

11. 衛星測位技術「RTK-GNSS」の出来形計測精度の確保方策の検討

情報化施工における出来形管理手法の利用技術の拡大に向けて

国土交通省 国土技術政策総合研究所 情報基盤研究室 ○ 梶田 洋規
 同上 北川 順
 同上 重高 浩一

1. はじめに

国土技術政策総合研究所（国総研）では、ICT（情報通信技術）を利用した情報化施工の導入・普及に向け、CAD技術と3次元座標の測量技術を利用した「TSを用いた出来形管理」の検討を行っており、その結果、直轄工事における実用化が図られた。導入現場では、効果があったとの意見が多くある一方、課題や要望もあげられており、その1つがトータルステーション（TS）より長距離計測が可能な衛星測量技術の導入である。

衛星測位技術は、近年、公共測量にも利用され、ICTを利用した情報化施工においても、「RTK-GNSS」等が重機の位置情報取得に利用されており、基地局（固定局）が共用できることから、重機と共に出来形管理用の計測機器としても導入が望まれている。

そのため、国総研では、TSに代えRTK-GNSSを用いた出来形管理の検討や現場試行を行ってきたが、RTK-GNSSは衛星の移動や気象の変化等で計測値が変動し、その変動幅が土工の出来形管理基準の「高さ」の規格値に対して無視できない値であるため、施工や検査にそのまま導入・利用することが難しいことが分かった。

そこで、本稿では、情報化施工の普及・導入に取り組んでいる河川土工や道路土工の出来形管理を念頭に、RTK-GNSSをある条件下において利用することにより、必要な計測精度の確保に資する方策について、実験フィールドにおいて取得したデータを分析・検討した内容を紹介するものである。

2. RTK-GNSSによる出来形計測の現状と課題

2.1 RTK-GNSSの計測値の特徴

公共測量作業規程の基となる「作業規程の準則」では、精度が高いスタティック法は、1点当り60分間固定した計測が必要となるため、出来形管理での利用は難しい。片や、RTK-GNSSはスタティック法ほど高精度では無いが、「3～4級基準点測量」に利用される計測精度を持ち、1点当たり10

秒間の計測で済むことから、出来形管理への利用が期待される計測技術である。

しかし、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。平成21年度に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時間連続取得した結果では、水平方向の精度は±2cm程度、鉛直方向の精度は±3cm程度と共に、約1～2時間周期の大きな振幅の波に小さな振幅の波が乗った形を示していることから、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ように見受けられる(図-1)¹⁾²⁾。

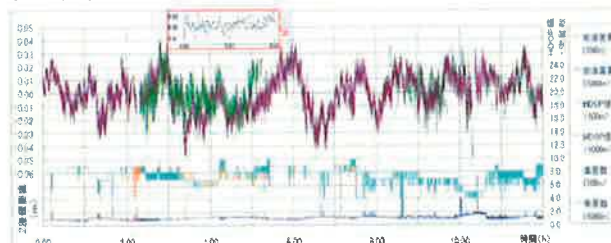


図-1 RTK-GNSSの長時間固定計測データの変動

2.2 出来形管理基準

公共土木工事においては、「土木工事施工管理基準」が定められ、工種毎に出来形管理の測定項目や規格値が決められており、監督・検査においても、その内容に沿って行われる(図-2)。

工種	測定項目	規格値(mm)	測定基準	測定箇所	
道路 土工	基準高▽	±50	施工延長40mにつき1箇所、延長40m以下のものは1施工箇所につき2箇所。 基準高は、道路中心線及び端部で測定。		
	法長	L<5m			掘削:-200 盛土:-100
		L≥5m			掘削:法長の-4% 盛土:法長の-2%
	幅(W1, W2)	-100			

図-2 出来形管理基準（道路土工）

利用する3次元測量機器は、この規格値の計測を行うに足る精度(規格値に対する再現性の確保)を保有している必要がある。

TSの計測誤差は、実験の結果、3級TSだと計測距離100m地点で、水平方向±2cm以内、鉛直方向±1cm以内であり、施工誤差を考慮しても「土工」の出来形管理に利用可能な精度である。

一方、RTK-GNSSの鉛直方向の誤差は±3cm程度であるため、精度不足の感がある。

3. 精度向上方策の検討

上記の問題を解決するには、抜本的にはハードウェアや計算処理プログラムの改良による計測精度の向上が望まれるが、当面実施できることとして、運用面の工夫がある。その1つに、計測に適する（または、適さない）条件を抽出し、その条件で運用することである。

そこで、RTK-GNSSの移動局を固定し、長時間データを取得し、そのデータに何らかの処理を行うことで、精度向上の効果がありそうな運用方法につながる指標を抽出するものである。

過去の検討で、初期化後の短時間は計測値のバラツキ具合が少ない印象を得ていることから、初期化して約1時間計測することを25セット行い、全体で約25時間のデータを取得し、分析を行った。

3.1 取得したデータの概要

初期化して約1時間計測したデータ（鉛直差異）の一つは図-3の通りである。

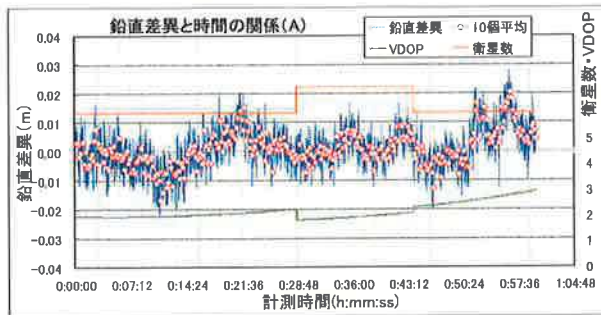


図-3 初期化後1時間連続で取得したデータの1つ

この約1時間連続データ25回分をつなぎ合わせたものを図-4に示す。計測地域や利用機器の違いか、或いは1時間毎に初期化する影響からかは不明だが、平成21年度のデータと比較して、計測のバラツキ具合が小さく、大きな振幅の波も見受けられない。

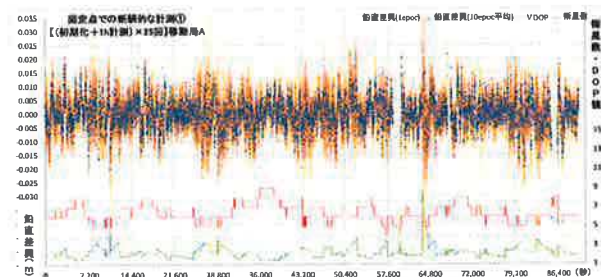


図-4 1時間取得データ25回分

なお、計測精度と相関の高いVDOP値の度数分布を見ると、一部に高い値があるものの、1.8~2.2に集中し、ほぼ3以下で良好であった(図-5)。

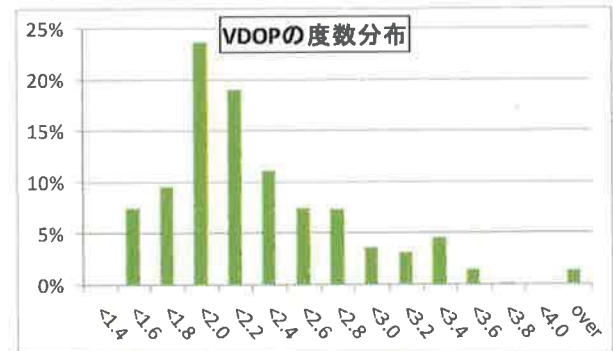


図-5 VDOPの度数分布

3.2 捕捉衛星の状況を要因とした分析

25個の各データのグラフより、捕捉衛星が初期化時から変化した場合にバラツキが大きくなっているデータが、多くあるように見受けられた。元々、捕捉していた衛星数が少ない場合、衛星数が減るとDOP値が大きくなり計測差異のバラツキが大きくなるのは当然であるが(図-6)、衛星数が増えてDOP値が低下した場合であっても、バラツキが若干大きくなっている場合も見受けられた(図-7)。

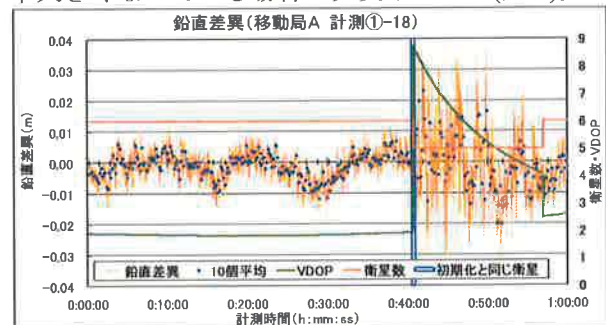


図-6 バラツキの変化(衛星数減)

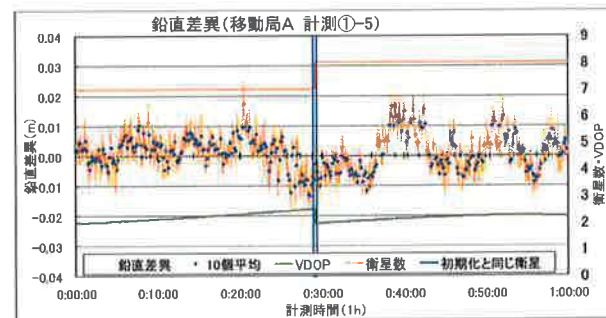


図-7 バラツキの変化(衛星数増)

過去の分析で、統計的な相関値は低いものの、初期化直後短時間のデータだけを抽出することで多少の精度向上の傾向がみられたことに通じるものがある。

そこで、初期化時と同じ衛星を捕捉しているものと、異なる衛星を捕捉しているものに分け、計測精度に違いがあるかを分析した(図-8)。

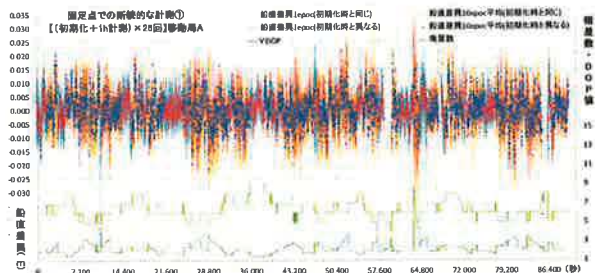


図-8 初期化時からの衛星捕捉状態の変化

鉛直差異の度数分布を見ると、初期化時と同じ衛星を捕捉している場合の方が、計測精度が向上している感はあるが、全体的な分布として、劇的な改善には至っていない(図-9、図-10)。

これは、今回取得したデータの計測精度が、比較的、良いためではないかと推察される。

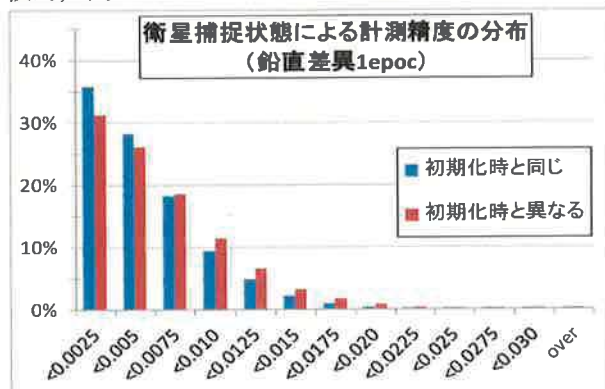


図-9 計測精度の度数分布の比較(1epoc)

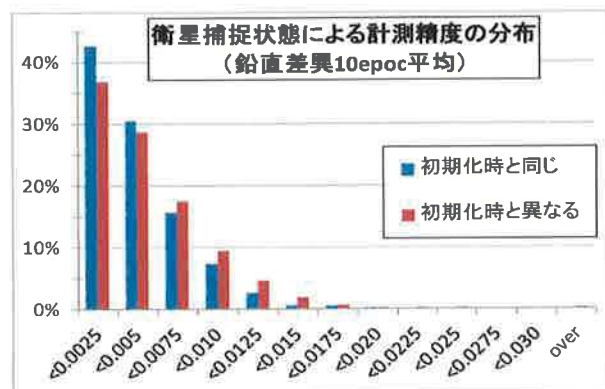


図-10 計測精度の度数分布の比較(10epoc平均)

3.2 効果の度合い

初期化時の衛星状態の維持が計測精度に与える効果の度合いとして、VDOP値制限による計測精度の効果と比較した。

(1) VDOPと計測精度の関係

VDOP値と精度の関係を図-11、図-12に示す。

VDOP値3.0未満に制限すると、利用可能なデータ量は89.2%で、1epoc時は標準偏差6.0mm/最大値104.3mm/差異10mm超過割合9.9%、10epoc平均時は標準偏差1.6mm/最大値38.4mm/差異10mm超過割合5.4%となる。

VDOP値2.0未満に制限すると、利用可能なデータ量は41.3%で、1epoc時は標準偏差5.0mm/最大値27.6mm/差異10mm超過割合5.2%、10epoc平均時は標準偏差1.3mm/最大値21.4mm/差異10mm超過割合2.5%となる。

なお、VDOP値を更に小さい1.8未満に制限すると、異常値は削除され最大値は小さくなるが、標準偏差はほぼ変わらず、利用可能なデータが16.8%と非常に少なくなり、作業性は悪化する。

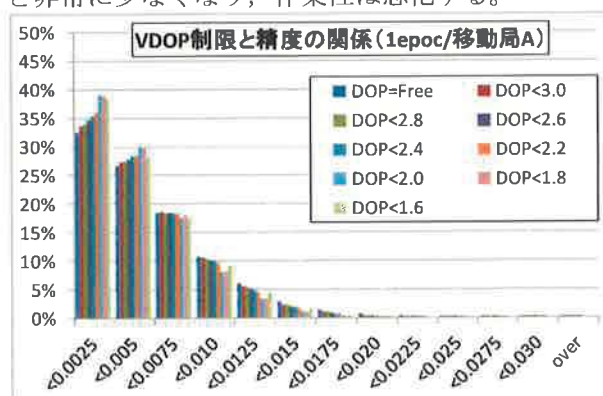


図-11 VDOPと精度の関係(1epoc)

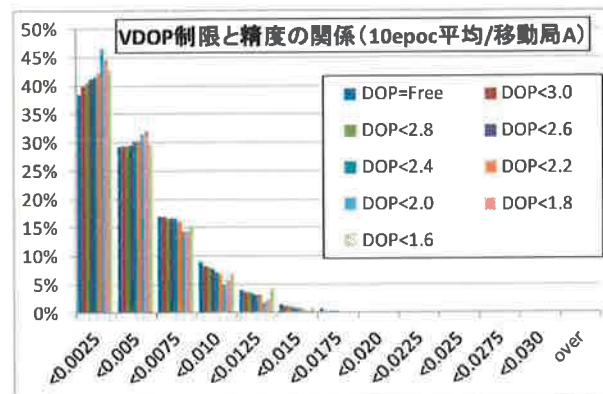


図-12 VDOPと精度の関係(10epoc平均)

(2) 初期化時衛星下の計測精度

初期化時と捕捉衛星が同じ状態でのVDOP値と精度の関係を図-13、図-14に示す。

VDOP値制限無しの場合、1epoc時は標準偏差5.7mm/最大値38.7mm/差異10mm超過割合8.4%、10epoc平均時は標準偏差4.7mm/最大値19.8mm/差異10mm超過割合4.0%となる。出来形管理で重要な最大値は大幅に向上し、1epocではVDOP値2.0~2.2制限辺り、10epoc平均ではDOP値1.8~2.0制限辺りと同等の効果を示した。

但し、初期化時と同じ衛星捕捉状態の時間は、

25回平均で16.6分であり、作業性の面では少し難がある。

VDOP値3.0未満に制限すると、1epoc時は標準偏差3.0mm/最大値26.9mm/差異10mm超過割合7.6%、10epoc平均時は標準偏差0.8mm/最大値17.7mm/差異10mm超過割合3.5%となる。最大値は、1epocではVDOP値2.0制限と同等、10epoc平均ではDOP値1.8~2.0制限辺りと同等の効果を示した。VDOP値の有無で、出来形管理に重要な最大値への効果はあまり無いが、標準偏差には大きな向上が見られる。

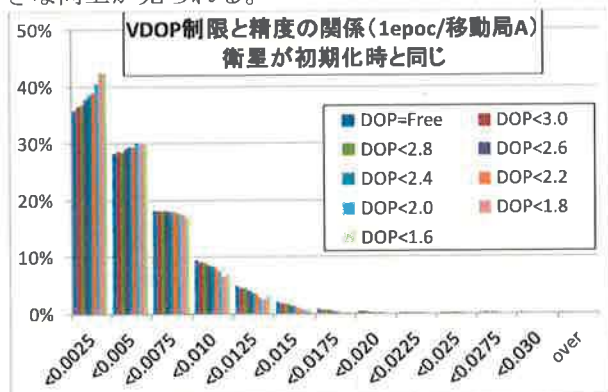


図-13 初期化時衛星下でのVDOPと精度の関係(1epoc)

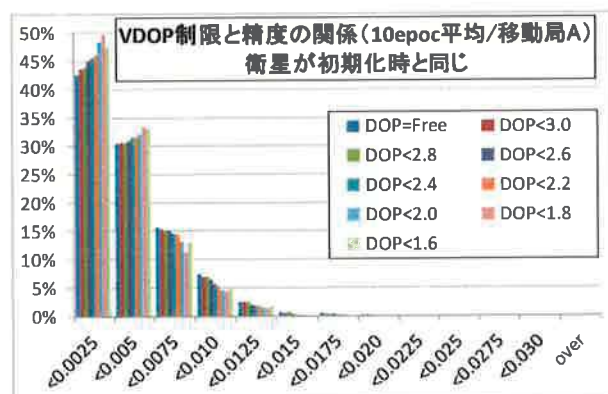


図-14 初期化時衛星下でのVDOPと精度の関係(10epoc平均)

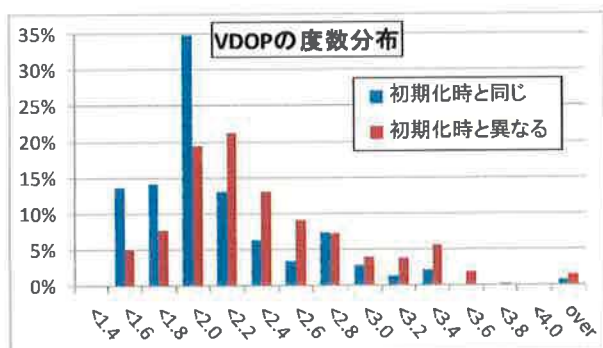


図-15 捕捉衛星とVDOPの関係

(3) 捕捉衛星の変化の有無とVDOPの関係

捕捉衛星の初期化時からの変化の有無とVDOPの度数分布の関係を見ると、2分割の傾向はある

が明確に2分割される訳では無いので、相関関係はあっても一致する方策では無い(図-15)。

4. 精度向上方策の考察

従来のDOP値制限による精度確保を図る方法は、衛星の飛行軌跡の予測ソフトウェアを利用し、予め、計測に適したDOP値が低い時間帯を把握することになるが、設定が甘いのか、実験において実態と合わない場面が何度かあった。

データ数が少ないため今後の検証が必要であるが、「初期化直後と同じ衛星の捕捉状態」の間に計測を行い、捕捉衛星が変化する毎に初期化を行うことで、出来形管理に重要な最大誤差を大きく低減できる可能性があることから、DOP値管理に代わる精度向上方策となる可能性がある。

この場合、代替手法としては無く、「初期化直後と同じ衛星の捕捉状態」と主で利用し、大まかなDOP値制限を併用することで、より精度が高いデータを得ることが考えられる。

上記の仮説が成り立つのであれば、みちびきやGLONASS等も含め、多くの衛星を受信可能な環境下では、直ぐ受信状況が変化する衛星からは受信しないことで、今回の実験で16.6分であった計測時間を、より長時間にすることも可能となる。

ただし、本手法が確立できたとしても、土工の出来形管理の検査に利用するには、計測精度が不足する場合が発生する可能性があり、検査はレベルで行う等の対応が必要と考える。

5. おわりに

今回は25時間分のデータで検討を行ったが、一時期一箇所でのデータ取得のため、RTK-GNSSの検討にはデータが少なく、検証すべき仮説が立てられたに過ぎない。今後も、機会があればデータを収集し、これまでの検討結果を踏まえ、更なる検証を行いたい。また、計測精度向上とは別に、現在の計測精度で利用可能な方策について検討していきたい。

参考文献

- 1) 梶田ら: 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, 土木技術資料, 第53巻-第5号, pp.18~21, 2011.05
- 2) 梶田ら: 衛星測位技術「RTK-GNSS」の施工管理への適用に関する検討, 建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集, pp.59~62, 2011.11
- 3) 国土交通省 国土技術政策総合研究所「TSを用いた出来形管理 情報提供サイト」
<http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/ts/>, 2012.8現在