

ネットワーク型 RTK-GPS を用いた 盛土品質管理システムの開発

ネットワーク型 RTK-GPS の性能確認実験

黒台昌弘

盛土の品質管理システムにおける重機の位置決めには、工区内に GNSS 固定局を設ける方式が一般的である。固定局には給電設備などが必要であり、またその地点の座標値を事前に測っておく作業があるため、施工範囲が広域で、基準局の設置替えが必要な場合には作業が非効率となり、盗難などの保安面でも問題があった。ネットワーク型 RTK-GPS は、こういった問題を解決できる手法として最近注目されている。本稿では、この方式が実施工で適用可能な性能を有するかどうかを確認した実験について述べる。

キーワード：盛土、品質管理、情報化施工、GNSS、ネットワーク型 RTK-GPS

1. はじめに

「情報化施工推進戦略」の策定や準天頂衛星「みちびき」の打上げ成功など、情報化施工における GNSS 利用のための環境整備が進んでいる。情報化施工で多用される RTK-GPS は従来型のローカルな GNSS 固定局を設置する方法（以降、従来型 RTK）やネットワーク型 RTK-GPS（以降、VRS-GPS）に加えて、「みちびき」から放送される補正データ（LEX 信号）を受信することによる方法も実現されつつあり、即時性を必要とする位置決め手法に関してユーザーの選択肢が広がってきている。このうち VRS-GPS は、国土地理院を中心に 2000 年代始めから計測精度や受信性能の確認が進められてきたが、近年では、通信設備の発達と通信料金の低価格化により VRS-GPS の適用が増加傾向にある。

そこで、筆者を初めとするプロジェクトチームでは、重機に VRS-GPS を搭載して盛土の施工管理を実施することを念頭において 2 つの実験を行った。本稿では、重機が静止している状態および移動している状態での VRS-GPS の性能を確認した実験について報告する。

2. ネットワーク型 RTK-GPS (VRS-GPS) の概要¹⁾

ネットワーク型 RTK-GPS とは、複数の固定局の観測データを利用して、固定局と移動局の距離に関係なく、短距離基線の RTK-GPS と同等の精度を実現する測位方式である。複数の固定局のデータとして、国土地理院が運用し民間に開放している全国約 1,200 点の

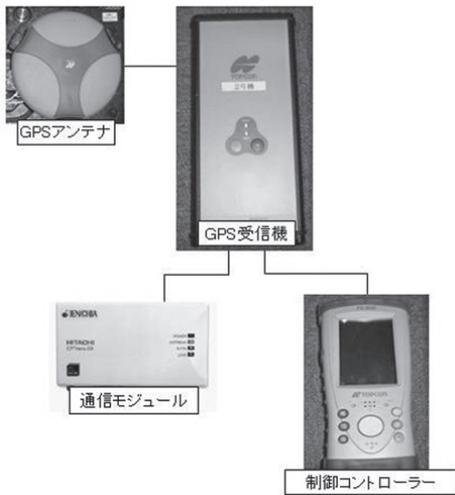
電子基準点網（GEONET）の電子基準点リアルタイムデータを利用する。

VRS (Virtual Reference Station) とは「仮想基準点」と直訳される。その測位方法は、観測地点の GPS 測位情報（単独測位値）を、携帯電話通信網を利用して配信事業者に送信し、配信事業者は国土地理院から提供される電子基準点データを元にその観測点近傍に仮想基準点を構築する。移動局ではこの仮想基準点に対する補正情報等を配信事業者から受信し、移動局観測データと補正情報から基線解析を行い、移動局座標を得るものである（図—1）。



図—1 VRS-GPS のイメージ (ジェノバ社 HP)

測位機器は、①観測点に配置される GPS 受信機、②GPS 受信機を制御するためのコントローラ、③配信事業者との通信を可能とする通信モジュールで構成される（図—2）。



図—2 VRS-GPS の機材構成

3. VRS-GPS を情報化施工に利用する際の 問題点¹⁾

VRS-GPS は定点観測が主体の基準点測量の分野では近年活発に利用されているが、連続的に速度をもって移動する車両や船舶に搭載しての適用事例は少ない。その要因としては以下のような問題を含んでいるためであると考えられる。

- a) 電子基準点ベースの位置計測となるため、TSなどをを用いた現地測量結果との整合が取れない場合がある。
- b) 仮想基準点データは近隣の複数の電子基準点データから生成されるが、その位置はGPS受信機を初期化した場所に規定される。初期化した位置が実際に施工する場所から大きく離れていた場合には、位置計測精度や座標再現性が劣化する恐れがある。
- c) 専用回線ではない一般的な携帯電話通信網を利用して仮想基準点に関連した補正情報が配信されるため、通信状況や配信データ量によってはデータ遅延や不達が生じる可能性がある。このことにより、GPS受信機には時間遅れに対応したRTK演算機能が組み込まれているが、重機走行を考慮した正確な位置計測ができない可能性がある。
- d) VRS-GPSでは固定局機材が不要となるが、一方で補正情報の配信を受けるために、携帯電話通信料と補正情報利用料が従量的に課金される。このことから、運用期間にもよるが、既に固定局機材を保有しているユーザーにはVRS-GPS利用の経済的メリットが少ない場合がある。

本稿では、これらの問題点のうちb) c)に関連して、以降に示す2つの実験を実施した。

4. 定点における初期化実験 (実験1)²⁾

(1) 実験概要

- a) 実験目的：VRS-GPSを用いた位置計測は、現場内に測量基準点を設置するRTK-GPSとは異なり、目には見えない演算上の基準点を利用するため、ユーザーが精度管理の点で不安感を持つ場合がある。例えば、既往の研究では³⁾、VRS-GPS利用上の留意点として、データ通信や仮想基準点の生成位置、計測精度と再現性等について言及している。そこで実験1では、静止時(定点観測)におけるVRS-GPSの特性を把握するために、①仮想基準点の生成位置と初期化位置との距離(いわゆる基線長)、②計測精度、③初期化時間、④衛星飛来状況についての相互関係を把握することとした。
- b) 事前準備1(観測定点の設置)：図—3に示したつくば市にある実験ヤードに測点を設け、近傍の電子基準点3点からスタティック解析により座標を求めた。表—1にその結果を示す。
- c) 事前準備2(仮想基準点の生成)：測点hzm2-1を工事区域内で重機が停止している場所と仮定して、真東の方向に9箇所の仮想基準点を生成した(図—4)。VRS-GPSでは生成したい仮想基準点を取り囲む近傍3点の電子基準点と整合の取れた補正データが配信されるため、基線長によって選定する電子基準点異なる場合がある。広大な土木工事現場内での運用を想定した場合、生成した仮想基準点と施工ヤードが数km離れる場合があ



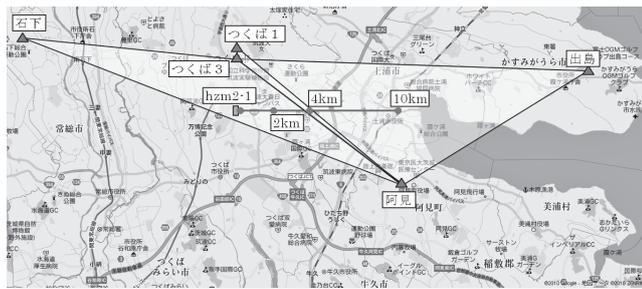
図—3 測点配置と実験ヤードの状況

表—1 定点観測点の座標等

| | |
|-----------|------------------|
| 測点名 | hzm2-1 |
| 観測日 | 2010.11.19 |
| 観測時間帯 | 11:45~14:15 |
| 利用した電子基準点 | 右下 阿見 つくば3 |
| X座標 | 8668.720 |
| Y座標 | 22687.718 |
| H座標 | 25.845 |

表—2 実験使用機材一覧

| | | |
|---------|---------|--------------|
| GPS受信機 | トプコン | LEGACY-H GGD |
| VRS通信装置 | ジェノバ | CPTrans-SX |
| 操作端末 | 汎用ノートPC | |
| 補正情報 | RTCM | Ver.3.0 |



| | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| 基線長 | 10m | 100m | 500m | 1km | 2km |
| 仮想基準点生成に 利用する電子基準点 | 石下 | 石下 | 石下 | 石下 | 石下 |
| | つくば3 | つくば3 | つくば3 | つくば3 | つくば3 |

| | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|
| 基線長 | 3km | 4km | 5km | 10km |
| 仮想基準点生成に 利用する電子基準点 | 石下 | つくば1 | 出島 | 出島 |
| | 阿見 | 阿見 | 阿見 | 阿見 |
| | つくば3 | つくば3 | つくば3 | つくば3 |

※測点hzm2-1のY座標を基線の長さだけ東方に移動。
図一四 仮想基準点と電子基準点配置

るため、このような検討ケースを設定した。

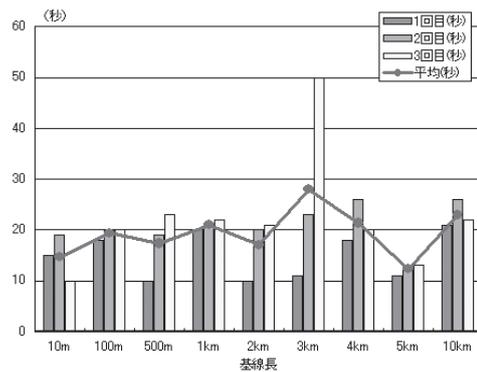
d) 実験手順: 以下の手順を各基線にて3回実施した。

- ① GPS 受信機電源 ON ⇒ ② 通信装置電源 ON
- ⇒ ③ PC より仮想基準点座標を指定してVRSサーバーへ送信
- ⇒ ④ VRS 補正データ受信 (RTCMVer.3.0)
- ⇒ ⑤ RTK 演算開始 (= 初期化開始時刻)
- ⇒ ⑥ RTK - Fix 解取得 (= 初期化完了時刻)
- ⇒ ⑦ 1 分間連続受信
- ⇒ ⑧ 通信装置電源 OFF ⇒ ⑨ GPS 受信機電源 OFF

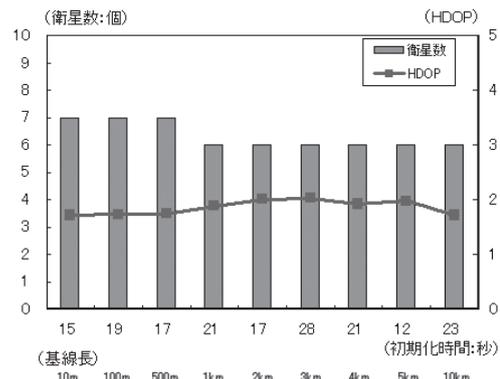
なお、受信機電源の操作により内部メモリに保存されている GPS データを完全に消去して RTK 演算を行った。これは、内部メモリに残された GPS データを利用して RTK 演算した場合に初期化時間が早まることを避けるための処置である。また、VRS 補正データを RTCMVer.3.0 として通信容量を縮減し同時に通信品質も確保した。

(2) 実験結果

- a) 基線長と初期化時間の関係 (図一五): 基線長 3 km の 3 回目の計測では多少時間を要しているが、それ以外のケースについては、基線長が長くなることに対して、初期化時間の大きな変動は見られない。つまり、初期化時間に距離依存性はないと考えられる。
- b) 初期化時間と衛星数, HDOP の関係 (図一六): 一般的に GPS 観測を行う場合の初期化時間は、その時に受信している衛星数や衛星の幾何学的配置 (HDOP 等) に影響を受ける。本実験では図一三のように受信環境が良好であったため、初期化時間 (全ケース平均 19 秒) に対して、受信できている衛星数が 6~7 個, HDOP は 2.0 以下となり、これら相互に大きな関連性は確認できない。



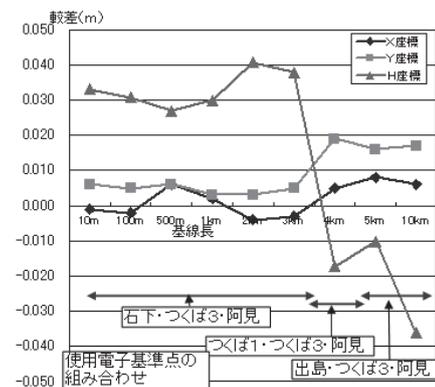
図一五 基線長と初期化時間の関係



図一六 初期化時間と衛星数, HDOP の関係

c) 基線長と位置精度の関係 (図一七)

図一四中の表に示すような基線長と電子基準点の組み合わせにおいて VRS-GPS を実施し、最初に Fix 解を得た時刻の座標と hzm2-1 座標を比較した。基線長 3 km までは、同じ電子基準点の組み合わせから生成した VRS 補正情報を受信して RTK 演算しており、座標較差は X・Y 座標で ± 10 mm 以内、H 座標で ± 40 mm 以内となった。電子基準点の組み合わせが変わった基線長 4 km 以降では、X・Y 座標は増加傾向にあり、H 座標は正負が反転した。この結果から、仮想基準点の生成位置と実際に作業する場所が大きく離れて電子基準点の組み合わせが変わると、座標値もその影響を受けてシフトする可能性があることが分かる。



図一七 基線長と位置精度の関係

5. 移動観測実験 (実験 2)⁴⁾

(1) 実験概要

- a) 実験目的：実験1の結果を踏まえて実験2では、従来型 RTK と VRS-GPS の各装置、データ比較のために自動追尾型 TS を移動体に搭載して走行させ、移動観測時の位置座標の比較を行った。VRS-GPS を用いた情報化施工システムにより盛土の品質管理が可能であるかどうかを確認することを目的とした。
- b) 実験方法：図-8 に示した実験ヤードのうち、南北及び東西方向の道路において、各々時速 3 km (実施工における振動ローラの走行速度を想定) で、ライトバンを走行させた。3 往復の走行を 1 セットとし、それを 3 セット行った。

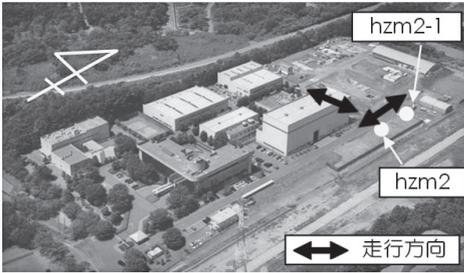


図-8 測点配置と実験ヤードの状況

- c) 機器構成 (図-9)：RTK 移動局では、同一の GPS アンテナで受信したデータを 2 分配して従来型 RTK と VRS-RTK の GPS 受信機に入力している。GPS アンテナの脚部には自動追尾 TS のための全周プリズムを設置し、従来型 RTK、VRS-RTK と TS の 3 つの装置により同一位置を計測することとした。自動追尾 TS の器械点は測点 hzm2 である。従来型 RTK の固定局は、測点 hzm2 から従来型 RTK により求めた hzm2-1 とした。VRS-RTK における仮想基準点については、実験ヤードを取り囲む近傍の電子基準点 3 点 (石下・阿見・つくば 3) を

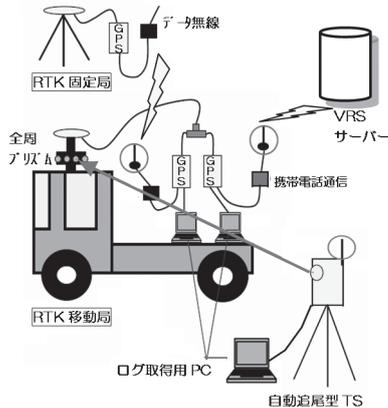


図-9 実験機材構成

利用し、従来型 RTK の固定局と同じ測点 hzm2-1 に生成した。すなわち、VRS-RTK と従来型 RTK については、同じ測点からの相対位置計測となる。GPS 受信機からの出力レートは使用機材の性能の制約から 1Hz とし、自動追尾型 TS からの出力レートは 10Hz となっている。なお、VRS 補正データは RTCM Ver.3.0 を採用している。

(2) 実験結果

a) 衛星配置状況

図-10 に実験時間帯における衛星数と DOP 値の推移を示す。同図の上下のグラフで衛星数や DOP 値が一部分で異なっていることが見て取れる。このことから現地に設置した RTK 固定局と演算上で同一箇所に設けた仮想基準点における測位データが同一のものではないことが想像できる。東西走行時には南側にある背の高い建物の影響で受信状況が劣化し、南北走行時よりも受信衛星数が減り DOP 値が悪くなっている。しかしながら、衛星数は RTK 演算の必要個数を満足していることから RTK 本来の性能は満足していると判断し、以下のように実験結果の考察を進める。

b) 実験結果

図-11 に東西走行の 1 セット目往路のデータの一部を拡大して示す。従来型 RTK と VRS-RTK には平面距離にして 17 mm の較差があることが分かる。こ

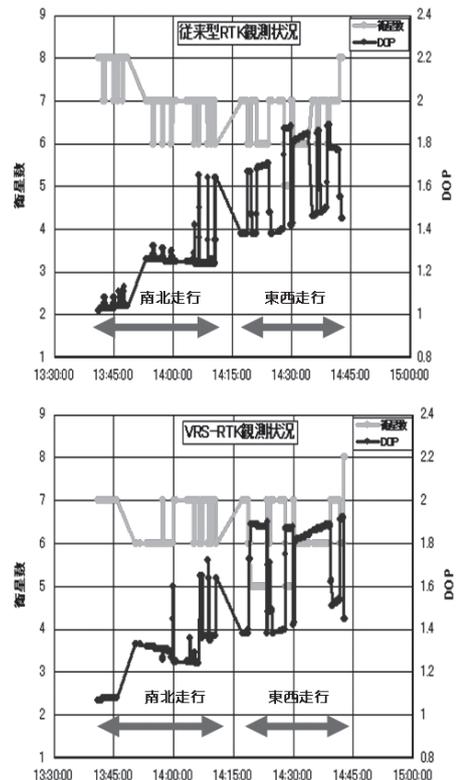
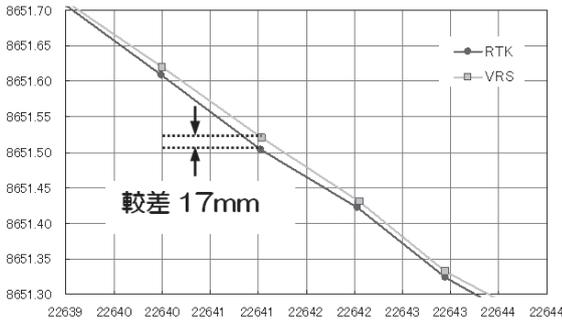


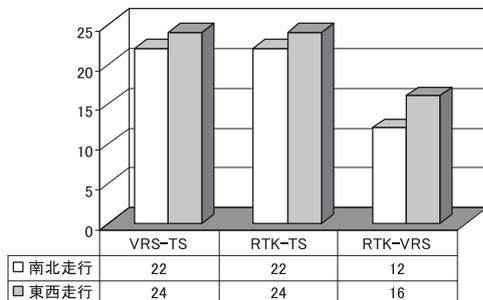
図-10 衛星飛来状況 (衛星数と DOP)



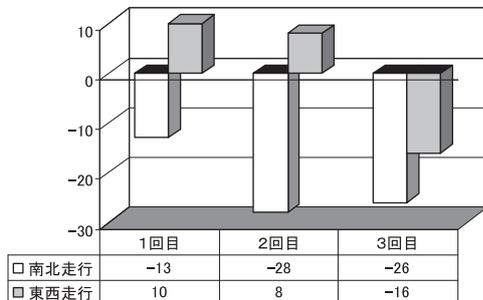
図一 11 従来型 RTK と VRS による軌跡比較

のような較差をすべての走行データにおいて集計し平均したものが図一 12 である。図中右側が従来型 RTK と VRS-RTK の較差であり、南北走行時では 12 mm、東西走行時では 16 mm の較差（全データの平均値）が確認できる。図中左側と中央が VRS-RTK および従来型 RTK と TS との較差であり、ともに 20 mm 程度の較差が確認できる。TS と比較した場合には、2 つの RTK 法には大きな差がないことが分かる。

次に、図一 13 に従来型 RTK と VRS-RTK による標高値の較差を示す。+ 値から - 値までばらつきがある（- 値は VRS-RTK の標高が高い）が平均で - 10mm であり、RTK 法の精度を考えると、両者に大きな差はないものと考えられる。



図一 12 計測結果の較差（平面距離，単位 mm）



図一 13 従来型 RTK と VRS による標高値較差（単位 mm）

6. おわりに

実験 1 では、静止時の VRS-GPS の初期化に関わる性能を、整合を取る電子基準点の組み合わせを変える

ことで検証した。その結果、仮想基準点の座標値が電子基準点の組み合わせによりシフトする現象が確認できた。仮想基準点は相対測位の基準点に相当するものであり、この点の座標がシフトすることは相対測位の結果として得られる重機位置座標にも影響を及ぼす。したがって、より正確な計測を行うためには、仮想基準点の位置を固定（指定）する必要がある。すなわち、工事の工期全体を通じて、同じ電子基準点の組み合わせにおいて仮想基準点を生成することが重要となる。この処置により VRS-GPS は従来型 RTK と同等の精度が発揮できるものと考えられる。

実験 2 では、重機移動時の VRS-GPS の位置精度を TS や従来型 RTK と対比することで検証した。その結果、TS と VRS-GPS および TS と従来型 RTK との 2 つの較差は 20 mm 程度でほぼ同値であり、また、VRS-GPS と従来型 RTK の較差については、平面距離にして平均で 14 mm であることが確認できた。このことから、国土交通省等発注者が制定する施工管理要領に記載のある、工区を 50 cm 平方メッシュに区切って施工管理する盛土の情報化施工においては十分な位置精度であると考えられる。

以上のような重機の静止時および移動時を想定した 2 つの実験により、盛土品質管理システムの中核をなす位置決め手法として VRS-GPS の適用性が確認できた。これにより、弊社では、VRS-GPS を位置決め手法のメニューに加え、道路中心線測量や土工における杭の測設、重機に搭載しての敷均し管理・締固め管理に積極的に採用している。

最後に、本実験の実施にあたり、(株)トプコン販売殿、(株)ジェノバ殿には多大なご協力をいただいた。ここに記して感謝申し上げる。

JCMA

《参考文献》

- 1) 武石他、重機土工におけるネットワーク型 RTK-GPS の有効性検討、平成 21 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集、pp.131-134、2009
- 2) 黒台他、重機情報化施工への VRS-GPS の適用性確認実験 - 定点における初期化実験 -、土木学会第 65 回年次学術講演会 VI 部門、pp.699-700、2010
- 3) 北原他：中継型 VRS 測量システムの導入、熊谷組技術研究報告第 64 号、pp.113-120、2006
- 4) 黒台他、重機情報化施工への VRS-GPS の適用性について - 移動観測実験 -、土木学会第 66 回年次学術講演会 VI 部門、pp.233-234、2011

【筆者紹介】

黒台 昌弘（くろだい まさひろ）
 (株)間組
 技術・環境本部 技術研究所
 主任研究員

