

第13章 隧道測量

1. 概説

隧道の位置選定、設計及び工事施工の爲に必要な一切の測量を含めて隧道測量 (Tunnel survey) と云ひ、其の作業を大別して次の4つとすることが出来る。

(1) 踏査及び豫測、(2) 表面設置、(3) 地下設置、(4) 水準測量。

尙隧道工事施工に際しては、一般土木工事に於けると同様に、造型々^{トポグラフィ}棒の測定、設計變更測量及び竣功測量の必要があるが、之等は上記(2)~(4)の内に含まれてゐるものと考へて置く。以下主として山嶽隧道 (Mountain tunnel) の場合を述べ、水底及び地下隧道 (Subaqueous and underground tunnel) の場合を適宜書添へる。

2. 踏査及び豫測

(1) 踏査 (Reconnaissance)

交通路又は水路が山嶽に出會ふ時には、先づ之を貫くか又は迂回するか就いて研究し、次いで山嶽を貫くことが有利と判れば、切取にするか又は隧道にするかを比較研究する必要がある。之等は路線測量の際に述べた如く、建設費の利子、維持費、輸送費の和がそこを通る年々の貨物量に比し最小となる様にすると共に、軍事上、社會上等の關係に就いても充分考慮しなければならない。

一般に地形上から山間地方の隧道位置を區別すると、(1) 山脈即ち峠を越して一方から他の側に出る場合、(2) 山腹即ち山の出鼻を貫く場合の2つになる。

(1) の場合は山脈横斷箇所の選定並に隧道前後の取付勾配と其の延長によつて、隧道の長さが變つてくる。大體に於て輸送量の

少い間は、取付勾配を成るべく急にし曲線を用ひて路線をうねらせ乍ら勾配區間を長くする程、隧道延長が短くなり有利であるが、輸送量が増すにつれて隧道を長くしても取付勾配を緩にする方が得策であつて、御殿場線を改良して丹那隧道を穿つたのは其のよい實例である。斯くして隧道前後の關係、其の他路線全體の性質をよく検討して山脈を貫く個所を定むべきであるが、更に地質とから斷層、湧水其の他工事に影響ある諸關係を調査し、工事に支障のない所を選んで工費の節減と工期の短縮を期すべきである。

(2) の山腹を貫く隧道の場合には、山腹を迂回するのが困難な際、又は迂回出來ても切取が維持其の他からみて不得策の際に起る。勿論地質にもよるが、切取は竣功後法面の崩壊する惧があるし、又寒國にては冬期積雪の故障を考へて置くべきである。斯かる點から切取とせず態々隧道とする場合が存在するわけであるが、其の位置決定には地質上特別の考慮が必要である。

以上の諸關係¹⁾から大體の隧道通過地點が決定するが、踏査選點の結果如何は隧道建設に至大の影響を與へるから、充分慎重を期すべきである。此の場合考慮すべき諸要點を列挙すれば次の様である。

(1) 坑門(Portal)附近は最も崩壊し易い所であるから、坑門附近に土被りの淺い部分が長く續かない個所、又は土壓の片押しを受けない個所を選ぶべきである。地質にもよるが坑門附近の切取は成るべく長くして 10 m 位迄とする方が、少々建設費を増しても完成後の維持上から好都合である。

(2) 隧道は成るべく直線として置く方が、測量及び工事が容易で完成後の見通しもよく便利である。長大隧道では一般にその建設に最良の場所を選んで直線とし、之に前後の取付を接続する様に考慮するのが普通である。時には已むを得ず隧道内に坑門附近のみ曲線を挿入することがあるが、此の際は隧道自身の直線方向に測量、掘鑿、換氣等の便宜上、假に坑道を穿つことが望ましい。

(3) 隧道内の勾配は鐵道、道路又は水路等によつて異なるべきは勿論であるが、其

1) 詳細は下記専門書参照。

小林業明：隧道工學，1934，頁 11—19。

平山從二郎，磯澤源作：土木施工法，1937，頁 178—184。

佐藤周一郎：隧道工學上巻，1939，頁 3—19。

の制限許容限度内に於て、隧道の利用上、次いで施工上最も都合よき勾配を選ぶ必要がある。例へば鐵道、道路の長大隧道では、兩坑門から掘進する際の湧出し、排水及び換氣に便利な様に、成るべく兩坑門から平壁に上り勾配(最小 2/1,000 程度)とし中央近くで出會ふやうにするのを常とする。しかし兩坑門の高さ關係によつては已むを得ず片勾配(300~500m 以下の短い隧道に限る)とすることがあるが、排水上、片口から掘進するので工期が長くなり不利である。尚待て鐵道、軌道の際は勾配が列車抵抗に重大關係を有し、且軌條と機關車輪との間の必要な摩擦抵抗に對し惡影響を與へるから、隧道内勾配は隧道外勾配の 7 割程度以内として置かねばならない¹⁾。

水路、導管隧道の際は、上の鐵道、道路の場合と大に趣を異にし、その目的に應じた勾配が決定さるべきである。

(4) 鐵道にて複線の際、屢々單線型 2 本を並列して掘ることがあるが、1 方の隧道の掘鑿によつて緩む地質の影響を成るべく他方の隧道に及ぼさない程度に、兩隧道間の距離を離して置く必要がある。勿論あまり離すと坑門外の取付切取及び用地を増し、工事上兩隧道を横坑で連絡して利用するのに不便である。(例：泉越隧道の距離 60'—0" (18.5m) は結果から見ても狭過ぎた様で種々の難問題を惹起した。)

尙單線隧道は列車に對する空氣の摩擦抵抗を増大し、大體 4/1,000~6/1,000 の勾配の影響に相當すると考へられるから、勾配決定の際考慮に入れて置く必要がある。

(5) 地質²⁾は成るべく均一で風化作用を受けず丈夫なものが望ましく、湧水少く地熱、有毒瓦斯の心配がない所を選ぶべきである。普通ボーリング、試掘等によつて地質をしらべるが、長大隧道では専門家の鑑定を受け、地質圖によつて隧道通過地點の地下構造を判斷し、隧道位置決定の 1 要素とすべきである。

(2) 豫測 (Preliminary survey)

踏査によつて大體の隧道位置が定まると、其の中心線を現地に設置し(普通は次節(1),(2)の方法による、あまり嚴密を要しない)、之に準據して附近の地形測量、縱横斷測量(横斷は坑門附近及び前後の取付部分のみでよい)を行ふ。然る後之等の豫測結果を用ひ、岡上測設法によつて詳細な比較檢討を行ひ、斯くして決定した最良隧道の位置を現地に設置するわけであつて、其の大體の要領は第 12 章路線測量に於て述べた通りである。

次節 3. 以下に於ては、實測即ち工事着手直前及び工事中に行ふべき中心及び高低の測量に就いて詳述し、豫測即ち設計上の測量に就いては述べないことにする。

1) 佐藤周一郎：上巻，1939，頁 49—51。

2) 佐藤周一郎：上巻，1939，頁 3—19。

3. 表面設置 (Surface Alignment)

隧道中心線の方向を地上に設定して、坑門及び堅坑 (Shaft) の位置を定め、隧道中心延長を精測することを總稱して表面設置と云ひ、大體次の3方法が用ひられる。

(1) 普通の方法 (Ordinary method)

(a) 隧道延長が極く短い (先づ 500 m 以下) 場合には、普通の路線測量と同様に、1 端から他端に向つてトランシットで中心線の方向を延ばしてゆくが、簡単にポールで見透しをつけることもある。そして其の中心線の方向に竹尺又は鋼卷尺で直接距離測定を行ひ中心杭を打つてゆけばよく、之によつて坑門、堅坑の位置等も確定することが出来る。

(b) 隧道が稍々長くなるか又は地形上 (a) の方法が不適當な場合には、全中心線を見透し得る如き山頂の地點に於て (陸地測量部の 1/50,000 地形圖等を利用するがよい)、踏査、豫測にて豫定された中心線上に測點を見出し、それに適當なトランシットを据ゑる若し山頂より直接兩坑門附近を見透し得ない際は、チェーン測量に於ける“山を越す方法”¹⁾を應用して、豫定中心線上に測點を見出せばよい、(例：猪之鼻隧道, New Cascade 隧道)。

山頂の測點が定まれば、隧道方向を假定して前後にトランシットで中心線を延長し、坑門の位置及び取付の關係を調べる。若し其の結果が悪ければ、更に中心線の方向を少し變へて上の作業を繰返し、最後に最良の中心線方向を確定し、それに従つて地表に中心杭を打つ。山頂の測點には (時には其の他の重要な中心杭の所にも)、必要に應じて他方から明瞭に識別され且正確に視準し得る様な視標を設けるが、視標中心は正しく測標中心と合致し且構造堅固にして移動、沈下等を生じない様にして置くべきである。尙視測臺を造る必要のある際は、隧道測量では視標と一緒にし、

1) 本書一般篇、頁 20 参照。

視標上に器械を据付けて観測する場合が多い。

次に隧道延長は中心線に沿ひ竹尺又は鋼卷尺を水平に引張り乍ら階段狀に直接距離測定を行つて求めるが、必ず降測法により正確を期すべきである¹⁾。米國では長い鋼卷尺とトランシットとを用ひ、傾斜距離と傾斜角とを求め、後で水平距離に換算することが多い²⁾。

(2) トラバース測量による方法 (By traversing)

地形状態又は障害物の爲に (1) の方法を行ひ難い場合に用ひられる。先づ兩坑門の位置を豫定し之等をトラバースで連絡するが、

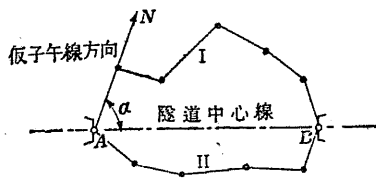


圖-13.1

正確を期する爲 圖-13.1 の如く 2 通りのトラバースを組むことが必要である。次に精密なトラバース測量を行ひ、経緯距法によつて中心線

の長さ \overline{AB} と基準線 AN に對する方向角 α を算定する。即ち第 1 トラバースより

$$\overline{AB} = \sqrt{(\sum \text{縦距})^2 + (\sum \text{横距})^2}, \quad \alpha = \tan^{-1}(\sum \text{横距}) / (\sum \text{縦距}) \dots (13.1)$$

を求め、第 2 トラバースに就いても同様の計算を行ひ、兩者の差が微小なる際は其等の平均を以て所要の \overline{AB} , α とする。斯くして定められた中心線上には必要な測點及び視標を設置し、以後の測量の基準とする。

(3) 三角測量による方法 (By triangulation)

隧道延長が長い又は障害物の爲上記の各方法が不適當な場合は、三角測量による必要がある。尙上記各方法の照査の爲に、三

1) 本書一般篇、頁 10 参照。

2) F. Mears: Proc. A. S. C. E., 1931, pp. 202-206.

角測量を行ふことも尠くない。

兩坑門を含めて三角網を組み (圖-13.2), 三角測量を行つて隧道中心線の方向及び延長を決定し, 必要に應じ中心線上に測點及び視標を設置する。測量の方法は大體第16章に詳述する通りであるが, 此の場合特に注意すべき事項は次の通りである。

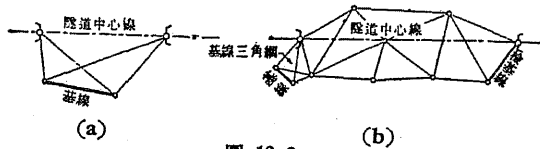


圖-13.2

- (1) 隧道地點は一般に山脈相迫り, 良好な基線位置を求め難い場合が多い。出来るだけ河原, 裾野, 高原等を利用して平坦地に相當の長さを持つる基線を設置すべきであつて, 必要に應じ連絡用の基線三角網を編成する (圖-13.2(b))。
- (2) 陸地測量部の三角點を利用すると, 野外觀測を減じ得て都合である。
- (3) 山頂に三角點を設ける關係上, 濃霧, 風雲等により觀測時間頗る短く, 山頂の状態の良好な時期を選んで觀測を速に行ふべきである。
- (4) 器械等は成るべく量量の少い新型のものを選び, 測角も1'程度迄讀む必要がある。

4. 表面設置に関する實例

近年に於ける 2,3 の實施例を説明して, 前節に述べた表面設置法の記述を補足する。

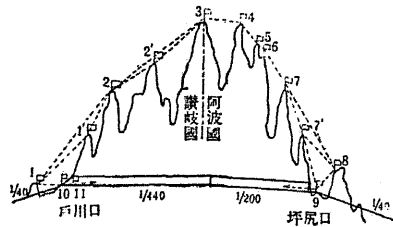


圖-13.3

(1) 猪之鼻隧道¹⁾

(豫讃線). 延長 3945.09 m, 掘鑿着手 大正 12 年 8 月, 竣業 大正 15 年 11 月 27 日, 開業 昭和 4 年 4 月 28 日。
大正 9 年 1~7 月に一旦表面設置を終つたが, 工事施設の關係か

1) 鐵道省河川建設事務所: 土讃北線猪之鼻隧道工事誌, 1929, 頁 3-5.

ら多少線路變更の必要を生じ, 同年9月改測の結果現在線の如く決定を見た。圖-13.3 は其の際の表面設置の有様であつて, 中心線上に見透點 8 個を設け, 更に視平距離大なる 1, 2; 2, 3; 7, 8 間に夫々補助點 1', 2', 7' を設けた。次に坑内に中心を移動するには, 戸川口に於ては測點 1 より 1' 又は 2 を觀て其の視線中に 10 をとり, 10 より逆に 1 を觀てから轉換して坑内に 11 をとつたが, 坪尻口に於ては測點 8 より 7 又は 7' を觀て 9 をとり, 9 より逆に 8 又は 7' を觀て坑内に入つた。此の表面設置に用ひたトランシットは Gurley 5 in., 20 秒讀であり, 又高低測量では Gurley 15 in., Y レベルを用ひ, 隧道に沿ひ假 B.M. 50 數個を設けた。

長さの測定は最初三角測量によらず, 竹尺を用ひて 圖-13.4 の如く階段状に水平距離を測定した。即ち 3 班に分れ, 第 1 班は既設主測點間の皮探と A, B, C の如き中心枕(枕頭に中心釘を打つ)の打込みをなす。第 2 班は 2 人宛 3 組に分れて夫々ポールにて三又を組み, 之より約 1 kg の錘を下げて中心釘上に鉛直線を作る。第 3 班は竹尺を引く者 2 人, 拳筆等で竹尺の水平を見る者 1 人, 合圖し竹尺に鉛直線との切り合ひ點を印す者 1 人, 都合 4 人で測定した。最初は意外に時間を要したが, 熟練すると共に良好結果を得ることが出来た。

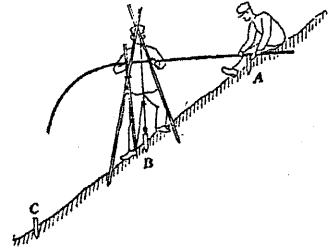


圖 13.4

工事着手後大正12年1月三角測量

を行つたが, 地勢上基線を設くべき適當な平地なく, 僅かに戸川口材料置場及び隧道に沿ひ 659.823 ft. = 200.454 m, 坪尻口附近畑中に 300.037 ft. = 91.151 m の基線を設け得たのみであつた。三角測量による隧道延長は, 上記竹尺によるものに比し, 0.845 m 長くなつた。

(2) 丹那隧道¹⁾(東海道線). 延長 7803.86 m, 掘鑿着手 大正 7 年 4 月, 最終終了 昭和 9 年 3 月 10 日, 閉業 昭和 9 年 12 月 1 日。

現在海防線と稱へられる舊東海道線の急勾配 1/40 を緩和せんとし, 明治 42 年以來詳細な踏査及び豫測を経て, 同 44 年現在の測線が選定された。丹那隧道は此の測線中に存在する最大の工事であり, 明治 44 年最初の豫測及び實測の後, 路線の變更をなすと 2 回, 大正元年秋季の實測にて最終的決定をみることになつたので, 方向, 延長の測定は細心の注意を拂つて精密を期し, 延長を 25608 ft. と決定した。工事着手後, 東口坑口を 6 ft. 延長することになり, 全長を 25614 ft. = 7807.15 m として貫通の豫定擧げたが, 竣功後の實測によれば 25613.242 ft. = 7803.96 m であつた。

1) 鐵道省熱海鐵道事務所: 丹那隧道工事誌, 1931, 頁 3-24, 430-432.

中心線の表面設置は、前節(1)の一般方法によつて先づ隧道方向を定め、次いで竹尺を水平に引張り乍ら階段状に距離を測り、300 ft. 毎に中心杭を打ち込んだ。此の時竹尺の水平は水準器にて検することにし、ボールの鉛直と共に道徳なきを期する爲、測量班長が直接其の指揮に當つたのである。

次に三角測量は直接測定による延長延長を検し方向を算定する爲に引き續き實施したもので、トランシットは Stanley 製 7.5 in. 及び 8 in. を用ひた。圖-13.5 は第 1 回三角測量の際の三角網で、3 基線を厳密に測定したが、何れも短小にして之より形成される三角形は甚しい鋭角となつた。従つて何れをも檢基線とせず、角度誤差

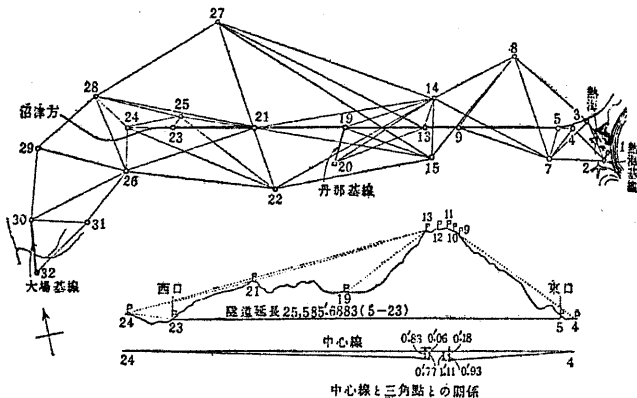


圖-13.5

を最小自乗法で修正後、各基線より獨立に起算して 3 個の隧道延長を算出し、之等の平均値を以つて所要のものとした。

其の後中心線の方決定の確實を期する爲山頂附近の切取工を行つて見送器を據じ、

表-13.1

	測量 時 日	延 長	備 考
中心線の方向決定及び延長の直接測定	第 1 回大正元年秋季	25918.000 ft.	精密實測、山頂の見送點 5
	第 2 回大正 2 年冬季	25592.556	第 1 回三角測量後精測、// 5
	第 3 回大正 4 年夏季	25590.444	第 2 回三角測量後實測、// 3
三角測量	第 1 回大正 2 年 10—12 月	25585.6994	三角點數 32
	第 2 回大正 4 年 6 月	25588.7826	// 27
	第 3 回大正 4 年 12 月	25587.9241	第 2 回の三角點により人を代へて行ふ。

又三角網の形を良好ならしめる爲三角點數を減じ 1 部其の位置を變更する等、種々の努力を拂ひ掘整着手迄に都合 3 回宛の測量を實施したが、其の結果は表-13.1 の通りである。

尙此の隧道は工事中昭和 5 年の北伊豆大地震に遭遇し、隧道中央附近の大斷層を據として中心線が相當移動することになつた爲、中心線に適當な曲線を挿入し且勾配を多少變更し、昭和 9 年竣功を見たものである。

(3) New Cascade 隧道¹⁾。延長 12543.13 m=7.79 miles, 掘整着手 1925 年 12 月 14 日, 疊築終了 1928 年 12 月 24 日, 開業 1929 年 1 月 12 日。

此の隧道は米國 Great Northern Railway にあり、舊線に於ける雲崩並に各種防雪設備及び除雪の費用を軽減し且距離、勾配、曲線の改良等を目的として計畫された

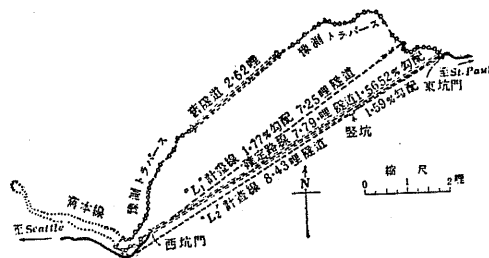


圖-13.6

ものである。1925 年兩坑門の位置が決定されると同時に、營業線に沿ひ圖-13.6 の如く約 16 km のトラバースを組んで豫測を行ひ、其の結果隧道は約 1.5 % の勾配を有することがわかり、且此のトラバースを Mill Creek Valley 迄入れて此處に整坑の良い位置を見出すことが出来た。次に山嶽用トランシットを用ひ、今少し精密な方法で第 2 回トラバース測量(道筋は第 1 回と略同じ)を實施し、其の結果得た中心線の方に據つて、兩坑門より導坑の掘整を開始したのである。

正確な確定測量 (Location survey) は 1925 年 12 月より次の種目に就いて行はれた。

(1) 中心線方向の決定, (2) 隧道延長の測定, (3) 隧道勾配の決定。

最初の山頂を越えての中心線の表面設置は小型の山嶽用トランシットによつたが、面に之に續いて大型の精密トランシット(望遠鏡の長さ 11 in., 倍率 28, 水平目盛線の直徑 7 in., 體積 10 秒)を用ひ、山頂に數個の測線を觀測した。其の結果前の山嶽用トランシットによる中心線は眞の直線ではなく、兩坑門間に曲線をなすことが判つたので、兩坑門を連ねる此の曲線の弦を計算し、中間の Cowboy 及び Big Chief の

1) D. J. Kerr and F. Mearns: Proc. of A. S. C. E., 1931, pp. 185—217.

兩坑測點に於ける外れの距離を出し、更に此の兩測點を結ぶ線を基線として中心線を兩坑門の方へ延長した。勿論上の兩測點を正確に決定する迄には何回も試測を必要とした。

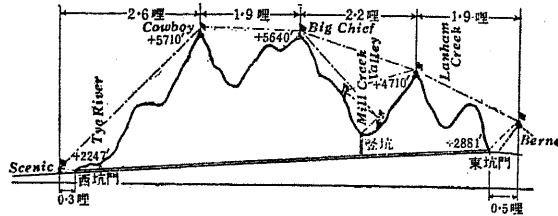


圖-13.7

尙前述の精密トランシットにて山上7個の觀測點(圖-13.7)にコンクリート製觀測臺を築直して差支へない程度に直線を設定して後、更に器械臺にのせた方向型トランシット(望遠鏡の長さ 22 in., 倍率 30, 45, 水平目盛盤の直径 10 in., 測微鏡付 2 秒読み, 補率器或度 5 秒)を用いて直線の最後の修正を行った。初めの内は木塊の上に真鍮釘を打つて中心を表してゐるが、中心線の最後の確定後は木塊をとり真鍮釘をコンクリート内に入れ換へ、之に中心を示す穴を穿つた。圖-13.7 は山を越えての中心線の表面設置と之を坑内に移す有様を示したものであるが、Big Chief と Mill Creek 堅坑との高低差大なる爲、其の連絡には圖の如く途中 2 測點を必要とした。

兩坑門間の距離及び堅坑造の距離の精測には、圖-13.8 の如く 4 邊よりなる閉トラスを組む、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。先づトラ

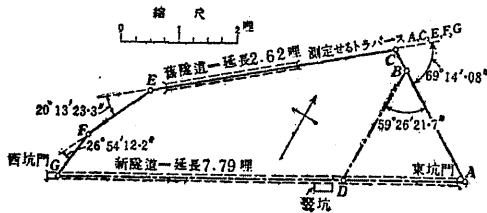


圖-13.8

ースに沿ひ適當の間隔に強固な杭を打ち、杭頭の真鍮釘を正しくトランシットの視線内に入れ、且レベルで杭頭の高さを一定傾斜にそろへ、其の上に鋼卷尺を掛けて傾斜距離を測定し、之に深度及び張力の補正を施した。鋼卷尺は 500 ft. (舊隧道部分) と 300 ft. (其の他の部分) の 2 種で、何れも米國政府の原器と厳密に比較檢定し、尙此

の外に張力、弛みの影響を實驗して 1/1,000 ft. 差を補正圖表を作つて置いた。次に角度の測定は上記の精密トランシットにより、測定者 2 人で 3 倍角反覆法を 3 測同様繰返した。之等より邊長を計算する場合地球曲率を無視したが、之は 5 邊形を 1 平面上にあるとしても、最大邊の誤差が 0.1 ft. 以下に過ぎなかつたからである。尙圖の A, G 點より夫々東、西坑門迄の距離も同様の方法で測定された。

上記トラス測定の結果を照査する爲、1926 年夏に三角測量を實施したが、其の基線としてはトラスの東坑門側の 1 邊 AC を用ひた。

最後に Mill Creek 堅坑の東坑門からの距離を求めるには、AC 線上に B 點をとり、堅坑に近く且隧道中心線上に正確に D 點を設置して $\triangle ABD$ を作り、AB 邊を基線として此の三角形を解き、求めた AD 邊長に D 點と堅坑間の實測距離を加算した。

(4) 其の他、参考となるべき實施例と文獻を列挙する。

隧道名	延長	工事期間
1. 長等山 ¹⁾ (第 1 琵琶湖疏水)	2451.59 m	明治 18~23 年
2. 笹子 ²⁾ (中央線, 國有鐵道)	4356.03	// 29~35
3. 青山 ³⁾ (關西急行電鐵)	3432.08	昭和 3~5
4. 清水 ⁴⁾ (上越線, 國有鐵道)	9701.14	大正 11~昭和 6
5. Mont Cenis ⁵⁾ (佛-伊, 鐵道)	12849.	1857~1871
6. St. Gotthard ⁶⁾ (瑞西, //)	14998.	1872~1881
7. Simplicon ⁷⁾ (瑞-伊, //)	I 19731.	1898~1906
	II 19770.	1913~1921

- 1) 田邊朋郎：琵琶湖疏水誌，1920，頁 37—39；工學會誌，1887，頁 574。
- 2) 鐵道作業局建設部：笹子隧道工事報告，1904，頁 3—11。
工學會誌，1899，頁 4.15—51.6。
- 3) 西畑 常：青山隧道編，1932，頁 5—11。
- 4) 鐵道省：上越線水上石打間工事誌，第 1, 2 卷，1933，頁 1—3, 215—217；第 3 卷，1935，頁 5—6。
- 5) M. Conte : Annales des ponts et chaussées, 1863, 1^{er} semestre, p. 1—51.
Gelpke : Zeitschr. f. Verm., 1880, S. 105.
- 6) Gelpke : Civilingenieur, 1870, S. 143—168; Zeitschr. f. Verm., 1880, S. 101—116, 137—143, 149—163.
Koppe : Zeitschr. f. Verm., 1875, S. 359—374 u. 1876, S. 86—90, 129—145, 352—382; Separatabdruck aus der „Eisenbahn“ Bd. 22, Nr. 8 vom 20 Febr. 1880).
Helmert : Zeitschr. f. Verm., 1876, S. 146—155.
Pestalozzi : Eisenbahn, Schweiz. Zeitschr. f. Bau- u. Verkehrswesen, 1877, Nr. 12 u. 13, S. 89—91, 97—99.
Dolezalek : Zeitschr. des Arch- u. Ing.- Vereins zu Hannover, 1878, S. 185—194 u. 1890, S. 317—320.
- 7) N. Rosenmund : Schweiz. Bauzeitung, Bd. 37, 1901, S. 221—224, 243—245 u. Bd. 40, 1902, S. 43—46; Zeitschr. f. Verm., 1902, S. 74—82 u. 1905, S. 578—579.

8. Löttschberg ¹⁾ (瑞西, 鐵道)	14605 m	1906~1913
9. Appennino (伊太利, //)	18510.	1925~1930

5. 地下設置 (Underground Alignment)

(1) 概説

表面設置によつて坑門の位置及び中心線の方向が確定すると、之に準據して掘鑿を開始し其の進行に伴つて、次第に中心線を坑内に追ひ込んでゆく。此の場合作業上の一時的の測量と隧道完成を目的とする測量とは、其の方法を變へるのが普通である。

前者は掘鑿が進むに従つて其の都度手前の正確な中心線を迅速に作業面へ送つて、導坑掘鑿、切換、拱架の据付等の指針とする爲のものである。故に之は現場従事員によつて簡單に行はれ、手前の正確に定められた中心線から巻尺又はチェーンを用ひて短い距離だけ中心を坑奥に延ばすのである。普通は坑内中心線の方向に合はせて、(正確にはトランシットによるべきである)、圖-13.9の

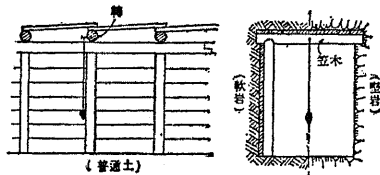


圖-13.9 一時的測點

如く導坑の笠木又はフコに釘を打ち、之より下振錘を吊して測點とする。尤も之は一時的の作業用測點としてのみ用ひられるもので、永く保存

すべき際には、路盤に埋込んだ杭上に點を取る方法によらねばならない。

次に掘鑿及び曇架が終つた部分には、作業中の測量基準點とすると共に隧道完成の爲の正確な中心點として、永く保存し得る測點を充分正確に設置すべきである。従つて此の測量は全休日の如く坑内空氣の清淨な時を利用して成るべく多く實施し、現場作業

1) F. Baeschlin : Schweiz. Bauzeitung, 1911, S. 109-111, 125-129, 154-156, 167-168. 189-192 u. 234,

監督員の片手間に行ふことを禁ぜねばならない。尙年に2~3回は坑外の正確な中心線から坑奥に向つて嚴密に各測點を檢查する必要がある。常にトランシットの調整を充分にし、望遠鏡の正逆兩位置にて視準して平均をとるを要し、坑奥深くなると更に地球の曲率、光線の屈折等の影響を考慮すべく¹⁾、其の他あらゆる方法を講じて誤差を除かねばならない。圖-13.10は路盤に設置した測點の1例にして、普通300~500mの間隔とするが、見透しのきく限り長間隔とすることが望ましいから、測點の照明、坑内空氣の状態に特別の注意が必要である。

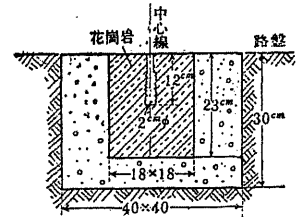


圖-13.10 永久的測點

(2) 地下設置用のトランシット及び規標

(a) トランシット (Transit). 次の特徴を有するトランシットが必要である。

1. 坑内測置は主として中心線の見透しであるから、特に直線の延長に適當であること。

2. 障害物、振動其の他の關係上、普通の伸縮三脚又は框組三脚によらず、堅固で而も速かに取運び得る器械支臺を要する。一般に鐵製の三脚を用ひるが、特に隧道断面の側方に器械を据ゑる時は木又は石にて支臺を築造することがある。

3. 器械の叉線及び分度圓を照らす装置を要する。以前は中空にした横軸の1側に特別のランプを置いて叉線を照らすとか、又は叉線照明器 (Cross-hair reflector) を用ひたが、現今の新型器械は内部の處々に乾電池による豆電球を裝置したものが多く、照明及び讀取り共に頗る良好であつて、圖-13.11は其の1例である。普通のトランシットを用ひる際は、前方に電燈を置いて叉線を照

1) M. Rosenmund : Schweiz. Bauzeitung, Bd. 40, 1902, S. 43-46,

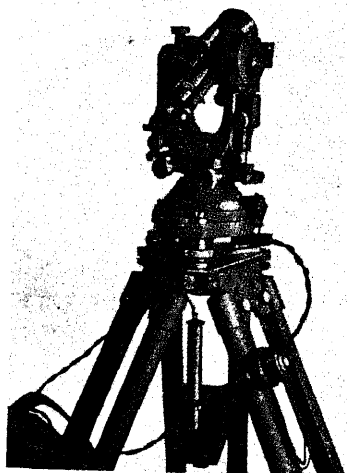


圖-13.11 Wilks theodolite (豆電球付)

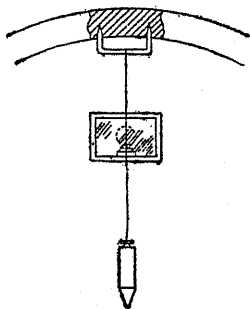


圖13.12

らし、分度の讀みには懐中電燈を用ひる。

(b) 視標(Target). 視線長の短い時は直接線香の光を視準してもよいが、普通は下振線を横から照らす様にする。此の爲に昔は蠟燭、石油燈又はアセチレン燈を用ひたが、現今は専ら電燈を用ひるので、坑内空氣を汚すことなく頗る便利である。尙 圖-13.12 の如く下振線の後側に蠟引紙又は摺耐子を置き、

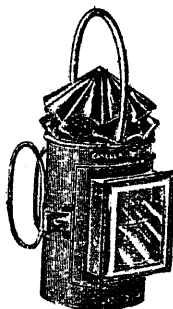


圖13.13 視標燈

之を背後の電燈で照らすと良好な視準が得られ、屢々用ひられる。

視線長が非常に大となると、下振線を視準するわけにゆかないから、直接燈火を視準するのであつて、之を**視標燈**(Target lamp)と云ひ、鑛山等にてよく用ひられる方法である。圖-13.13は視標燈の1例であるが、此の他にも獨特の工夫をしたものが少くない¹⁾。

6. 堅坑を通して中心線を移す方法 (Transferring the Center down Shaft, or Shaft Plumbing)

光つ地上の中心線内又は特定の點に正確に堅坑の位置を定め、環め水準測量にて定めた深さ迄掘下げて置く。次に此の堅坑を通して地上の中心線を地下に移し、其の前後に掘進して中心線を延

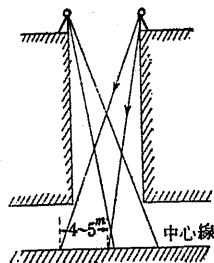


圖-13.14

ばしてゆくが、之に2つの方法がある。

(1) 光學的方法 (Optical plumbing)

圖-13.14の如く中心線上堅坑の兩端近く2個のトランシットを据ゑ、錘を用ひて坑底に引張られた約100 mの針

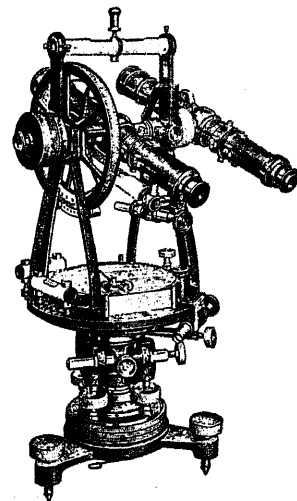


圖-13.15 側方補助望遠鏡付トランシット

1) 林益雄：下巻、1933、頁 350-352

金を視準する。普通 4~5m 位を視準し得る様にして、針金の方向を地上の中心線と合致せしめ、此の方向に合せて導坑を掘進する。此の場合普通のトランシットでは、堅角 55° 以上を視準するわけにゆかないから、偏角望遠鏡付トランシットか、又は側方(圖-13.15) 或は上方に補助望遠鏡を有する鑛山用トランシットを用ひ、鉛直近く迄視準出来る様にする¹⁾。

此の方法は正確で鑛山方面ではよく用ひられるが、隧道工ではあまり用ひられない。唯堅坑が大きく浅い場合とか又は排水ポンプの振動等の爲に次の鋼線法を用ひ難い場合に、利用される程度である。

(2) 鋼線法 (Wire plumbing)

之は装置が簡單で相當の精度迄達し得るので、隧道工に廣く用ひられ、用ひる下振線の數によつて 2 線法 (Two wire plumbing) と 3 線法 (Three wire plumbing) の別がある。

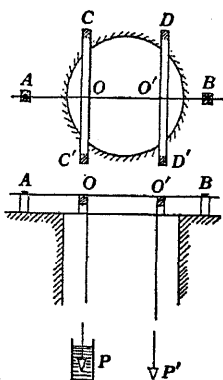


圖-13.16 2 線法

2 線法では 圖-13.16 の如く、堅坑中心線より 15~30m を距てた地上中心線上の 2 點 A, B に杭を打ち、夫々先端に打つた釘の間に糸又は針金を張つて中心線の方向を表す。次に A, B に直角の方向に C, C' 及び D, D' なる 2 對の等高の杭を打込み、其の上に架した横木の上面が殆ど糸 AB に觸れる様にして、糸 AB と横木の縁との交點 O, O' より夫々下振線 OP, O'P' を下げる。斯くして堅坑底部に於ては、之等の下振線に丁度接する様に線を張るか又は兩

下振線を見透して (正確には正しくトランシットを据ゑて視線を

¹⁾ 藤井萬三郎：最新測量學，1934，頁 432~440。

合はす)、地上の中心線を地下に導くのである。中心線の方向を設置し終れば、横木 CC', DD' は取外すが、他日必要の場合に直に用ひ得る様に A, B, C, C', D, D' の杭を充分保護して残して置く必要がある。

3 線法は 2 線法に比し方向誤差少く都合なるも、堅坑の廣さ小なる際は用ひ難い。

鋼線法に關する注意事項を以下に列擧する。

(1) 下振線は細くて強いことを要し、普通直徑 0.5~1.0 mm 位のピアノ鋼線を用ひるが、アルカリ液に浸した方が坑内で錆びない様である。

(2) 下振線につける錘は堅坑の深さによつて異なるが、先づ 5~20 kg 位とし、振動を速にとめる爲に水又は油の入つた槽に浸けるのを常とし(圖-13.16)、形狀は星形(圖-13.17)又は十字形(圖-13.18)のものが有効である。

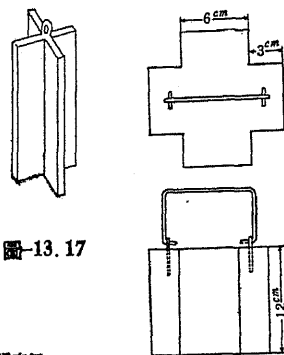


圖-13.17

圖-13.18

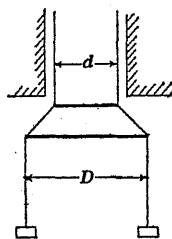


圖-13.19

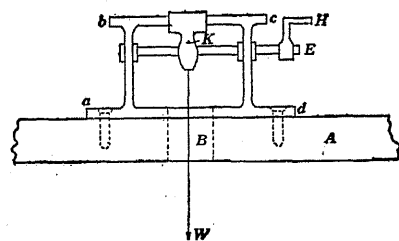


圖-13.20 下振線垂下装置

(3) 下振線の間隔は大きい程よいが、普通の堅坑は長幅 3~5m 又は直徑 3m 位であるから、針金の間隔も 2.5~4m 位である。之を據げる爲に鑛山では増大棒の裝置(圖-13.19)を用ひるが、隧道では殆ど用ひられない。

(4) 下振線の位置を確定し且其の調整を容易ならしめる爲に、垂下装置 (Plumbing apparatus) を用ひることがある。圖-13.20 は英國 Mersey 隧道の測量に用ひたものであるが、此の外にも獨特の考案になるものが尠くない。

7. 曲線隧道 (Curvilinear Tunnel)

(1) 表面設置 (Surface alignment)

中心線に曲線を用ひる場合は、先づ地上に交點 (I.P.) の位置を定めて交角 (I) を測定し、半径 (R) 又は切線長 (T) を適當に假定して曲線を決定し、之等より曲線長 (L) 其の他必要な値を算出し、役杭の位置全部を定めることは、一般路線測量の時と同様である。併し竖坑を用ひる場合以外は、地表に中間點を設置する必要はない。

尙地表の平均勾配より緩かな勾配の路線を設ける必要のある場合には、ループ隧道 (Loop tunnel) となすことがあるが²⁾、之は曲線隧道の極端な場合であつて、なるべく正圓とし複曲線特に反曲線は避くべきである。此の時路線は1勾配となり、従つて1點に於て上下交叉することとなるが、此の交點に於ける高低差は特に正確に定めなければならない。

曲線隧道の線形が複雑な際は、現地の狀況に應じて三角測量を適用し正確を期することがある、(例：上越線湯楡會隧道³⁾)。

(2) 地下設置 (Underground alignment)

坑内では正確な曲線設置をなさねばならない。其の爲には地上の曲線設置法を慎重に行へばよいわけであるが、何分にも坑内は狭いので、普通は次の方法を用ひる。

先づ作業上の一時的測量としては、弦長を許す範圍でなるべく長くとつて弦偏距、切線偏距を算出し、之等を用ひ支距設置法

1) F. Mears : Proc. A. S. C. E., 1931, pp. 201-202, 215.
 2) ループ隧道の例は、鐵道では臺灣阿里山森林隧道、肥前線矢野峠附近、濟水隧道の兩側にある湯楡會及び松川のループ隧道、道路では三重軌矢ノ川隧道等がある。
 3) 鐵道會：上越線水上石打門工事誌, 1933.

(Setting by offsets) を適用する。

次に隧道完成を目的とする正確な測量としては、次の何れかを用ひる。

(a) 外接多角形法 (Setting by a circumscribed polygon)

圖-13.21 の如く始點 A に於ける切線上に、側壁に近く器械を据ゑ得る點 B をとる。然らば $y=R-\sqrt{R^2-x^2}$ として x に相當する切線支距 y を計算し、曲線を設置することが出来る。斯くして B 點に達すると、ここに

トランシットを据ゑて $\angle ABC = 2\phi$ (但し $\phi = \tan^{-1}(R/AB)$) だけ偏倚せしめ、 $\overline{BC} = \overline{CD} = \overline{AB}$ とすれば、C 點は曲線上の點となり、BC, CD 間は前同様切線支距を用ひて設置すればよい。

次に D 點にて再び 2ϕ だけ偏倚せしめて、同様のことを繰返す。

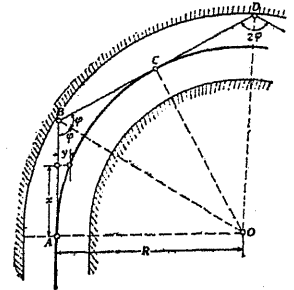


圖-13.21 外接多角形法

(b) 内接多角形法 (Setting by a inscribed polygon)

圖-13.22 にて $\overline{AB} = \overline{BC} = \overline{CD} = \dots = c$, $\angle AOB = \angle BOC = \angle COD = \dots = \beta$ とすれば、

$\angle A'AB = \beta/2$, $\angle ABC = \angle BCD = \dots = 180^\circ - \beta$, 茲に β は

$\sin(\beta/2) = \overline{AB}/(2R)$ として求められる。故に始點 A にトランシットを据ゑ、切線 AA' から $\beta/2$ 偏倚せしめて $\overline{AB} = c$ とすれば、B 點は曲線上の點となる。

次に器械を B 點に移し BA 線より $180^\circ - \beta$ だけ偏倚させた

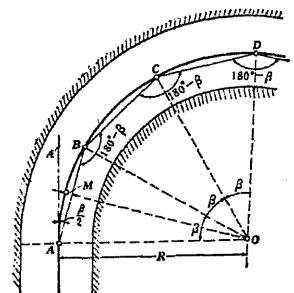


圖-13.22 内接多角形法

方向に $\overline{BC}=c$ をとつて C 點を定め、以下同様のことを繰返す。尙各弦の中點に於ける縦距は $M=R-\sqrt{R^2-(c/2)^2} \approx c^2/(8R)$ であるから、之より中間點を定めることが出来る。

8. 水準測量 (Leveling)

(1) 表面水準測量 (Surface leveling)

兩坑門及び豎坑近く適當の場所に工事の邪魔とならない様に、永久的な B.M. (水準點) を夫々 2 個所宛設置するのが通例である。此の B.M. は堅固にして充分保護して置く必要があるが、普通長さ 80 cm 位、15~20 cm 角の木杭を用ひ上面に圓頭釘を打つか、又は附近の岩盤其の他の固定點を利用する。斯くして之等 B.M. 間の水準測量を充分精密に行ひ、兩坑門の高低差、隧道勾配及び豎坑の深さを決定する。此の場合測量の道筋は道路、鐵道、其の他の迂回路を適當に利用すればよく、途中 500 m 位毎に永久的の B.M. を、又其の間には適宜假 B.M. を設けて、幾回も測量しなければならぬ。

尙隧道中心線に沿ふ縦斷測量は、概して地勢平坦なるか又は豎坑を設け得べき盆地、谷等の存在する時に行ひ、其の他の場合は必ずしも行ふ必要がない。

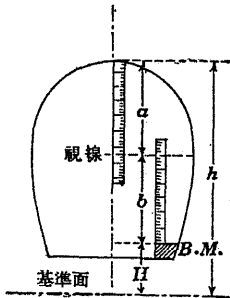


圖-13.23

り倒立させればよく、天井の基準面よりの高さは $h=a+b+H$ と

(2) 地下水準測量 (Underground leveling)

中心線の地下設置と同時に、兩坑門の B.M. より地下水準測量を行ふ。此の時レベルは勿論函尺をも照らすを要し、時には視標燈付函尺が用ひられる。測量には坑底の高さのみならず天井の高さをも測るが、其の爲には 圖-13.23 の如く函尺を天井より

なる。

工事中の測量と隧道完成の爲の精測とによつて測量の精度を異にするは勿論であるが、後者の爲の B.M. としては側壁、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で矢印をつけて置く。

(3) 豎坑を通して高さを移す方法 (Transferring levels down shafts)

豎坑近くの地上の B.M. に準據して、豎坑底に設置した B.M.

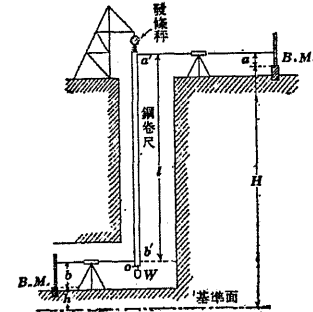


圖-13.24

の高さを精測するのであるが隧道工の豎坑の深さは大抵 200 m 以下であるから、成るべく 200 m 以上の鋼卷尺又は鋼針金 (ピアノ鋼線がよい) を鉛直に吊し、一定の張力の下で測定を行ふがよい。例へば 圖-13.24 の如く鋼卷尺を鉛直に吊し、レベルで読み a, a' と b, b' を得たとすれば、地下 B.M. の高さは次の如く

計算される。

$$h = H + a - (b + l) = H + a + b' - (a' + b) \dots\dots\dots(13.2)$$

此の場合嚴格に云へば、鋼卷尺上の測定長 $l = a' - b'$ に対して温度と張力に對する更正を要すべく、其の値は

$$\left. \begin{aligned} \text{温度更正: } C_t &= +\alpha l (T - T_0), \\ \text{張力更正: } C_p &= +\frac{l}{EF} (W + \frac{1}{2}wl - P_0), \\ \text{全更正: } C &= C_t + C_p, \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(13.3)$$

$$\text{若し } W = P_0 \text{ の時は } C = \frac{wl^2}{2EF} + \alpha l (T - T_0)$$

茲に T_0 : 標準温度, T : 測定時の温度, P_0 : 標準張力, W : 錘の重さ, E : 鋼の弾性係数, α : 鋼の膨脹係数, w : 鋼卷尺單位長の重さ, F : 鋼卷尺斷面積。鋼針金を垂下する場合はレベルの視準點に當る所に印しをつけ、

後から同じ張力の下で印しの間の長さを測定する。巻揚機又は昇降機の綱を利用するとか、或は普通の 50 m 以下の鋼巻尺か測桿を吊して順次に測つて行つてもよい)。

9. 隧道測量の誤差 (Errors in Tunnel Survey)

隧道の掘進につれて中心線及び B.M. は次第に坑奥に設けられ、兩坑門、堅坑より進んで來た導坑が相合する管であるが、測量に誤差があつた場合は接合點に於て喰違を生ずる。其の大きさは大體隧道延長の平方根に比例すると考へられ、延長小なる場合は心配する程のこともないが、延長大となると相當の喰違を生ずることがあるから、餘程の注意を要する。併し素人の考へる様に平行隧道を掘つたとか又は掘直しをするとかは、現今の隧道測量には決して起らないものである。普通に生ずる多少の喰違は導坑より切換げを行ふ際に調整すればよく、已むを得ない場合には、接合點に接續勾配を設けて高低を合はし、兩直線間を折線で結ぶか或は緩曲線を入れて中心線の方を合はす様にする。

一般に此の喰違は地上測量と地下測量の兩方の誤差に基き、普通後者による影響の方が大であるが、單に喰違のみを以て隧道測量の精度を比較することは妥當でない。表-13.2 は著名隧道に於ける接合點誤差を列挙したものである。

表-13.2 著名隧道に於ける測量誤差

隧道名	導坑貫道年	延長(概數)	接合點誤差		延長 (計算—實測)
			方向	高 低	
猪之鼻	大正15年 6月20日	3.8 km	0.065m	0.018m	+ 1.25 m
濟水	昭和 4—12—29	9.7	0.257	0.039	+ 1.21
丹那	昭和 8— 8—25	7.8	0.853	0.037	- 3.28
Mont Cenis	1870—12—26	12.3	0.33	0.305	- 14.75
St. Gotthard	1890— 2—28	15.0	0.49	0.05	+ 7.6
Simplon I	1905— 2—24	19.7	1.33	0.087	+ 0.79
Lötschberg	1911— 3—31	14.6	0.202	0.102	0.41
New Cascade					
{ E. Portal-Shaft	1927— 3— 4	12.5	0.070	0.061	(0.58)
{ W. Portal-Shaft	1928— 5— 1		0.195	0.238	0.305

1) 藤井萬三郎：最新測量學，1934，頁 450—452。