

4. GNSS 測量による座標値の修正

4.1 座標値の修正について

これまでの座標の整理・変換作業で異常が認められた場合、その要因（後述 4.2）によって現地で再度測量を行い、正しい公共座標（※1）（測地成果 2011）を求める必要がある。また、任意座標（※2）の個所も公共座標と整合が取れない点で、異常状態といえるため、同様に再度現地測量を行い、公共座標に修正する必要がある。

これらの修正が必要な個所について、入力の手違いや座標系の間違いは原因が分かれば机上での修正（座標変換・再計算）が可能であるが、原因が特定できない個所又は任意座標の個所については、現地において直接測量を行い公共座標に修正することになる。

なお、現地測量の手法はコンパス測量→トランシット又はトータルステーション (TS) による測量→GNSS による測量と時代により変化しており、精度も向上している。今回の業務では、「3. 座標値の簡易な点検方法」で中部森林管理局管内の座標データ異常個所を抽出し、その中から 1 か所について、GNSS による現地測量を実施し座標の修正を試みた。

現地測量は、林野庁測定規程に基づき行った。林野庁測定規程の中で、境界点の座標修正の指標とする項目は主に「図根点測量」「境界測量」「境界検測」になると考えられるが、これに該当しない事項については「公共測量作業規程の準則 用地測量」を参考とした。「境界検測」では「旧位置の再現」が目的の一つにあるが、今回は座標値の修正が目的であるため、現地での復元は行わず計算による復元に止めた。

※1 公共測量において標準的に用いられる座標系による座標。測量法により定められ、2001 年以前のベッセル楕円体による「日本測地系」、2002 年より世界測地系（※3）に準拠した「測地成果 2000」、2011 年より東北地方太平洋沖地震による地殻変動に対応した「測地成果 2011」と改定されている。

※2 任意の基準による座標。その他の座標と互換性が無い場合が多い。

※3 世界共通の基準を持つ座標系。日本では 2002 年より公共座標に採用。

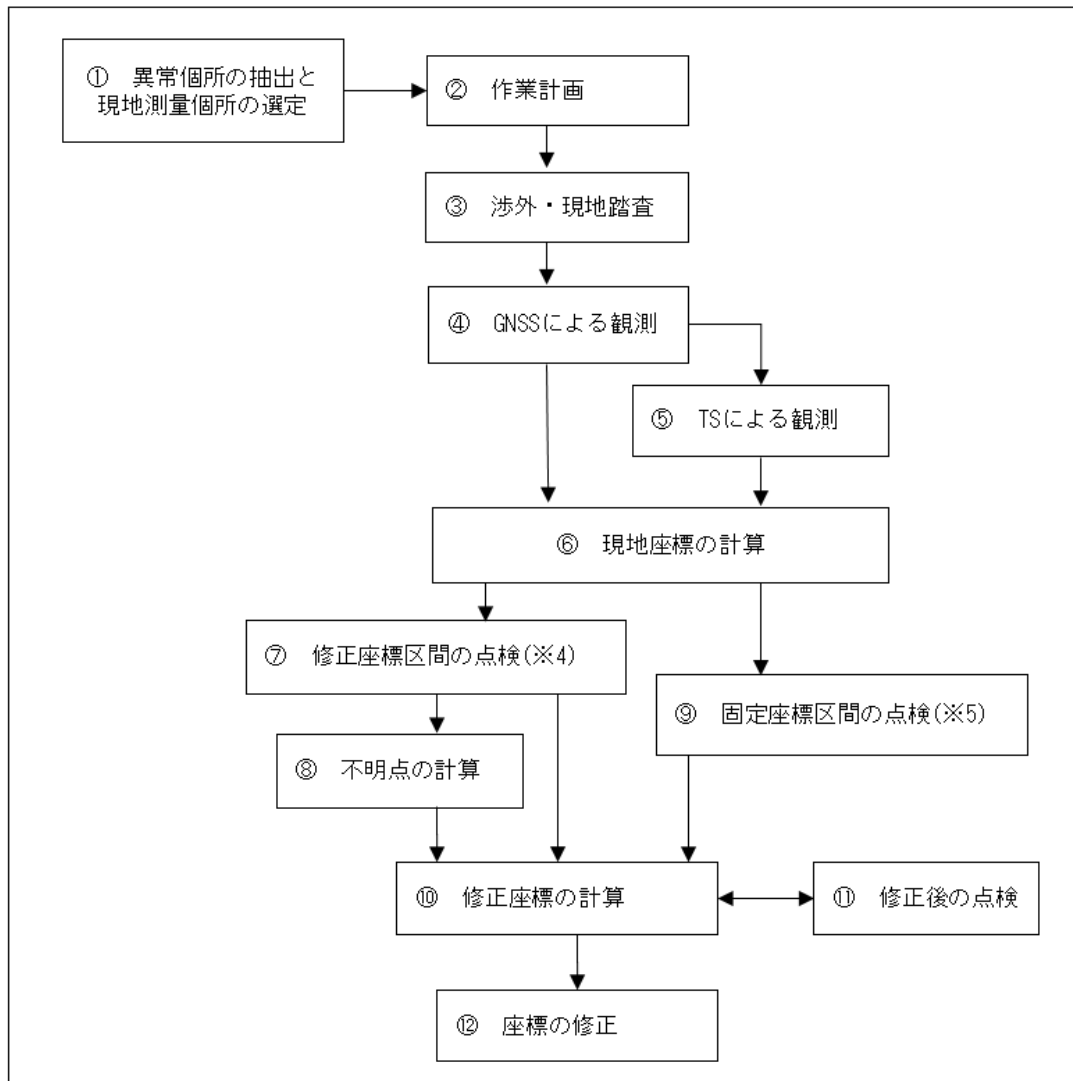


図 4.1-1 座標値の修正までの作業フロー

異常個所の抽出から座標値の修正までの作業フローを図 4.1-1 に示す。観測の状況・境界点の状況により、⑤・⑧を経由する場合があります。

観測の状況 : GNSS のみで観測できず、TS による観測も必要な場合⑤を経由する

境界点の状況 : 不明点（直接計測ができなかった点）がある場合⑧を経由する

※4 座標の異常な区間又は修正する区間。固定座標区間の固定点に合わせて座標を修正する区間。

※5 上記の修正座標区間の修正計算を行うために座標を固定する区間。点検を行い、適切な点（不動点）を確認して固定点とし、修正計算を行う。

4.2 異常個所の抽出と現地測量個所の選定（図 4.1-1 作業フロー①）

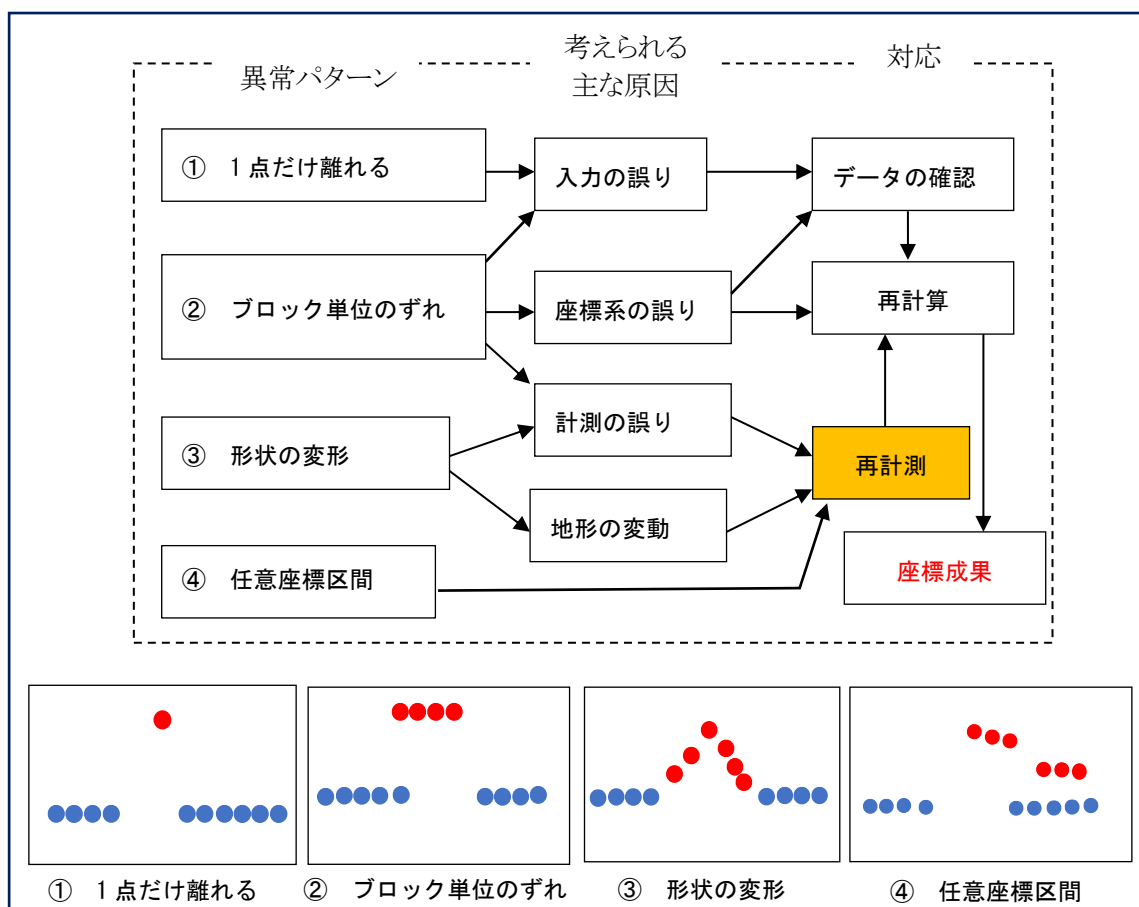


図 4.2-1 境界データの異常パターンと対応

前章で、座標データを地形図にプロットして異常個所を抽出する方法を報告しているが、主な異常パターンとして図 4.2-1 の 4 パターンが考えられる。今回の業務対象である中部森林管理局の境界点座標値を地形図上にプロットを行い、4 パターンに当てはまる個所の抽出を行った。使用するソフトウェアは「QGIS」「カシミール 3D」、基図は「地理院地図」、背景データとして「国土数値情報・国有林」を使用した。

なお、点検を行った中部森林管理局の境界点 (31,998 点) で異常個所は 2,777 点確認され、その内訳は①25 点、②1,125 点、③1,039 点、④588 点であった。確認された異常個所として以下の事例をあげる。

4.2.1 長野県 松本地区 -① 1点だけ離れる

1点のみ座標点が飛んで表示される場合である。この点の前後の点は国土数値情報とほぼ一致しているので、座標値の入力の誤りが考えられる。元のデータを確認して再度入力する必要がある（図 4.2-2）。

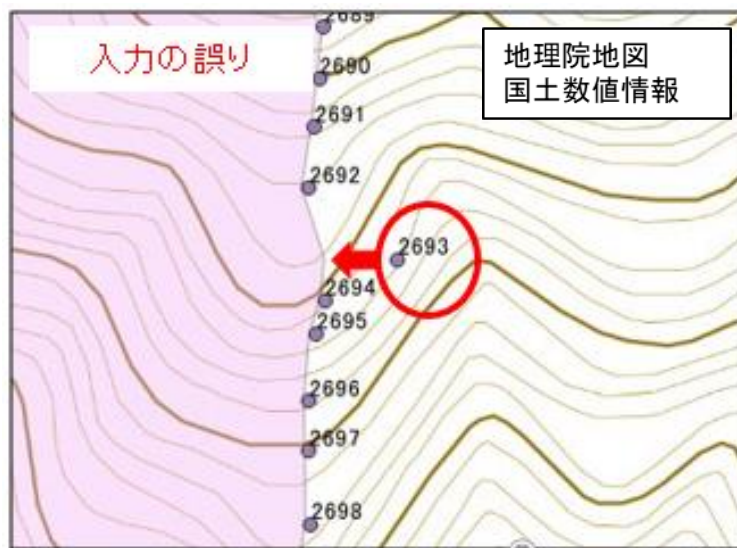


図 4.2-2 異常個所の事例（長野県 松本地区）

4.2.2 岐阜県 栢尾地区 -② ブロック単位のずれ

入力された座標値が「公共座標」（日本測地系）の項目の中に日本測地系と世界測地系が混在していた。これらの全てを世界測地系に変換したため、世界測地系で入力されていた個所を2重に変換計算してずれが生じた。図 4.2-3 で青丸の範囲が日本測地系で入力されていた個所で、赤丸が世界測地系で入力されていた個所である。

南東⇄北西方向に約 400 m のずれがある場合は、日本測地系と世界測地系の誤りが考えられるので、測地系を確認し、世界測地系で入力されていた座標値は変換前の入力値に戻す必要がある。

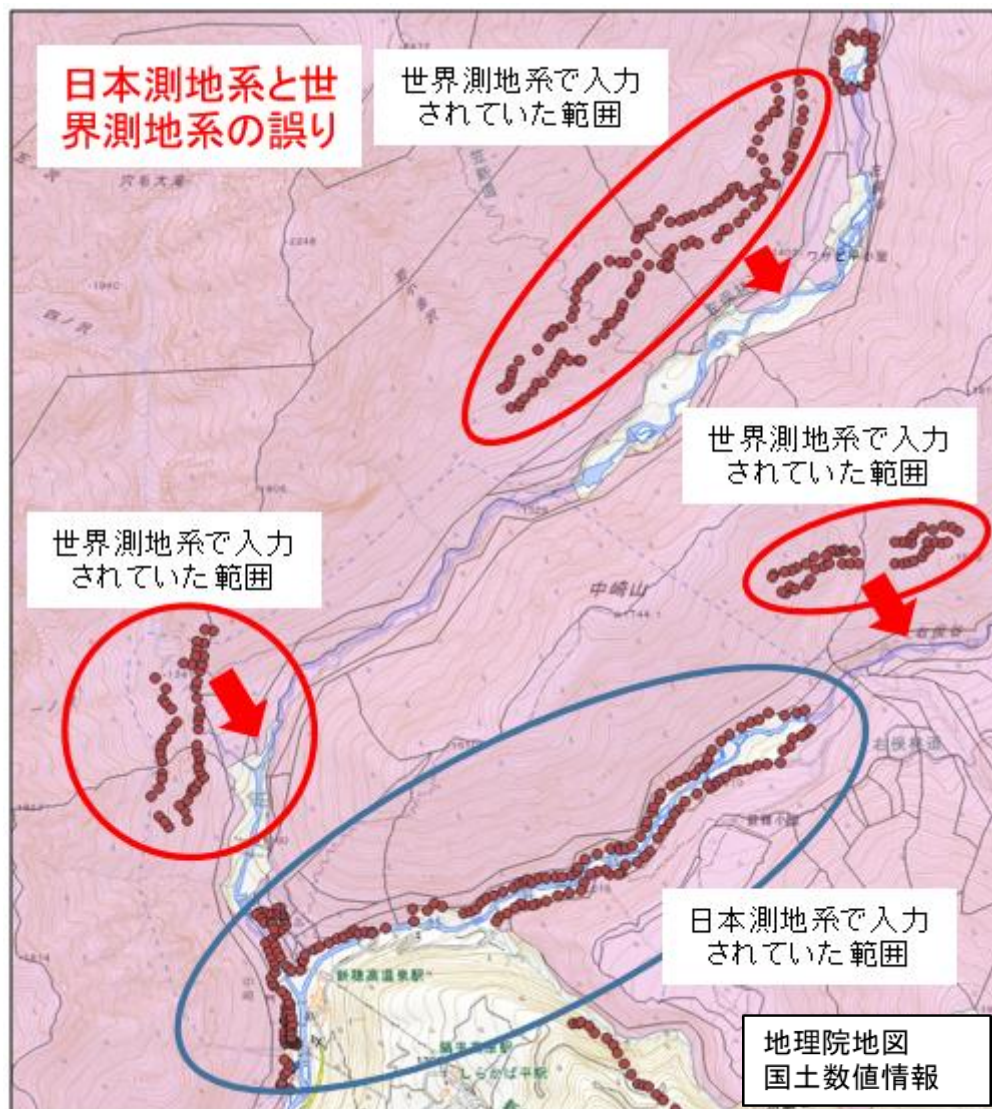


図 4.2-3 異常個所の事例（岐阜県 枋尾地区）

4.2.3 岐阜県 川上地区 -② ブロック単位のずれ

平面直角座標の座標系を誤った場合である。地形図にプロットすると、本来岐阜県（第7系）に表示される点が滋賀県（第6系）に表示されている。座標計算の際に第7系で計算するところを誤って第6系の座標系で計算したことが考えられる。XY座標を一度緯度経度に変換し、改めて第7系のXY座標に変換を行う。変換した座標は図の下部、岐阜県南東部で一致する（図 4.2-4）。



図 4.2-4 異常個所の事例（岐阜県 川上地区）

4.2.4 岐阜県 下呂地区 -③ 形状の変形

道路周辺の境界点が大きく変わっている。この場合は道路の改修に伴い形状が変わったと思われる。背景データとして参照した「国土数値情報・国有林」が更新されていない場合が考えられるが、森林基本図（1/5000）で確認する必要がある（図 4.2-5）。

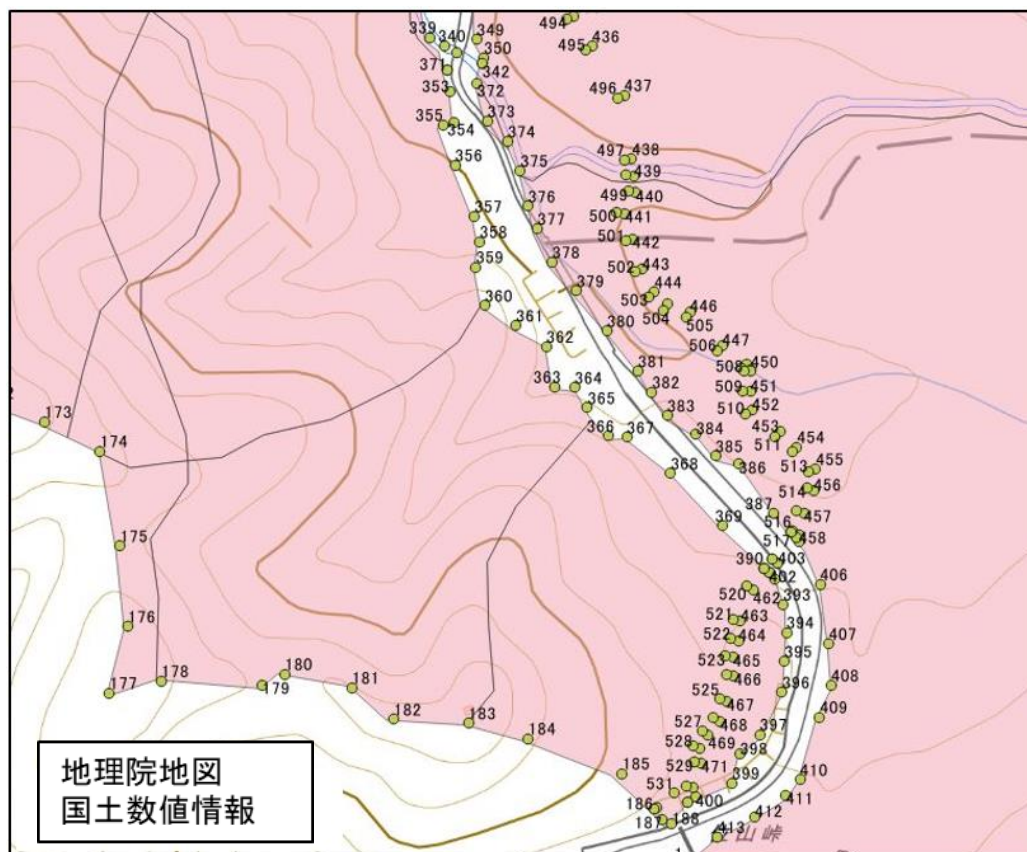


図 4.2-5 異常個所の事例 (岐阜県 下呂地区)

4.2.5 岐阜県 神坂地区 -④ 任意座標区間

任意座標区間のため、そのままプロットすると見当違いの場所に表示される（図 4.2-6）。

資料の前後区間との関係から、欠落している範囲（図 4.2-7）に当てはまることが予想されるが、任意座標の区間を、公共座標「測地成果 2011」にするためには、現地で GNSS・TS による取付け観測（※6）を行う必要がある。

※6 任意座標又は異なる座標系の一部又は全部について新たに現地で観測を行い、座標を取り付け、必要な座標系の座標を求める観測。本件では GNSS 測量により観測した座標値を境界点に取り付けるための一連の観測をいう。



図 4.2-6 異常個所の事例（岐阜県 神坂地区）

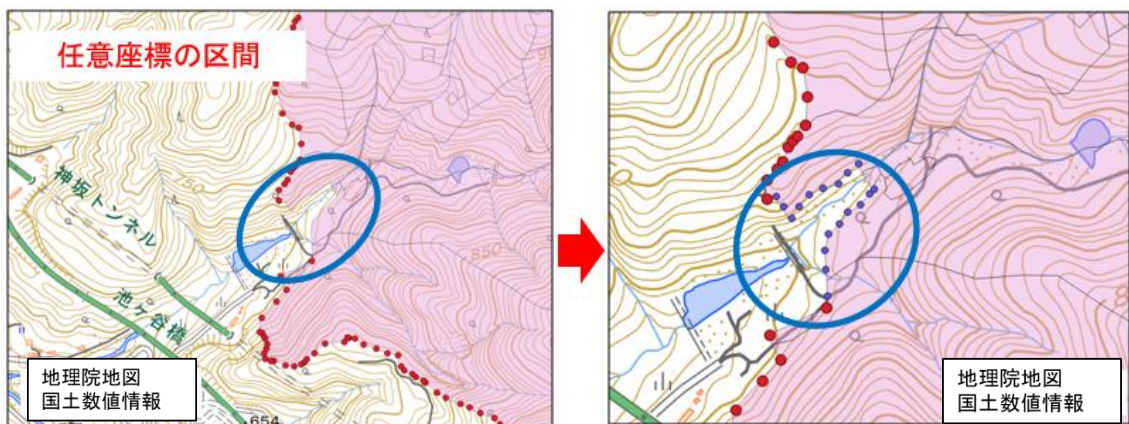


図 4.2-7 岐阜県 神坂地区（拡大図）

なお、今回調査対象とした中部森林管理局管内のデータで「①1点だけ離れる」「②ブロック単位のズレ」パターンでは、異常の原因が確認できれば机上での修正・変換で対応できる個所が多い。「③形状の変形」はほとんどの場合が道路形状の変形であり、他の資料で確認する必要がある。「④任意座標の区間」は同一個所の測量資料が無ければ現地測量が必要となるため、④のパターンから選定することとした。

中部森林管理局管内では、任意座標の区間は数か所に絞られる。その中から、東濃森林管理署管内神坂地区（岐阜県中津川市）で現地作業を行うこととした。

4.3 現地測量個所の状況と作業計画（図 4.1-1 作業フロー②）

選定した地域（図 4.3-1）は、中部森林管理局の境界点資料として公共座標のデータがあり、北側・南側の公共座標区間の間に任意座標の区間が存在する状態である。境界情報をデジタル化し、そのデータを活用するには座標系を公共座標「測地成果 2011」の世界測地系に統一しておく必要があり、任意座標の区間を、電子基準点を既知点とする GNSS で計測を行い、座標値の修正を試みた。

作業個所の任意座標区間は、木曽川上流で支流の砂防堰堤上部にあり、近くの林道と河川敷は上空視界が確保でき、GNSS で観測する条件としては良好である。北側と南側は樹木に覆われた急峻な斜面となっている。GNSS を使用した取付け観測を行うには、上空視界が確保できる個所まで後退することになり、TS による後続作業（4 級図根点測量）の観測距離が長くなり適切ではない。4 級図根点の路線長は 700 m 以下（電子基準点のみを既知点とする 2 級図根点を既知点とした場合-林野庁測定規程より）である（図 4.3-1、図 4.3-2）。

以上のことから、上空視界が開けた林道周辺または河川敷内に GNSS 観測で 2 級図根点を配置し、さらに TS で 4 級図根点測量・境界検測に準じた方法による境界点の座標計測と点検（以下、「境界点検」という）を実施した。

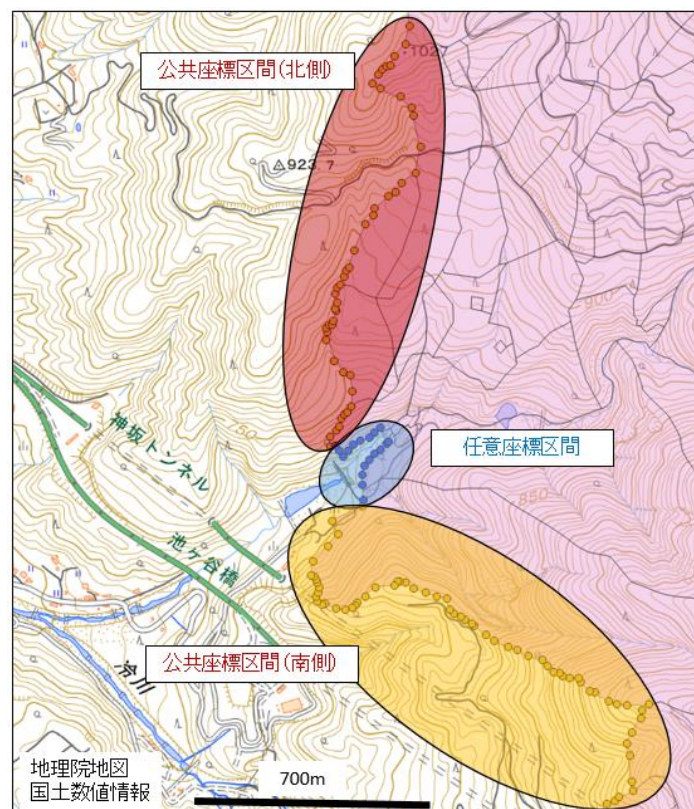


図 4.3-1 作業位置図

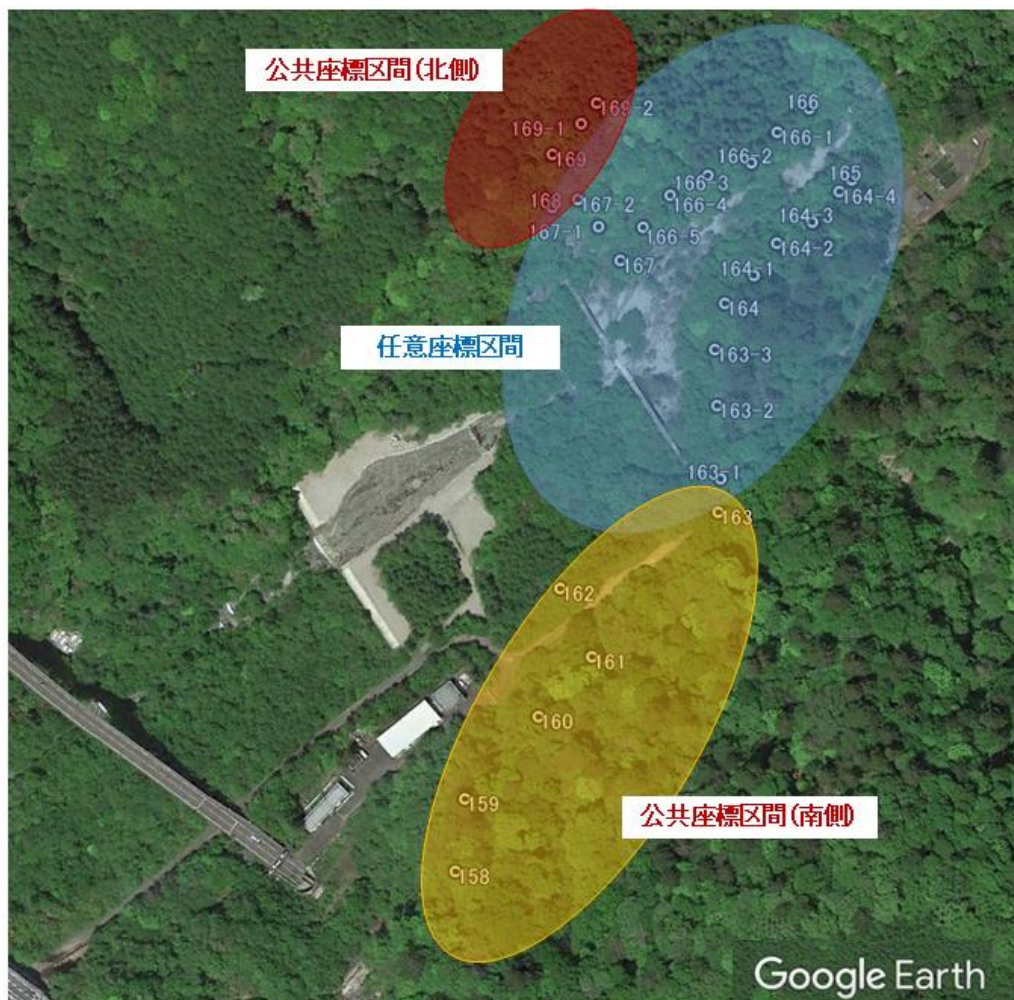


図 4.3-2 衛星写真（数値は標識番号）

4.4 作業許可（渉外）と現地踏査（図 4.1-1 作業フロー③）

現地作業にあたり、作業地域の関係各所に必要な許可等を得た。国有林野内については東濃森林管理署に入林届を提出し、合わせて林道の使用許可も得た。隣接地域については、木曽川流域（1級河川）の河川敷地であるため、木曽川上流河川事務所⇒恵那土木事務所⇒中津川市と連絡を取り、最終的には直接管理者である中津川市建設部管理課に確認を行い、作業内容を説明し許可を得た。

現地踏査では、以下のことを現地で確認している。

①境界点（標識）の確認 ②図根点の選点 ③観測経路の確認

4.4.1 境界標の確認

今回測量の対象は任意座標の範囲であるため、GIS ソフトウェアで位置を表示することができない。そのため森林基本図（1/5000）からおよその座標を読み取り、簡易 GPS（ガーミン社製）に入力し現地で境界標を探す手段とした。

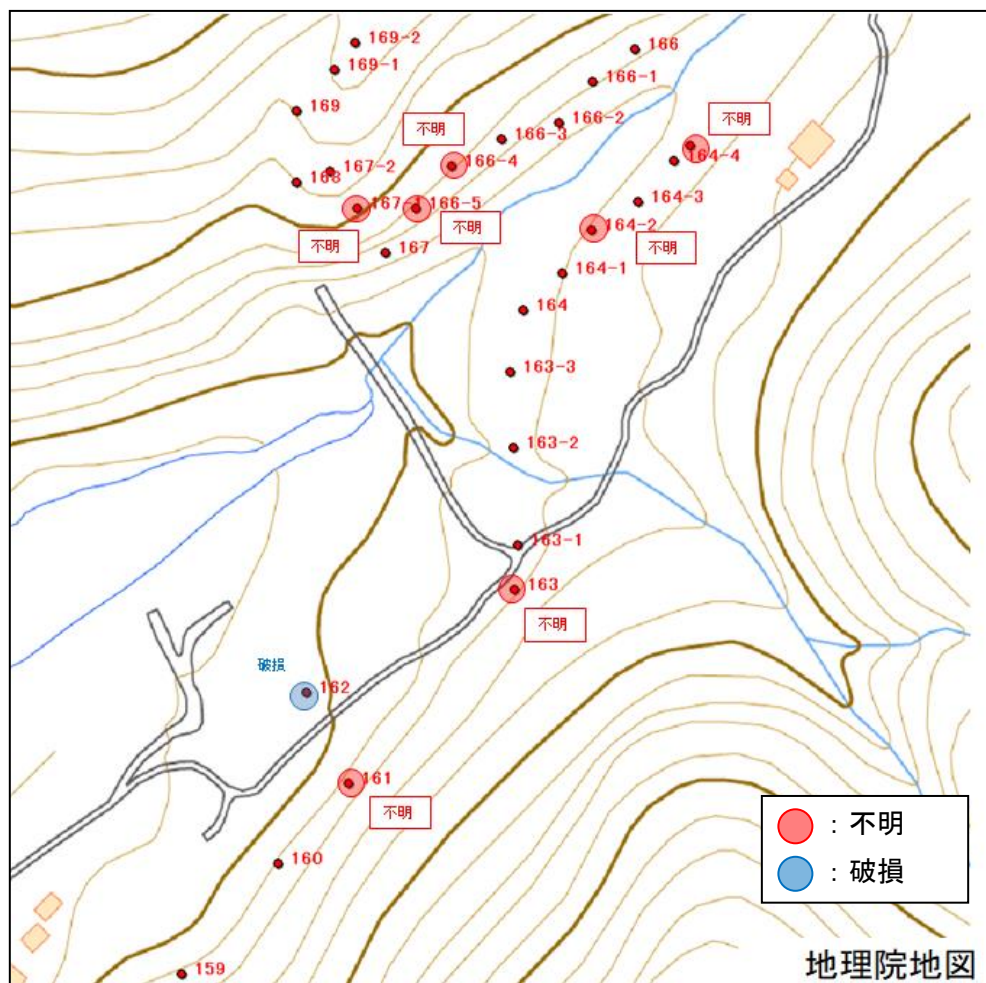


図 4.4-1 境界杭の状況

境界標が見つからない場合は隣接点から距離を測り、掘り起す等して探したが、それでも見つからない場合は「不明」とした。今回調査した範囲では、全 27 点中、確認できた点が 19 点、不明点 7 点、破損点 1 点であった（図 4.4-1）。



図 4.4-2 境界杭



図 4.4-3 破損した杭

4.4.2 図根点の選点

GNSS 測量機器は衛星からの電波を受信して位置を計測するため、上空が開いている個所を選点する必要がある。そのため、林道周辺や河川敷の上空視界が開けた個所に GNSS 測量（スタティック法）で 2 級図根点を選点した。後続の 4 級図根点測量を TS による結合多角測量で行うには、一般的に方向角の取付けを行うための 2 級図根点を起点・終点に各 2 点設置する必要があるため、作業地域の起点側・終点側に各 2 点、合計 4 点を選点した。なお「林野庁測定規程 境界測量」では、「原則として方向角の取付けを行うものとする」とある。

境界の計測を行うにあたり、境界点が不明もしくは境界点検で直接観測できない個所があるため、先に 4 級図根点を設置し、4 級図根点より計測・点検を行うこととした。「林野庁測定規程 境界測量・境界点検」第 82 条においては既知点の図根点の等級による記載がないため、2 級図根点を既知点として境界測量・境界点検を行うことも考えられる。但し、地形が急峻な状態で境界点が急斜面にある場合は境界点上で観測することは困難である。高精度の観測を行うためには、観測可能な位置に 4 級図根点測量を配置しその後計測・点検を行うことが適切であるため、今回は 2 級図根点測量（※7）→4 級図根点測量（※8）→境界の計測・点検の作業工程で境界点の座標を計測することとした。今回の作業ではこれを「境界点検」とする。「公共測量作業規程の準則」では、2 級基準点測量→4 級基準点測量→境界測量の作業工程であり、これを参考にした。

4 級図根点は前後の図根点と境界点を観測できる（視準できる）位置に選点し 2 級図根点間を結ぶ結合多角測路線とした。境界点間が直接見える場合は境界点を 4 級図根点と兼用している。

※7 電子基準点を含む既知点（三角点・1・2 級図根点）から作業地域の周辺に新たな図根点を設け、後続作業（4 級図根点測量・境界点測量）の既知点とする。既知点との距離が遠い場合は GNSS で観測することが多い。

※8 上位の既知点（電子基準点・三角点・1 級～3 級図根点）から境界点検を行える位置に、設置観測を行う。直接観測ができる場合は境界点を兼用できる。林内では点間距離が短いため主に TS で観測する。上空が開けた場所では、GNSS で観測する場合もある。

4.4.3 観測経路の確認

境界点は急傾斜で見通しの悪い林内等にある場合も多い。計測する境界点に安全に移動できる経路を確認し、目印（ピンクテープ等）を設置する。



図 4.4-4 急斜面の通路（固定ロープ）



図 4.4-5 経路の目印

4.5 図根点・境界点の観測（図 4.1-1 作業フロー④⑤）

選点状況を踏まえ「林野庁測定規程」に基づき観測計画を整え、現地で境界点の観測を実施した。観測の流れは、① 2 級図根点測量 ② 4 級図根点測量 ③ 境界検測 となる

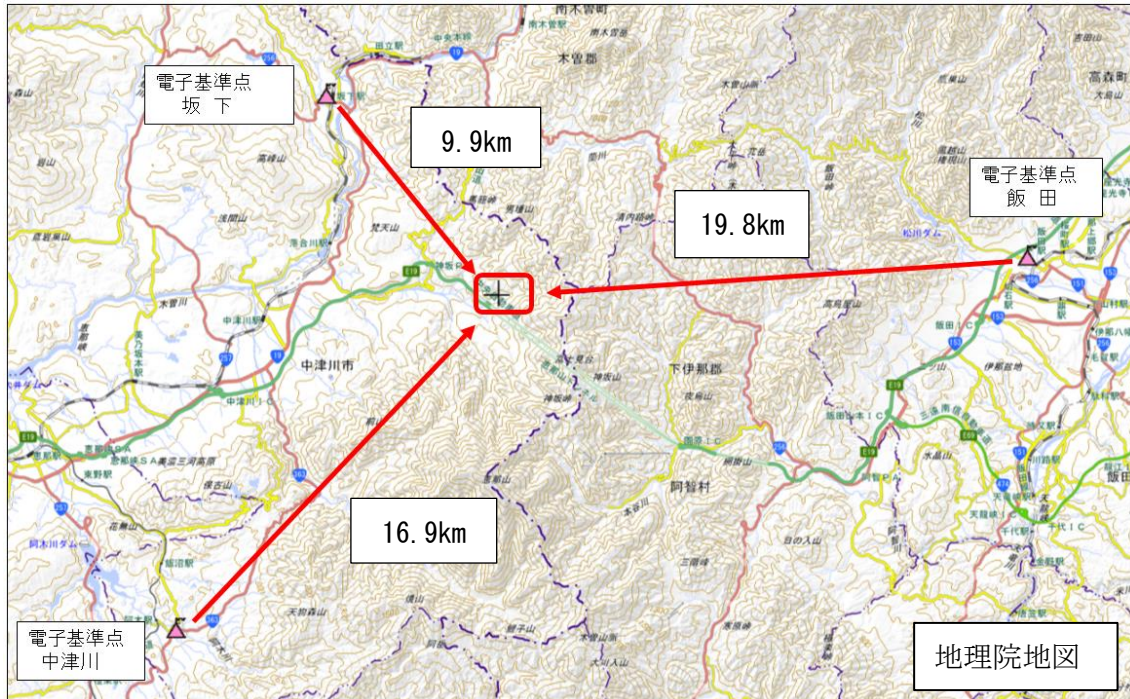


図 4.5-1 電子基準点の配置

4.5.1 2 級図根点測量

既知点として近傍の電子基準点（図 4.5-1）を使用する。電子基準点は距離に関係なく近傍の電子基準点を使用する。使用する既知点数は $2 + (\text{新点数}) / 5$ 点 小数点以下は切り上げである。今回は新点数 4 点の為、使用既知点数は 3 点以上となる。（林野庁測定規程より）

選点した個所（図 4.5-2）の観測には GNSS 受信機を 4 基並行して使用し、スタティック法（静止観測法）により行った。観測時間は基線の距離に応じ、10km 以上は 2 時間以上・10km 未満は 1 時間以上となる（林野庁測定規程より）。今回の作業では作業地域から電子基準点までの距離が坂下 9.9km・飯田・中津川 10km 以上である。新点間は 10km 未満となる。全ての基線で観測時間の条件を満たすために、新点各測点で 2 時間以上の観測を行った。（GNSS は 4 基使用しており移動時間があるため重複した観測時間が 2 時間未満の基線があるが、距離が 10km 未満の為 1 時間以上の観測条件は満たしている。電子基準点と新点は全て 2 時間以上の観測となった。なお、電子基準点は 24 時間体制で観測しており、必要な時間帯のデータを国土地理院のホームページより入手できる。）

観測衛星数（GPS・準天頂衛星・GLONASS 使用 スタティック観測基線長 10km 以上は

6 衛星以上: 林野庁測定規程より) は最も少ない観測点で 10 衛星以上観測できていたので、受信状況に問題はなかった。

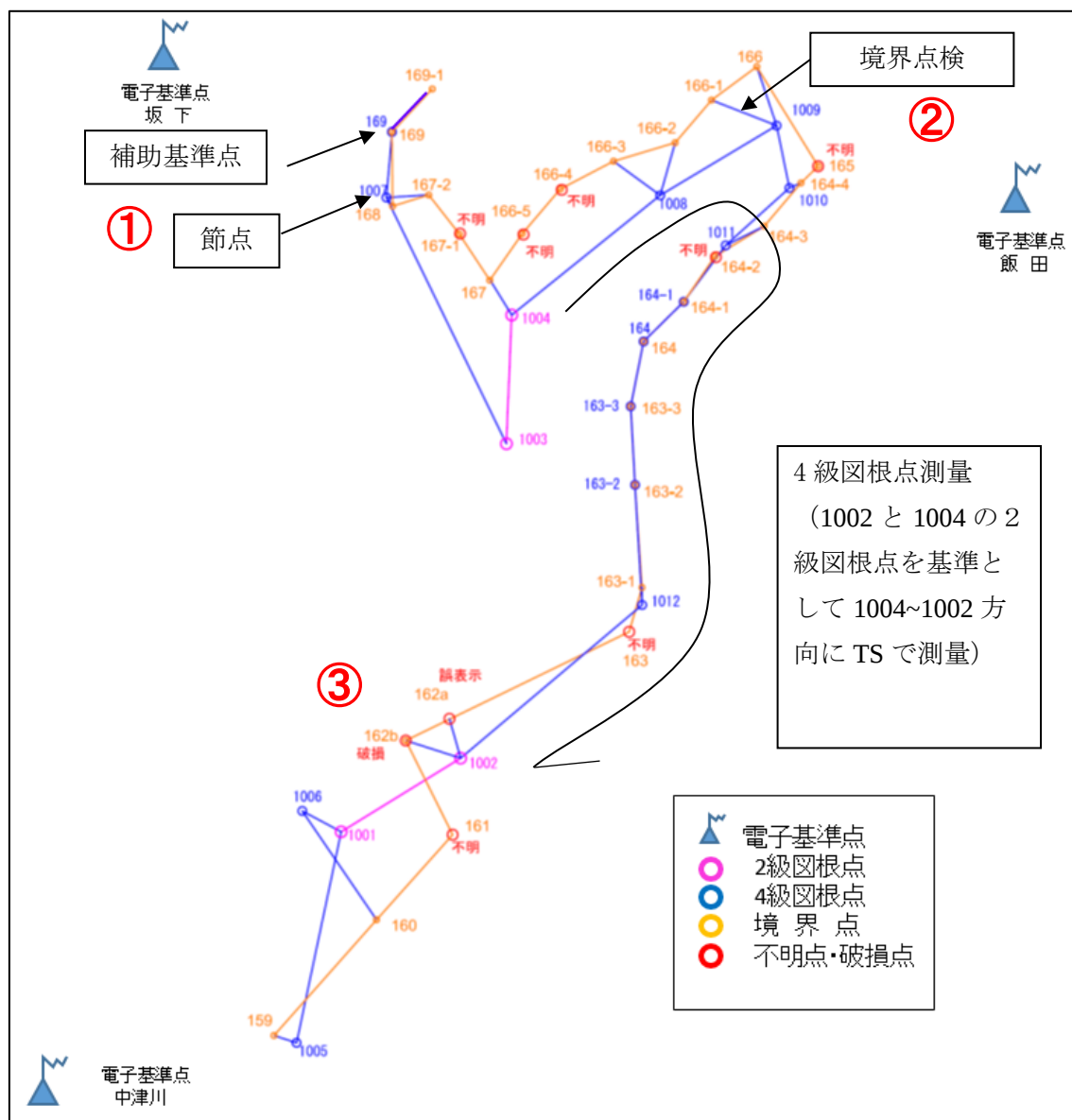


図 4.5-2 境界点の観測図

4.5.2 4 級図根点測量・補助基準点測量

境界点不明もしくは境界点間の視通が確保できない箇所があり、2 級図根点からの境界測量ができないため、2 級図根点を既知点として 4 級図根点測量を行った（林野庁測定規程・公共測量作業規程による）。TS で角度と距離を測定し、観測精度の確認と観測誤差の補正を行うため結合多角測量で行った。地形等の状況で、結合できない箇所は補助基準点（※9）を設置した。

本来であれば作業範囲の北端と南端である 169・1006 付近に 2 級図根点を設置すれば、

2・4級図根点より境界点の観測ができるが、上空視界が悪く2・4級図根点の設置ができないため、補助基準点（169、1005、1006）を設置し境界点の観測を行えるようにした。

※9 境界点の観測は近傍の4級基準点以上の基準に基づき放射法により行うが、やむをえない場合は補助基準点を設置し行うことができる。補助基準点は基準点より節点（※10）1点以内の開放多角測量により設置できる。（公共測量作業規程の準則-解説と運用 第604条の解説）

※10 基準点・補助基準点間において測点間の視通は取れない場合に設置する点。

4.5.3 境界点検

今回の作業では、「林野庁測定規程 境界検測」に準じた方法で、境界点の座標の計測・点検を行うことを境界点検とする。TSにて夾角・距離の観測を行うが、地形の状況により直接観測できない場合は任意の点（今回では2・4級図根点・補助基準点）より観測を行い、座標を求める。「林野庁測定規程 境界検測」では「境界測量に準じた測量」とあり、境界点間が地形・樹木他で遮られる場合等、やむを得ない場合は放射法での観測が認められているため、今回の個所においても一部放射法を用いて観測を行った（図 4.5-2 ②）。

なお、境界点162（図 4.5-2 ③）は現地に2点の境界表示があり現地では判断がつかないため2点の観測を行っている（162a、162b）。結果として、既存の成果座標値に近いのが162bで162aは誤表示と判断した。但し162bは頭部が破損しているため、正確な境界点位置は計測できなかった。

4.6 座標計算・任意座標区間の点検（図 4.1-1 作業フロー⑥⑦）

4.6.1 座標値の計算

GNSS・TS の機器から観測データをダウンロードして、林野庁測定規程の図根点測量・境界検測に基づき計算を実施した。なお、電子基準点の観測データは国土地理院のホームページよりダウンロードした。

電子基準点⇒2 級図根点⇒4 級図根点⇒補助基準点・節点⇒境界検測 の順に座標値と標高を計算するが、電子基準点の座標値成果として測地成果 2011 が使用されているので、計算する境界点座標も測地成果 2011 に対応したものとなる。

4.6.2 任意座標区間の点検

今回の計測値の検証として、境界測量時の観測値を基準として点検を行う。境界標が不明な場合は、前後の境界点の 2 点間距離を座標値から計算し点検している。夾角が点検できるのは境界点が 3 点連続した場合になる（図 4.6-1）。距離の許容値は林野庁測定規程「境界測量 第 90 条」（距離の 1/1000）、夾角の許容値は林野庁資料「不動点の現地確認」（おおむね 3 分以内）より準用した。

点検結果を図 4.6-1 に①②③の区間に分けて示す。

- ① この区間は、夾角・点間距離が許容値の範囲内であった。
- ② 不明点 164-2 の前後 164-1～164-3 及び不明点 165 の前後 164-4～166 の区間の点間距離が許容値の範囲内であり、164 及び 166-1 の夾角が許容範囲内であったため前後の点 164 と 164-1、166 と 166-1 を不動点として不明点の座標計算を行った。
- ③ この区間は点間距離と夾角が許容値を超過している個所がある。但し、168～166-2 の 2 点間の距離は許容値内であり、その次点 166-1 は夾角・距離ともに許容値内であったため、168 と 166-2 を不動点としその区間で座標計算を行った。

