

3.3 効率的な測量手法の検討

本業務で作成したマニュアルの作業フローを下記に記す（図 3.3-1）。本項目は、「3.現地での取付け観測」「4.公共座標への再計算・変換」について検証を行った報告である。

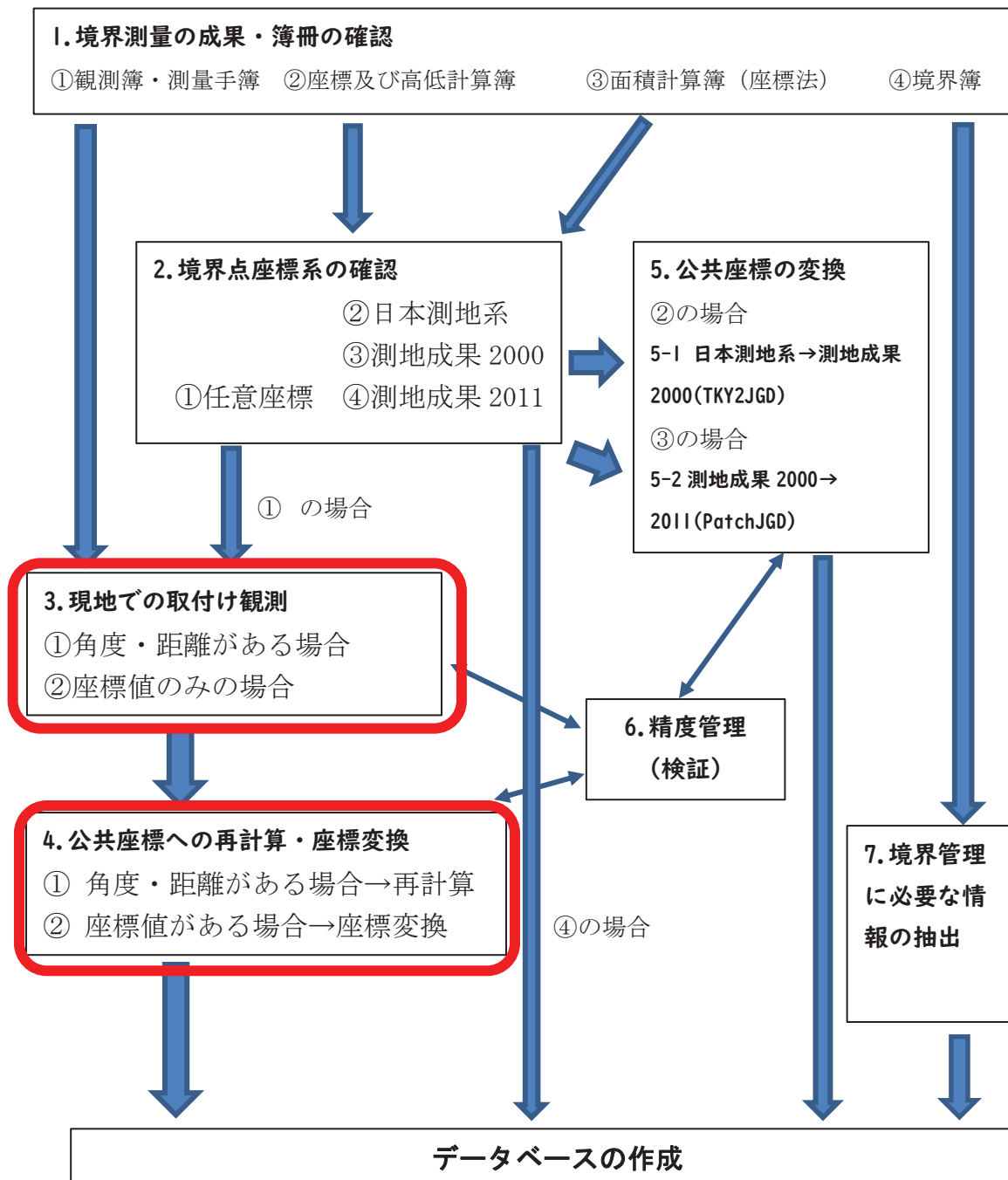


図 3.3-1 国有林境界情報のデジタル化の全体作業フロー

3.3.1 現地での取付け観測の検証

3.3.1.1 検証作業地域の選定

測量手法の検討を行うにあたり、現地での検証作業を行った。検証地区として関東森林管理局内の国有林4か所を候補地とした（表 3.3-1）。候補選定の基準は交通のアクセスが容易であること、検討する資料が充実していること、地形・上空視界等の観測条件が整っている等である（図 3.3-2～図 3.3-4）。

表 3.3-1 国有林4か所の候補地

資料	実施年度	署	所在	事業内容	座標系
①	H26	茨城	茨城県日立市ほか	検測・測量	日本測地系（公共座標系IX） 昭和31年測量成果の座標を基準に計算
②	H26	群馬	群馬県安中市松井田町	検測・測量	任意座標 既存成果はコンパス検測野帳のため
③	H27	茨城	茨城県高萩市	検測	既存成果は日本測地系（公共座標系IX） 昭和28、41年測量成果
④	H30	日光	栃木県芳賀郡益子町	検測	既存成果は日本測地系（公共座標系IX） 昭和46年から平成9年測量成果

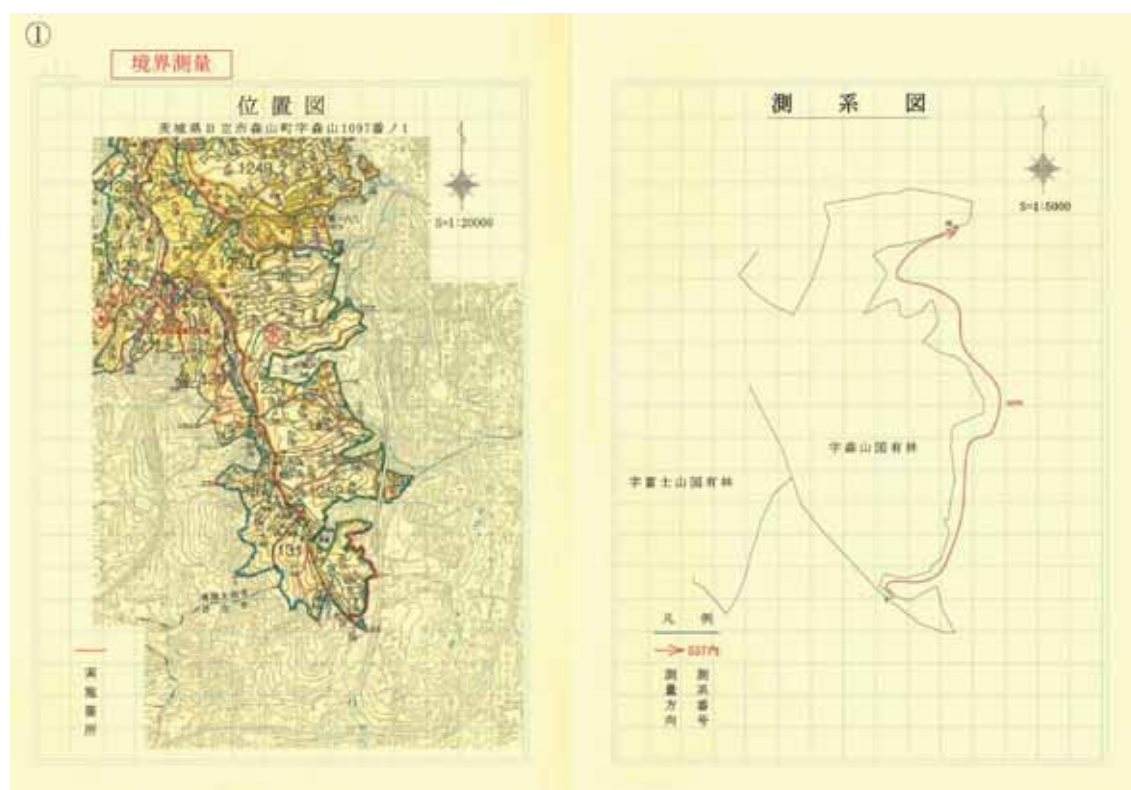


図 3.3-2 検証地区候補① 茨城県日立市ほか

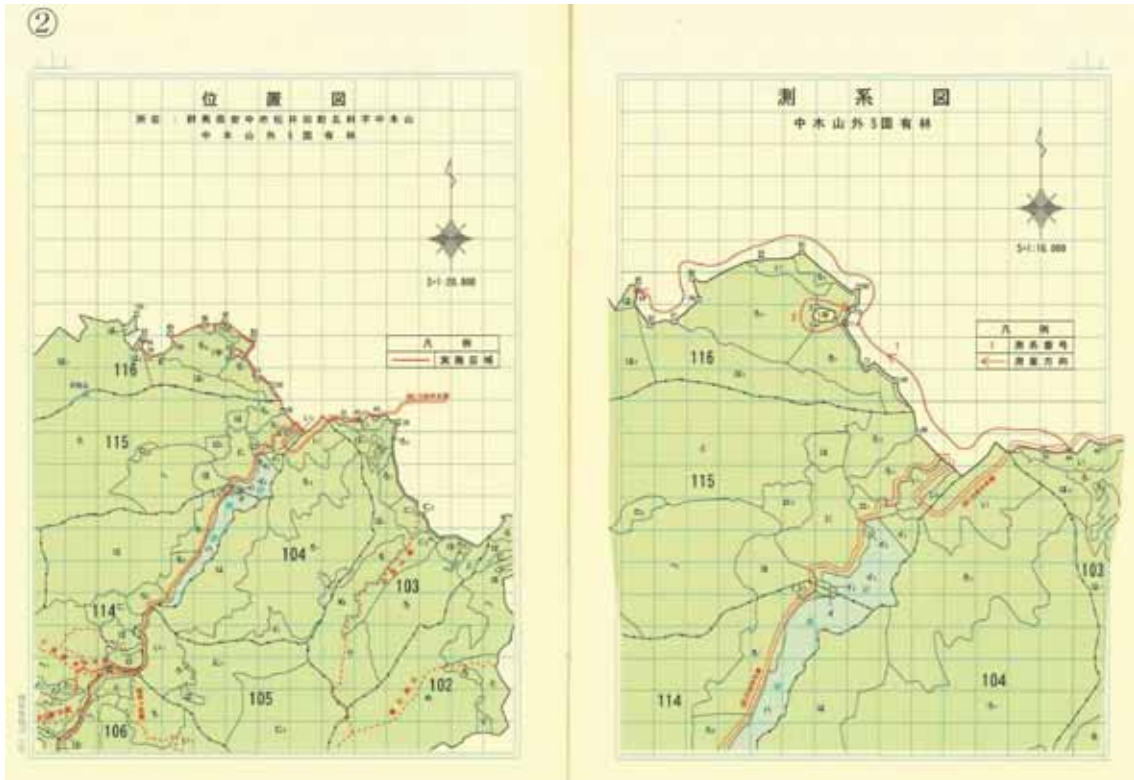


図 3.3-3 検証地区候補② 群馬県安中市

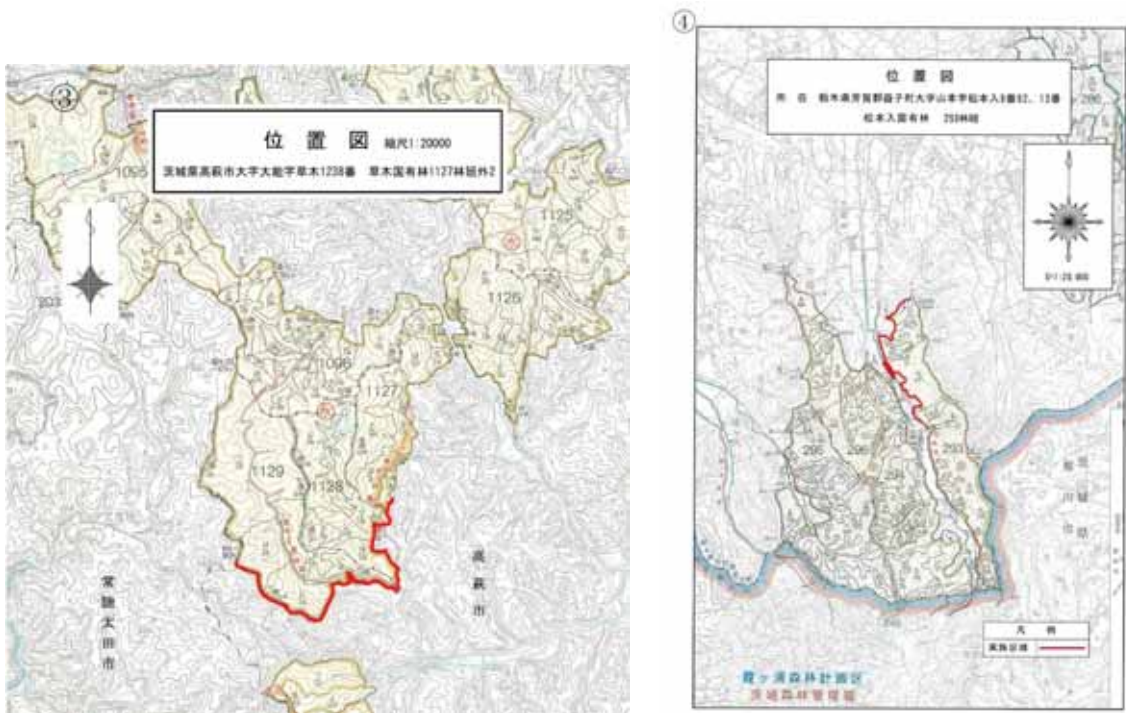


図 3.3-4 検証地区候補 ③茨城県高萩市

検証地区候補④ 栃木県益子町

検証作業を行うにあたり、関東森林管理局での既存資料に関するヒアリング実施時に確認したところ、候補地の中で②群馬県安中市の国有林が適切な箇所があるとの提案があった。航空写真等で予察を行ったところ、検証の観測条件に適切な箇所が見つかった。さらに上信越自動車道の松井田インターチェンジより車で10分程度と交通の便も良いことから②を検証地区と決定した。(図 3.3-5)



図 3.3-5 検証地区 (群馬県安中市)

3.3.1.2 検証地区の詳細

図 3.3-6 と図 3.3-7 は検証地区の国有林野境界を地形図・航空写真に重ねた図である。一般に国有林は森林地帯が多く、UAV (Unmanned Aerial Vehicle : 無人航空機、通称ドローン)・GNSS でも計測が難しいので、森林の粗密度 (上空視界の違い) による観測方法と精度の検証を実施した。UAV については、空中写真による計測事例は報告されているがレーザ搭載の事例はないため実験的に採用した。

検証地区① (図 3.3-8) は林道沿いに境界点が配置された地域で上空視界は 20%程度、林道から外れた場所では上空視界は 10%以下になる場所である。UAV レーザの計測では上空視界が限られる場合、地上に到達するレーザ点数が少なくなるため計測が困難となるため、GNSS とトータルステーション (以後 TS) で検証を行った。

検証地区② (図 3.3-9) は国有林が原野に接する地域で上空視界は 80%程度、森林と原野の境では 50%程度である。ここでは UAV レーザでの計測条件も良くなり、何とか観測できる範囲である。この地区では GNSS・TS による検証を行った。



図 3.3-6 国有林境界と検証地区の地形図



図 3.3-7 国有林境界と検証地区の航空写真

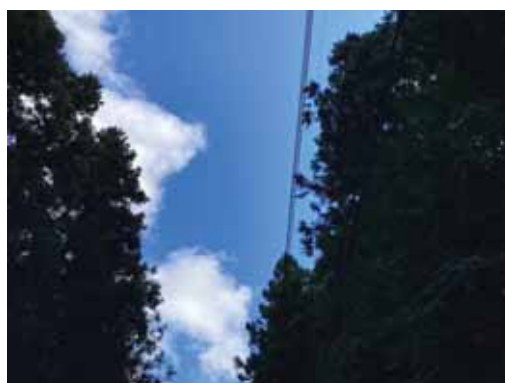


図 3.3-8 検証地区①の詳細 上空視界 20%の状況



図 3.3-9 検証地区②の詳細 上空視界 80%の状況

3.3.1.3 計測に使用する機器

現地での境界点の計測を様々な機器で行った。測定機器は、UAV・GNSS・TS を使用した。高精度の機器はまだ高価であるが UAV・GNSS は近年計測精度が進歩し測量分野でも普及してきている。

森林における境界点測量は、以前はコンパスによる計測であったが、セオドライト、トータルステーション、GNSS と変遷してきた。公共測量では近年 UAV レーザスキャナ、MMS（Mobile Mapping System）といったレーザスキャナによる 3 次元計測も行われるようになってきている。

今回は、UAV レーザスキャナによる境界標測量の検証（図 3.3-10）と GNSS・トータルステーションによる境界測量の検証（図 3.3-11）を実施した。使用した機材の仕様を以下の図 3.3-13～図 3.3-14 に示す。



図 3.3-10 UAV レーザスキャナによる計測



図 3.3-11 GNSS トータルステーションによる計測

UAV概要

名称:Matrice600Pro
 重量:10Kg
 最大離陸重量:15.5Kg
 ホバリング時間:18~38分
 搭載するLidarセンサ:Survey Ultra
 搭載カメラ:A6000+12mmレンズ



Lidar センサ概要

メーカー:YellowScan
 名称:Surveyor Ultra
 スキャナー:Veklodine VLP-32
 波長:903nm
 計測高度:50m
 精度:10cm 正確度:5cm
 スキャナ視野角:360°
 ショット数:600,000毎秒



図 3.3-12 UAV と搭載するレーザースキャナの仕様

Trimble Net-R9



測位性能

コードディファレンシャルGNSS測位²

水平..... 0.25 m + 1 ppm RMS
 垂直..... 0.50 m + 1 ppm RMS
 WAASディファレンシャル測位精度³..... 通常 5 m以下 3DRMS

静止GNSS測量²

ベースライン <30 km

水平..... 3 mm + 0.1 ppm RMS
 垂直..... 4 mm + 0.4 ppm RMS

ベースライン >30km

水平..... 4 mm + 0 ppm RMS
 垂直..... 9 mm + 0 ppm RMS

リアルタイムキネマティック測量^{2,4}

単一ベースライン<30 km

水平..... 8 mm + 1 ppm RMS
 垂直..... 15 mm + 1 ppm RMS

ネットワークRTK⁵

水平..... 8 mm + 0.5 ppm RMS
 垂直..... 15 mm + 0.5 ppm RMS

初期化時間..... 通常 10秒以下

初期化信頼性..... 通常 99.9%以上

図 3.3-13 GNSS の仕様

Leica TS-11



角度測定 (Hz/V)		
精度 ^①	1" (0.3 mgon) / 2" (0.6 mgon) / 3" (1 mgon) / 5" (1.5 mgon)	✓
方式	絶対、連続、直径: 全モデル	✓
表示解像度	0.1" / 0.1 mgon	✓
補正	4軸補正: 全モデル	✓
補正設定精度	0.5"/0.5"/1"/1.5"	✓
プリズム測距精度		
範囲 ^② 円形プリズム (Leica GPR1)	3,500 m	✓
範囲 ^② 反射テープ (60mm × 60mm)	250 m	✓
精度 ^③	標準: 1.0 mm + 1.5 ppm 高速: 2.0 mm + 1.5 ppm トラッキング: 3.0 mm + 1.5 ppm	✓
標準測定時間 ^④	1.0 秒	✓
ノンプリズム測距精度 ^⑤		
範囲 ^⑥ PinPoint R500 / R1000	> 500 m / > 1000 m	✓○
精度 ^{⑦⑧}	2 mm + 2 ppm	✓
レーザースポット径	30 m: 約 7 × 10 mm 50 m: 約 8 × 20 mm	✓

図 3.3-14 トータルステーションの仕様

3.3.2 UAV レーザによる検証

UAV レーザスキャナによる 3 次元計測は、近年公共測量でも行われるようになった測量手法である。レーザスキャナを搭載した UAV で、上空より地形・地物・樹木等の位置と高さの計測（3 次元計測）を行う。毎秒 60 万点の計測ができるため、飛行高度と運行速度の調整で 100 点/m²の計測が可能である。計測された大量の計測点は各々 XYZ の座標を持つことから「3 次元点群」と呼ばれる。この大量のデータより地形図・横断図を作成することができる。

UAV レーザ計測の利点は、点群の密度が高いため詳細なデータを取得できる点である。同様のレーザスキャナを使用する航空レーザ測量では、高高度、高速で移動するため観測密度は数点/m²と低下する。一般に上空からのレーザ計測では樹木頂上を計測してしまうが、点群の密度が高くと、樹木の隙間から地上に届くレーザも多くなるため、森林地域でも地表面の詳細な観測ができる。

欠点としては、UAV は搭載できるバッテリー容量が小さいため 1 回の飛行時間が 10～20 分程度に限定されることである。そのため航続距離も短くなるため実際に観測できる範囲は出発点から半径 1km 程度である。今回の検証作業では、国有林の境界点が UAV レーザ計測できる条件と計測精度の確認を行った。

3.3.2.1 対空標識の設置

境界標は石標で 13×13cm、小コンクリート標で 7×7cm である。図 3.3-15 にそれぞれの標識の状況を示したが、100 点/m²で UAV レーザ計測を行ったとしてもこの大きさでは境界標の判別は困難である。



図 3.3-15 境界標の状況

そこで、レーザ計測に使用される標準的な大きさの対空標識と判読率の向上を目的として反射素材を使用した 2 種類の対空標識を準備した。さらに、判読性能の確認のために小型の対空標識も準備した。(図 3.3-16)。

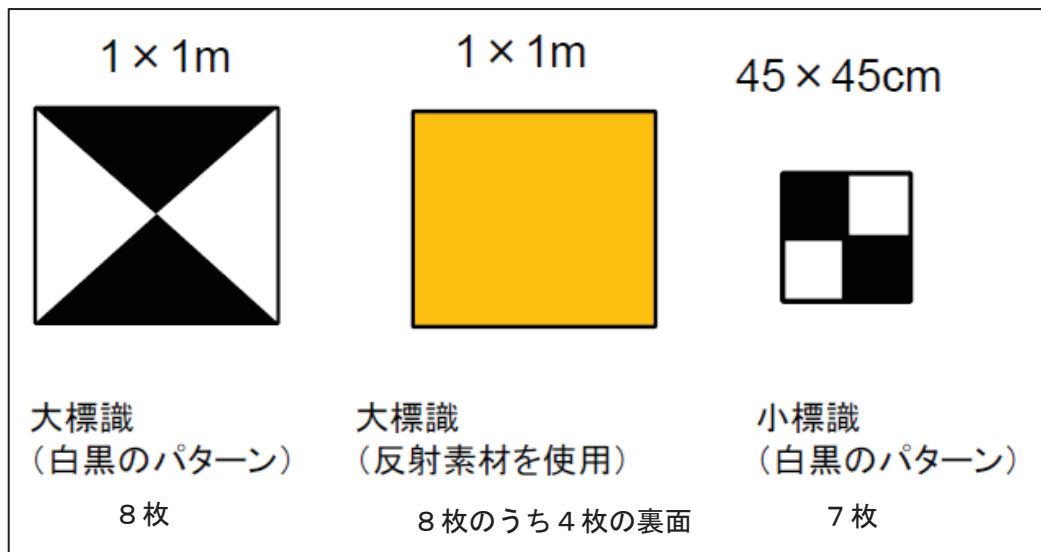


図 3.3-16 対空標識



図 3.3-17 対空標識の設置状況 (右側は黄色の反射素材を使用)



図 3.3-18 対空標識の設置点

対空標識は検証地区の中に基準点 4 点（△）、境界点 11 点（○●）、小標識 7 点を配置した。基準点（△）は、検証する座標値を測定した点である。境界点（○●）は上空視界が 70%以下であるため、比較検討のため上空視界良好（80%）な基準点（△）にも標識を設置している。小標識は、標識の大きさを変えた比較検討のために任意の場所に設置し、基準点（△）より座標を計測している（図 3.3-18）。