GNSSによる基準点測量

三重県土地家屋調査士会

学校法人 電波学園
東海工業専門学校金山校

はじめに

任意座標と平面直角座標

不動産登記規則 第七十七条　（地積測量図の内容）【一部抜粋】

七　国土調査法施行令第二条第一項第一号に規定する平面直角座標系の番号又は記号

八　基本三角点等に基づく測量の成果による筆界点の座標値

２　近傍に基本三角点等が存しない場合その他の基本三角点等に基づく測量ができない特別の事情がある場合には、前項第七号及び第八号に掲げる事項に代えて、近傍の恒久的な地物に基づく測量の成果による筆界点の座標値を記録しなければならない。

基準点測量の方式

既知点の種類等　公共基準点

公共測量作業規程の準則 第22条

区分 / 項目	１級基準点測量	２級基準点測量	３級基準点測量	４級基準点測量
既知点の種類	電子基準点 一～四等三角点 １級基準点	電子基準点 一～四等三角点 １～２級基準点	電子基準点 一～四等三角点 １～２級基準点	電子基準点 一～四等三角点 １～３級基準点
既知点間距離(m)	4,000	2,000	1,500	500
新点間距離(m)	1,000	500	200	50

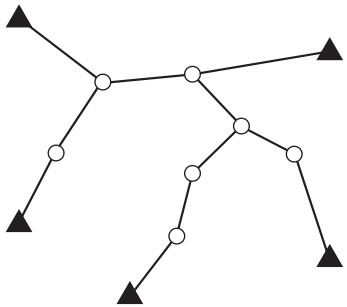
３級基準点測量及び４級基準点測量における既知点は、厳密水平網平均計算及び厳密高低網平均計算又は三次元網平均計算により設置された同級の基準点を既知点とすることができる。ただし、この場合においては、使用する既知点数の２分の１以下とする。

既知点の種類等　街区基準点

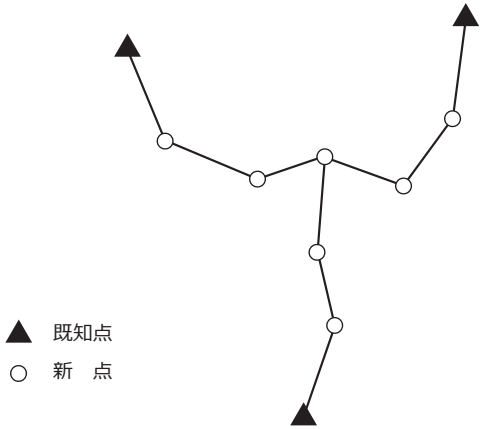
街区基準点等の名称	基準点の等級
街区三角点	２級公共基準点相当
街区三角点節点	３級公共基準点相当
街区多角点	３級公共基準点相当
街区多角点節点	４級公共基準点相当
街区補助点	４級公共基準点相当

注：補助点は角の観測が一対回であるため、4級公共基準点測量の与点としての利用は不可。

基準点測量の方式　（結合多角方式）

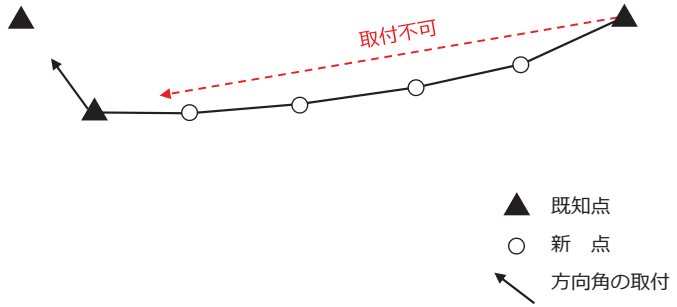


結合多角方式の模式図



結合多角方式（Y型）の模式図

基準点測量の方式　（単路線方式）



単路線方式の模式図

基準点測量の方式　（結合多角方式）

公共測量作業規程の準則 第23条

項目＼区分	１級基準点測量	２級基準点測量	３級基準点測量	４級基準点測量
１個の多角網における既知点数	$2+\frac{\text{新点数}}{5}$以上（端数切上げ）		３点以上	
	電子基準点のみを既知点とする場合は２点以上とする。		――	――
単位多角形の辺数	10辺以下	12辺以下	――	――
路線の辺数	5辺以下	6辺以下	7辺以下	10辺以下（15辺以下）
	伐採樹木及び地形の状況等によっては、計画機関の承認を得て辺数を増やすことができる。			
節点間の距離	250m以上	150m以上	70m以上	20m以上

基準点測量の方式　（結合多角方式）

公共測量作業規程の準則 第23条

項目＼区分	１級基準点測量	２級基準点測量	３級基準点測量	４級基準点測量
路　線　長	3km以下	2km以下	1km以下	500m以下（700m以下）
	GNSS測量機を使用する場合は５km以下とする。ただし、電子基準点のみを既知点とする場合はこの限りではない。			
路線図形	多角網の外周路線に属する新点は、外周路線に属する隣接既知点を結ぶ直線から外側40°以下の地域内に選点するものとし、路線の中の夾角は、60°以上とする。ただし、地形の状況によりやむを得ないときは、この限りでない。		同　左 50°以下 同　右 60°以上	
平均次数	――	――	簡易水平網平均計算を行う場合は平均次数を２次までとする。	

基準点測量の方式　（結合多角方式）

公共測量作業規程の準則 第23条

備　　考	1.「路線」とは、既知点から他の既知点まで、既知点から交点まで又は交点から他の交点までをいう。 2.「単位多角形」とは、路線によって多角形が形成され、その内部に路線をもたない多角形をいう。 3.３～４級基準点測量において、条件式による簡易水平網平均計算を行う場合は、方向角の取付を行うものとする。 4.４級基準点測量のうち、電子基準点のみを既知点として設置した一～四等三角点、１級基準点、２級基準点や電子基準点を既知点とし、かつ、第35条第2項による機器を使用する場合は、路線の辺数及び路線長について（　）内を標準とすることができる。

基準点測量の方式　（単路線方式）

公共測量作業規程の準則 第23条

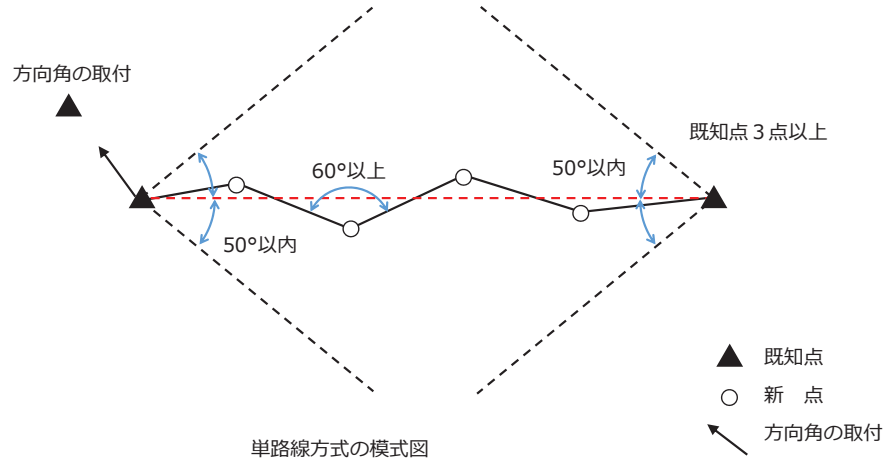
項目＼区分	１級基準点測量	２級基準点測量	３級基準点測量	４級基準点測量
方向角の取付	既知点の1点以上において方向角の取付を行う。ただし、GNSS測量機を使用する場合は、方向角の取付は省略する。			
路線の辺数	７辺以下	８辺以下	10辺以下	15辺以下（20辺以下）
新点の数	２点以下	３点以下	――	――
路線長	5km以下	3km以下	1.5km以下	700m以下（1km以下）
	電子基準点のみを既知点とする場合はこの限りではない。			

基準点測量の方式　（単路線方式）

公共測量作業規程の準則 第23条

項目＼区分	1級基準点測量	2級基準点測量	3級基準点測量	4級基準点測量
路線図形	新点は、両既知点を結ぶ直線から両側40°以下の地域内に選点するものとし、路線の中の夾角は、60°以上とする。ただし、地形の状況によりやむを得ないときは、この限りでない。		同　左 50°以下 同　右 60°以上	
備　　考	1. 1級基準点測量、２級基準点測量は、やむを得ない場合に限り単路線方式により行うものとする。 2. 4級基準点測量のうち、電子基準点のみを既知点として設置した一～四等三角点、１級基準点、２級基準点や電子基準点を既知点とし、かつ、第35条第2項による機器を使用する場合は、路線の辺数及び路線長について（　）内を標準とすることができる。			

基準点測量の方式　路線図形（単路線方式）

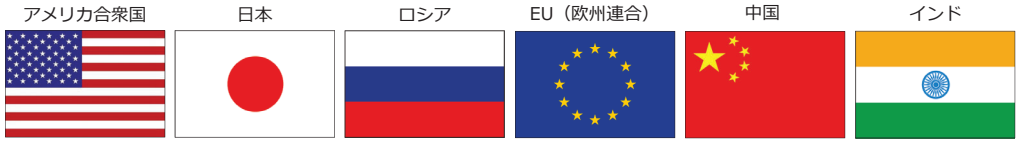


単路線方式の模式図

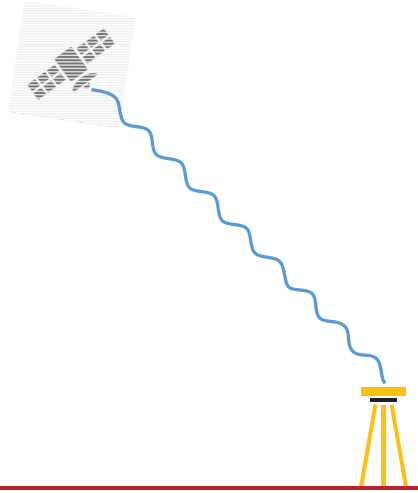
GNSS測量とは

GNSSとは

GNSS（Global Navigation Satellite System）全地球測位衛星システム。米国のGPS、日本の準天頂衛星（QZSS）、ロシアのGLONASS、欧州連合のGalileo等の人工衛星からの電波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す。

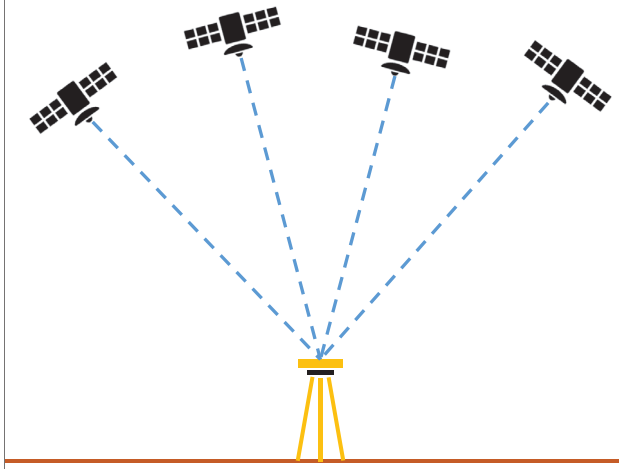


GNSS測量の仕組み



GNSS衛星から発信される電波の発信された時間と、到着した時間を計測することで衛星からの距離を測定します。
衛星からの距離が分かると、その衛星を中心とした距離を半径とする球面上のどこかにいることになります。

GNSS測量の仕組み



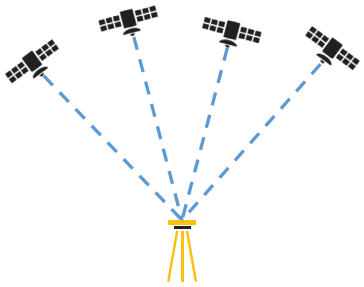
３個以上の衛星からの交点が現在地になりますが、時刻補正のため、最低４衛星が必要となります。

測位法

- GNSS測量
  - 単独測位
  - 相対測位
    - DGPS測位
    - 干渉測位
      - スタティック法
      - 短縮スタティック法
      - キネマティック測位
        - RTK法
        - ネットワーク型RTK法

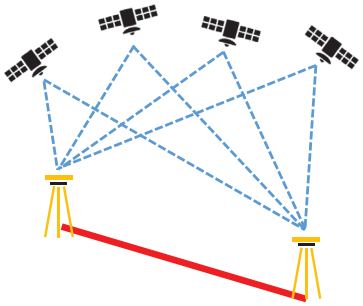
単独測位

1台の受信機で4個以上の衛星から位置を決定する方法。この方法は、衛星の位置誤差や衛星からの電波が対流圏や電離層を通過するときの電波の遅れなどから、約10mの誤差で位置が決定される。
船舶や飛行機、自動車などのナビゲーションとして利用されている。



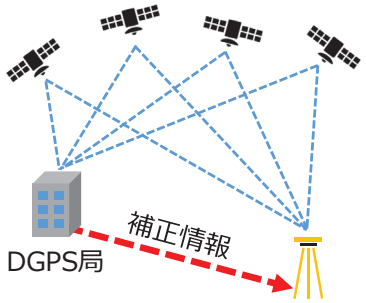
相対測位

２台以上の受信機で同時に4個以上の衛星を観測する。衛星の位置を基準とし、それぞれの受信機に到達する時間差を測定して、２点間の位置関係を求める方法。各観測点で同じ衛星の電波を受信していることや電波が同じような気象条件の中を通過してくることから、２点の観測値の差をとることにより衛星の位置誤差や対流圏・電離層遅延量が消去される。



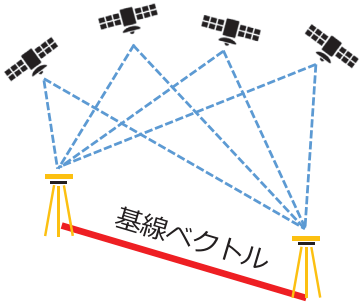
相対測位－DGPS測位

DGPS測位（Differential Global Positioning System）は、両点で単独測位を行い、基準局において位置成果と観測された座標値の差を求め、観測点に補正情報として送信する。誤差は数m程度で位置が決定される。



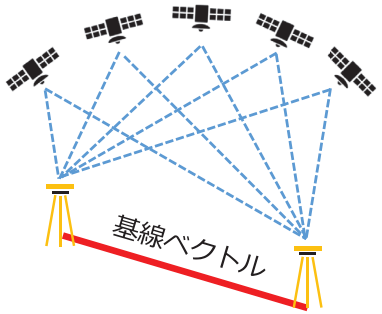
干渉測位－スタティック法

複数の観測点にGNSS測量機を整置して、同時にGNSS衛星からの信号を受信し、それに基づく基線解析により、観測点間の基線ベクトルを求める観測方法。観測時間は観測距離により60分～120分以上と時間はかかるが、精度は数mm程度の高精度な結果を得ることができる。



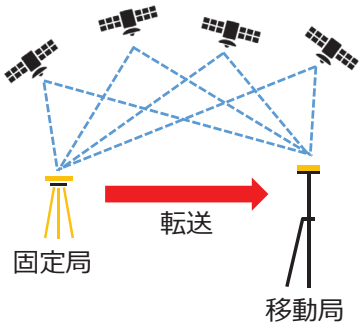
干渉測位－短縮スタティック法

スタティック法と同様に既知点と新点の複数の観測点にGNSS測量機を整置しますが，観測時間の短縮のため基線解析に衛星を多く組み合わせる方法です。観測時間は20分以上。高速なのが利点ですが，３～４級基準点測量でしか使用できません。

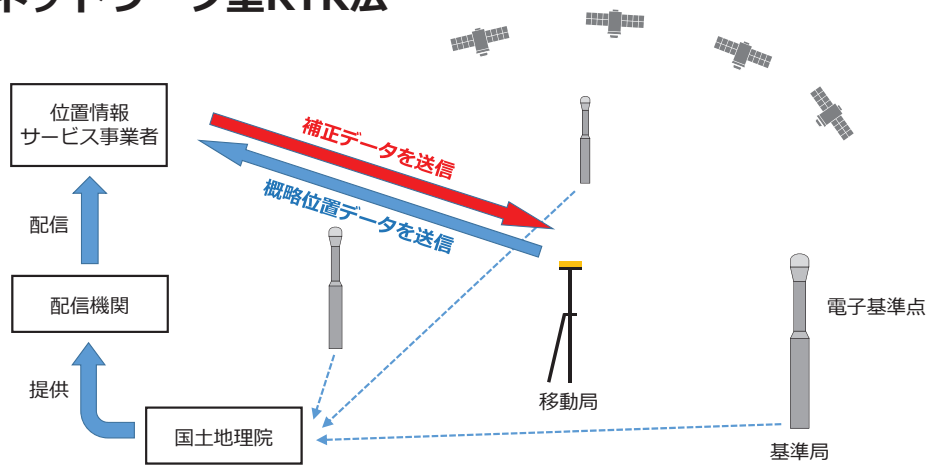


干渉測位－RTK法

既知点に設置した固定局の観測データを無線等で移動局側へ転送し、移動局側で観測データと合わせて移動点座標の計算をリアルタイムで行う。観測時間は10秒程度であるがGNSS衛星の配置状況やマルチパスの影響を受けやすく観測には注意が必要である。



ネットワーク型RTK法



電子基準点

電子基準点は、国土地理院が全国1300カ所に設置しているGNSS連続観測点。地殻変動の監視、各種測量の基準点として利用されており、リアルタイムのデータ提供が行われている。



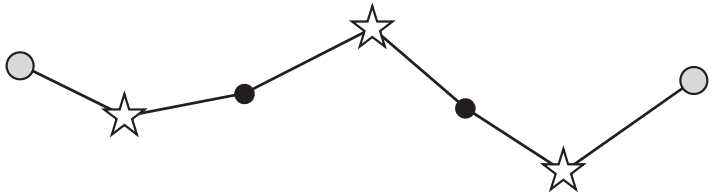
電子基準点

ネットワーク型RTK法

- **基準点測量**
  - **直接観測法**　（VRS方式）
  - **間接観測法**　２台同時観測（VRS方式・FKP方式）
  - **間接観測法**　１台準同時観測（VRS方式・FKP方式）
- **地形測量等** ── **単点観測法**

ネットワーク型RTK法　VRS方式による直接観測法

単路線方式（1台使用）の平均図

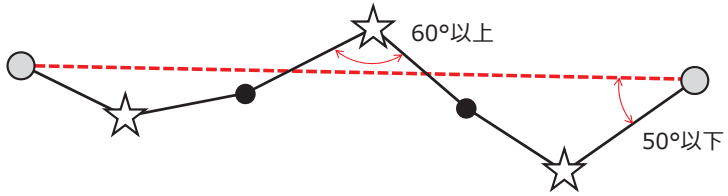


既知点（移動局）
新　点（移動局）
観測基線ベクトル（路線・辺）
仮想点

仮想点は節点扱いとなるので、作業方法の路線辺数などを踏まえ計画する必要がある。

ネットワーク型RTK法　VRS方式による直接観測法

計画の注意点

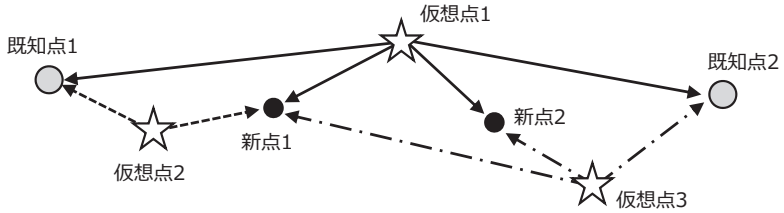


既知点（移動局）
新　点（移動局）
観測基線ベクトル（路線・辺）
仮想点

新点は、両既知点を結ぶ直線から両側50°以下の地域内に選点し、路線中の夾角は60°以上を原則とする。

ネットワーク型RTK法　VRS方式による直接観測法

単路線方式（1台使用）の観測図

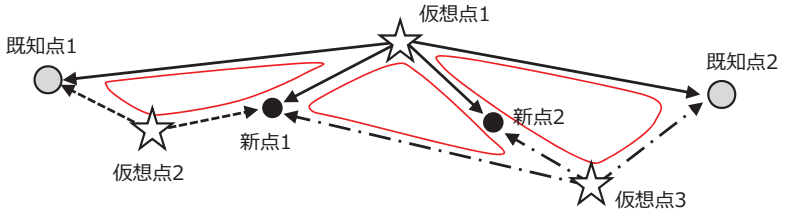


【観測手順の例】

1セッション：仮想点1を指定し、既知点1→新点1→新点2→既知点2
2セッション：仮想点3を指定し、既知点2→新点2→新点1
3セッション：仮想点2を指定し、新点1→既知点1

ネットワーク型RTK法　VRS方式による直接観測法

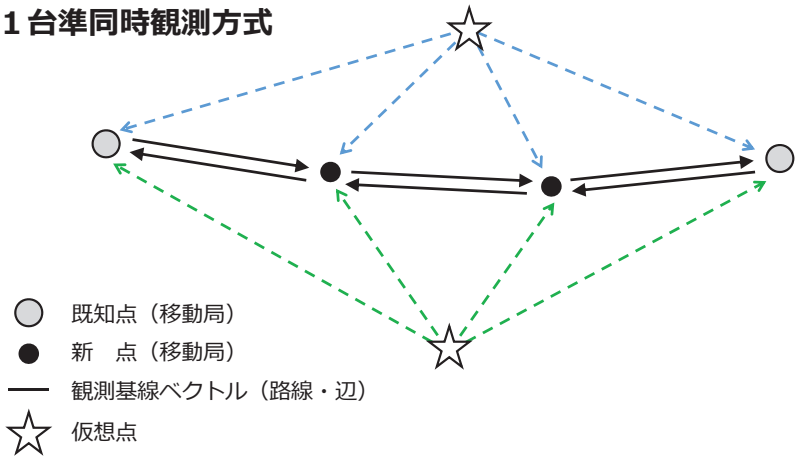
環閉合の点検



図に示す環閉合の点検を経て仮定網平均計算・実用網平均計算を行う。

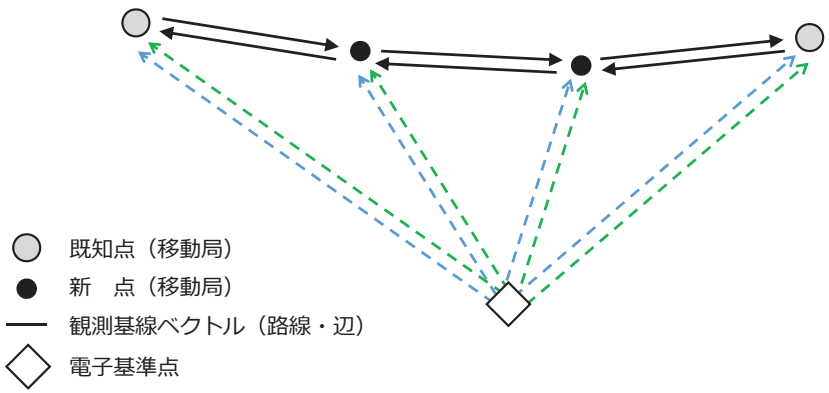
ネットワーク型RTK法　　VRS方式による間接観測法

１台準同時観測方式



ネットワーク型RTK法　　FKP方式による間接観測法

１台準同時観測方式



GNSS観測の方法

公共測量作業規程の準則 第37条2 ニ ハ

観測方法	観測時間	データ取得間隔	摘　　要
スタティック法	120分以上	30秒以下	1～2級基準点測量（10km以上）
	60分以上	30秒以下	1～2級基準点測量（10km未満） 3～4級基準点測量
短縮スタティック法	20分以上	15秒以下	3～4級基準点測量
キネマティック法	10秒以上 ※1	5秒以下	3～4級基準点測量
RTK法 ※3	10秒以上 ※2	1秒	3～4級基準点測量
ネットワーク型 RTK法 ※3	10秒以上 ※2	1秒	3～4級基準点測量
備　　考	※1　10エポック以上のデータが取得できる時間とする。 ※2　FIX解を得てから10エポック以上のデータが取得できる時間とする。 ※3　後処理で解析を行う場合も含めるものとする。		

GNSS観測の方法

公共測量作業規程の準則 第37条一部抜粋

◆観測距離が10km以上の観測は、1級GNSS測量機により２周波で行う。ただし、２級GNSS測量機を使用する場合には、観測距離を10km未満になるよう節点を設け行うことができる。

◆観測距離が10km未満の観測は、２級以上の性能を有するGNSS測量機により１周波で行う。ただし、１級GNSS測量機による場合は２周波で行うことができる。

◆アンテナ高は、ミリメートル位まで測定するものとする。

GNSS測量機の級別性能分類

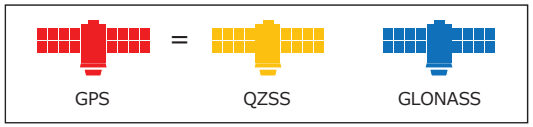
級別	受信帯域数	観測方法
1	2周波 （L1,L2）	スタティック法、短縮スタティック法、 キネマティック法、RTK法、ネットワーク型 RTK法
2	1周波 （L1）	スタティック法、短縮スタティック法、 キネマティック法、RTK法

観測方法による使用衛星数

公共測量作業規程の準則 第37条2 ニ ニ

GNSS衛星の組合せ ＼ 観測方法	スタティック法	短縮スタティック法 キネマティック法 RTK法 ネットワーク型RTK法
GPS・準天頂衛星	4衛星以上	5衛星以上
GPS・準天頂衛星及び GLONASS衛星	5衛星以上	6衛星以上
摘　要	1．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。 2．スタティック法による10km以上の観測では、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。	

GNSS衛星の組合せ



例）５衛星以上の場合

GPS：3衛星 ＋ GLONASS：2衛星



OK

GPS：2衛星 ＋ QZSS：1衛星 ＋ GLONASS：２衛星



OK

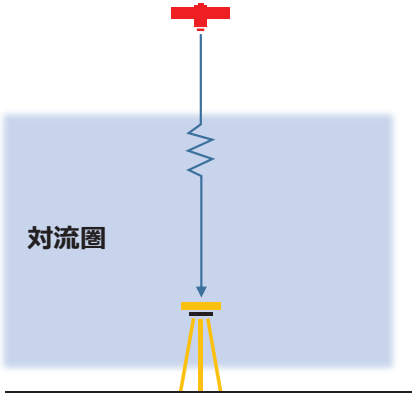
GPS：4衛星 ＋ GLONASS：1衛星



NG

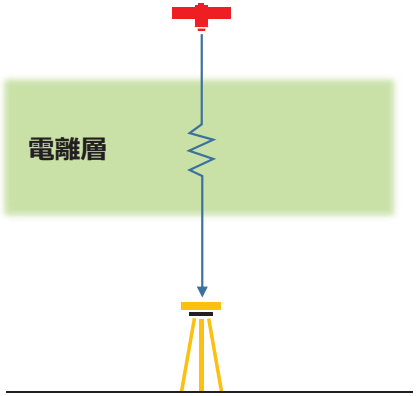
GNSS観測における留意点

対流圏による誤差



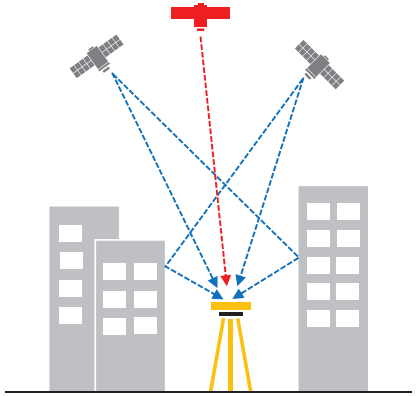
対流圏は地上～10km付近にある大気の層で、衛星からの電波が通過する際に生じる速度遅延による誤差。基線解析ソフトに設定されているデフォルト値を用いて気象補正が行われる。

電離層による誤差



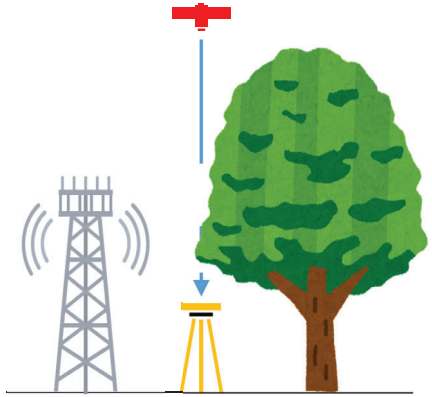
電離層は上空100～1000km付近にある電気を帯びた大気の層で、衛星からの電波が通過する際に速度が遅くなり、実際よりも長い距離と計算してしまい、誤差になる。複数の周波数により誤差を改善することができる。

マルチパスによる誤差



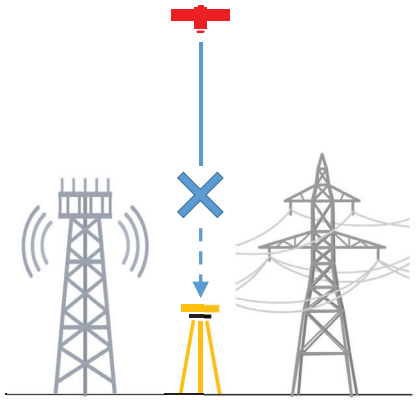
マルチパスとは、電波が山やビルなどに反射して、複数のルートで伝播すること。
反射した電波は、受信機に到着するまでに時間がかかることから「距離が遠い」と計測されるため、衛星測位においては、正確な測位を乱す要因となる。

サイクルスリップによる誤差



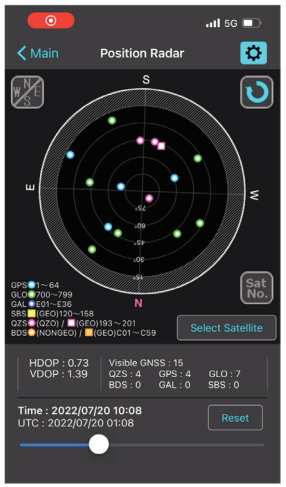
GNSS衛星からの電波が遮られ観測データが不連続となり、位相記録が欠落すること。例えば、木の葉や枝が張り出しているような場所で風により上空が遮られサイクルスリップを起こす原因となることも。

電波障害による誤差



観測点周辺にレーダー、電波塔高圧電線など、障害電波発生源がある場所では受信障害となる可能性がある。

衛星の配置



GNSS View

指定した時間や場所におけるGNSS衛星の位置を確認することができるアプリ。

Download on the App Store

GET IT ON Google Play

衛星の配置

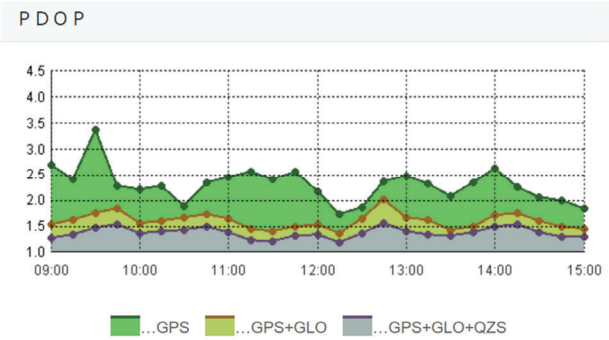
株式会社ジェノバ　衛星飛来予測



観測地域、観測日時および時刻を指定することで、そのときの衛星の配置、衛星数、PDOP値を表示し、測位精度への影響度を計算します。

https://my.jenoba.jp/pas/planning/planning.html

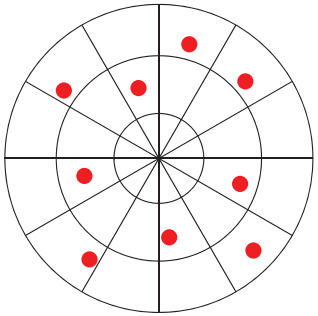
衛星の配置　PDOP



PDOPは位置精度低下率と呼ばれ、PDOP＝1のとき測位精度が最もよく、PDOPの値が大きくなる測位精度が低下します。

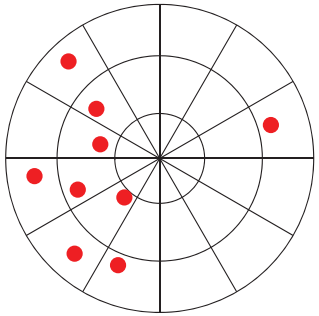
衛星の配置　PDOP

上空からみた衛星配置



バランス良く配置

PDOP値が良い



偏った配置

PDOP値が悪い

実証実験

概　要

作業地域近傍に与点となる基準点が無いため、GNSS測量機１台を使用してスタティック法により３級基準点を設置。設置した３級基準点を与点とし、ネットワーク型RTKにより４級基準点を設置。検証のためTSによる４級基準点測量を行い、ネットワーク型RTKとTSによる比較を行う。

使用機器

・GNSS測量機　　１級GNSS測量機　TOPCON HiPer SR

・TS　　２級トータルステーション　TOPCON　GT-505

検証箇所　愛知県名古屋市中区正木 地内



新設基準点

３級基準点　２点

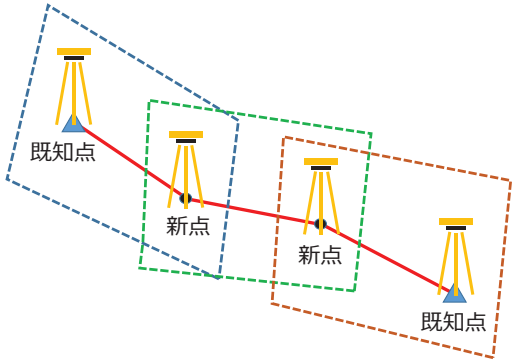
４級基準点　３点

検証箇所　愛知県名古屋市中区正木 地内



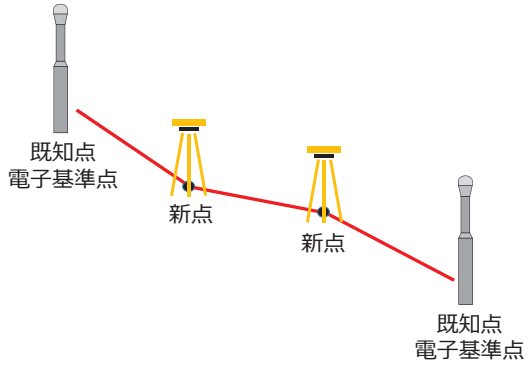
電子基準点のみを既知点とした3級基準点測量

従来のスタティック法による基準点測量



従来のスタティック法では基本三角点等と新点で同時に観測する必要があったため、最低でも２台のGNSS測量機が必要であった。効率よく観測を行うためには複数台のGNSS測量機が必要になる。

電子基準点のみを既知点とした３級基準点測量



現在、公共測量において１級及び２級基準点測量で利用可能となっている電子基準点のみを既知点とする測量方法を、３級基準点測量にも適用させるマニュアル（案）「令和３年６月」に制定されました。

電子基準点のみを既知点とした３級基準点測量

電子基準点のみを既知点とした３級基準点測量マニュアル(案)　第4条

区分 / 項目	電子基準点のみを既知点とした３級基準点測量
既知点の種類	電子基準点
既知点数	２点以上（作業地近傍の電子基準点を使用する。）
既知点間距離	電子基準点のみを既知点とするので、制限しない。
新点間距離	200m

電子基準点のみを既知点とした３級基準点測量

電子基準点のみを既知点とした３級基準点測量マニュアル(案)　第4条

区分 / 項目		電子基準点のみを既知点とした３級基準点測量
結合多角方式	路線の辺数	７辺以下
	路 線 長	電子基準点のみを既知点とするので、制限しない。
	路線図形	多角網の外周路線に属する新点は、外周路線に属する隣接既知点を結ぶ直線から外側50°以下の地域内に選点するものとし、路線の中の夾角は、60°以上とする。 ただし、地形の状況によりやむを得ないときは、この限りでない。

電子基準点のみを既知点とした３級基準点測量

電子基準点のみを既知点とした３級基準点測量マニュアル(案)　第10条

機　器	性　能	摘　要
１級GNSS測量機	準則別表１による	
２級GNSS測量機		観測距離が10km未満の場合に使用できる。

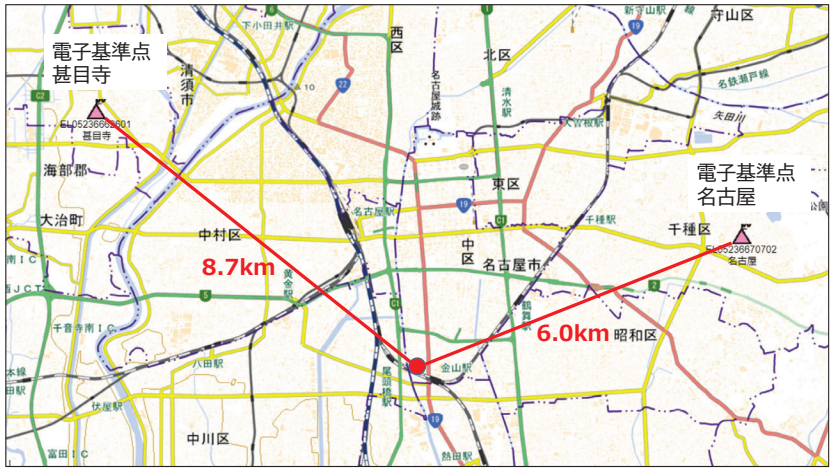
電子基準点のみを既知点とした３級基準点測量マニュアル(案)　第12条

観測方法	観測時間	データ取得間隔	摘　要
スタティック法	120分以上	30秒以下	10km以上
	60分以上	30秒以下	10km未満

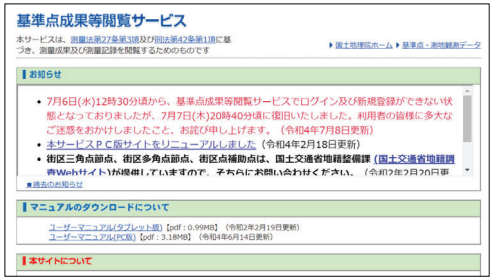
電子基準点のみを既知点とした３級基準点測量

観測方法 / GNSS衛星の組合せ	スタティック法
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
摘　要	1. 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。 2. スタティック法による10km以上の観測では、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。

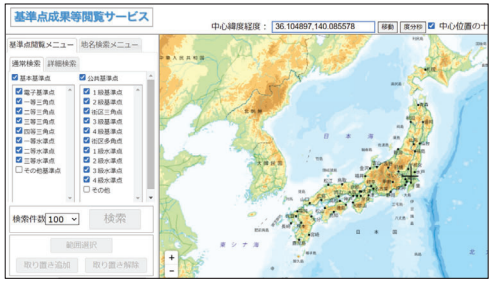
作業計画



作業計画

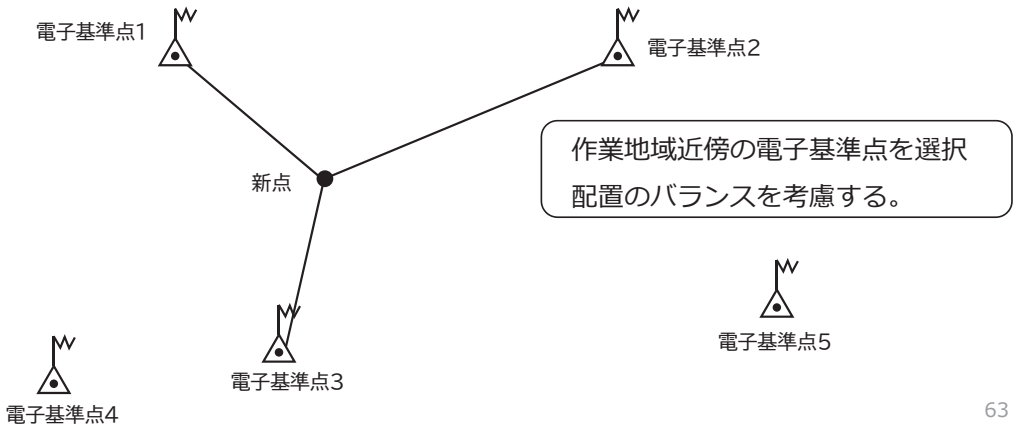


https://sokuseikagis1.gsi.go.jp/top.html



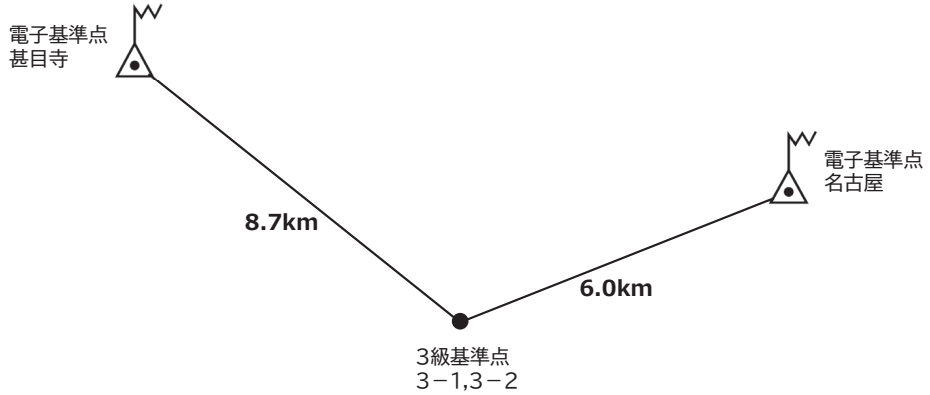
地図上から様々な基準点の位置や情報を検索することが可能

作業計画　　平均図(例)



作業地域近傍の電子基準点を選択
配置のバランスを考慮する。

作業計画　　平均図



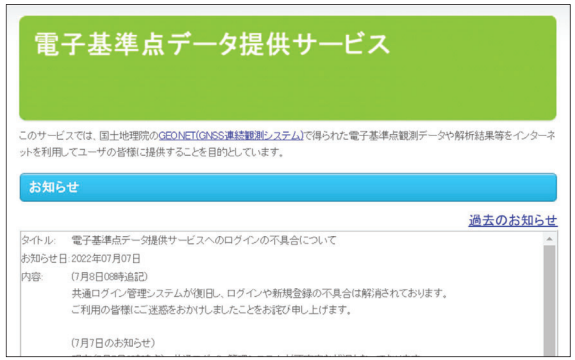
観測　　観測風景



計算　基線解析

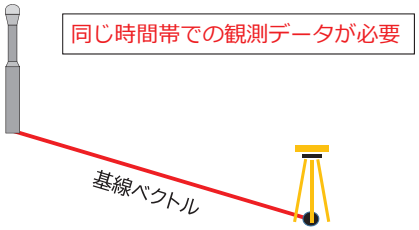
電子基準点データ提供サービス

国土地理院のHPより、観測と同日時の電子基準点の観測データをダウンロードします。
このサービスを利用するには会員登録が必要となります。



計算　基線解析





基線解析とは各受信機によって記録されたデータを解析して基線の長さと方向を決定する。
よって複数台の受信機が必要となるが、電子基準点も一つの受信機であるため、１台でも基線ベクトルを計算することが可能となる。

計算　計算の方法等

電子基準点のみを既知点とした３級基準点測量マニュアル(案)　第13条

２　基線解析は、基線長１０キロメートル以上の場合は２周波で行うものとし、基線長が１０キロメートル未満の場合は１周波又は２周波で行うものとする。
３　基線解析では、原則としてPCV補正を行うものとする。
４　基線解析の固定点の緯度及び経度は成果表の値（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たセミ・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ものとする。以後の基線解析は、固定点の緯度及び経度を用いて求められた緯度及び経度を順次入力するものとする。
５　基線解析の固定点の楕円体高は、成果表の楕円体高又は今期座標とする。以後の基線解析は、固定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ものとする。

計算　PCV補正

PCV（Phase Center Variation）とは、エポックごとに受信機に飛び込んでくるGNSS衛星電波の入射角に応じて、アンテナの受信位置が変化することをいい、この変化量は、アンテナ機種ごとによって異なり、アンテナ位相特性といいます。PCVを無視すると高さ方向に数センチの誤差が生じることがあります。各アンテナはこのPCV補正量を持っており、異機種のアンテナで観測した場合、PCV補正量を用いて基線解析をすることで、受信位置の補正を行います。

アンテナは一定の方向へ向けて（例えば北の方向）整置

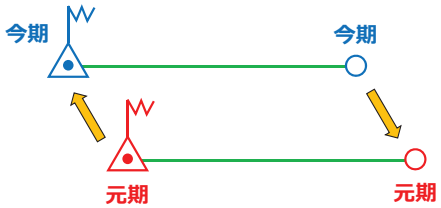
計算　セミ・ダイナミック補正

我が国は複数のプレート境界に位置し、それぞれのプレートが異なる方向へ動くことから、複雑な地殻変動が起こっています。測量に利用される基準点もこの地殻変動の影響により、実際の地球上の位置と測量成果の示す座標値が時間とともにずれていきます。 位置情報（緯度、経度、標高）の均一な精度を長期的に維持するため、この一様でない地殻変動による歪みの影響を補正するのがセミ・ダイナミック補正です。

電子基準点のみを既知点とした場合は必ずセミ・ダイナミック補正を行う。

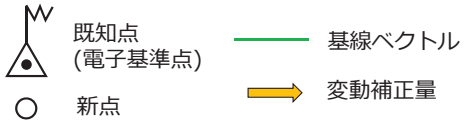
計算　セミ・ダイナミック補正

元期：測地成果2011の基準日
今期：観測を行った日



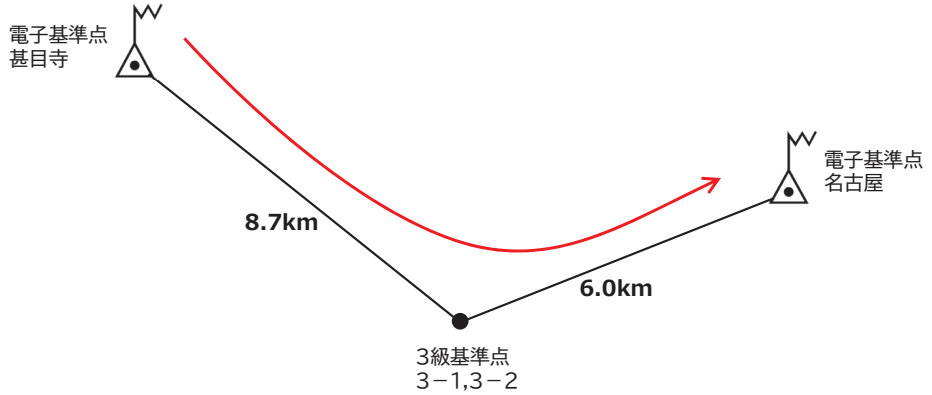
補正手順

① 既知点を固定して基線ベクトルを求める
② 既知点の座標値を元期から今期に補正
③ 網平均計算を行い新点の今期座標を求める
④ 新点の座標値を今期から元期に補正



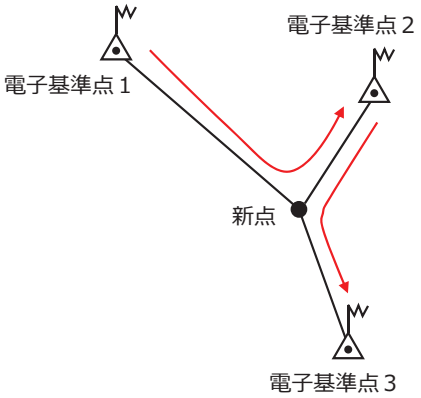
地殻変動補正のためのパラメータファイルは毎年更新されており国土地理院のHPよりダウンロード可能

点検計算



点検計算(例)

公共測量作業規程の準則 第42条ニ ロ



電子基準点間の結合の計算は、最少辺数の路線について行う。ただし、辺数が同じ場合は路線長が最短のものについて行う。

全ての電子基準点は、１つ以上の点検路線で結合させるものとする。

点検計算に使用する既知点の緯度、経度及び楕円体高は、今期座標とする。

点検計算　　電子基準点間の閉合差

電子基準点のみを既知点とした３級基準点測量マニュアル(案)　第14条

項　　目		許容範囲	備　　考
結合多角 又は単路線	水平（ΔN,ΔE）	60mm＋20mm√N	N ：辺数 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
	高さ（ΔU）	150mm＋30mm√N	

測点名	点検項目	閉合差	許容範囲	判定
３級基準点 3－1	水平（ΔN,ΔE）	0.013	0.088	OK
	高さ（ΔU）	0.008	0.192	OK
３級基準点 3－2	水平（ΔN,ΔE）	0.007	0.088	OK
	高さ（ΔU）	0.009	0.192	OK

点検計算　　許容範囲について

◆結合多角・単路線

水平位置の閉合差
（４級基準点測量）

$150mm + 100mm\sqrt{N}\Sigma S$

N：辺数
ΣS：路線長(km単位)

$150mm$　既知点誤差の許容範囲

$100mm\sqrt{N}\Sigma S$　観測誤差の許容範囲

◆単位多角形

水平位置の閉合差
（４級基準点測量）

$50mm\sqrt{N}\Sigma S$

N：辺数
ΣS：路線長(km単位)

平均計算　　三次元網平均計算

電子基準点のみを既知点とした３級基準点測量マニュアル(案)　第15条

区　分 項　目	許容範囲
新点水平位置の標準偏差	100mm
新点標高の標準偏差	200mm

測点名	新点水平位置の標準偏差		新点標高の標準偏差	
	標準偏差(m)	許容範囲(m)	標準偏差(m)	許容範囲(m)
３級基準点 3－1	0.007	0.100	0.012	0.200
３級基準点 3－2	0.006	0.100	0.010	0.200

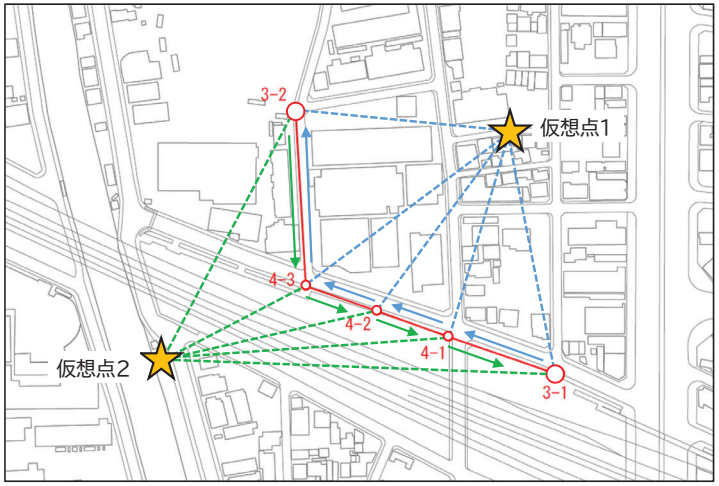
計算結果

測点名	XYZ	元座標(m)	今回座標(m)	較差(m)
3級基準点 3－1 (10D95)	X座標	－94888.606	－94888.612	＋0.006
	Y座標	－24451.168	－24451.162	－0.006
	標　高	9.819	9.804	＋0.015
3級基準点 3－2 (10E06)	X座標	－94702.341	－94702.349	＋0.008
	Y座標	－24636.543	－24636.545	＋0.002
	標　高	8.439	8.435	＋0.004

ネットワーク型RTK法
４級基準点測量

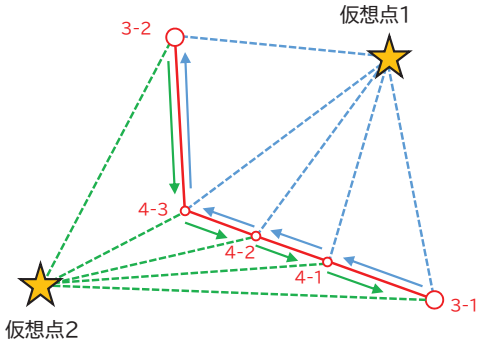
作業計画　　観測図

VRS方式による間接観測法
１台準同時観測方式



作業計画　　観測図

VRS方式による間接観測法
１台準同時観測方式



観測時間：約20分

◆観測順序

固定局：仮想点１

移動局：３－１→４－１→４－２→
４－３→３－２

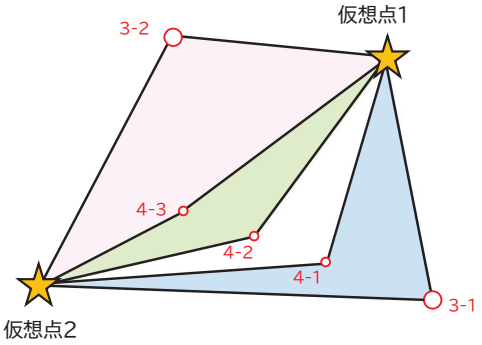
固定局：仮想点２

移動局：３－２→４－３→４－２→
４－１→３－１

観測　　観測風景



点検計算



点検計算は、基線ベクトルの環閉合差又は重複する基線ベクトルの較差を比較する方法で行う。

点検計算

項　　目		許容範囲	備　　考
基線ベクトルの環閉合差	水平(ΔN、ΔE)	20mm√N	N ：辺数 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
	高さ(ΔU)	30mm√N	
重複する基線ベクトルの較差	水平(ΔN、ΔE)	20mm	
	高さ(ΔU)	30mm	

基線ベクトルの環閉合差	水平(ΔN、ΔE)	高さ(ΔU)
3-1 → 仮想点1 → 4-1 → 仮想点2 → 3-1	0.011m	0.025m
4-2 → 仮想点1 → 4-3 → 仮想点2 → 4-2	−0.009m	0.017m
4-3 → 仮想点1 → 3-2 → 仮想点2 → 4-3	0.007m	0.011m

平均計算

- **仮定網平均計算**

  既知点１点を固定し、その他の既知点を新点として扱うため固定既知点に対して他の既知点の相対位置関係を変動ベクトルで確認するために行います。

- **実用網平均計算**

  仮定網が許容範囲内であれば、次に実用網平均（全ての既知点を固定）します。実用網は多点固定解なので純粋な観測値のみの平均図形でなく既知点同士の相対精度に左右された平均図形になります。

平均計算　仮定網平均計算　許容範囲

区分 / 項目	1級基準点測量	2級基準点測量	3級基準点測量	4級基準点測量
基線ベクトルの各成分の残差	20mm	20mm	20mm	20mm
水平位置の閉合差	Δs＝100mm＋40mm√N Δs：既知点の成果値と仮定三次元網平均計算から求めた距離 N：既知点までの最少辺数（辺数が同じ場合は路線長の最短のもの）			
標高の閉合差	250mm＋45mm√Nを標準とする　　N：辺数			

平均計算　仮定網平均計算　許容範囲

区分 / 項目	1級基準点測量	2級基準点測量	3級基準点測量	4級基準点測量
方位角の残差	5秒	10秒	20秒	80秒
斜距離の残差	$20mm+4\times10^{-6}D$　　D：測定距離			
楕円体比高の残差	$30mm+4\times10^{-6}D$　　D：測定距離			
水平位置の閉合差	Δs＝100mm＋40mm√N Δs：既知点の成果値と仮定三次元網平均計算から求めた距離 N：既知点までの最少辺数（辺数が同じ場合は路線長の最短のもの）			
標高の閉合差	250mm＋45mm√Nを標準とする　　N：辺数			

平均計算　三次元網平均計算　許容範囲及び結果

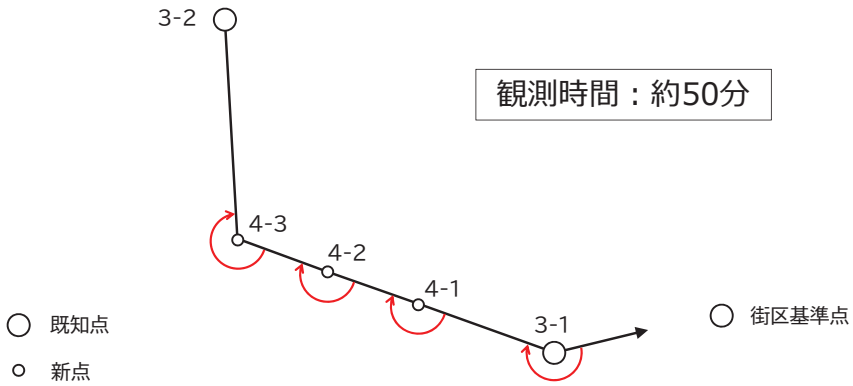
公共測量作業規程の準則 第23条

区分 / 項目	1級基準点測量	2級基準点測量	3級基準点測量	4級基準点測量
新点水平位置の標準偏差	100mm	100mm	100mm	100mm
新点標高の標準偏差	200mm	200mm	200mm	200mm

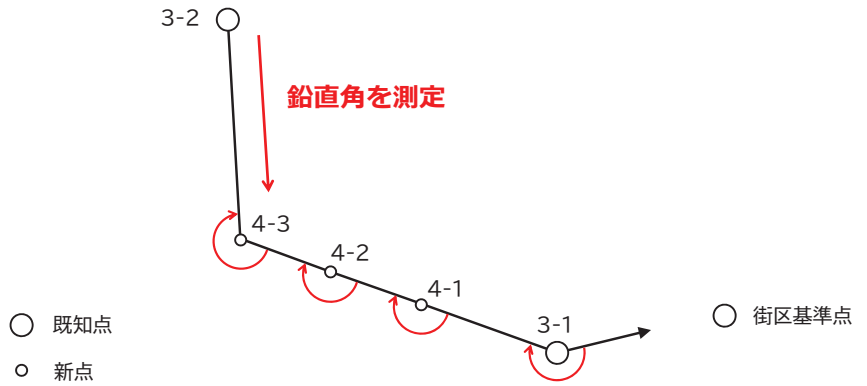
測点	水平位置の標準偏差	標高の標準偏差
4－1	0.022m	0.015m
4－2	0.014m	0.009m
4－3	0.018m	0.012m

TSによる４級基準点測量

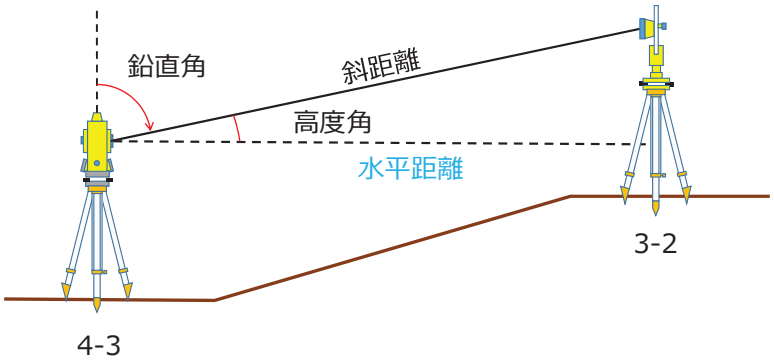
作業計画　観測図　TSによる４級基準点測量



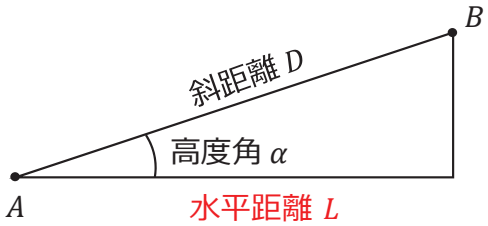
作業計画　観測図　TSによる４級基準点測量



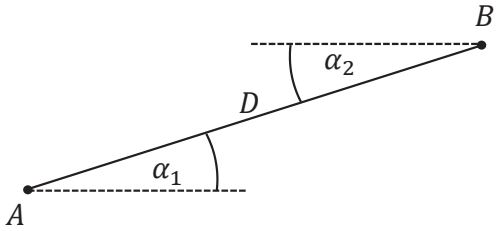
作業計画　観測図　TSによる４級基準点測量



作業計画　観測図　TSによる４級基準点測量

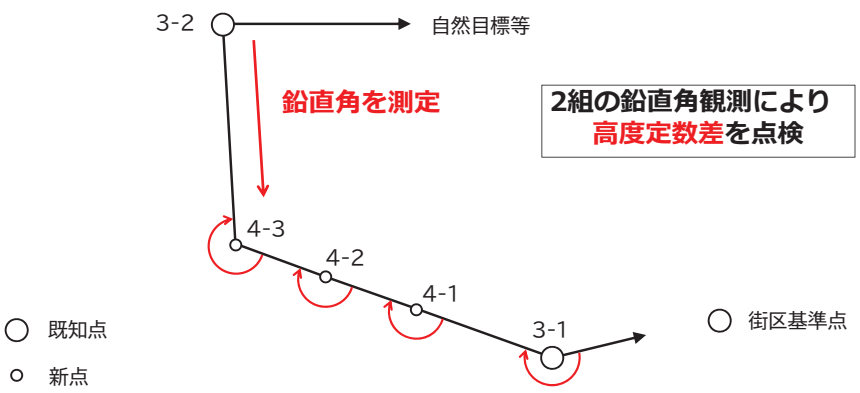


$$L = D \cdot \cos\alpha$$



$$L = D \cdot \cos\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}$$

作業計画　　観測図　　TSによる４級基準点測量



点検計算

項目＼区分		３級基準点測量	４級基準点測量
結合多角単路線	水平位置の閉合差	$150mm + 50mm\sqrt{N}\Sigma S$	$150mm + 50mm\sqrt{N}\Sigma S$
	標高の閉合差	$200mm + 150mm\Sigma S/\sqrt{N}$	$200mm + 300mm\Sigma S/\sqrt{N}$
備　考		Nは辺数、ΣSは路線長(km単位)とする。	

使用した与点	水平位置の閉合差	標高の閉合差
元座標　街区基準点	0.016m	0.005m
今回座標　GNSS観測による	0.018m	−0.001m

平均計算　厳密網平均計算　許容範囲及び結果

公共測量作業規程の準則 第23条

区分＼項目	１級基準点測量	２級基準点測量	３級基準点測量	４級基準点測量
新点水平位置の標準偏差	100mm	100mm	100mm	100mm
新点標高の標準偏差	200mm	200mm	200mm	200mm

測点	水平位置の標準偏差	標高の標準偏差
4－1	0.005m	0.002m
4－2	0.005m	0.002m
4－3	0.006m	0.002m

計算結果比較　※計算に使用した与点は、今回観測で得られた３級基準点とする。

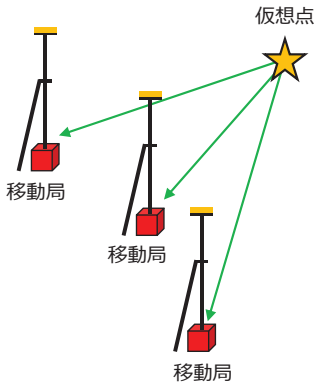
点名		NRTK(m)	TS(m)	較差(m)
4-1	X座標	−94860.739	−94860.749	0.010
	Y座標	−24536.448	−24536.441	−0.007
	標高	8.952	8.938	0.014
4-2	X座標	−94842.091	−94842.072	−0.019
	Y座標	−24580.780	−24580.763	−0.017
	標高	8.376	8.369	0.007
4-3	X座標	−94826.109	−94826.125	0.016
	Y座標	−24631.312	−24631.299	−0.013
	標高	7.855	7.838	0.017

計算結果比較　※計算に使用した与点は、今回観測で得られた３級基準点とする。

点名		NRTK	TS
4-1	水平位置の標準偏差	0.022m	0.005m
	標高の標準偏差	0.015m	0.002m
4-2	水平位置の標準偏差	0.014m	0.005m
	標高の標準偏差	0.009m	0.002m
4-3	水平位置の標準偏差	0.018m	0.006m
	標高の標準偏差	0.012m	0.002m

その他の利用方法

ネットワーク型RTK法による単点観測法



ネットワーク型ＲＴＫ法による単点観測法とは、観測点にアンテナを立て衛星からの電波を受信し、あわせて国土地理院の電子基準点の観測データを利用して、周囲の基準点等を使用せず観測点の座標を直接求めることができる測量方法である。

ネットワーク型RTK法による単点観測法

公共測量作業規程の準則 第550条３二

使用衛星数	観測回数	データ取得間隔	許容範囲		備考
５衛星以上	FIX解を得てから10エポック以上	1秒（ただしキネマティック法は5秒以下）	ΔN ΔE	20mm	ΔN：水平面の南北成分のセット間較差 ΔE：水平面の東西成分のセット間較差 ただし、平面直角座標値で比較することができる。
摘要	GLONASS衛星を用いて観測する場合は、使用衛星数は６衛星以上とする。 ただし、GPS・準天頂衛星及びGLONASS衛星を、それぞれ２衛星以上を用いること。				

公共測量作業規程の準則 第604条２三

前号において１セット目の観測終了後、再初期化を行い２セット目の観測を行う。なお、境界点の座標値は、２セットの観測から求めた平均値とする。

ネットワーク型RTK法による単点観測法

公共測量作業規程の準則 第550条５一

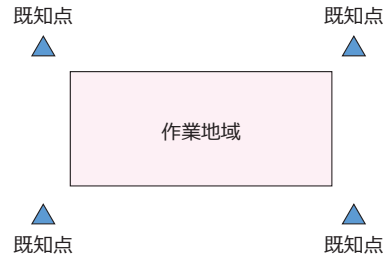
単点観測法による場合は、作業地域周辺の既知点において単点観測法により、整合を確認するものとする。なお、整合の確認及び方法は、次のとおりとする。

・整合を確認する既知点は、作業地域の周辺を囲むように配置する。
・既知点数は、３点以上を標準とする。
・既知点での観測は、第３項第二号及び第三号の規定を準用する。
・既知点成果値と観測値で比較し、許容範囲内で整合しているかを確認する。

ネットワーク型RTK法による単点観測法



２セット間の較差は20mm以内
座標値は２セットの平均値



整合性の確認のため作業地域を囲むように3点以上の既知点で確認する

ネットワーク型RTK法による単点観測法

公共測量作業規程の準則 第550条５二

整合していない場合は、次の方法により整合処理を行うものとする。

水平の整合処理は、座標補正として次により行うものとする。
・平面直角座標で行うことを標準とする。
・補正手法は適切な方法を採用する。

高さの整合処理は、標高補正として次により行うものとする。
・標高を用いることを標準とする。
・補正手法は適切な方法を採用する。

ネットワーク型RTK法による単点観測法

公共測量作業規程の準則 第550条５三

座標補正の点検は、水平距離と標高差（標高を補正した場合）について、次のとおり行うものとする。

・単点観測法により座標補正に使用した既知点以外の既知点で観測を行い、座標補正を行った測点の単点観測法による観測値との距離を求める。
・単点観測法により観測を行う既知点の成果値と、座標補正を行った測点の補正後の座標値から距離を求める。

較差の許容範囲

点検距離	許容範囲
500m以上	点検距離の1/10,000
500m未満	50mm

ネットワーク型RTK法による単点観測法

- **測設機能を用いた既設杭の探索**
- **測設機能を用いた復元**
- **既設基準点の点検**
- **現況図の作成**

まとめ

まとめ

・電子基準点のみを既知点とした３級基準点測量の結果は概ね良好であった。よって、作業地域に既知点がない場合には有効な手段といえる。

・ネットワーク型RTKによる観測は許容範囲内ではあるが多少のバラツキがあった。原因としては、今回の観測場所が市街地でありビル等の影響があったと考えられる。

・作業効率を比較するとネットワーク型RTKによる観測は、作業人数や観測時間を考慮すると従来のTSに比べ優れている。

まとめ

GNSSを用いた測量のメリットとデメリット

メリット

・作業地域近傍に基本三角点等がなくても平面直角座標での成果を得られる。
・作業効率がよい（ワンマンでの観測が可能）
・天候に左右されない。
・相互の視通が不要。

デメリット

・作業地域が限定されることも。
・ネットワーク型RTKを用いる場合にランニングコストがかかる。
・条件によって精度が不安定になる。

設備費用

GNSS測量機 **約200万**

ビズステーション株式会社
Drogger **約15万**

2022年5月に国土地理院 1級GNSS測量機として登録

設備費用

ネットワーク型RTK
位置情報サービス事業者

金額は税込み

事業者名	月定額	年定額
株式会社ジェノバ	26,400円	264,000円
日本テラサット株式会社	23,100円	198,000円
日本GPSデータサービス株式会社	23,100円	198,000円

2022年7月現在の料金

その他、使用した時間に応じて課金となる従量プラン等がある。

ご清聴ありがとうございました。