

13. 衛星測位技術「RTK-GNSS」の施工管理への適用に関する検討

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

国土交通省（国交省）では、コスト縮減、品質確保、及び熟練工不足などへの対応として、ICT（情報通信技術）を利用した情報化施工の導入・普及に取り組んでいる。その取り組みの一環として、国土技術政策総合研究所（国総研）では、CAD技術と3次元座標の測量技術を利用した「施工管理データを搭載したトータルステーションによる出来形管理」（以下、「TSによる出来形管理」という）の検討を行い、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、導入効果を得られたとの意見が多い一方、計測距離制限100mの3級TSよりも長距離の計測が可能な技術を要望する意見が出ている。

また、近年、広範囲の現場測量をトータルステーション（TS）より効率的に行える測量技術として衛星測位技術が確立され公共測量に利用される中、ICTを利用した情報化施工においても、衛星測位技術の1つである「RTK-GNSS」が重機の位置情報の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、RTK-GNSSの出来形管理への適用について、実験フィールドや直轄工事における現場試行を通じて取得したデータや知見を基に、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の導入ニーズ

TSによる出来形管理は、計測距離制限が3級TSは100m（2級TSは150m）のため、施工延長が長い現場では、TSを移設する手間がかかる

ことから、より長距離の計測を行いたいという現場ニーズがある。これに対し、広範囲の計測が可能な衛星測位技術の出来形管理への導入が望まれている。

また、土工や舗装工といった一般的な土木工事において、重機を対象とした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ICTを利用した情報化施工技術が導入されており、多くが「RTK-GNSS」を重機の位置情報の取得に利用しているが、RTK-GNSSは基地局と移動局から構成され、基地局は複数の移動局で共有できることから、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る（図-1）。

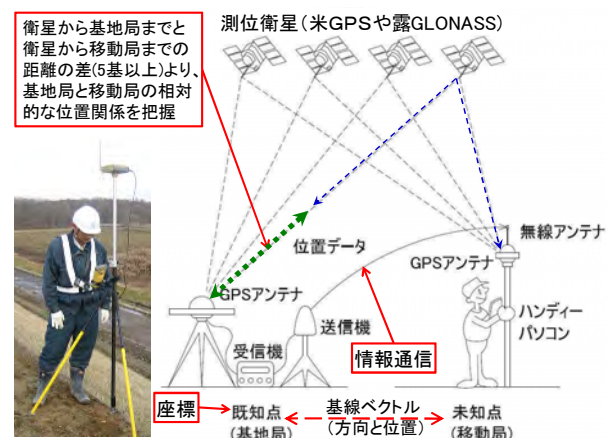


図-1 RTK-GNSSによる計測

2.2 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、例えば、「1～2級基準点測量」には、精度が高いスタティック法を用いることが示されているが、1点当たり60分間も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から、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-2)¹⁾。

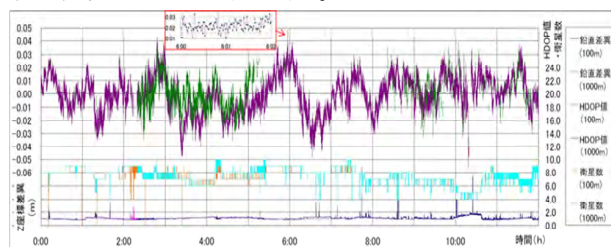


図-2 RTK-GNSSの長時間固定計測データの変動

2.3 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ている(図-3)。

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		【盛土の場合】
	法長	掘削: -200 盛土: -100	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。	
	幅(W1, W2)	-100	基準高は、道路中心線及び端部で測定。	【掘削の場合】

図-3 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だと計測距離が100mの地点で、水平方向が±2cm以内、鉛直方向が±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。

2.4 懸念される問題

出来形検査は、施工者が行うと共に、発注者も確認する。

RTK-GNSSの場合、計測する度に真値に対し鉛直方向は±3cm程度の範囲で変動するため、施工中と検査では理屈上は最大6cmの変動と成り得るため、施工と検査で規格値に対する合否が異なっ

た値になる可能性がある(図-4)。

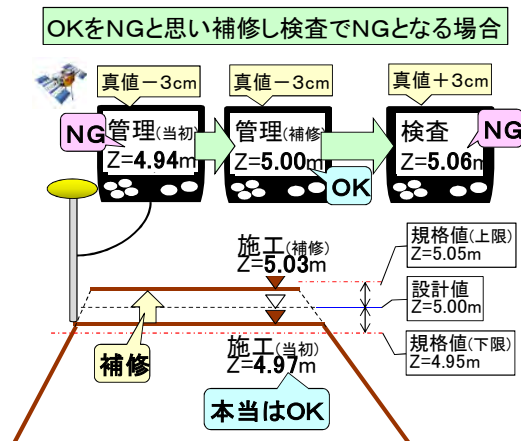


図-4 懸念される問題(一例)

しかも、前記の通り約1～2時間周期の大きな振幅の波のため、直ぐに再計測しても良好な結果が得られる可能性が高いとは言えない。

2.5 試行現場で発生した問題

RTK-GNSSによる公共測量が精度確認のため2度計測しているのに対し、RTK-GNSSによる出来形管理では計測効率を考慮し、定期的に既知点上で確認することとしている。(図-5)

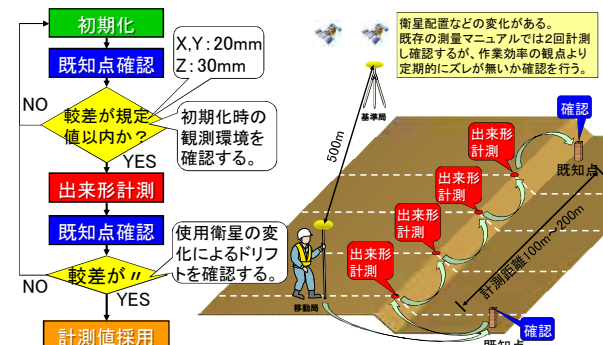


図-5 RTK-GNSSによる出来形管理の手順(案)

平成22年度の現場試行において、既知点確認で規定値内(水平20mm以内、鉛直30mm以内)に収まらない状態が1時間続き、別の日時にローカライゼーション(GNSS座標系を現場の座標系に変換すること)したローカライゼーションファイルを用いると規定値内に収まるという現象が起きた。これは、ローカライゼーション時の計測精度が原因と推察される。

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、運用面の改良がある。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。

3.1 ローカライゼーション

前記2.5の通り、ローカライゼーションを計測精度が悪い状態（例：低い値の時間帯）で実施すると、座標系自体が低く計算されることとなる。この状態で出来形計測を実施すると、その誤差を加算してしまうことが考えられる。そのため、ローカライゼーション時に、中央値に近い値で計測できるよう1点あたり5分程度計測（10～20mm程度の誤差）し、その平均値でローカライゼーションファイルを計算することが必要と考える（図-6）。

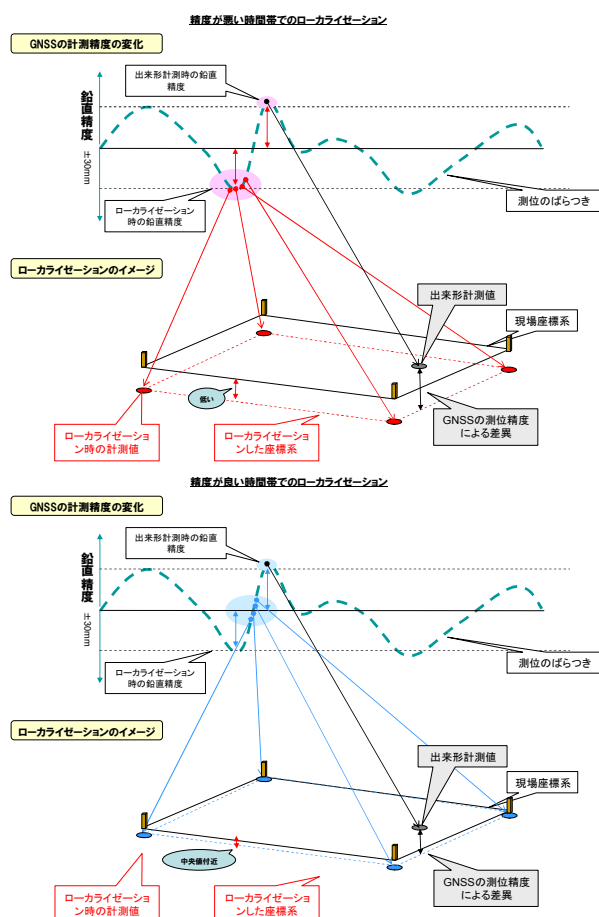


図-6 初期化と計測精度の関係(イメージ)

3.2 初期化と計測精度の関係

出来形管理を行う際の手順として、先ず、初期化を実施するが、その初期化時の状況（衛星数や配置状況など）で、その後の計測精度が変わることが想定される。

そこで、RTK-GNSSの移動局を固定し、「初期化して5分間計測」を17回繰り返して実施し、初期化時の状況と計測精度の関係性を調査した。

(1) 衛星数

一般的に衛星数が多いと計測精度が良いと認識されているが、一定数以上の衛星数だと計測精度に大きな影響は無いと考えられる(図-7、図-8)。

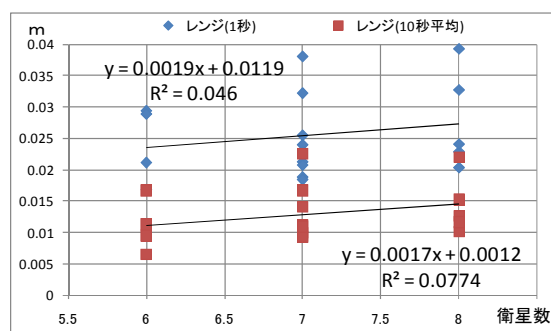


図-7 衛星数とレンジの関係

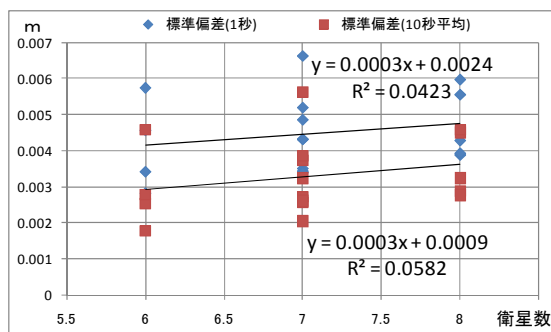


図-8 衛星数と標準偏差の関係

(2) VDOP 值

小さな数値ほど計測に適した衛星の配置状況を示す指標「DOP 値」があるが、鉛直方向の VDOP 値に、計測精度に大きく影響している感は無い(図-9、図-10)。

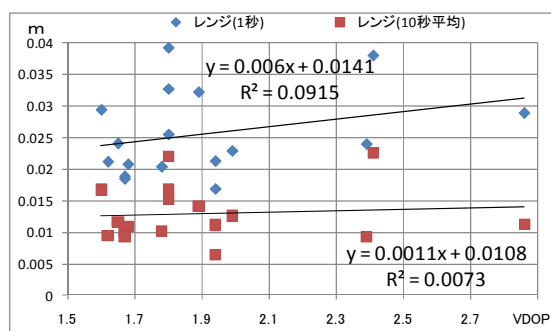


図-9 VDOPとレンジの関係

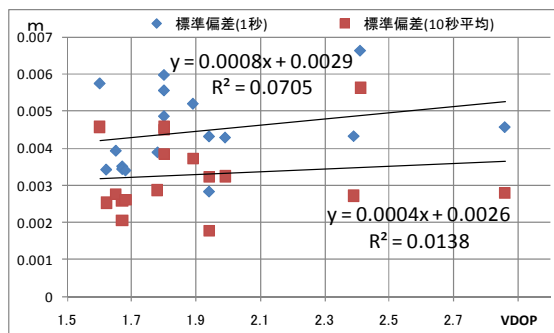


図-10 VDOPと標準偏差の関係

(3) 衛星数の変動

RTK-GNSS は、衛星数の変動が計測値の変動につながるなどの知見がある。そこで、初期化後の5分間の計測において衛星数の変動があった場合は、それ以降のデータを削除した。若干だが、VDOPと計測精度の関係が向上した(図-11、図-12)。

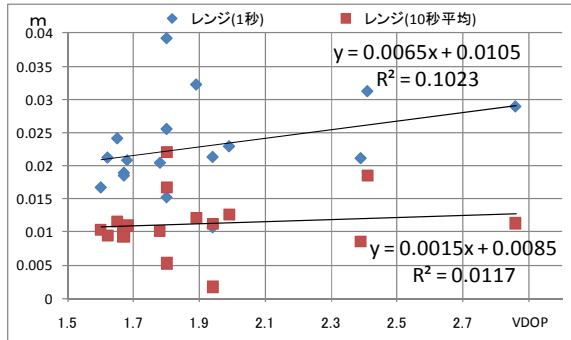


図-11 VDOPとレンジの関係

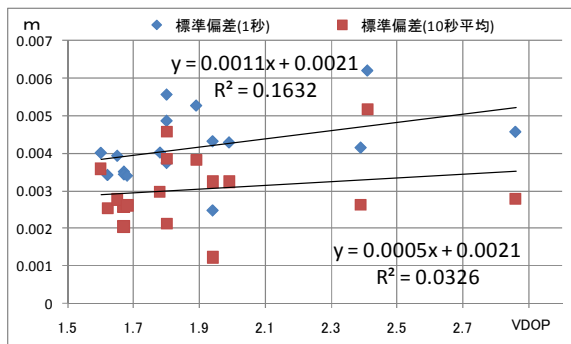


図-12 VDOPと標準偏差の関係

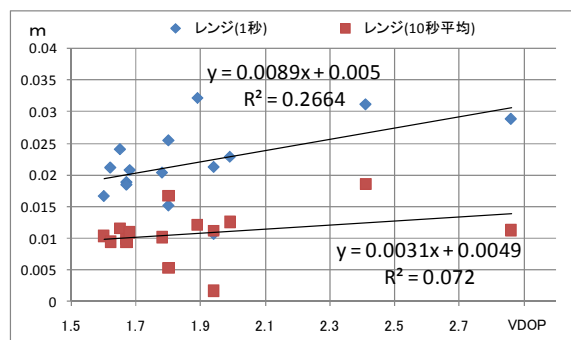


図-13 VDOPとレンジの関係

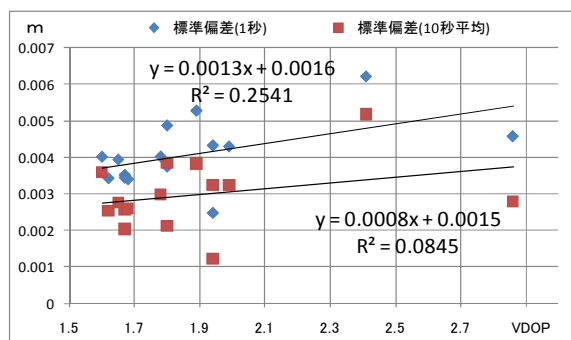


図-14 VDOPと標準偏差の関係

(4) 初期化直後の計測値

初期化直後の計測値は±0から始まり、衛星や気象の変化により徐々に変動することが自然な形と考えられるが、中には、初期化直後から大きな差異をもつ計測値で始まるものがある。そこで、初期化直後の計測値が±10mmを超えるものを削除した結果、低い値ではあるが、よりVDOPと計測精度の関係が向上した(図-13、図-14)。

4. 精度向上方策の考察

前記の通り、ローカライゼーションに際しての計測は少し時間をかけ精度の高いローカライゼーションファイルを計算・作成することが、計測精度の確保には必要と考える。

また、データ数が少ないため今後の検証が必要であり、かつ、相関度合いが高いとは言えないが、「VDOP 値」と「衛星数の変動」と「初期化直後の異常値排除」を管理することにより、高い精度が確保出来る可能性がある。もし、この仮説が成り立つのであれば、初期化時にVDOP値を確認し、直後の計測値に異常がある場合は初期化を再度行い、そして、計測中に衛星数が変動した場合には、再度初期化を行うという手順とすることで、計測精度の向上を図ることが可能となる。それらが確立できれば、精度向上に効果的な運用方法として「RTK-GNSS による出来形管理要領(案)」に反映させたり、参考情報として国総研ホームページ等で公表していきたい。²⁾

なお、VDOP 値や衛星の飛行軌跡を予測するソフトウェアを利用し、予め、計測に適した時間帯を把握することが可能であるが、今回の実験で無料ソフトウェアを利用したが、実態と合わない場面が何度かあった。計測に問題は無い程度だが、精度向上のために利用するには改良が望まれる。

5. おわりに

今回はデータ数が少ないため、計測実験によって検証すべき仮説が立てられたに過ぎない。今後、有望な要因が見つかれば、今回の検討結果を踏まえ、更なる検証実験を行いたい。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工種への適用や本技術に適した出来形管理手法の導入についても検討していきたい。

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) 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の情報提供サイト」
<http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/ts/index.html>, 2011.10現在