

講 座

UDC 625.1

鉄道建設技術講座 (IV)

正 員 桑 原 彌 寿 雄*

第3章 予測——地形測量及び図上撰定(I)

1. 建設準備測量

(1) 予測と実測 我々土木技術者の行う測量は、地図そのものを作ること自体が最終の目的ではなく、測量して得た結果を手段として図面に表わして、これを利用して目的の物を設計し、かつ実地にそれを造ることが本当の目的なのである。すなわち5万分の1地形図とか、地籍図等を作る純然たる測量とは異なり、建設準備の測量であつて、単に地図を作るだけでなく、設計、施工上必要な図面やデータを得るとともに、実地にその建設物の位置や大きさを示すことも行うのである。

鉄道線路の建設における建設準備測量は、この現場に実際に線路の中心杭を打込んで、その平面、縦断、横断など各種の測量をして、線路とその建造物の設計をしたり、工事を施行したりするところの実測と、これに対してそのまた準備的な下調査をする予測とに分れる。また予測には、線路の状況や工事数量の概略に見当をつけ、企業価値のいかんを調べる調査測量と、実測に移る前に精密な図上研究を行うために地形図を作るところの地形測量とがあるが、ここには、企業が決定したものととして、実測のまえぶれとしての地形測量について述べる。

(2) 路線測量(実測)の方法

i) 直接実測法 これは経験ある選定技術者がただちに現場に臨んで、線路を通過させるべき諸点を、いきなり地上に指定して、これ等の諸点を直線及び曲線をもつて結び、直接地上に線路の中心杭を打つて、これに沿つて水準測量を行つて縦断面図を作り、その上に線路の勾配を適当に取つて施工基面高を決定する方法である。もしうまくなければ、満足するまで同じ方法で改測を行うのであつて、平坦な地形ではいまでも価値ある方法であるが、地形の複雑な山間部等では、なかなか1回で決定することは困難で、いわゆる明治時代の測量の神様と称された選定技術者の全く個人技能によるわけである。工事に着手後になつて、そ

の欠点や他に最良の線路が発見されることが絶対に無いとは云いかねるので、いまでは純然たるこの方法でやることはまず無い。

ii) 地形測量実測法 これは前者と対蹠的なもので、既述のようにまづ踏査によつて線路の規格と経過地がきまつたならば、これに沿つて後述のスタチア地形測量を行い、その地形図(縮尺1:2500)上で図上選定をして充分比較研究の上、有望と思われる1線(または局部的比較線を含み2線)を決定した後、これを現地に中心杭を打つて中心測量を行い、その後さらに精細な横断面図その他の上で研究の上、かつ必要ある部分については改測して、線路の位置及び設計をきめる方法である。

この方法は既述の5万分の1図上の研究及び現地測量以前の踏査で、有望な路線の位置を逸してさえないなければ、その経過地内の路線は地形図(1:2500)上で洩らさず比較研究され、容易に中心設定測量が行われ、測量従事者の個人技倆に左右されることが比較的少なく、普遍妥当的できわめて科学的な方法である。しかし測量方式の型が決つていて多少機械的になり、不必要なところにも一樣に力が入り、あるいは逆に大切な地点にも特別に精力が集中されず、いたづらにすらすらと通りすぎてしまう傾向がないでもないので、要所には特別に精力を集中して補助的な測量も加えて完璧を期する必要がある。

iii) 要所概査測量(Flying Survey) 以上の2つの中間的な方法であつて、全般的にはいきなり中心測量にかかるが、その前に局部的に地形のやや複雑な場所は、まず試みによいと思つた位置に捨石として1本の中心線を設定し、拙速にその中心線及び縦断面を測量して、要所諸点の相互の関係位置及び高さを知るか、あるいはこの部分にだけスタチア地形測量を行つて、これを要所々々飛び飛びにやつて、この部分の適当な線路中心位置を研究しておいてから、本当の中心測量にかかる方法であつて、この捨石となる拙速の路線測量をFlying Surveyと云う。なおいづれ地形測量ないしは中心測量及び工事施行に必要であるか

* 元国有鉄道技師、前盛岡工事事務所長

ら、地理調査所の水準基点 (B.M.) の無い地方では、**B.M. 用水準測量**を行わねばならないが、これを全線にわたつて先行する**全線水準測量**(できれば仮B.M.を造るとともに、途中道路上のT.P.と河底の高さとの概略の位置を明らかにし、すなわち道路、河川の概略縦断面図を作る)は、はなはだ効果的であつて、これは一つの**Flying Survey**と云うことができる。

iv) **実測的地形測量法** これは筆者の主張であるが、地形の楽なところは事前の地図上の研究と現地での判断で、直接実測法の気持ちでほぼ最良の中心と覚しきところに折線の中心線を設定して、これの左右必要最少限度に地形図を取り、地形の複雑な場所に行つたら必要なだけ広い範囲の地形測量をなし、また地形の峻険困難あるいは特に重要な場所に行つたなら、捨石中心による横断測量あるいは局部的詳細平面図(1:500)等の**補助測量**を行つて、能率と最良質の線路とを目ざすものである。つまり地形測量法が機械的になりがちなのを、直接実測法あるいは**Flying Survey**の気持ちと方法を取り入れたものである。

v) **折線横断測量法** この(a),(c)の方法は大正の初期まで行われたが、これは北海道で最近までやつていた(c)に近い方法であつて、地形が比較的緩勾配で叢が多く、見通しのきかない場所に適する方法である。すなわちほぼ最良の中心と覚しきところを折線で叢林を伐開しながら進み、これに適当な間隔で飛び飛びに直角にやはり伐開して横断測量を行い、これから現地でただちに図上に等高線を画いて狭い範囲の地形図を作り、その場で図上選定をして、それに引続いて中心線を現地に設定して、以下普通の中心測量を行うのである。

調査測量の普通の方法は、この横断測量の代りに簡易なスタヂア地形測量を行つて、以上の地形図上の選定のところまでやつて、図上から工事数量を概算するのである(ただし縮尺は普通1:5000)。

2. 写真測量の応用

(1) **写真測量の利用法** 以上の直接実測法を除く各種地形測量法の代用として、昭和7年頃から国鉄に行われたのが写真測量の利用である。写真測量は垂直撮影による60%前後重複の航空写真列を用いるのが普通であつて、水平撮影による地上写真測量はあまり能率的でないから、局所の近づきにくい地形に利用する場合以外はめつたに用いられない。しかし通常写真器による沿線高所よりのパノラマ式俯瞰写真(貼り合わせる)はきわめて卑近であり、地上測量の場合の補助としてきわめて有効であるから、大いに奨励すべきである。

航空写真を利用すると、通常の地上測量による予測よりも能率的で、かつ一大特徴として地勢・地貌その他地形図だけではわからない点がよくわかり、判断が的確で効果的である。この利用法には2種類あつて、1つは単一写真ないしは写真列を貼り合わせて**写真集成図(Mosaic)**にして略平面図として扱い、あるいはその描写性を利用して地上測量を簡単化、能率化する方法であり、その2は航空写真列の重複度を利用して**写真実体像**を現出させ、これを完全図化して地形図を作るか、あるいは写真集成図の上に実体像からの等高線を入れて、**写真地形図**を作るかする方法である。

(2) **写真の性質と写真図の利用** 写真は図-1のo点にレンズがあり、この後方fなる距離(焦点距離)に画面があるが、これは図

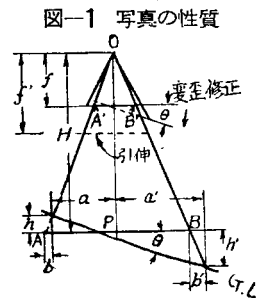


図-1 写真の性質

のようにレンズの前方fなる距離に画面があるものと考えて幾何学的の性質は全く同じである。すなわちoを視点とし、fなる距離に画面をおいた透視図と考えてよいのである。

(1) 写真の縮尺

$$H = f \cdot B$$

$$S = \frac{A \cdot B}{A' \cdot B'}$$

$$\text{引伸し} : f' = m \cdot f$$

(2) 土地起伏による写真像の変位(変歪修正)

$$b = a \frac{h}{H-h} \approx a \frac{h}{H} \quad (h \ll H)$$

$$\text{変歪修正角} : \theta$$

(土地水平、撮影傾斜の修正)

ごとく $1/S$ である。 m 倍に引伸すと云うことは、幾何学的には、 $m \cdot f$ なる焦点距離の写真と同じことになるのである。被写体が平面でなく凹凸がある場合は、垂直な撮影でも像の各部分の縮尺が一樣でなく、それぞれ異なる。このことは云い方を変えると(2)式のごとくある基準面より高い点は、その基準面の外側にある点のごとく写り、その基準面より低い点は基準面の内側にある点の位置にうつるとも云える。この変位(ズレ)は基準面よりの高低差(h)と主点よりの距離(a)に比例する。実例をもつて云えば、山頂は谷底よりも大きく(広く)うつり、このため単写真でも相当実体感があり、写真の端の方にある場合は山頂はいちじりしく外に変位し、またその山頂の内側の斜面は広く、外側(かげ)の斜面は狭くうつるのである。また水平な土地でも、撮影が垂直でなく、傾斜撮影の場合は、

傾きの方向に片側は大きく(近く),片側は小さく(遠く)うつり,傾きに直角の方向は変化しないが,その中間はそれぞれ小さくあるいは大きくうつるわけである

故に写真図を平面図として用いることは,平坦なる地形の垂直撮影の場合を除いては,理論的に誤りである。しかしこの故にこそ実体感があつて一般地図より秀れているとも云えるのであるが,平面図として利用する場合は,重複写真列ならばその主点(普通画面の中心にある。図の P)の附近のみを用いると,像のズレや誤差が少ない。またこの場合各写真ごとの対地高度が違つて,従つて縮尺(もつとも地形に凹凸があれば画面の到るところが違う)はそれぞれ異なるが,鉄道の測量に利用する場合は,勾配で制限されて線路の高さの変化は少ないから,各1枚ごとにその基準面の標高を定めて,この基準面の縮尺が所要のものとなるように変歪修正(図-1のごとく地面と平行な画面に傾きを直すとともに,必要縮尺になるように引伸しあるいは縮める)をして縮尺を修正する。

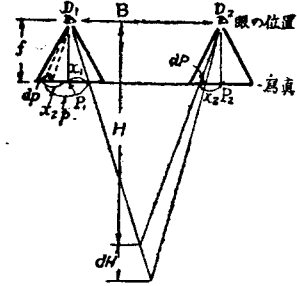
かくのごとくして,単写真あるいは写真集成図を利用し,できればこれに加えて,次に述べるように隣接2枚の写真をもつて,肉眼または手持実体鏡や簡単な実体測量鏡によつて実体像を見ながら,概略の図上選定をなすことができる。なおこれ等写真図を現地に携行踏査しつつ,を水準測量を行い,盛替点(T.P.)を写真上にことごとく指針(針でその位置を刺して小さい孔をあける)すれば,図上に標高基準点列ができて実体鏡の観察を併用すれば,ほとんど地形用と変らぬ図上選定による中心位置(数値的精度は少し落ちるが)を得ることができる(この場合地形測量を省略してすぐに中心測量に移ることができる)。

写真の平均縮尺の概略は撮影高度がわかれば出るが,撮影高度は別の記録から知るか,または写真器によつてはその一隅にバロメーターの目盛のうつるものがあるので,これを利用する。この場合はなお,同心円で表わした像に傾斜を示す気泡のうつるものもあるが,ともに多少時間的のズレがあるので,注意して前後と睨み合わせる必要がある。

(3) 実体写真測量法 実体写真測量法の原理は図-2のごとく,空中基線 B (連続2枚の撮影点間の距離,すなわち正しい垂直撮影ならば写真の両主点間の距離)と対地高度 H がわかればその高低差がわかるわけで,この両眼の視線のぶつかる点が写真上にとつての地形地物なのであつて,それで実体像が見えるのである。肉眼では両眼の間隔が6cm強くらいしかないから,左の眼で左の写真を,右の眼で右の写真をみると,普通写真の端が重なつてしまつて,6cm余

の中の部分しか実体像が見られないので,途中に反射鏡を入れて,離れておいた写真(密着または原板)の直上から見るようにしたのが実体鏡である。図-2の式からわかるとおり,左右各の写真に一定の視差 P_0 を持つた指標(点のこともあり,小さな

図-2 高低差写真測量法の原理



$$pH = fB$$

空中基線: B

視差: $p = x_1 + x_2$

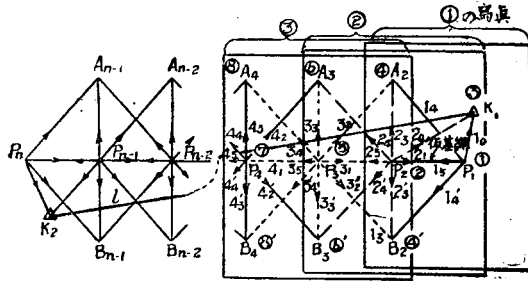
$$\text{視差} \alpha: d_p = -\frac{fB}{H(H+dH)} dH \\ \approx -\frac{fB}{H^2} dH$$

物体の形のこともあり,あるいは網状面のこともある)をおけば,その対地高度は H_0 となり,この指標が接して見える地点(この標高が正確にわかつていればこれを基準として)から,その指標の相対的経過を視差 d_p だけ動かしてみると,この指標の接して見える地点の標高は dH だけ違つているわけである。かくして相対的の標高差,あるいは別途正確な写真の縮尺が計算されれば,絶対対地高度を知つて,これから必要な点について測れば等高線が画きうるわけである。絶対対地高度から等高線を描くことは,戦場または未開の蛮地では行われるが,既述のように我々の鉄道測量では,どうせ現地で水準測量を必ず行うのであるから,これをやつて,指針された標高基準点列からこの相対的標高差を測定して等高線を描けば,きわめて正確である。

なお長さ(縮尺)の基準点を与えるためには,写真上2点以上の基点の間あるいは重複写真列では,ある距離をへだてた基点間の距離を測る基点測量が必要であり,これがその写真測量の精度を支配する。この基点は撮影前にあらかじめ地上に標識を造ることもあるが,撮影後写真上著名な地物の位置を地理調査所の三角点から測つたりあるいは直接三角点の位置を現地に踏査して指針するのが普通である。離れた基点間の距離から,個々の写真の縮尺を知るには,室内において,「写真像の変位は,主点から各像へ引いた放射線上を動いて,その放射線間の角は一定不変である」との原理に基づいて,写真上連続3枚に共通な点を上下各1点撰んで,これと基点で三角網を組み,輻射三角測量なるものを行つて,その三角網の縮尺から各辺の長さ,また各辺の写真上の長さからその写真の縮尺を知るのである。

なお上記の実体像を見ながら,指標の位置を変化させるのを自動的に機械製図するようになっているのが,ZeissとかWildとかのPlanigraphまたはAero-Cartograph等の実体自動製図機であつて,これは写真図を利用するので無く,直接完全図化するので,理論上全く正しいが,機械が高く作業がむづかしいので,図面そのものでなく,現場そのものを目的

図-3 輻射三角測量法



$$S = \frac{L}{l} \quad (L: \text{基線表})$$

- 1 枚目
- - - - 2 枚目
- ⋯⋯⋯ 3 枚目

(n) 定まる順序 P_n : 主点 A_n, B_n : 補点
 K_1, K_2 : 基線 P_1, P_2 : 仮基線

とする国鉄の路線測量では、昭和7年の伊東線以来用いられず、国鉄では従来前記のごとき写真集成図に実体鏡から等高線を入れ、必要あればこれをトレースして地形図とする方式を採用していたのである。

終戦後最近まで行われた土地測量の大部分もほぼこの国鉄式であつて、写真はアメリカ軍の日本全国を蔽うた約 1:40 000 と一部の 1:10 000 の航空写真を利用したものであるが、講和条約成立後最近になつて、日本人の飛行機による撮影測量会社もできたようである。これからは、広角レンズ(短焦点)写真器とは限らず、必要な縮尺の写真(引伸しは普通4倍が限度)を適当な高度(普通 2 000 m 以上の安定した上層気流がよい)で撮ることができるような焦点距離(1:2 500 の地図を最終目的とする場合は 30~36 cm が適当)の写真器が用いられて便利となるであろう。

3. 踏査、測量計画及び測量実施準備

(1) 着手決定直後の踏査 企業価値の調査が終つて建設工事の予算が決まり、担当建設事務所に着手命令がきたならば、もう一度5万または2万5千分の1地図上や旧調査測量の図上で充分調査して、大体有望な経過地と比較路線が決まつたならば、まづ第一に最高責任者(所長)が、少なくとも担当技師がこの全線を踏査して、既述のような点を観察し、線路の規格、地域区分(規格、工事施行、測量等)、停車場の概略位置、運転設備箇所、特に既成線連絡駅の設備、能力と分岐の方向を決定せねばならない。この際経過地と測量作業方法及び測量範囲(河の右岸、左岸等)もきめねばならないことは言うまでもない。

(2) 地形測量計画の樹立 以上によつて部分開業(駅の位置)や工事分割区間のことを考えて、実際上は普通 5~8 km 前後に区分して測量計画を立て、人員、使用器材、日数等から、予算を組んで測量何の書類を作つて決裁をとり予算、資材を請求する。これと同時に土地収容法または測量法による立入通知その他を当該地県、町村、営林局等に出さねばならない。隊員の編成は普通、隊長(主任技術者)1、隊長(選点班)付工手1; トランシット班中級技術者1、工手2; レベル班技術者1、工手2; 平板班下級技術者1、

工手2; 計11名程度のほかに速越(熟練)人夫若干名(それだけ工手が減る)である。進行速度は地形と測量範囲の広さによつて異なるが、大体1kmにつき作業3~4日程度である。

(3) 器材の準備 携行器材は通常の各測量作業用器材のほかに、ポケット・コンパス、手旗(各色)、製図用品等の庁中用品と、場合によれば枕杭(4.5~6 cm 角の基点杭と 10~12 cm 角の水準点 B.M. 用六杭)や釘、針金、ベンチ等が必要である。隊員各自の衣類その他作業用品や応急薬品(場所によれば生活物資、天幕、炊事道具を持参することはもちろんである。また移動や作業の往復に便利な自転車及びリヤカーを用意するのは当然で、できればダブルシートのフォード V8 やトヨベットの客貨兼用のトラックを用意するとよい。

測量器具は検査の上よいものを持つて行かねばならぬ。なお特にトランシットは通常の水平盤、水平軸、視準儀などの整正のほか、スタヂア(視距測量)を行う関係上、気泡管の整正とスタヂア係数の較正を杭打法で行つて最少自乗法によつて計算し、容器の裏面に貼布してある数字と照合する必要がある。また竹鎖の目盛記入や、色手旗の製作もやらねばならぬが、スタヂア係数の検査やこの製作作業等は現地乗込後やることもある。

(4) 現地到着と測量作業開始前の踏査 現地到着後まづ宿舎の設定(宿屋、社寺、天幕等)と器材の整備を大部分のものがやつている間に、主だつたものは役場、巡査駐在所その他関係機関に挨拶の上、立入通知の徹底方及び人夫手配方を依頼せねばならない。なおただちに宿舎到着または移動ごとの変更届や測量着手進行報告等事務所への連絡に遺漏なきを期さなければならぬ。また特に隊員の風紀規律上の取締りももちろんのこと、測量目的とか任務の機密保持と無用の摩擦、波紋を起さぬよう全員に厳重に注意しておく必要がある。

作業の着手前には、まづ少なくとも隊長以下主だつたものは全測量区間を踏査して、線路の経過予想地と測量範囲を検討し、これに対してとるべき測量方法、例えば等高線測量に平板とスタヂアを併用すべきや否や、狭い見とおしのきかない枝道でのコンパス、テープの採用とか、また隧道口、架橋点の候補地や、懸崖通過点の詳細平面図とか横断面測量とかの補測を考案する。

測量の中は普通 300 m 前後とされているが、これには拘泥せず上記のように研究し、線路の通過することあるべき部分を取残しをせぬよう(このためにすぐ冬期の降雪で着工が1年遅れることがある)気をつける。また 300 m 以内でも狭い平地の外に山が立つていて線路の通過するおそれのないような場合は、大体の山の形がわかるだけに粗くスタヂアをやるとか、逆に雪国で雪崩のおそれのある場合は、スタヂアの精度を粗くしても大体雪崩の発生する所までと、その被害の及ぶ対岸までは図示すべきである。また市街地と停車場との関係も同様であつて、川の向などで線路または停車場が絶対に行かなくても、停車場位置を決定するために概略の市街の形だけは入れることが必要であることが多い。有効充分な測量範囲と測量方法を決定することは測量主任技術者の技倆である。