

情報化施工に利用する衛星測量技術 「RTK-GNSS」で取得したデータの特徴

梶田洋規* 北川 順** 平城正隆***

1. はじめに

近年、衛星による高精度な測位技術が確立され、公共測量において利用が進んできている。直轄工事では、土工や舗装工といった一般的な土木工事において、マシンコントロールやマシンガイダンス（以下、「MC/MG」）といった情報化施工技術が導入されてきており、その建設機械の3次元位置座標把握に多くは高精度な衛星測位技術を用いている。衛星測位は、数多くの衛星から受信する方が良好な測位が行えるため、米国のGPSのみならず、露国のGLONASSからも受信するシステムもあり、それらを総じてGNSS*(Global Navigation Satellite Systems)と呼んでいる。

国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」）では、情報化施工の取り組みの一環として、施工管理データを搭載したトータルステーション（以下、「TS」）による出来形管理の検討を行ってきたが、より長距離の計測を行いたいという現場ニーズを満たすべく、測位衛星を利用した3次元測量技術「RTK-GNSS」の出来形管理への適用性検討も行っている。RTK-GNSSでは、衛星が移動するために信号が取得可能な衛星数や配置が変化し、また、高度2万kmから信号が伝わる間の電離層や水蒸気などの影響を受けるため、刻々と計測値が変動する。情報化施工で利用する際には、その特徴をよく把握した上で利用することが必要である。

そこで、本稿では、RTK-GNSSを国総研構内の定位置に固定して3次元座標値を12時間連続取得したデータとその特徴を紹介するものである。

2. RTK-GNSSの概要

2.1 衛星による観測の方法

衛星測位は、4個以上の衛星から1台の受信機で受信する「単独測位」と、複数の受信機で受信し相対的な位置関係を求める「相対測位」に大別

され、後者は高い精度が得られる。相対測位の中にも、計測精度が1m程度から1cm程度まで様々な方法があるが、計測精度が高くなるほど計測時間を要し、誤差1cm程度の計測精度を得るには1時間固定して計測する必要がある。

各測量計画機関で策定する「公共測量作業規程」の基となる「作業規程の準則」の第37条には、観測の方法としてGPS観測は相対測位の中でも計測精度の高い「干渉測位方式」が指定されており、その中の一つで計測時間が10秒程度と短いものがRTK(Real Time Kinematic)である。

なお、衛星測位では、全ての衛星が受信機に対し上側に位置することから、垂直方向の計測精度は水平方向より劣り、誤差が約1.5倍となる。

2.2 RTK-GNSSの特徴

RTKは、図-1のとおり座標が分かっている既知点に受信機（基地局）1基を設置し、計測したい未知点へもう1基の受信機（移動局）を据え、両者で無線通信しながら計測するものであり、基地局（既知点）からの相対的な位置関係を把握することで、未知点の3次元座標を得る手法である。

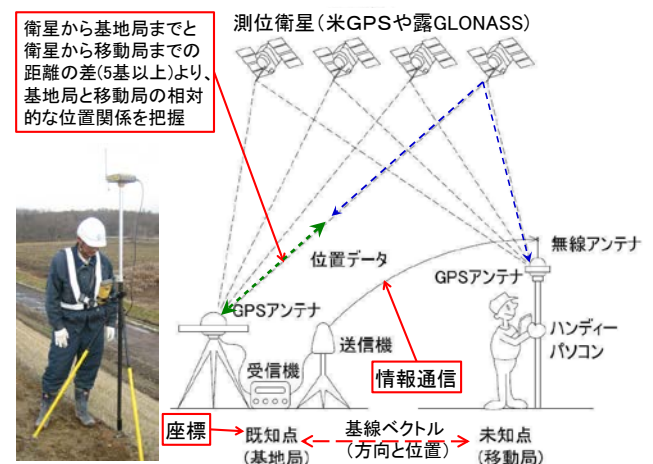


図-1 RTK-GNSSの概要

リアルタイムで取得した位置座標データが数cmレベルの精度であることから、情報化施工のMC/MGに利用されている。10秒間固定し観測することで3~4級基準点測量に利用できることが作業規程の準則に示されていることから、国総研では出来形管理等への活用を検討している。

The characteristic of the DATA which is measured using "RTK-GNSS" used for intelligent construction

*土木用語解説：GNSS

3. 実験によるデータ取得

3.1 実験の概要

距離や無線の安定性による精度への影響を確認するため、基準局(基地局)から100m地点(移動局①)と1,000m地点(移動局②)の2箇所に移動局を設置し、12時間連続で同時観測した。衛星信号を受信するために天空が開け、無線通信のため固定局と移動局間に障害物が無い場所として、茨城県つくば市郊外に位置する国総研構内の試験走路(歩道部)で行った(図-2)。なお、機器設置後に、基準局と移動局①と②の高低差をTSで計測した結果、10cm以内であった。

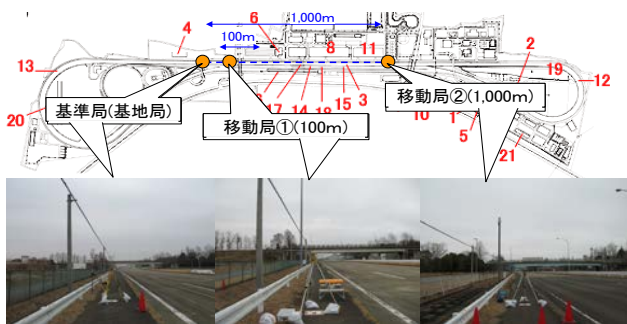


図-2 機器の設置位置と状況

3.2 衛星状態の予測結果

実験位置における衛星飛行予測結果を図-3~4に示す。衛星数は常時6個以上で最低限必要な5個以上を満たす予測となった。なお、同じ衛星数でも一方向に偏るより全方位に分布する方が良い精度を得られるが、その指標であるDOPで17時と2時付近(計測開始3時間後と12時間後付近)

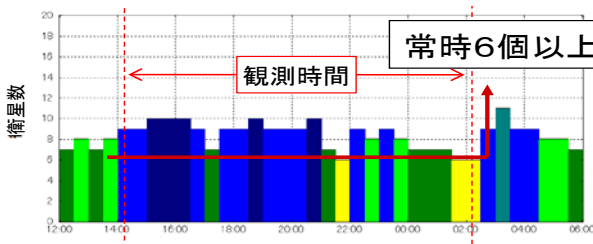


図-3 予測ソフトによる衛星数の予測結果

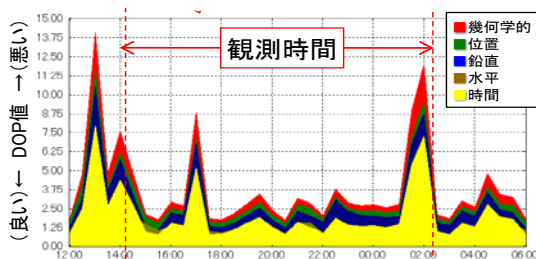


図-4 予測ソフトによるDOP値の予測結果

が悪くなる予測となった。水平(X,Y)方向のDOP(HDOP)値のみ取得したが、図-3~4のとおり予測ソフトでは各DOPが同じ傾向を示しているため、Z方向のグラフにHDOPを参考表示する。

3.3 計測値の整理方法

計測値の検証は、機器設置地点の3次元座標の真値と比較すべきであるが、機器設置地点を通常の測量手法で計測しても誤差は排除できない。RTK-GNSSは、1つのデータでは大きな誤差を持つが、12時間固定し大量のデータを取得するので、その平均値は真値とみなすことができる。その理由として、仮に、平均値が真値と相違ある場合は、補正で対応できることによる。

計測頻度は、1Hzでデータを取得しており、MC/MGは、取得データをそのまま(正確にはデータを補間し10Hzにして)利用している。測量で利用するには、1つのデータでは変動が大きいため、作業規程の準則では10秒間以上取得した平均値を利用することが定められており、出来形管理に利用するデータについても10データ(エポック)平均値で見ることとして実験した。平均値の算出方法としては、移動平均ではなく、利用したRTK-GNSS機器で測量する際と同様の10エポック毎にデータを切って平均値を算出することとした。

3.4 計測結果

12時間取得したデータの内、バラツキが大きいZ方向のデータについて、生データと10エポック平均値の変動を図-5~6に示す。なお、単純移動平均のグラフも作成したが大差無かった。

1Hzで12時間データ取得したので計算上の取得データ数は43,201であるが、衛星や無線の受信状況により、実際に利用可能なデータ(FIX解)の取得状況は表-1のとおりである。

100m地点では100%に近いデータ取得状況であるが、1,000m地点では31.5%であり、10エポック平均値に利用できたデータは22.1%である。受信衛星数(図-5~6中の「衛星数」)はほぼ5基以上あり、HDOPも100m地点と1,000m地点で

表-1 取得できたデータ数

① データ 取得回数	100m地点				1,000m地点			
	② データ 取得数	③ ①	④ 10エポック 平均値数	⑤ ④×10 ①	⑥ データ 取得数	⑦ ①	⑧ 10エポック 平均値数	⑨ ⑧×10 ①
43,201	42,201	97.7%	4,159	96.3%	13,616	31.5%	953	22.1%

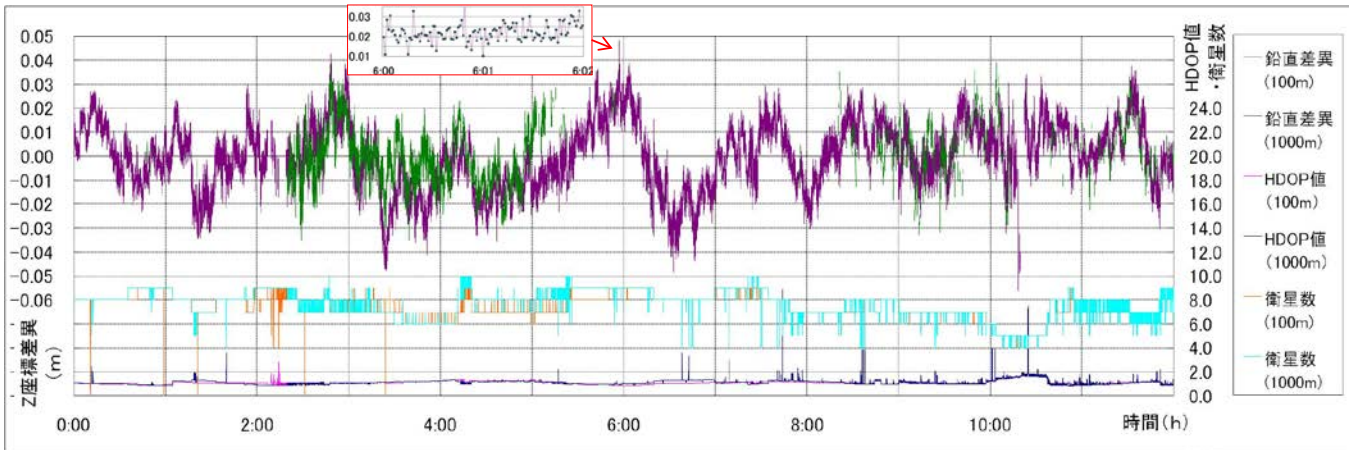


図-5 RTK-GNSSの取得データ (Z座標) 生データ

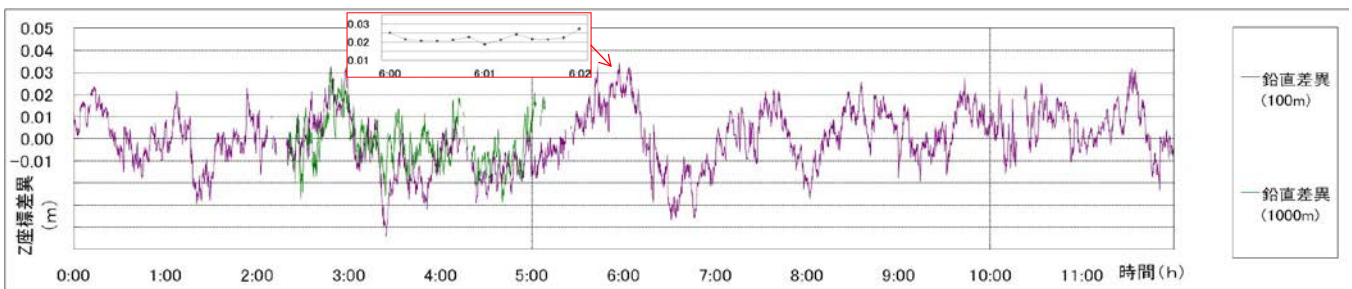


図-6 RTK-GNSSの取得データ (Z座標) 10エポック平均値

ほぼ同じ状況であることから、データ取得ができなかった原因は、基地局と移動局が1,000m離れており、無線通信の不良状態が頻繁に発生したためと推察できる。無線通信は、無線方式やアンテナ特性、遮蔽物や反射物の有無、気象条件、違法無線の有無などの様々な要因で通信距離が変化することから、長距離での利用に際しては、それらを踏まえて利用する必要がある。

4. データの特徴

4.1 計測値の変動波形

図-5~6に示したとおり、全体的な変動を見ると、一般的な知見である水平(X,Y)方向は約±2cm、鉛直(Z)方向は約±3cm以内で変動している。この際、常に大きく振幅する形では無く、約1~2時間の長周期の波形に短周期の波形がのっているように見える。このことから、短時間での平均処理だけでは変動誤差を大幅に改善することは出来ないことが分かる。試しに、100m地点のデータで、10エポックの最大値と最小値を除く8エポック平均値の算出と、10エポックの最大値と最小値のみで平均値の算出を行ってみたが、10エポック平均値と大差無い結果であった。

また、フーリエ変換を試みたが、長周期の波形

が特定の周波数である結果は得られなかった。ただし、周期に対し十分な測定時間のデータがあれば解析結果が得られる可能性がある。

4.2 距離による計測精度への影響

図-5~6において、100m地点と1,000m地点を比較すると、1,000m地点はデータ欠損が多く、データの瞬間値は両地点で差があるが、全体的にはほぼ同じ誤差であり、距離による計測精度の違いは明確には見られない。施工時の計測程度であれば、トータルステーションのように距離による精度低下を考慮した距離制限が必要なく、無線通信が良好な範囲内（一般的に500m~1km程度）であれば基地局を移設せず広範囲の計測が行える。

4.3 データの分布

度数分布は、良好にデータを取得した100m地点では、1エポックと10エポックが同じ分布傾向である(図-7)。データ取得率が悪い1,000m地点では、データの最頻値が異なり分布の違いが発生している(図-8)。これは、+側と-側の大きな変動が長周期のため、ほとんどデータが得られていない10エポック平均値では、たまたま、一側の計測値を得ている時間帯にデータ取得できたものと考えられる。その検証として、100m地点の10エポック平均値のデータの内、1,000m地点で10

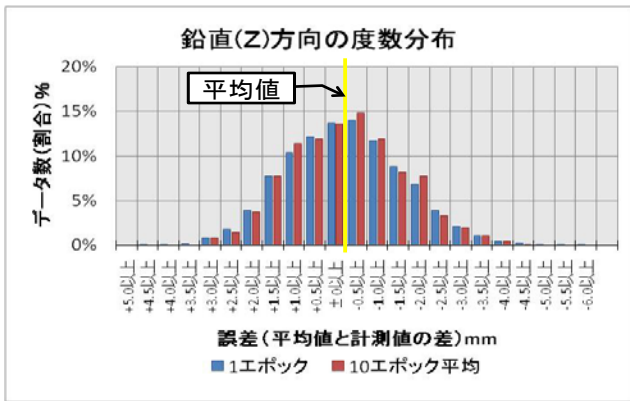


図-7 100m地点の度数分布

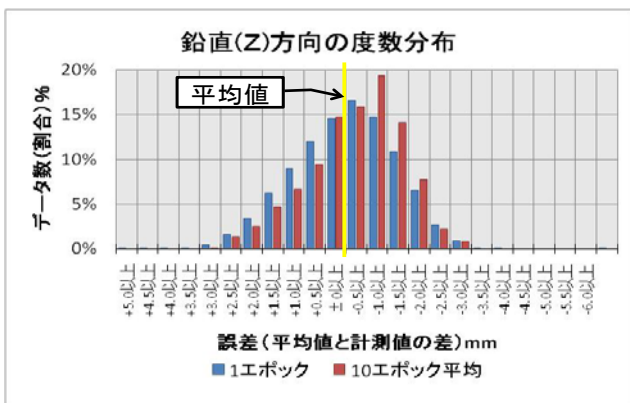


図-8 1,000m地点の度数分布

エポック平均値を取得できた時間帯のデータのみで度数分布図を作成した結果、図-8と同じ傾向となった。

4.4 データのばらつき

各地点の1エポックと10エポック平均値のデータについて、最大振れ幅を示す「+側最大値」と「-側最大値」、全体的なばらつき具合を示す「標準偏差」を求めた(表-2)。標準偏差では、1エポックと10エポック平均値で大きな差が見られず、同程度のばらつき具合であることが分かる。しかし、+側や-側の最大値を見ると、1エポックと10エポック平均値で大きく異なる数値があ

ることから、10エポックの内の1エポックだけ異常値的に乖離したデータを取得したことが伺える。このことから、出来形計測の様な利用には、10エポック平均処理は効果があると言える。情報化施工のMC/MGの場合、重機(油圧)の制御方法と応答速度では、単発の異常値に追従しないことから、実施工上の問題は起きないので、特段の処理は不要と言える。

表-2 データのばらつき具合

	100m地点			1,000m地点		
	①	②	③	④	⑤	⑥
	1エポック	10エポック平均値	$\frac{②}{①}$	1エポック	10エポック平均値	$\frac{⑤}{④}$
データ数	42,201	4,159	98.6%	13,616	953	70.0%
+側最大値	48.4mm	34.1mm	70.5%	102.1mm	31.6mm	31.0%
-側最大値	-56.0mm	-44.3mm	79.1%	-103.3mm	-28.6mm	27.7%
標準偏差	13.9mm	13.4mm	96.4%	12.1mm	11.1mm	91.7%

※:平均値に使用しているデータ数を考慮し、分子を10倍して計算。

5. まとめ

RTK-GNSSは、10秒間取得のデータ平均値を用いることで異常値の排除が可能であるが、大きな周期で変動することから、短時間の計測データでT S並みの誤差1cm以内まで劇的に精度向上を図ることは困難である。そのため、フィルダムの出来形管理のように精緻な精度を必要とせず広範囲な場面の利用を検討すると共に、標準偏差は1エポックでも1cm強のため、面的に計測し統計処理を用いる手法の構築を検討していきたい。

参考文献

- 1) 梶田洋規、北川順、遠藤和重、藤島崇、椎葉祐士：施工管理データを搭載したRTK-GNSSによる出来形管理の適用に関する検討、2010年度土木情報利用技術講演集 Vol.35、2010年10月21日

梶田洋規*



国土交通省国土技術政策総合研究所高度情報化研究センター情報基盤研究室 主任研究官
Hiroki KAJITA

北川 順**



国土交通省国土技術政策総合研究所高度情報化研究センター情報基盤研究室 研究官
Jun KITAGAWA

平城正隆***



国土交通省国土技術政策総合研究所高度情報化研究センター情報基盤研究室長
Masataka HIRAJO