

論 説 告 発

第 23 卷 第 12 號 昭和 11 年 12 月

トランシット並にワイ レベルの叉線の完全整正法

会員 新 郷 高 一*

Integral Adjustment of the Cross-Hairs in a Transit and a Wye Level⁽¹⁾

By Takaiti Singô, C. E., Member.

要 目

従来のトランシットの横叉線整正法並にトランシット及ワイ レベルの objective slide adjustment の整正量公式は何れも 100% 前後の莫大な誤差があつた。故に製作者は或る者は完全に誤れる整正をなし、然らざる者は整正不可能の理由に依り、整正を等閑視してゐた。測量技師並に講師は之を充分に認識し、又は正しい整正量を算定する餘力がなかつた。本文は之等を幾何光学的に研究し完全な實用的正解を得たものである。

計算には極微小量迄考慮し、精密器械の工作關係の知識をも熟知する必要があつた。此の故に、所謂 instrumental constant "C" は通例の如く常数と假定せず、幾何光学上の正しい値（一定変数）とした。何となれば 120% を超ゆる誤差は之を常数とし、その変量を無視したことに起因するからである。

目 次

	頁
緒 論	1
第 1 章 對物レンズの光学的關係	4
第 2 章 トランシットの横叉線の完全整正法	6
第 3 章 トランシットの綫叉線の完全整正法	11
第 4 章 ワイ レベルの横叉線の完全整正法	25
第 5 章 叉線の完全整正の附隨問題	28
緒 論	30

緒 論

私共土木技術者並に測量学講師はトランシット及ワイ レベルの品質並に精度を過信してはならぬ、器械は構造及仕上げに或る限度の缺點があるため、最初より多少の狂ひがある。又永年使用中状況の変化、過失等のために著しい狂ひを生じ、測定値の精度は著しく低下するのが常である。

1931 年及 1934 年に公にした拙著⁽²⁾ 論文⁽³⁾は此の見地より、従来根本的に誤つてゐたトランシットの横叉線の整正量の正解及新整正法を明かにしたものである。

元來トランシットの横叉線の從來の整正量の誤りは既に 1925 年に發見し、1927 年には正解を得、以後著者の在職せる大学で講義してゐた。

* 工学士 北海道帝國大学助教授

(1) 原著「"Ditto," the Memoir of the Faculty of Engineering, the Hokkaido Imperial University, Vol. III, No. 8」の抜萃（第 3 回工学会大會に於て講演）

(2) 文獻 (1) 及 (2) 後記

拙著第1論文の上梓に先立ち、1931年6月九大の君島八郎先生並に東大の恩師關信雄先生に御知らせし、豫め御了解を得おいたのである。關先生は直ちに御著“測量学”の84~88頁に著者の正解式を御掲載下された。御著は正しいトランシットの横叉線整正法を記した世界最初の而も現在に於て唯一の良書である。

斯くて、1931年拙著論文の発表と共に、トランシットの横叉線の完全整正法は、日本の各大学で講義せらるゝに至つた。

然るにその後、トランシットの縦叉線の完全整正法(objective slide adjustment)が、幾何光学上頗る疑はれるに至つたので、学術振興會の援助に依り1934年より1935年迄、光学理論上より、又實驗的に研究に從事し、遂に從來内外の一流の著書に於て採用せられてゐる objective slide adjustment の整正量が 120% 以上の大誤差があることが發見せらるゝに至つた。かくて、嚴正なる理論に依り正整正量を算定し、實用完全整正法を考案することに成功した。

從來のワイ レベルの横叉線の完全整正法(objective slide adjustment)の整正量も 76% 以上の大誤差があつた。ワイ レベルの横叉線の完全整正法の原理は、ワイ レベルの望遠鏡の構造が、トランシットのそれと全く同一であるため、トランシットの縦叉線の完全整正法の原理と全く同一である。從て後者の完全整正法は直ちに前者に應用し得られる。トランシットの縦叉線の 1/4 法に依る整正後に殘留する誤差に基づく測角誤差は、望遠鏡を正逆兩位として測定する煩を厭はなければ除去出来るが、ワイ レベルの横叉線の 1/2 整正後に殘留する誤差に基づく測高の誤差は検出も除去も全然不可能である。然し本研究の方法に依れば、之等の煩鎖も誤差も完全に除去することが出来る。

本文は学術振興會への報告書の内容に、その後完成した研究結果を総合したものである。

原文は5章75項に亘つてゐるので、要點だけを簡潔に記述すれば、第1章は測量器械用各方式の望遠鏡の對物レンズに於ける光学的關係を明かにした。第2章ではトランシットの横叉線の完全整正法の解法を一般化し、簡便な試法をも考案した。現在迄に横叉線の偏倚量は使用中のトランシットで 3°、新に買入れたガーリーの器械でも 45'' あつた。終りに從來の諸整正法の誤謬を明にしておいた。第3章ではトランシットの縦叉線の完全整正法を理論的に實驗的に證明した。又、水平測角に影響を及ぼす光学的誤差を見出し、器械の品質の等級を示し、所謂視線の縦横両軸條件を明にして從來の誤見を是正し、更に從來の諸整正法の誤謬を明かにした。

此の完全整正法は從來根本的に誤られてゐた所謂 objective slide adjustment に外ならない。但し從來製作所に一任してゐて、土木技術者は知る者もなく、僅に著書に明かにせられてゐたのであるが、ガーリー社の説の如く、現場に於ても土木技術者に依り、器械の取扱ひに過失があつた時、永年使用し來つた時等は完全整正法に依つて検査整正しなければならないことが本研究により明かとなつた。

13臺のトランシットの中で光軸の最大偏倚角 $i = -1^{\circ}23'$ 及光軸の最大偏心量 $e = +7.3 \text{ mm}$ が見出された。又最大測角誤差は距離 2 m で 63'', 7 m で 16'', 11 m で 10'', 21 m で 5'' であつた。

現場に於て通常の 1/4 法では整正が完了されない器械があることを屢々耳にするのであるが、此の中には完全整正法に依つて整正し得られるものがある。

之等の誤差の主因は對物レンズの centering の誤り、standard の歪曲、從來の objective slide adjustment の根本的誤謬等である。

第4章にはワイ レベルの完全整正法即ち從來の所謂 objective slide adjustment の訂正せられたものゝ研究を述べた。此の方法は望遠鏡の構造が同じであるからトランシットの完全整正法と全く同一である。23臺のワイ

レベルに就き実験の結果、距離 3 m で $84''$, 5 m で $18''$, 10 m で $10''$ の最大高低誤差が見出された。又光軸の最大偏心量 $e = -1.4 \text{ mm}$, 最大偏倚角 $i = +16'$ が見出された。

然し完全整正法に依り、之等誤差の影響を完全に消去することが出来た。第 5 章には完全整正に關係ある種々の從屬的問題を解明した。

扱て本文は 75 項にも上つたが、實用上は單にトランシットの横又線の完全整正に對しては 5, 9, 又は 13 を、トランシットの縦又線の完全整正に對しては 39, 41, 又は 42 を、若し又ワイ レベルの横又線の完全整正に對しては 65 及 39, 40 又は 42 を御参照下さい。

【記號及定義】

- a: 近點 A に於ける物指又は函尺の読み
- b: 明視遠點又は B 點に於ける函尺の読み
- C: 器械の定数
- $C_p = \overline{OF} = C + \Delta C_p$: p を視準した時、望遠鏡の回転中心より對物レンズの前側焦點までの距離、無限遠點を視準した場合は $\Delta C_p = 0$.
- ε: 又線の整正量
- d: 對物レンズを構成する 1 つのレンズ系の後側主面より他の 1 つのレンズ系の前側主面迄の距離
- δ: 視點の光軸よりの偏倚量
- δ: 望遠鏡の回転中心より對物レンズの前側主面迄の距離
- Δ: 變化量
- e: 器械の縦軸又は横軸よりの對物レンズの光軸の偏心量
- e_0 : 完全整正法に依り整正された時の e
- e_g : オブゼクチブ スライドの前側受け G 點に於けるトランシットの子午面又はワイ レベルの視準水平面よりの對物レンズの光軸の偏倚量
- e_{gr} : オブゼクチブ スライドの後側受け Gr 點に於けるトランシットの子午面又はワイ レベルの視準水平面よりの對物レンズの光軸の偏倚量
- (e): 對物レンズの前側主點の ξ - η 平面に於ける偏倚量、 $(e) = \xi_H = [e] \cos \theta$
- [e]: 對物レンズの前側主點の ξ - η 平面内に於ける偏倚量の絶対値
- ($E_p \varphi_p$): ξ 軸上に投影せられた p 視點の偏倚量即ち ξ_p
- ε: 平均差
- ε: 視點軌跡の偏倚量
- f, f_1 及 f_2 : 對物レンズの焦點距離及對物レンズを合成する 2 つのレンズ系の夫々の焦點距離
- F 及 F': 對物レンズの前側及後側焦點
- g: ラムスデン及ハイゲン式望遠鏡に於て、望遠鏡の回転中心よりオブゼクチブ スライドの前側受け迄の距離
- G 及 G_r : オブゼクチブ スライドの前側及後側受け
- H 及 H' : 對物レンズの前側及後側主點
- H_0 : 對物レンズの理想の前側主點
- i: トランシットの子午面若くはワイ レベルの視準水平面に對する對物レンズの光軸の傾斜角
- i_0 : 完全整正法により整正された時の i
- (i): 光軸を含み ξ - η 平面に直角なる平面上に投影された對物レンズの光軸の理想の光軸に對する傾斜角 $(i) = [i] \cos(\theta + \psi)$
- [i]: 對物レンズの光軸の理想の光軸に對する絶対傾斜角
- I: 函尺又は物指の第 1 及第 2 讀の中點
- $k = \overline{MK}$: 對物レンズの光軸よりの又線の偏倚量
- K: 又線の交點
- L_1, L_2 : 第 1 及第 2 レンズ
- m: 又線の交點の望遠鏡の回転中心よりの距離
- \overline{MT} : 對物レンズの光軸
- O: 望遠鏡の回転の中心
- \overline{OC} : 器械の縦軸
- \overline{OT} : 光軸の正位置、即ち $i_A = 0 = i_B, e_A = 0 = e_B$ の時の位置
- p: 點 p 若くは點 P の函尺又は物指の読み
- p: p 點の對物レンズによる像點
- φ: トランシットの子午面又はワイ レベルの視準水平面よりの視點の偏倚角
- ψ: $H_0 H$ 及び $H'P$ 間の角距離
- r: B 遠點の函尺の第 1 及第 2 の讀差
- s: A 近點の物指の第 1 及第 2 の讀差
- t: トランシット縦又線を通常の 1/4 法、若くはワイ レベルの横又線を通常の 1/2 法に依り整正

- したる場合、任意の他の視準點の子午面又は視準水平面よりの偏倚量の 2 倍
- τ : 對物レンズを合成する第 1 レンズ系の光心の望遠鏡の回転中心よりの距離
- θ : H_0H 線の ξ 軸に關する方向角
- u : トランシットの横又線の完全整正法に依り又線を整正したる場合任意の視準點の子午面又は正位面よりの偏倚量の 2 倍
- V : 對物レンズの光軸と視準點軌跡上の遠近 2 視點を連ねる直線との交點
- \hat{V} : V に於ける光軸と直線の交角
- x : V 點の望遠鏡の回転中心よりの距離
- x 及 y : O を原點としてトランシットの子午面又は視準水平面を横軸とする直交座標
- $X-X$: 望遠鏡の回転水平軸
- ξ 及 η : 對物レンズの理想上の主點を原點とし、理想上の光軸に直交する 2 つの水平、垂直の直交座標軸に關する座標
- z : 又線の交點のトランシットの子午面、又はワイレベルの視準水平面よりの偏倚量
- ξ : オブゼクタブ スライドの前後兩受け間の距離
- 側字 A, B, D, J, p, P, N, 又は ∞ は夫々各關係視點を示す
- 側字 H は横又線に關するものなるを示す
- 側字 O は $e_A = e_B = 0$, $i_A = i_B$ 及 $k_A = k_B$ なることを示す
- 側字 V は V 點又は縦又線に關するものなることを示す
- 側字 1 及 2 は望遠鏡の正及逆位の視準、若くは對物レンズの 2 の合成レンズ系を示す
- 側字 1, 2, 3, ……は視準の順序を示す
- 文獻 (1), (2), (3), ……は最後に掲げたる文獻を示す
- 視準水平面とは望遠鏡の回転中心を通過し、器械の縦軸に直交する水平面を指す
- 子午面とは望遠鏡の回転中心を通過し、望遠鏡の回転横軸に直交する鉛直平面を指す
- ワイレベルの又線の整正に於て $1/2$ 法又は $1/2$ 整正とは現在一般に行はれてゐる $1/2$ 整正法を指す
- トランシットの縦又線の整正に於て $1/4$ 法又は $1/4$ 整正とは現在一般に行はれてゐる $1/4$ 整正法を指す
- 正視準直線又は平面とは $i=0, e=0, k=0$ 即ち $\varphi=0, t=0$ なる場合の視準直線又は平面を指す、之等は常にトランシットの子午面、又はワイ レベルの視準水平面に一致する。

第 1 章 對物レンズの光学的關係

1. 對物レンズの光学的主關係

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2} = \frac{f_1 + f_2 - d}{f_1 f_2} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$d = f_1 + f_2 - \frac{f_1 f_2}{f} \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$d - d_\infty = -\frac{f_\infty - f}{f_\infty f} f_1 f_2, \quad \frac{f_\infty - f}{f_\infty f} = \frac{d_\infty - d}{f_1 f_2} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$h = \frac{f_1 d}{f_1 + f_2 - d} = \frac{f}{f_2} d \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$h' = \frac{f_2 d}{f_1 + f_2 - d} = \frac{f}{f_1} d \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$f - h = \frac{f_1 (f_2 - d)}{f_1 + f_2 - d} = f_1 - \frac{f_1}{f_2} f \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$C_p = \delta_p + f \quad \dots \dots \dots (7)$$

$$\tau = h + \delta_p + m = d - \frac{f}{f_1} d + f + \frac{f^2}{E_p - C_p} \quad \dots \dots \dots (8)$$

2. ラムステン式及ハイゲン式望遠鏡 吾々が通常使用してゐるもののは殆ど之である。図-1, 図-2 及図-3 より

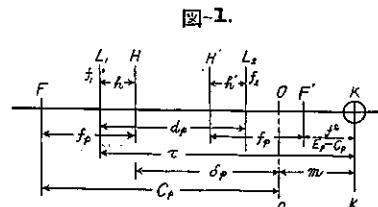


図-2. ラムスデン式望遠鏡

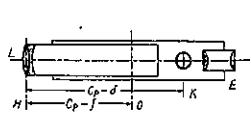
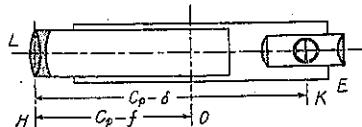


図-3. ハイゲン式望遠鏡



d : 微小, f : 定數 (9)

より C_p に就ての二次方程式を解いて

$$C_p = C + \frac{f^2}{E_p - C_p} = C + \frac{f^2}{E_p - C} \left\{ 1 + \left(\frac{f}{E_p - C} \right)^2 + 2 \left(\frac{f}{E_p - C} \right)^4 + \dots \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (12)$$

を得る。

3. 桑口一式望遠鏡

4. ウィルトツァイス式望遠鏡 ドイツのツァイス社、スイスのウ

ィルト社の製品及之を模倣製作した本邦の測機舎のフジ・トランシット及ホーコー・レベル等には、ウィルト・アイス式望遠鏡を採用してゐる(図-4 参照)。然し後 3 者の叉線のみが adjustable である。此の式では

の関係が成立する。図-1. を参照して (6) 式より

之と(1)式より

故に(1)式より

$$f_2 = \frac{\frac{C-(h+\delta)}{C-(h+\delta)-f_1} f_1 - d_\infty}{\frac{f_1^2}{C-(h+\delta)-f_1} + d_2 - d_\infty} \quad \dots \dots \dots \quad (17)$$

故江

然るに (13) 式より

故に (15), (18) 式及 (19) 式に依り

$$C_p = C \left\{ 1 - \frac{\frac{1}{f_1^2} \frac{C-(h+\delta)-f_1}{C}}{\frac{\{C-(h+\delta)-f_1\}(d_p-d_\infty)}{9} + 1} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (20)$$

表-1.

Telescope	$\frac{f_1}{C}$	$\frac{h+\delta}{C}$	$\frac{C-(h+\delta)-f_1}{C}$	$\frac{C-(h+\delta)-f_1}{f_1^2} C$	$\left\{ \frac{C-(h+\delta)-f_1}{f_1} \right\}^2$
a Wild-Zeiss	0.523	0.289	0.188	0.687	0.129
" Fuji " transit, small	0.505	0.325	0.170	0.667	0.113
" Fuji " transit, large	0.485	0.352	0.164	0.697	0.114
Mean	0.504	0.322	0.174	0.684	0.119

然るに (20) 式の括弧内の第 2 項は表-1 に示せる様に各社製品共略々一定値故 (20) 式は高精度近似式

$$C_p = C - \frac{d_p - d_\infty}{9} \quad \dots \dots \dots \quad (21)$$

に導き得る。又表-1 を参照して (18) 式より

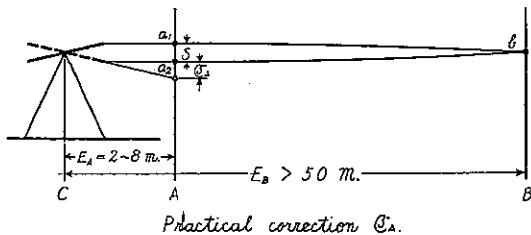
$$\frac{f_\infty - f_p}{f_\infty} = \frac{2}{3} \frac{d_p - d_\infty}{C} \quad \dots \dots \dots \quad (22)$$

第 2 章 トランシットの横叉線の完全整正法

第 1 節 第 1 法

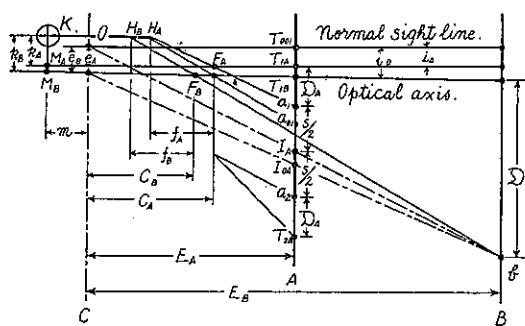
5. 概説 本法の原理は遠近 2 視準點を重ねる直線をして望遠鏡の回軸の中心を通過させると、他の視準點は自ら此の直線上に來ると云ふ考へである。その方法は先づ 30m 以上の距離の 1 點 b 及 10C 又は 20C の距離の近點 A を 1 視準線内に選定する(図-5 及 図-6 参照)。A に 1 mm 讀みの物指を鉛直に固定した後、先づ

図-5.

Practical correction C_p .

E_A	Ramdon and Hug geonian Telescopes	Porro's telescope.	The Telescopes of the Wild-Zeiss type
$E_A = \frac{C}{2}$	$(\frac{E_A}{f})^2 \cdot \frac{s}{2}$	$\frac{f}{C} - \frac{C}{2} \cdot \frac{s}{2}$	$20.5 \text{ for a Wild-Zeiss}$ $10.5 \text{ for a Sankin's}$
10C	55		

図-6.



望遠鏡正位で b を視準する。望遠鏡をその位置に固定したまゝ焦點を A の物指に合せ、読み a_1 をとる。次に同じ操作を望遠鏡逆立にして行ひ、 a_2 の読みを得たとする。 $s = a_2 - a_1$ を求め、望遠鏡の型式に応じ (13) 又は (14) 式の何れかに依り得られた訂正量だけを a_2 の位置より a_1 と反対の方向へ横叉線を整正し、 $a_2 - a_1 = s = 0$ になるまで此の操作を繰返す(表-2 の整正例参照)。以下整正量の算出法を説明する。

図-6 に於て

$$\overline{T_{001}a_1} = \overline{T_{001}T_{1A}} + \overline{T_{1AA}a_1}, \quad \angle T_{001}Oa_1 = \varphi_A, \quad \overline{T_{001}a_1} = E_A \varphi_A$$

$$\overline{T_{001}T_{1A}} = e_A + E_A \delta_A, \quad \overline{T_{1A}a_1} = \overline{T_{1A}F_A} \frac{k_A}{f_A} = (E_A - C_A) \frac{k_A}{f_A},$$

$$\angle T_{001}Ob = \Phi_B, \quad \overline{T_{001}b} = E_B \Phi_B.$$

故人

$$\left. \begin{aligned} E_A \varphi_A &= e_A + E_B i_A + (E_A - C_A) \frac{k}{f_A}, & e_A &= e_{g_1 A} - g i_A \\ E_B \varphi_B &= e_B + E_B i_A + (E_B - C_B) \frac{k}{f_B}, & e_B &= e_{g_2 B} - g i_B \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (231)$$

故人

$$k_A - k_B = \frac{E_A(\varphi_A - i_A) - e_A}{E_A - C_A} f_A - \frac{E_B(\varphi_B - i_B) - e_B}{E_B - C_B} f_B \quad \dots \dots \dots \quad (23)$$

故に (23), (24) 及 (25) 式に依り

$$\varphi_A = \frac{\frac{E_B f_B}{E_B - C_B} \frac{s}{2E_A} + \frac{C_A i_A + c_A}{E_A - C_A} f_A - \frac{C_B i_B + c_B}{E_B - C_B} f_B - (c_B - c_A) - (f_B - m)i_B + (f_A - m)i_A}{\frac{E_A f_A}{E_A - C_A} - \frac{E_B f_B}{E_B - C_B}} \quad \dots \dots (26)$$

然るに図-6 より

故に(26)及(27)式より、光軸より視點Aの偏倚量

$$\mathfrak{D}_A = \frac{\frac{E_B E_A (E_A - C_A)}{E_B C_A - E_A C_B - (E_B - C_B) E_A} \frac{f_B - f_A}{f_B}}{\left\{ \frac{s}{2E_A} - (i_B - i_A) - \left(\frac{e_B}{E_B} - \frac{e_A}{E_A} \right) \right.} \\ \left. - \frac{e_B - e_A - m(i_B - i_A)}{f} \frac{E_B - C_B}{E_B} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (28)$$

を得る。

より、整正可能条件

が満足せられなければ視點の偏倚は不規則で、1組の點に於ける整正は他の點では成立しないことが解る。故に器械は工作上の一定規格に合格しなければならない。又使用に依り餘りに損傷してゐてはならぬ。此の理に依り、製作所は各自自己の定めた規格を採用してゐる。但し、之は他へは一切發表しない。

扱て、整正は単に $s=0$ とするだけで足りる。故に一般整正量は (28) 式より

$$\mathfrak{E}_A = \frac{E_B(E_A - C_A)}{E_B C_A - E_A C_B - (E_B - C_B) E_A} \frac{f_B - f_A}{f_B} \frac{s}{2} \quad \dots \dots \dots \quad (30)$$

となる。

表-2.

整正法	第1法	第1法	第2法	第2法	第3法	第3法	第3法
トランシット番号	23	29	7	29	23	23	43
大きさ (in)	5	フジ大型 ウイルト ツアイス	4	フジ大型 ウイルト ツアイス	5	5	フジ小型 ウイルト ツアイス
超遠鏡型式	ラムスデン	ラムスデン	ラムスデン	ラムスデン	ラムスデン	ラムスデン	ラムスデン
製作國	米國	日本	日本	日本	米國	米國	日本
使用年	0	0	6	0	0.2	0.2	0
C , (m)	0.347	0.34	0.276	0.34	0.347	0.347	0.28
E_B , (%)	80.000	138.30	55.00	138.30	138.30	138.30	138.30
E_A , (%)	3.817	3.40	2.76	3.40	4.00	4.00	2.80
整正量	+5s	+7.65s	-5r	-8.5r	+7.10s	-5.59r	+8.75s
第1整正							
r又はs, (mm)	+0.3	+0.56	-5	-13.5	-0.71	+23.2	+0.14
\mathfrak{C} , (mm)	+1.5	+4.27	+25	+114.5	-7.14	-231.7	+1.40
第2整正							
r又はs, (mm)	0.0	-0.11	0	-6.2	+0.29	-18.3	-0.02
\mathfrak{C} , (mm)		-0.83		+52.5	+2.02	+102.1	-0.18
第3整正							
r又はs, (mm)		0.00		0.0	0.00	0.0	0.00

6. ラムスデン式及ハイゲン式望遠鏡 (9) 及 (12) 式に依り (30) 式の分母内で

ならしむる時は(30)式より、誤差5%以下の良好なる實用整正量公式

を得る。

7. ポロ一式望遠鏡

8. ウィルトツァイス式望遠鏡 (21), (22) 及 (31) 式に依り (30) 式より實用整正量公式

を得る。實用上には、一定の E_A に対する $d_A - d_\infty$ を實測し、豫め \mathfrak{E}_A を算出して C と共に容器の蓋の裏に記入しておけば宜敷い。

例-1. 測機舎製小型フジ トランシット

$$E_A = 10 \text{ } C = 2.8 \text{ m}, \quad d_A = d_\infty = 20.5 \text{ mm}$$

厳密なる計算の結果 (35) 式の誤差は 0.8% である。

例-2. 測機専用大型フジトランシット

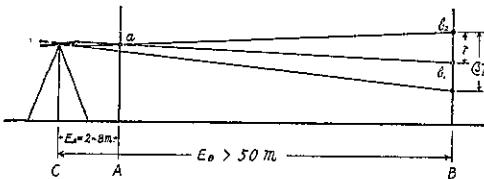
$$E_A = 10 \text{ C} = 3.4 \text{ m}, \quad d_A - d_\infty = 21.0 \text{ mm}$$

厳密なる計算の結果 (36) 式は 5.5% の誤差がある。

第2節 第2法

9. 極説 本法は第1法の逆法である(図-7及図-8参照)。

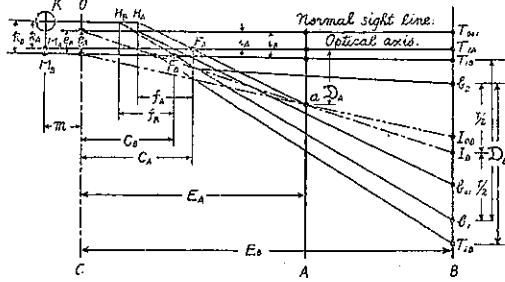
图-7.



Practical correction Co

E_A	Ramdon and Huygenian telescopes.	Perrin's telescope.	The Telescopes of the Wild-Zeiss type.
F_A	$\frac{E_A}{C \cdot Z}$	$(\frac{E_A}{Z})^{\frac{1}{2}}$	$C - \frac{E_A}{Z} = \frac{F_A}{Z}$
10C	57	267 for a Wild-Zeiss 107 for a Simms	

图-8



先づ $10C$ 又は $20C$ の距離の近點 A の函尺を、望遠鏡正位で読み a を得たとする。次に望遠鏡を a を視準した位置に固定したまゝ、同じ視準線内の $30m$ 以上の距離の B 點に立てられた函尺の読み b_1 を読みむ。

次に望遠鏡を逆立として同じ操作を行ひ、B の函尺の読み b_2 を読み、 $r = b_3 - b_1$ を求める。

望遠鏡は b_2 を覗いた位置に固定したまゝで、(16) 又は (17) 式に依り與へられる整正量丈け、横叉線を b_2 より b_1 の方へ整正し、 $r=0$ となるまで操作をくり返す（表-2 の整正例参照）。

整正量の算出は図-7 及 図-8 を参照し乍ら第1法と同様の誘導法に依る。又は(30)式にて、側字 A,B を交換し、 s の代りに r を入れよば宜い。

依て(29)式が満足せらるゝ時、厳密整正量

を得る。

10. ラムスデン式及ハイゲン式量遠鏡 (9), (12) 及 (31) 式に依り (37) 式より誤差 5% 以下の實用整正量式

$$\mathfrak{E}_B = - \frac{E_A}{G} \frac{r}{2} \quad \dots \dots \dots \quad (38)$$

を得る。

11. 求口一式望遠鏡

12. ウィルトツアイス式望遠鏡 (21), (22) 及 (31) 式により (37) 式より實用整正量式

を得る。實用上には一定の E_A に対して兼め d_{A-1}/d_A を測定して β_A の係数を算出して、 C_A と共に容器の容の算出が可能となる。

に記入しておけば宜敷い。

例-1. 測機用小型フジトランシット

$$E_A = 10 C = 2.8 \text{ m}, \quad d_A - d_\infty = 20.5 \text{ mm}$$

厳正なる計算に依れば(41)式の誤差は4.4%である。

例-2. 測機用大型フジトランシット

$$E_A = 10 C = 3.4 \text{ m}, \quad d_A - d_\infty = 21.0 \text{ mm}$$

厳正計算に依れば(42)式の誤差は1.2%である。

例-3. Wild-Zeiss 望遠鏡の1例

第3節 第3法

13. 第3法(試法) 第3法は望遠鏡の諸要素は全く知らずとも、如何なる型式の望遠鏡でも完全な整正ができる有能な新方法である。

先づ距離 4~5m の近點 A と 40m 以上の遠點 B とを 1 視準線内に選び、此の 2 點間で第 1 又は第 2 法に依り A 又は B に立てられた物指又は面尺の讀差 s_1 を得。第 1 回の整正是整正量

-9

に依り整正する。

更に操作を繰り返して、第2回目に讀差 s_2 を得たとすると、第2回以後の整正は

$$\mathfrak{E} = \pm \frac{10}{1 - \frac{s_3}{e}} s \quad \dots \dots \dots \quad (44b)$$

に依り整正する(図-9 参照)。

(証明) (32)～(42) 式と (44a) 式とを比較する時は第 1 回の整正量の意味が明白となる。第 1 回整正後の残留誤差 s_2 に依り、整正量と誤差との関係即ち $\frac{1}{1 - \frac{s_2}{s_1}}$ を知り得る。今 (44b) 式に $\tilde{\epsilon} \rightarrow \tilde{\epsilon}_2$, $s \rightarrow s_2$ として、(44a)

と誤々相加されば

$$\mathfrak{E}_1 + \mathfrak{E}_2 = \pm \frac{10}{1 - \frac{s_2}{s}} s_1$$

を得る。之は(44b)式に於て $s = s_0$ と置いた式、即ち最初に整正すべきなりを誤差に外ならぬ(図-9 参照)。

第五節 完全整正後の殘留誤差

14. 整正後の残留誤差 之は整正可能条件 (29) 式と密接なる関係がある。然し一般には vertical circle の目感が粗であるから残留誤差を考へる必要はない。精密な結果を必要とする場合は、第 3 章の完全整正法即ち ob

jective slide adjustment に依らなければならぬ。尙 47., 48., 及 49. に残留誤差に就て理論的に論じておいたので御参照され度い。

第5節 新舊整正法の批判

15. 新舊整正法の批判 前述第2法の誤差検出操作は元來、米國アイラ オー ベーカー教授に依り採用せられ、次いで内外一流諸大家に依り踏襲せられたものである。

然しラムスデン式及ハイゲン式望遠鏡のみにしか用ひられないのみならず、その整正量

は、(38)式に比較すれば明かな如く、少くも 90% 以上の誤差がある。之は整正量の評価方法に根本的誤謬があつたからである。故に著者が 1981 年第 1 論文に整正量の正解(38)式を公にするまで、數十年間誤られてゐた譯である。

又(A)の誤謬を訂正するために整正量

精密整正量

及近似整正量

が算定されたこと也有つた。然し (37) 式に於て $f_A = f_B$ として (9) 式の條件を入れた厳密整正量式及 (38) 式に比較すれば 100% の誤差を導入して居る。之は計算法に光学的の缺陷があつた爲である。

然し乍ら、本著の(30)及(37)式を算定することが出来たので、あらゆる型式の望遠鏡の横叉線が完全に整正し得られるに至つた。

最後に、(30), (34), (37) 及 (40) 式に於て C 及 f を常数とすれば莫大なる誤差を生ずることが明瞭である。此の事實は次章の完全整正法に於て殊に甚しいことを注意しておく。

第3章 トランシットの縦叉線の完全整正法

第 1 節 概 說

16. 総説 トランシットの縦叉線を通常の 1/4 法で整正しても、整正視點を除く他の視點は一般に正視準平面、即ち子午面上にないのが一般である。之は対物レンズの光軸の傾斜並に偏心の誤差に基くもので、極端な遠近 2 點間の測角内に最大の誤差を生ずる。此の缺陷は金属部特にレンズの centering の誤りに基くもので永年使用中、金属部の歪曲、磨損、対物レンズの状況の変化、又は器械の過失損傷に依り著しく増大するものである。然るに此の影響を除去すべく從来使用されてゐた所謂 objective slide adjustment は根本的に誤謬に陥つてゐた。之がため製作工場に於て組立てに使用すべき centering tool (心金) を整正に使用するに至ては錯誤も甚しいのである。又、trial に依り多少誤差を軽減し得る程度の整正を行つてゐた者もあつたが、一般には從来の莫大なる誤差を有する objective slide adjustment の方法を信頼して行つてゐた。

然しそは此の方面の光学理論の研究者がゐなかつた爲で決して土木技術者、測量学講師及製作者の責ではない。

一般に精密器械は使用に依り著しく誤差を増加して製作當初の精度は保てないものである。故に從來等閑視してゐた objective slide adjustment (はガーリー社の説の如く、永年使用した時、使用中転倒した際等には必ず行ふ必要がある)。

以下記述する完全整正法は幾何光学に依り研究し從來の誤謬を完全に一掃した嚴正な objective slide adjustment に外ならない。

第2節 補 領

17. 子午面よりの視點の偏倚量 視點 p の子午面よりの偏倚量は
図-10 を参照して、5. に於ける (23) 式の誘導と同様に、

$$E_p \varphi_p = e_p + E_p i_p - \frac{E_p - C_p}{f} k_p \quad \dots \dots \dots (45)$$

又

$$e_p = e_{g,p} - g i_p \quad \dots \dots \dots (46a)$$

$$m = f - \delta, f = C - \delta,$$

$$k_p = z - e_p - m i_p = z - e_{g,p} + (C - 2\delta + g) i_p \quad \dots \dots \dots (46b)$$

(46a) 及 (46b) 式を (45) 式に代入して

$$E_p \varphi_p = \frac{E_p - C_p + C - \delta}{C - \delta} e_{g,p} + \left\{ C_p - g + \frac{\delta - g}{C - \delta} (E_p - C_p) \right\} i_p - \frac{E_p - C_p}{C - \delta} z \quad \dots \dots \dots (47)$$

又

$$e_{g,p} - e_{gr,p} = \zeta i_p, \quad e_{l,p} = e_{g,p} + (C_p - C + \delta - g) i_p \quad \dots \dots \dots (48)$$

なるが故に (45) 式より

$$\begin{aligned} E_p \varphi_p &= \left\{ \frac{E_p - C_p}{C - \delta} \left(1 + \frac{\delta - g}{\zeta} \right) + 1 + \frac{C_p - g}{\zeta} \right\} e_{g,p} \\ &\quad - \left\{ \frac{C_p - g}{\zeta} + \frac{E_p - C_p \delta - g}{C - \delta} \right\} e_{gr,p} - \frac{E_p - C_p}{C - \delta} z \\ &= \frac{E_p - C_p + C - \delta}{C - \delta} e_{l,p} - \frac{E_p - C_p}{C - \delta} z \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (49)$$

を得る。13 台のトランシットに就き實測算出せる所に依れば

$$\frac{\delta - g}{\zeta} = 0.32 \sim 0.18, \quad \frac{C - \delta}{\zeta} = 1.8 \sim 1.6 \quad \dots \dots \dots (50)$$

であつた。

18. 對物レンズ自身の光軸の傾斜及前側主點の偏倚に依る視準點の虚像の偏倚量 一般に對物レンズ自身も製作上の誤差に依り、理想の位置に關して、光軸は傾斜し、主點は偏倚してゐる。

又對物レンズは枠に嵌め込む關係上、永年使用に依る金屬枠部の關係的狀況の変化に依り、又は使用中の損傷に依り更に増大する傾向がある。故にその影響を除去する意味に於て視點の像點の偏倚量を算出して見る（図-11 参照）。

(47) 式に依り p 像點の γ -軸よりの偏倚量は

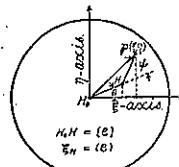
$$\xi_p = (E_p \varphi_p) = \frac{E_p - C_p + C - \delta}{C - \delta} [e] \cos \theta + \left\{ C_p - g + \frac{E_p - C_p}{C - \delta} (\delta - g) \right\} [i] \cos(\theta + \psi) \quad \dots \dots \dots (51)$$

故に

$$\left. \begin{aligned} \theta &= \theta_0 \text{ 又は } \theta_0 + \pi \text{ なる時,} & |\xi_p| &= 0 \text{ 即ち最小,} \\ \theta &= \theta_0 + \frac{\pi}{2} \text{ 又は } \theta_0 + \frac{3}{2}\pi \text{ なる時,} & |\xi_p| &= \text{最大} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (52)$$

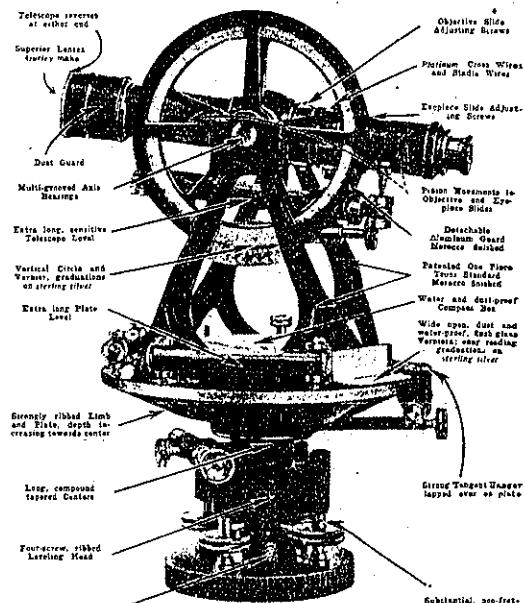
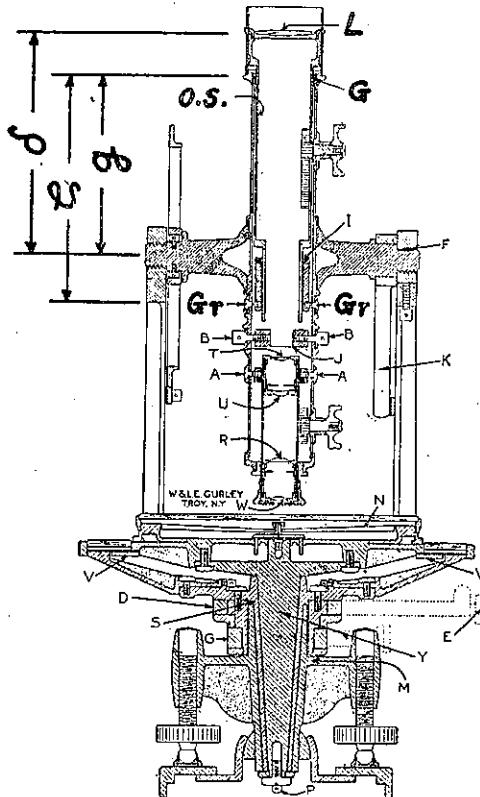
但し

$$\theta_0 = \tan^{-1} \left[\frac{[e]}{\left\{ (C_p - g) \frac{C - \delta}{E_p - C_p} + \delta - g \right\} [i] \sin \psi} + \cot \psi \right]$$



19. 光軸の傾斜の変化に依る読みの変化量 objective slide adjustment に於て光軸の子午面よりの傾斜を Δi_p 丈け整正した場合、函尺又は物指の読みの変化量は、(47) 式の i_p に就ての微変量を求めて

図-12.



$$\Delta p = \left\{ C_p - g + \frac{\delta - g}{C - \delta} E_p - C_p \right\} \Delta i \quad \dots \dots \dots (53)$$

を得る（図-13 参照）。

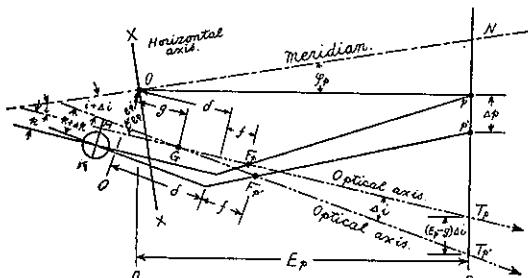
(53) 式中 $\delta - g$ は C の最大変化量に近似せる微小量であるため、從來は全く考慮せられなかたが、實測値に依り算定すれば括弧内の第 2 項は第 1 項より遙に大となる。故に $\delta - g$ を等閑視することは絶対に出でない。從來に於ける誤謬は此の點にもあつた。之に就ては 40, 41, 56, 及 67. を参照され度い。

20. 視點軌跡上の遠近 2 點 B 及 A を連ねる直線と對物レンズの光軸との交點 V の距離及偏倚量 図-14 を参考して、直線 BAV の方程式を求むれば

$$\left. \begin{aligned} y - E_A \varphi_A &= \tan(\hat{V} - i)(E_A - x), \\ y - E_B \varphi_B &= \tan(\hat{V} - i)(E_B - x), \quad \widehat{BVT} = \hat{V} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (54a)$$

$$y_V = c + x_V i \quad \dots \dots \dots (54b)$$

図-13.



(54a) 及 (54b) に於て $x \rightarrow xv$ 及 $y \rightarrow yr$ とおき, yr 及 $\tan(\hat{v} - i)$ を消去して

$$\frac{e+xvi-E_A\varphi_A}{e+xvi-E_B\varphi_B} = \frac{E_A-xv}{E_B-xv}$$

故に (45) 及 (11) 式に依り

$$\left. \begin{aligned} \frac{E_A-C_A}{E_B-C_B} &= \frac{E_A-xv}{E_B-xv} = \frac{C_A-xv}{C_B-xv} \\ &= \frac{\frac{f^2}{E_B-C_B}}{\frac{f^2}{E_A-C_A}} = \frac{C_B-C}{C_A-C} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (55)$$

故に

$$\left. \begin{aligned} xv &= C_A + C_B - C \\ yr &= e + xv i \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (56)$$

さて V, A 及 B の 3 点の中何れかの 2 点を子午面上に持來せば, 此の 3 点は同時に子午面上に在ることになる。之は 1/4 法に依り B を子午面上に持來し, A に於て $yr=0$ なる様 i を調整することに依つて達せられる (36. 及 図-14 参照)。

21. トランシットの縦又線が 1/4 法に依り整正せられたる時の視點の偏倚量 19. 及 20. に於て完全整正に於ける光軸の傾斜角の調整に直接關係を有する事項を考究することに成功した。

次には、1/4 整正の性能を研究して見る (図-15 参照)。

縦又線が不等距離の 2 視點 B 及 A 間に所謂 1/4 法で整正せられると

図-15 を参照して

$$\varphi_B = -\varphi_A, \quad E_B \neq E_A, \quad \dots \dots \dots \quad (57)$$

となり、37. の縦横兩軸條件 (75) 及 (76) 式の何れをも満足しない。

次に、等距離の前後 2 視點 N 及 \bar{N} 間で整正された時は (45) 式より

$$\varphi_N = 0 = \varphi_{\bar{N}}, \quad E_N = E_{\bar{N}} \quad \dots \dots \dots \quad (58)$$

となる。又、(58) 及 (45) 式より

$$E_N\varphi_N = e + Eni - \frac{E_N - C_N}{f} k = 0$$

$$E_{\bar{N}}\varphi_{\bar{N}} = e + E_{\bar{N}}i - \frac{E_{\bar{N}} - C_{\bar{N}}}{f} k = 0.$$

$$\text{故に} \quad k = \frac{e + E_{\bar{N}}i}{E_{\bar{N}} - C_{\bar{N}}} f \quad \dots \dots \dots \quad (59)$$

(59) を (45) 式に代入して (11) 式に依り整頓すれば

$$\left. \begin{aligned} E_p\varphi_p &= e + Cpi - \frac{E_p - C_p}{E_N - C_N} (e + CNi) \\ &= \{e + (C_p + CN - C)i\} \frac{E_N - C_N - E_{\bar{N}} + C_p}{E_N - C_N}; \quad e = e_{\bar{N}} - gi \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (60)$$

を得る。

故に (58) 及 (60) 式より明かな如く、此の場合には、N 及 \bar{N} では横軸條件 (75) 式を満足するが、他の視點では (60) 式は一般に或る値をとり、(75) 式を満足しないのが常である。

故に完全整正法に依り、N の協約點 J に於て (72) 式を満足する様 i を調整して、實用上誤差を誘導せざる様

図-14.

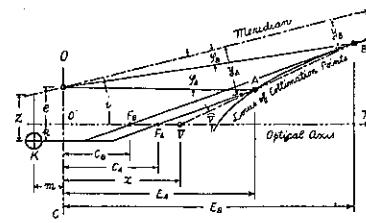
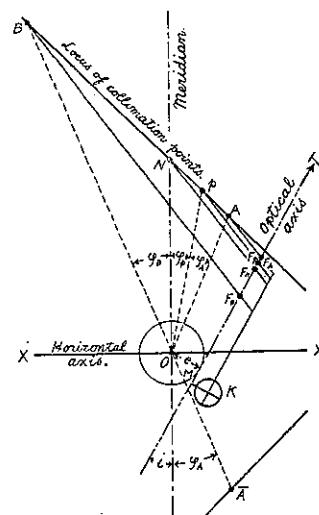


図-15.



整正する必要がある。

さて、(56) 式の y_F に於て、B 又は A を N に、又 A 又は B を p に置き換へるに依り、此の場合の V 点の子午面よりの偏倚量を得。然るに之は (60) 式の右邊の第 2 式の括弧内の量に外ならぬ。

著者は最初 (60) 式を得た後 (56) 式を知り得たのであるが、本文に於ては既に前項で (56) 式を算定し得たのであるから図-14 を参照して容易に (60) 式を算出し得る。

22. トランシットの縦叉線が横叉線の完全整正法に依り整正せられたる時の視點の偏倚量 前方の遠近 2 視點 B 及 A 間で、縦叉線を横叉線の完全整正法で整正すれば図-16 を参照して (45) 式より

$$\left. \begin{aligned} E_A \varphi_A &= E_A i + e - (E_A - C_A) \frac{k}{f_A} \\ E_B \varphi_B &= E_B i + e - (E_B - C_B) \frac{k}{f_B} \\ \varphi_A &= \varphi_B \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (61)$$

$$(61) \text{ 式より } k = - \frac{E_B - E_A}{E_B C_A - E_A C_B} f_e \quad \dots \dots \dots \quad (62)$$

故に、(62) 式を (45) 及 (61) 式に代入して (11) 式を用ひて整頓すれば

$$E_p \varphi_p = E_p i + e + \frac{(E_B - E_A)(E_p - C_p)}{E_B C_A - E_A C_B} e \quad \dots \dots \dots \quad (63)$$

$$E_p \varphi_p - E_p \varphi_A = \frac{E_B(C_A - C_p) + E_p(C_B - C_A) + E_A(C_p - C_B)}{E_B C_A - E_A C_B} e = \frac{C_A - C_p}{C_A + C_B - C} \frac{C_p - C_B}{C_p - C} e \quad \dots \dots \dots \quad (64)$$

$$\varphi_A = \varphi_B = \frac{y_F}{x_F} = \frac{e + (C_A + C_B - C)i}{C_A + C_B - C} \quad \dots \dots \dots \quad (65)$$

を得る。但し (65) 式は図-16 を参照して (56) 式よりも得られる。故に (64) 及 (65) 式より

$$E_p \varphi_p = \frac{e + (C_A + C_B - C)i}{C_A + C_B - C} E_p + \frac{C_A - C_p}{C_A + C_B - C} \frac{C_p - C_B}{C_p - C} e \quad \dots \dots \dots \quad (66)$$

を得る。

第 3 節 水平測角に誤差を導入する誤差の実験検出

23. 誤差検出の原理 以下に説明する 2 法を各々獨立に又は組合せるに依り誤差は検出せられる。

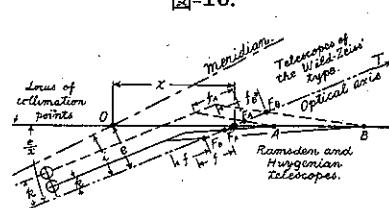
(1) t -讀法： 等距離の 2 遠（又は近）點 N 及 \bar{N} 間で $1/4$ 整正法に依り縦叉線を整正する。 \bar{N} の整正點を観準した位置に望遠鏡を固定したまゝで近（又は遠）點 p に固定せる物指を讀む。

次に望遠鏡を逆位として再び \bar{N} の整正點を観準し望遠鏡をその位置に固定して前述と同様に p の讀差 t_p を求める。然る時は (60) 式に依り

$$t_p = -2E_p \varphi_p = 2\{e + (C_p + C_N - C)i\} \frac{E_p - C_p - E_N + C_N}{E_N - C_N} \quad \dots \dots \dots \quad (67)$$

(2) u -讀法： 縦叉線を横叉線の完全整正法に依り遠近 2 視點 B 及 A 間で整正した後、B 又は A を観準した位置に望遠鏡を固定して望遠鏡を横軸の周りに反転して前視し、前方の P 點に固定せる物指を讀む。次に望遠鏡を逆位として、前同様の操作を行ひ、兩回の讀差 u_p を求める。然る時は図-16 を参照し、(65) 及 (66) 式に依り、高次項を省略して

$$u_p = 2E_p(\varphi_p + \varphi_A) = 2 \frac{e + (C_A + C_B - C)i}{C_A + C_B - C} E_p + 2 \frac{C_A - C_p}{C_A + C_B - C} e \quad \dots \dots \dots \quad (68)$$



を得る。

此處に t 及 u の符號は e, i, e_g 等との關係上図-17 の如く定めた。

又、誤差の擴大率は (67) 式よりも (68) 式の方が遙に大である。即ち u -讀法を利用した方が宜い。

24. 誤差検出の實驗に就て

25. 第 1 實驗裝置 図-18 は鐵筋コンクリート建物の暗室内に配置せる實驗裝置と窓外の遠視點を示すものである。視線の方向はプリズムにて適宜に屈折せしめ、各點には 10μ 讀みの dial indicator, μ 讀みの comparator 等を用ひ、観測者は観測し乍ら adjust し得る様にしておいた。

1 臓の器械の實驗中の溫度の變化はすべての實驗を通じて 1 度を超ゆることはなかつた。

26. 第 1 實驗—水平測角に誤差を導入する誤差の検出 13 臓のトランシットに就き (67) 式の t 及 (68) 式の u を求め誤差を算出して見た。その結果最大誤差は $e = +7.3 \text{ mm}$, $e_g = +5.2 \text{ mm}$, $i = -1^\circ 23'$ であつた。

27. 實驗結果より得られた V 點及對物レンズの前側焦點の偏倚量 (56)

式に依り算出した最大誤差は $+0.62 \text{ mm}$ であつた。

28. 實驗結果より得られた水平角内の誤差 水平角内の最大誤差は距離 2m 及 7m で夫々 63 秒及 16 秒であつた。

29. 第 2 及第 4 實驗に對する裝置 図-19 参照。

30. 第 2 實驗—對物レンズ自身の光軸の傾斜量及光心の偏倚量の檢出 例に就き (68) 式の u -讀法に依り實驗した結果、最大 (i) = $+9^\circ 56'$ 及 (e) = -0.38 mm を得た。

31. 第 3 實驗—オブゼクチブスライド及對物レンズの直徑の實測 標準溫度 20°C で、 $1/1000 \text{ mm}$ 讀のマイスコプテストに依り 13 臓のトランシットに就き測定した結果オブゼクチブスライドの直徑の最大誤差は 0.03 mm で、對物レンズの直徑の最大誤差は 0.12 mm であつた。之等は驚くべき大誤差である。

Objective slide は 4 個所を擇み、對物レンズの直徑と共に軸の周りに 360° 回転して測定した。實測結果の誤差は J. E. S. の軸の結合の誤差と比較して見たが 13 臓の中 4 臓迄が e_a 以下であつた。之は不良品と考へられる。

32. 第 4 實驗—Objective slide の出入に依る視點偏倚角、光軸の傾斜角及光軸の偏心量の變化量の檢出 第 1 實驗の結果、具合悪しく思はれた 3 臓のトランシットに就き實驗した。図-19 の實驗裝置に於て、A, D, P 及 B の 4 點を foresight 及 backsight に利用して各々 (68) 式の u -讀を取り最小自乘法に依り算出した。その結果、最大誤差は $\epsilon_\phi = \pm 2.3''$, $\epsilon_{eg} = \pm 0.008 \text{ mm}$, $\epsilon_{egr} = \pm 0.037 \text{ mm}$, $\epsilon_e = \pm 0.024 \text{ mm}$, $\epsilon_i = \pm 53''$ であつた。此の器械は良品とは思はれない。

図-18.

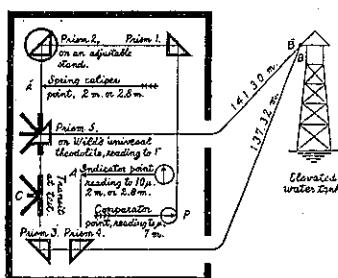


図-17.

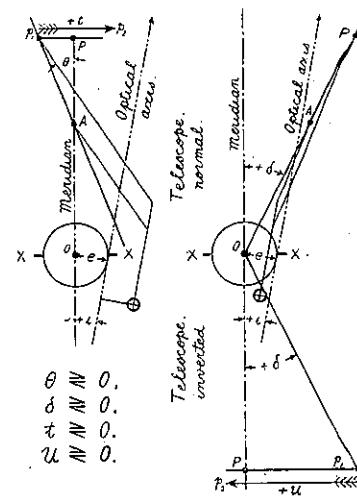
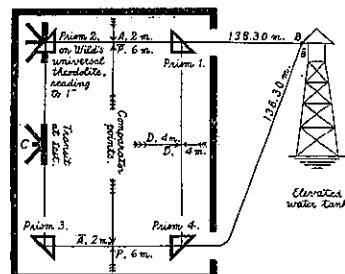


図-19.



第4節 トランシットの優劣の規範

33. トランシットの優劣の規範 4 等級に分けて見たが、 $|i| \geq 1^\circ$ 又は $|eg| \geq 3.5 \text{ mm}$ のもの、即ち 30 m の距離で $20''$ の誤差を生ずるものを見た。

34. 對物レンズ自身の光軸の傾斜及偏心の規範 4 等級に分け $|e| \geq 1\text{ mm}$, 又は $|i| \geq 30'$ のものは不良品として見た。

第 5 節 “整正可能條件”

35. “整正可能條件” 図-14 及 (60) 式より明な様に視點軌跡は高次の hyperbola であるから、遠近 2 視點 B 及 A のみを子午面上に持來しても整正可能條件

が満足せられなければ、他の視點では測定値に誤差を生ずる。故に i , e_g , (i) 及 (e) は前項諸規範以内でなければならぬ。

又、視線の不規則な偏倚があつても誤差を生ずるから

として見た。

32. の実験結果より最小自乗法に依り算定せる所に依れば、視點の不規則なる偏倚量は

$$\left. \begin{aligned} \Delta p &= 311 \Delta e_g \text{ seconds, } \Delta e \text{ mm} \\ &= 85 \Delta e_{gr} \text{ seconds, } \Delta e_{gr} \text{ mm} \end{aligned} \right\} \dots \quad (70b)$$

であった。

第6節 トランシットの畿又線の完全整正法

36. 完全整正法の原理 トランシットは厳密な意味に於て、工作上にも又經濟上にも完全に精密には仕上げられないのみならず、使用に依り特に転倒等に依り著しき狂ひを生ずる。前述諸項に於て誤差の概念を得たので、次には完全整正法を研究しよう。

3) 遠點(近點)N 及 N' 間でトランシットの縦叉線を $1/4$ 法で整正して、最後に N を観準した位置に、望遠鏡を逆位のまゝ固定したまゝ近點(遠點)J の物指(函尺)の読みをとる。次に望遠鏡を正位として、再び N を観準して、その位置に固定したまゝ再び J の物指(函尺)の読みを取り、兩回の読み差 Δf_J を求める。然る時は(60)式より

$$t_{J\bar{J}} = 2E_J \varphi_{J\bar{J}} = 2 \{ c_g + (C_J + C_N - C - g) i_0 \} \frac{E_N - C_N - E_J + C_J}{E_N - C_N} \quad \dots \dots \dots \quad (71)$$

$t_{\tau}=0$ であれば (60) 式に依り完全に整正されてゐるが、然し $t_{\tau}=\pm 0$ となるのが一般である。

之は器械の仕上並に centering の不完全に基づく誤差及使用による器械の状態の変化に依る誤差で、従来の所謂 objective slide adjustment が根本的に誤つてゐたので完全な整正が出来なかつたのである。

今 $t\varphi=0$ 即 $\varphi_{t\varphi}=0$ とすることが出来れば (60) 式に依つて 3 點 N 及 J は偏倚量が 0 となり、視點軌跡は J 及 N で子午面を通過する。図-14 の B 及 A は、N 及 J に相當する。

視點軌跡は高次の双曲線であるが、實用せられる部分は直線に近いので $\beta=0$ とすることに依り實用上視點軌跡は子午面に一致すると考へても (69) 式が満足されて居れば誤差は等閑視し得る。

図-20 及 図-21 はトランシット No. 4 及 No. 7 を此の原理に依り整正した場合の説明図である。curve 1 は

何れも $1/4$ 法で整正した結果で、他の曲線は完全整正に依り整正した結果である。

四-20.

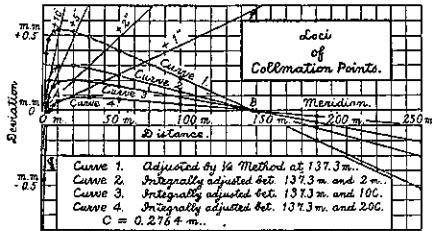
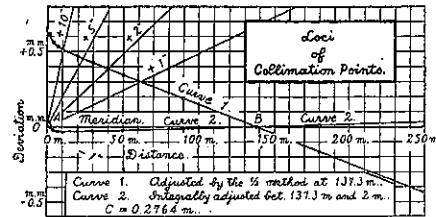


図-21.



さて $t,r=0$ とするには (60) 又は (56) 式に於て “完全整正條件”

が満足せらるゝ様に i を整正すれば宜いのである。但し $e = e_0 - gi$

故に (71) 及 (72) 式より、対物レンズの光軸の傾斜の整正量

$$\Delta i = i_0 - i = \frac{E_N - C_N}{E_J C_N - E_R C_J - (E_J - E_N)g} \frac{ts}{2} \quad \dots \dots \dots \quad (73)$$

を得る。

依て(60),(73)及(53)式に依り、 J 點に於ける物指(画尺)の読み差の整正量は

$$4j = \left\{ C_J - g + \frac{\delta - g}{C - \delta} (E_J - C_J) \right\} \frac{E_N - C_N}{E_J C_N - E_N C_J - (E_J - E_N)g} \quad \dots \dots \dots \quad (74)$$

に依りて與へられる。

故に、Jに於ける物指(函尺)の読み差が(74)式の A_j だけ変化する迄図-12の G_r のネヂに依つて objective slideを整正すれば宜いのである。

實際には視點の位置に依り α も ϵ_1 も変化するけれど厳密な計算の結果、(74) 式に依り所定の目的を完全に果し得ることが明かとなつたので、説明を簡略にするため前記の誘導法に依つた。・

37. 縱軸及横軸條件 従來縱橫兩軸條件もその概念が厳密な意義に於て根本的に誤られて居た。

横軸條件とは共軸視點 N 及 \bar{N} が子午面上に在る條件

で、之は即ち $1/4$ 法に依り満足せらるゝ條件に外ならない。

縦軸條件とは視點軌跡上の 3 点 N 及 J を結ぶ直線の延長が器械の縦軸を通過する條件

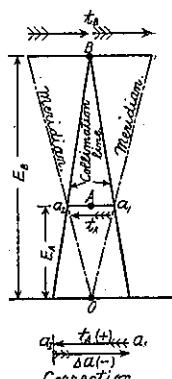
$$\varphi_N = \varphi_J$$

完全整正法とは、此の 3 條件を實用上完全に満足せしむる整正法に外ならぬ。

38. 第 1 法 先づ距離 3~5m (10℃~20℃) の 2 共軸近點 A 及 A' 間で 1/4 法に依り縦叉線を整正する。然る後、望遠鏡逆位のまゝで遠點 B を視準し、その位置に望遠鏡を固定し、A の物指の読み a_1 を讀む。次に望遠鏡正位として、再び A の物指の読み a_2 を讀み、兩回の誤差 $t_1 = a_1 - a_2$ を求める。その位置で

$$\Delta a = - \left\{ 1 + \frac{\delta - a(E_A - C)}{C - \frac{S}{E_A} E_A - a} \right\} \frac{E_A - C}{E_A - S} \quad \dots \dots \dots \quad (77)$$

图-22.



の絶対値だけ、図-22 の様に a_2 より a_1 の方向に、読みが変る迄、図-12 の G_r のネヂに依つて、objective slide を整正する。

$t_A = 0$ となるまで此の操作を繰り返す。

(證明) 圖-22 を参照して

(74) 式に於て $N=A$, $J=B$ として, (78) 式を代入し, 右邊の分母内で, (82) 式を求めた時と同じ principle に依り

ならしむれば、誤差 5% 以下の實用整正量式 (77) 式を得る。

图-23.

39. 第2法 先づ $1/4$ 法に依り縦叉線を 2 遠點 \bar{B} 及 B 間で整正した後、最後に望遠鏡逆位で $1/4$ 整正をした位置に望遠鏡を固定したまゝ、距離 $3\sim 5m$ ($10C\sim 20C$) の近點 A の物指の読み a_1 をとる。次に望遠鏡正位で再び B を覗ひ、その位置に固定したまゝ A の物指の読み a_2 をとり、 $t_A = a_2 - a_1$ を求める。その位置で

の絶対値だけ、 a_2 から a_1 の方向に譜みが変るまで、図-12 の G_T のネヂに依り objective slide を整正する。

$t_{\text{d}}=0$ になるまで此の操作を繰り返す。

(証明) 前法と同様に、(74) 式に於て $N=B$, $J=A$ として、(32) 式を求めた時と同じ principle に依り右邊の分母内で (79) 式ならしむれば、誤差 5% 以下の實用整正量式 (80) 式を得る。

として點 A を覗ひ、その位置に固定したまゝ前同様 B の函尺の読み b_2 を読み、兩回の読み差 $t_B = b_2 - b_1$ を求める。その位置で

$$Ab = \frac{\delta - g}{C - \delta} \frac{E_A}{C - g} \frac{t_B}{2} \quad \dots \dots \dots \quad (81)$$

だけ、図-24 の様に、 b_2 より b_1 と反対の方向に読みが変るまで、図-12 の G_c のネジに依り、objective slide を整正する。

$t_B = 0$ となるまで此の操作を繰り返す。

(證明) 図-24 より

(74) 式に於て、 $N = B$, $J = A$ と置いて (82) 式を代入し、(79) 式に依り $E_B > 30 \text{ m}$ にとれば、誤差 5% 以下の實用整正量式 (81) 式を得る。

41. 第4法 先づ $1/4$ 法に依り縦又線を近點 \bar{A} 及 A 間で整正した後、最後に A を観準した望遠鏡逆立の位置に望遠鏡を固定したまま遠點 B の函尺の読み b_1 をとる。次に望遠鏡正位で再び A の最後の読みを覗ひ、その位置に望遠鏡を固定して、 B の函尺の読み b_2 をとり、 $t_B = b_2 - b_1$ を求める。その位置で又線の読みが、図-25の

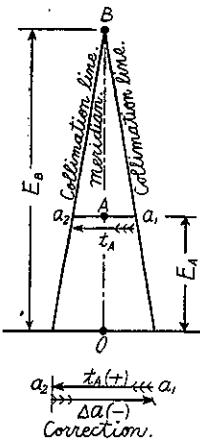
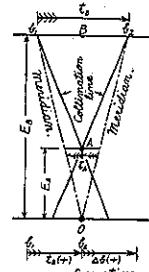


圖-24



様に、 b_2 より b_1 と反対の方向に整正量

$$Ab = \frac{\delta - g}{C - \delta} \frac{E_A - C}{C - g} \frac{t_B}{2} \quad \dots \dots \dots \quad (83)$$

だけ変る迄、図-12 の G_r のネヂに依り、objective slide を整正する。 $t_B=0$ になるまで繰返す。

(証明) (74) 式に於て、 $N = A$, $J = B$ として (79) 式に依り $E_B > 30m$ にとれば、誤差 5% 以下の實用整正量式 (83) 式を得る。

42. 第5法(試法) 本法は定数 C, g 及 δ を知る必要はない。先づ前述の諸法の何れかに依り t_{A1} 又は t_{B1} を求め、第1回の修正に於ては整正量

だけを整正する。

次に第2回目に $t_{A,2}$ 又は $t_{B,2}$ の讀差を得たとすれば第2回以後は

$$\Delta a = - \frac{t_{4,1}}{1 - \frac{t_{4,2}}{t_{4,1}}} \quad \dots \dots \dots \quad (85a)$$

で整正する。図-26 参照。

(証明) 前述諸整正法に於ける整正量 (77), (80), (81) 及 (83) 式に通常使用さるトランシットの常数を代入すれば, $E_A \leq 20C$ なる時は

$$\left. \begin{aligned} da &= -(0.20 \sim 0.11) \frac{E_A}{C} t_A \\ db &= +(0.17 \sim 0.10) \frac{E_A}{C} t_B \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \quad (86)$$

となるが故に、第1回の整正量(84a)及(84b)式の意味が明白となる。

次に、(85a) 式にて、 $\Delta a = \Delta a_2$, $t_A = t_{A,2}$ とし、(85b) 式にて $\Delta b = \Delta b_2$, $t_B = t_{B,2}$ として、(84a) 及 (84b) 式と夫れ夫れ邊々相加すれば

を得る。之は (85a) 及 (85b) 式に於て夫れ夫れ $t_A=t_{A,1}$, $t_B=t_{B,1}$ と置いた式に外ならぬ、換言すれば最初に整正すべきかりし全整正量に外ならぬ。第 1 回の整正は、誤差 t と整正量 Δa 又は Δb との関係 $1/(1-t_2/t_1)$ を求めるための試みに外ならなかつたのである (図-26 参照)。

43. 縱叉線の完全整正例 猛め極端に狂はしておいた縦叉線を前述完全整正法に依り美事に整正することが出来た。之は明かに、その原理及誘導法の正確であつたことを證明してゐる。表-3、第-4 は整正の成果を示すものである。

完全整正をなすには、

圖-25.

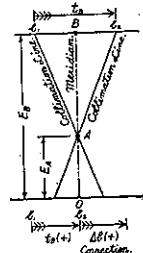


图-26.

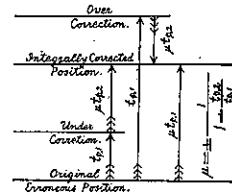


表-3.

整正法	第1法	第1法	第2法	第2法	第3法	第3法	第4法	第4法
トランシット番号	5	5	5	23	5	23	5	5
大きさ (in)	4	4	4	5	4	5	4	4
製産國	日本	日本	日本	米國	日本	米國	日本	日本
使用年	10.0	10.3	10.0	0.2	10.0	0.2	10.3	10.3
C (m)	0.2764	0.2764	0.2764	0.347	0.2764	0.347	0.2764	0.2764
E_B (m)	137.32	138.30	137.32	138.30	137.32	138.30	138.30	138.30
E_A (m)	2.80	4.00	2.80	4.00	2.80	4.00	4.00	4.00
整正量	- 1.736t	- 2.539t	- 1.926t	- 1.594t	+ 1.495t	+ 1.197t	+ 2.093t	+ 2.093t
〔第1整正〕								
t (mm)	- 2.16	+ 1.31	- 3.46	+ 1.90	+ 104.8	- 50.9	+ 42.7	- 48.3
整正量 (mm)	+ 3.74	- 3.33	+ 6.69	- 3.03	+ 156.7	- 60.9	+ 89.5	- 101.2
〔第2整正〕								
t (mm)	+ 0.15	0.00	+ 0.85	0.00	0.0	+ 12.6	0.0	0.0
整正量 (mm)	- 0.27		- 0.67			+ 15.1		
〔第3整正〕								
t (mm)	- 0.39		0.00			0.0		
整正量 (mm)	+ 0.68							
〔第4整正〕								
t (mm)	0.00							

表-4. 第5法

整正法	第1法	第2法	第3法	第4法
トランシット番号	23	23	23	5
大きさ (in)	5	5	5	4
製産國	米國	米國	米國	日本
使用年	0.2	0.2	0.2	10.3
C (m)	0.347	0.347	0.347	0.2764
E_B (m)	138.30	138.30	138.30	138.30
E_A (m)	3.40	3.40	3.40	4.00
整正量	- 1.54t	- 1.63t	+ 0.86t	+ 1.45t
〔第1整正〕				
t (mm)	+ 2.00	- 1.61	- 72.2	- 41.4
整正量 (mm)	- 2.00	+ 1.61	- 72.2	- 41.4
〔第2整正〕				
t (mm)	+ 0.70	- 1.00	- 12.2	- 13.1
整正量 (mm)	- 1.07	+ 1.63	+ 10.4	- 19.0
〔第3整正〕				
t (mm)	- 0.17	- 0.06	0.0	0.0
整正量 (mm)	+ 0.26	+ 0.10		
〔第4整正〕 t (mm)	0.00	0.00		

- (1) 各 screws, 特に rear slide bearing の adjusting screws に油をさして円滑に動く様にし
 - (2) clamps は slip しない様に堅くし, tangent screws は微かな力では戻らない様な適當の圧力とし
 - (3) 1/4 整正は特に精密にしておかねばならぬ

第7節 横叉線の完全整正法に依る縦叉線の完全整正の研究

44. 原理 此の原理は (68) 式に於て

ならしむることに在る。但し $e = eg - gi$

之は既述の完全整正條件 (73) 式に外ならない。之は即ち、方法は異なるけれども、到達すべき結果は既述の完全整正法のそれと全く同一なることを示す。

45. 整正の実験 (68) 式の誤差の擴大率は (67) 式のそれに比して著大なるため等に因り、視準其の他の誤差が著しく擴大さるゝ爲、大なる殘留誤差を誘導し、整正を完了することが出來ない事が實験の結果明白となつた。故に (88) 式の示す原理は實用に供せられない事が解つた。

第8節 殘留偏倚誤差

46. 概説 (45), (60) 及 (12) 式に依り視點軌跡は高次の hyperbola をなすことが明白である。故に此の軌跡上の遠近 2 點を子午面上に持來した後にも殘留偏倚誤差がある。完全整正は此の殘留偏倚誤差が測角に誤差を生ぜざる様に行はねばならぬ。從て之と關係的に器械各部の工作上の許容誤差を一定規範内に在らしめねばならぬ。

47. 完全整正後の残留偏倚誤差 2 遠(近)點 \bar{B} 及 B 間で $1/4$ 整正を行つた後の残留偏倚誤差は (60) 式で與へられる。

従て、近(遠)點 A に依つて、完全整正を行へば、残留偏倚誤差は、(72) 及 (12) 式に依り (60) 式より

$$但し \quad i_0 = -\frac{e_0}{C_A + C_B - C - g}$$

48. 横叉線の完全整正法に依り縦叉線を整正した場合の殘留偏倚誤差 遠近 2 視點 B 及 A 間で縦叉線を横叉線の完全整正法に依つて整正せる時の 残留偏倚誤差は (66) 式に依り與へられる。44. の原理に依る objective slide adjustment を行ひ、(88) 式を満足せしむる時は (66) 式より

之は(89)式と同一式である、即ち36.の完全整正の原理は44.のそれと全く同一結果に到達する。

49. 完全整正後の残留偏倚誤差減小法

を得る。此の式より $\frac{d\varphi_p}{dE_p} = 0$ として $\varphi_{p, \max}$ を生ずる E_p を求むれば、(12) 式に依り

を得る。故に (91a) 式より

$$\varphi_{p, \text{max.}} = -\frac{C_A - C}{E_A} \frac{i_0}{4} = \frac{C_A - C}{C_A - a} \frac{e_0}{4E_A} \quad \dots \dots \dots \quad (91c)$$

を得る。

故に(91b)式より、最大殘留偏倚誤差 $\varphi_{p,\max}$ は約そ $2E_1$ の距離で起ることを知る。又、(91c)式より、 $\varphi_{p,\max}$ は略々 E_A に逆比例することを知る。

故に、 $E_A=10C$ にて整正した場合許容し得ない誤差を生ずる時は、 $E_A=20C$ にて整正すれば、残留偏倚誤差は略々半減する。図-20及図-21 は此の間の関係を充分に説明してある。

$E_A > 20C$ とする必要ある器械は不良品である。又、 E_A を餘り大とすれば實際問題として整正不充分となる處がある。

次に完全整正後は測角に誤差を生じないために e , e_g , i , ϵ_ϕ 等は一定規格に合格するものでなければならぬ。33., 34. 及 35. の規範は此の試案に外ならぬ。

50. 視點軌跡の偏倚誤差 視點軌跡の偏倚誤差 ϵ はその視點に於ける tangent の横軸上に截る ordinate の大きさである。故に図-20又は図-21 を参照して

(12) 及 (60) 式に依り、高次項を省略して

故に ϵ は $2C_p$ の函数である。實測結果より算出した最大なるものは $\epsilon = +0.58\text{mm}$ であつた。

第 9 節 縦叉線の完全整正法の批判

51. 完全整正法の優劣 實用上の便不便と理論上の精密度より、優劣は大体番號の順であるが、その差は僅少である。然しワイ レベルの完全整正に同時に応用の出来るものは第 2, 第 4 法及第 5 法である。第 5 法は C , γ 及 δ を知る必要がないので最も有能な萬能法である。

第 10 節 叉線整正に關係ある部分の工場に於ける製作狀況の大要

52. 叉線整正に關係ある部分の工場に於ける製作狀況の大要 精密旋盤と精密ドリルが主なる工作器械である。objective slide 及 slide bearing の仕上げの際は直径を vernier caliper で測定する。望遠鏡の回転横軸及その鏡筒の入る孔は旋盤に依り仕上げる。two-piece standard は横軸に取り付けた後 surface plate 上に載せ、dial test indicator で兩脚の高さを検し、脚の下面に鉛をかけて等高にする。次に surface plate 上で図-28 の“心金”を用ひて objective slide を鏡筒に取り付ける。かくて此の 1 組を horizontal plate 上に移し、再び“心金”を用ひて正位置に固定する。

レンズはピッチを以て球面上に多數貼り避け、設計の曲率を有つ球面型（粗仕上げは鑄鉄製、仕上げはピッチ球面）を用ひ、金剛砂、カーボランダム、エメリコン及酸化鉄粉で仕上げる。centering は旋盤の軸に磨き上げられた單一レンズをピッチで貼り避け、光點のレンズ面による反射像が、旋盤の軸の回転に依り振動せざる位置にレンズを固定した後、レンズの周邊を grind down して一定の直徑とするに依りて完了する。最後に各レンズは設計通りに、或は air lens を以て組合せ或は canada balsam を以つて貼り合せる。

第 11 節 従來のオブザクチブ スライドの整正法の批判

53. 概説 斯学一流の著書は夫れ夫れ異なる objective slide adjustment を説いてゐた。然も尙その説明をさへ省略する著書が多かつた。又、測量技術者並に学者は之を論議する餘裕ある者がゐなかつたし、製作所は之を等閑視してゐた。

54. 舊法第1文獻(7)及(8)に述べられてゐる整正法は次の如くである(図-27 参照)。

先づ 2 遠點 \bar{B} 及 B 間で $1/4$ 法に依り総叉線を整正した後、等距離の 2 近點 \bar{A} 及 A を選み、望遠鏡逆位のまゝ \bar{A} を覗ひ、horizontal clamp を締めて望遠鏡を反転して前方の A に固定せる物指の讀 a_1 を讀む。次に望遠鏡正位のまゝ \bar{A} を覗ひ、前同様にして A の物指の讀み a_2 を讀み、兩回の讀差 $t_{12} = a_2 - a_1$ を求める。かくて a_2 より a_1 と反對の方向に整正量

文の読みが変るまで図-12 の G_r のネヂにより objective slide を整正する。

之は 39. の第 2 法に似てゐ、図-23 と図-27 より明かなる如く $\bar{r}_A = \bar{s}_A$ なる関係がある。故に (80) 式により正整正量は

$$\Delta a = - \left\{ 1 + \frac{\delta - q}{C - \delta} \frac{E_A - C}{C - q} \right\} \frac{i_A}{4} \quad \dots \dots \dots \quad (95)$$

でなければならぬ。此處で特に、(94) と (95) 式の符号の異なる點、即ち整正方向が正反対である點に注意すべきである。(95) 式にガーリー社製 5 吋トランシットの定数を入れれば

$$\Delta a = - \left\{ 1 + 0.21 \frac{E_A - C}{C} \right\} \frac{i_A}{4} \quad \dots \dots \dots \quad (96)$$

を得る。故に (94) 式の誤差は $E_A=10C$ なる時 185%, $E_A=20C$ なる時 120% であるから、整正毎に失れ失れ 35% 及 20% の誤差が増加することになる。

55. 舊法第 2 文獻(6)に示されてゐる整正法に於ける誤差 t_B の検出操作は 40. の第 3 法のそれと全く同一であるが整正操作は整正量

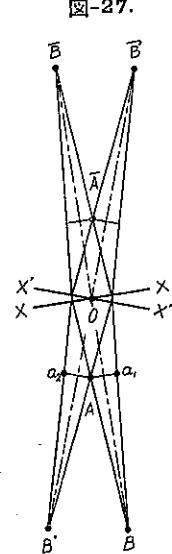
の絶対値だけ、 b_2 より b_1 の方向に objective slide を整正するのである。特に此處に注意すべきは、(81) 式に (97) 式を比較すれば符号が反対である。即ち整正方向が正反対である點である。(81) 式にガーリー社製 5 時トランシットの定数を入れれば

を得る。故に(97)式は $E_{\perp}=10C$ の時 148%, $E_{\perp}=20C$ の時 124% の誤差がある。即ち整正毎に夫れ夫れ 48% 又は 24% の誤差を増加する譯である。

56. 舊法第 3 文獻(10)に述べられてゐる整正法に於ける誤差 t_B の検出操作は 40. の第 3 法及 55. の舊法第 2 のそれと全く同一であるが、整正量は

を與へてゐる。故に(99)は(98)式に比較して $E_A = 15 \text{ ft} = 4.6 \text{ m}$ の時 64%, $E_A = 20 \text{ C}$ の時 76% の誤差がある。従て誤差を 5% 以下にするには夫れ夫れ整正操作を 7 回及 11 回繰り返へさなければならぬ。故に本法も、尙實用には供し難い。

57. 心金 図-28 に示せるものが心金である。心金は元來工場でオブゼクチブ スライドの部分及水平目盛盤以上の部分の組立に使用すべきものであるが、前記の如く在來の整正法が根本的に大なる誤りをしてゐたために心金をオブゼクチブ スライド整正に使用してゐる工場がある。之は根本的に誤である。之では現在の器械が完

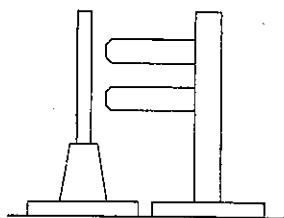


全く整正されてゐる筈はないのである。

图-28.

58. 総評 前述に依り從來の objective slide adjustment 又は心金を以てしても、objective slide は決して完全に整正し得られないことが理論的にも実験的にも明瞭になつた筈である。

此の故を以て、各製作所は完全なる objective slide adjustment は行つてゐないのである。



さて、地方に於てトランシットの修理を修理所に依頼せる場合、修理所では磨耗せる rear slide bearing ring (図-12 及図-30 の Gr の點にあり) を新品と取換へる事がある。然し地方の修理所には surface plate も centering tool (心金) も用意してはゐないのであるから、その取り付け方は手加減に依るので、宜い加減のものである。勿論 objective slide adjustment は行はないとのことである。然し之は決して修理所の罪ではない。

凡そ整正すべき而して整正可能なる部分の調整を等閑視することは宜敷ない。況や整正を、等閑視した爲に顯著なる誤差を観測値に導入するに於ておやである。

第4章 ワイレベルの横叉線の完全整正法

59. 概説 ワイ レベルの objective slide の構造はトランシットのそれと全く同一である。又、ワイ レベルの視準水平面の、器械の縦軸に対する関係はトランシットの子午面の、その横軸に対する関係と全く同一であるから、ワイ レベルの横叉線の完全整正の原理はトランシットの横叉線のそれと全く同一である。

ワイ レベルの叉線の $1/2$ 整正法の原理も、常にトランシットの $1/4$ 整正法のそれと一致してある。

今遠點(近點)Bで1/2法でワイレベルの横叉線を整正した後、望遠鏡を正位及逆位でYの中にあるまで、近點(遠點)pの物指(函尺)の読み差 t_p を求めるとき視點の偏倚量は(60)式に依り

$$E_p \varphi_p = \frac{t_n}{2} = \{e + (C_p + C_B - C)i\} \frac{E_p - C_p - E_B + C_B}{E_B - C_B} \quad \dots \dots \dots \quad (100)$$

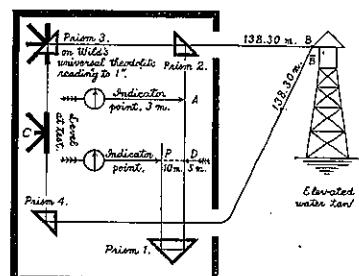
となる。故に今近(遠)點 A に於て

なる様に i を調整する事に依り、實用上完全に整正する事が出来る譯である。此處で、(100) 及 (101) 式は、即ちトランシットの完全整正條件 (71) 及 (72) 式に外ならない。故にトランシットの縦叉線の完全整正法に依りワイヤベルの横叉線を完全に整正することが出来る。

60. 誤差檢出實驗裝置 図-29 參照。

61. 第 1 実験 (1/2 整正後の殘留誤差の測定) 23 台のワイ レベルの横叉線を距離 138.3 m の點で 1/2 整正した後、殘留誤差を測定した所、最大高低殘留誤差は距離 3 m, 5 m 及 10 m の點で夫々 $34''$ ($= \frac{16}{100\,000}$), $21''$ ($= \frac{10}{100\,000}$) 及 $10''$ ($= \frac{5}{100\,000}$) であつた。

62. 第2實驗(對物レンズの光軸の傾斜及偏心の誤差に依りて生ずる高低誤差) 第1實驗で最も狀況の悪しかつた2臺のワイレベルに就き對物レンズをそのホルダーの中で 30° づゝ回転して實驗して見た。その結果對物レンズの向きの変化に依る高低の最大変化量は、距離3m, 5m 及 10m の點で夫々 $41''$ $\left(=\frac{20}{100,000}\right)$, $25''$ $\left(=\frac{12}{100,000}\right)$ 及 $12''$ $\left(=\frac{6}{100,000}\right)$



であつた。

63. 第3実験(對物レンズの光軸の傾斜角及偏心量並に視點の偏倚量の平均変化量の決定) 最も状況の悪しく思はれるワイ レベル 2 台に就き實験した。最大なるものは、

$$\begin{aligned} e_g &= -1.5 \text{ mm}, \quad e_{gr} = -2.2 \text{ mm}, \quad e = -1.4 \text{ mm}, \quad i = +16', \quad \varepsilon_\varphi = \pm 3.6'', \\ \varepsilon_{eg} &= \pm 0.011 \text{ mm}, \quad \varepsilon_{gr} = \pm 0.044 \text{ mm}, \quad \varepsilon_e = \pm 0.050 \text{ mm}, \quad \varepsilon_i = \pm 61'' \end{aligned}$$

であつた。

64. ワイ レベルの優劣の規範 4 等級に分ち、 $|e_0| \geq 3.5 \text{ mm}$ 及 $|i| \geq 35'$ のものは不良品として見た。

65. 整正可能條件 35. の理に依り e, e_g 及 i は共に微小量で (69) 式を満足し、64. の規範内に在らねば實用上觀測値に誤差を生ずる處がある。又、視點の不規則な偏倚も誤差を生ずるから、 $|\varepsilon_\varphi| \leq 1''$ が宜しいと思はれる。

66. ワイ レベルの横叉線の完全整正法 ワイ レベルの横叉線の完全整正は、トランシットの縦叉線の完全整正と全く同一の原理、同一の方法で行ひ得ることは既に 59. で述べた所である。故に 36, 37, 39, 41, 及 42. に依れば宜い。何となれば、トランシット及ワイ レベルが同時に都合良く整正せらるゝ方法は第2, 第4 及第5 法であるからである。

ワイ レベルの場合にも美事に完全に整正することが出来た。その實例は表-5 に掲げて置いた。器械の定数に就ては図-30 を參照のこと。

67. 残留偏倚誤差 46., 47. 及 49. 參照。

68. 従來法の批判 文獻 (10) に示されて居る所謂 objective slide adjustment は次の如くである。

表-5.

整正法	第2法	第4法	第5法(試法)			
			第3法	第2法	第4法	第4法
レベル番號	7	1	1	20	1	20
大きさ(in)	15	18	18	15	18	15
製作國	日本	米國	米國	日本	米國	日本
使用年	10.0	0.1	0.1	9.0	0.1	9.0
E_B (m)	188.3	188.3	188.3	188.3	188.3	188.3
E_A (")	10.0	10.0	6.5	6.5	6.5	6.5
整正量	- 2.58t	+ 1.58t	- 1.92t	- 1.95t	+ 1.0t	+ 1.0t
〔第1整正〕						
t (mm)	- 0.92	+ 7.3	- 1.47	+ 1.20	- 16.5	+ 14.1
整正量(mm)	+ 2.88	+ 13.5	+ 1.47	- 1.20	- 16.5	+ 14.1
〔第2整正〕						
t (mm)	- 0.18	+ 0.9	- 0.71	+ 0.59	0.0	- 0.8
整正量(mm)	+ 0.45	+ 1.7	+ 1.35	- 1.14		- 0.8
〔第3整正〕						
t (mm)	0.00	0.0	0.00	+ 0.13		0.0
整正量(mm)				- 0.25		
〔第4整正〕						
t (mm)				0.0		

先づ遠點 B に於て、 $1/2$ 法に依り横叉線を整正した後、Wye の中に在るまゝで、望遠鏡を正逆兩位として 10~15 ft の近點 A の物指を読み、兩回の讀差 $t_{12} = a_2 - a_1$ を求め、整正量

の絶対値だけ、 a_2 より a_1 の方向に讀の変るまで、図-30 の Gr のネヂに依り、objective slide を調整する。

此の誤差検出操作は 39. の第 2 法のそれに外ならない。
 故に整正量は (80) 式に依つて與へられる筈である。ガーリー社製 18 時ワイ レベルの定数を (80) 式に代入する時は、その整正量は

$$\Delta a = - \left\{ 1 + 0.227 \frac{E_A - C}{C} \right\} \frac{t_A}{2} \quad \dots \dots \dots (103)$$

となる。

故に(102)式は $E_A=10C=5.8m$ の場合に 76%, $E_A=20C=11.6m$ の場合に 88% の誤差がある。従て、誤差を 5% 以下とするには、 $E_A=10C$ の時は 10 回、 $E_A=20C$ の時は 24 回操作を繰り返さなければならない。

故に 56. のトランシットの objective slide adjustment 薬法第 3 と共に到底實用には供し難い。

69. 応急整正法 先づ遠點 B に於て 1/2 整正を行ふ。次に、望遠鏡は Wye の中に在るまゝで正逆兩位にして、距離 3~5m の近點 A に固定せる物指の讀差 $t_4 = a_2 - a_1$ を求める。望遠鏡をその位置のまゝで遠點 B を観準して、 a_2 より a_1 の方向に $\frac{t_4}{2}$ だけ読みが異なるまで objective slide を整正する。

(証明) B に於て $1/2$ 整正を行へば (60) 式に依り

$$o = e + E_B i - \frac{k}{f} (E_B - C_B)$$

又、A に於て t_A を求むれば (60) 式に依り

$$\frac{t_A}{2} = c + E_{Ai} - \frac{k}{f} (E_A - C_A)$$

A 及 B に於て正位視準水平面よりの視點の偏倚量を等しくすることが出来れば誤差は起らない。故に (45) 式に依り、横叉線の整正量を Δ とし

$$E_A \varphi_A = E_B \varphi_B, \quad -\frac{4k}{f}(E_B - C_B) = -\frac{t_A}{2} - \frac{4k}{f}(E_A - C_A)$$

とおく時は

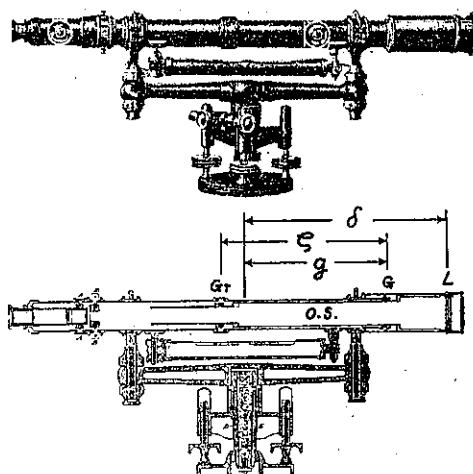
$$\frac{\Delta k}{f} = \frac{1}{2} \frac{t_A}{E_B - C_B - E_A + C_A}$$

を得る。 Δt は横叉線の整正量を與へる。

故に B に於ける読みの整正量は前式に依り

七

圖-30.



然し、此の方法では、整正は 1 回で終了し、第 2 回目の整正を行ふも、前回整正結果の check にもならなければ、亦整正完成への階梯にもならない。之に反して、前述完全整正法では $t=0$ になる迄整正を行ふが故に、前回の整正結果は毎回 check され、毎整正操作は皆な整正完成への階梯となつてゐる。

故に本法は前述完全整正法に比して遙に劣等で、整正法としての資格は無い。

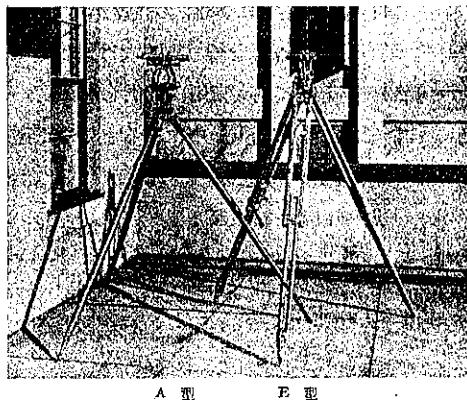
第 5 章 叉線の完全整正の附隨問題

70. 概論 整正結果の良否は必ずしも整正理論の正鶴と忠實なる労力のみに依つて支配せらるべきものでない。工作の精度は之を高精度とすれば價格の顯著なる賄費を免れない。故に、現在の工作精度を以つて更に良好なる結果を得るには、不適當なる器械部分を改良し、又適法の設計を採用して器械の能率を高上すれば宜敷い。以下の諸項は第 3 章及第 4 章の研究中に得られたものである。

71. 對物レンズをその枠に嵌め込む方法 トランシットに依る水平角の測定並にワイ レベルの高低測量にレンズ自身のセンターリングの誤差の影響を零ならしむる様、対物レンズを嵌め込むことが出来れば、それ等に對する誤差の主要部分を除去することが出来る。

本問題は 18. に研究したる原理に依り完全に解決されてゐる。故に 18. を参照され度い。

図-31.



精密なる測量に使用せらるトランシット並にワイ レベルの対物レンズは本法に依り、嵌め込まれた方が宜いと思はれる。

72. 三脚 現今我國で一般に使用されてゐる三脚は、図-31 の A 型及 E 型の兩者の脚長及高さを一定にし 500 gr の水平荷重を器械の中心に

對して左廻り、右廻り、内方、外方の 4 方面に各々の脚の中央に加へて水平角並に垂直角に對する影響を見た。その實驗結果は表-6 に示せる如くである。

その結果、A 型では水平角に對し 80 秒、垂直角に對しては 60 秒の最大影響が頻繁に起つたが、E 型では水平角に對し 14 秒、垂直角に對しては 10 秒の最大影響が夫々 1 回だけ起つたに過ぎなかつた。

之は明かに三脚の材質のみならず、三脚の構造特に頂上の金具が A 型(米式)は不良で、E 型(歐式)は優秀であることを示してゐる。

表-6.

Transit No.	Made in Maker	Reading of the Vertical Circle, sec.	Height of Instrument, m.	Influences*			
				Load, kg.	Direction of Load	Leg of Tripod	Vorical Angle, sec.
28	U.S.A.	60	1.63	Outward	a	-b	0
					b	p	0
				Inward	c	p	-20
	1.46	20	0.5	Clockwise	a	0	-80
					b	0	-80
					c	p	-80
29	Japan	60	1.63	Counterclockwise	a	p	+80
					b	p	+80
					c	p	+80
	1.36	20	0.5	Outward	a	p	0
					b	+60	0
				Inward	c	p	-20
32	Wald, Switzerland	1	1.53	Clockwise	a	+60	-60
					b	+60	-70
					c	+60	-70
	1.46	1	0.5	Counterclockwise	a	p	+60
					b	p	+60
					c	p	+70

The legs of the tripod a, b and c are spaced at 120° from each other, always kept at H. I. = 1.63 m., and b is pointed just in the same direction as that of the telescope.

p denotes perceptible.

対物レンズの合焦のため、繰出し繰入れに依る器械の不平均にさへ考へ及んで望遠鏡を改良してゐる製作者が三脚の構造を等間にしてゐるのは甚だ遺憾の極みである。

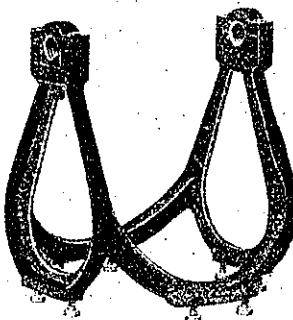
圖-32.

73. トランシットのスタンダード：重要な測量用のトランシットには図-32

の様な one-piece standard を適當とする。two-piece のものは仕上げが甚だ劣等で、使用中に歪曲を來し易い(52. 参照)。

26. の第 1 実験に於て、トランシットの総叉線の $1/4$ 整正後の残留偏倚誤差は、その大部分が此の不良なる two-piece standard によるものと考へらる。

74. オブセクチブ スライド及その前部及後部受けの仕上げに就て 図-12 及
図-30 の G 及 Gr に於ける objective slide, その front slide bearing 及
rear slide bearing の工作上の誤差並に使用に依る磨耗又は損傷に依る誤差の
ため, 對物レンズ合焦の際 objective slide を出入せしむる時 $e_{g,p}$ 及 $e_{gr,p}$ は
極微小変化をなすのが一般である。



従て(49)式に依り、観點は不規則なる偏倚を生ずる。(49)式に於て $e_{g,p}$ の係数は $e_{gr,p}$ の係数の3~6倍となるから、 G_r に於ける $e_{gr,p}$ の微変量 $\Delta e_{gr,p}$ は、 G に於ける $e_{g,p}$ の微変量の3~6倍であつても宜敷いのである。即ち G の統合部の誤差は G_r の統合部の誤差の $1/3 \sim 1/6$ でなければならない。

一般的の望遠鏡に於て rear slide bearing を整正する様に設計せられてゐるのは、偶然にも此の理論に適つてゐる。

然し、G 線合部の精度を G_r 線合部の精度の 3~6 倍とすべき事は幾何光学学者に依つて明かにされてゐなかつた。又、勿論製作所は知る由もなかつた。

75. $\delta = g$ なる望遠鏡 ラムスデン式及ハイゲン式望遠鏡に於て(図-12 及図-30 参照)

なる関係が成立する時は、トランシットの継承線並にワイ・レベルの横交線の完全修正の各点に見いだ

の如く、器械の定数を含まざる極めて簡便なる形となるのみならず、被重量の増加は必ずしも減じる。

此處で注意すべきは、68. に於て説明せる文献(10)のワイ レベルの objective slide adjustment の整正量(102)式は全く(107)式と一致して誤差を含まざることとなることである。即ち δ_{-g} を無視して得た値であつたので、80% 前後の大誤差を生じてゐるのである。

又、(105) 式に依り (49) 式より

$$E_p \varphi_p = \left\{ \frac{E_p - C_p}{C_p - \delta} + 1 + \frac{C_p - \delta}{\zeta} \right\} e_{g,p} - \frac{C_p - \delta}{\zeta} e_{gr,p} - \frac{E_p - C_p}{C_p - \delta} \quad \dots \dots \dots \quad (110)$$

を得る。(49) 式と比較して明かなる如く、 $\delta = \gamma$ なる臨滲鏡に於ては視點の偏倚誤差は零となる。

此の方式の望遠鏡では図-12 及図-30 の G に於て objective slide 並に front slide bearing の直径を大とせざるべからざるが故に top heavy となり stability は少しく害せられるが、之は設計法に依り救済策はある。

結 論

以上の理論的並に實驗的研究に依つて、從來に於けるトランシットの横叉線の整正法及トランシット並にワイレベルの objective slide adjustment が根本的に誤られてゐたことが明瞭に理解せられた。

又製作所に於ても測量技術者並に学者に於ても上記の誤れる整正法を固守する事の止むを得なかつた理由が明かにされた。亦修理所では全く無視するより外、方法がなかつたことも判つた。

扱て、今日迄等間に附してゐた器械の誤差は以外に大であることが解つたから、今後は器械は出来るだけ合理的検査をした上、購入又は使用の如何を定めなければならない。

又、工場に於ては組立ての後、現場に於ては永年使用した時、過失により、損傷をうけた時等必ず完全整正法に依り、叉線を完全に検査整正する必要がある。

完全整正法と命名した理由は、通常の叉線整正法即ち $1/4$ 法又は $1/3$ 法の外に objective slide adjustment に依り (72) 式を満足せしめなければ、整正は完成せられないからで、原語の Integral Adjustment の意味は實に適確にあてはまつてゐる。又トランシットの横叉線の整正は第 2 章の方法に依れば通常の用途には充分である。故に此の方法をも完全整正法と總稱して置いた。

次に對物レンズの枠への嵌め込みは 18. 及 71. に依り centering の誤差が零なる様嵌め込めば理想的である。

叉線の整正は三脚の優劣に左右せられること大であるから改良すべきである。例へば図-31 の E 型は優良なる三脚の 1 例である。

ラムスデン式及ハイゲン式望遠鏡に於て、對物レンズを出入する時生ずる器械の不平均を避けるため、ウイルトツァイス式(内鏡合焦式)に改めるよりも、寧ろ劣等な三脚を改良した方が經濟的である許りでなく、又光学的にも優れてゐる。

又トランシットの standard も two piece のものは仕上げに遺憾な點がある。one-piece に作られたものでなければ使用中に狂ひを生じ易い。

最後に土木技術者諸君に於かれても億劫がらずに完全整正法も利用していただき度いのである。何故ならば、製作者は土木技術者が、精密光学器械の知識に暗く、自ら重要な整正を等閑視し、妥當正鵠な要求をしないことを内心秘かに非常に喜んでゐる現状である。

故にその一教策として、測量器械に對する規格 (J. E. S.) の速かに制定せられむことを祈つて止まない次第である。

本文は可なり長文となつたが、元々此の方面に於ては一つの頼るべき文獻もなく、悉くが新しい仕事であつたので、全然未知の方々に御説明するため必要とせられるに至つたのである。

又紙數の都合上細部の説明を省略し、又叮嚀な説明が出來なかつた事を御詫すると共に、最後に、本研究に當つては東大名譽教授中山秀三郎先生、東大教授物部長穂先生、東大教授山口昇先生、東大講師藤井眞透先生、東大教授關信雄先生並に北大名譽教授吉町太郎一先生、北大教授鷹部屋福平先生の多大の御援助を與へられたことを厚く感謝する次第である。

文 獻

- (1) Takaichi SHINGO. "Correct New Formulas to Tracy's Procedure and a New Method of Adjustment of the Horizontal Cross-Hair in a Transit" in the Memoirs of the Faculty of Engineering, the Hokkaidō Imperial University, Sapporo, Japan, Vol. 3, No. 1, March, 1932.
- (2) Takaichi SHINGO. "The Condition of Adjustability and the Precision of the Author's Correct New Formulas to Tracy's Procedure and the Author's Method in Adjustment of the Horizontal Cross-Hair in a Transit" in the Memoirs of the Faculty of Engineering, the Hokkaidō Imperial University, Sapporo, Japan, Vol. 3, No. 6, May, 1934.
- (3) Takaichi SHINGO. Application for the subsidy to the organization "Foundation for the Promotion of Scientific and Industrial Research of Japan" about the researches on the Methods for Integral Adjustment of the cross-hairs in a transit, on Feb. 22, 1934.
- (4) Takaichi SHINGO. The report of the researches on the Methods for Integral Adjustment of the cross-hairs in a transit for "Foundation for the Promotion of Scientific and Industrial Research of Japan" in May, 1935.
- (5) Baker, Ira O. Engineering Surveying Instruments, 1892.
- (6) Gillespie, W. M. A Treatise on Surveying, 1922.
- (7) Johnson, J. B. and Smith, L. S. The Theory and Practice of Surveying, 1914.
- (8) Breed, C. B. and Hosmer G. L. The Principles and Practice of Surveying, 1931.
- (9) Tracy, J. C. Plane Surveying 1907.
- (10) Gurley, W. & L. E. A Manual of the Principal Instruments used in American Engineering and Surveying, 1927.
- (11) Thomas, W. N. Surveying 1932.
- (12) Handbuch der Physik, Bd. XVIII: Geometrische Optik, Optische Konstante. u. Optische Instrumente, 1927.
- (13) Handbuch der Experimental-Physik, Bd. 20, 2. Teil: Geometrische Optik, 1929.
- (14) Zeiss Ueber den Werdegang eines photographischen Objektives, s. 18~21.
- (15) Handbuch der Wissenschaftlichen u. Angewandten Photographie, Bd. I: Das Photographische Objektiv, 1932.
- (16) French, J. W. Applied Optics, 1918.

附 言

著者は嘗て特殊レンズの設計に當り、7行の眞數又は對數表では間に合はなくて、10行の眞數表を使用したことある。

一般に幾何光学の計算では極度の微小量をも考慮しなければならぬ。單なる判断で微小量を無視し様ものなら、最後の結果には救ふべからざる莫大な誤差を惹起する。故に極微小量の取捨にも、最後の結果と對稱してその影響を算定した後でなければならない。此の理由に依り Instrumental Constant を定数と假定することが出来ないのである。又 C' の変量と同大の微小量を等閑視することも出来ない。例へば (32) 及 (38) 式は、 C' を定数として誘導し得るであらうが、(34), (40) 及 (74) 式等は誘導し得られない。又精度も判らないから近似値を以て精密値とし、精密値を以て近似値と誤つた例もある。

要するに 100% を超える誤差は眞の意味の誤差とは考へられない。出鱈目の計算である。

從來の算定者は此の重大なる幾何光学の特質及精密器械学的のトランシット並にワイ レベルの工作上の知識に完全に缺けてゐたために後記の様に 120% を超ゆる驚くべき莫大な誤差を惹起してゐた。

元來本研究は幾何光学者、光学器械の研究者製作者及使用者の順に研究さるべきものであつた。然し使用者は幾何

光学及精密器械工作法の知識を必要とするため到底完全な研究の餘裕がなかつた。又光学者は新物理学の開拓のため物理(又は波動)光学の研究に餘念がなく、光学器械研究者は新装置の研究に専念し、或は認識不足でもあつた。製作者は使用者の要求のない様な難問を解決する餘力もなく市場の競争のみを念頭において、等閑視してゐた。

夫れ故に既往には類似の研究文献すら1つもなかつた。

從て(1)～(6)式以外の諸式、各事項誤差検出法及實驗裝置は悉く著者の創案のものである。又實驗裝置の組立て、實驗計算、製図等は悉く著者自身の勞作に依るもので1人の助手をも煩はさなかつた。

原文及本文の説明以外に、幾何光学上の高級な問題もあるが、實用上には何等の影響もないで煩雑を避けるために省略した。

終りに、原文を英文としたのは、國産の器械が歐米のものゝ模倣で、文献も同様であるから、日本の學問の深さを米英に示し、その誤りを是正する積りであつた。和文で公にしなかつたため、日本の實際家より大いに御叱言を賜つたので深く御詫びする次第である。