論說報告

第29卷第3號　昭和18年3月

四邊形の測量調整に就て

正會員　板倉忠三*

梗概　四邊形の調整に關する圖形條件中に新なる角條件を取り入れて，コリレート方程式を簡易化し更に機械的圖上計算法を應用して極めて效果的なることを述べ，計算例によつて詳細説明したものである。

目次

1. 緒論
2. コリレート方程式の誘導
3. コリレート方程式の性質
4. 圖上計算法
5. 計算例
6. 結說
7. コリレート方程式の解

1. 緒論

基本三角網はこれを分けて，閉多角形，開多角形，單列三角網及び四邊形の 4 種とすることが出來るが，その中四邊形はその他のものに比しこれを構成する三角形の數は少いが，4 ケの三角形が互ひに相交錯してゐる爲，その調整條件方程式は複雜となる。筆者は曩に[1,2]これら 4 種の基本三角網の調整に對し，機械的圖上計算法を發表しその簡明化を提唱したが，今回更に四邊形に關して新たなる角條件を取り入れることによつてコリレート方程式が著しく簡單化され，且つ圖上繰返し計算に極めて有利なことを確かめ玆に諸賢の御批判を請ふ次第である。

而してこの角條件の取り方は既に發表濟み[1]で爾來測量學の講義に於て講述し來つたのであるが，その際これによる圖上計算には觸れなかつたので玆に改めて發表するのである。

一般に四邊形の圖形調整條件は，角條件 3 ケ，邊條件 1 ケ，合計 4 ケである。而して從來行はれてゐる條件の取り方を擧げれば次の通りである。

1. 角條件

(1) 交錯した 4 ケの三角形中任意の 3 ケを取り各〻の內角の總和が 180° に等しかるべしとしたもので，從來最も多く用ひられてゐた。

(2) 三角形は交錯しない 2 ケを取り各〻の內角の總和は 180° に等しく，更に四邊形の全內角の和は 360° に等しかるべしとしたもの。

2. 邊條件

(1) 四邊形の外周點を極としたもの。

(2) 四邊形の對角線の交點 (0)（圖-1 參照）を假想して，これを極としたもの[1,2]。

筆者は邊條件には (2) を取り，角條件には上記以外のものを取つた。この方法によれば特にコリレート方程式

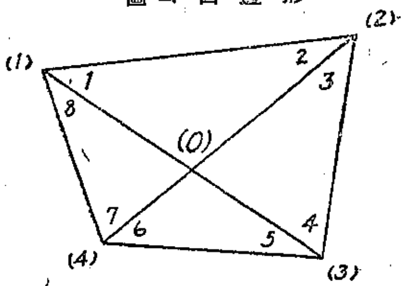
* 北海道帝國大學助敎授
1) 北海道帝國大學工學部紀要　第 5 卷第 3 號
2) 土木學會誌　第 26 卷第 9 號

は簡單化され，繰返し計算上最も收斂の速かな形となる。

本篇には，各測點に於て測點條件を同時に成立せしめた場合，及びこれを分離して角條件，邊條件のみを扱ふ場合とに就て計算例を掲げて詳述する。

而して，角度觀測の重みは凡て 1 とする。

圖-1. 四邊形



2. コリレート方程式の誘導

圖-1 の四邊形に於て各測點で內角のみならずその外角をも觀測し測點條件も圖形條件と同時に成立するものとする。

然る時は調整條件は次の通りである。

測點條件

$$\left.\begin{array}{ll}
\text{測點 (1) に於て} & v_{(1)}+v_1+v_8=\omega_{(1)} \\
〃\ (2)\ 〃 & v_{(2)}+v_2+v_3=\omega_{(2)} \\
〃\ (3)\ 〃 & v_{(3)}+v_4+v_5=\omega_{(3)} \\
〃\ (4)\ 〃 & v_{(4)}+v_6+v_7=\omega_{(4)} \\
\text{角　條件} & \\
\text{三角形 [(1)(2)(3)] に於て} & \sum_{i=1}^{4} v_i=\omega_1 \\
〃\ [(1)(3)(4)]\ 〃 & \sum_{i=5}^{8} v_i=\omega_2 \\
\text{三角形 [(1)(2)(4) 及び [(2)(3)(4)] に於て} & \\
\quad v_1+v_2+v_7+v_8-(v_3+v_4+v_5+v_6)=\omega_3 & \\
\text{邊　條件} & \\
\text{對角線の交點 (0) を極として} & \sum_{i=1}^{8}(-1)^{i+1}\Delta_i\cdot v_i=\omega_S
\end{array}\right\}\cdots\cdots(1)$$

玆に

$$\left.\begin{array}{ll}
\omega_{(1)}=360^\circ-(\underline{(1)}+\underline{1}+\underline{8}), & \omega_{(2)}=360^\circ-(\underline{(2)}+\underline{2}+\underline{3}), \\
\omega_{(3)}=360^\circ-(\underline{(3)}+\underline{4}+\underline{5}), & \omega_{(4)}=360^\circ-(\underline{(4)}+\underline{6}+\underline{7}), \\
\omega_1=180^\circ-\sum_{i=1}^{4}\underline{i}, & \omega_2=180^\circ-\sum_{i=5}^{8}\underline{i}, \\
\omega_3=\underline{3}+\underline{4}+\underline{5}+\underline{6}-(\underline{1}+\underline{2}+\underline{7}+\underline{8}), & \\
\omega_S=\sum_{i=1}^{8}(-1)^i\,\mathrm{L.}\sin\underline{i} &
\end{array}\right\}\cdots\cdots(2)$$

但し $\underline{i}$, v_i=夫々內角 i の觀測値並に補正値（秒）

$\underline{(i)}$, $v_{(i)}$=夫々點 (i) の外角の觀測値並に補正値（秒）

$$\Delta_i=L.\sin^i \text{ の } 1'' \text{ に對する表差，又は } \frac{1}{\rho''}\log_{10}e\cdot\cot\underline{i}, \qquad \frac{1}{\rho''}\log_e 10=(4.7494\times10^5)^{-1}$$

測點條件を同時に成立せしめなければ (1) 及び (2) 式中の初めの 4 式は消失する。

最小自乘法によつて $[v\cdot v]$=最小　とする代り，點コリレート $K_{(i)}$ $(i=1,2,3,4)$，角コリレート K_i $(i=1,$

2, 3, ‥‥, 8) 及び邊コリレート K_s を考へ，次式に示す M=最小 とする。

$$
\begin{aligned}
M=[v\cdot v]&-2K_{(1)}(v_{(1)}+v_1+v_8-\omega_{(1)})-2K_{(2)}(v_{(2)}+v_2+v_3-\omega_{(2)})\\
&-2K_{(3)}(v_{(3)}+v_4+v_5-\omega_{(3)})-2K_{(4)}(v_{(4)}+v_6+v_7-\omega_{(4)})\\
&-2K_1\Big(\sum_{i=1}^{4}v_i-\omega_1\Big)-2K_2\Big(\sum_{i=5}^{8}v_i-\omega_2\Big)\\
&-2K_3\{v_1+v_2+v_7+v_8-(v_3+v_4+v_5+v_6)-\omega_3\}\\
&-2K_s\Big\{\sum_{i=1}^{8}(-1)^{i+1}\Delta_i\cdot v_i-\omega_s\Big\}
\end{aligned}
$$

M=最小の條件即ち $\dfrac{\partial M}{\partial v}=0$ より次の關係を得る。

$$
\left.\begin{array}{ll}
v_{(i)}=K_{(i)} & (i=1,2,3,4)\\
v_1=K_{(1)}+K_1+K_3+\Delta_1\cdot K_s, & v_2=K_{(2)}+K_1+K_3-\Delta_2\cdot K_s,\\
v_3=K_{(2)}+K_1-K_3+\Delta_3\cdot K_s, & v_4=K_{(3)}+K_1-K_3-\Delta_4\cdot K_s,\\
v_5=K_{(3)}+K_2-K_3+\Delta_5\cdot K_s, & v_6=K_{(4)}+K_2-K_3-\Delta_6\cdot K_s,\\
v_7=K_{(4)}+K_2+K_3+\Delta_7\cdot K_s, & v_8=K_{(1)}+K_2+K_3-\Delta_8\cdot K_s,
\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots(3)
$$

この場合測點條件を切り離して角及び邊條件のみを取れば (4) 式の關係を得る。

$$
\left.\begin{array}{ll}
v_1=K_1+K_3+\Delta_1\cdot K_s, & v_2=K_1+K_3-\Delta_2\cdot K_s,\\
v_3=K_1-K_3+\Delta_3\cdot K_s, & v_4=K_1-K_3-\Delta_4\cdot K_s,\\
v_5=K_2-K_3+\Delta_5\cdot K_s, & v_6=K_2-K_3-\Delta_6\cdot K_s,\\
v_7=K_2+K_3+\Delta_7\cdot K_s, & v_8=K_2+K_3-\Delta_8\cdot K_s,
\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots(4)
$$

(3) 及び (4) 式は各コリレートの値を見出した後，補正値を求める式である。

(3) 及び (4) 式の關係を (1) 式に代入すれば次のコリレート方程式を得る。

$$
\left.\begin{array}{lll}
\text{點方程式 (1);} & 3K_{(1)}+K_1+K_2+2K_3+d_{(1)}\cdot K_s=\omega_{(1)}\\
\quad〃\ \ \text{(2);} & 3K_{(2)}+2K_1+d_{(2)}\cdot K_s=\omega_{(2)}\\
\quad〃\ \ \text{(3);} & 3K_{(3)}+K_1+K_2-2K_3+d_{(3)}\cdot K_s=\omega_{(3)}\\
\quad〃\ \ \text{(4);} & 3K_{(4)}+2K_2+d_{(4)}\cdot K_s=\omega_{(4)}\\
\text{角方程式 1;} & K_{(1)}+2K_{(2)}+K_{(3)}+4K_1+d_1\cdot K_s=\omega_1\\
\quad〃\ \ 2; & K_{(1)}+K_{(3)}+2K_{(4)}+4K_2+d_2\cdot K_s=\omega_2\\
\quad〃\ \ 3; & 2K_{(1)}-2K_{(3)}+8K_3+d_3\cdot K_s=\omega_3\\
\text{邊方程式 } S; & \sum_{i=1}^{4}d_{(i)}\cdot K_{(i)}+\sum_{i=1}^{3}d_i\cdot K_i+d_s\cdot K_s=\omega_s
\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots(5)
$$

この内測點條件を分離して角及び邊條件のみを取れば (6) 式となる。

$$
\left.\begin{array}{ll}
\text{角方程式 1;} & 4K_1+d_1\cdot K_s=\omega_1\\
\quad〃\ \ 2; & 4K_2+d_2\cdot K_s=\omega_2\\
\quad〃\ \ 3; & 8K_3+d_3\cdot K_s=\omega_3\\
\text{邊方程式 } S; & \sum_{i=1}^{3}d_i\cdot K_i+d_s\cdot K_s=\omega_s
\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots(6)
$$

茲に

$$
\left.\begin{aligned}
&d_{(1)}=\varDelta_1-\varDelta_8,\quad d_{(2)}=\varDelta_3-\varDelta_2,\quad d_{(3)}=\varDelta_5-\varDelta_4,\quad d_{(4)}=\varDelta_7-\varDelta_6,\\
&d_1\ =\sum_{i=1}^{4}(-1)^{i+1}\varDelta_i,\qquad d_2=\sum_{i=5}^{8}(-1)^{i+1}\varDelta_i,\\
&d_3\ =\varDelta_1+\varDelta_4+\varDelta_6+\varDelta_7-(\varDelta_2+\varDelta_3+\varDelta_5+\varDelta_8),\\
&d_s\ =\sum_{i=1}^{8}\varDelta_i\cdot\varDelta_i
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(7)
$$

又個々の觀測の推差 r は次式から得られる。

$$r=\pm 0.6745\sqrt{[v\cdot v]/n}\qquad (秒)\cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

n＝條件方程式の數

3. コリレート方程式の性質

コリレート方程式 (5) 及び (6) 中のコリレートをその番號順に上欄に置き，その係數を拔出して表示すれば，表-1, 表-2 となる。

表-1. コリレート方程式

（全條件を同時に成立せしめた場合）

方程式符号	方程式左辺								方程式右辺
	$K_{(1)}$	$K_{(2)}$	$K_{(3)}$	$K_{(4)}$	K_1	K_2	K_3	K_s	
(1)	3				1	1	2	$d_{(1)}$	$\omega_{(1)}$
(2)		3			2			$d_{(2)}$	$\omega_{(2)}$
(3)			3		1	1	-2	$d_{(3)}$	$\omega_{(3)}$
(4)				3		2		$d_{(4)}$	$\omega_{(4)}$
1	1	2	1		4			d_1	ω_1
2	1		1	2		4		d_2	ω_2
3	2		-2				8	d_3	ω_3
S	$d_{(1)}$	$d_{(2)}$	$d_{(3)}$	$d_{(4)}$	d_1	d_2	d_3	d_s	ω_s

表-2. コリレート方程式

（測點條件を分離し角及び邊條件のみを同時に成立せしめた場合）

方程式符号	方程式左辺				方程式右辺
	K_1	K_2	K_3	K_s	
1	4			d_1	ω_1
2		4		d_2	ω_2
3			8	d_3	ω_3
S	d_1	d_2	d_3	d_s	ω_s

今**表-1** の諸性質を吟味すれば次の通りである。

1. 方程式左邊は左上から右下に走る對角線を軸として他の凡ての係數は對稱に配列されてゐる。

2. この對角線は凡て大きな値の數字で占めて居り，その他はこれより小さい値か d と云ふ特殊なものである。

3. 點方程式に就て

(1) 點コリレートは各點方程式に就て只 1 ケであつてその係數はその點の周圍の觀測角の數即ち 3 である。

(2) 點方程式 (i) 內の角コリレートは點 (i) を頂點とする三角形の角コリレートであつて，その係數はこの三角形內にあつて點 (i) を頂點とする觀測角の數である。

但し 點 (1) に於ては K_8 の係數は＋て入り，點 (3) に於ては－て入る。

而して點方程式 (2) 及び (4) には K_3 は入つて來ない。

4. 角方程式に就て

(1) 角コリレートは 1 ケの角方程式中必ず 1 ケであつてその係數はその三角形內の觀測角の數，即ち三角

形 1 及び 2 に於ては 4, 三角形 3 にあつては 8 である。

而して 1 ケの角方程式中には條件が成立する三角形の角コリレートしか入らないことがこの方程式誘導の特徴であり收斂も速かなのである。

(2) 角方程式 1 及び 2 内の點コリレートはその三角形の 3 頂點の點コリレートであつてその係數は各頂點の周りにあつてこの三角形を構成する內角の數である。

角方程式 3 に於ては特に $K_{(1)}$, $K_{(3)}$ のみが入りその係數は夫々 +2, −2 であつて, 他の點コリレートには關係が無い。

5. 邊方程式には全部のコリレートが入りその係數は d である。

表-2 の場合は最も簡單で, 前項 4 の (1) 及び 5 のみであつて, 1 つの方程式には 1 ケづゝの角及び邊コリレートが入るのみで, 單列三角網の場合と全く同樣な形となる。

4. 圖上計算法

1. コリレート圖

上述のコリレート方程式の性質を利用して計算に便利な樣にコリレート圖を作れば, 測點條件同時成立の場合と分離した場合とに就て夫々**圖-2** 及び**圖-3** である。

圖-2. コリレート圖
(測點條件を同時成立せしめた場合)

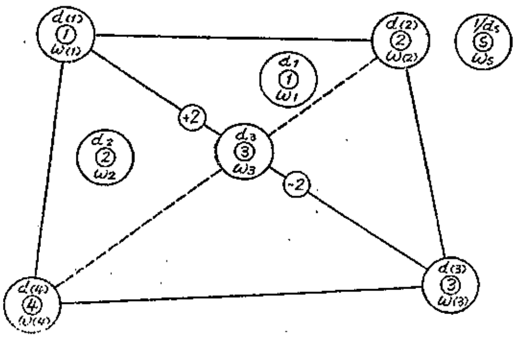
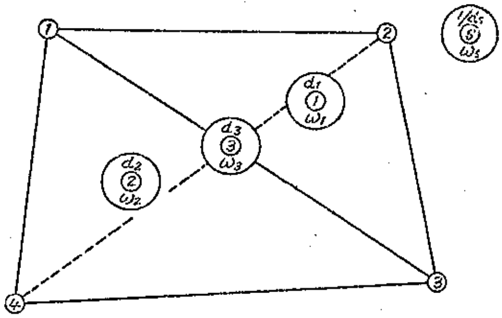


圖-3. コリレート圖
(測點條件を分離した場合)



今**圖-2** に就て說明する。

(1) 各點に二重圓を畫きその中央に測點番號, 二重內外圓間の空白の上部には $d_{(i)}$, 下部には $\omega_{(i)}$ の値を書込む。

(2) 圖外に S 圓を畫き上下の空白に夫々 $1/d_S$, ω_S を書き入れる。

こゝ迄はこれ迄のものと全く同じである。

(3) 對角線 [(1)(3)] は實線, [(2)(4)] は點線とする。

これは $K_{(2)}, K_{(4)}$ と K_3 との間には直接關係が無く, $K_{(1)}$, $K_{(3)}$ と K_3 とに大きな關係のあることを圖示したのである。

(4) 兩對角線の交點に二重圓 3 を畫き上下の空白には夫々 d_3, ω_3 を書き入れる。

(5) 對角線 [(1)(3)], [3 (3)] 上には小圓を畫き夫々 +2, −2 と記入する。これは $K_{(1)}$ に對しては K_3 が,

K_3 に對しては $K_{(1)}$ が常に $+2$ 倍で關係し，$K_{(3)}$ に對して K_1 及び K_2 に對して $K_{(3)}$ が常に -2 倍で入ることを表はす。

(6) $\varDelta$[(1)(2)(3)], $\varDelta$[(1)(3)(4)] 內には夫々圓1及び圓2を畫き，それらの上下空白部には d_i, ω_i を書き入れる。

(7) 二重圓外の餘白は逐次値を書き入れるのに用ひられる。

圖-3 の場合は前項 (2), (4), 及び (6) のみである。

2. 逐次計算の第 1 値に就て

繰返へし計算の際各コリレートに與へるべき第 1 値は收斂の速さに關係がある爲曩に[1)2)]特別の圖又は表を用ひて算出したが，今回は之をも圖上計算の一部として求めることにした。

即ち邊條件を考へず角及び點條件のみで直截的に繰返し圖上計算を行ふもので，最も時間を要する K_s に關係づけないのであるから加減除のみで操作は簡單更に收斂も速い。これを第 1 段の圖上計算と名付けた。

測點條件を同時に成立せしめなければ特に第 1 値として求める迄もなく單列三角網の場合と同様一層直截的である。

3. 圖上計算法

計算法は前節のコリレート方程式の性質より明らかであり且つこれ迄の方法と大同小異であるから次の計算例に就て詳細の說明を加へる。

5. 計 算 例

測點條件を分離した場合とこれを同時成立せしめた場合に就て各々 1 例を擧げ，且つ比較の爲前題[1)2)]と同一例を取つた。

表-3. 計 算 例 1

(1) 番号 三角形	角	角 (2) 観測値 ° ′ ″	(12) 調整値 ° ′ ″	(3) 観測値に対する L. sin 及 ω の値	(13) 調整値に対する L. sin の値	(4) 1″に対する表差 Δ	(5) Δの代数和 d	(8) $(-1)^{i+1}\Delta_i K_s$ (i=1,2,…8)	(8) $K_1 \pm K_3$ $K_2 \mp K_3$	(9) 補正値 v	(10) $(-1)^{i+1}\Delta_i v_i$	(11) v·v	(6) Δ·Δ
1	1	43 52 4·0	43 51 58·87	9·8407311	9·8407179	21·9	-33·8	-1·718	-3·380	-5·13	-112·347	26·3169	479·61
	2	31 48 21·3	31 48 20·55	9·7218465	9·7215440	34·0		2·670		-0·74	25·160	0·5476	1,156·00
	3	69 6 15·1	69 6 11·55	9·9704541	9·9704515	8·1		-0·6354	-2·645	-3·25	-26·325	10·5625	65·61
	4	35 13 29·0	35 13 28·72	9·7610139	9·7610131	29·8		2·3375		-0·28	8·344	0·0784	888·04
		180 00 9·4	180 00 00·00	$\omega_1 = -9·4$									
2	5	10 37 34·0	10 37 25·23	9·2657591	9·2656607	112·2	61·6	-8·801	-0·7644	-8·77	-983·994	76·9129	12,588·84
	6	65 2 53·4	65 2 54·20	9·9574457	9·9574465	9·8		0·769		0·80	-7·840	0·6400	96·04
	7	79 9 28·6	79 9 27·52	9·9921767	9·9921771	4·0		-0·314	0·029	-1·08	4·320	1·1664	16·00
	8	25 10 10·3	25 10 13·05	9·6236933	9·6287056	44·8		3·514		2·75	-123·200	7·5625	2,007·04
		180 00 6·3	180 00 00·00	$\omega_2 = -6·3$							$\Sigma\Delta\cdot v =$	$\Sigma v\cdot v =$	$\Sigma\Delta\cdot\Delta = d_s$
				$\omega_s = -1,224$							-1,224·522	123·7872	=17,2981·18
3				$\omega_3 = 7,3$		(	-133·6						1/ds= 0·00005781

個々の觀測の推差 $r = \pm 0·3372\sqrt{123·7872} = \pm 3''75$

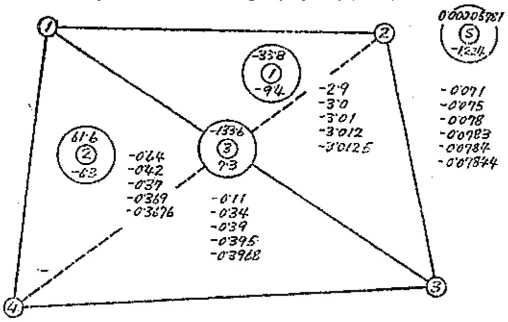
計算例-1　測點調整を分離した場合

表-3 は觀測値，調整値その他計算に必要な數値を一括したもので，上欄の番號は記入或ひは計算の順序を示す。

欄 (3) は觀測角の L. sin の値で Chamber の對數表によるもので，更に ω_i, ω_s の値をも示す。

欄 (4) は 1″ に對する L. sin $\underline{i}$ の表差 $\varDelta$ で，欄 (5) は $\varDelta$ の代數和卽ち $d_1=\sum_{i=1}^{4}(-1)^{i+1}\varDelta_i$, $d_2=\sum_{i=5}^{8}(-1)^{i+1}\varDelta_i$, $d_3=\varDelta_1+\varDelta_4+\varDelta_6+\varDelta_7-(\varDelta_2+\varDelta_3+\varDelta_5+\varDelta_8)$, 欄 (6) は $\varDelta_i\cdot\varDelta_i$ で下方に $d_s=\Sigma\varDelta\cdot\varDelta$ 及び $1/d_s$ を求める。

圖-4.　**コリレート圖** (計算例 1)



これ迄の値を用ひて (7) のコリレート圖上の計算に移る。

三角形 1 及び 2 並に對角線交點上に夫々二重圓 1, 2, 及び 3 を畫き，各〻內外圓間の空白上部には夫々 $d_1=-33.8$, $d_2=61.6$, $d_3=-133.6$ を，下部には $\omega_1=-9.4$, $\omega_2=-6.3$, $\omega_3=7.3$ を記入し，圖形外の圓 S の上部には $1/d_s=0{,}0000\,5781$, 下部には $\omega_s=-1.224$ と記入して準備を完了する。

第 1 値

邊コリレート K_s；圓 S 內の上下の數字を掛け合はす。

$$K_s=\underset{\text{圓}S\text{內の下の數字}}{-1\,224}\times\underset{\text{圓}S\text{內の上の數字}}{0.0000\,5781}=-0.071$$

この値は直ちに圓 S の下に記し他のコリレートの値算出に用ひる。

角コリレート K_s；圓 i 內の上の數字と圓 S 外の第 1 値との積の符號を變へて圓 i 內の下の數字を加へこれを三角形 i 內の觀測角の數で除する。

$$K_1=\underset{\substack{\text{三角形1內の}\\\text{觀測角の數}}}{(1/4)}\Bigl(\underset{\substack{\text{圓1內の}\\\text{下の數字}}}{-9.4}\underbrace{-\underset{\substack{\text{圓1內の}\\\text{上の數字}}}{33.8}\times\underset{\substack{\text{圓}S\text{外の}\\\text{第1値}}}{0.071}}_{\text{符號を變へて加へる}}\Bigr)=-2.9$$

$$K_2=\underset{\substack{\text{三角形2內の}\\\text{觀測角の數}}}{(1/4)}\Bigl(\underset{\substack{\text{圓2內の}\\\text{下の數字}}}{-6.3}\underbrace{+\underset{\substack{\text{圓2內の}\\\text{上の數字}}}{61.6}\times\underset{\substack{\text{圓}S\text{外の}\\\text{第1値}}}{0.071}}_{\text{符號を變へて加へる}}\Bigr)=-0.64$$

$$K_3=\underset{\substack{\text{三角形3內の}\\\text{觀測角の數}}}{(1/8)}\Bigl(\underset{\substack{\text{圓3內の}\\\text{下の數字}}}{7.3}\underbrace{-\underset{\substack{\text{圓3內の}\\\text{上の數字}}}{133.6}\times\underset{\substack{\text{圓}S\text{外の}\\\text{第1値}}}{0.071}}_{\text{符號を變へて加へる}}\Bigr)=-0.11$$

(三角形 3 とは $\varDelta$[(1)(2)(4)], 及び $\varDelta$[(2)(3)(4)] の 2 ヶを同時に呼ぶものとして觀測角の數は 8 となる。之は四邊形として考へてもよい。)

これらの場合括弧內に示した乘法は計算器によつて行ひ文字盤に表はれた積を睨んで直ちに算盤に入れ加減法及び除法を行へば一々書き留める手數が省ける。又此處では便宜上數式で表はしたが實際の計算には圖上から數値を拾へばよい。

これら求めた値は直ちに各ゝの圓の附近の餘白に記入する。

第 2 値

邊コリレート K_S； 圓 S 以外の各圓内の上の數字とその圓外の第 1 値との積の符號を變へて圓 S 内の下の數字に加へ，この値に圓 S 内の上の數字を乘ずる。

K_S	=	0.00005781	{−1.224	−	(33.8	×	2.9	−	0.64	×	61.6	+	133.6	×	0.11	)}	= −0.075
		圓 S 内の上の數字	圓 S 内の下の數字		圓 1 内の上の數字		圓 1 外の第 1 値		圓 2 外の第 1 値		圓 2 内の上の數字		圓 3 内の上の數字		圓 3 外の第 1 値		

この時小括弧内に示した乘法は圖上の數値を見て直ちに計算器を廻し又は算盤により，積は別の紙片に書き留めて計算する。この値は圓 S 外の第 1 値 −0.071 の下に書く。

角コリレートの第 2 値は今求めた K_S の第 1 値を用ひて算出するのであるがその方法は第 1 値の場合と全く同一である。

本例に於ては角コリレートは第 5 値迄，邊コリレートは第 6 値迄求めて所要時間約 1 時間，補正値は小數以下 2 桁迄揃へ得た。之は小數以下 1 桁迄揃へるつもりならば第 3 値位迄で充分である。

本例は壘の[1,2]方法によつて第 9 値迄求め漸く小數以下 1 位迄求め得たのであつた。

これを以てしても本方法による繰返し計算の收歛の迅速性を證據立てることが出來る。

表-3 の欄 (8) は $\Delta \cdot K_S$ を各角に就て算出し又 $K_1 \pm K_3$，$K_2 \mp K_3$ を圖上から拾つて記入し欄 (9) の補正値を得る。

表-4. 計 算 例 2

(1) 番号 三角形	角	(2) 觀測値 ° ′ ″	(12) 調整値 ° ′ ″	(3) 觀測値に對する L.sin 及 w の値	(13) 調整値に對する L.sin の値	(4) 1″ に對する表差 Δ	(5) Δ の代數和 d	(8) $(-1)^{i+1}\Delta_i K_S$ $(i=1,2\cdots 8)$	(8) $K_1 \pm K_3$ / $K_2 \mp K_3$	(8) $K(i)$ $(i=1,2,3,4)$	(9) 補正値 v ″	(10) $(-1)^{i+1}\Delta_i v_i$ $(i=1,2\cdots 8)$	(11) v·v	(6) Δ·Δ
1	1	43 52 4.0	43 51 55.63	9.5407199	9.5407081	21.9	−33.8	−2.343	−7.345	4.324	−5.37	−117.603	28.8369	479.61
	2	31 45 21.3	31 45 19.71	9.7215465	9.7215411	34.0		−3.637		2.124	−1.59	54.060	2.5281	1,156.00
	3	69 6 15.1	69 6 8.16	9.9704541	9.9704485	8.1		−0.867	−8.195	2.124	−6.94	−55.214	48.1636	65.61
	4	35 13 29.0	35 13 33.50	9.7610139	9.7610273	29.8		−3.188		9.511	4.50	−134.100	20.2500	888.04
		180 00 9.4	180 00 00.00	w_1 = −9.4										
2	5	10 37 34.0	10 37 27.69	9.2657591	9.2656883	112.2	61.6	−12.003	−3.820	9.511	−6.31	−707.932	39.8161	12,588.84
	6	65 2 53.4	65 2 50.65	9.9574457	9.9574430	9.8		−1.048		0.025	−2.75	26.950	7.5625	96.04
	7	79 9 25.6	79 9 25.22	9.9921767	9.9921753	4.0		−0.428	−2.974	0.025	−3.38	−13.520	11.4244	16.00
	8	25 10 10.3	25 10 16.44	9.6286933	9.6287208	44.8		−4.793		4.324	6.14	−275.072	37.6996	2,007.04
		180 00 6.3	180 00 00.00	w_2 = −6.3										
3				w_S = −1.224								Σ Δ·v = −1,223451		ds = 17,297.18
				w_3 = 7.3			−133.6							1/ds = 0.00005781
	(1)	290 57 40.6	290 57 44.93	$w_{(1)}$ = 5.1			−22.9				4.33		18.7489	
	(2)	259 5 30.0	259 5 32.13	$w_{(2)}$ = −0.4			−25.9				2.13		4.5369	
	(3)	314 8 49.3	314 8 55.51	$w_{(3)}$ = 7.7			82.4				9.51		90.4401	
	(4)	215 47 44.1	215 47 44.13	$w_{(4)}$ = −0.1			−5.8				0.03		0.0009	
													Σv·v = 310.0080	

個々の觀測の推差 $r = \pm 0.6745 \sqrt{310.0080/18} = \pm 4''.20$

これより $(-1)^{i+1}\varDelta_i\cdot\varDelta_i$ を求めて欄 (10) に記し，それらの和は w_s に大體一致を見るべきである。

而して欄 (3) の觀測値の L.sin の値に，この $\varDelta\cdot v$ を代數的に加へれば欄 (13) の調整値に對する L.sin の値を得られるのであるが，この場合欄 (10) の數字は i が奇數ならばその儘，偶數ならば符號を變へて加へる。

欄 (11) は觀測の推定を求める爲の $v\cdot v$ の値である。

計算例-2.　前例に對して更に測定條件を附加し他の條件と同時に成立せしめた場合。

表-4 は表-3 と同樣で，異なる所は外角 (i) の値，$d(i)$, $w(i)$ の値が新たに加はる。その内 $d(i)$ は次の通りである。

$$d_{(1)}=\varDelta_1-\varDelta_8=21.9-44.8=-22.9,\qquad d_{(2)}=\varDelta_3-\varDelta_2=8.1-34.0=-25.9$$

等。

圖-5 はこの場合のコリレート圖で圖-5 (1) は第 1 段，圖-5 (2) は第 2 段を示す。

圖-5. (1)　第 1 段コリレート圖（計算例）

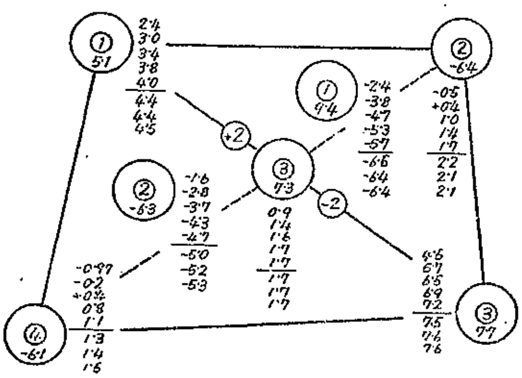
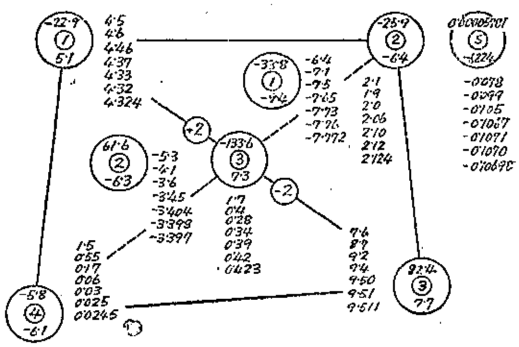


圖-5. (2)　第 2 段コリレート圖（計算例）



第 1 段（圖-5 (1)）

圖-2 のコリレート圖に於て各圓內の上の數字を除き又圓 S は不要である。

第 1 値

これはどんな値でもよいが便宜上次の如くした。

角コリレート K_i；　各圓內の數字を各三角形內の觀測角の數で除した値を取る。

$$K_1=-9.4/4=-2.4,\qquad K_2=-6.3/4=-1.6,\qquad K_3=7.3/8=0.9$$

これらは直ちに各圓外の餘白に書く。

點コリレート $K(i)$；　$(i=2,4)$

點 (i) を頂點とする實線で畫かれた三角形內の圓外の第 1 値の符號を變へて點 (i) に集まる內角の數だけ圓 (i) 內の下の數に加へ，これを點 (i) の周圍の觀測角の數で除する。

この場合點 (i) を頂點とする三角形は實線のものだけを取ればよい。

$K_{(2)}$	$=$	$(1/3)$	$(-6.4$	$+\ 2.4\quad +\ 2.4)$	$=\ -0.5$
		點 (2) の周圍の觀測角の數	圓 (2) 內の下の數字	點 (2) を頂點とする實線の三角形 1 內の第 1 値，角が 2 つ故 2 回符號を變へて加へる	

$$K_{(4)} = (1/3) \quad (-6.1 \quad +1.6 \quad +1.6) \quad = \quad -0.97$$

點(4)の周圍の觀測角の數　　圓(4)內の下の數字　　點(4)を頂點とする實線の三角形2內の第1値，角が2つ故2回符號を變へて加へる.

これらは直ちに各圓 (2) 及び (4) の近くに記す。

點コリレート $K(i)$；　$(i=1,3)$

點 (i) を頂點とする三角形 1 及び 2 内の第 1 値，圓 (i) と實線で結ばれてゐる圓 3 外の第 1 値に小圓內の數字を乘じたもの，これらの符號を變へて圓 (S) 內の下の數字に加へ，これを點 (i) の周圍の觀測角の數 3 で除する。

$$K_{(1)} = (1/3) \quad (5.1 \quad \underbrace{+\,2.4 \quad +\,1.6 \quad -\,2 \quad \times \quad 0.9}_{\text{符號を變へて加へる}}) = 2.4$$

點(1)の周圍の觀測角の數　　圓(1)內の下の數字　　三角形1內の第1値　　三角形2內の第1値　　小圓內の數字　　圓3外の第1値

$$K_{(3)} = (1/3) \quad (7.7 \quad \underbrace{+\,2.4 \quad +\,1.6 \quad +\,2 \quad \times \quad 0.9}_{\text{符號を變へて加へる}}) = 4.5$$

點(3)の周圍の觀測角の數　　圓(3)內の下の數字　　三角形1內の第1値　　三角形2內の第2値　　小圓內の數字　　圓3外の第1値

圓 3 外の第 1 値の 2 倍を取ることは實際の場合小圓內の數字は符號と回數を表はすことゝ考へ 2 度加へた方が簡便である。

これらの値は直ちに夫々圓 (1) 及び (3) 外の餘白に記す。

第 2 値

角コリレート K_i；　$(i=1,2)$

三角形 i の 3 頂點の圓外の第 1 値の符號を變へて各點に集まる內角の數だけ圓 1 內の下の數字に加へ，これを三角形 i 內の觀測角の數で除する。

$$K_1 = (1/4) \quad (-\,9.4 \quad \underbrace{+\,0.5 \quad +\,0.5 \quad -\,2.4 \quad -\,4.5}_{\text{三角形1の3頂點の第1値　符號を變へて加へる}}) = -3.8$$

三角形1內の觀測角の數　　圓1內の下の數字　　點(2) 2回　點(1)　點(3)

$$K_2 = (1/4) \quad (-\,6.3 \quad \underbrace{+\,0.97 \quad +\,0.97 \quad -\,2.4 \quad -\,4.6}_{\text{三角形2の3頂點の第1値　符號を變へて加へる}}) = -2.8$$

三角形2內の觀測角の數　　圓2內の下の數字　　點(4) 2回　點(1)　點(3)

點コリレートの第 1 値を加へる回數はその點に集まる內角の數であるから圖を見れば明らかである。

角コリレート K_3；

實線を以て繫がれた點の第 1 値に小圓內の數字を乘じ，符號を變へて圓 3 內の下の數字に加へ，これを三角形 3 の觀測角の數 8 で除する。

$$K_3 = (1/8) \quad (7.3 \quad \underbrace{-\,2 \quad \times \quad 2.4 \quad +\,2 \quad \times \quad 4.5}_{\text{符號を變へて加へる}}) = 1.4$$

三角形3の觀測角の數　　圓3內の下の數字　　小圓內の數字　　圓(1)外の第1値　　小圓內の數字　　圓(3)外の第1値

こゝでは説明の都合上 2 倍としたが實際の計算には小圓内の數字は符號と回數を表はすものとして 2 回代數的に加へればよい。

これらの第 2 値は夫々の第 1 値の下に記入する。

點コリレート； 第 1 値の場合と同樣にして求め得る。但しこの場合は今求めた角コリレートの第 2 値を用ひるのである。

斯くして何回も繰返せば自然的に收斂するが，3～4 回の逐次値の傾向を見，先を見越して飛躍した値を與へれば倘よい。

本例に於ては第 6 値目に角コリレートを飛躍させ，點コリレートの値はこれによつて上の如くして求めた。

この方法は特に乘法が無いから簡單で數式によつて計算するよりは確定性があり又興味もある。この最終値を以て第 2 段の第 1 値とする。この第 1 段の最終値は何れ第 2 段に於て補正されるのであるから小數以下 1 位迄求めれば充分である。

第 2 段 (圖-5. (2))

圖-2 のコリレート圖に**表-4** の數値を入れる。第 1 値は第 1 段に於て求めた終局値を取り邊條件によつて補正する。即ち第 1 段の各課程中に圓內の上の數字と圓 S 外の値との積の符號を變へて加へる操作を附加すればよい。邊コリレートはこれ迄の凡ての場合と同樣である。

第 1 値

角，點の各コリレート第 1 段の終局値。

邊コリレート K_s；

各圓內の上の數字と圓外の第 1 値との積の符號を變へて圓 S 內の下の數字に加へ，これに圓 S 內の上の數字を乘ずる。

K_s =

0.0000 5781 {	−1 224 − (	−22.9	× 4.5	− 25.9	× 2.1	+ 82.4	× 7.6
圓 S 內の上の數字	圓 S 內の下の數字	圓 (1) 內の上の數字	圓 (1) 外の第 1 値	圓 (2) 內の上の數字	圓 2 外の第 1 値	圓 (3) 內の上の數字	圓 (3) 外の第 1 値
− 5.8	× 1.5	+ 33.8	× 6.4	− 5.3	× 61.6	− 133.6	× 1.7)}
圓 (4) 內の上の數字	圓 (4) 外の第 1 値	圓 1 內の上の數字	圓 1 外の第 1 値	圓 2 外の第 1 値	圓 2 內の上の數字	圓 3 內の上の數字	圓 3 外の第 1 値

$= -0.073$

これを圓 S 外に記す。

第 2 値

角コリレート K_i；

K_1 =

(1/4)	(− 9.4	− 4.5	− 7.6	− 2.1	− 2.1	− 33.8	× 0.078) = −7.1
三角形 1 內の觀測角の數	圓 1 內の下の數字	點 (1)	點 (3)	點 (2)	2 回	圓 1 內の上の數字	圓 S 外の第 1 値

第 1 値

符號を變へて加へる

K_2 =

(1/4)	(− 6.3	− 4.5	− 7.6	− 1.5	− 1.5	+ 61.6	× 0.078) = −4.1
三角形 2 內の觀測角の數	圓 2 內の下の數字	點 (1)	點 (3)	點 (4) 2 回		圓 2 內の上の數字	圓 S 外の第 1 値

第 1 値

符號を變へて加へる

$$K_8 = (1/8)\ (-7.3 \quad -4.5 \quad -4.5 \quad +7.6 \quad +7.6 \quad -133.6 \quad \times 0.078) = 0.4$$

三角形 3 内の觀測角の數　圓 3 内の下の數字　點 (1), 小圓内に示す符號と回數　點 (3), 小圓内に示す符號と回數　圓 3 内の上の數字　圓 S 外の第 1 値

第 1 値

符號を變へて加へる

これらは直ちに各第 1 値の下に記し次の點コリレートの計算に用ひる。

點コリレート $K(i)$;

$$K_{(2)} = (1/3)\ (-6.4 \quad +7.1 \quad +7.1 \quad -25.9 \quad \times \quad 0.078) = 1.9$$

點 (2) の周圍の觀測角の數　圓 (2) 内の下の數字　圓 1 外の第 2 値，2 回　圓 (2) 内の上の數字　圓 S 外の第 1 値

符號を變へて加へる

$$K_{(4)} = (1/3)\ (-6.1 \quad +4.1 + 4.1 \quad -5.8 \quad \times \quad 0.078) = 0.55$$

點 (4) の周圍の觀測角の數　圓 (4) 内の下の數字　圓 2 外の第 2 値，2 回　圓 (4) 内の上の數字　圓 S 外の第 1 値

符號を變へて加へる

$$K_{(1)} = (1/3)\ (5.1 \quad +7.1 \quad +4.1 \quad -0.4 - 0.4 \quad -22.9 \quad \times \quad 0.078) = 4.6$$

點 (1) の周圍の觀測角の數　圓 (1) 内の下の數字　圓 1 外の第 2 値　圓 2 外の第 2 値　圓 3 外の第 2 値，小圓内の符號と回數　圓 (1) 内の上の數字　圓 S 外の第 1 値

符號を變へて加へる

$$K_{(3)} = (1/3)\ (7.7 \quad +7.1 \quad +4.1 \quad +0.4 + 0.4 \quad +82.4 \quad \times \quad 0.078) = 8.7$$

點 (3) の周圍の觀測角の數　圓 (3) 内の下の數字　圓 1 外の第 2 値　圓 2 外の第 2 値　圓 3 外の第 2 値，小圓内の符號と回數　圓 (3) 内の上の數字　圓 S 外の第 1 値

符號を變へて加へる

これらを各第 1 値の下に記入し次の計算に用ひる。

邊コリレート K_S;

第 1 値の場合と同樣で只各コリレートの第 2 値を用ひる點が異る。

$$K_S = 0.0000\,5781\,\{-1.224 \; - (-22.9 \quad \times \quad 4.6 \quad -25.9 \quad \times \quad 1.9 \quad +82.4 \quad \times \quad 8.7$$

圓 S 内の上の數字　圓 S 内の下の數字　圓 (1) 内の上の數字　圓 (1) 外の第 2 値　圓 (2) 内の上の數字　圓 (2) 外の第 2 値　圓 (3) 内の上の數字　圓 (3) 外の第 2 値

$$-5.8 \quad \times \quad 0.55 \quad +33.8 \quad \times \quad 7.1 \quad -4.1 \quad \times \quad 61.6 \quad -133.6 \quad \times \quad 0.4) = -0.099$$

圓 (4) 内の上の數字　圓 (4) 外の第 2 値　圓 1 内の上の數字　圓 1 外の第 2 値　圓 2 外の第 2 値　圓 2 内の上の數字　圓 3 内の上の數字　圓 3 外の第 2 値

これを第 1 値 -0.078 の次に記し，次の計算に用ひる。

かくして幾回も細返すのであるが數値は圖上は上から直ちに讀み取り，乘法には計算器を，加減除法には算盤を用ひれば簡便である。

只邊コリレートを求める時は上の如くして得た積を一時紙片に書留めておく方がよい。

本例では第 7 値迄求め補正値は秒の小數以下 2 位迄大體揃へることが出來た。同じ例で前題[1)2)]の方法によれば第 8 回迄繰返し補正値は小數以下せいぜい 1 位迄揃へ得たのみである。

この圖上計算終了の後表-4 に書き入るべき事項は前例と大同小異で欄 (8) に $K_1 \pm K_8$, $K_2 \mp K_8$ の外 $K(i)$ が入るのみであるから特に說明は要しない。

6. 結　　説

以上述べた新計算法の特徴を列擧すれば次の通りである。

(1) 繰返へし圖上計算法としての利點

同じ計算を幾度も繰返すと云へば如何にも迂遠に聞えるが，事實は正反對で次の通り他の方法では及ばない利點がある。

(1) 桁數の多い數字を一度に數多複雜な取扱ひをする必要がない。

(2) 任意必要な桁で計算を打切ることが出來る。

(3) 計算は少數の數字を 1 回毎に取扱ふのであり，更に圖上から直接必要な數字を讀み取り，又は圖形に表はれてゐるものを直ちに計算器或ひは算盤上に置くのであるから，その計算操作は極めて直截簡明である。

(4) 從つて多數の聯立方程式を解いてゐると云ふ樣な煩はしさから逃れて輕快に興味を以て運算し得る。

(5) 敍上の理由により違算の起る機會が少く又たとへ違算があつても無意識の裡に直ちにその場所に於て發見是正出來，更に又小さい違算ならば構はず計算を續けても收斂に大きな影響は無い。何故ならば次の逐次値には自然に是正された値が現はれるからである。

例へば 2~3 回の逐次値が漸增又は漸減の傾向ある時，急に激增又は激減した値が出て來るか或ひは逆に減又は增の値が表れゝばそれは明らかにその場の計算が誤つたのである。

(2) 新しく取入れた角條件に就て

角方程式 1 及び 2 は在來も用ひられてゐたが，角方程式 3 は新らしく導入したものであつて，之によりコリレート方程式が非常に簡單化され，點，角兩方程式中の夫々點及び角コリレートは 1 ケづゝであるから逐次計算上收斂の極めて迅速な形となつた。これによつて機械的圖上計算法が一層その效果を發揮される。

(3) 尙曩に筆者が發表した圖上計算法に關し今年上梓された京都帝大近藤教授，石原，米谷兩助教授三氏共著の測量學應用篇に於て御推奬を得たことに對し深く感謝の意を表する次第である。

而して前顯[3)]論文中誤植並にコリレート方程式表に入れ違ひがあり第 27 卷，第 1 號誌上に正誤表が添附されてゐるから該論文御披讀の方は御參照願ひたい。

尙又次節にコリレート方程式の解を擧げて參考に資することゝする。

7. コリレート方程式の解

コリレート方程式 (5) から點コリレート $K(i)$ $(i=1, 2, 3, 4)$ を消去すれば**表-5** を得る。

表-5.

方程式符号	方程式左辺				方程式右辺
	K_1	K_2	K_3	K_s	
1	6	-2		D_1	η_1
2	-2	6		D_2	η_2
3			16	D_3	η_3
s	D_1	D_2	D_3	D_s	η_s

これを解けば次のコリレートの値及び補正値を得る。

$$K_1=\frac{1}{16}\{(3\eta_1+\eta_2)-(3D_1+D_2)\cdot K_s\}$$

$$K_2=\frac{1}{16}\{\eta_1+3\eta_2)-(D_1+3D_2)\cdot K_s\}$$

$$K_3=\frac{1}{16}\eta_3-\frac{1}{16}D_3K_s$$

$$\left.\begin{aligned}
K_{(1)}&=\frac{1}{3}w_{(1)}-\frac{1}{24}(2\eta_1+2\eta_2+\eta_3)-\left\{\frac{1}{3}d_{(1)}-\frac{1}{24}2D_1+2D_2+D_3)\right\}\cdot K_s\\
K_{(2)}&=\frac{1}{3}w_{(2)}-\frac{1}{24}3\eta_1+\eta_2)-\left\{\frac{1}{3}d_{(2)}-\frac{1}{24}(3D_1+D_2)\right\}\cdot K_s\\
K_{(3)}&=\frac{1}{3}w_{(3)}-\frac{1}{24}(2\eta_1+2\eta_2-\eta_3)-\left\{\frac{1}{3}d_{(3)}-\frac{1}{24}(2D_1+2D_2-D_3)\right\}\cdot K_s\\
K_{(4)}&=\frac{1}{3}w_{(4)}-\frac{1}{24}(\eta_1+3\eta_2)-\left\{\frac{1}{3}d_{(4)}-\frac{1}{24}(D_1+3D_2)\right\}\cdot K_s\\
K_s&=\mathfrak{N}/\mathfrak{D}\\
\mathfrak{N}&=w_s-\frac{1}{16}(3\eta_1^2+2\eta_1\cdot\eta_2+3\eta_2^2+\eta_3^2)\\
\mathfrak{D}&=D_s-\frac{1}{16}(3D_1^2+2D_1\cdot D_2+3D_2^2+D_3^2)
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(9)$$

$$\left.\begin{aligned}
v_{(i)}&=K_{(i)}\qquad(i=1,2,3,4)\\
v_1&=\frac{1}{3}\omega_{(1)}+\frac{1}{48}(5\eta_1-\eta_2+\eta_3)-\left\{\frac{1}{3}d_{(1)}-\Delta_1+\frac{1}{48}(5D_1-D_2+D_3)\right\}\cdot K_s\\
v_2&=\frac{1}{3}\omega_{(2)}+\frac{1}{48}(3\eta_1+\eta_2+3\eta_3)-\left\{\frac{1}{3}d_{(2)}+\Delta_2+\frac{1}{48}(3D_1+D_2+3D_3)\right\}\cdot K_s\\
v_3&=\frac{1}{3}\omega_{(2)}+\frac{1}{48}(3\eta_1+\eta_2-3\eta_3)-\left\{\frac{1}{3}d_{(2)}-\Delta_3+\frac{1}{48}(3D_1+D_2-3D_3)\right\}\cdot K_s\\
v_4&=\frac{1}{3}\omega_{(3)}+\frac{1}{48}(5\eta_1-\eta_2+5\eta_3)-\left\{\frac{1}{3}d_{(3)}+\Delta_4+\frac{1}{48}(5D_1-D_2+5D_3)\right\}\cdot K_s\\
v_5&=\frac{1}{3}\omega_{(3)}+\frac{1}{48}(-\eta_1+5\eta_2+5\eta_3)-\left\{\frac{1}{3}d_{(3)}-\Delta_5+\frac{1}{48}(-D_1+5D_2+5D_3)\right\}\cdot K_s\\
v_6&=\frac{1}{3}\omega_{(4)}+\frac{1}{48}(\eta_1+3\eta_2-3\eta_3)-\left\{\frac{1}{3}d_{(4)}+\Delta_6+\frac{1}{48}(D_1+3D_2-3D_3)\right\}\cdot K_s\\
v_7&=\frac{1}{3}\omega_{(4)}+\frac{1}{48}(\eta_1+3\eta_2+3\eta_3)-\left\{\frac{1}{3}d_{(4)}-\Delta_7+\frac{1}{48}(D_1+3D_2+3D_3)\right\}\cdot K_s\\
v_8&=\frac{1}{3}\omega_{(1)}+\frac{1}{48}(-\eta_1+5\eta_2+\eta_3)-\left\{\frac{1}{3}d_{(1)}+\Delta_8+\frac{1}{48}(-D_1+5D_2+D_3)\right\}\cdot K_s
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(10)$$

玆に

$$\left.\begin{aligned}
&\eta_1=3w_1-(\omega_{(1)}+2\omega_{(2)}+\omega_{(3)}), &&\eta_2=3w_2-(\omega_{(1)}+\omega_{(3)}+2\omega_{(4)}),\\
&\eta_3=3w_3-(2\omega_{(1)}-2\omega_{(3)}), &&\eta_s=3w_s-\sum_{i=1}^{4}d_{(i)}\cdot\omega_{(i)},\\
&D_1=3d_1-(d_{(1)}+2d_{(2)}+d_{(3)}), &&D_2=3d_2-(d_{(1)}+d_{(3)}+2d_{(4)}),\\
&D_3=3d_3-(2d_{(1)}-3d_{(3)}), &&D_s=3d_s-\sum_{i=1}^{4}d_{(i)}^2
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(11)$$

測點條件を切り離し角及び點條件のみによる方程式 (6) の解は次の通りである。

$$\left.\begin{aligned}
&K_1=\frac{1}{4}(\omega_1-d_1K_s), &&K_2=\frac{1}{4}(\omega_2-d_2K_s)\\
&K_3=\frac{1}{8}(\omega_3-d_3K_s), &&K_s=\mathfrak{N}/\mathfrak{D},
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(12)$$

$$\left.\begin{aligned}
\mathfrak{N} &= \omega_s - \frac{1}{4}\left(d_1\cdot\omega_1 + d_2\cdot\omega_2 + \frac{1}{2}d_3\cdot\omega_3\right), \\
\mathfrak{D} &= d_s - \frac{1}{4}\left(d_1^2 + d_2^2 + \frac{1}{2}d_3^2\right)
\end{aligned}\right\}$$

$$\left.\begin{aligned}
v_1 &= \frac{1}{4}\left(\omega_1 + \frac{1}{2}\omega_3\right) + \left\{\Delta_1 - \frac{1}{4}\left(d_1 + \frac{1}{2}d_3\right)\right\}\cdot K_s \\
v_2 &= \frac{1}{4}\left(\omega_1 + \frac{1}{2}\omega_3\right) - \left\{\Delta_2 + \frac{1}{4}\left(d_1 + \frac{1}{2}d_3\right)\right\}\cdot K_s \\
v_3 &= \frac{1}{4}\left(\omega_1 - \frac{1}{2}\omega_3\right) + \left\{\Delta_3 - \frac{1}{4}\left(d_1 - \frac{1}{2}d_3\right)\right\}\cdot K_s \\
v_4 &= \frac{1}{4}\left(\omega_1 - \frac{1}{2}\omega_3\right) - \left\{\Delta_4 + \frac{1}{4}\left(d_1 - \frac{1}{2}d_3\right)\right\}\cdot K_s \\
v_5 &= \frac{1}{4}\left(\omega_2 - \frac{1}{2}\omega_3\right) + \left\{\Delta_5 - \frac{1}{4}\left(d_2 - \frac{1}{2}d_3\right)\right\}\cdot K_s \\
v_6 &= \frac{1}{4}\left(\omega_2 - \frac{1}{2}\omega_3\right) - \left\{\Delta_6 + \frac{1}{4}\left(d_2 - \frac{1}{2}d_3\right)\right\}\cdot K_s \\
v_7 &= \frac{1}{4}\left(\omega_2 + \frac{1}{2}\omega_3\right) - \left\{\Delta_7 - \frac{1}{4}\left(d_2 + \frac{1}{2}d_3\right)\right\}\cdot K_s \\
v_8 &= \frac{1}{4}\left(\omega_2 + \frac{1}{2}\omega_3\right) - \left\{\Delta_8 + \frac{1}{4}\left(d_2 + \frac{1}{2}d_3\right)\right\}\cdot K_s
\end{aligned}\right\} \cdots\cdots (13)$$

（昭. 17. 9. 19. 受付）