室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

水準網の調整計算について

メタデータ	言語: Japanese
	出版者: 室蘭工業大学
	公開日: 2014-05-22
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 森田, 健造
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3075

水準網の調整計算について

森　田　健　造

Calculation for Adjustment of Level Net

Kenzo Morita

Abstract

In this paper two things are described; the method to make mechanically the correlate normal equations and the equations to find unknown corrections, and the calculation method on the figure to find mechanically correlates and unknown corrections by examinating these equations.

Moreover, the author examined the error of adjusting values by using this method of adjusting calculations.

I 序　　説

水準網の調整は，平面三角網の調整条件から測点関係を除外した場合に似ているが，その形状には三角網のような一定の形式がない。しかし玆に述べるように水準網を構成する各水準線に任意に矢の方向を仮定し，条件方程式を立ててコリレート正規方程式を導き，之を順序正しく配列すれば，その式中のコリレートとその係数の間及びその式全体としてのコリレート相互の間には，常に一定の規則正しい関係が見出され，又補正値を求める式も常に特有の方式に従つていることが判るから，コリレート正規方程式及び補正値を求める式は，一定の計算手続で誘導しなくても，水準網を参照して各水準線に任意に矢の方向を記入するだけで，機械的に且つ正確に作製する事ができる。

本文は水準網のコリレート正規方程式及び補正値を求める式の機械的作製方法を見出し，更に之等の式を吟味する事により，各コリレート及び補正値の機械的図上計算法を述べた。

本文に於ける共通の符号を次に表わす。

l_m,　各水準点間の実測水準差（但し$m=1,\ 2,\ \cdots\cdots n$，以下mは共通）

d_m,　各水準点間の距離

p_m,　実測水準差の重み

V_m,　実測水準差の補正値

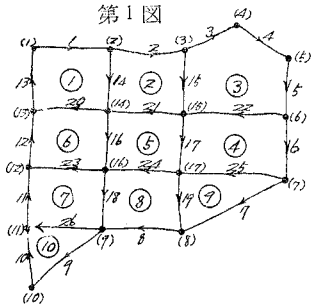
M_m, 実測水準差の調整値

K_m, 条件方程式のコリレート（即ち箇々の水準環のコリレート）

Ⅱ　コリレート正規方程式

第1，　外周線には右廻り（時計方向），内部の縦線及び横線には，それぞれ下向き及び左向きに矢の方向を仮定した場合

第1図



各水準線の傍に記入した数字は水準線の番号を表わす。

各閉合図形を考えた場合にも矢の方向は時計方向を正，反時計方向を負と規約（以下共通）して，第1図より条件方程式を作ると次の様になる。

$$
\left.
\begin{array}{lll}
1. & V_1+V_{14}+V_{20}+V_{13}+w_1=0 & \text{但し}\ w_1=l_1+l_{14}+l_{20}+l_{13} \\
2. & V_2+V_{15}+V_{21}-V_{14}+w_2=0 & w_2=l_2+l_{15}+l_{21}-l_{14} \\
3. & V_3+V_4+V_5+V_{22}-V_{15}+w_3=0 & w_3=l_3+l_4+l_5+l_{22}-l_{15} \\
4. & V_6+V_{25}-V_{17}-V_{22}+w_4=0 & w_4=l_6+l_{25}-l_{17}-l_{22} \\
5. & V_{17}+V_{24}-V_{16}-V_{21}+w_5=0 & w_5=l_{17}+l_{24}-l_{16}-l_{21} \\
6. & V_{16}+V_{23}+V_{12}-V_{20}+w_6=0 & w_6=l_{16}+l_{23}+l_{12}-l_{20} \\
7. & V_{18}+V_{26}+V_{11}-V_{23}+w_7=0 & w_7=l_{18}+l_{26}+l_{11}-l_{23} \\
8. & V_{19}+V_8-V_{18}-V_{24}+w_8=0 & w_8=l_{19}+l_8-l_{18}-l_{24} \\
9. & V_7-V_{19}-V_{25}+w_9=0 & w_9=l_7-l_{19}-l_{25} \\
10. & V_9+V_{10}-V_{26}+w_{10}=0 & w_{10}=l_9+l_{10}-l_{26}
\end{array}
\right\}\quad(1)
$$

最小二乗法の原理により

$$
W=[pv^2]-2K_1(V_1+V_{14}+V_{20}+V_{13}+w_1)-2K_2(V_2+V_{15}+V_{21}-V_{14}+w_2)
$$
$$
\cdots\cdots\cdots-2K_{10}(V_9+V_{10}-V_{26}+w_{10})
$$

を最小にするために $\dfrac{\partial W}{\partial V}=0$　より補正値を求めると次のようになる。

$$
\left.
\begin{array}{l}
V_1=\dfrac{K_1}{p_1},\quad V_2=\dfrac{K_2}{p_2},\quad V_3=\dfrac{K_3}{p_3},\quad V_4=\dfrac{K_3}{p_4},\quad V_5=\dfrac{K_3}{p_5},\quad V_6=\dfrac{K_4}{p_6}, \\
V_7=\dfrac{K_9}{p_7},\quad V_8=\dfrac{K_8}{p_8},\quad V_9=\dfrac{K_{10}}{p_9},\quad V_{10}=\dfrac{K_{10}}{p_{10}},\quad V_{11}=\dfrac{K_7}{p_{11}},\quad V_{12}=\dfrac{K_6}{p_{12}}, \\
V_{13}=\dfrac{K_1}{p_{13}},\quad V_{14}=\dfrac{K_1-K_2}{p_{14}},\quad V_{15}=\dfrac{K_2-K_3}{p_{15}},\quad V_{16}=\dfrac{K_6-K_5}{p_{16}},
\end{array}
\right\}\quad(2)
$$

$$
\left.\begin{aligned}
&V_{17}=\frac{K_5-K_4}{p_{17}},\quad V_{18}=\frac{K_7-K_8}{p_{18}},\quad V_{19}=\frac{K_8-K_9}{p_{19}},\quad V_{20}=\frac{K_1-K_6}{p_{20}},\\
&V_{21}=\frac{K_2-K_5}{p_{21}},\quad V_{22}=\frac{K_3-K_4}{p_{22}},\quad V_{23}=\frac{K_6-K_7}{p_{23}},\quad V_{24}=\frac{K_5-K_8}{p_{24}},\\
&V_{25}=\frac{K_4-K_9}{p_{25}},\quad V_{26}=\frac{K_7-K_{10}}{p_{26}},
\end{aligned}\right\}
$$

同一条件の下に行われる直接高低測量の重みは距離に反比例するから（2）式の $\frac{1}{p_m}$ の代りに d_m を用いると

$$
\left.\begin{aligned}
&V_1=d_1K_1,\quad V_2=d_2K_2,\quad V_3=d_3K_3,\quad V_4=d_4K_3,\quad V_5=d_5K_3,\quad V_6=d_6K_4,\\
&V_7=d_7K_9,\quad V_8=d_8K_8,\quad V_9=d_9K_{10},\quad V_{10}=d_{10}K_{10},\quad V_{11}=d_{11}K_7,\quad V_{12}=d_{12}K_6,\\
&V_{13}=d_{13}K_1,\quad V_{14}=d_{14}(K_1-K_2),\quad V_{15}=d_{15}(K_2-K_3),\quad V_{16}=d_{16}(K_6-K_5),\\
&V_{17}=d_{17}(K_5-K_4),\quad V_{18}=d_{18}(K_7-K_8),\quad V_{19}=d_{19}(K_8-K_9),\quad V_{20}=d_{20}(K_1-K_6),\\
&V_{21}=d_{21}(K_2-K_5),\quad V_{22}=d_{22}(K_6-K_4),\quad V_{23}=d_{23}(K_6-K_7),\quad V_{24}=d_{24}(K_5-K_8),\\
&V_{25}=d_{25}(K_4-K_9),\quad V_{26}=d_{26}(K_7-K_{10}),
\end{aligned}\right\}\quad(2')
$$

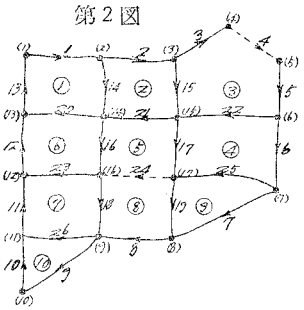
（2′）を（1）に代入すればコリレート正規方程式が求められ，此の式のコリレート係数を抜出して配列すると第1表の様になる。

第1表（コリレート正規方程式）

種別	左辺 K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	ω	右辺
1	$(d_1+d_4+d_{20}+d_{13})$	$-d_{14}$				$-d_{20}$					ω_1	0
2	$-d_{14}$	$(d_2+d_5+d_{21}+d_{14})$	$-d_{15}$		$-d_{21}$						ω_2	0
3		$-d_{15}$	$(d_3+d_6+d_5+d_{22}+d_{15})$	$-d_{22}$							ω_3	0
4			$-d_{22}$	$(d_8+d_{25}+d_{17}+d_{22})$	$-d_{17}$				$-d_{25}$		ω_4	0
5		$-d_{21}$		$-d_{17}$	$(d_{16}+d_{21}+d_{17}+d_{24})$	$-d_{16}$		$-d_{24}$			ω_5	0
6	$-d_{20}$				$-d_{16}$	$(d_{12}+d_{20}+d_{16}+d_{23})$	$-d_{23}$				ω_6	0
7						$-d_{23}$	$(d_{11}+d_{23}+d_{18}+d_{26})$	$-d_{18}$		$-d_{26}$	ω_7	0
8					$-d_{24}$		$-d_{18}$	$(d_{19}+d_{24}+d_{19}+d_8)$	$-d_{19}$		ω_8	0
9				$-d_{25}$				$-d_{19}$	$(d_7+d_{19}+d_{26})$		ω_9	0
10							$-d_{26}$			$(d_9+d_{10}+d_{26})$	ω_{10}	0

第1図は各水準線の高低差が全部未知の場合であるが，若し水準網の中で連続する2箇以上の水準点の標高が既知の場合，例えば第2図の水準点（4）と（5）及び（16）と（17）の標高が既知の場合は，（1）式の条件式中で水準線4及び24に関係する各式は次の様に変化する。

第2図



点線は水準差が既知

$$
\left.
\begin{array}{lll}
3. & V_3+V_5+V_{22}-V_{15}+w_3=0 & \text{但し } w_3=l_3+l_5+l_{22}-l_{15}+h_4 \\
5. & V_{17}-V_{16}-V_{21}+w_5=0 & w_5=l_{17}-l_{16}-l_{21}+h_{24} \\
8. & V_{19}+V_8-V_{18}+w_8=0 & w_8=l_{19}+l_8-l_{18}-h_{24} \\
 & \text{上式中の } h_4 \text{ 及び } h_{24} \text{ は標高既知の水準点（5）と（4）} & \\
 & \text{及び（16）と（17）の標高の代数差} &
\end{array}
\right\}\quad(3)
$$

此の場合の補正値は（2′）式から V_4 及び V_{24} を，又コリレート正規方程式は第1表の3，5，8，の各式中から d_4 及び d_{24} を削除すれば求められる。

第2表は第2図に対するコリレート正規方程式である。（なほ補正値は簡単のため省略する）

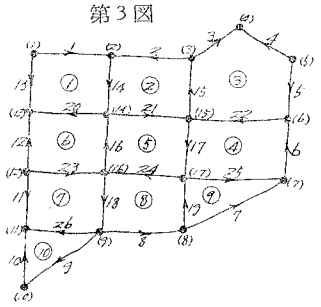
第2表（コリレート正規方程式）

種別	左辺											右辺
	コリレート										w	
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}		
1	$(d_1+d_4+d_{20}+d_{13})$	$-d_{14}$				$-d_{20}$					w_1	0
2	$-d_{14}$	$(d_2+d_5+d_{21}+d_{14})$	$-d_{15}$		$-d_{21}$						w_2	0
※3		$-d_{15}$	$(d_3+d_5+d_{22}+d_{15})$	$-d_{22}$							w_3	0
4			$-d_{22}$	$(d_6+d_{22}+d_{17}+d_{22})$	$-d_{17}$				$-d_{25}$		w_4	0
※5		$-d_{21}$		$-d_{17}$	$(d_6+d_{21}+d_{17})$	$-d_{16}$					w_5	0
6	$-d_{20}$				$-d_{16}$	$(d_{12}+d_{20}+d_{16}+d_{23})$	$-d_{23}$				w_6	0
7						$-d_{23}$	$(d_{11}+d_{23}+d_8+d_{26})$	$-d_8$		$-d_{26}$	w_7	0
※8							$-d_8$	$(d_{18}+d_9+d_8)$	$-d_{19}$		w_8	0
9				$-d_{25}$				$-d_{19}$	$(d_7+d_{19}+d_{25})$		w_9	0
10							$-d_{26}$			$(d_9+d_{10}+d_{26})$	w_{10}	0

※以外の各欄は第1表と同じ

第2，　各水準線の矢の方向を任意に仮定した場合

第3図



条件方程式

$$
\left.
\begin{array}{lll}
1. & V_1+V_{14}+V_{20}-V_{13}+w_1=0 & \text{但し}\ w=l_1+l_{14}+l_{20}-l_{13} \\
2. & -V_2-V_{14}-V_{21}-V_{15}+w_2=0 & w_2=-l_2-l_{14}-l_{21}-l_{15} \\
3. & V_3-V_4+V_5+V_{22}+V_{15}+w_3=0 & w_3=l_3-l_4+l_5+l_{22}+l_{15} \\
4. & -V_{22}-V_{17}-V_{25}-V_6+w_4=0 & w_4=-l_{22}-l_{17}-l_{25}-l_6 \\
5. & V_{17}+V_{24}+V_{16}+V_{21}+w_5=0 & w_5=l_{17}+l_{24}+l_{16}+l_{21} \\
6. & -V_{16}-V_{23}+V_{12}-V_{20}+w_6=0 & w_6=-l_{16}-l_{23}+l_{12}-l_{20} \\
7. & V_{18}+V_{26}-V_{11}+V_{23}+w_7=0 & w_7=l_{18}+l_{26}-l_{11}+l_{23} \\
8. & -V_{19}-V_8-V_{18}-V_{24}+w_8=0 & w_8=-l_{19}-l_8-l_{18}-l_{24} \\
9. & V_{25}-V_7+V_{19}+w_9=0 & w_9=l_{25}-l_7+l_{19} \\
10. & V_9+V_{10}-V_{26}+w_{10}=0 & w_{10}=l_9+l_{10}-l_{26}
\end{array}
\right\}\quad(4)
$$

前と同様の操作を行うと補正値は次の様になる。即ち

$$
\left.
\begin{array}{l}
V_1=d_1K_1,\quad V_2=-d_2K_2,\quad V_3=d_3K_3,\quad V_4=-d_4K_3,\quad V_5=d_5K_3,\quad V_6=-d_6K_4, \\
V_7=-d_7K_9,\quad V_8=-d_8K_8,\quad V_9=d_9K_{10},\quad V_{10}=d_{10}K_{10},\quad V_{11}=-d_{11}K_7,\quad V_{12}=d_{12}K_6, \\
V_{13}=-d_{13}K_1,\qquad V_{14}=d_{14}(K_1-K_2),\quad V_{15}=d_{15}(K_3-K_2),\quad V_{16}=d_{16}(K_5-K_6), \\
V_{17}=d_{17}(K_5-K_4),\quad V_{18}=d_{18}(K_7-K_9),\quad V_{19}=d_{19}(K_9-K_8),\quad V_{20}=d_{20}(K_1-K_6), \\
V_{21}=d_{21}(K_5-K_2),\quad V_{22}=d_{22}(K_3-K_4),\quad V_{23}=d_{23}(K_7-K_6),\quad V_{24}=d_{24}(K_5-K_8), \\
V_{25}=d_{25}(K_9-K_4),\quad V_{26}=d_{26}(K_7-K_{10}),
\end{array}
\right\}\quad(5)
$$

（5）式を（4）式に代入すればコリレート正規方程式を得られるが此の場合も各コリレートの配列及びコリレートの係数は第1表と等しく閉合誤差 w だけが（4）式の様に変化するだけである。（コリレート正規方程式省略）

第3図でも第2図の様に，連続する水準点（4）と（5）及び（16）と（17）の標高が既知の場合は，補正値（5）式より V_4 及び V_{24} の分を削除する事になるが，正規方程式の各コリレートの配列及び各コリレートの係数は第2表と全く相等しく，水準線4及び24に関係す

る閉合誤差だけが変る。即ち矢の方向を第3図と同様にすると閉合誤差は次の様になる。

$$\left.\begin{array}{l} w_3=l_3+l_5+l_{22}+l_5-h_4 \\ w_5=l_{16}+l_{21}+l_{17}+h_{24} \\ w_8=-l_{19}-l_8-l_{18}+h_{24} \\ w_1,\ w_2,\ w_4,\ w_6,\ w_7,\ w_9,\ w_{10},\ \text{は（4）式と同じ} \end{array}\right\} \quad (6)$$

Ⅲ 機械的図上調整計算

前記の各場合の補正値及びコリレート正規方程式は一定の計算手続きによつて導いたものであるが，是等の補正値及びコリレート正規方程式は，そのコリレートと係数の間には次の様な規則正しい一定の関係がある。

コリレート正規方程式は水準網を構成する箇々の図形毎に1箇づつ成立し，その各々の式にはその図形自身のコリレートとその図形の周りの未知線に隣接する他の図形のコリレートが存在し，前者のコリレートに対する係数は，その図形自身の周囲の未知線の距離の和（正号）で左肩からの大なる対角線係数となり，後者のコリレートに対する係数は，その図形と隣接図形との境の未知線の距離（負号）で対角線係数を軸として対称として配列される。故にこの性質を用いるときは，コリレート正規方程式のコリレート関係は水準網を参照すれば機械的に作製され，又水準閉合誤差 w も矢の方向を任意に記入すれば直ちに求める事ができるから，各コリレートの値は次の様に図上計算ができる。即ち，

水準網図に水準差の未知の線と既知の線とを区別して未知線には番号と距離を，又箇々の図形の中にはそれぞれの番号と水準閉合誤差及びその周囲の未知線の距離の和とを記入し，之を参照しながら次の順序で繰返し計算を行う。

第1近似値，一般的計算方式としては「そのコリレートが属する図形の周囲の未知線の距離の和でその図形の水準閉合誤差を割つて符号を換える」と求められるが，この計算は周囲の状況により次の2種に区別して行う方が収斂が速かである。即ち，

1，そのコリレートが属する図形の周囲の未知線のすべてに他の図形が隣接するものは上の一般的計算方式による。

2，そのコリレートが属する図形の周囲の未知線の中で他の図形に隣接しないものがある場合は，他の図形に隣接しない未知線の距離の和で，そのコリレートが属する図形の水準閉合誤差を割つて符号を換える。

第 m 近似値（但し $m=2,\ 3,\ \cdots\cdots n,$ ）そのコリレートが属する図形の周囲で他の図形に隣接する未知線の距離と，それらの未知線に隣接するそれぞれの図形のコリレートの第（$m-1$）近似値との積の代数和から，その図形の水準閉合誤差を減じ，之をその図形の周囲の未知線の

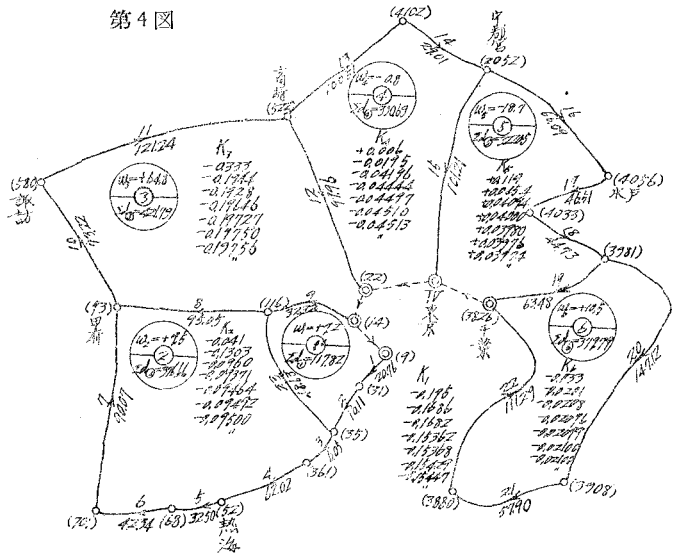
距離の和で割つて求めるが，此の場合に隣接図形のコリレートは，その求めるコリレートの属する図形より番号の少いものに対しては，第（$m-1$）近似値の代りに第 m 近似値を用いた方が繰返し計算の収斂が速かである。

又補正値は各水準線の矢の方向に対し，その線の両側に隣接する各図形を右及び左と規約すると，

$$\text{水準線の補正値}=(\text{その水準線の距離})\left\{\begin{pmatrix}\text{その水準線の右側の}\\\text{隣接図形のコリレート}\end{pmatrix}-\begin{pmatrix}\text{その水準線の左側の}\\\text{隣接図形のコリレート}\end{pmatrix}\right\}$$

Ⅳ 計　　算　　例

第4図



第4図は関東地方1等水準網[1] 略図に矢の方向を任意に記入したもので，図中の数字は次の意味を表わすものとする。即ち

水準線の矢の傍の1～22の数字は各水準線の番号で他の数字は距離(Km)，

$\Sigma d_{(m)}$（但し $m=1\sim6$）は個々の図形の周囲の未知線の距離の和（Km），ω は個々の図形の実測閉合誤差（mm）

なお，点線即ち，(3826)～Ⅳ，Ⅵ～(22)，(22)～(14)，(14)～(9)の各線の水準差は既知

計算方法

コリレート

第1近似値，コリレートが属する図形の周囲で他の図形に隣接しない未知線の距離の和で，その図形の w を割つて符号を換える。　即ち

1　大前憲三郎外3氏著，陸地測量学　P.315.

第7表

(1) 図番形号	(2) 水準線番号	(3) 水準線の水準差 l. (m)	(4) 水準線の距離 d. (Km)	(5) 閉合誤差 w. (mm)	(6) コリレート K	(7) 補正値 v (mm)	(8) 調整値 M. (m)	(9) $PV^2 = \frac{v^2}{d}$	(10) 観測値の推差 (mm) r_x	(11) 摘要
①	1.	$l_1=(31)-(9)=+1.4382$	20.76	$w_1=l_1+l_2-l_{23}$	$K_1=-0.16117$	−3.21	+1.43499	0.49633	±4.56	(3)欄は観測水準差に地球の形状の改正を施したもの.
	2.	$l_2=(35)-(31)=+6.8701$	16.18	$-l_9+h_1$		−2.49	+6.86761	0.38486	±4.38	
	23.	$l_{23}=(35)-(116)=-95.0844$	48.63	$=+7.2^{mm}$		+2.89	−95.08151	0.17175	±7.62	
	9.	$l_9=(116)-(14)=+69.0162$	32.32			−1.39	+69.01481	0.05978	±6.21	
		$h_1=(9)-(14)=-34.3693$	$\Sigma d_{①}=117.82$				$M_1+M_2+h_1-M_{23}-M_9=0$			
②	3.	$l_3=(361)-(35)=+33.8566$	6.05	$w_2=l_3+l_4+l_5$	$K_2=0.0950$	−0.57	+33.85603	0.05370	±2.69	(9), (14),
	4.	$l_4=(52)-(361)=+1.5384$	62.02	$+l_6+l_7-l_8$		−5.89	+1.53251	0.55937	±8.61	(22), IV
	5.	$l_5=(68)-(52)=-47.1054$	32.50	$+l_{23}=+9.5^{mm}$		−3.09	−47.10849	0.29379	±6.23	の各点は
	6.	$l_6=(701)-(68)=+1.4182$	42.34			−4.02	+1.41418	0.38168	±7.11	標高既
	7.	$l_7=(93)-(701)=+253.1579$	90.07			−8.56	+253.14934	0.81352	±10.37	知
	8.	$l_8=(93)-(116)=+147.7718$	95.05			−9.75	+147.76205	1.00013	±10.65	
	23.	$l_{23}=(35)-(116)=-95.0844$	48.63			+2.89	−95.08151		±7.62	
			$\Sigma d_{②}=376.66$				$\sum_3^7 M+M_{23}-M_8=+0.00001$			$r_x=\pm\frac{r}{\sqrt{p_x}}=\pm\sqrt{d}\,r$
③	9.	$l_9=(116)-(14)=+69.0162$	32.32	$w_3=l_9+l_8$	$K_3=0.19756$	−1.39	+69.01481		±6.21	
	8.	$l_8=(93)-(116)=+147.7718$	95.05	$+l_{10}+l_{11}+l_{12}$		−9.75	+147.76205		±10.65	
	10.	$l_{10}=(580)-(93)=+529.8486$	73.22	$+h_3=+64.8$		−14.47	+529.83413	2.85961	±9.35	
	11.	$l_{11}=(522)-(580)=-698.6059$	121.24			−23.95	−698.62985	4.73113	±11.00	
	12.	$l_{12}=(22)-(522)=-67.2432$	99.96			−15.24	−67.25844	2.32351	±10.93	
		$h_3=(14)-(22)=+11.2773$	$\Sigma d_{③}=421.79$				$\sum_8^{12} M+h_3=0$			
④	12.	$l_{12}=(22)-(522)=-67.2432$	99.96	$w_4=-l_{12}+l_{13}$	$K_4=0.04513$	−15.24	−67.25844		±10.93	
	13.	$l_{13}=(4102)-(522)=+310.4105$	100.51	$+l_{14}+l_{15}+h_4$		−4.54	+310.40596	0.20507	±10.95	
	14.	$l_{14}=(2052)-(4102)=-294.2902$	29.01	$=-0.8^{mm}$		−1.31	−294.29151	0.05916	±5.89	
	15.	$l_{15}=IV-(2052)=-109.5963$	101.21			−8.59	−109.60489	0.72986	±10.99	
		$h_4=(22)-IV=+26.2320$	$\Sigma d_{④}=330.69$				$-M_{12}+\sum_{13}^{15} M+h_4=0$			
⑤	15.	$l_{15}=IV-(2052)=-109.5963$	101.21	$w_5=-l_{15}+l_{16}$	$K_5=+0.07974$	−8.59	−109.60489		±10.99	
	16.	$l_{16}=(4056)-(2052)=-88.5191$	66.09	$+l_{17}+l_{18}+l_{19}$		+2.63	−88.51647	0.10466	±8.88	
	17.	$l_{17}=(4033)-(4056)=-21.8601$	46.51	$+h_5=-18.9^{mm}$		+1.85	−21.85825	0.07359	±7.45	
	18.	$l_{18}=(3981)-(4033)=+22.2628$	44.73			+1.78	+22.26458	0.07083	±7.31	
	19.	$l_{19}=(3826)-(3981)=-0.2509$	63.48			+3.86	−0.24704	0.23471	±8.71	
		$h_5=IV-(3826)=-1.2477$	$\Sigma d_{⑤}=322.05$				$-M_{15}+\sum_{16}^{19} M+h_5=+0.00001$			
⑥	19.	$l_{19}=(3826)-(3981)=-0.2509$	63.48	$w_6=-l_{19}+l_{20}$	$K_6=-0.02100$	+3.86	−0.24704		±8.71	
	20.	$l_{20}=(3908)-(3981)=+2.2538$	147.12	$+l_{21}+l_{22}$		−3.09	+2.25071	0.06490	±13.25	
	21.	$l_{21}=(3880)-(3908)=+1.0858$	57.90	$=+10.5^{mm}$		−1.22	+1.08458	0.02570	±8.31	
	22.	$l_{22}=(3826)-(3880)=-3.5800$	111.29			−2.94	−3.58234	0.04920	±11.53	
			$\Sigma d_{⑥}=379.79$				$M_{19}+\sum_{20}^{22} M=-0.00001$	$[PV^2]=15.74604$		

1 Km隔った2点間の水準差に対する推差　$r=\pm0.6745\sqrt{\frac{[PV^2]}{q}}=\pm0.6745\sqrt{\frac{15.74604}{6}}=\pm1.09^{mm}$

q＝条件等式の数

$$K_1=-\frac{\text{図形①の}w\ 7.2}{(20.76+16.11)}=-0.195$$

図形①の周囲で他の図形に隣接しない未知線の距離の和

同様の方法で

$$K_2=-\frac{9.5}{(6.05+62.02+32.50+42.34+90.07)}=-0.041$$

$$K_3=-\frac{64.8}{(73.22+121.24)}=-0.333$$

$$K_4=-\frac{-0.8}{(100.51+29.00)}=+0.005$$

$$K_5=-\frac{-18.7}{(66.09+46.51+44.73)}=+0.119$$

$$K_6=-\frac{10.5}{(147.12+57.90+111.29)}=-0.033$$

第2近似値

$$K_1=\frac{d_{23}\ \text{図形②のコリレートの第1近似値}\ d_9\ \text{図形③のコリレートの第1近似値}\ w_1}{\underset{\text{図形①の周囲の未知線の距離の和即ち}\Sigma d①}{117.82}}$$

$$=\frac{48.63\times(-0.041)+32.32\times(-0.333)-7.2}{117.82}=-0.1686$$

$$K_2=\frac{d_{23}\ \text{図形①のコリレートの第2近似値}\ d_8\ \text{図形③のコリレートの第1近似値}\ w_2}{\underset{\Sigma d②}{376.62}}$$

$$=\frac{48.63\times(-0.1686)+95.05\times(-0.333)-9.5}{376.62}=-0.1303$$

同様にして

$$K_3=\frac{d_9\ \text{図形①の第2}\ d_8\ \text{図形②の第2}\ d_{12}\ \text{図形④の第1}\ w_3}{\underset{\Sigma d③}{421.79}}$$

$$=\frac{32.39\times(-0.1686)+95.05\times(-0.1303)+99.96\times0.006-64.8}{421.79}=-0.1944$$

$$K_4=\frac{d_{12}\ \text{③の第2}\ d_{15}\ \text{⑤の第1}\ w_4}{\underset{\Sigma d④}{330.69}}$$

$$=\frac{99.96\times(-0.1944)+101.21\times0.119-(-0.8)}{330.69}=-0.0195$$

$$K_5=\frac{d_{15}\ \text{④の第2}\ d_{19}\ \text{⑥の第1}\ w_5}{\underset{\Sigma d⑤}{322.09}}$$

$$=\frac{101.21\times(-0.0195)+63.48\times(-0.033)-(-18.7)}{322.09}=+0.0459$$

$$K_6=\frac{d_{19}\ \text{⑤の第2}\ w_6}{\underset{\Sigma d⑥}{379.79}}$$

$$=\frac{63.48\times0.04593-10.5}{379.79}=-0.0201$$

第3近似値は第2近以値を求める際の第1近似値の代りに第2近似値を，第2近似値の代りに第3近似値を代入して求める。以下所要の精度に達するまで此の操作を繰返す。計算の経過

は第4図に記載してある。

補正値

$$\text{水準線の補正値}=(\text{水準線の距離})\left\{\begin{pmatrix}\text{水準線の右側の隣接}\\\text{図形のコリレート}\end{pmatrix}-\begin{pmatrix}\text{水準線の左側の隣接}\\\text{図形のコリレート}\end{pmatrix}\right\}$$

水準線の両側に隣接図形のあるもの

水準線8の距離d_8　右側の隣接図形のコリレートK_8　左側の隣接図形のコリレートK_9

$V_8=95.05\times\{(-0.19756)-(0.09500)\}=-9.75\text{mm}$　　同様にして

$V_9=32.32\times\{-0.19756-(-0.15447)\}=-1.39\text{mm}$

$V_{12}=99.96\times\{-0.19756-(-0.04513)\}=-15.24\text{mm}$

$V_{15}=101.21\times(-0.04513-0.03974)=-8.59\text{mm}$

$V_{19}=63.48\times\{0.03974-(-0.02100)\}=+3.86\text{mm}$

$V_{23}=48.63\times\{-0.09500-(-0.15447)\}=+2.89\text{mm}$

水準線の右側にだけ図形の隣接するもるの

水準線1の距離d_1　右側の隣接図形のコリレートK_1

$V_1=20.76\times(-0.15447)=-3.21\text{mm}$

$V_2\sim V_7$, V_{10}, V_{11}, V_{13}, V_{14}, $V_{16}\sim V_{18}$, $V_{20}\sim V_{22}$, も同様の方法で求められる。之等は第3表に表示してある。

V 調整計算の誤差

水準網は三角網と異なりその形が多種多様のため之を一定の形式に分類することはできないが，前記の様に各コリレートに関係する他のコリレートは，そのコリレートの属する図形の周囲のコリレートだけ，又水準線の補正値を求める式に関係するコリレートは，その線の両側のコリレートだけであるから，この事から考えればその性質はすべて一定と見なす事もできる。

茲に提案した機械的図上計算法による各近似補正値及び調整値に対する誤差を調べるために以上の性質から関東地方1等水準網の実測例（即ち前記計算例）より各近似調整値及びその誤差を求めるほか，更に此の水準網の閉合誤差の条件を変更して調整計算を行い，之等の結果を比較検討する。

(1) 1等水準網の実測例に対する調整誤差

第3表には関東地方1等水準網に対する地理調査所の実測例についての調整計算の結果を表示したが，更に此の調整計算の過程に於けるコリレートの各近似値に対応する補正値と調整値及び閉合誤差を求めると，第4表となり掲記すると次の様になる。即ち

各水準線の調整値に対する誤差は，第3近似値では 0.01mm ～ 0.62mm，第4近似値では

0.01mm～0.28mm，第5近似値では 0.01mm～0.04mm，第6近似値では 0～0.01mm，第7近似値では 0～0.01mmで

各水準環線の調整閉合誤差は，第3近似値では0.01mm～2.21mm，第4近似値では0.01mm～0.44mm，第5近似値では 0～0.07mm，第6近似値では 0～0.03mm，第7近似値では 0～0.01mmである。

(2) 水準網の閉合誤差を1等及び2等水準測量の許容限度まで増加した場合の調整誤差

地理調査所の水準測量規定によると，1等及び2等水準測量に対する閉合誤差の許容限度はそれぞれ $1.5\sqrt{S}$ mm及び $10\sqrt{S}$ mmである。(但し S は距離でKm) 前記の関東地方水準網の閉合誤差を，上の1等及び2等水準の許容限度まで増加した場合に対しても前と同様の調整計算を行い，各補正値と調整値及び閉合誤差の変化の過程を表示すると第5表及び第6表となり摘記すると次の様になる。即ち

1等水準では，水準線の調整値に対する誤差は，第3近似値では 0.01mm～0.80mm，第4近似値では 0～0.57mm，第5近似値では 0～0.30mm，第6近似値では 0～0.06mm，第7近似値では 0～0.01mm，又水準環線の調整閉合誤差は，第3近似値では 0～2.21mm，第4近似値では 0～2.59mm，第5近似値では 0.01mm～0.68mm，第6近似値では 0.1mm～0.27mm，第7近似値では 0～0.01mm，第8近似値では 0～0.01mmで，又2等水準では，水準線の調整値に対する誤差は，第3近似値では 0～8.18mm，第4近似値では 0.14mm～2.94mm，第5近似値では 0.02mm～0.42mm，第6近似値では 0～0.13mm，第7近似値では 0～0.03mm，第8近似値では 0～0.03mm，水準環線の調整閉合誤差は，第3近似値では 0.04mm～37.34mm，第4近似値では 0.14mm～5.15mm，第5近似値では 0.16mm～0.97mm，第6近似値では 0.02mm～0.30mm，第7近似値では 0～0.7mm，第8近似値では 0～0.03mm，である。

第4表 関東地方1等水準網の調整（地理調査所実測例による）

(1) 図番形号	(2) 水準線番号	(3) 水準差 l (m)	(4) 距離 d (Km)	(5) 閉合誤差 ω (mm)	(6) 第2近似値(暫定値) 補正値 v (mm)	(6) 調整値 M (m)	(7) 第3近似値 補正値 v (mm)	(7) 調整値 M (m)	(8) 第4近似値 補正値 v (mm)	(8) 調整値 M (m)	(9) 第5近似値 補正値 v (mm)	(9) 調整値 M (m)	(10) 第6近似値 補正値 v (mm)	(10) 調整値 M (m)
①	1	$l_1=+1.4382$	20.76		-3.21	+1.43499	-3.49	+1.43471	-3.19	+1.43501	-3.19	+1.43501	-3.20	+1.43500
	2	$l_2=+6.8701$	16.11		-2.49	+6.86761	-2.71	+6.86739	-2.47	+6.86763	-2.48	+6.86762	-2.49	+6.86761
	23	$l_{23}=-95.0844$	48.63		+2.89	-95.08151	+3.51	-95.08089	+2.72	-95.08168	+2.87	-95.08153	+2.89	-95.08151
	9	$l_9=+69.0162$	32.32		-1.39	+69.01481	-0.80	+69.01540	-1.38	+69.01482	-1.41	+69.01479	-1.40	+69.01480
		$h_1=-34.3693$		$\omega_1=+7.2$										
			$\Sigma d①=117.82$			$M_1+M_2+h_1-M_{23}-M_9=\omega_1=0$		$\omega_1=-0.00171$		$\omega_1=+0.00020$		$\omega_1=+0.00007$		$\omega_1=+0.00002$
②	3	$l_3=+33.8566$	6.05		-0.57	+33.85603	-0.58	+33.85602	-0.57	+33.85603	-0.57	+33.85603	-0.57	+33.85603
	4	$l_4=+1.5384$	62.02		-5.89	+1.53251	-5.95	+1.53245	-5.81	+1.53259	-5.87	+1.53253	-5.89	+1.53251
	5	$l_5=-47.1054$	32.50		-3.09	-47.10849	-3.12	-47.10852	-3.05	-47.10845	-3.08	-47.10848	-3.08	-47.10848
	6	$l_6=+1.4182$	42.34		-4.02	+1.41418	-4.06	+1.41414	-3.97	+1.41423	-4.01	+1.41419	-4.02	+1.41418
	7	$l_7=+253.1579$	90.07		-8.56	+253.14934	-8.65	+253.14925	-8.44	+253.14946	-8.52	+253.14938	-8.55	+253.14935
	8	$l_8=+147.7718$	95.05		-9.75	+147.76205	-9.20	+147.76260	-9.77	+147.76203	-9.75	+147.76205	-9.75	+147.76205
	23	$l_{23}=-95.0844$	48.63	$\omega_2=+9.5$	+2.89	-95.08151	+3.51	-95.08089	+2.72	-95.08168	+2.87	-95.08153	+2.89	-95.08151
			$\Sigma d②=376.66$			$\sum_3^7 M+M_{23}-M_8=\omega_2=+0.00001$		$\omega_2=-0.00015$		$\omega_2=+0.00015$		$\omega_2=+0.00007$		$\omega_2=+0.00003$
③	9	$l_9=+69.0162$	32.32		-1.39	+69.01481	-0.80	+69.01540	-1.38	+69.01482	-1.41	+69.01479	-1.40	+69.01480
	8	$l_8=+147.7718$	95.05		-9.75	+147.76205	-9.20	+147.76260	-9.77	+147.76203	-9.75	+147.76205	-9.75	+147.76205
	10	$l_{10}=+529.8486$	73.22		-14.47	+529.83413	-14.13	+529.83447	-14.19	+529.83441	-14.44	+529.83416	-14.46	+529.83414
	11	$l_{11}=-690.6059$	121.24		-23.95	-690.62985	-23.38	-690.62928	-23.82	-690.62972	-23.92	-690.62982	-23.94	-690.62984
	12	$l_{12}=-67.2432$	99.96		-15.24	-67.25844	-15.08	-67.25828	-15.20	-67.25840	-15.22	-67.25842	-15.23	-67.25843
		$h_3=+11.2773$		$\omega_3=+64.8$										
			$\Sigma d③=421.79$			$\sum_8^{12} M+h_3-\omega_3=0$		$\omega_3=+0.00221$		$\omega_3=+0.00044$		$\omega_3=+0.00006$		$\omega_3=+0.00002$
④	12	$l_{12}=-67.2432$	99.96		-15.24	-67.25844	-15.08	-67.25828	-15.20	-67.25840	-15.22	-67.25842	-15.23	-67.25843
	13	$l_{13}=+310.4105$	100.51		-4.54	+310.40596	-4.22	+310.40628	-4.47	+310.40603	-4.52	+310.40598	-4.53	+310.40597
	14	$l_{14}=-294.2902$	29.01		-1.31	-294.29151	-1.22	-294.29142	-1.29	-294.29149	-1.30	-294.29150	-1.31	-294.29151
	15	$l_{15}=-109.5963$	101.21		-8.59	-109.60489	-8.39	-109.60469	-8.55	-109.60485	-8.58	-109.60488	-8.59	-109.60487
		$h_4=+26.2320$		$\omega_4=-0.8$										
			$\Sigma d④=330.69$			$-M_{12}+\sum_{13}^{15} M+h_4=\omega_4=0$		$\omega_4=+0.00045$		$\omega_4=+0.00009$		$\omega_4=+0.00002$		$\omega_4=0$
⑤	15	$l_{15}=-109.5963$	101.21		-8.59	-109.60489	-8.39	-109.60469	-8.55	-109.60485	-8.58	-109.60488	-8.59	-109.60487
	16	$l_{16}=-88.5191$	66.09		+2.63	-88.51647	+2.71	-88.51639	+2.64	-88.51646	+2.63	-88.51647	+2.63	-88.51647
	17	$l_{17}=-21.8601$	46.51		+1.85	-21.85825	+1.90	-21.85820	+1.86	-21.85824	+1.85	-21.85825	+1.85	-21.85825
	18	$l_{18}=+2.2628$	44.75		+1.78	+2.26458	+1.83	+2.26463	+1.79	+2.26459	+1.78	+2.26458	+1.78	+2.26458
	19	$l_{19}=-0.2509$	63.48		+3.86	-0.24704	+3.92	-0.24698	+3.87	-0.24703	+3.86	-0.24704	+3.86	-0.24704
		$h_5=-1.2477$		$\omega_5=-18.7$										
			$\Sigma d⑤=322.05$			$-M_{15}+\sum_{16}^{19} M+h_5=\omega_5=0.00001$		$\omega_5=-0.00095$		$\omega_5=+0.00001$		$\omega_5=0$		$\omega_5=+0.00001$
⑥	19	$l_{19}=-0.2509$	63.48		+3.86	-0.25704	+3.92	-0.24698	+3.87	-0.24703	+3.86	-0.24704	+3.86	-0.24704
	20	$l_{20}=+2.2538$	147.12		-3.09	+2.25071	-3.06	+2.25074	-3.08	+2.25072	-3.09	+2.25071	-3.09	+2.25071
	21	$l_{21}=+1.0858$	57.90		-1.22	+1.08458	-1.20	+1.08460	-1.21	+1.08459	-1.22	+1.08458	-1.22	+1.08458
	22	$l_{22}=-3.5800$	111.29	$\omega_6=+10.5$	-2.34	-3.58234	-2.31	-3.58231	-2.33	-3.58233	-2.34	-3.58234	-2.34	-3.58234
			$\Sigma d⑥=379.79$			$\sum_{20}^{22} M-M_{19}=\omega_6=0$		$\omega_6=-0.00001$		$\omega_6=+0.00001$		$\omega_6=-0.00001$		$\omega_6=-0.00001$

備考 (1)～(6)欄は第2表より転記

第5表　1等水準測量の調整(関東地方1等水準網の閉合誤差を1等水準測量の許容限度まで増加した場合)

(1) 回路番号	(2) 水準路線番号	(3) 水準差 l (m)	(4) 距離 d (km)	(5) 閉合誤差 w (mm)	(6) 第3近似値 補正値 v (mm)	(6) 第3近似値 調整値 M (m)	(7) 第4近似値 補正値 v (mm)	(7) 第4近似値 調整値 M (m)	(8) 第5近似値 補正値 v (mm)	(8) 第5近似値 調整値 M (m)	(9) 第6近似値 補正値 v (mm)	(9) 第6近似値 調整値 M (m)	(10) 第7近似値 補正値 v (mm)	(10) 第7近似値 調整値 M (m)	(11) 第8近似値 補正値 v (mm)	(11) 第8近似値 調整値 M (m)
①	1	$l_1=+1.4473$	20.76		−4.53	+1.44277	−4.49	+1.44281	−4.45	+1.44285	−4.54	+1.44276	−4.56	+1.44274	−4.56	+1.44274
	2	$l_2=+6.8701$	16.11		−3.52	+6.86658	−3.49	+6.86661	−3.45	+6.86665	−3.52	+6.86658	−3.53	+6.86657	−3.57	+6.86656
	23	$l_{23}=-95.0844$	48.63		+4.40	−95.08000	+3.85	−95.08055	+4.08	−95.08032	+4.31	−95.08009	+4.31	−95.08009	+4.32	−95.08008
	9	$l_9=+69.0162$	32.32		+4.04	+69.02024	+3.75	+69.01995	+3.77	+69.01997	+3.86	+69.02006	+3.86	+69.02006	+3.87	+69.02007
		$h_1=-34.3693$	$\Sigma d_①=117.82$	$w_1=+1.63$		$M_1+M_2-M_{23}-M_9+h_1=w_1=-0.00019$		$w_1=+0.00007$		$w_1=+0.00055$		$w_1=+0.00007$		$w_1=+0.00004$		$w_1=0$
②	3	$l_3=+33.8566$	6.05		−0.77	+33.85583	−0.83	+33.85577	−0.79	+33.85581	−0.79	+33.85581	−0.79	+33.85581	−0.79	+33.85581
	4	$l_4=+1.5384$	62.02		−7.93	+1.53047	−8.53	+1.52987	−8.09	+1.53031	−8.07	+1.53033	−8.11	+1.53029	−8.11	+1.53029
	5	$l_5=-47.1054$	32.50		−4.16	−47.10956	−4.47	−47.10987	−4.23	−47.10963	−4.23	−47.10963	−4.25	−47.10965	−4.25	−47.10965
	6	$l_6=+1.4182$	42.34		−5.22	+1.41298	−5.82	+1.41238	−5.51	+1.41269	−5.51	+1.41269	−5.53	+1.41267	−5.54	+1.41266
	7	$l_7=+253.1775$	90.97		−11.52	+253.16598	−12.38	+253.16512	−11.74	+253.16576	−11.72	+253.16578	−11.77	+253.16573	−11.78	+253.16572
	8	$l_8=+147.7718$	95.05		+3.29	+147.77509	+3.51	+147.77531	+3.13	+147.77493	+2.92	+147.77472	+2.94	+147.77474	+2.94	+147.77474
	23	$l_{23}=-95.0844$	48.63	$w_2=+29.1$	+4.40	−95.08000	+3.85	−95.08055	+4.08	−95.08032	+4.31	−95.08009	+4.31	−95.08009	+4.32	−95.08008
			$\Sigma d_②=376.66$			$\sum_3^8 M+M_{23}-M_3=w_2=+0.00044$		$w_2=-0.00259$		$w_2=-0.00031$		$w_2=-0.00027$		$w_2=+0.00002$		$w_2=+0.00001$
③	9	$l_9=+69.0162$	32.32		+4.04	+69.02024	+3.75	+69.01995	+3.77	+69.01997	+3.86	+69.02006	+3.86	+69.02006	+3.86	+69.02007
	8	$l_8=+147.7718$	95.05		+3.29	+147.77509	+3.51	+147.77531	+3.13	+147.77493	+2.92	+147.77472	+2.94	+147.77474	+2.94	+147.77474
	10	$l_{10}=+529.8486$	73.22		−6.83	+529.84177	−7.37	+529.84123	−7.13	+529.84147	−7.28	+529.84132	−7.31	+529.84129	−7.31	+529.84129
	11	$l_{11}=-690.6399$	121.24		−11.31	−690.65121	−12.20	−690.65210	−11.81	−690.65171	−12.05	−690.65195	−12.10	−690.65200	−12.11	−690.65201
	12	$l_{12}=-67.2432$	99.96		−17.78	−67.26098	−18.27	−67.26147	−18.08	−67.26128	−18.18	−67.26138	−18.19	−67.26139	−18.20	−67.26140
		$h_3=+112.2773$	$\Sigma d_③=421.79$	$w_3=+30.8$		$\sum_8^{12} M+h_3=w_3=+0.00221$		$w_3=+0.00022$		$w_3=+0.00068$		$w_3=+0.00007$		$w_3=0$		$w_3=0$
④	12	$l_{12}=-67.2432$	99.96		−17.78	−67.26098	−18.27	−67.26147	−18.08	−67.26128	−18.18	−67.26138	−18.19	−67.26139	−18.20	−67.26140
	13	$l_{13}=+310.3840$	100.51		+8.50	+310.39250	+8.26	+310.39226	+8.39	+310.39239	+8.29	+310.39229	+8.26	+310.39226	+8.26	+310.39226
	14	$l_{14}=-294.2902$	29.01		+2.45	−294.28775	+2.38	−294.28782	+2.42	−294.28778	+2.39	−294.28781	+2.38	−294.28782	+2.38	−294.28782
	15	$l_{15}=-109.5963$	101.21		−1.38	−109.59768	−1.73	−109.59803	−1.48	−109.59778	−1.52	−109.59782	−1.54	−109.59784	−1.54	−109.59784
		$h_4=+262.3220$	$\Sigma d_④=330.69$	$w_4=-27.3$		$-M_{12}+\sum_{13}^{15} M+h_4=w_4=+0.00005$		$w_4=-0.00012$		$w_4=+0.00011$		$w_4=+0.00004$		$w_4=-0.00001$		$w_4=0$
⑤	15	$l_{15}=-109.5963$	101.21		−1.38	−109.59768	−1.73	−109.59803	−1.48	−109.59778	−1.52	−109.59782	−1.54	−109.59784	−1.54	−109.59784
	16	$l_{16}=-88.5273$	66.09		+6.49	−88.52081	+6.56	−88.52074	+6.47	−88.52083	+6.44	−88.52086	+6.44	−88.52086	+6.44	−88.52086
	17	$l_{17}=-21.8601$	46.51		+4.57	−21.85553	+4.62	−21.85548	+4.55	−21.85555	+4.53	−21.85557	+4.53	−21.85557	+4.53	−21.85557
	18	$l_{18}=+2.2628$	44.73		+4.79	+2.26719	+4.44	+2.26724	+4.37	+2.26717	+4.36	+2.26716	+4.36	+2.26716	+4.36	+2.26716
	19	$l_{19}=-0.2509$	63.48		+10.07	−0.24083	+10.13	−0.24077	+10.06	−0.24084	+10.04	−0.24086	+10.03	−0.24087	+10.03	−0.24087
		$h_5=-1.2477$	$\Sigma d_⑤=322.05$	$w_5=-26.9$		$-M_{15}+\sum_{16}^{19} M+h_5=w_5=0$		$w_5=+0.00035$		$w_5=+0.00003$		$w_5=-0.00001$		$w_5=0$		$w_5=-0.00003$
⑥	19	$l_{19}=-0.2509$	63.48		+10.07	−0.24083	+10.13	−0.24077	+10.06	−0.24084	+10.04	−0.24086	+10.03	−0.24087	+10.03	−0.24087
	20	$l_{20}=+2.2725$	147.12		−8.90	+2.26360	−8.87	+2.26363	−8.90	+2.26360	−8.92	+2.26358	−8.92	+2.26358	−8.92	+2.26358
	21	$l_{21}=+1.0858$	57.90		−3.50	+1.08230	−3.49	+1.08231	−3.50	+1.08230	−3.51	+1.08228	−3.51	+1.08229	−3.51	+1.08229
	22	$l_{22}=-3.5800$	111.20	$w_6=+29.2$	−6.73	−3.58673	−6.71	−3.58671	−6.73	−3.58673	−6.74	−3.58674	−6.74	−3.58674	−6.74	−3.58674
			$\Sigma d_⑥=379.79$			$-M_{19}+\sum_{20}^{22} M=w_6=0$		$w_6=0$		$w_6=+0.00001$		$w_6=-0.00002$		$w_6=0$		$w_6=0$

備考　(1),(2),(4)の各欄は第3表より転記

第6表　2等水準網の調整（関東地方水準網の閉合誤差を2等水準網の許容限度まで増加した場合）

(1) 図番号	(2) 水準路線番号	(3) 水準差 l (m)	(4) 距離 d (Km)	(5) 閉合誤差 w' (mm)	(6) 第3近似値 補正値 v (mm)	(6) 第3近似値 調整値 M (m)	(7) 第4近似値 補正値 v (mm)	(7) 第4近似値 調整値 M (m)	(8) 第5近似値 補正値 v (mm)	(8) 第5近似値 調整値 M (m)	(9) 第6近似値 補正値 v (mm)	(9) 第6近似値 調整値 M (m)	(10) 第7近似値 補正値 v (mm)	(10) 第7近似値 調整値 M (m)	(11) 第8近似値 補正値 v (mm)	(11) 第8近似値 調整値 M (mm)
①	1	l_1=+1.5396	23.76		-27.29	+1.51031	-27.48	+1.51012	-30.10	+1.50950	-30.37	+1.50923	-30.39	+1.50921	-30.41	+1.50919
	2	l_2=+6.8701	16.11		-22.73	+6.84737	-22.88	+6.84722	-23.36	+6.84674	-23.57	+6.84653	-23.59	+6.84651	-23.60	+6.84650
	23	l_{23}=-95.0844	48.63		+28.78	-95.05542	+27.72	-95.05668	+28.30	-95.05610	+28.76	-95.05564	+28.77	-95.05563	+28.79	-95.05561
	9	l_9=+69.0162	32.32		+26.24	+69.04244	+24.79	+69.04099	+25.44	+69.04164	+25.78	+69.04198	+25.78	+69.04198	+25.79	+69.04199
		l_1=-34.3693	Σd① =117.82	w_1=+108.6		$M_1+M_2+l_1-M_{23}-M_9=w_1$ =+0.00136		w_1=+0.00075		w_1=+0.00023		w_1=+0.00012		w_1=+0.00007		w_1=+0.00001
②	3	l_3=+33.8566	6.05		-4.93	+33.85167	-5.14	+33.85146	-5.23	+33.85135	-5.27	+33.85133	-5.28	+33.85132	-5.28	+33.85132
	4	l_4=+1.5384	62.02		-50.55	+1.48785	-52.72	+1.48568	-53.83	+1.48457	-54.06	+1.48434	-54.10	+1.48430	-54.12	+1.48428
	5	l_5=-47.1054	32.50		-26.49	-47.13189	-27.63	-47.13302	-28.21	-47.13366	-28.33	-47.13373	-28.35	-47.13375	-28.36	-47.13376
	6	l_6=+1.4182	42.34		-34.51	+1.38369	-35.99	+1.38221	-36.75	+1.38145	-36.90	+1.38130	-36.93	+1.38127	-36.95	+1.38125
	7	l_7=+253.3425	90.07		-73.41	+253.26909	-76.56	+253.26594	-78.18	+253.26432	-78.51	+253.26399	-78.57	+253.26393	-78.60	+253.26390
	8	l_8=+147.7718	95.05		+20.53	+147.79233	+18.63	+147.79043	+19.49	+147.79129	+19.60	+147.79140	+19.57	+147.79137	+19.58	+147.79138
	23	l_{23}=-95.0844	48.62	w_2=+194.1	+28.78	-95.05542	+27.72	-95.05668	+28.30	-95.05610	+28.76	-95.05564	+28.77	-95.05563	+28.79	-95.05561
			Σd② =376.66			$\Sigma M+M_{23}-M_8=w_2$ =-0.07384		w_2=+0.00315		w_2=+0.00064		w_2=+0.00013		w_2=+0.00007		w_2=0
③	9	l_9=+69.0162	32.32		+26.24	+69.04244	+24.79	+69.04099	+25.44	+69.04164	+25.78	+69.04198	+25.78	+69.04198	+25.79	+69.04199
	8	l_8=+147.7718	95.05		+20.53	+147.79233	+18.63	+147.79043	+19.49	+147.79129	+19.60	+147.79140	+19.57	+147.79137	+19.58	+147.79138
	10	l_{10}=+529.8486	72.22		-47.86	+529.80074	-49.31	+529.80079	-48.54	+529.80006	-48.72	+529.79988	-48.80	+529.79980	-48.80	+529.79980
	11	l_{11}=-690.4653	121.24		-72.62	-690.53792	-79.17	-690.54446	-80.38	-690.54565	-80.67	-690.54597	-80.80	-690.54610	-80.80	-690.54610
	12	l_{12}=-67.2452	99.96		-117.35	-67.36055	-120.75	-67.36395	-121.25	-67.36445	-121.13	-67.36433	-121.18	-67.36438	-121.19	-67.36439
		l_3=+1.12773	Σd③ =421.79	w_3=+205.4		$\Sigma M+l_3=w_3$ =+0.01834		w_3=+0.00110		w_3=+0.00015		w_3=+0.00026		w_3=-0.00003		w_3=-0.00002
④	12	l_{12}=-67.2452	99.96		-117.35	-67.36055	-120.75	-67.36395	-121.25	-67.36445	-121.13	-67.36433	-121.18	-67.36438	-121.19	-67.36439
	13	l_{13}=+310.2297	100.51		+57.79	+310.28764	+57.78	+310.28763	+55.28	+310.28518	+55.12	+310.28502	+51.86	+310.28476	+54.84	+310.28474
	14	l_{14}=-294.2932	29.01		+16.65	-294.27962	+16.10	-294.27410	+15.96	-294.27424	+15.85	-294.27435	+15.83	-294.27437	+15.83	-294.27437
	15	l_{15}=-109.5963	101.21		-8.60	-109.60490	-9.92	-109.60623	-10.12	-109.60642	-10.40	-109.60670	-10.45	-109.60675	-10.46	-109.60676
		l_4=+128.2320	Σd④ =330.69	w_4=-191.4		$-M_{12}+\Sigma M+l_4=w_4$ =+0.00182		w_4=+0.00330		w_4=+0.00097		w_4=+0.00030		w_4=+0.00002		w_4=0
⑤	15	l_{15}=-109.5963	101.21		-8.60	-109.60490	-9.92	-109.60623	-10.12	-109.60642	-10.40	-109.60670	-10.45	-109.60675	-10.46	-109.60676
	16	l_{16}=-88.6799	66.09		+43.62	-88.63628	+43.16	-88.63674	+42.96	-88.63694	+42.91	-88.63699	+42.90	-88.63700	+42.90	-88.63700
	17	l_{17}=-21.8601	46.51		+30.70	-21.82940	+30.37	-21.82973	+30.23	-21.82987	+30.19	-21.82991	+30.19	-21.82991	+30.19	-21.82991
	18	l_{18}=+2.2628	44.75		+29.52	+2.29232	+29.21	+2.29201	+29.07	+2.29187	+29.04	+2.29184	+29.03	+2.29183	+29.03	+2.29183
	19	l_{19}=-0.2509	63.48		+67.48	-0.18342	+67.29	-0.18361	+66.97	-0.18393	+66.90	-0.18400	+66.89	-0.18401	+66.89	-0.18401
		l_5=-1.2477	Σd⑤ =322.05	w_5=-179.5		$-M_{15}+\Sigma M+l_5=w_5$ =+0.00042		w_5=+0.00046		w_5=-0.00015		w_5=-0.00006		w_5=-0.00004		w_5=-0.00003
⑥	19	l_{19}=-0.2509	63.48		+67.48	-0.18342	+67.29	-0.18361	+66.97	-0.18393	+66.90	-0.18400	+66.89	-0.18401	+66.89	-0.18401
	20	l_{20}=+2.4382	147.12		-59.29	+2.37892	-59.88	+2.37832	-59.58	+2.37862	-59.52	+2.37868	-59.54	+2.37866	-59.54	+2.37866
	21	l_{21}=+1.0858	57.90		-23.33	+1.06247	-23.57	+1.06223	-23.45	+1.06235	-23.42	+1.06237	-23.43	+1.06237	-23.43	+1.06237
	22	l_{22}=-3.5800	111.20	w_6=+194.9	-44.85	-3.62485	-44.30	-3.62430	-45.07	-3.62507	-45.03	-3.62502	-45.04	-3.62504	-45.04	-3.62504
			Σd⑥ =379.79			$-M_{19}+\Sigma M=w_6$ =-0.00094		w_6=-0.00014		w_6=-0.00017		w_6=+0.00002		w_6=0		w_6=0

備考　(1), (2), (4)の各欄は第3表より転記

(3) まとめ

以上の様に水準環線に対する閉合誤差の条件を種々変更して調整計算を行い，各近似調整値の誤差を算定したが，各条件に対する近似値を比較すると，水準網の等級の低い場合，即ち実測値に対する許容誤差の大きい場合は当然，調整計算の誤差も大きい。従つて若し調整値の誤差限界を一定にすれば，水準網の等級の低下するほど計算の回数を順次に増加しなければならないが，地理調査所の水準測量成果表には，1等水準の成果は真高mm以下1位まで，又2等水準水準成果はmmまで記載してあるので之を一応の標準として前記の結果を比較すると，最悪の条件として水準測量の許容限度まで閉合誤差が増加した場合に，1等水準では調整値の誤差は，水準線では第5近似値で 0～0.30mm，第6近似値で 0～0.06mm，水準環線では第5近似値で 0.01mm～0.68mm，第6近似値で 0.01mm～0.27mm，2等水準では調整値の誤差は水準線では第5近似値で 0.02mm～0.42mm，第6近似値で 0～0.13mm，水準環線では第5近似値で 0.16mm～0.97mm，第6近似値で 0.02mm～0.30mm，であり，更に地理調査所の実測例（第4表）では調整値の誤差は，第5近似値で水準線では 0.01mm～0.04mm，水準環線では 0～0.07mmであることから推定すれば，実際の精密水準測量の結果から水準線の調整値だけを求めるには第5近似値程度まで，又水準環線の調整値をも併せて求める場合には第6近似値程度まで計算すれば十分と思われる。

Ⅵ　結　　び

本文の要点は次の通りである。

(1) 水準網の各水準線に矢の方向を任意に記入すれば補正値を求める式及びコリレート正規方程式は，一定の計算手続きをしなくても極めて簡単に求められ且つ誤りも容易に発見できるなお，矢の方向はコリレート正規方程式のコリレート及びその係数の間には全く関係がなく，ただ水準閉合誤差と補正値を求める式に関係するだけである。

(2) コリレート及び補正値の図上計算法はコリレート正規方程式及び補正値を求める式の機械的作製方法の延長であるが，実際的には全く之等の式を念頭におかないで，ただ図上を参照しながら順次に計算を行えばよい。

(3) 此の図上計算に必要な要素は，コリレートの値を求めるには，そのコリレートの属する図形と之に隣接する図形だけ，補正値を求めるには，その水準線を挾む図形だけに限られ，何れも之等に隣接するものだけであるから，如何に複雑にみえる水準網に対しても便利且つ容易である。

(4) 此の調整計算法を実際の精密水準測量に用いる場合は，第5ないし第6近似値程度で所

定の精度が得られるものと推定される。

なお，本文の調整計算法は剛節架構の機械的図上計算法及び板倉忠三博士の平面三角網の調整計算に関する諸論文[2] よりヒントを得て水準網の調整に拡張応用したものである。

（昭和31年 4月18日受理）

2 板倉忠三，機械的図上計算法による基本三角網の迅速且つ厳密なる調整計算について 土木学会誌 第26巻 第9号
仝 上，機械的図上計算法による複合三角網の迅速且つ厳密なる調整計算について（その1） 土木学会誌 第29巻 第1号
仝 上，機械的図上計算法による複合三角網の迅速且つ厳密なる調整計算について（その2） 土木学会誌 第29巻 第2号