

基準点測量作業規程

令和 5年 4月

国土交通省国土地理院

基準点測量作業規程

制 定	昭和 63 年 3 月 31 日	国地達第 8 号
		国 土 地 理 院 長
一部改正	平成 3 年 11 月 14 日	国地達第 14 号
一部改正	平成 5 年 5 月 10 日	国地達第 12 号
一部改正	平成 5 年 11 月 29 日	国地達第 23 号
一部改正	平成 7 年 3 月 22 日	国地達第 7 号
一部改正	平成 13 年 3 月 30 日	国地達第 31 号
一部改正	平成 14 年 3 月 22 日	国地達第 7 号
一部改正	平成 23 年 5 月 18 日	国地達第 19 号
	[平成 23 年 4 月 1 日 適用]	
一部改正	平成 30 年 4 月 1 日	国地達第 9 号

基準点測量作業規程運用基準及び計算式

制 定	昭和 63 年 3 月 31 日	国地測計発第 298 号
		測 地 部 長
一部改正	平成 5 年 11 月 29 日	国地測計発第 851 号
一部改正	平成 7 年 3 月 28 日	国地測計発第 195 号
一部改正	平成 9 年 4 月 25 日	国地測計発第 395 号
一部改正	平成 13 年 3 月 30 日	国地測計発第 1060 号
一部改正	平成 14 年 3 月 22 日	国地測計発第 721 号
一部改正	平成 15 年 5 月 20 日	国地測計発第 203 号
一部改正	平成 16 年 4 月 19 日	国地測計発第 94 号
一部改正	平成 19 年 10 月 1 日	国地測計発第 95 号
一部改正	平成 21 年 12 月 25 日	国地測計第 116 号
一部改正	平成 22 年 7 月 29 日	国地測計第 59 号
一部改正	平成 23 年 5 月 18 日	国地測計第 18 号
	[平成 23 年 4 月 1 日 適用]	
一部改正	平成 26 年 3 月 31 日	国地測計第 272 号
一部改正	平成 28 年 3 月 25 日	国地測計第 287 号
一部改正	平成 30 年 4 月 17 日	国地測計第 3 号
	[平成 30 年 4 月 1 日 適用]	
一部改正	令和 5 年 3 月 1 日	国地測計第 109 号
	[令和 5 年 4 月 1 日 適用]	

目 次

第1章 総 則

第1条 目 的	1
第2条 各種法令の遵守	1

第2章 基準点測量

第1節 要 旨	1
第3条 要 旨	1
第2節 選 点	2
第4条 定 義	2
第5条 選点の実施	2
第6条 既知点の現況調査	3
第7条 選点図及び平均図の作成	3
第3節 測量標の設置	4
第8条 永久標識の設置	4
第9条 一時標識等の設置	4
第10条 敷地使用の承諾	4
第11条 永久標識及び一時標識の設置方法	4
第12条 作業の管理及び点の記の作成	4
第4節 観 測	5
第13条 観 測	5
第14条 測量機器の性能	5
第15条 測量機器の検定等	5
第16条 観測等の実施	5
第17条 偏心要素の測定	8
第18条 再観測	9
第5節 計 算	9
第19条 計算方法	10
第20条 点検計算	10
第21条 平均計算	12
第6節 成果等の整理	16
第22条 測量成果	16
第23条 測量記録	16

附 則	17
-----	----

計算式

1. 楕円体の原子及び諸公式	
1.1 楕円体の原子	19
1.2 楕円体の諸公式	19
2. セオドライト、測距儀及びトータルステーションを使用した場合の計算式	
2.1 距離計算	19
2.2 偏心補正計算	22
2.3 座標及び閉合差の計算	23
2.4 座標の計算（厳密水平網平均計算）	26
2.5 標高及び閉合差の計算	29
2.6 標高の計算（厳密高低網平均計算）	29
2.7 平面直角座標による基準面上の方向角及び基準面上の距離の計算	31
2.8 座標を変換して経緯度、子午線収差角及び縮尺係数を求める計算	32
2.9 経緯度を変換して座標、子午線収差角及び縮尺係数を求める計算	33
3. GNSS 測量機を使用した場合の計算式	
3.1 座標系の変換	34
3.2 偏心補正計算	35
3.3 点検計算の許容範囲に使用する閉合差，較差及び環閉合差 ΔX ， ΔY ， ΔZ から ΔN ， ΔE ， ΔU への変換計算	37
3.4 三次元網平均計算	38
3.5 ジオイド高算出のための補間計算	41
4. その他	41

第1章 総 則

(目 的)

第1条 この規程は、国土調査法（昭和26年法律第180号）第四条第3項の規定に基づき、基準点測量作業規程準則（昭和61年総理府令第51号）による基準点の測量（補助基準点の測量を除く。以下「基準点測量」という。）に関する実務の指針を規定することを目的とする。

(各種法令の遵守)

第2条 測量作業機関（以下「作業機関」という。）及び作業に従事するもの（以下「作業員」という。）は、各種法令を遵守するとともに、これらに関する社会的慣行を尊重しなければならない。

2 この規程において使用する用語のうち、法令に定めのあるものは法令の定めるところによる。

3 作業機関は、作業の実施にあたり、安全管理を行わなければならない。

4 作業機関は、作業計画に基づき、工程管理を行わなければならない。

5 作業機関は、測定の正確さを確保するため、精度管理を行わなければならない。

第2条運用基準

1. 作業機関は、労働安全衛生法の各種規程を作業員に周知徹底しなければならない。
2. 作業機関は、作業の安全を確保するため、安全に関する作業機関内の規程等（以下「安全規程等」という。）を定めるものとする。
3. 作業機関は、自然公園法、文化財保護法、その他の法令等で指定する地域で作業を実施する場合は、現地の関係官公署と十分な打ち合わせを行う。
4. 作業員は、安全規則等を遵守し、災害、交通安全、健康等に十分留意しなければならない。
5. 作業機関は、作業の進捗状況を適宜報告しなければならない。
6. 作業機関は、精度管理の結果に基づいて精度管理表を作成し、提出しなければならない。
7. 作業機関は、国土地理院の測量成果検定機関名簿に登録された検定機関において測量成果及び測量記録の検定を受けなければならない。

第2章 基準点測量

第1節 要 旨

(要 旨)

第3条 基準点測量とは、既知点に基づき、新点の位置を定める作業及び再測量を行い基準点の位置を修正する作業をいう。

2 基準点測量は、多角測量方式により行うものとする。

3 基準点測量で使用する既知点とは、既設の一、二、三、四等三角点及び電子基準点若しくは水準点であって、基準点測量の実施に際してその成果が与件として用いられるものをいう。

4 新点とは、基準点測量により新設される国土調査に必要な基準点をいう。

第3条運用基準

1. 再測量とは、国土調査に必要で、かつ、成果が現況と乖離している既設の基準点を、既知点に基づき改測又は改算を行う作業をいう。
2. 再測量を行う基準点測量の既知点は電子基準点とする。
3. 改測とは基準点の現位置を変えず、GNSS測量機による観測（以下「GNSS観測」という。）を行い、成果を修正することをいう。
4. 改算とは地籍調査作業規程準則運用基準（平成14年3月14日付け国土国第590号土地・水資源局長）第22条第10項に基づき、成果を修正することをいう。

5. GNSS (Global Navigation Satellite System) とは、GPS、GLONASS、準天頂衛星 (QZSS) 等の総称をいう。

第2節 選点

(定義)

第4条 選点とは、地形図を用いて新点設置に必要な条件及び配点密度を考慮した平均計画図を作成し、これに基づいて現地で新点の位置を測量地域内に選定し、地域の状況に適した測量の手段を定める作業をいう。

(選点の実施)

第5条 新点は、測量地域内につとめて均等に配置するものとする。

2 新点は、結合多角網又は単路線を構成して決定するものとする。

3 再測量を行う基準点は、国土調査に必要で、かつ、成果が現況と乖離している基準点とし、結合多角網又は単路線を構成して決定するものとする。

第5条運用基準

1. 新点間の標準的な間隔は、次に示すとおりとする。

(1) GNSS 連続観測装置を備えた新点 (以下「電子基準点等」という。) は、電子基準点等の配置を考慮し、適正な密度をもって選点するものとする。

(2) 電子基準点等の密度は 400 平方キロメートルに 1 点を標準とする。ただし、地形の状況や基準点の配置等によりやむを得ない場合は、この限りではない。

2. 新点を設置するため及び改測又は改算を行うために必要な既知点の数は、次表のとおりとする。ただし、零方向のみに用いた既知点及び水準点は、新点を設置するために必要な既知点の数には含まないものとする。

なお、電子基準点 (付属標を除く。) 等のみを既知点とする場合の既知点の数は、次表の右欄によるものとする。

新点・改測・改算の数	既知点の数	電子基準点等のみ
2点以下	2点以上	2点以上
3点～5点	3点以上	3点以上
6点～10点	4点以上	
11点以上	5点以上	

3. 既知点は、新点到隣接するものを使用する。ただし、隣接する既知点を使用することが困難な場合は、監督職員の承諾を得て他の既知点を使用することができる。

なお、電子基準点等を既知点とする場合は、測量地域の最寄りのものとする。

4. 1 路線 (既知点～他の既知点、既知点～交点、又は交点～他の交点) の路線長は、原則として 5 キロメートル以内とする。ただし、電子基準点等を含む辺においてはこの限りでない。

なお、電子基準点等取り付け路線出発点 (新点又は再測量を行う基準点) は、交点と同様の扱いとする。

5. 1 路線の辺数は、原則として 5 辺以内とする。

6. 新点、再測量を行う基準点又は既知点において、直接観測ができないときは、偏心点を設けることができる。ただし、偏心距離は 250 メートル未満とする。

7. 新点において、他の新点又は基準点に対して 1 方向以上の視通を確保することを原則とする。ただし、視通確保が困難な場合には、節点を設けることができる。

なお、点間距離 (新点～節点、既知点～節点、節点～節点) は、250 メートル以上とする。

8. 多角網の外周において、隣接の 2 既知点を結ぶ線の外側に新点及び再測量を行う基準点を選点する場合は、同線から 40 度以内を標準とする。

9. 多角網の路線の中の夾角は、60 度以上を原則とする。

10. 単路線でセオドライト、測距儀及びトータルステーションを使用する場合は、既知点1点以上において方向角の取付観測を行うものとする。
11. GNSS測量機による多角網は次のとおりとする。
 - (1) 偏心点において零方向の視通が取れない場合には、偏心点から任意の方向にGNSS測量機により方位標を設けることができる。ただし、方位標と偏心点の距離は原則として偏心距離の4倍以上とする。
 - (2) 電子基準点等のみを既知点とする場合は次のとおりとする。
 - 1) 観測点間距離が10キロメートルを超える場合は、10キロメートル未満の基線に分割するための一時的な観測点（以下「中間点」という。）を設けるものとする。ただし、1級GNSS測量機（国土地理院測量機器性能基準による。）を使用する場合はこの限りでない。
 - 2) 新点を設置する場合は、隣接する既設点に取付観測を行う。
なお、取付既設点の点数は、特記仕様書に基づくものとする。
12. 第8から第11はそれぞれ独自の多角網とする。
13. 選点における視通確認は、原則として標旗を用いて行う。
14. 新点の位置は、展望がよく、利用しやすく、かつ、永久標識の保全に適した場所を選ぶものとする。

（既知点の現況調査）

第6条 既知点の現況調査を行い、異常の有無を確認するものとする。

第6条運用基準

1. 既知点に異常があったときは、直ちに監督職員に報告する。
2. 前項の「異常」とは、基準点現況調査作業実施要領第6条（2）に分類されるものをいう。
3. 柱石上面の傾斜状況を確認する。なお、確認に使用する水平器は、気泡管感度が15分以上のものとする。
4. 現況調査の結果は、基準点現況調査報告書により報告する。
5. 電子基準点等については、現況調査を省略する。
6. 電子基準点等を使用する場合は、選点時及び観測直前に稼働状況を確認する。

（選点図及び平均図の作成）

第7条 平均計画図に基づいて現地を踏査し、選点図を作成するものとする。

- 2 選点図に基づいて平均図を作成し、その良否について監督職員の判定を受け承諾を得なければならない。
- 3 平均図に変更が生じたときは、直ちに監督職員にその理由を説明し、承諾を受けなければならない。

第7条運用基準

1. 選点図には、観測点相互の視通状況を記入する。ただし、GNSS測量機を使用する場合は、選点で決定したGNSSアンテナ高（メートル位）も記入する。
2. 平均図の縮尺は1／5万を標準とする。
3. 平均図の測点番号（電算番号）、名称等は次のとおりとする。
 - (1) 既知点、取付既設点及び再測量を行う基準点には、基準点コード及び名称を記入する。ただし、既知点とする電子基準点等には観測局番号、四等三角点には冠字番号も記入する。
 - (2) 新点には、当該測量地域の北から一連の選点番号を記入する。ただし、同一地形図（1／5万）に同一冠字、同一選点番号が生じる場合には、他の一連選点番号とする。
 - (3) 新点の名称は、その地点を代表する地名等とする。使用する漢字は常用漢字を用いる。
 - (4) 節点には当該測量地域の北から501を初期値とする一連の測点番号を記入する。

- (5) 中間点には当該測量地域の北の路線から 601 を初期値とする一連の測点番号を記入する。

第 3 節 測量標の設置

(永久標識の設置)

第 8 条 選点した新点の位置には、永久標識を設置し、保全及び管理のため、適切な措置を講ずるものとする。

- 2 永久標識は、四等三角点標石又は四等三角点金属標とする。

(一時標識等の設置)

第 9 条 既知点、新点及び再測量を行う基準点等には、必要に応じて一時標識又は仮設標識を設置するものとする。

第 9 条運用基準

節点には仮杭を設置する。

(敷地使用の承諾)

第 10 条 永久標識、一時標識及び仮設標識を設置するときは、あらかじめその敷地等の所有者又は管理者の承諾を得るものとする。

第 10 条運用基準

永久標識を設置するときには、敷地の所有者又は管理者との間において「建標承諾書」又は「測量標設置申請・承諾書」を作成し、写しを敷地の所有者又は管理者に渡す。ただし、協議書又は公文書により承諾を得た場合には、「協議書等による測量標設置調書」を作成する。

(永久標識及び一時標識の設置方法)

第 11 条 永久標識の設置及び一時標識の設置は、測量法施行規則第一条の形式に従って堅固に行うものとする。

第 11 条運用基準

1. 永久標識の設置は、原則として観測の前に行う。
2. 永久標識の設置は、別途定める記載要領に従い次のとおり行う。
 - (1) 柱石中心と盤石中心は、同一鉛直線上に一致させる。
 - (2) 盤石及び柱石上面は、水平にする。
 - (3) 柱石の向きは、四等三角点と刻字した面を南側にする。
 - (4) 金属標の向きは、国土地理院の刻字を南側にする。
 - (5) 柱石及び金属標の長さの測定位はミリメートルとする。
3. 永久標識（既知点（電子基準点等を除く。）を含む。）の付近に、別途定める記載要領に示す標示杭を設置する。ただし、屋上等で設置することが困難な場合には、監督職員の承認を得て省略することができる。

(作業の管理及び点の記の作成)

第 12 条 永久標識、一時標識及び仮設標識の設置作業等の管理に必要な資料を作成するものとする。

- 2 点の記は、使用した全ての既知点、新点及び第 3 条第 1 項に規定する再測量を行った基準点について作成するものとする。

第 12 条運用基準

1. 点の記には、別途定める記載要領に従い、永久標識の所在地、地目、所有者又は管理者、順路、付近の地物との関係を示す要図、後続の作業に必要な事項等を記載する。
2. 永久標識の設置状況（作業管理写真）については、別途定める記載要領に従って

- 撮影した写真を監督職員に提出するものとする。
3. 電子基準点等の点の記は、作成を省略する。

第4節 観測

(観測)
 第13条 観測は、所要の測量精度を確保するため、十分に調整された測量機器を用い、細心の注意を払って行うものとする。

(測量機器の性能)
 第14条 観測に使用する主要な測量機器は、次表に示す性能以上のものとする。

区 分	性 能
セオドライト	国土地理院測量機器性能基準による1級セオドライト
測距儀	国土地理院測量機器性能基準による2級中距離型測距儀
GNSS 測量機	国土地理院測量機器性能基準による2級 GNSS 測量機
トータルステーション	国土地理院測量機器性能基準による1級トータルステーション
温度計	最小目盛値 1 度
気圧計	最小読定値 1 hPa
レベル	国土地理院測量機器性能基準による3級レベル
水準標尺	1mm の精度が確保できるもの

第14条運用基準

偏心要素の測定においては、距離の測定に2級短距離型測距儀又は2級トータルステーション(国土地理院測量機器性能基準による。)を使用することができる。また、角度の測定に2級セオドライト又は2級トータルステーション(国土地理院測量機器性能基準による。ただし、第17条運用基準2.に定める単位にて測定が行える機種に限る。)を使用することができる。

(測量機器の検定等)
 第15条 使用する測量機器は、機器検定及び作業着手前の点検を行わなければならない。

第15条運用基準

1. 機器検定は次のとおり行うものとする。
 - (1) セオドライト、測距儀、鋼巻尺、トータルステーション及びGNSS測量機は、国土地理院の測量機器検定機関名簿に登録された機関の検定を受けたものを使用し、検定の有効期間は1年とする。
 - (2) 鋼巻尺の定数が、50メートルにつき15ミリメートル(気温20度、標準張力98.1ニュートン(10キログラム重))以上あるものは、使用してはならない。
2. 作業着手前の点検は次のとおり行うものとする。
 - (1) 温度計の点検は、他の温度計との比較により行い、その較差は1度以内とする。
 - (2) 気圧計の点検は、水銀気圧計又は同等の確度を有する気圧計と比較することにより行い、その較差は6ヘクトパスカル以内とする。
 - (3) 付属機器の点検は、三脚、整準器、目標板、回光灯、反射鏡等について行い必要に応じて調整するものとする。

(観測等の実施)
 第16条 観測は、測点に測量機器を整置し、観測条件を整えた後、平均図等に基づき、次に定めるところにより実施するものとする。
 (1) 水平角観測は、方向観測法により、所定の水平目盛で所定の対回数の観測を行う。

- (2) 鉛直角観測は、所定の対回数の観測を行う。
- (3) 距離測定は、所定のセット数の測定を行う。
- (4) GNSS 観測は、静的干渉測位方式による所定のデータ取得時間の観測を行う。
- (5) 測量機器高、目標高及び反射鏡高の測定並びに補正計算に必要な要素の観測等を行う。
- (6) 必要に応じて測標水準測量を行う。
- 2 観測値等が所定の許容範囲を超える場合は、原因を調査し、その結果を直ちに監督職員に報告しなければならない。

第 16 条運用基準

1. 観測の実施に当たっては、別に定める記載要領により観測図を作成する。
2. 観測手簿等の用紙は、監督職員が認印したものを使用する。ただし、データコレクション等を使用する場合は省略することができる。
3. 観測、測定の単位及び位は次表のとおりとする。

機器の区分	単 位	位	備 考
GNSS 測量機	m	0.001	基線解析結果
測距儀	m	0.001	
セオドライト	秒 (度 分 秒)	1	
トータルステーション	m	0.001	測距部
〃	秒 (度 分 秒)	1	測角部
レベル	m	0.001	
温度計	℃	1	
気圧計	hPa	1	

4. セオドライト、測距儀及びトータルステーションによる観測等は次のとおりとする。
 - (1) 水平角観測
 - 1) 観測は 1 視準 1 読定とする。
 - 2) 観測は 2 対回とし、使用する目盛は 0 度及び 90 度とする。ただし、目盛の変更が不可能な機器は、1 対回の繰り返し観測を 2 回行う。
 - 3) 倍角差は 15 秒以内、観測差は 8 秒以内とする。
 - (2) 鉛直角観測
 - 1) 観測は 1 視準 1 読定とする。
 - 2) 観測は 1 対回とする。
 - 3) 高度定数差は 10 秒以内とする。
 - 4) 観測方向が 1 方向のみの測点では、適切な目標を選んで観測を行い、高度定数を点検する。
 - (3) 距離測定
 - 1) 測定は、1 視準 2 読定の測定を 1 セットとし、2 セットの測定を行う。
 - 2) セット内の測定値の較差及びセット間の較差は、20 ミリメートル以内とする。
 - (4) トータルステーションを使用する場合は、水平角の観測の対回数にあわせ取得された鉛直角の観測値及び距離の測定値は、(3)の規定に関わらず採用し、その平均値を用いることができる。
 - (5) 気象要素の測定
 - 1) 気温と気圧の測定は、原則として測距儀又はトータルステーションを整置した測点（以下「測距儀点」という。）で行い、反射鏡を整置した測点（以下「反射点」という。）では行わない。
 - 2) 温度計は、直射日光が当たらないようにして、地面等からの輻射熱の少ない場所を選んで空中に吊す。
 - 3) 気圧計に強い衝撃を与えた時は、点検を行う。
 - 4) 気温と気圧の測定は、距離測定の開始直前又は終了直後に行う。

- 5) 測距儀点と反射点の標高差が 400 メートル以上のときは、反射点の気圧及び気温を計算により求める。
 - 6) 測距儀点及び反射点での気圧及び気温が求められたときは、その平均値で気象補正計算を行う。
5. GNSS 測量機による観測は次のとおりとする。
- (1) 観測は、仮定網平均計算ができるように、全ての既知点及び新点を含む多角網を形成するように行う。ただし、電子基準点等のみを既知点とした場合はこの限りでない。
 - (2) GNSS 受信機の入力設定は次のとおりとする。
 - 1) GNSS 衛星の最低高度角は 15 度とする。
 - 2) 受信する GNSS 衛星は、次表を標準とする。

GNSS 衛星の組合せ		衛星数
GPS・準天頂衛星		4 衛星以上
GPS・準天頂衛星及び GLONASS 衛星		5 衛星以上
備 考	GLONASS 衛星を用いて観測する場合は、GPS・準天頂衛星及び GLONASS 衛星を、それぞれ 2 衛星以上用いること。	

- 3) データ取得間隔時間は 30 秒とする。
- 4) 観測時間は次表のとおりとする。

点間距離	2 級 GNSS 測量機	1 級 GNSS 測量機
10km 未満	60 分以上	
10km 以上	———	120 分以上

- (3) 観測距離が 10 キロメートル以上の場合の使用衛星数は、GPS・準天頂衛星を用いて観測する場合は 5 衛星以上とし、GPS・準天頂衛星及び GLONASS 衛星を用いて観測する場合は 6 衛星以上とする。
 - (4) 観測は、セッションを単位として実施する。ただし、セッションとは、2 点以上の観測点において同時観測するものをいう。
また、電子基準点等を含むセッションにおいては、他のセッションを含めて同じセッションとすることができる。
 - (5) 電子基準点等のみを既知点としない場合は、既知点及び新点を結合する多角路線が閉じた多角網となるように形成させ、次のいずれかにより観測を行う。
 - 1) 異なるセッションの組合せによる点検のための多角網を形成し観測を行う。
 - 2) 異なるセッションによる点検のため、1 辺以上の重複観測を行う。
 - (6) 電子基準点等のみを既知点とする場合は、使用する全ての電子基準点等で他の 1 つ以上の電子基準点等と結合する路線を形成させて観測を行う。第 20 条運用基準第 2 (4)3) で定める点検路線に含まれないセッションについては、第 5 (5)1) 又は 2) のいずれかにより行う。
6. 測量機器高の測定
- (1) セオドライト、測距儀、GNSS アンテナ及びトータルステーションの、目標高及び反射鏡高は、標石等上面からの距離をミリメートル位まで測定するものとする。
 - (2) GNSS アンテナ高は、観測の前後に標石等上面からの距離をミリメートル位まで測定し、その差は 5 ミリメートル以内を標準とする。標準を超えた場合は、原則として再観測を行う。
なお、基線解析には観測前の測定値を採用する。
7. 測標水準測量
- (1) 測標水準測量は、直接水準測量又は間接水準測量による。
 - (2) 直接水準測量
 - 1) 往復観測とする。

2) 許容範囲は次表による。

視準距離	往復差	備 考
標準 60m	20mm \sqrt{S}	S : 観測距離 (片道)、km 単位

(3) 間接水準測量

- 1) 点間の距離は4キロメートル以内とする。
- 2) 距離の測定は測距儀、トータルステーション又はGNSS測量機による。ただし、測定は第4及び第5を適用する。
- 3) 鉛直角の観測は、同時観測法又はこれに準じた方法とする。
- 4) 鉛直角の観測は、3対回とする。
- 5) 標高は正、反に分けて計算する。
- 6) 間接水準測量の許容範囲は次表による。

正、反の較差	備 考
70mm \times S	S : 距離、km 単位

(4) GNSS 測量機による間接水準測量

- 1) 点間の距離は1キロメートル以内とし、ジオイド高の補正を行うものとする。
- 2) 測定は第5を適用する。

(偏心要素の測定)

第17条 偏心がある場合は、所定の方法により、偏心要素の測定を行うものとする。

第17条運用基準

1. 偏心距離の測定は次のとおり行う。

偏心距離	機 器	方 法	単 位	許容範囲	補正・その他
30cm 未満	物差(mm 尺)		mm		偏心要素測定紙
30cm 以上 2 m 未満	鋼巻尺	2 回読定の 往復測定	mm	往復の較差 5 mm 以内	標準張力 (98.1N(10kgf))、 気温測定、傾斜、投影、温 度及び尺定数補正。ただ し、10m 未満は投影、温度 及び尺定数補正を省略でき る。
2 m 以上 50m 未満					
50m 以上	測距儀又は トータルス テーション	第 16 条運 用基準第 4 (3)1) を適 用	mm	第 16 条運 用基準第 4 (3)2) を適 用	傾斜、投影、気象及び器械 定数補正。ただし、10m 未 満は投影及び気象補正を省略 できる。

2. 偏心角の測定は次のとおり行う。

偏心距離	機 器	方 法	単 位	許 容 範 囲
30cm 未満	分度器		1°	
30cm 以上 2 m 未満			10'	
2 m 以上 10m 未満	セオドライト又は トータルス テーション	16 条運用基準第 4 (1)1)及び 2) を適用	10"	倍角差 90"、観測差 60"
10m 以上 50m 未満			1"	倍角差 45"、観測差 30"

50m 以上 100m 未満		1 "	倍角差 30"、観測差 20"
100m 以上		1 "	倍角差 20"、観測差 10"

偏心距離が 2メートル未満の場合における偏心角の測定は偏心要素測定紙上で行う。ただし、アリダードの偏心が測定角に影響しないよう考慮して行う。

3. 本点と偏心点間の高低差の測定は次のとおり行う。

偏心距離	機 器	方 法	単 位	許 容 範 囲
30cm 未満	独立水準器	偏心点と本点を同標高に設置する。		
30cm 以上 100m 未満	レベル	第 16 条運用基準第 7 (2)1)を適用。 ただし、後視、前視に同一標尺を用いて、片道観測の測点数を 1 点とすることができる。	mm	6 mm 以内
	セオドライト又はトータルステーション	第 16 条運用基準第 4 (2)1)、2)及び 4)を適用し、正反観測を行う。ただし、器械高の異なる 2 回の片方向の観測とすることができる。	mm	高度定数の較差 偏心距離 10m 未満 60" 偏心距離 10m 以上 30" 高低差の正反又は 2 回の較差 30mm
100m 以上 250m 未満	レベル	第 16 条運用基準第 7 (2)1)を適用。	mm	第 16 条運用基準第 7 (2)2)を適用。
	セオドライト又はトータルステーション	第 16 条運用基準第 4 (2)1)、2)及び 4)を適用し、正反観測を行う。	mm	高度定数の較差 30" 高低差の正反較差 50mm

4. GNSS 測量機による方位標と偏心点間の測定は、第 16 条運用基準第 5 を適用する。

5. GNSS 測量による偏心補正計算は、ジオイド高の補正を行うものとする。

(再観測)

第 18 条 観測において、所定の観測条件を満たしていない場合及び許容範囲を超えた場合は、再観測しなければならない。

2 再観測は、観測中の諸条件を吟味し、許容範囲を超えた原因を考慮して行う。

第 18 条運用基準

1. 次の場合は、再観測しなければならない。

(1) 不備な条件で観測等を行った場合。

(2) 観測値等を訂正した場合。

2. 水平角の再観測は、その目盛の全方向について行い、特定の方向だけ取り出して観測してはならない。

3. 再観測する場合は、許容範囲を超えた観測値等を斜線で抹消し、再観測を行った理由と再観測値を記載したページを記入する。

第 5 節 計 算

(計算方法)

- 第 19 条 新点及び第 3 条第 1 項に規定する再測量を行う基準点の平面直角座標（以下「座標」という。）、経緯度及び標高の計算並びに関連する補正計算は、所定の計算式に従って行うものとする。
- 2 計算は、原則として別に定める記載要領に従って行い、計算過程において誤算が生じない方法で行うものとする。

第 19 条運用基準

1. 計算機により自動的に処理する場合は、作業実施前に必要な試算を行い、出力結果について監督職員の承諾を得る。
2. 電子基準点等のみを既知点とした場合の計算には、セミ・ダイナミック補正を適用する。

(点検計算)

- 第 20 条 方向角とその閉合差、座標とその閉合差、標高とその閉合差及び基線ベクトルの閉合差又は較差の計算を行うものとする。
- 2 閉合差又は較差が所定の許容範囲を超えたときは、監督職員の指示により、適切な措置を講ずるものとする。

第 20 条運用基準

1. セオドライト、測距儀及びトータルステーションによる場合の計算の単位等は、次のとおりとする。
- (1) 計算の単位
- 1) 水平角及び高低角は秒位とする。
 - 2) 距離はミリメートル位とする。
 - 3) 座標及び標高はミリメートル位とする。
- (2) 補正計算の範囲及び縮尺係数
- 1) 補正量の大小に関わらず角度及び距離の補正を行う。
 - 2) 縮尺係数は、既知点の平均値、又は測量地域の中心付近の既知点とする。
- (3) 閉合差の計算は次のとおり行う。
- 1) 方向角、座標及び標高の閉合差の計算は、すべての単位多角形及び次に掲げる条件により選定された点検路線のすべてについて行う。
 - ① 点検路線は、既知点と他の既知点とを結合するなるべく短い路線であること。
 - ② すべての既知点は、少なくとも一つの点検路線で結合されていること。
 - ③ すべての単位多角形については、少なくともその路線の一つが点検路線と重複していること。
 - 2) 閉合差の許容範囲は次表による。

区分	閉合差	許容範囲	
結又 合は 多単 角路 網線	方向角の閉合差	$5'' + 8'' \sqrt{n}$	1. n : 測角数 2. N : 辺数 3. $\sum S$: 路線長(km)
	座標の閉合差	$100\text{mm} + 20\text{mm} \sum S \sqrt{N}$	
	標高の閉合差	$200\text{mm} + 50\text{mm} \sum S / \sqrt{N}$	
単 位 多 角 形	方向角の閉合差	$8'' \sqrt{n}$	4. 座標の閉合差は、 $\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$ とし、 $\Delta X, \Delta Y$ はそれぞれ X, Y 座標の閉合差とする。
	座標の閉合差	$10\text{mm} \sum S \sqrt{N}$	
	標高の閉合差	$50\text{mm} \sum S / \sqrt{N}$	

2. GNSS 測量機による場合の計算等は、次のとおりとする。

- (1) 観測点間の基線ベクトルの計算(以下「基線解析」という。)において、10 キロメートル以上の基線は2周波を使用して行うものとし、10 キロメートル未満の基線は1周波又は2周波を使用して行うものとする。結果の単位はミリメートル位とする。
- (2) 基線解析は、次の方法により実施する。
 - 1) GNSS 衛星の軌道要素は、放送暦とする。
 - 2) 最初の基線解析で固定する既知点の経度と緯度は、成果表の値(以下「元期座標」という。)又は国土地理院が提供する地殻変動補正パラメータを使用してセミ・ダイナミック補正を行った値(以下「今期座標」という。)とする。
 なお、セミ・ダイナミック補正に使用する地殻変動補正パラメータは、測量の実施時期に対応したものを使用する。以後の基線解析は、固定する既知点の経度と緯度を用いて求められた経度と緯度を順次入力する。
 - 3) 最初の基線解析で固定する既知点の楕円体高は、成果表の標高とジオイド高から求めた値とする。ただし、固定する既知点が電子基準点等の場合は、成果表の楕円体高(元期座標)又は今期座標の楕円体高とする。以後の基線解析は、固定する既知点の楕円体高を用いて求められた楕円体高を順次入力する。
 - 4) アンテナ位相特定データ(PCV)による補正を適用する。
 - 5) サイクルスリップは自動編集とし、基線解析は自動解析とする。
 - 6) 解析時間は次表のとおりとする。

点間距離	解析時間
10km 未満	60 分以上
10km 以上	120 分以上

- (3) 基線解析の結果は FIX 解とする。
- (4) 観測値の点検計算は次のとおり行う。
 - 1) 電子基準点等のみを既知点としない場合
 - ① 全てのセッションについて、次のいずれかの方法で行う。
 - イ) 異なるセッションの組合せによる最少辺数の多角形を選定し、基線ベクトルの環閉合差を点検する。
 - ロ) 異なるセッションで重複する基線ベクトルの較差を点検する。
 - 2) 環閉合差及び重複辺の較差の許容範囲は次表による。

区 分		許容範囲	備 考
環 閉 合 差	水平 (ΔN 、 ΔE)	$20\text{mm}\sqrt{N}$	1. N : 辺数 2. ΔN : 水平面の南北方向の閉合差及び較差 3. ΔE : 水平面の東西方向の閉合差及び較差 4. ΔU : 高さ方向の閉合差及び較差
	高さ (ΔU)	$30\text{mm}\sqrt{N}$	
重複辺の較差	水平 (ΔN 、 ΔE)	20mm	
	高さ (ΔU)	30mm	

ただし、 ΔN 、 ΔE 、 ΔU はベクトル終点において基線ベクトルの各成分の環閉合差及び較差、 ΔX 、 ΔY 、 ΔZ から計算式 3.3.1 により算出する。

- 3) 電子基準点等のみを既知点とする場合
 - ① 点検計算に使用する既知点の経度と緯度及び楕円体高は、今期座標とする。
 - ② 点検計算は、次の方法により行う。
 - イ) 点検は、電子基準点等と他の電子基準点等とを結合した最少辺数となる点検路線の閉合差について計算を行う。ただし、最少辺数が同じ場合は、路線長が最短となる路線について行う。
 なお、全ての電子基準点等は、1 つ以上の点検路線で結合させるものと

する。

ロ) 点検路線に含まれないセッションについては、第2(4)1)①イ)又はロ)のいずれかにより行う。

4) 電子基準点等間の閉合差の許容範囲は次表による。

区	分	許容範囲	備 考
電子基準点等間の閉合差	水平 (ΔN 、 ΔE)	$60\text{mm}+20\text{mm}\sqrt{N}$	1. N：辺数 2. ΔN ：水平面の南北成分の閉合差 3. ΔE ：水平面の東西成分の閉合差 4. ΔU ：高さ成分の閉合差
	高さ (ΔU)	$150\text{mm}+30\text{mm}\sqrt{N}$	

(5) 隣接する既設点に取付観測を行った場合は、取付既設点を未知点扱いとして、新点と同時に実用網平均計算を実施し、その結果と実用成果との比較点検(変動量の計算、変動図の作成)を行う。ただし、セミ・ダイナミック補正を適用した場合は元期座標への補正計算を行う。

(平均計算)

第21条 新点の座標及び標高の精算並びに経緯度計算は、所定の点検を行ったプログラムを用いて電子計算機により行うものとする。

第21条運用基準

1. 平均計算に使用するプログラムは、国土地理院が指定するデータを用いて試算を行い正確であることを確認し、計算プログラム確認簿でその処理を行う。
2. 平均計算は、平均図に基づき行う。
3. 仮定網平均計算は次の場合に行う。
 - (1) セオドライト、測距儀及びトータルステーションを使用した閉合多角網の場合に行う。
 - (2) GNSS 測量機を使用した場合に行う。ただし、電子基準点等のみを既知点とした場合は省略できる。
4. 仮定網平均計算は次のとおり行う。
 - (1) セオドライト、測距儀及びトータルステーションによる場合
 - 1) 点検のための座標計算
既知点1点、1方向指定を与件とした BL 網平均計算又は XY 網平均計算を行う。
 - ① 入力データ

与 件	1.重量の要素 2.既知点1点の座標 3.同上の既知点から隣接する既知点に対する方向角
近似値	1.与件以外の既知点の座標 2.新点等の点検計算による座標
観測値	1.水平角 2.基準面上の距離

② 重量は、計算式 2.4.2(2)により求め、式中 mt 、 ms 、 γ は、次のとおりとする。

$$mt=1.8''、ms=10\text{mm}、\gamma=5\times 10^{-6}$$

③ 誤差の許容範囲

種 類	許 容 範 囲
単位重量当たりの観測値の標準偏差	4 "
方向角の残差	5 "
距離の残差	10mm+20mm× S km

④ 既知点間の水平変動ベクトル図及び辺長変化率

イ) 1)で算出された既知点の座標の改正量を変動ベクトルとして水平変動ベクトル図を作成し、精度管理簿に添付する。ただし、変動ベクトルの縮尺は、1/10 を標準とする。

ロ) 辺長の変化率を次式により求める。

$$dS = (S' - S) / S$$

dS : 辺長の変化率

S' : 平均計算後の既知点間の距離

S : 既知点間の距離

⑤ 既知点間の辺長の変化率が 1/17,000 を超える場合又は辺長の差 (S' - S) が 300 ミリメートルを超える場合は、監督職員に報告し、その措置について指示を受ける。

2) 点検のための標高計算

既知点 1 点を与件とした高低網平均計算を行う。

① 入力データ

与 件	既知点 1 点の標高 (測標水準を実施した場合はその標高)
近似値	1.与件以外の既知点の標高 2.新点等の点検計算による標高
観測値	1.高低角、セオドライト高及び目標高 2.基準面上の距離

② 高低角の重量は、正反一組を 1 とする。

③ 誤差の許容範囲

種 類	許容範囲
単位重量当たりの観測値の標準偏差	5 "
高低角の残差	6 "

④ 既知点間の標高変動ベクトル図及び変化率

イ) 2)で算出された既知点の標高の改正量を標高変動量として標高変動ベクトル図を作成し、精度管理簿に添付する。ただし、標高変動量の縮尺は、1/10 を標準とする。

ロ) 既知点間の標高の変化率 (変動量 / 既知点間の距離) を求め、変化率が 1/10,000 を超える場合又は変動量が 400 ミリメートルを超える場合は、監督職員に報告しその措置について指示を受ける。

(2) GNSS 測量機による場合

既知点 1 点を与件とし、網の鉛直軸の微小回転及び鉛直線偏差を未知量としない三次元網平均計算を行う。

① 入力データ

与件	1.重量の要素 2.既知点1点の緯度、経度及び楕円体高。楕円体高は、成果表の標高とジオイド高から求めた値とする。ただし、電子基準点の楕円体高は、成果表の楕円体高とする。
近似値	1.与件以外の既知点の緯度、経度及び楕円体高 2.新点等の基線解析による緯度、経度及び楕円体高
観測値	基線ベクトル

- ② 重量は、次のいずれかの分散・共分散行列の逆行列を用いる。
- イ) 基線解析で求められた分散・共分散の値
ただし、全ての基線の解析手法、解析時間が同じ場合に限る。
- ロ) 水平及び高さの分散の固定値
ただし、分散は、 $dN=(0.004m)^2$ 、 $dE=(0.004m)^2$ 、 $dU=(0.007m)^2$ とする。
- ③ 誤差の許容範囲

種 類	許容範囲
基線ベクトル各成分の残差	20mm

- ④ 既知点間の辺長変化率
- イ) 辺長の変化率を次式により求める。

$$dS = (S' - S) / S$$
 dS : 辺長の変化率
 S' : 平均計算後の既知点間の距離
 S : 既知点間の距離
- ロ) 既知点間の辺長の変化率が 1/17,000 を超える場合又は辺長の差 ($S' - S$) が 300 ミリメートルを超える場合は、監督職員に報告し、その措置について指示を受ける。
- ⑤ 既知点間の標高の変動量
- イ) 既知点間の標高の変動量を次式により求める。

$$dH = H' - H$$
 dH : 標高の変動量
 H' : 平均計算結果標高
 H : 実用成果標高
- ロ) 既知点間の標高の変動量 (dH) が $250mm + 45mm\sqrt{N}$ (N : 辺数) を超える既知点は、監督職員に報告し、その措置について指示を受ける。

5. 実用網平均計算は次のとおり行う。

- (1) 計算の表示単位等及び位は、次表に示す末位以下とする。

項目	単 位	位	備 考
区分			
経緯度	秒	0.0001	
平面直角座標	m	0.001	
標高	m	0.001	
方向角、真北方向角	秒	0.1	
距離	m	0.001	
縮尺係数	-	0.000001	
ジオイド高	m	0.001	

- (2) セオドライト、測距儀及びトータルステーションによる場合

1) 水平座標の計算

既知点2点以上を与件としたXY網平均計算を行う。

① 入力データ

与件	1.重量の要素 2.既知点の座標
近似値	新点等の点検計算による座標
観測値	1.水平角 2.基準面上の距離

② 重量は、第4(1)1)②と同じものを用いる。

③ 新点の標準偏差は、100ミリメートル以下を標準とする。

④ 許容範囲を超えた場合は、監督職員に報告し、その措置について指示を受ける。

2) 標高の計算

既知点2点以上を与件とした高低網平均計算を行う。

① 入力データ

与件	1.既知点の標高 2.測標水準による標高
近似値	新点等の点検計算による標高
観測値	1.高低角、セオドライト高及び目標高 2.基準面上の距離

② 高低角の重量は、正反一組を1とする。

③ 新点の標準偏差は、200ミリメートル以下とする。

④ 許容範囲を超えた場合は、監督職員に報告し、その措置について指示を受ける。

(3) GNSS 測量機による場合

既知点2点以上を与件とし、網の鉛直軸の微小回転及び鉛直線偏差を未知量としない三次元網平均計算を行う。

① 入力データ

与件	1.重量の要素 2.既知点の緯度、経度及び楕円体高。楕円体高は、成果表の標高とジオイド高から求めた値とする。ただし、電子基準点の楕円体高は、成果表の楕円体高とする。
近似値	新点等の基線解析による緯度、経度及び楕円体高
観測値	基線ベクトル

② 重量は、第4(2)1)②と同じものを用いる。

③ 電子基準点等のみを既知点とした場合の既知点の入力値は、元期座標から今期座標への補正計算を行ったものを用いる。

④ 新点の座標は、今期座標から元期座標への補正計算を行って求める。

⑤ 新点の標高決定は、国土地理院が指定したジオイド・モデルを使用し、三次元網平均計算により楕円体高を求め、ジオイド高を減じて(引いて)求める。

⑥ 誤差の許容範囲は、次表を標準とする。

種類	許容範囲
斜距離に変換された	80mm以内 かつ

基線ベクトルの残差	相対精度($\Delta D / D$) : 1/10,000 D : 観測値
新点及び再測量を行う基準点 水平位置の標準偏差	100mm 以内
新点及び再測量を行う基準点 標高の標準偏差	200mm 以内

- ⑦ 許容範囲の標準値を超えた場合は、監督職員に報告し、その措置について指示を受ける。

第6節 成果等の整理

(測量成果)

第22条 新点の測量の成果は、基準点測量成果簿（四等三角点成果表）及び基準点網図とし、別に定める記載要領の様式に従って、明瞭に記載しなければならない。

第22条運用基準

1. 成果表の作成要領

- (1) 新点及び再測量を行う基準点の成果表の数値は、第21条運用基準第5(1)1)～6)とする。ただし、標高はセンチメートル位とし、測標水準を行った新点の標高はミリメートル位とする。
- (2) 基準点コードを記入する。
- (3) 成果表等の電子ファイルは、別に定める「基本測量（測地測量）測量成果電子納品要領」に基づき作成し、所定の電子媒体に格納する。

(測量記録)

第23条 測量記録は、観測手簿、観測記簿、計算簿、点の記、精度管理簿等に区分して整理するものとする。

第23条運用基準

1. 精度管理簿は、所定の様式に主として次のものを作成する。

(1) 基準点測量精度管理表

精度管理表には、下記項目を記載する。

- 1) 作業名、地区名、計画機関名、目的、期間、作業量、作業機関名、主任技術者名、作業班長名、主要機器名称番号及び永久標識の種別等。
- 2) セオドライト、測距儀及びトータルステーションを使用した場合は、実用網平均計算結果（新点の水平座標及び新点の標高の標準偏差）。ただし、仮定網平均計算を行った場合には、仮定網平均計算結果（水平座標及び標高の単位重量当たりの標準偏差並びに方向角、距離及び高低角の残差）を加える。
- 3) GNSS 測量機を使用した場合は、
 - ① 結合計算結果（各成分の閉合差）又は仮定網平均計算結果（基線ベクトル各成分の残差）。
 - ② 実用網平均計算結果（斜距離の残差、新点及び再測量を行う基準点の水平位置並びに標高の標準偏差）

(2) 点検計算結果

点検計算結果には、下記項目を記載する。

- 1) セオドライト、測距儀及びトータルステーションを使用した場合は、座標及び標高の閉合差。
- 2) GNSS 測量機を使用した場合は、閉合多角形の基線ベクトルの環閉合差(ΔN 、 ΔE 、 ΔU)又は重複する基線ベクトルの較差(ΔN 、 ΔE 、 ΔU)。
また、電子基準点等のみを既知点とした場合は、電子基準点等間の閉合差(ΔN 、 ΔE 、 ΔU)。

(3) 平均図・観測図の写し

(4) 既知点（再測量を行った基準点を含む）の水平変動ベクトル図、標高変動ベクトル図。

2. 測量記録等の電子ファイルは、別に定める「基本測量（測地測量）測量成果電子納品要領」に基づき作成し、所定の電子媒体に格納する。

附 則

- 1 離島等特殊な条件、又は著しく困難な地形条件での基準点測量の実施については、測地部長が別途定めるところによるものとする。
- 2 この規程に定めるものと異なる機器又は作業方法については、測地部長が別途定めるものとする。
- 3 この規程の運用基準、計算式、記載要領等については、測地部長が別途定めるところによるものとする。
- 4 直営作業の場合において、この規程中「監督職員」とあるのは、「係長」と読み替えるものとする。
- 5 この規程は、昭和63年4月1日から施行する。
- 6 多角測量方式により行う基準点測量についての第14条の規定の平成3年度及び4年度における適用については、同条表中
「

標尺	国土地理院測量機器性能基準による2級標尺
----	----------------------

」
とあるのは、
「

標尺	国土地理院測量機器性能基準による2級標尺
GPS受信機	国土地理院測量機器性能基準による2級GPS受信機

」とする。
- 7 前項の規定に基づくGPS受信機を使用した多角測量方式による基準点測量作業要領については、測地部長が別途定めるところによるものとする。

附 則

- 1 この規程は、平成3年11月14日から施行する。

附 則

- 1 この達は、平成5年4月1日から適用する。
- 2 多角測量方式により行う基準点測量についての第14条の規定の平成5年度及び平成6年度における適用については、同条表中
「

標尺	標尺水準器付き蝶つがい式標尺で、1mm精度が確保できるもの。
----	--------------------------------

」
とあるのは、
「

標尺	標尺水準器付き蝶つがい式標尺で、1mm精度が確保できるもの。
GPS受信機	国土地理院測量機器性能基準による2級GPS受信機

」
とする。

附 則

この達は、平成5年11月1日から適用する。

附 則

- 1 この達は、平成7年4月1日から適用する。
- 2 離島等特殊な条件、又は著しく困難な地形条件での基準点測量の実施については、測地部長と協議する。
- 3 この規程に定めるものと異なる機器又は作業方法については、測地部長と協議する。

附 則

この達は、平成13年4月1日から施行する。

附 則

この達は、平成14年4月1日から施行する。

附 則
この達は、平成23年4月1日から適用する。

附 則
この達は、平成30年4月1日から適用する。

計算式

1. 楕円体の原子及び諸公式

1.1 楕円体の原子

地球の形状及び大きさについては、測量法施行令第3条に定める楕円体の値による。

長半径 $a = 6,378,137\text{m}$

$$\text{扁平率 } f = \frac{1}{298.257222101}$$

1.2 楕円体の諸公式

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{W^3}, \quad N = \frac{a}{W}$$

$$R = \sqrt{MN} = \frac{b}{W^2}$$

$$W = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}$$

$$f = \frac{a - b}{a} = 1 - \sqrt{1 - e^2} = \frac{1}{F}$$

$$b = a\sqrt{1 - e^2} = a(1 - f) = \frac{a(F - 1)}{F}$$

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} = \sqrt{2f - f^2} = \frac{\sqrt{2F - 1}}{F}$$

ただし、

a : 長半径	R : 平均曲率半径
b : 短半径	e : 離心率
f : 扁平率	φ : 緯度
F : 逆扁平率	
M : 子午線曲率半径	
N : 卯酉線曲率半径	

2. セオドライト、測距儀及びトータルステーションを使用した場合の計算式

2.1 距離計算

2.1.1 測距儀の気象補正計算

$$D = D_s \frac{n_s}{n} = D_s + (\Delta_s - \Delta_n)D_s$$

ただし、

$n_s = 1 + \Delta_s$: 測距儀が採用している標準屈折率
$n = 1 + \Delta_n$: 気象観測から得られた屈折率

$$\Delta_n = a \frac{P}{273.15 + t} - E$$

$$a = \frac{273.15}{1013.25}(n_g - 1)$$

$$n_g - 1 = \left(287.6155 + \frac{4.88660}{\lambda^2} + \frac{0.06800}{\lambda^4}\right) \times 10^{-6}$$

ただし、

- $E = 0.6 \times 10^{-6}$
- D : 気象補正済みの距離(m)
- D_s : 観測した距離(m)
- P : 測点 1 と測点 2 の平均気圧(hPa)
- t : 測点 1 と測点 2 の平均気温(°C)
- n_g : 群速度に対する屈折率
- λ : 光波の実効波長(μm)

2.1.2 気圧、気温を求める計算

(1) 標高による気圧の計算式

$$P_2 = 1013.25 \times 10^{-\frac{H}{67.58T}}$$

(2) 高低差による気圧の計算式

$$(i) P_2 = P_1 \times 10^{-\frac{\Delta H}{67.58T}}$$

$$(ii) P_2 = P_1 - 0.12\Delta H$$

(3) 高低差による気温の計算式

$$t' = t - 0.005\Delta H$$

ただし、

- P_1 : 計算の基準とした測点で観測した気圧(hPa)
- P_2 : 求めようとする測点の気圧(hPa)
- T : 絶対温度(K) ($T=273.15+t$)
- t : 計算の基準とした測点で観測した気温(°C)
- t' : 求めようとする測点の気温(°C)
- H : 求めようとする測点の標高(m)
- ΔH : 計算の基準とした測点の標高(H_1)と求めようとする測点の標高(H_2)との高低差 $H_2 - H_1$ (m)

2.1.3 基準面上の距離の計算

$$S = D \cos\left(\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}\right) \frac{R}{R + \left(\frac{H_1 + H_2}{2}\right) + N_g}$$

ただし、

- S : 基準面上の距離(m)
- D : 測定距離(m)
- H_1 : 測点 1 の標高 (概算値) + 測距儀の器械高(m)
- H_2 : 測点 2 の標高 (概算値) + 測距儀の器械高(m)

- α_1 : 測点 1 から測点 2 に対する高低角
- α_2 : 測点 2 から測点 1 に対する高低角
- R : 平均曲率半径(m) ($R=6,370,000$)
- N_g : ジオイド高 (既知点のジオイド高を平均した値)

2.1.4 距離計算に必要な高低角の補正量を求める計算

- α_i' : $\alpha_i + d\alpha_i$
- α_i' : 補正済みの高低角 ($i=1,2$ 以下同じ)
- α_i : 観測した高低角
- $d\alpha_i$: 高低角に対する補正量

$$d\alpha_1 = \sin^{-1} \left\{ \frac{(m - f_2 + i_1 - g) \cos \alpha_1}{D} \right\}$$

$$d\alpha_2 = \sin^{-1} \left\{ \frac{(g - f_1 + i_2 - m) \cos \alpha_2}{D} \right\}$$

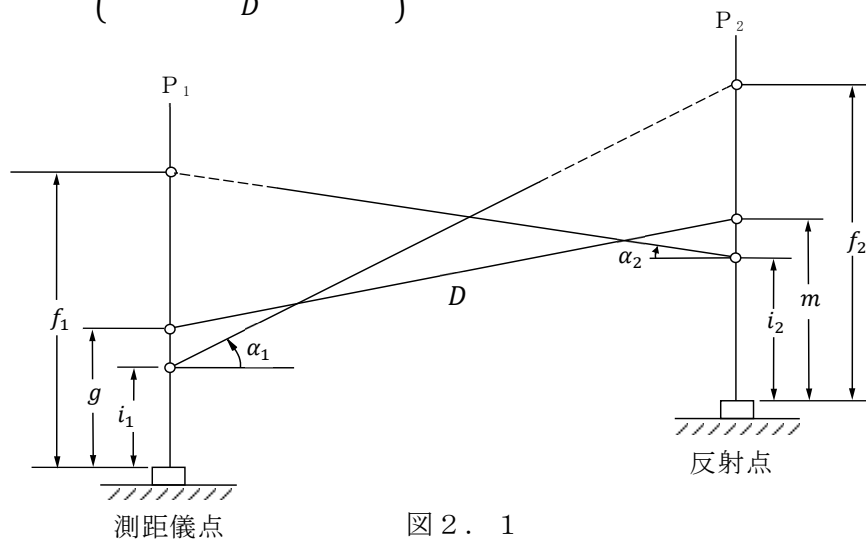


図 2. 1

- | | |
|-----------------|-------------|
| P_1 : 測距の器械点 | P_2 : 反射点 |
| g : 測距儀の器械高 | m : 反射鏡高 |
| i_1 : セオドライト高 | f_i : 目標高 |
| D : 測定距離 | |

補正量 $d\alpha_i$ は角度秒で求める。距離の単位は m、角度の単位は度分秒とする。

2.1.5 鋼巻尺の補正計算

$$D = D_s + D_s \cdot \Delta\ell/\ell + \alpha(t - t_0)D_s + C_h + C_H$$

ただし、

- D : 基準面上の距離
- D_s : 観測した距離
- $\Delta\ell$: 尺定数
- ℓ : 鋼巻尺の全長
- $D_s \cdot \Delta\ell/\ell$: 尺定数の補正 ($\Delta\ell/\ell$: 単位長当たりの補正量)

α : 鋼巻尺の膨張係数
 t : 測定時の温度
 t_0 : 鋼巻尺検定時の標準温度
 $\alpha(t - t_0)D_s$: 温度による尺長の変化の補正量
 h : 観測点間の高低差

$$C_h : \text{傾斜補正 } C_h = -\frac{h^2}{2D_s}$$

$$C_H : \text{投影補正 (標高 } H \text{ による補正) } C_H = -\frac{D_s(H + N)}{R}$$

ただし、

H : 両端点の平均標高
 N : 両端点の平均ジオイド高
 R : 平均曲率半径

2.2 偏心補正計算

2.2.1 正弦定理による計算

$$x = \sin^{-1}\left(\frac{e}{S} \sin \alpha\right)$$

(注) $\frac{e}{S}$ 又は $\frac{e}{S'} < \frac{1}{450}$ のときは、
 $S = S'$ として計算することができる。

2.2.2 二辺夾角による計算

$$x = \tan^{-1}\left(\frac{e \sin \alpha}{S' - e \cos \alpha}\right)$$

$$S = \sqrt{S'^2 + e^2 - 2S'e \cos \alpha}$$

偏心点 : 偏心角を測定した測点

x : 偏心補正量

S : P_1 と P_2 との距離

S' : 偏心点と P_2 との距離

e : 偏心距離

$$\alpha = t - \phi$$

t : 観測した水平角, ϕ : 偏心角

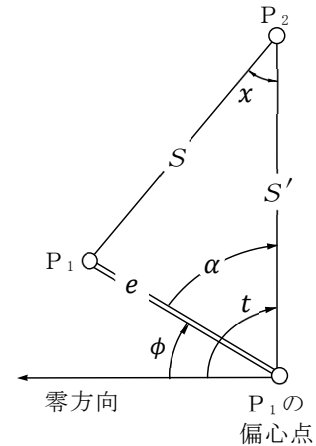


図 2. 2

2.2.3 相互偏心の計算

(1) S' が既知の場合

$$x = \tan^{-1}\left(\frac{e_1 \sin \alpha_1 + e_2 \sin \alpha_2}{S' - (e_1 \cos \alpha_1 + e_2 \cos \alpha_2)}\right)$$

$$S = \sqrt{(S' - e_1 \cos \alpha_1 - e_2 \cos \alpha_2)^2 + (e_1 \sin \alpha_1 + e_2 \sin \alpha_2)^2}$$

(2) S が既知の場合

$$x = \sin^{-1} \left(\frac{e_1 \sin \alpha_1 + e_2 \sin \alpha_2}{S} \right)$$

- P₁ : 測点 1
- P₂ : 測点 2
- P'₁ : P₁ の偏心点
- P'₂ : P₂ の偏心点
- x : 偏心補正量
- S : P₁ と P₂ との距離
- S' : P'₁ と P'₂ との距離
- e₁, e₂ : 偏心距離
- φ₁, φ₂ : 偏心角
- t₁, t₂ : 観測した水平角
- α₁ = t₁ - φ₁
- α₂ = (360° + t₂) - φ₂

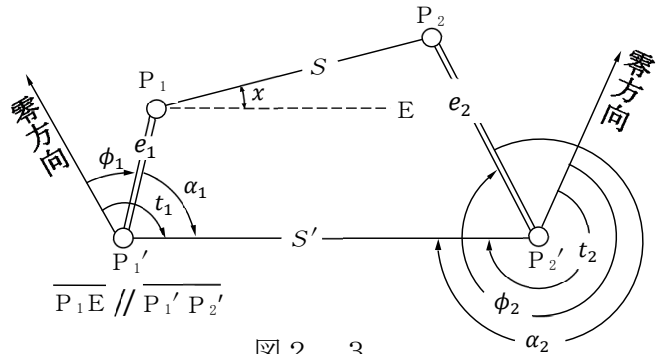


図 2. 3

2.2.4 偏心補正の符号

正とは、図 2.2 において、P₁ での水平角に補正する。反とは、P₂ での水平角に補正することを示す。+は、計算した補正量の符号をそのまま加用する。-は、計算した補正量の符号を反して加用することを示す。

B・C・Pの関係	偏心角を測定した位置の区分		
	水平角観測を行った観測点B	測点の中心C	目標の中心P
(B = P) ≠ C	正 : + 反 : +	正 : - 反 : -	正 : + 反 : +
(B = C) ≠ P	反 : -	反 : -	反 : +
B ≠ (C = P)	正 : +	正 : -	正 : -
B ≠ C ≠ P	(B ≠ C) 正 : +	(B ≠ C) 正 : - (C ≠ P) 反 : -	(C ≠ P) 反 : +

2.3 座標及び閉合差の計算

〈多角路線の記号の説明〉

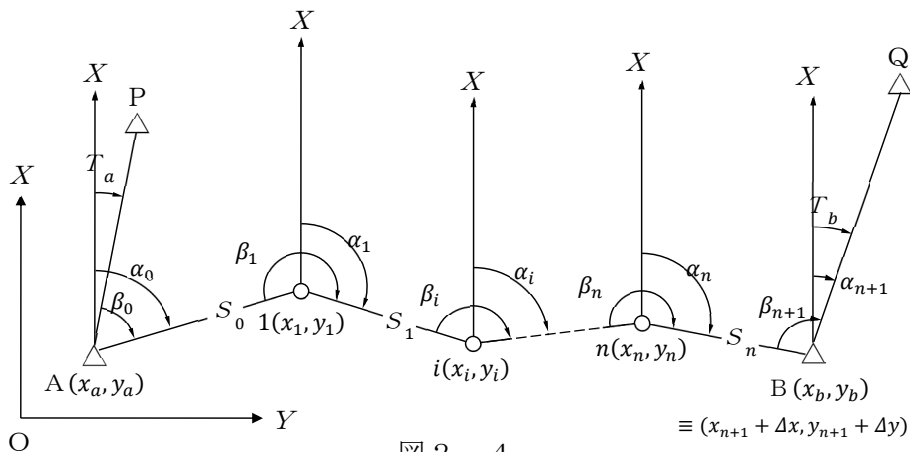


図 2. 4

(既知件)

A : 出発点 (既知点) x_a, y_a : A の x, y 座標

B : 結合点 (既知点) x_b, y_b : B の x, y 座標

T_a : 出発点の方向角

T_b : 結合点の方向角

(観測件)

β_i : 観測した水平角, (角数 = $n + 2$)

α_i : 観測で次の点に対する方向角, (角数 = $n + 2$)

S_i : 測点から次の点までの平面上の距離, (辺数 = $n + 1$)

i : 測点番号, (点数 = n)

(求 件)

x_i, y_i : 測点 i の x, y 座標

$\Delta x, \Delta y$: 座標の閉合差, $\Delta \alpha$: 方向角の閉合差

(その他の記号)

X : 座標の x 軸の方向 Y : 座標の y 軸の方向

P, Q : 既知点

2.3.1 方向角の計算

出発点 A の方向角 : $\alpha_0 = T_a + \beta_0$

測点 i の方向角 : $\alpha_i = \alpha_{i-1} + \beta_i \pm 180^\circ$

結合点 B の方向角 : $\alpha_{n+1} = \alpha_n + \beta_{n+1} \pm 180^\circ$

2.3.2 方向角の閉合差

$$\Delta \alpha = T_b - \alpha_{n+1}$$

又は

$$\Delta \alpha = T_b - T_a - \Sigma \beta + (n \pm 1)180^\circ$$

2.3.3 座標の近似値の計算

測点 1 の座標 : $x_1 = x_a + dx_1, y_1 = y_a + dy_1$

測点 i の座標 : $x_i = x_{i-1} + dx_i, y_i = y_{i-1} + dy_i$

ただし、

$$dx_i = S_i \cos \alpha_i, dy_i = S_i \sin \alpha_i$$

2.3.4 座標の閉合差

$$\Delta x = x_b - x_{n+1} = x_b - x_a - \Sigma dx$$

$$\Delta y = y_b - y_{n+1} = y_b - y_a - \Sigma dy$$

2.3.5 単位多角形の諸計算

単位多角形に関する諸計算は、2.3.1 から 2.3.4 の計算式を用いる。

(1) 方向角の計算は、2.3.1 による。

(2) 方向角の閉合差

内角を観測した場合 $\Delta \alpha = (n - 1)180^\circ - \Sigma \beta$

外角を観測した場合 $\Delta \alpha = (n + 3)180^\circ - \Sigma \beta$

(3) 座標の計算は、2.3.3 による。

(4) 座標の閉合差

$$\Delta x = \Sigma dx, \quad \Delta y = \Sigma dy$$

2.3.6 方向角の計算（方向角の取付観測がない場合）

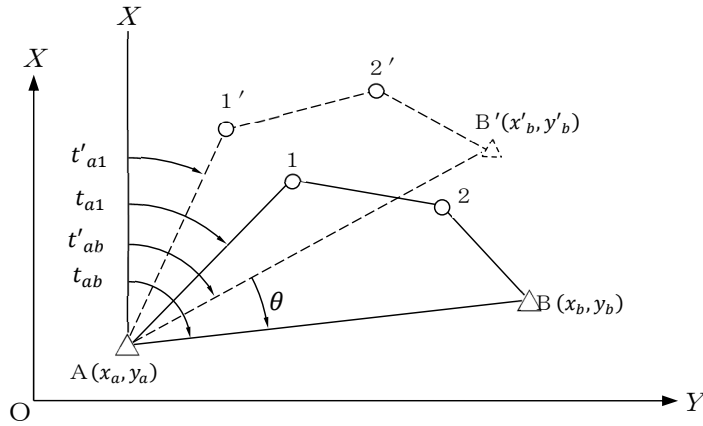


図 2.5

——— : 計算で確定した多角路線
 - - - - - : 仮定の方角角で計算した多角路線

(既知件)

A : 出発点 x_a, y_a : 出発点の x, y 座標

B : 結合点 x_b, y_b : 結合点の x, y 座標

(観測件)

多角路線の辺長と新点及び節点における水平角

(求 件)

t_{a1} : A から 1 に対する方向角

(計算式及び記号)

t'_{a1} : 地形図等から求めた A 点から 1' 点に対する仮定の方角角

(1'・2'・B' は仮定の方角角によって計算した各点の位置)

t'_{ab} : 仮定の方角角 (A 点から B' 点に対する方向角)

$$t'_{ab} = \tan^{-1} \left(\frac{y'_b - y_a}{x'_b - x_a} \right)$$

t_{ab} : 出発点 A 点から結合点 B 点に対する方向角

$$t_{ab} = \tan^{-1} \left(\frac{y_b - y_a}{x_b - x_a} \right)$$

θ : 仮定の方角角に対する修正量

$$\theta = t_{ab} - t'_{ab}$$

求件、A 点から 1 に対する方向角

$$t_{a1} = t'_{a1} + \theta$$

2.4 座標の計算（厳密水平網平均計算）

2.4.1 観測値を平面直角座標上の値へ変換するための計算

(1) 方向角の変換

$$(t - T)''_{ij} = \frac{\rho''}{6m_0^2 R_0^2} (x'_i - x'_j)(2y'_i + y'_j)$$

$$t_{ij} = T_{ij} + (t - T)''_{ij}$$

(2) 距離の変換

$$\left(\frac{s}{S}\right)_{ij} = m_0 \left(1 + \frac{y'^2_i + y'_i y'_j + y'^2_j}{6m_0^2 R_0^2}\right)$$

$$s_{ij} = S_{ij} \left(\frac{s}{S}\right)_{ij}$$

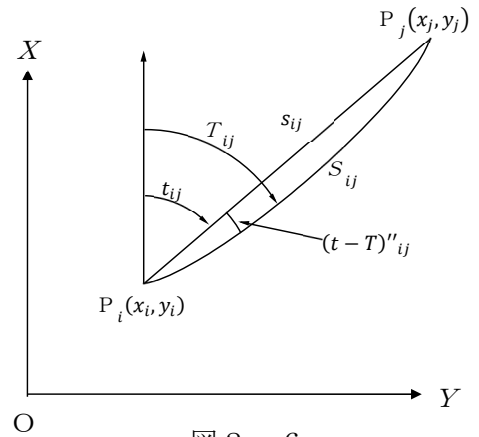


図 2. 6

ただし、

t_{ij} : 平面直角座標上の観測方向角

T_{ij} : 基準面上の観測方向角

s_{ij} : 平面直角座標上の測定距離

S_{ij} : 基準面上の測定距離

m_0 : 平面直角座標系の X 軸上における縮尺係数 0.9999

R_0 : 平面直角座標系原点の平均曲率半径

x'_i, y'_i : P_i 点の近似座標値

x'_j, y'_j : P_j 点の近似座標値

2.4.2 観測方程式

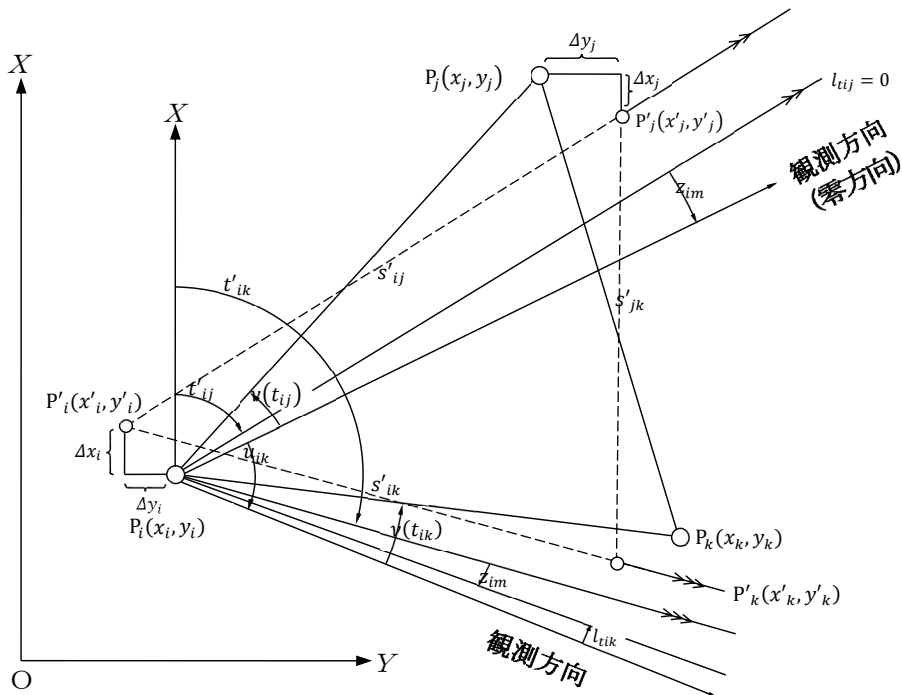


図 2. 7

(1) 方向観測の観測方程式

$$v(t_{ik}) = -z_{im} + a_{ik}\Delta x_i - b_{ik}\Delta y_i - a_{ik}\Delta x_k + b_{ik}\Delta y_k - l_{tik}$$

重量 $p_{ik} = 1$

(2) 距離観測の観測方程式

$$v(s_{ik}) = -b_{ik}\Delta x_i - a_{ik}\Delta y_i + b_{ik}\Delta x_k + a_{ik}\Delta y_k - l_{sik}$$

重量 p_{sik}

ただし、

x'_i, y'_i : P_i 点の座標の近似値 (m 単位)

x_i, y_i : P_i 点の座標の最確値 (m 単位)

$\Delta x_i, \Delta y_i$: P_i 点の座標の補正值 $x_i = x'_i + \Delta x_i, y_i = y'_i + \Delta y_i$

: P_i 点が既知点のとき $\Delta x_i = \Delta y_i = 0$

s'_{ik} : P_i, P_k 間の平面直角座標上の近似距離

$$s'_{ik} = \sqrt{(x'_k - x'_i)^2 + (y'_k - y'_i)^2}$$

a_{ik}, b_{ik} : 観測方程式の係数

$$a_{ik} = \frac{y'_k - y'_i}{s'_{ik}{}^2} \rho'', \quad b_{ik} = \frac{x'_k - x'_i}{s'_{ik}{}^2} \rho''$$

s_{ik} : P_i, P_k 間の平面直角座標上の測定距離 (m 単位)

l_{sik} : 距離の観測方程式の定数項 (秒単位) $l_{sik} = \frac{s_{ik} - s'_{ik}}{s'_{ik}} \rho''$

t'_{ij} : P_i 点における P_j (零方向) 方向の仮定方向角 $t'_{ij} = \tan^{-1} \left(\frac{y'_j - y'_i}{x'_j - x'_i} \right)$

t'_{ik} : P_i 点における P_k 方向の仮定方向角 $t'_{ik} = \tan^{-1} \left(\frac{y'_k - y'_i}{x'_k - x'_i} \right)$

z_{im} : 標定誤差、 P_i 点における m 組目の方向観測を方向角に換算するときの仮定方向角 (t') に対する補正值 (秒単位)

u_{ik} : P_i 点における零方向 (P_j 方向) を基準とした P_k 方向の観測角

l_{tik} : 方向の観測方程式の定数項 (秒単位)

$$l_{tik} = t'_{ij} + u_{ik} - t'_{ik}$$

$$l_{tij} = 0 \text{ (零方向)}$$

p_{ik} : 方向観測の重量, 常に 1 とする

p_{sik} : 距離観測の重量 $p_{sik} = \frac{m_t^2 s_{ik}^2}{(m_s^2 + \gamma^2 s_{ik}^2) \rho''^2}$

m_t : 角の 1 方向の標準偏差 (秒単位)

m_s : 測距儀における距離に無関係な標準偏差 (m 単位)

γ : 測距儀における距離に比例する誤差の比例定数

$v(t_{ik})$: 方向観測の残差 (秒単位)

$v(s_{ik})$: 距離観測の残差 (秒単位)

$$m \text{ 単位の場合の残差} = s'_{ik} v(s_{ik}) / \rho''$$

2.4.3 平均計算

- (1) 観測方程式の行列表示

$$V = AX - L, P$$

ただし、

V : 残差のベクトル
 A : 係数の行列
 X : 未知数のベクトル
 L : 定数項のベクトル
 P : 重量の行列

} 行列要素の配置順位は、それぞれ対応している。

- (2) 標準方程式の行列

$$NX = U$$

ただし、

$$N = A^T P A, U = A^T P L$$

A^T は、 A の転置行列 [$A = (a_{ij})$ のとき、 $A^T = (a_{ji})$] である。

- (3) 解

$$X = N^{-1} U$$

N^{-1} は、 N の逆行列である。

- (4) 座標の最確値

$$x_i = x'_i + \Delta x_i$$

$$y_i = y'_i + \Delta y_i$$

- (5) 単位重量当たりの観測値の標準偏差(m_0)

$$m_0 = \sqrt{\frac{V^T P V}{q - (r + 2n)}}$$

m_0 は、角度で表示する。

ただし、

V^T : V の転置行列 r : 方向観測の組の数

P : 観測値の重量 n : 新点の数

q : 観測方程式の数

- (6) 座標の標準偏差

$$M_x = \frac{m_0}{\sqrt{P_x}} \cdots \cdots X \text{座標の標準偏差}$$

$$M_y = \frac{m_0}{\sqrt{P_y}} \cdots \cdots Y \text{座標の標準偏差}$$

$$M_s = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \cdots \cdots \text{座標の標準偏差}$$

M_x, M_y, M_s は、長さで表示する。

ただし、

P_x : Δx の重量

P_y : Δy の重量

(注) $1/P_x, 1/P_y$ は、逆行列 N^{-1} の対角要素である。

2.5 標高及び閉合差の計算

2.5.1 標高及び高低差の計算

標高 H_2 (H_1 を既知とした場合)

$$H_2 = \frac{H'_2 + H''_2}{2}$$

H'_2, H''_2 正反に分けて計算を行う

$$\text{正方向 } H'_2 = H_1 + D \sin \alpha_1 + i_1 - f_2 + K$$

$$\text{反方向 } H''_2 = H_1 - D \sin \alpha_2 - i_2 + f_1 - K$$

高低差 h は

$$\begin{aligned} h &= H_2 - H_1 \\ &= D \sin \left(\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2} \right) + \frac{i_1 + f_1}{2} - \frac{i_2 + f_2}{2} \end{aligned}$$

ただし、

H_i : P_i 点の標高

i_i : P_i 点のセオドライト高

f_i : P_i 点の目標高

h : P_1 点と P_2 点との高低差

D : 測定距離

S : 基準面上の距離

Z_i : P_i 点で観測した鉛直角

α_i : P_i 点における高低角 $\alpha_i = 90^\circ - Z_i$

K : 両差 (気差及び球差) $K = \frac{(1-k)S^2}{2R}$

k : 屈折係数(0.133)

R : 平均曲率半径

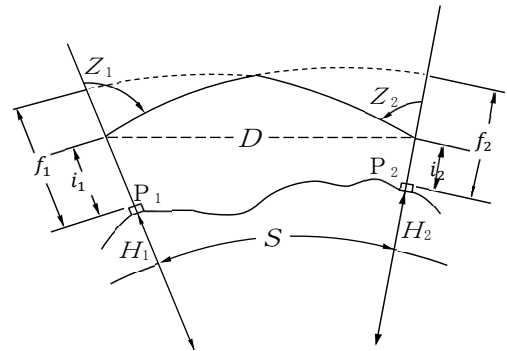


図 2. 8

2.5.2 標高の閉合差

(1) 結合多角路線の閉合差

$$dh = H_b - H_a - \Sigma h$$

ただし、

dh : 閉合差, H_a : 出発点の標高, H_b : 結合点の標高

(2) 単位多角形の閉合差

$$dh = \Sigma h$$

2.5.3 標高の近似値の計算

高低網平均の近似値は標高の概算値を使用する。

$$H_2 = H_1 + h$$

2.6 標高の計算 (厳密高低網平均計算)

2.6.1 観測した高低角の標石上面への補正計算

〈補正計算の説明〉

- H_i : 標高
- A_i : 測点 i から観測した高低角
- $d\alpha_i$: A_i に対する補正量
- α_i : A_i の補正後の高低角
- i_i : セオドライト高
- f_i : 目標高
- i : 測点番号

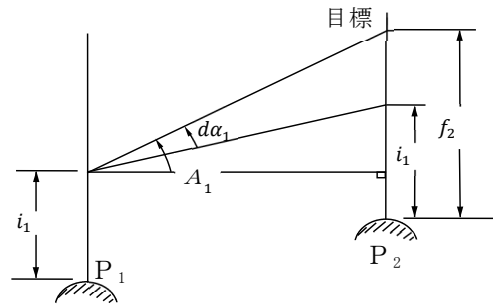


図 2. 9

(1) 正の高低角に対する補正量

$$d\alpha_1 = \tan^{-1} \left\{ \frac{(f_2 - i_1) \cos A_1}{\frac{S}{\cos A_1} - (f_2 - i_1) \sin A_1} \right\}$$

(2) 反の高低角に対する補正量

$$d\alpha_2 = \tan^{-1} \left\{ \frac{(f_1 - i_2) \cos A_2}{\frac{S}{\cos A_2} - (f_1 - i_2) \sin A_2} \right\}$$

ただし、

S は基準面上の距離 [2.6.2 による]

(3) 補正した観測高低角

$$\alpha_1 = A_1 - d\alpha_1$$

$$\alpha_2 = A_2 - d\alpha_2$$

2.6.2 観測方程式

〈平均値・観測値・近似値の関係〉

P_i : 平均計算で確定した測点

H_i : 標高の最確値

P'_i : 近似値による測点

H'_i : 近似標高

Δh_i : 近似標高に対する補正量

α : 観測した高低角

$$\alpha = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}$$

α' : 近似標高により求めた高低角

$$\alpha' = \tan^{-1} \left\{ \frac{H'_2 - H'_1}{S} \left(1 - \frac{H'_1 + H'_2}{2R} \right) \right\}$$

S : 基準面上の距離

R : 平均曲率半径

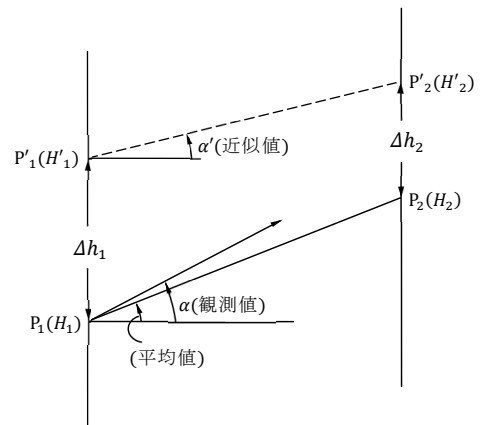


図 2. 10

(1) 観測値の重量

正反を 1 組とした、 $\alpha = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}$ の観測値の重量を 1 とする。

(2) 観測方程式の係数

$$C_1 = \frac{\cos^2 \alpha'}{S} \left(1 - \frac{H'_1}{R} \right) \rho''$$

$$C_2 = \frac{\cos^2 \alpha'}{S} \left(1 - \frac{H'_2}{R} \right) \rho''$$

(3) 観測方程式

$$v(\alpha) = -C_1 \Delta h_1 + C_2 \Delta h_2 - l_{12}$$

$$\text{重量} = 1$$

ただし、

$$l_{12} = \alpha - \alpha'$$

$v(\alpha)$: 高低角の残差 (秒単位)

2.6.3 平均計算

(1) 観測方程式の行列表示は、2.4.3(1)による。

(2) 標準方程式の行列は、2.4.3(2)による。

(3) 解は 2.4.3(3)による。

(4) 標高の最確値

$$H_i = H'_i + \Delta h_i$$

(5) 単位重量当たりの観測値の標準偏差(m_0)

$$m_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{V}^T \mathbf{P} \mathbf{V}}{q - n}}$$

m_0 は、角度で表示する。

ただし、記号は 2.4.3(5)と同じである。

(6) 標高の標準偏差(M_h)

$$M_h = \frac{m_0}{\sqrt{P_h}}$$

M_h は、長さで表示する。

ただし、 $P_h : \Delta h$ の重量

2.7 平面直角座標による基準面上の方向角及び基準面上の距離の計算

2.7.1 基準面上の方向角

$$T_{12} = \tan^{-1} \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) - (t - T)_{12}$$

ただし、

x_i, y_i : 測点 1 及び測点 2 の座標

象限 : 第 1 象限 : $(y_2 - y_1) > 0, (x_2 - x_1) > 0$

第 2 象限 : $(y_2 - y_1) > 0, (x_2 - x_1) < 0$

第 3 象限 : $(y_2 - y_1) < 0, (x_2 - x_1) < 0$

第 4 象限 : $(y_2 - y_1) < 0, (x_2 - x_1) > 0$

$$(t - T)_{12} = \frac{\rho''}{6m_0^2 R_0^2} (x_1 - x_2)(2y_1 + y_2)$$

2.7.2 基準面上の距離

$$S_{12} = \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{\frac{s}{S}}$$

$$\frac{s}{S} = m_0 \left(1 + \frac{y_1^2 + y_1 y_2 + y_2^2}{6m_0^2 R_0^2} \right)$$

ただし、

R_0 : 平面直角座標系原点の平均曲率半径

m_0 : 平面直角座標系の X 軸上における縮尺係数(0.9999)

2.7.3 成果表に記載する縮尺係数

$$m = m_0 \left(1 + \frac{y^2}{2m_0^2 R_0^2} \right)$$

ただし、

y : 当該点の y 座標

2.8 座標を変換して経緯度、子午線収差角及び縮尺係数を求める計算

2.8.1 緯度 φ 及び経度 λ

$$\varphi = \chi + \rho'' \sum_{j=1}^6 \delta_j \sin 2j\chi, \quad \lambda = \lambda_0 + \tan^{-1} \left(\frac{\sinh \eta'}{\cos \xi'} \right)$$

2.8.2 子午線収差角 γ 及び縮尺係数 m

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{\tau' + \sigma' \tan \xi' \tanh \eta'}{\sigma' - \tau' \tan \xi' \tanh \eta'} \right), \quad m = \frac{\bar{A}}{a} \sqrt{\frac{\cos^2 \xi' + \sinh^2 \eta'}{\sigma'^2 + \tau'^2} \left\{ 1 + \left(\frac{1-n}{1+n} \tan \varphi \right)^2 \right\}}$$

ただし、

x, y : 新点の X 座標及び Y 座標

φ_0, λ_0 : 平面直角座標系原点の緯度及び経度

m_0 : 平面直角座標系の X 軸上における縮尺係数(0.9999)

a, F : 楕円体の長半径及び逆扁平率

$$n = \frac{1}{2F - 1}, \quad \xi = \frac{x + \bar{S}\varphi_0}{\bar{A}}, \quad \eta = \frac{y}{\bar{A}}$$

$$\xi' = \xi - \sum_{j=1}^5 \beta_j \sin 2j\xi \cosh 2j\eta, \quad \eta' = \eta - \sum_{j=1}^5 \beta_j \cos 2j\xi \sinh 2j\eta$$

$$\sigma' = 1 - \sum_{j=1}^5 2j\beta_j \cos 2j\xi \cosh 2j\eta, \quad \tau' = \sum_{j=1}^5 2j\beta_j \sin 2j\xi \sinh 2j\eta$$

$$\beta_1 = \frac{1}{2}n - \frac{2}{3}n^2 + \frac{37}{96}n^3 - \frac{1}{360}n^4 - \frac{81}{512}n^5, \quad \beta_2 = \frac{1}{48}n^2 + \frac{1}{15}n^3 - \frac{437}{1440}n^4 + \frac{46}{105}n^5,$$

$$\beta_3 = \frac{17}{480}n^3 - \frac{37}{840}n^4 - \frac{209}{4480}n^5, \quad \beta_4 = \frac{4397}{161280}n^4 - \frac{11}{504}n^5, \quad \beta_5 = \frac{4583}{161280}n^5$$

$$\chi = \sin^{-1}\left(\frac{\sin \xi'}{\cosh \eta'}\right)$$

$$\delta_1 = 2n - \frac{2}{3}n^2 - 2n^3 + \frac{116}{45}n^4 + \frac{26}{45}n^5 - \frac{2854}{675}n^6,$$

$$\delta_2 = \frac{7}{3}n^2 - \frac{8}{5}n^3 - \frac{227}{45}n^4 + \frac{2704}{315}n^5 + \frac{2323}{945}n^6,$$

$$\delta_3 = \frac{56}{15}n^3 - \frac{136}{35}n^4 - \frac{1262}{105}n^5 + \frac{73814}{2835}n^6, \quad \delta_4 = \frac{4279}{630}n^4 - \frac{332}{35}n^5 - \frac{399572}{14175}n^6,$$

$$\delta_5 = \frac{4174}{315}n^5 - \frac{144838}{6237}n^6, \quad \delta_6 = \frac{601676}{22275}n^6$$

$$\bar{S}_{\varphi_0} = \frac{m_0 a}{1+n} \left(A_0 \frac{\varphi_0}{\rho''} + \sum_{j=1}^5 A_j \sin 2j\varphi_0 \right), \quad \bar{A} = \frac{m_0 a}{1+n} A_0 = 6366.812400856471$$

$$A_0 = 1 + \frac{n^2}{4} + \frac{n^4}{64}, \quad A_1 = -\frac{3}{2} \left(n - \frac{n^3}{8} - \frac{n^5}{64} \right), \quad A_2 = \frac{15}{16} \left(n^2 - \frac{n^4}{4} \right),$$

$$A_3 = -\frac{35}{48} \left(n^3 - \frac{5}{16}n^5 \right), \quad A_4 = \frac{315}{512}n^4, \quad A_5 = -\frac{693}{1280}n^5$$

なお、各座標系（I系～XIX系）における \bar{S}_{φ_0} は、下記のとおりとする。

$$\bar{S}_{\varphi_0}(\text{I}) = \bar{S}_{\varphi_0}(\text{II}) = \bar{S}_{\varphi_0}(\text{IV}) = 3652.382768270787$$

$$\bar{S}_{\varphi_0}(\text{III}) = \bar{S}_{\varphi_0}(\text{VI}) = \bar{S}_{\varphi_0}(\text{V}) = \bar{S}_{\varphi_0}(\text{VII}) = \bar{S}_{\varphi_0}(\text{VIII}) = \bar{S}_{\varphi_0}(\text{IX}) = 3985.144116029222$$

$$\bar{S}_{\varphi_0}(\text{X}) = 4429.086077333565$$

$$\bar{S}_{\varphi_0}(\text{XI}) = \bar{S}_{\varphi_0}(\text{XII}) = \bar{S}_{\varphi_0}(\text{XIII}) = 4873.334987359201$$

$$\bar{S}_{\varphi_0}(\text{XIV}) = \bar{S}_{\varphi_0}(\text{XV}) = \bar{S}_{\varphi_0}(\text{XVI}) = \bar{S}_{\varphi_0}(\text{XVII}) = \bar{S}_{\varphi_0}(\text{XIX}) = 2876.546889061122$$

$$\bar{S}_{\varphi_0}(\text{XVIII}) = 2212.145017477571$$

2.9 経緯度を変換して座標、子午線収差角及び縮尺係数を求める計算

2.9.1 X座標及びY座標

$$x = \bar{A} \left(\xi' + \sum_{j=1}^5 a_j \sin 2j\xi' \cosh 2j\eta' \right) - \bar{S}_{\varphi_0}, \quad y = \bar{A} \left(\eta' + \sum_{j=1}^5 a_j \cos 2j\xi' \sinh 2j\eta' \right)$$

2.9.2 子午線収差角 γ 及び縮尺係数 m

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{\tau \bar{t} \lambda_c + \sigma t \lambda_s}{\sigma \bar{t} \lambda_c - \tau t \lambda_s} \right), \quad m = \frac{\bar{A}}{a} \sqrt{\frac{\sigma^2 + \tau^2}{t^2 + \lambda_c^2} \left\{ 1 + \left(\frac{1-n}{1+n} \tan \varphi \right)^2 \right\}}$$

ただし、

φ, λ : 新点の緯度及び経度

$\varphi_0, \lambda_0, m_0, a, F, n, \bar{S}_{\varphi_0}, \bar{A}$: 2.8 による。

$$t = \sinh \left\{ \tanh^{-1} \sin \varphi - \frac{2\sqrt{n}}{1+n} \tanh^{-1} \left(\frac{2\sqrt{n}}{1+n} \sin \varphi \right) \right\}, \quad \bar{t} = \sqrt{1+t^2}$$

$$\lambda_c = \cos(\lambda - \lambda_0), \quad \lambda_s = \sin(\lambda - \lambda_0), \quad \xi' = \tan^{-1} \left(\frac{t}{\lambda_c} \right), \quad \eta' = \tanh^{-1} \left(\frac{\lambda_s}{\bar{t}} \right)$$

$$\sigma = 1 + \sum_{j=1}^5 2j\alpha_j \cos 2j\xi' \cosh 2j\eta', \quad \tau = \sum_{j=1}^5 2j\alpha_j \sin 2j\xi' \sinh 2j\eta'$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{2}n - \frac{2}{3}n^2 + \frac{5}{16}n^3 + \frac{41}{180}n^4 - \frac{127}{288}n^5, \quad \alpha_2 = \frac{13}{48}n^2 - \frac{3}{5}n^3 + \frac{557}{1440}n^4 + \frac{281}{630}n^5,$$

$$\alpha_3 = \frac{61}{240}n^3 - \frac{103}{140}n^4 + \frac{15061}{26880}n^5, \quad \alpha_4 = \frac{49561}{161280}n^4 - \frac{179}{168}n^5, \quad \alpha_5 = \frac{34729}{80640}n^5$$

3. GNSS 測量機を使用した場合の計算式

3.1 座標系の変換

3.1.1 経緯度及び高さから地心直交座標系への変換

$$\begin{aligned} X &= (N+h) \cos \varphi \cos \lambda \\ y &= (N+h) \cos \varphi \sin \lambda \\ Z &= \{N(1-e^2) + h\} \sin \varphi \\ h &= H + N_g \end{aligned}$$

ただし、

$$\begin{array}{ll} \varphi & : \text{緯度} & \lambda & : \text{経度} \\ H & : \text{標高} & N_g & : \text{ジオイド高} \\ N & : \text{卯酉線曲率半径} & e & : \text{離心率} \\ h & : \text{楕円体高} & & \end{array}$$

3.1.2 地心直交座標系から経緯度及び高さへの変換

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{Z}{P - e^2 N_{i-1} \cos \varphi_{i-1}} \right) \quad (\varphi \text{ は繰り返し計算})$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{Y}{X} \right)$$

$$h = \frac{P}{\cos \varphi} - N$$

$$P = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

ただし、

φ の収束条件 : $|\varphi_i - \varphi_{i-1}| \leq 10^{-12}$ (rad)

φ_i : i 回目の計算結果

$$\varphi_0 : \tan^{-1} \left\{ \frac{Z}{P(1-e^2)} \right\}$$

3.2 偏心補正計算

3.2.1 偏心補正計算に必要な距離計算

$$D = \sqrt{(D' \cos \alpha_m)^2 + (D' \sin \alpha_m + i_1 - f_2)^2}$$

$$\alpha_m = \frac{\alpha'_1 - \alpha'_2}{2}$$

ただし、

D : 既知点と偏心点の斜距離

D' : 測定した斜距離

α'_1, α'_2 : 観測高低角

i_1, i_2 : TS等の器械高

f_1, f_2 : 目標高

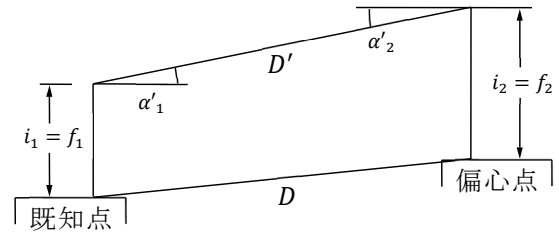


図 3. 1

3.2.2 偏心補正計算に必要な高低角に対する補正計算

$$\alpha_1 = \alpha'_1 + d\alpha_1 + G\alpha$$

$$\alpha_2 = \alpha'_2 + d\alpha_2 - G\alpha$$

$$d\alpha_1 = \sin^{-1} \left\{ \frac{(i_1 - f_2) \cos \alpha'_1}{D} \right\}$$

$$d\alpha_2 = \sin^{-1} \left\{ \frac{(i_2 - f_1) \cos \alpha'_2}{D} \right\}$$

$$G\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{N_{g2} - N_{g1}}{S'} \right)$$

ただし、

α_1, α_2 : 既知点と偏心点の高低角

α'_1, α'_2 : 観測高度角

$d\alpha_1, d\alpha_2$: 高度角の補正量

$G\alpha$: 高度角のジオイド補正量

S' : 既知点と偏心点の斜距離

N_{g1}, N_{g2} : 測点 1, 2 のジオイド高 (当該楕円体)

φ_1, λ_1 : 既知点の緯度, 経度 (当該楕円体)

φ_2, λ_2 : 偏心点の緯度, 経度 (当該楕円体)

D : 既知点と偏心点の斜距離

i_1, i_2 : 器械高

f_1, f_2 : 目標高

H_1, H_2 : 既知点と偏心点の高さ (当該楕円体)

$$S' = D \cos \left\{ \frac{(\alpha'_1 + d\alpha_1) - (\alpha'_2 + d\alpha_2)}{2} \right\} R / \left(R + \frac{H_1 + H_2}{2} \right)$$

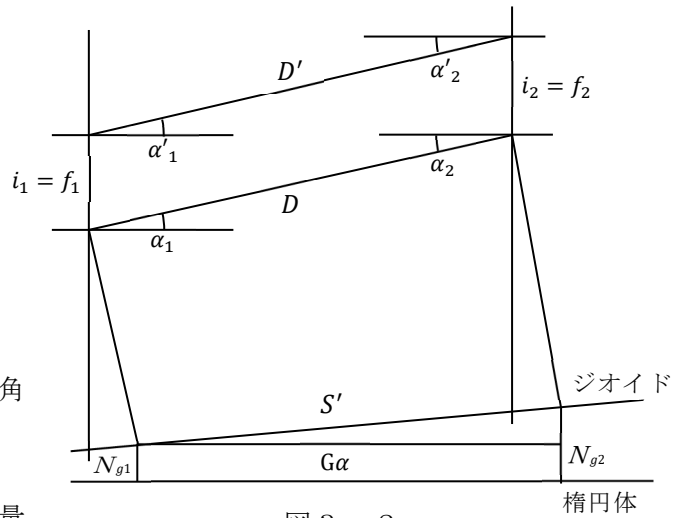


図 3. 2

3.2.3 偏心補正計算に必要な方位角の計算

(1) 偏心点から既知点の方位角

$$T = T_0 + \phi$$

$$T_0 = \tan^{-1} \left(\frac{D_Y}{D_X} \right)$$

$$\begin{pmatrix} D_X \\ D_Y \\ D_Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x' \\ \Delta y' \\ \Delta z' \end{pmatrix}$$

ただし、

T : 偏心点から既知点の方位角

T_0 : 方位標の方位角

ϕ : 偏心角

D_X, D_Y, D_Z : 基線ベクトルの局所測地座標系における成分

φ : 偏心点の緯度

λ : 偏心点の経度

$\Delta x', \Delta y', \Delta z'$: 基線ベクトルの地心直交座標系における成分
(偏心点と方位標の座標差)

(2) 既知点から偏心点の方位角計算

$$T' = T \pm 180^\circ - \gamma$$

$$\gamma = \frac{S' \sin T' \tan \varphi_c}{N_c}$$

$$S' = \frac{D \cos \alpha_m R}{R + h_m}$$

$$\varphi_c = \varphi_1 + \frac{X}{M}$$

$$X = S' \cos T'$$

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}$$

$$h_m = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

$$R = \sqrt{MN_c}$$

ただし、

T : 偏心点から既知点の方位角 3.2.3(1)で計算した値を使用する

γ : 偏心点における子午線収差角

S' : 基準面上の距離

D : 既知点と偏心点の斜距離

φ_1 : 既知点の緯度

N_c : 卯酉線曲率半径 (引数は φ_c とする)

M : 子午線曲率半径 (引数は φ_1 とする)

R : 平均曲率半径 (引数は φ_1 とする)

α_1, α_2 : 既知点と偏心点の高低角

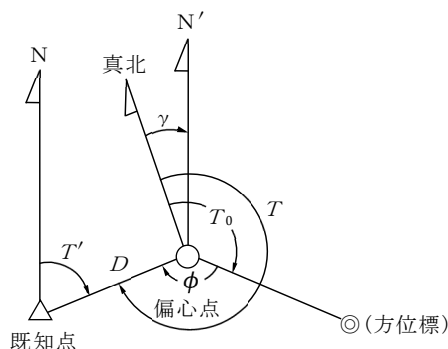


図 3. 3

h_1, h_2 : 既知点と偏心点の楕円体高

(注) γ の計算は最初、 $T'_0 = T + 180^\circ$ の値で計算し、 $|T' - T'_0| \leq 0.1''$ を満たすまで繰り返す。

3.2.4 偏心補正計算

基線ベクトルの局所測地座標系における成分を地心直交座標系における成分に変換する。

$$\begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \lambda & \cos \varphi \cos \lambda \\ -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda \\ \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} D \cos \alpha_m \cos \beta \\ D \cos \alpha_m \sin \beta \\ D \sin \alpha_m \end{pmatrix}$$

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}$$

ただし、

- $\Delta x, \Delta y, \Delta z$: 偏心補正量
- φ : 既知点の緯度
- λ : 既知点の経度
- D : 既知点と偏心点の斜距離
- α_1, α_2 : 既知点と偏心点の高低角
- β : 既知点から偏心点又は偏心点から既知点の方位角

3.2.5 偏心補正の方法

(1) 偏心点及び既知点で偏心角を観測した場合

$$\begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta X_{ob} \\ \Delta Y_{ob} \\ \Delta Z_{ob} \end{pmatrix} \pm \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix}$$

ただし、

- $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$: 偏心補正後の2点間の座標差 (地心直交座標系における成分)
- $\Delta X_{ob}, \Delta Y_{ob}, \Delta Z_{ob}$: 偏心点で観測した2点間の座標差 (地心直交座標系における成分)
- $\Delta x, \Delta y, \Delta z$: 偏心補正量 (3.2.4で計算した値を使用する)

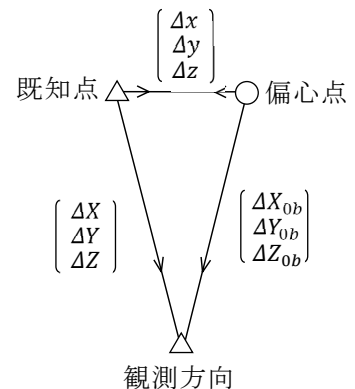


図 3. 4

(2) 偏心点の座標が未知の場合

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} \pm \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix}$$

ただし、

- X, Y, Z : 偏心点の座標 (地心直交座標系における成分)
- X_1, Y_1, Z_1 : 既知点の座標 (地心直交座標系における成分)
- $\Delta x, \Delta y, \Delta z$: 偏心補正量 (3.2.4で計算した値を使用する)

3.3 点検計算の許容範囲に使用する閉合差、較差及び環閉合差 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ から $\Delta N, \Delta E, \Delta U$ への変換計算

3.3.1 既知点間の閉合差

$$\begin{pmatrix} \Delta N \\ \Delta E \\ \Delta U \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix}$$

ただし、

- ΔN : 水平面の南北成分の閉合差
- ΔE : 水平面の東西成分の閉合差
- ΔU : 高さ成分の閉合差
- ΔX : 地心直交座標 X 軸成分の閉合差
- ΔY : 地心直交座標 Y 軸成分の閉合差
- ΔZ : 地心直交座標 Z 軸成分の閉合差

$$R = \begin{pmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{pmatrix}$$

φ , λ は、測量地域内の任意の既知点の緯度、経度値とする

3.3.2 重複辺の較差

3.3.1 の内 ΔX , ΔY , ΔZ を

- ΔX : 基線ベクトル X 軸成分の較差
 - ΔY : 基線ベクトル Y 軸成分の較差
 - ΔZ : 基線ベクトル Z 軸成分の較差
- とする。

3.3.3 基線ベクトルの環閉合差

3.3.1 の内 ΔX , ΔY , ΔZ を

- ΔX : 基線ベクトル X 軸成分の環閉合差
 - ΔY : 基線ベクトル Y 軸成分の環閉合差
 - ΔZ : 基線ベクトル Z 軸成分の環閉合差
- とする。

3.4 三次元網平均計算

3.4.1 GNSS 基線ベクトル

$$\begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (N_i + h_i) \cos \varphi_i \cos \lambda_i \\ (N_i + h_i) \cos \varphi_i \sin \lambda_i \\ \{N_i(1 - e^2) + h_i\} \sin \varphi_i \end{pmatrix}_{i=1,2}$$

3.4.2 観測方程式

- (1) 地心直交座標 (X , Y , Z) による観測方程式

$$\begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta X_2 \\ \delta Y_2 \\ \delta Z_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \delta X_1 \\ \delta Y_1 \\ \delta Z_1 \end{pmatrix} + \mathbf{M}_\xi \begin{pmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{pmatrix} \xi + \mathbf{M}_\eta \begin{pmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{pmatrix} \eta + \mathbf{M}_\alpha \begin{pmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{pmatrix} \alpha + \begin{pmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \Delta X_{0b} \\ \Delta Y_{0b} \\ \Delta Z_{0b} \end{pmatrix}$$

(補正量) (未知量) (未知量)

(概算値) (観測値)

(注) 測量地域の微小回転を推定しない場合は、 ξ , η , α の項は除く。

$$\mathbf{M}_\xi = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -\cos \lambda_0 \\ 0 & 0 & -\sin \lambda_0 \\ \cos \lambda_0 & \sin \lambda_0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{M}_\eta = \begin{pmatrix} 0 & -\cos \varphi_0 & -\sin \varphi_0 \sin \lambda_0 \\ \cos \varphi_0 & 0 & \sin \varphi_0 \cos \lambda_0 \\ \sin \varphi_0 \sin \lambda_0 & -\sin \varphi_0 \cos \lambda_0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{M}_\alpha = \begin{pmatrix} 0 & \sin \varphi_0 & -\cos \varphi_0 \sin \lambda_0 \\ -\sin \varphi_0 & 0 & \cos \varphi_0 \cos \lambda_0 \\ \cos \varphi_0 \sin \lambda_0 & -\cos \varphi_0 \cos \lambda_0 & 0 \end{pmatrix}$$

ただし、

- φ_0, λ_0 : 既知点 (任意) の緯度, 経度
- ξ : 測量地域の南北成分の微小回転
- η : 測量地域の東西成分の微小回転
- α : 網の鉛直軸の微小回転

(2) 測地座標 (緯度 φ 、経度 λ 、楕円体高 h) による観測方程式

$$\begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix} = \mathbf{m}_2 \begin{pmatrix} \delta \varphi_2 \\ \delta \lambda_2 \\ \delta h_2 \end{pmatrix} - \mathbf{m}_1 \begin{pmatrix} \delta \varphi_1 \\ \delta \lambda_1 \\ \delta h_1 \end{pmatrix} + \mathbf{M}_\xi \begin{pmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{pmatrix} \xi + \mathbf{M}_\eta \begin{pmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{pmatrix} \eta + \mathbf{M}_\alpha \begin{pmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{pmatrix} \alpha + \begin{pmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \Delta X_{0b} \\ \Delta Y_{0b} \\ \Delta Z_{0b} \end{pmatrix}$$

(補正量) (未知量) (未知量)

(概算値) (観測値)

(注) 測量地域の微小回転を推定しない場合は、 ξ , η , α の項は除く。

$$\mathbf{m}_i = \begin{pmatrix} -(M_i + h_i) \sin \varphi_i \cos \lambda_i & -(N_i + h_i) \cos \varphi_i \sin \lambda_i & \cos \varphi_i \cos \lambda_i \\ -(M_i + h_i) \sin \varphi_i \sin \lambda_i & (N_i + h_i) \cos \varphi_i \cos \lambda_i & \cos \varphi_i \sin \lambda_i \\ (M_i + h_i) \cos \varphi_i & 0 & \sin \varphi_i \end{pmatrix}_{(i=1,2)}$$

3.4.3 観測の重み

(1) 基線解析で求めた値による計算式

$$\mathbf{P} = (\boldsymbol{\Sigma}_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z})^{-1}$$

(2) 水平及び高さの分散を固定値とした値による計算式

$$\boldsymbol{\Sigma}_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z} = \mathbf{R}^T \boldsymbol{\Sigma}_{N, E, U} \mathbf{R}$$

ただし、

\mathbf{P} : 重量行列

$\Sigma_{\Delta X, \Delta Y, \Delta Z}$: ΔX , ΔY , ΔZ の分散・共分散行列

$$\Sigma_{N,E,U} = \begin{pmatrix} d_N & 0 & 0 \\ 0 & d_E & 0 \\ 0 & 0 & d_U \end{pmatrix}$$

d_N : 水平面の南北成分の分散

d_E : 水平面の東西成分の分散

d_U : 高さ成分の分散

$$R = \begin{pmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{pmatrix}$$

φ , λ は測量地域内の任意の既知点の緯度、経度値とする

3.4.4 平均計算

$$V = AX - L$$

$$(A^T P A) X = (A^T P L)$$

$$X = (A^T P A)^{-1} A^T P L$$

$$P = \begin{pmatrix} \sigma_{\Delta X \Delta X} & \sigma_{\Delta X \Delta Y} & \sigma_{\Delta X \Delta Z} \\ \sigma_{\Delta Y \Delta X} & \sigma_{\Delta Y \Delta Y} & \sigma_{\Delta Y \Delta Z} \\ \sigma_{\Delta Z \Delta X} & \sigma_{\Delta Z \Delta Y} & \sigma_{\Delta Z \Delta Z} \end{pmatrix}^{-1}$$

ただし、

V : 残差のベクトル

A : 未知数の係数行列

X : 未知数のベクトル

L : 定数項のベクトル

P : 重量行列

3.4.5 平均計算後の観測値の単位重量当たりの標準偏差

$$m_0 = \sqrt{\frac{V^T P V}{3(m-n)}}$$

m : 基線数 n : 未知点数

3.4.6 未知点座標の平均値の標準偏差

(1) 地心直交座標

$$X \text{ の標準偏差} : \sigma_X = m_0 \sqrt{\sigma_{\Delta X \Delta X}}$$

$$Y \text{ の標準偏差} : \sigma_Y = m_0 \sqrt{\sigma_{\Delta Y \Delta Y}}$$

$$Z \text{ の標準偏差} : \sigma_Z = m_0 \sqrt{\sigma_{\Delta Z \Delta Z}}$$

(2) 測地座標

$$\varphi \text{ の標準偏差} : \sigma_n = m_0 \sqrt{\sigma_{\varphi\varphi}} (M+h)$$

$$\lambda \text{ の標準偏差} : \sigma_e = m_0 \sqrt{\sigma_{\lambda\lambda}} (N+h) \cos \varphi$$

$$h \text{ の標準偏差} : \sigma_h = m_0 \sqrt{\sigma_{hh}}$$

ただし、

$\sigma_{\varphi\varphi}$, $\sigma_{\lambda\lambda}$, σ_{hh} : 重み係数行列の対角要素

M : 子午線曲率半径

N : 卯酉線曲率半径

3.5 ジオイド高算出のための補間計算

$$N_g = (1-t)(1-u)N_{g(i,j)} + (1-t)uN_{g(i,j+1)} + t(1-u)N_{g(i+1,j)} + tuN_{g(i+1,j+1)}$$

ただし、

φ_i : i 格子の緯度

λ_j : j 格子の経度

$N_{g(i,j)}$: (i, j) 格子のジオイド高

φ : 求点の緯度

λ : 求点の経度

N_g : 求点のジオイド高

$$t = \frac{\varphi - \varphi_i}{\varphi_{i+1} - \varphi_i}$$

$$u = \frac{\lambda - \lambda_j}{\lambda_{j+1} - \lambda_j}$$

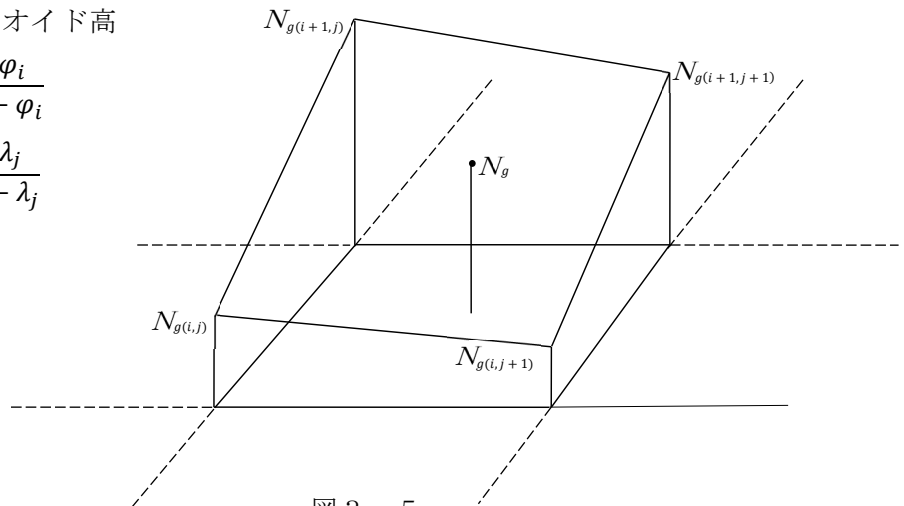


図 3. 5

(注) 求点のジオイド高は、求点を最も近く取り囲む 4 格子のジオイド高から求める。

4. その他

本計算式のほか、これと同精度又はこれを上回る精度を有することが確認できる場合には、当該計算式を使用することができる。