

# トランシット及びレベルの気泡管 感度数について

准員 北 郷 繁\*

## ON THE SENSITIVENESS OF BUBBLE TUBE IN TRANSIT AND LEVEL

(JSCE March 1952)

Shigeru Kitago, C. E. Assoc. Member

**Synopsis** The author presents in this paper the minimum limit of sensitivity of tubular level in transit and level, ordinarily used in our engineering survey, considering the error of horizontal angle measurement due to inclination of vertical axis, that of sighting and angle reading, and the levelling error of bubble tube.

**要旨** トランシット及びレベルに使用されている気泡管の感度の大きさは、従来経験に基いて慣習的に定められている様で、之を理論又は実験の方面から検討したものは一寸見当らない。そこで筆者は、之について1つの提案を行い、垂直軸の傾斜による角度誤差、視準及び読角誤差による測角誤差及び気泡管の整置誤差を考慮してトランシット及びレベルの気泡管の感度に許される最小限度の感度数を求めようとしたものである。

### I トランシットの場合

#### 1. 垂直軸の傾斜誤差

之による1点の視準の際の測角誤差  $V$  は近似的に  $v \tan h \sin u$  <sup>1)</sup> である。ここに  $v$ : 垂直軸の傾斜角,  $h$ : 視準点の高度,  $u$ : 垂直軸の傾斜方向と視準線とのなす水平角

この値は、 $h$  がきまると、 $u=90^\circ$  の時、 $v \tan h$  で最大となる。2点のはさむ角を測る場合に生ずる測角誤差は、他に誤差原因がないものとして、之を  $(V)$  とすると、2点に対する  $h, u$  にそれぞれ1, 2の尾字をつければ

$$(V) = v \tan h_1 \sin u_1 - v \tan h_2 \sin u_2 \dots \dots \dots (1)$$

となる。この  $(V)$  の最大最小は、 $h_1=h_2, u_1=u_2$  の時、即ち2点の高度が俯仰何れか一方でその値が等しく、垂直軸の傾斜方向が測定角を2等分する場合に、 $(V)=0$  で最小、反対に  $h_1=-h_2, u_1=u_2=90^\circ$  の時、即ち俯仰両角があつてその値等しく、測定角が  $180^\circ$  で且つ傾斜方向がこの直線に垂直である場合に  $(V)=2v \tan h$  で最大の値をとる。之を  $V_{\max}$  とする。實際上この様な場合の生ずるのは稀であるが、この値を

もとにして垂直軸の傾斜誤差の許容範囲を求める。

尙前記に於て他に誤差の原因がないとしたが、たとえあつてもそれが器械誤差であるならば、観測の方法によつて消去出来るものである事は周知の通りである。垂直軸のそれは例外的な場合、即ち  $h_1=h_2, u_1=u_2$  の時を除いて消去出来ない事は(1)式より明らかである。依つてこの場合他の誤差原因を考える必要はない様である。ただ垂直軸の傾斜に伴う偏心による誤差が考えられるが、この誤差は極めて微量のものである事は次の様にして証明される。 $S$  なる距離の1点の視準に於て、偏心距離  $z$ , 偏心方向角  $\gamma$  なる時の角度誤差  $\omega$  は

$$\omega = z \sin \gamma / (S + z \cos \gamma)$$

で表わされるが、 $z \cos \gamma$  を  $S$  に対して小なりとして無視し、 $\omega$  の最大値を求めると  $\omega_{\max} = z/S$  となる。今  $H$  を垂直軸下端より水平軸までの距離とすると、 $\omega_{\max} = vH/S$  となつて、 $v=10'' (600'')$ ,  $H=0.3m$ ,  $S=50m$  の時でさえも  $\omega_{\max}=3.6''$  である。この値は水平角の測定には全く問題にならない誤差であり、且つ實際上垂直軸が  $10'$  も傾斜する事は考えられない。この場合、求心が普通の程度に完全である事は勿論である。尤もこの求心も  $S=100m, z=2mm$  で  $\omega_{\max}=4''$  程度であるから左程神経質になる必要はないわけである。

#### 2. 視準及び読角の誤差

今  $\alpha$  を視準誤差、 $\beta$  を読角誤差とすると、2点を視準する時の1回の測角に於て起り得る角度誤差  $(E)$  は

$$(E) = \sqrt{2(\alpha^2 + \beta^2)}$$

であつて、之は垂直軸の誤差を含むものでない。この値を以つて観測値の精確さを判断する基準とする事は当然考えられる事であつて、この場合垂直軸の傾斜に

\* 北海道大学助教授、工学部土木教室

よる水平角の誤差が之より大きいのであれば、観測値の精度の比較の際に不良の結果となるわけである。従つて垂直軸による誤差(V)は、常にこの測角誤差(E)より小さくなる必要がある。(V)に  $V_{max}$  をとり、 $\alpha=3''$ ,  $\beta=15''$  とすると

$$V_{max} = 2v \tan h < (E) = 25.8''$$

$$\therefore v < 12.9'' / \tan h \dots\dots\dots(2)$$

所で  $h$  の値であるが、山地等でトラバースを組む様な場合には  $30^\circ$  を越す事は稀でなく、鉱山測量では更に大になるものと考えられ、天体測量では殆んど天頂を向く事さえある。それで我々の技術測量で遭遇し得る最極端の場合を考えて、先づ  $h=40^\circ$  として計算すると

$$v < 15.4'' \dots\dots\dots(3)$$

となる。尙  $h=5^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$  に於ける  $v$  の値は表一の様である。

表一  $v$  の値

$h$	$v <$
$5^\circ$	148
10	73
20	35
30	22

以上によりそれぞれの高度についての最悪の条件のもとに於て垂直軸に許し得る最大限度の傾斜角が求められたわけである。

3. 気泡管の整置誤差

気泡管の管軸が水平で、従つて垂直軸が垂直であるとするのは、管のなす円弧の中点から対称に等間隔に設けられた目盛を基準にして、気泡端が左右対称の位置に静止した時に、管軸は水平であり、垂直軸は垂直であるとする。所が対称の位置にあるのを判断するのは肉眼によつて然も明視距離以上に於て行われるのが普通だから、先づこのための誤差が生ずる。即ち肉眼で判断出来る間隔には限度があり、更に之が明視距離以上であればその限界は拡張されるものと考えてよい。又ガラス管には厚さがあつて光を屈折するから、眼の位置が円弧の中点の直上でない限り誤差を生じ、更には目盛の太さ、その間隔の不平等の理由から、対称の位置に静止させるには或る程度の誤差を免れない。之を一括して対称位置の判定誤差としよう。次に目盛に従つて厳密に対称の位置に静止せしめても、ガラス管の内面のすべての部分の曲率が必ずしも一様でないから、対称に静止させた両点の曲率が異れば、最早管軸は水平ではないわけである。即ち気泡管それ自身の構造上の欠陥に基づく誤差であつて、之を対称点誤差とする。この両者を併せて気泡管の整置誤差と名付けたわけで、簡単に言えば、気泡管によつて水平位置を求める際の誤差と言う事になる。

さてこの2種の誤差の数値はどの位になるかと言うと、前者の判定誤差については次の様に考える。普通

の条件のもとで、肉眼により、明視の距離に於て確実に判別出来る最小の間隔は、 $1/4mm$  とされている。即ち2つの目盛間にある気泡端の位置を推定するには少くとも之だけの見誤りがあると考えねばならないわけである。所が気泡管に於ては、前述の様に、眼の位置及び管からの距離、目盛の太さ及びその間隔の正否等から、位置を判定する上の条件は非常に悪いものと考えてよい様である。それでここでは安全を見込んで上記の2倍、即ち  $1/2mm$  だけの誤差があるものとする。気泡の一端で之だけだから両端では、最悪の場合この2倍の  $1mm$  までの推定上の間違いが起るものと考えてよい。今気泡管の感度を  $A''$  (管上の  $2mm$  が円の中心ではさむ角) とすると、この判定誤差は、 $A''/2$  となる。即ち安全を見込み、最悪の場合には、感度の半分までの誤差を覚悟せねばならない事になる。

次に対称点誤差であるが、この  $A''$  に対する割合を  $p$  とすると垂直軸の傾斜  $v$  は

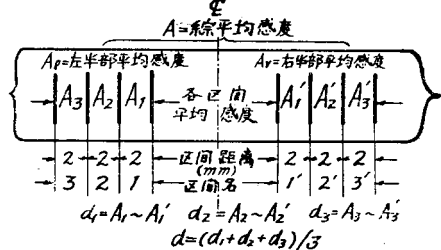
$$v = (1/2 + p)A'' \dots\dots\dots(4)$$

となる。この場合  $v$  は気泡管の狂いによつてだけ生ずるものとする。 $p$  の値については次に述べる。

4. 対称点誤差 (p)

前述の様に気泡管の内面は一定の曲率であるべきにもかかわらず、製作、材料、保存の不備及び経過年数等によつて、必ずしも一様ではないのであつて、相対応する部分の曲率に差異のあるのが常である。この様な気泡管によつて求められた水平位置は、前述の判定上の誤差が皆無にしても、なお幾何かの狂いを生ずるわけで、之を数量的に表わすために次の様な方法をとつた。即ち相対応する2対の目盛間の感度を求め、両者の差量  $d$  と、線体の平均感度  $A$  との比を  $p$  とし、之を対称点誤差とする。図一に於て左右の目盛間の感度を測定して(筆者は6回)それぞれの平均値  $A_L$

図一  $A$  と  $d$  との関係



$A_2, \dots, A'_1, A'_2, \dots$  を求めると

$$p = \frac{d}{A} = \frac{\sum_1^n (A_i - A'_i) / n}{\left( \frac{\sum_1^n A_i + \sum_1^n A'_i}{2n} \right)} \dots\dots\dots(5)$$

である。筆者が 1949~50 に 23 ケの種々の気泡管について測定した結果によると、最大 0.19, 最小 0.003 で平均 0.05 であつた。之らについては別に詳しく報告する予定である<sup>3)</sup>。

$p$  には上記の平均値を用いると結局垂直軸の傾斜  $v$  は (4) から

$$v = (1/2 + 0.05)A'' = 0.55A'' \dots\dots\dots(6)$$

となる。

5. 感度の最小限

(3), (6) を組合せると

$$0.55A'' < 15.4''$$

$$\therefore A'' < 28'' \dots\dots\dots(7)$$

尚表-1 の高度を用いると表-2 の様な結果が得られる。

Jordan<sup>2)</sup> は、それぞれの目的に応じた感度をあげて、精密測角用には、10'', 普通測角用には 20'' としており、L.H.Berger<sup>4)</sup> は 1'~20'' 読み 6~4 $\frac{1}{2}$  吋直径のトランシットで 60'', 10'' 読み 7 或いは 8 吋のセオドライトで 45'' としている。(7) による値から見ると前者は厳にすぎ、後者は緩にすぎる様に思われるが、(7) の値は最悪の場合に

表-2 Aの値

$h$	$A <$
5	270
10	130
20	64
30	40

に

応ずるものであるから、両者の中間をとつて、20'' 読みの我々の普通に使うトランシットには 30~40'' を提案したい。戦前の製品に実用されている感度は 50~80'' でやや緩にすぎる様に思われる。この様に緩にすぎる上に、他の性能も劣つている気泡管を縦横に 2 箇所とりつけるよりは 30'' 程度のものを 1 箇所用いて、トランシットの性能をあげると共にトランシットの軽量小型化に改良の方向を向ける事を希望したい。

II レベルの場合

レベルの場合は簡単であつて、調整完全であれば、問題は視準線の水平度に帰し、従つて気泡管の整置誤差だけを論ずればよい事になる。

1. 整置誤差

対称点誤差  $p$  は、感度の大小に関係ない事は実験の結果から確かの様であるから、この場合も前者と同様に 0.05 の平均値を用いてよいと思う。問題は判定誤差であるが、一般にレベルに用いられる気泡管は寸法大で、目盛も細く且つ明瞭であり、加えて観測者は入念に整置を行うのが常である。従つて、判定上の誤差はトランシットよりはるかに小さいと見てよく、ここではトランシットの場合の半分、即ち明視距離に於ける最小限をとつて見よう。すると判定誤差は  $A''/4$

となる。之は Y 型レベルの多くに見られる気泡端の直接判定方式の場合で、Wild の採用した、観測窓に気泡端の双方の映像を持ち来し、之の合致により整置を判定する方式即ち気泡端合致式では、この誤差は推定場所が 1 ケ所であるから、その大きさが半減するわけである。即ちこの方式の判定誤差は  $A''/8$  としてよい。以後便宜のため、前者を a, 後者を b とする。即ち整置誤差は

a. 直接判定方式

$$(1/4 + p)A'' = 0.3A''$$

b. 気泡端合致方式

$$(1/8 + p)A'' = 0.175A''$$

.....(8)

となる。

2. 感度の最小限

高低測量で最も多く起る視準距離を 50m とし、読定を 1mm とする。視準距離は之より大な場合もあり小な場合もあるが、5mm 目盛を目測して 1mm を充分確実に読むためには、之以上の距離を用うべきでない。そして 1mm を誤差の最大限とすると (8) から  $\rho'' = 206265''$  として

$$a. 0.3 \times A'' \times 50m / \rho'' < 1 \times 10^{-3}m$$

$$\therefore A'' < 13.7'' \dots\dots\dots(9)$$

$$b. 0.175 \times A'' \times 50m / \rho'' < 1 \times 10^{-3}m$$

$$\therefore A'' < 23.5'' \dots\dots\dots(10)$$

前記 4), 5) の文献で Jordan は、大型レベルで 10'', 普通目的に 20'', 小型のもので 30~40'' を推し、Berger は普通程度の Y 及びダンピーに 20~30'' をあげている。これらの値は勿論 a. の方式によるものについてであつて、b. の方式による時は、a. と同じ精度を望む場合、感度は之より小であつてよい筈である。

高低測量の誤差の中、器械的なものは観測の方法によつて除去出来るのであり、且つ現在用いられている a. 方式のレベルで 20~30'', b. 方式で 30'' 程度であるから、(9) (10) 及び上記文献の値からして、現行の例は大体の所宜しいわけである。ただ欲を言えば a. 方式で 15'' 程度、b. 方式で 25'' 程度の感度が望ましいのではないだろうか。

III 結 び

以上の推論中、整置誤差のとり方にはなお研究の余地があると思われるが、結論として提案した感度は實際上から見ても左程に正鵠を失するものとは思われない。特にトランシットの気泡管については、在来の程度のもものでは殆んど無意味に近く、30~40'' 程度に感度を鋭くすると共に、縦横に 2 箇所も設ける事をやめて

1箇にすべき事を強調したい。レベルについては、感度そのものについては余り異論はないが、b.方式即ち気泡端合致方式は種々の面で利点があり、感度も30°程度でよいのであるから、今後の器械の製作、改良及び使用にはこの方面に注目すべきものとする。

この報文中の $p$ の測定には北大真井教授の御厚意による所が多い。記して謝意を表する次第である。

## 文 献

- 1) Jordan: Handb. d. Vermes. Bd. II 1914 s. 274  
大前憲三郎他3氏: 陸地測量学 1942. p.150
- 2) 筆者: 土木学会誌 “気泡管の感度について”
- 3) Jordan: 前同 Bd. II 1914 s.196
- 4) L.H.Berger: Civil Engineering, V.9 N.7 1939 p.422 (昭.26.10.27)

UDC 625. 41. 003

## 最近の単価による高架線の経済的形式

正員 坂元左馬太\*

## ECONOMICAL CONSTRUCTION OF ELEVATED LINE BASED ON THE LATEST COST OF MATERIAL AND LABOR

(JSCE March 1952)

Samata Sakamoto, C.E. Member

**Synopsis** This paper describes the author's study of the economical construction of elevated line of various types basing on the latest work cost, cost of right of way under an assumed height of the elevation.

**要旨** 高架線の高さを仮定し各種構造材料の高架線について最近の工事単価を用い、用地代に関連して如何なる構造が経済的であるかを調べた。

この研究は既に約20年前工務資料(鉄道省工務局)に発表せられているが、本文はそれにならつて調査したものである。

## 1. 概 要

高架線の構造様式として普通に考えられるものは次の如くである。

- (1) 盛土式
- (2) 石垣式
- (3) 重力擁壁式
- (4) 鉄筋コンクリート扶壁付擁壁盛土式
- (5) 鋼鈹桁式(単線, 複線, 上路, 下路)
- (6) 鉄筋コンクリート高架線(スラップ, 拱)
- (7) ラーメン式(鉄筋コンクリート, 鋼材)

これ等の中には、建設費の低廉のみでは市街地に採用し難いものもあるわけである。

最近の物価は周知の如く凸凹が多い。例えば、昭和の始め頃に比して鉄筋は約600倍、人夫賃は150~200倍、用地代は30~100倍と見られる。以前の研究は用地代によつて構造様式が甚しく左右せられたが、現在は、鋼材、セメント等をあまり使用しないものが有利となる筈である。

## 2. 設計の仮定

設計の仮定は工務資料(前出)に用いられたものに近いものとした。

(1) 設計荷重 設計荷重はKS-12又は名古屋市高速度鉄道建設規程案(第4)にあるM-M-Tとした。M-M-Tの軸距は  
 $P_1$  2.45m  $P_2$  11.15m  $P_3$  2.45m  $P_4$  3.95m  $P_5$  2.45m  $P_6$  11.15m  $P_7$  2.45m  $P_8$  3.95m  $P_9$  ……  
 で $P_1$ ~ $P_8$ は軸重18t,  $P_9$ 以下15tである(20m車輛)。この荷重とKS-12を比較すると次の如くである。

曲げモーメント: 支間4mまではKS-12よりやや大きく、支間16m附近まではKS-12に殆んど等しい。

剪断力: 支間5mまではKS-12よりやや大きく、ここで交叉し、支間11~13mで殆んど等しく、支間20m附近でKS-12とKS-9の中間に来る。

以上の事柄からM-M-TとKS-12との設計は荷重的に見て同等であるとして調査を進めた。

(2) 高さ及び巾 道路面と、設計施工基面との差を6.0mとした。これは前と研究との比較を便利にする為である(土木工学ポケットブック, p.3221山海堂)。複線の場合のみを考え、線路中心間隔を3.6m, F.L.の巾を左右それぞれ2.5mとした。従つて全巾は8.60mとなる。

(3) 用地巾 盛土式の場合は法尻に、道路から高さ約1.0mの土留石垣を考え、盛土の法勾配を1:1.5、全巾を27.4mとし石垣式の場合は石垣と道路面との交

\* 復興建設技術協会中部支部