トランシットの外焦式望遠鏡における水平叉線（十字横線）の種々の調整法に対する理論的研究*

正員　森　吉　満　助**

THE THEORETICAL STUDY IN VARIOUS ADJUSTING METHODS OF THE HORIZONTAL HAIR IN GURLEY TYPE TELESCOPE

(JSCE Aug. 1953)

Mansuke Moriyoshi, C.E. Member

Synopsis There are various adjusting methods of the horizontal hair in Gurley type telescope. Then the writer studys in theoretically and recommends some preferable methods.

要旨　ガーレー型トランシットにおける水平叉線調整法は相当数あるので，筆者は理論的に研究し，好ましい方法を推奨した。

1. まえがき

測量技術者に対し国家試験が行われるようになつたために，測量に対する関係技術者の関心は高まり，各種講習会の開催，書籍の発行など相当活発であり，特に地理調査所の活躍は注目に値する。

さて多種の書籍の出版によつて，我々は選択の自由を与えられ，権威者の労苦に対して深く感謝する次第であるが，その内容において，著者により異なつた方法を述べていられる場合もあり，読者としては正直のところ選択に迷う時もあるわけで，以下に述べんとする外焦式望遠鏡（対物鏡の移動により焦準するもの）を有するトランシットは周知のごとく旧式で，現今はとんど生産されていないものの，なお現在これを使用している技術者は少なくないと思われるので，この場合の水平叉線調整法がいろいろあり，筆者の知る範囲でも 10 に達するから，一応これらを検討し，私見を述べることも，無駄ではあるまいと信じている。

2. 各種調整法

さて水平叉線調整の目的は，水平叉線（あるいは叉線交点）と対物鏡光心とで決定する平面（または直線）を，水平軸を含む平面（または直線）たらしめることである。

理想から云えば，対物鏡の光軸は水平軸を常に通り，叉線（十字線）はこの光軸上にあることである。しかしながら製作上完全なものを作ることは，コストがむやみに増すばかりである。一方器械の精度例えば分度円（目盛盤）や気泡管の性能その他により，自ら許される限度があるはずで，実際上理想の状態になくともこれに近ければよいものであろう。

次に各種調整法に対する在来の批判は，筆者の知る限り，田中[1]，新郷[2]両博士等によつて発表されたものがあり，以下述べることにも多少重複する点があるかも知れないが，了解を願いたい。

それでは各種の方法を，次に検討してみることとする。

（イ）器械に近く支台を設け，望遠鏡の正反両位において，その端部を該支台にのせ，遠点での両回のよみの中央を，水平叉線が指すように調整する方法である。

この方法は，次の（ロ）法と同様，遠点のみで行うから，対物鏡移動方向いかんには関係がない。ただこの視準距離の際に，視線を水平軸中に入れるので，一般に他の視準距離に対しては，厳密には水平軸を通過しないだろう。

さてこれは正反両位における，対物鏡光心の位置が一致すれば，すなわち，正反両位の視線が光心で交わるならば，この視準距離においての視線を水平軸に入らしめるが，正反両位で光心が一致しない時は，調整後遠点での正反両位におけるよみが一致しても，一般にこの際の視線は水平軸を通らないで，視線交点が対物鏡光心以内（対物鏡と水平軸との区間）ならば，調整超過に，また以遠で遠点までにあれば調整不足になり，また視線が水平軸と遠点間以外で交わるか，あるいは無限遠で交わるときは，調整視線はもとのよりなお水平軸から離れてゆく。

実際鏡筒部への支台では，光心に対して鏡筒部が対称であることが疑問で，従つて正反両位における，光心の一致に関しては疑念があり，一般に一致していないのが普通であろう。また支台設置の面倒さも加わりこの方法は感心しない。

（ロ）鉛直分度円遊標（バーニヤ）を0に合わせ，遠点での箱尺のよみをとり，次に反位にして同様に行い，両方のよみの中央を視線が指すように水平叉線を

* 第4回土木学会中国四国支部講演会にて発表のものに追加

** 徳島大学助教授，工学部土木教室

調整する。または逆に1遠点を正反両位で視準して，その各の時の鉛直角をよみ，180°との差の中央に鉛直角のよみがゆくように望遠鏡を廻転し，この際の視線が前の遠点に一致するよう水平叉線を調整する。

この方法では鉛直分度円の精確さに頼つているのであるが，普通のもので1′よみ程度であり，あまり正確でない。いま分度円で 30″ 狂えば，40 m の遠点では約 6 mm の狂いとなる。なおこの調整では前法と同様，遠点のみを考えているのであるから，光軸の方向いかんには関係しない。理論的にこの方法を考えるとき，対物鏡の光心と水平軸とを結ぶ直線が鉛直軸に直角のときとそうでないときの2つの場合に分けよう。

α）対物鏡光心と水平軸を結ぶ直線が鉛直軸に直角のとき

この際は正反両位における対物鏡光心の位置は一致するから，$d/2$ だけ修正することにより，この視準距離における視線を水平軸内に入れることができる（もちろん正反両位における鉛直分度円よみの差が厳密に180° である場合に限る）。従つてこの場合は，鉛直分度円が完全に調整ずみで，鉛直分度円が0の時に光心と水平軸とを通る直線が鉛直軸に直角の場合である。

β）前記 α）の直線が鉛直軸に直角でないとき

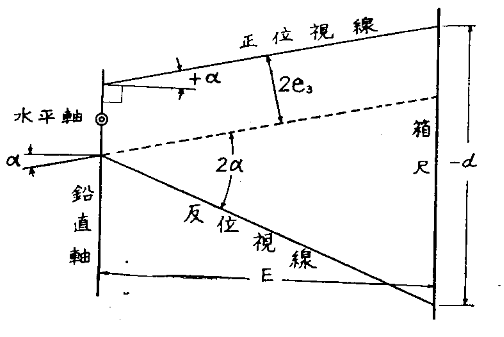
この時は α）のように正反両位での対物鏡の光心は一致しない。これを2つに分けて考えよう。

① 視線が鉛直軸に直角ならざるとき(一般のとき)：遠点でのよみの差 d には次の図—1 のように

$$\pm d \fallingdotseq -(2e_3+2\alpha E)$$

ただし
- e_3 の符号は正位のとき水平軸に対して，視線が上ならば＋，なお e_3 は水平軸から視準までの距離とする。
- α の符号は正位のとき，鉛直軸に直角な線に対して視線が上向ならば＋
- d の符号は反位での箱尺のよみより正位のそれを減じた値が正のとき＋

図—1



すなわち，鉛直軸に対し視線が直角でないための誤差 α によるものが入つてくるわけで，従つて α の変化により d が変り，その $d/2$ に叉線を修正すると，一定の $2e_3$ に対して α の値が変われば叉線の移動量が変化することになり，調整量が一定しないことになる。また図のように両視線が箱尺までに交叉しないときは（ロ）法とは真の調整方向が逆である。よつてこの方法は意味がないように思われる。

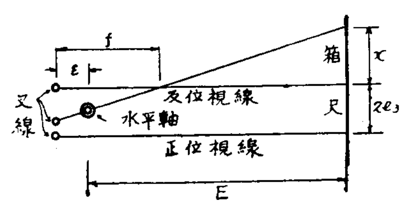
なお駄足であるがトランシットの調整の順序としてこの後で遊標の調整をするから，一応遊標は正しくないと見るべきである。

② 視線が鉛直軸に直角であるとき：前式 $\pm d \fallingdotseq -(2e_3+2\alpha E)$ 中 $\alpha=0$ であるから $\pm d \fallingdotseq -2e_3$ となる。すなわち，正反両位のときの鉛直角のよみを0と180°とに合わすことにより，両視線は平行となり，従つて箱尺でのよみの差は視線間隔を示すはずである（この測定には mm 以下が必要であろうし，かりに可能であつても，誤差量を拡大できない以上，遠点でよみをとる意味が減じてくる）。

さて以上の両者が満足されたならば，調整量 x は図—2 から　$x=\dfrac{e_3(E-f+\varepsilon)}{f-\varepsilon}$

で求まるわけであり，しかもその真の調整方向は（ロ）法とは反対方向になつてくる。

図—2



次に逆の方法も同様に説明することができる。

（ハ）最近この方法を採用している書物を数冊見た。これはちょうど鉛直叉線（十字縦線）調整法と同様であつて，水平視線（未だ完全ではないはず）で遠点 A を視準し，上部または下部運動で 180° 廻転して遠点 B を視準する。次に反位にして A 点を視準し前と同様に B の方を視準して B′ を得たとき，B′ より BB′ の1/4の点を視準するよう水平叉線を調整するものである。

この方法は理論的に間違つていると思われる。いま視線が水平軸を通らないとし，器械より A, B 2点への距離が等しいならば，かりに鉛直軸が調整不完全で傾斜していても，A点視準のときの視線と鉛直軸とのなす角は，B点視準の時と等しいはずであり，同様に反位のときの視線と鉛直軸との関係も変らぬから（正位のときの角度とは異なるであろうが），A点において正反両位の視線を一致せしめると，Bでも一致するは

ずで，もしもこれを満足しないならば，器械よりA,Bへの距離がいちじるしく異なるか（しからば後述の（ニ），（ホ），（ヘ），（ト），（チ），（リ）と同様な方法となる），鉛直軸または対物鏡滑動内筒がガタの移動をしているかのいづれかであろう。

（ニ）近点及び遠点を択び，近点の同一点を正反両位で視準し，各の場合における遠点のよみをとつて，その中点に叉線を合わせる方法であつて，後述の諸法と比較して誤りであることは明らかである。しいて云えば気長に行えば目的を達する程度であろう。

（ホ）[3] 関信雄博士発表の方法であつて，前の（ニ）と同じ操作を行い，調整量を x とすると，

$x=E_1 d/2c$ あるいは $x=E_1E_2 d/2c(E_2-E_1)$

実験の結果はよく一致するし，また新郷，田中両博士の近似式にも同様なものがあり，また筆者の近似解とも一致する。

さてこの式は光軸が水平軸を通るものとして求めたものであるが，通らずに偏倚していても，遠点でのよみの差がなくなる理由を考えてみよう。

拙文[4] の (5) 式は

$$\delta_2=\frac{d-2e_2\left(1-\dfrac{E_2}{E_1}\right)}{\dfrac{2(E_2-E_1)(f_1+f_2-2f+c)}{E_1[E_2-(f_1+f_2-2f+c)]}}$$

ここで近似的に $f_1+f_2-2f\fallingdotseq 0$，また E_2 に対して $f_1+f_2-2f+c\fallingdotseq 0$ とすれば上式は

$$\delta_2\fallingdotseq E_1E_2\left[d-2e_2\left(1-\frac{E_2}{E_1}\right)\right]\Big/2c(E_2-E_1)$$

関式では $E_1E_2 d/2c(E_2-E_1)$ だけ調整するのであるから，視線は副軸に一致せず，その不足量を δ_2' とすれば，

$$\delta_2'\fallingdotseq\delta_2-E_1E_2d/2c(E_2-E_1)$$
$$=e_2E_1E_2\left(\frac{E_2}{E_1}-1\right)\Big/c(E_2-E_1)$$

だけ副軸に傾いているわけである。

従つて第2回目の操作において d_2 を得たとすればこの際の調整量 δ_2' は

$$\delta_2'\fallingdotseq E_1E_2\left[d_2-2e_2\left(1-\frac{E_2}{E_1}\right)\right]\Big/2c(E_2-E_1)$$

であつて，この量は第1回における残量 δ_2' に等しいはずであるから，

$$\delta_2'\fallingdotseq E_1E_2\left[d_2-2e_2\left(1-\frac{E_2}{E_1}\right)\right]\Big/2c(E_2-E_1)$$
$$=e_2E_1E_2\left(\frac{E_2}{E_1}-1\right)\Big/c(E_2-E_1)$$

これより $E_1E_2d_2/2c(E_2-E_1)=0$ $\therefore\ d_2=0$

よつて水平軸に対して副軸が偏倚している場合でも関式を用いて $d_2=0$ になる理由は明らかとなつたわけで，実際関氏法で満足するのは，必ずしも副軸が水平軸を通つている場合を意味するだけでなく，通つていない場合の器械であつても $d_2=0$ となつてくるが，両者の時における，水平軸，副軸，水平叉線の相互位置は，両者が水平軸を通る副軸上に水平叉線のあるに反し，後者は拙文[4] 中図—4 によつて示されるごとく，水平叉線の位置は，水平軸と副軸とのほぼ中間に位置することであつて，もしもかかる場合に，副軸上に水平叉線をあらしめたとすれば，$d_2\neq 0$ で d_2 がある値を示した時であるし，またこのことは常識的にも首肯しうるところであろう。ただし第1回の d に対する調整で必ずしも $d_2=0$ とならないのは，観測の不充分や式が近似的であるためと考えたい。

（ヘ）新郷博士完全整正法中第3法で，器械の操作は前2者と同様であるが，調整量 x は，遠点での正反両位でのよみの差を d_1 とすれば，第1回には $x=10d_1$ だけ行い，2回目によみの差 d_2 を得たとすれば，第2回以後の x は

$$x=10\,d_i\Big/\left(1-\frac{d_2}{d_1}\right)\qquad i=2,\cdots\cdots\cdots\cdots$$

とするよい方法である。この際 $d_i=0$ になれば満足したことになるが，筆者の考え方から云えば（ホ）の場合と同様な意味を有する。

この方法では第1回に $x=10\,d_1$ だけ調整するが，関氏法のように1回の調整で満足することは少なく，たいてい調整超過か不足であつて，筆者の実験では2回で満足した。

（ト）[4] 筆者の近似式であつて，操作は前3者と同様であり，関式の変形にすぎない。調整量を x とする時

$$x=f_1d/2\xi\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

さて上式には次の仮定が入つていることに注意すべきである。すなわち拙文[3] 中 (3) 式を書いてみると

$$\delta_2=\frac{d-2e_2\left(1-\dfrac{E_2}{E_1}\right)}{2\left[1-\dfrac{f_2}{f_1}\cdot\dfrac{(E_1+\varepsilon-f_1)}{(E_2+\varepsilon-f_2)}\cdot\dfrac{E_2}{E_1}\right]}\cdots\ (2)$$

式中 $e_2\fallingdotseq 0$，$E_2+\varepsilon-f_2\fallingdotseq E_2$ 及び $E_1+\varepsilon-f_1\fallingdotseq E_1$ のときに上記近似式になるのであるが，問題は最後の $E_1+\varepsilon-f_1\fallingdotseq E_1$ である。

さてレンズの公式より

$$\frac{1}{E_1-f_1+\varepsilon}+\frac{1}{f_1}=\frac{1}{f}\quad\therefore\ E_1=\frac{f_1^2}{f_1-f}-\varepsilon$$

同様に $$E_2=\frac{f_2^2}{f_2-f}-\varepsilon$$

これの関係を (2) 式分母の一部に代入して整理すると

$$\frac{E_1+\varepsilon-f_1}{E_2+\varepsilon-f_2}\cdot\frac{E_2}{E_1}=\frac{(f_2-\varepsilon)+\dfrac{f}{f_2}\varepsilon}{(f_1-\varepsilon)+\dfrac{f}{f_1}\varepsilon}$$

式中 $f/f_2 \fallingdotseq 1$ $f/f_1 \fallingdotseq 1$ とすれば

$$\frac{E_1+\varepsilon-f_1}{E_2+\varepsilon-f_2}\quad \frac{E_2}{E_1}\fallingdotseq\frac{f_2}{f_1}\fallingdotseq\frac{f}{f_1}\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

よつて (2) 式は

$$\delta_2\fallingdotseq\frac{d-2e_2\left(1-\dfrac{E_2}{E_1}\right)}{2\left(1-\dfrac{f^2}{f_1^2}\right)}$$

いま $e_2=0$ とすれば

$$\delta_2\fallingdotseq d/2\left(1-\frac{f^2}{f_1^2}\right)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

また $$\delta_2\fallingdotseq\frac{d}{2\left(1-\dfrac{f^2}{f^2+2\xi f+\xi^2}\right)}\fallingdotseq\frac{(f_1+\xi)}{4\xi}d\cdots\cdots(5)$$

(4) 式では実験の結果，調整不足のものが多いことがわかつた（土木学会誌第 38 巻第2号北大北郷氏討議回答参照)。

かくて関氏測量学[3]) p. 89 (12) 式に相当するものが本文 (1) 式であり，同 p. 90 (13) 式に相当するものが本文 (4)，(5) 式であつて，拙文[4]) 中 (6) 式が，ちようど上記関氏 (12) 式に一致することからうなづけるものである。

(4) または (5) 式を用いたときに，偏倚量 e_2 があつても，$d_2=0$ になしうる理由は，関氏法のときに述べたと同様に証明することができる。

なお (1)，(5) 両式ともに対物鏡の移動量 ξ が導入されているが，d の係数には有効桁数2桁が最少望ましいから，理想では ξ が2桁になるような近点を選ぶ方がよい。

これらの式は対物鏡の焦点距離 f 並びにその移動量 ξ が判明すれば，他は不要で調整の行えるものである。f は近似的に次の関係がある。すなわち

$c\fallingdotseq 2f-\varepsilon$

ただし c：スタジア加定数

ε：器械中心から叉線までの距離

またレンズの厚さの中心から叉線までの距離を実測してもよく，既知ならばなお都合がよい。

(チ)[2]) 田中吉郎博士発表のもので，器械の操作も変わらず関式及び新郷第2法の式と一致する。

氏の説によれば，対物鏡の光心の動く直線に一致する副軸が水平軸より偏倚していても，横叉線を動かすことによつて，視線を水平軸に一致せしめると云われる。

(リ) 近点遠点で行う調整法であるところの，関，新郷，田中各博士式，あるいは筆者の式等を通観して，共通の点のあることがわかる。すなわち調整量 x と，遠点での正反両位でのよみの差 d との関係が，定まつた器械で，近遠点の距離が一定ならば，次の式に従うことである。

$x=Kd$

故に x とそれに対応する d を測定すれば，K は求めることができる。いま最初 d_1 を得て $10d_1$ だけ（これは一応探りを入れた値と考えてよく，必ずしも 10 に限つたことはない。ただ普通の器械で，普通の距離の近遠点に対しては，真の K の値に大体近いことは事実であるが，たいていの場合調整不足や超過をきたすことも事実である。すなわち最初の d の符号と次の d の符号が同じ時は不足であるし，反対ならば超過となる）修正し，第2回目に d_2 を得たとすれば，$10d_1$ が上式での x に，また d_1-d_2 が d に相当するわけで，

$10d_1=K(d_1-d_2)$ ただし d の符号に注意

$$\therefore\quad K=\frac{10d_1}{d_1-d_2}=10\Big/\left(1-\frac{d_2}{d_1}\right)$$

$$\therefore\quad x=10d_i\Big/\left(1-\frac{d_2}{d_1}\right)\quad(i=2,\cdots\cdots\cdots)$$

これが新郷氏完全整正法中第3法である。

新郷氏第3法では $10d_1$ だけ調整することにより K を求めていられる。この場合叉線を動かさずに K を求め，しかもその精度のよい方法はないものだろうか，この目的にかなうものとして，筆者はスタジア線を利用する方法を考え，これを新郷応用法と名づけることにした。次にその方法を述べることにする。

まず正反両位で各水平線（視距線，水平叉線）3本に対しそれぞれ近遠点での観測を行い，遠点でのよみの差を上部視距線では d_1，水平叉線では d_2，下部視距線では d_3 を得たとする。同時に遠点での夾長 (Rod intercept) x_{13} も求めておく。

$x_{13}=K(d_1-d_3)$ $\quad\therefore\quad K=x_{13}/(d_1-d_3)$

従つて求めんとする水平叉線のよみの差 d_2 に対する調整量 x は

$$x=\frac{x_{13}}{d_1-d_3}\cdot d_2$$

新郷氏式では最初の $10d_1$ がこの場合の x_{13} に相当するが，一般に $10d_1$ より x_{13} で求めた K の方が精度の良好なことがわかる。かく考えると完全整正法第3法の解釈が非常に常識的となり，誰でも簡単に理解できる。

(ヌ)[4]) 筆者の方法では現場向ではない。焦点距離の大きいコリメーターを用いねばならないが，これによつて水平軸，水平叉線，副軸の相対的位置が判明するから，工場あるいは実験室において，使用中の器械の再検査や，特にいちじるしい損傷を受けたと思われる器械に適用しうるのではないかと思つている。

3. 結　論

以上の結果，遠点のみで行う方法は感心しないこと

が判明したので，適当と思われるのは近遠点で行うところの関，新郷，筆者，新郷応用各法であろうが，これらの優劣を定めるのはむつかしいので，筆者は現場で行う場合に能率的にいづれがよかろうかと，目下実験を行つているので結果を報告する機会があろうかと思つている。

参考文献

1) 田中吉郎：転鏡儀横叉線整正の問題に就て 九州帝国大学工学彙報第 8 巻第 3 号 p. 107～108 昭.8.

2) 新郷高一：トランシット並にワイレベルの叉線の完全整正法 第 3 回工学大会講演集（土木関係）p. 386 昭.11.

3) 関 信雄：測量学 p.87～90 昭.25.

4) 拙文：トランシットの外焦式望遠鏡における水平叉線の調整について 土木学会誌第 37 巻第 7 号 昭.27.

（昭 28. 3. 16）

鋼鉄道橋の実測応力について

准員 大 村 裕*

ON THE MEASURED STRESSES OF STEEL RAILWAY BRIDGES

(JSCE Aug. 1953)

Hiroshi Ōmura, C.E. Assoc. Member

Synopsis Continued from the last report on the stresses of steel highway plate girder bridges, experimental study was carried out on the stresses of steel railway bridges. Especially we made researches on the stresses of floor system, the secondary stresses of a truss and the cooperation between lower chord member and stringer.

要旨 さきに報告した鋼道路橋プレートガーダーの実験応力解析学的研究に引き続いて，鋼鉄道橋に関する実測結果を述べ，特に従来実測資料の少ない下路プレートガーダーの床組構造の応力および下路トラスの 2 次応力，下弦材と縦桁との協力作用などについて若干の考察を行つたものである。

1. はしがき

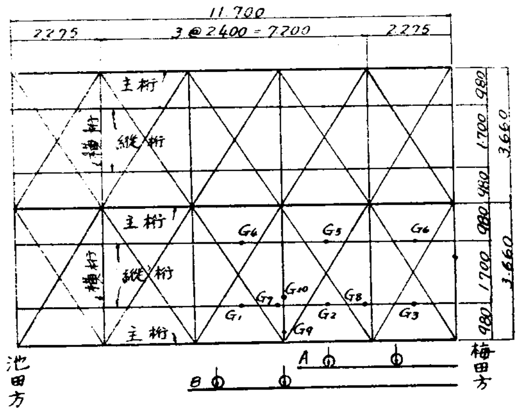
著者はさきに橋梁の実験応力解析学的研究の一部として，鋼道路橋プレートガーダーの実測応力について報告したが，ここでは引き続いて行つた鋼鉄道橋に関する実測結果について報告したいと思う。わが国では鉄道橋の実測に関する資料が鉄道技術研究所より報告されているが，本研究では主として従来あまり測定されなかつた下路プレートガーダーの床組構造の応力および，下路トラスの 2 次応力，下弦材と縦桁との協力作用などの研究を目的として測定を行い，これに対して若干の解析を行つた。

わが国では従来の慣用計算法によつて設計製作された橋梁については，撓み測定を行つて，その結果，剛度が充分であれば，応力については安全であるとして，あまり応力状態について考慮されなかつたようである。しかしながら周到な応力測定を行つて実際の応力状態を知り，これについてできるだけ理論的解析を行い，その結果従来の計算法の正しいものはこれを再確認するとともに，改めるべきものは改めて，断面の減少，材料の節約をはかるべきであると思う。

この点において著者は道路橋，鉄道橋の二，三について実験応力解析学的研究を行い，若干の結果を得たのであるが，今後もさらに詳細な実験および解析的研究を行つて，橋梁構造の合理的設計に寄与したいと考えている。

歪測定は電気抵抗線歪計によつた。使用した歪指示器は SR-4 Strain Indicator & Balancing Unit (12 channels) である。実験の対象としたのは京阪神急行電鉄宝塚線の螢ケ池 3 主桁複線下路プレートガーダー架道橋および同線牛立プラット型複線下路トラス

図―1 下路プレートガーダー概要図



* 京都大学助手，工学部土木工学教室