつた。然し現代の隧道工は坑内空氣比較的鮮明で作業中にも器械の視準は可能である。故に成る可く頻繁に少くとも一週一回は測量すべきである。然し精密な測量は矢張り作業能率を著しく阻害するから之は公休日を利用し坑内を清浄にして行ふが宜い。但し電力の供給が止るから其の時はAcetylene 燈を用ひる。之は石油燈に比して悪瓦斯の發生が著しく少ない。

389 曲線隧道の地下設置

曲線隧道を地下に設置する法は種々あるが、最も廣く用ひられて居るものは(1)外接正多角形を用ふるもの及び(2)内接正多角形を用ふるもの二法である。

(1) 外接正多角形を用ふる法 (第914圖) 先づ曲線始點(B.C.)Aより切線の方向にて、器械を据付け得る所で側壁に最も近き點Bを取りてAB



第914圖 外接正多角形に依る法

=S を測り  
 R=曲線半径  
 y=B 點に於ける支距  
 とすれば  
 $y = R - \sqrt{R^2 - S^2}$   
 $= R - \sqrt{(R-S)(R+S)} \dots(520)$

$\tan \varphi = \frac{R}{S}$  即ち  $\varphi = \tan^{-1} \frac{R}{S} \dots(521)$

に依て  $\varphi$  を求むる事が出来る。B に於て AB と  $2\varphi$  なる角をなす BA'B'

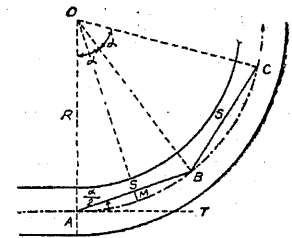
線の方角を定む。BB' の方向に S 丈測れば A' を得、此の A' は中心線上の一點である。A' より S 丈測れば B' を得、即ち B' は B と同様の性質を有する。斯くして B, B', B'', ..... の點より y なる支距を AB, A'B', A''B'' ..... に直角に出す時は中心線上の點を得。

(2) 内接正多角形を用ふる法 (第915圖)

$AB=BC=\dots=S$  (普通 20 m),  $\angle AOB=\alpha$

とすれば

$\left. \begin{aligned} \angle TAB &= \frac{\alpha}{2}, \quad \sin \frac{\alpha}{2} = \frac{S}{2R} \\ \angle ABC &= 180^\circ - \alpha \end{aligned} \right\} \dots(522)$



第915圖 内接正多角形に依る法

曲線始點 A より  $\frac{\alpha}{2}$  の方向に  $AR=S$  を測れば B は曲線中の一點である。次に B より AB と  $180^\circ - \alpha$  なる角をなす方向に  $BC=S$

を取れば C も又曲線上の點で、斯くして同様に之を繰返して行く。尙各弦の中點に於ける正矢 M を取り

$M = \frac{S^2}{8R} \dots(523)$

に依て計算して其の中點の位置を定める。

第四章 隧道の水準測量

(Leveling in Tunnel)

390 地表水準測量 (Surface Leveling)

隧道に於ける地表水準測量は大體次の如き目的を有する。



(1) 兩坑門の高低差 (Difference of Hight of Both Portals)

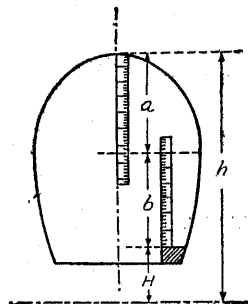
従て隧道勾配 (Tunnel Grade) の決定

(2) 縦断面 (Profile) 及び堅坑位置並に深さの決定

原則として概して地勢平坦なるか或は堅坑を設け得可き盆地、谷等存在する時は隧道中心線に沿ふて水準測量を行ふが、山嶽急峻で一見して堅坑の利用不可能なる場合特に距離の直接測定不可能の場合には道路、鐵道其他の迂回路を利用して兩坑門間的水準測量を行ひ坑門の高さ従て隧道の勾配を決定する。先づ兩坑門及び堅坑位置には工事に差支なき個所に、其他途中 500 m 毎に永久的水準基標 (B.M.) を設置し、更に其の中間に相當の假 B.M. を設け何回も測量をする。使用器械は普通のレベルを用ふる。猪之鼻隧道にては國道に沿ひ米國 Gurley 38 cm (=15 吋) Y Level を使用した。

391 地下水準測量 (Underground Leveling)

中心線の地下設置と同時に坑門の B.M. よりレベルにて地下水準測量を行ふ。此の時は函尺も照し、時には視標燈付函尺 (Illuminated Target Staff) が用ひられる。水準測量の時は地面 (Bottom) のみならず天井 (Ceiling) の高さも測る。第 916 圖に於て



第 916 圖

が用ひられる。水準測量の時は地面 (Bottom) のみならず天井 (Ceiling) の高さも測る。第 916 圖に於て

$h$  = 天井の高さ

$H$  = B.M. の高さ

とすれば

$h = a + b + H \dots\dots(524)$

B.M. は側壁、待避所又は適當の所に鐵楔或は釘を打込み之を見出し易くする爲に赤又は白ペンキにて  $\rightarrow$  を付けて置く。猪之鼻隧道にては坑内待避所

内に假 B.M. を設け更に大待避所内に本 B.M. を設けた。

392 堅坑より高低を移す方法 (Transferring Levels from Shafts)

隧道に於ける堅坑の深さは大抵 200 m 以下であるから成る可く 200 m 以上の鋼卷尺或は鋼針金を垂直に垂下し、一定の張力の下に其の深さを測るが宜い。但し堅坑の上端及び底部にては普通の如くレベルを使用する。第 917 圖にて

$H$  = 地表 B.M. の標高

$a$  = 地表 B.M. の B.S.

$h$  = 堅坑底に於ける B.M. の標高

$b$  = 堅坑底 B.M. に於ける F.S.

$c$  = 鋼卷尺の讀みの差

とすれば

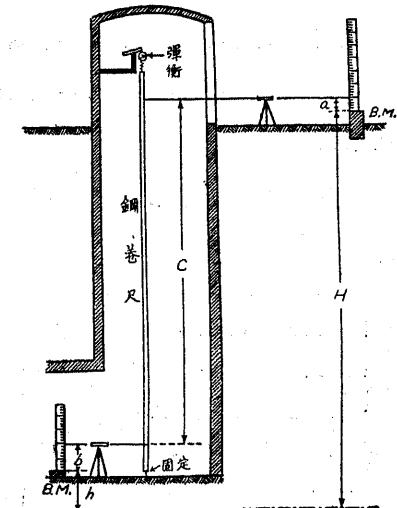
$h = H + a - (b + c) \dots\dots(525)$

鋼卷尺の無い場合は直径 1.0 mm

位の針金を垂下しレベルの視準點に印しを附け後同じ張力で測る。巻揚機又は昇降機の綱を利用しても良い又普通の 50 m 以下の鋼卷尺にて順次に測つても宜い。

393 隧道の勾配 (Grade of Tunnel)

隧道坑門の高さは接近線の關係に依り定まるが、極めて短き隧道 (300 ~ 500 m) の場合を除き  $\frac{15}{1000}$  以上の急勾配は成る可く避けるが宜い。然し一方



第 917 圖

工事中或は開通後の排水の爲に適當の勾配を必要とする。排水の爲には地形が許すならば中高に即ち兩坑門から中央に向て昇り勾配とすれば最も都合が宜い。然し長さの短い隧道では片勾配の事が多いから其の時は下位の坑門から掘鑿を進めるか、或は降り勾配の部分をポンプ排水に依て工事を進める。排水勾配は大體  $\frac{2}{1000} \sim \frac{2.5}{1000}$  位が宜い。長大なる鐵道隧道の勾配は隧道内部の軌條摩擦力の減少により外部の最急勾配より幾分緩となす可きで、今

$S$  = 隧道外の勾配       $f$  = 隧道外の摩擦係數

$S_i$  = 隧道内の勾配       $f_i$  = 隧道内の摩擦係數

とすれば

$$S_i = S \frac{f_i}{f} \quad \text{但し} \quad \frac{f_i}{f} = 0.7 \sim 0.9 \quad \text{平均 } 0.8$$

故に

隧道外の最急勾配	10	15	20	25	30%
長大隧道内の勾配	8	12	16	20	24%
長大隧道に於ける勾配減少	2	3	4	5	6%

位とすれば宜い。

水路隧道にては常は片勾配で断面を小にする爲め開渠の部分よりも急にす  
る傾向である。然し勾配を急にすると落差を減じて發電量の損失となる。

第 64 表 著名隧道の勾配

隧道名稱	延長	排水勾配	昇・勾配
Simplon	19729 m	$\frac{2}{1000}$	$\frac{7}{1000}$
Apennin	18510	$\frac{1}{1000}$	$\frac{2.46}{1000}$ 及 $\frac{5.77}{1000}$

St. Gotthard	14984 m	$\frac{0.5}{1000}$ , $\frac{1}{1000}$ , $\frac{2}{1000}$	$\frac{5.82}{1000}$
Lötschberg	14536	$\frac{2.45}{1000}$ 及 $\frac{3.8}{1000}$	$\frac{3}{1000}$ 及 $\frac{7}{1000}$
New Cascade	12518	—	$\frac{15.65}{1000}$
Mont Cenis	12233	$\frac{0.5}{1000}$ 及 $\frac{1}{1000}$	$\frac{22.2}{1000}$
Arlberg	10250	$\frac{2}{1000}$	$\frac{15}{1000}$
濟水	9702	$\frac{2.5}{1000}$	$\frac{1.67}{1000}$ 及 $\frac{15.2}{1000}$
熱海	7807	$\frac{2.27}{1000}$ 及 $\frac{3.03}{1000}$	$\frac{2.27}{1000}$ 及 $\frac{3.03}{1000}$
笹子	4656	$\frac{1.25}{1000}$	$\frac{1.25}{1000}$
猪之鼻	3845	$\frac{2.27}{1000}$	$\frac{5}{1000}$
物見	3075	$\frac{3.03}{1000}$	$\frac{20}{1000}$
大刈	2217	$\frac{2}{1000}$	$\frac{10}{1000}$

394 隧道測量の誤差 (Errors in Tunnel Surveying)

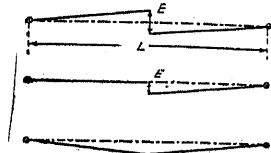
隧道の掘鑿が進行すると共に中心線及び B.M. は次第に内部に設けられ、坑門及び豎坑より進み来る導坑は相會し、中心線の方角及び高低の誤差を示す。兩側よりの導坑が喰違ふ場合には其の間に接續勾配 (Junction Grade) を設け又は折線 (Broken Line) とするか或は兩直線間に緩曲線を挿入する。隧道測量の誤差は地上測量の誤差と地下測量の誤差との合計で地上測量と地下測量とが各異なる方向に喰違ふ場合、其の誤差は單獨の場合よりも小になり、又一方兩側よりの測量であるから兩側同方向の誤差を示す時は接續點に於て喰違ひを示さない。夫れ故隧道測量の精度を單に喰違ひ誤差 (Closure

Error) のみで比較する事は出来ない。一般に地上測量よりも地下測量に依る誤差が大である。最も平易に考へて

$E$  = 隧道接合點に於ける喰違ひ

$L$  = 隧道の延長

$k$  = 係數



第 918 圖

とすれば

$$E = k\sqrt{L} \dots\dots\dots (526)$$

とする事が出来る。

隧道測量の誤差は次の三つに分けられる。

- (1) 中心誤差 (Alignment Error) —— 左右方向の誤差
- (2) 高低誤差 (Leveling Error) —— 上下方向の誤差
- (3) 距離誤差 (Distance Error)

延長の小なる隧道の場合は誤差も小に問題にもならぬが、延長大なるものにては喰違ひは相當重大である。樺太豊真線に於ても測量の間違ひより隧道の喰違ひを生じた例があるが、素人の考へる様に平行隧道を掘つたとか又掘直しをすればは現今の隧道測量には決して起らない。

次に有名なる隧道に於ける接續點誤差を示す。

第 65 圖 著名隧道に於ける測量誤差

隧道名稱	延長	完成年	中心誤差	高低誤差	距離誤差 (計算-實測)
Mont Cenis	12233 m	1871	33 cm	30.5 cm	-14.75 cm
Hoosac	7630	1876	0.08	0.6	—
St. Gotthard	14984	1881	49.0	5.0	+7.60

Arlberg	10250	1884	—	—	+3.00	
Totley	5693	1892	11.4	5.7	—	
Simplon	19729	1906	20.2	8.7	+0.79	
Lötschberg	14536	1912	25.7	10.2	0.41	
Moffat	9809	1927	—	0.5	0.53	
New	12518	1929	東坑門—豎坑	7.0	6.1	0.28
Cascade			西坑門—豎坑	19.5	23.8	0.305
長 等 山	2451	1890	8.1	1.3	-1.24	
笹 子	4956	1902	11.0	4.0	0.60	
猪 之 鼻	3845	1927	6.5	1.8	+1.25	
清 水	9702	1930	23.0	36.3	+1.10	