

ジオイド測量作業規程

国土交通省国土地理院

国地達第 15 号

ジオイド測量作業規程の全部を改正する達を次のように定める。

平成 16 年 4 月 1 日

国土地理院長

ジオイド測量作業規程の全部を改正する達

ジオイド測量作業規程（平成 13 年 3 月 30 日国地達第 30 号）の全部を次のように改正する。

国地達第 20 号

ジオイド測量作業規程の一部を改正する達を次のように定める。

平成 23 年 8 月 1 日

国土地理院長

ジオイド測量作業規程の一部を改正する達

ジオイド測量作業規程（平成 16 年 4 月 1 日国地達第 15 号）の一部を次のように改正する。

国地測物第 7 号

平成 16 年 4 月 12 日

測 地 部 長

ジオイド測量作業規程運用基準の全部の改正について
ジオイド測量作業規程運用基準の全部を次のように改正する。

国地測物第 13 号

平成 18 年 7 月 13 日

測 地 部 長

ジオイド測量作業規程運用基準の一部の改正について
ジオイド測量作業規程運用基準の一部を次のように改正する。

国地測物第 13 号

平成 23 年 8 月 1 日

測 地 部 長

ジオイド測量作業規程運用基準の一部の改正について
ジオイド測量作業規程運用基準の一部を次のように改正する。

目 次

| | | |
|------|---------------|---|
| 第1節 | 総 則 | 1 |
| 第1条 | 目 的 | 1 |
| 第2条 | 定 義 | 1 |
| 第3条 | 運用基準等 | 1 |
| 第4条 | 測量法の遵守 | 1 |
| 第5条 | 関係法令の遵守 | 1 |
| 第6条 | 工程管理 | 2 |
| 第7条 | 精度管理 | 2 |
| 第2節 | 作業計画 | 2 |
| 第8条 | 作業の準備 | 2 |
| 第9条 | 作業方法の決定 | 2 |
| 第10条 | 平均計画図の作成 | 3 |
| 第3節 | 選 点 | 3 |
| 第11条 | 定 義 | 3 |
| 第12条 | 選点の実施 | 3 |
| 第13条 | 観測図の作成 | 4 |
| 第4節 | 観 測 | 4 |
| 第14条 | 観 測 | 4 |
| 第15条 | 測量機器の性能等 | 4 |
| 第16条 | 主要機器の検定等 | 5 |
| 第17条 | G N S S 観測の実施 | 5 |
| 第18条 | 水準測量の実施 | 6 |
| 第19条 | 偏心観測の実施 | 6 |
| 第5節 | 計算及び整理 | 6 |
| 第20条 | 計算方法 | 6 |
| 第21条 | 現地計算 | 7 |
| 第22条 | 再 測 | 8 |
| 第23条 | 平均計算等 | 8 |
| 第24条 | ジオイド高の計算 | 8 |
| 第25条 | ジオイドの形状計算 | 8 |

| | | | |
|------|--------|-------|----|
| 第26条 | 点の記 | ----- | 8 |
| 第27条 | 成果等の整理 | ----- | 9 |
| 附則 | | ----- | 9 |
| 計算式 | | ----- | 10 |

第1節 総 則

(目 的)

第1条 この規程は、測量法(昭和24年法律第188号。以下「法」という。)第4条に規定する基本測量のうちジオイド測量について作業方法等を定め、その規格を統一するとともに、必要な精度を確保することを目的とする。

(定 義)

第2条 この規程において「ジオイド測量」とは、水準点又は標高既知点(以下「水準点等」という。)でGNSS測量を行い楕円体高を求めると及び水準点等から電子基準点付属標又は楕円体高既知点(以下「電子基準点等」という。)まで水準測量を行い標高を求めることにより各観測点におけるジオイド高を算出し、この結果に基づき日本のジオイド高モデルを作成する作業をいう。

<第2条 運用基準>

- 1 GNSSとは、人工衛星からの信号を用いて位置を決定する衛星測位システムの総称で、GPS、GLONASS、Galileo及び準天頂衛星等の衛星測位システムがある。ジオイド測量においては、GPSを適用する。

(運用基準等)

第3条 この規程に定めるもののほか、この規程の運用に関し必要な事項については、測地部長が別に定めるジオイド測量作業規程運用基準(以下「運用基準」という。)、ジオイド測量作業規程記載要領(以下「記載要領」という。)及びジオイド高モデル作成作業要領(以下「作業要領」という。)によるものとする。

(測量法の遵守)

第4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者(以下「作業員」という。)は、法を遵守しなければならない。

- 2 この規程で使用する用語のうち法に定めのあるものは法の定めるところによる。

(関係法令の遵守)

第5条 作業機関及び作業員は、作業の実施にあたり、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。

<第5条 運用基準>

- 1 作業機関は、労働安全衛生法の各種規定を作業員に周知徹底しなければならない。
- 2 作業機関は、道路交通法やその他の法令等を遵守するとともに、現地の関係官公署と十分打ち合わせを行うものとする。
- 3 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。)を定めなければならない。
- 4 作業員は、安全規程等を遵守し、災害、交通安全、健康管理等に十分留意しなければならない。

(工程管理)

第6条 作業機関は、作業計画に基づき、適切な工程管理を行わなければならない。

<第6条 運用基準>

- 1 作業機関は、作業の進捗状況を監督職員に適宜報告しなければならない。

(精度管理)

第7条 作業機関は、測量の高い精度を確保するため、適切な精度管理を行わなければならない。

<第7条 運用基準>

- 1 作業機関は、精度管理の内容をまとめた精度管理表を作成し、提出する。
- 2 作業機関は、国土地理院に登録された検定機関において、測量機器及び測量成果（測量記録を含む）の検定を受けなければならない。

第2節 作業計画

(作業の準備)

第8条 測量作業の円滑化と測量精度向上のため、作業着手にあたっては綿密な作業計画を立案するとともに、各種の作業準備を行うものとする。

<第8条 運用基準>

- 1 作業機関は、作業に必要な以下の手続及び調査等を行い、これらを十分考慮して作業期間、作業編成、作業工程、主要機器等を決定する。
 - (1) 法、道路交通法等関係法令に基づく手続を行う。
 - (2) GNSS衛星の最新情報を調査する。
 - (3) 電子基準点の稼働状況を調査する。
 - (4) 水準点等及び電子基準点等の測量成果、点の記及び測量記録で状況を把握する。
 - (5) その他作業に必要な資料等を準備する。
- 2 作業に使用する測量機器の準備を行う。
 - (1) 器械、器材及び消耗品等の準備を行う。
 - (2) 器械及び器材は、故障の有無及び安全性等について十分な点検を行う。

(作業方法の決定)

第9条 作業実施にあたっては、電子基準点、水準点等の配点密度及び重力ジオイドの形状等を考慮し、最適な作業方法を決定するものとする。

<第9条 運用基準>

- 1 作業方法は、重力ジオイドの形状のほか、重力ジオイド・モデルに含まれる系統誤差及び重力観測点の密度等を考慮して決定する。
- 2 水準点が設置されていない地域については、水準点を新設することができる。ただし、設置は、水準測量作業規程及び同作業記載要領に基づき実施する。
- 3 作業地域内に設置されている電子基準点は、原則として電子基準点付属標のGNSS観測及び水準測量を行うものとする。

(平均計画図の作成)

第10条 作業機関は、決定した作業方法に基づき平均計画図の作成を行うものとする。

<第10条 運用基準>

- 1 平均計画図は、20万分の1地勢図等を用いて作成する。
- 2 平均計画図の作成は、以下を考慮する。
 - (1) 使用する水準点等の種類は、一・二等水準点及び1・2級公共水準点とする。また、電子基準点等の種類は、電子基準点及び三角点とする。ただし、水準点等及び電子基準点等が設置されていない地域では、公共基準点や保存性の高い標識を使用することができる。
 - (2) ジオイド高を算出する点の密度は、直線距離で20km±4km（ただし、離島地域は5km）を標準とする。
 - (3) 水準観測路線中の交差点若しくはその隣接点でGNSS観測を行うよう計画する。
 - (4) GNSS測量機で同時に観測する水準点等及び電子基準点等は3点以上（以下「セッション」という。）とする。
- 3 平均計画図の記載は、次のとおりとする。
 - (1) 水準点等は番号または名称、電子基準点等は番号、名称を記載する。
 - (2) 観測点及び作業地域から概ね10km以内にある電子基準点を記載する。ただし、作業地域内に電子基準点が設置されていない場合は、周囲の電子基準点を記載する。
 - (3) 水準測量を行う場合は、水準観測路線図を記載する。ただし、水準観測路線図は平均計画図とは別に作成することができる。
 - (4) 各セッションは、単位多角形で記載する。
 - (5) セッションは、他のセッションと2点以上重複させるものとし、重複基線の較差または異なるセッションの基線で形成される多角形の環閉合差で点検できるように計画する。
 - (6) 各セッションのうち1セッション以上は、原則として最も近い距離にある電子基準点と結合させるものとする。

第3節 選 点

(定 義)

第11条 この規程において「選点」とは、平均計画図に基づき、地形、植生、電波障害の有無、その他現地の状況を調査し、観測点を決定する作業をいう。

(選点の実施)

- 第12条 平均計画図に基づき水準点等及び電子基準点等の現地の状況について、調査を行うものとする。
- 2 調査の結果、異常が発見された水準点等及び電子基準点等については、適切な処置を講じるものとする。
 - 3 調査の結果は、所定の様式によりまとめるものとする。

<第12条 運用基準>

- 1 水準点等及び電子基準点等の異常を発見した場合は、直ちに監督職員に報告しなければならない。

- 2 水準点等でGNSS観測が不可能な場合は、全体の観測密度が偏らない位置に水準点等から水準測量により求めた一時的な仮水準点（以下「偏心点」という。）を設置することができる。ただし、偏心する距離は、原則として1km以内とする。
- 3 観測点は、原則として高圧電線、携帯電話の中継局、通行量の多い道路及び鉄道の付近に選点してはならない。
- 4 電子基準点現地調査を行う。ただし、調査は、電子基準点維持要領、電子基準点現地調査作業要領及び同作業記載要領に基づき実施する。
- 5 選点終了後は、平均図を速やかに作成し監督職員の承諾を得るものとする。なお、平均図の記載は、水準点等は番号及びID番号、電子基準点等は名称及びID番号を記載する。

(観測図の作成)

第13条 選点結果に基づき、GNSS観測計画及び水準測量観測路線等を明示した観測図の作成を行うものとする。

<第13条 運用基準>

- 1 GNSS観測計画にあたっては、次のことを行うものとする。
 - (1) GNSS衛星の最新の運行情報を入手し、衛星配置、PDOP等を表した、衛星飛来情報を作成する。
 - (2) 使用する電子基準点の稼働状況を確認する。
- 2 観測図は、20万分の1地勢図等を用いて作成する。
- 3 観測図は、水準点等は番号及びID番号、電子基準点等は名称及びID番号を記載する。また、各セッションの解析方法を明示した解析図を作成する。
- 4 観測を実施するにあたっては、監督職員から観測図の承諾を得るものとする。また、観測図の内容を変更する場合も監督職員の承諾を得るものとする。

第4節 観 測

(観 測)

第14条 観測は、所定の精度を確保するため、十分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。

(測量機器の性能等)

第15条 観測に使用する測量機器の性能は、運用基準で定めるものとする。

<第15条 運用基準>

- 1 観測に使用する測量機器は、次表に示す性能以上とする。

| 区 分 | | 性 能 |
|-----------|------|---------------------------|
| GNSS測量機 | | 国土地理院測量機器性能基準による1級GNSS測量機 |
| レベル | 直接水準 | 国土地理院測量機器性能基準による2級レベル |
| | 偏心観測 | 国土地理院測量機器性能基準による2級レベル |
| 水準標尺 | 直接水準 | 国土地理院測量機器性能基準による1級水準標尺 |
| | 偏心観測 | 標尺水準器付きで、1mmの読定ができるもの |
| 水準測量作業用電卓 | | 国土地理院測量機器性能基準による水準測量作業用電卓 |

2 温度計の最小読み取り目盛は1℃とする。

(主要機器の検定等)

第16条 観測に使用する測量機器は、所定の方法により検定及び点検を行い、必要に応じて調整を行うものとする。

<第16条 運用基準>

- 1 観測に使用する測量機器の検定は、国土地理院に登録された検定機関で受けるものとし、検定結果の有効期間は次のとおりとする。
 - (1) GNSS 測量機 1年
 - (2) レベル及び水準測量作業用電卓 1年
 - (3) 水準標尺 3年
- 2 水準測量に使用する測量機器は、水準測量作業規程に準じて点検を行うものとする。
- 3 GNSS 観測に使用する測量機器及び付属する機器は、観測開始前に各機能の正常稼動について点検することとし、特に次の項目については十分注意する。
 - (1) デジタル表示機能が正常であること。
 - (2) アンテナケーブルが正常であること。
 - (3) コネクタが正常であること。

(GNSS 観測の実施)

第17条 GNSS 観測は、静的干渉測位による所定の観測を行うものとする。

<第17条 運用基準>

- 1 GNSS 観測は、以下のことに十分注意して実施する。
 - (1) GNSS 観測は、1セッションを実施する。
 - (2) GNSS 測量機は次のとおり設定する。
 - 1) GNSS 衛星の最低高度角は15°とする。
 - 2) 受信するGNSS衛星は4個以上とし、ヘルスステータスが正常なものを使用する。
 - 3) データ取得間隔は30秒とする。
 - 4) 連続観測時間は6時間以上とする。
 - (3) 観測、測定単位及び位は、メートル単位で0.001位とする。
 - (4) サイクルスリップ等の誤差要因を可能な限り回避するため、特に以下の点に留意する。
 - 1) 道路や線路脇等における自動車、電車の通過による衛星電波の遮りを防ぐこと。
 - 2) 揺れる電線等による、衛星電波の遮りを防ぐこと。
 - 3) エンジンのかかった作業車や無線電話機等をアンテナに近づけないこと。
 - 4) 観測地域に台風や前線がある場合は、観測を行わないこと。また、その影響を受けているときは観測を行わないこと。
 - (5) アンテナ高の測定は、鋼巻尺を使用し、標識上面からアンテナ底面までの垂直距離を観測前と観測後に測定し平均値を採用する。なお、観測前後の較差の許容範囲は、3mmとする。
 - (6) 軟弱地盤での観測は、脚杭を使用すること。また、脚の先端は、移動しないよう木杭等で十分固定すること。
- 2 電子基準点付属標の観測は、以下のとおり実施する。
 - (1) 電子基準点付属標の観測は、電子基準点付属標取付観測作業要領、同作業記載要領及び次の条

件に基づき実施する。

- 1) 同作業で使用する GNSS 測量機の性能は、1 級 GNSS 測量機とする。
- 2) 連続観測時間は6 時間以上とする。
- 3) 観測は、1 (1)のセッションに含めて実施する。

(水準測量の実施)

第 18 条 水準点等の設置されていない地域、水準点の改測等が必要な地域及び電子基準点等の標高を求める場合においては、所定の精度により水準測量を行うものとする。

<第 18 条 運用基準>

- 1 観測は、水準測量作業規程に基づき実施する。
- 2 水準点が設置されていない地域及び電子基準点等の標高を求める場合は、二等水準測量以上の観測精度で実施する。
- 3 水準点等及び電子基準点等の水準観測路線長が長距離となる場合は、概ね 2km 置きに強固な自然物等の固定点を設けること。

(偏心観測の実施)

第 19 条 偏心が必要な場合は、所定の方法により、偏心観測を行うものとする。

<第 19 条 運用基準>

- 1 偏心観測の方法及び測定値の許容範囲は、次表のとおりとする。

| 偏心距離 | 測定機器及び測定法 | 観測値の許容範囲 |
|------------------|--|--|
| 30cm未満 | 独立水準器を用いて、偏心点を本点と同高にする。 | |
| 30cm以上 100m未満 | レベルによる往復観測。ただし、後視・前視に同一標尺を用いることにより、片道観測の測点数を1点とすることができる。 | 往復の較差：2mm |
| 100m以上 300m未満 | レベルによる往復観測 | 往復の較差：3mm |
| 300m以上 | レベルによる往復観測 | 往復の較差：5mm \sqrt{S} S: 観測距離 (km単位) |

第 5 節 計算及び整理

(計算方法)

第 20 条 計算は、運用基準、記載要領及び作業要領に基づいて行うものとする。

<第 20 条 運用基準>

- 1 GNSS 観測の計算は、所定の計算式を使用し、次表に示す桁まで算出する。

| 斜 距 離 | 高 低 差 | 楕円体高の高低差 | ジオイド高 |
|--------|--------|----------|--------|
| 0.001m | 0.001m | 0.001m | 0.001m |

- 2 楕円体変換及び三次元座標の変換は、国土地理院作成の変換プログラムにより行う。
- 3 水準測量の計算は、水準測量作業規程に準ずるものとする。

(現地計算)

第 21 条 観測が終了したときは、観測値の良否を点検するため、速やかに所定の点検計算を行うものとする。

<第 21 条 運用基準>

1 作業現地における GNSS 観測による基線ベクトルの計算 (以下「基線解析」という。) は、次のとおりとする。

- (1) GNSS 衛星の軌道要素は、放送暦とする。
- (2) アンテナ定数は、各メーカーが指定するアンテナ位相特性モデル (PCV 補正) を使用する。
- (3) 基線解析に使用する出発点の座標及び楕円体高は、電子基準点成果 (測地成果 2000) とする。
- (4) 基線解析の条件は、10 km 未満は 1 周波、10 km 以上は 2 周波とし、最低高度角は 15° 、解析時間は 6 時間、データ取得間隔は 30 秒とする。
- (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) 気象補正は、基線解析ソフトウェアが採用している標準気象による。
- (7) 基線解析の結果は FIX 解であることを確認するとともに、統計的指標 (標準偏差、データの棄却率等) により精度を吟味する。
- (8) 基線解析の結果が異常である場合は、監督職員に報告し適切な措置を講ずる。

2 点検の項目及び許容範囲は、次のとおりとする。

- (1) 観測値の良否は、異なるセッションの解析結果を使用して、次のいずれかの方法で点検する。
 - 1) 最少辺数で形成される多角形の環閉合差。
 - 2) 重複辺の較差。
 - 3) 電子基準点間の閉合差。
- (2) 環閉合差及び重複辺の較差の許容範囲は、次表のとおりとする。

| 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 : 水平の南北方向の閉合較差 |
| | 高さ (ΔU) | $30\text{mm} \sqrt{N}$ | |
| 重複辺の較差 | 水平 (ΔN 、 ΔE) | 20mm | 3. ΔE : 水平の東西方向の閉合較差 4. ΔU : 高さ方向の閉合較差 |
| | 高さ (ΔU) | 30mm | |

ただし、 ΔN 、 ΔE 、 ΔU は、計算式より算出する。

- (3) 複数の電子基準点等を既知点とした場合は、電子基準点間の閉合差の計算を行う。なお、点検路線は既知点と他の既知点とを結合する最少辺数路線 (辺数が同じ場合は路線長が最短のもの) とし、独立した路線数 (電子基準点等の数 - 1) について実施する。
- (4) 電子基準点間の閉合差の許容範囲は、次表のとおりとする。

| 区 分 | | 許容範囲 | 備 考 |
|------------|--------------------------------|---------------------------------------|--|
| 電子基準点間の閉合差 | 水平 (ΔN 、 ΔE) | $60\text{mm} + 20\text{mm} \sqrt{N}$ | 1. N : 辺数 2. ΔN : 水平の南北方向の閉合較差 3. ΔE : 水平の東西方向の閉合較差 4. ΔU : 高さ方向の閉合較差 |
| | 高さ (ΔU) | $150\text{mm} + 30\text{mm} \sqrt{N}$ | |

3 水準測量における点検計算は、水準測量作業規程に準ずるものとする。

(再測)

第 22 条 観測結果が所定の許容範囲を超えた場合及び観測条件に違反した場合は、再測しなければならない。

- 1 再測は、許容範囲を超えた原因を十分吟味したうえで、所定の方法により行うものとする。

<第 22 条 運用基準>

- 1 観測条件は、第 4 節観測で示す全ての事項及び特記仕様書で指定された事項とする。
- 2 観測条件を違反した場合は、監督職員に速やかに報告を行うものとする。

(平均計算等)

第 23 条 楕円体高は、電子基準点を固定した精密暦による基線解析及び平均計算により求めるものとする。

- 2 標高は、水準点成果を基に、所定の方法により求めるものとする。

<第 23 条 運用基準>

- 1 精密基線解析及び平均計算の許容範囲は、次のとおりとする。
 - (1) 精密基線解析は、GAMIT を使用して行う。また、解析に使用する暦情報は、精密暦とする。
 - (2) 計算は、ITRF 座標系、GRS80 楕円体を使用する。
 - (3) 精密基線解析は、2 周波による静的干渉測位法による解析を行い、衛星の最低高度角は 15° 、解析時間は 6 時間とする。
 - (4) 精密基線解析による結果の標準偏差(nrms)は、0.3 以内を標準とする。
 - (5) 平均計算は、GLOBK を使用するものとし、原則として 50km 以内の電子基準点を固定して計算する。
 - (6) 計算結果の χ^2 (カイ二乗) は、2 以内を標準とする。
 - (7) アンテナ位相特性モデルは、IGS (INTERNATIONAL GNSS SERVICE) が提供している最新値を使用する。ただし、電子基準点については、既定値を使用する。

(ジオイド高の計算)

第 24 条 ジオイド高は、標高及び楕円体高を基に、所定の方法により計算するものとする。

<第 24 条 運用基準>

- 1 ジオイド高は、楕円体高から標高を減じることにより算出する。

(ジオイドの形状計算)

第 25 条 ジオイドの形状計算は、作業要領に基づいて行うものとする。

(点の記)

第 26 条 ジオイド測量で使用した基準点は、所定の書式により点の記の作成を行うものとする。

<第 26 条 運用基準>

- 1 点の記は、水準点、三角点及び電子基準点について作成する。書式等は関係する記載要領によるものとする。

(成果等の整理)

第 27 条 成果等の整理は、記載要領に基づいて行うものとする。

<第 27 条 運用基準>

1 測量記録とは、次のとおりとし、記載要領に基づき作成する。

- (1) 観測手簿
- (2) GNSS 解析簿
- (3) 計算簿
- (4) 成果表
- (5) 精度管理簿
- (6) 諸資料簿
- (7) 作業管理写真
- (8) その他参考資料

2 成果等は、上記 1 に掲げる測量記録を除く「点の記」、「ジオイド高モデル」とし、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

この達は、平成 16 年 4 月 1 日から施行する。

附 則

- 1 この運用基準は、平成 18 年 4 月 1 日より適用する。
- 2 直営作業においては、この運用基準中「監督職員」とあるものは、「係長」と読み替えるものとする。

附 則

この達は、平成 23 年 8 月 1 日から施行する。

ジオイド測量

計 算 式

(1) ΔN 、 ΔE 、 ΔU の計算式

1) 電子基準点間の閉合差

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

ただし、

ΔN : 水平面の南北方向の閉合差

ΔE : 水平面の東西方向の閉合差

ΔU : 高さ方向の閉合差

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

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

ϕ : 緯度

λ : 経度

ϕ , λ は、測量地域内の任意の既知点の値

2) 重複辺の較差

1) の 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) 基線ベクトルの環閉合差

1) の 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。

(2) 楕円体の変換

1) 楕円体の原子

世界測地系で使用している値

$$\text{長半径} \quad a_w = 6378137 \text{ m}$$

$$\text{扁平率} \quad f_w = 1/298.257222101$$

2) 経緯度及び高さから地心直交座標系への変換

$$X = (N + H) \cdot \cos \phi \cdot \cos \lambda$$

$$Y = (N + H) \cdot \cos \phi \cdot \sin \lambda$$

$$Z = \{N (1 - e^2) + H\} \sin \phi$$

$$N = a / \sqrt{(1 - e^2 \cdot \sin^2 \phi)}$$

$$e^2 = f (2 - f)$$

ただし、

ϕ : 緯度

λ : 経度

H : 楕円体からの高さ

N : 卯酉線曲率半径

a : 長半径

e : 第一離心率

f : 扁平率

とする。

3) 地心直交座標系から経緯度及び高さへの変換

$$\lambda = \tan^{-1}(Y / X)$$

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

$$H = P / \cos \phi - N$$

$$N_{i-1} = a / \sqrt{(1 - e^2 \cdot \sin^2 \phi_{i-1})}$$

$$\phi = \tan^{-1} \{ Z / (P - e^2 \cdot N_{i-1} \cdot \cos \phi_{i-1}) \} \quad (\phi \text{ は繰り返し計算})$$

ただし

$$\phi \text{ の収束条件 : } | \phi_i - \phi_{i-1} | \leq 10^{-12} \text{ (rad)}$$

ϕ_i : i 回目の計算結果

$$\phi_0 = \tan^{-1} (Z / P)$$

とする。

(3) 基線解析

1) 平均計算

$$V = A X - L$$

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

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

$$P = B^{-1} = \begin{bmatrix} \sigma_{\Delta x \Delta x} & \sigma_{\Delta x \Delta y} & \sigma_{\Delta x \Delta z} \\ \sigma_{\Delta y \Delta x} & \sigma_{\Delta y \Delta y} & \sigma_{\Delta y \Delta z} \\ \sigma_{\Delta z \Delta x} & \sigma_{\Delta z \Delta y} & \sigma_{\Delta z \Delta z} \end{bmatrix}^{-1}$$

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

B : ΔX , ΔY , ΔZ の分散・共分散行列とする。

2) 分散・共分散行列と相関行列の関係

$$\rho_{ij} = \sigma_{ij} / \sqrt{(\sigma_{ii} \times \sigma_{jj})}$$

3) 相関行列の関係

$$C = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{\Delta x \Delta y} & \rho_{\Delta x \Delta z} \\ \rho_{\Delta y \Delta x} & 1 & \rho_{\Delta y \Delta z} \\ \rho_{\Delta z \Delta x} & \rho_{\Delta z \Delta y} & 1 \end{bmatrix}$$

4) 標準偏差

$$\Delta X \text{ の標準偏差 : } \sigma_{\Delta x} = \sqrt{(\sigma_{\Delta x} \Delta x)}$$

$$\Delta Y \text{ の標準偏差 : } \sigma_{\Delta y} = \sqrt{(\sigma_{\Delta y} \Delta y)}$$

$$\Delta Z \text{ の標準偏差 : } \sigma_{\Delta z} = \sqrt{(\sigma_{\Delta z} \Delta z)}$$

$$\text{斜距離 (D) の標準偏差 : } \sigma_D = \sqrt{(\sigma_{DD})}$$

$$\sigma_{DD} = G \cdot B \cdot G^T$$

$$G = (\Delta X / D, \Delta Y / D, \Delta Z / D)$$

$$D = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$$

ただし

B : ΔX , ΔY , ΔZ の分散・共分散行列とする。

- (4) $\Delta N \cdot \Delta E \cdot \Delta U$ の計算式、楕円体の変換、基線解析等の計算式は、別掲の計算式によるほか、これと同精度もしくは、これを上回る精度であることが確認できる計算式については、当該計算式を明記して使用することができる。