

RTK-GNSS を用いた出来形管理要領の検討

～ 高さ補完装置導入に向けた手引きと精度確認ガイドラインについて ～

国土技術政策総合研究所 ○ 梶田 洋規
(株)トプコン 先村 律雄
(株)トプコン 平岡 茂樹

1. はじめに

ICT(情報通信技術)を利用した情報化施工技術を構成する要素技術の1つに衛星測位技術RTK-GNSS(図-1)がある。RTK-GNSSは基準点測量に利用され、情報化施工では重機の位置把握に広く利用されるものの、土木構造物の出来形管理には高さの計測精度が十分とは言い切れず監督検査対象部位では広く利用されていない。国土技術政策総合研究所(国総研)では、TSを用いた出来形管理の検討の中で、RTK-GNSSを利用することも検討してきた。現場試行では、条件により、TSより非常に高い効率で行える結果¹⁾を得ている。ただ、必要な精度が確保できないという課題²⁾があったが、計測を工夫することで計測精度の向上が視える³⁾⁴⁾ことから、特性を熟知した者が自己責任で利用する際の参考に「RTK-GNSSを用いた出来形管理要領(試行案)」(RTK-GNSS要領)を改定した。また、RTK-GNSSの高さ補完装置の併用で精度が確保できる知見を得たことから、広く実工事で利用されるよう「手引き」と「精度確認ガイドライン」を作成したので紹介する。

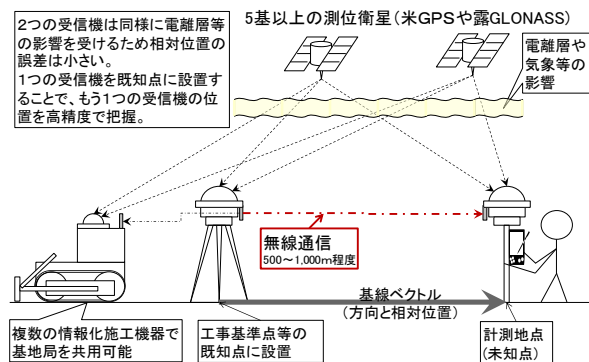


図-1 RTK-GNSSの概要

2. RTK-GNSS で出来形管理する際の課題

RTK-GNSSを土工工事において出来形管理で広く利用しようとした際には、以下の課題がある。

2.1 計測値の再現性

RTK-GNSSは、衛星配置や気象条件等の変動により、固定して計測しても刻々と計測値が変動し

て再現性が無い(図-2)。公共土木工事では、施工者の施工管理と発注者の監督検査があり、誤差が大きくても再現性が高い機器の場合、施工管理をしっかりと行えば監督検査で問題が顕在化しない。RTK-GNSSは再現性が無いため、検査時点で規格値を外れる事態が懸念される³⁾(図-3)。そのため、計測値に再現性がある計測機器よりも、厳格に計測精度を求められ、計測にも注意を要する。

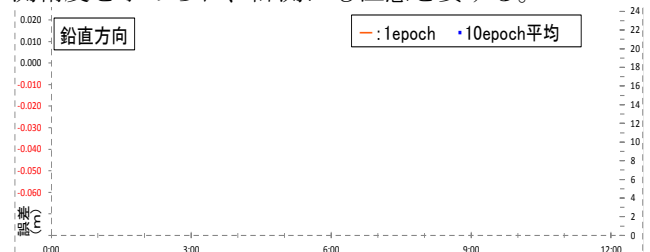


図-2 RTK-GNSSの計測値の変動状況

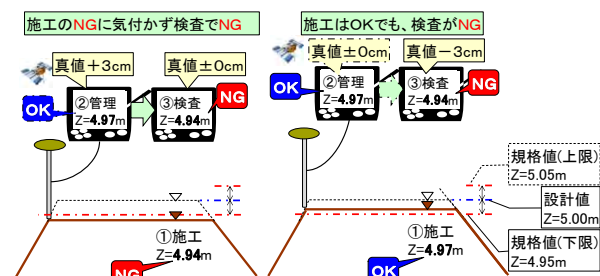


図-3 発生が懸念される事態

2.2 鉛直方向の計測精度

土工の高さの規格値 $\pm 5\text{cm}$ に対し、施工精度や計測値の再現性を考慮すると、計測精度は $\pm 1\text{cm}$ 程度必要である。出来形管理に必要な精度は、標準偏差でなく最大値(絶対値)で見る必要があり、RTK-GNSSは $\pm 3\text{cm}$ 程度(10epoch平均値)である(図-4)²⁾。なお、過去の研究で、運用の工夫をすれば、 $\pm 1\text{cm}$ 程度に向上する報告³⁾⁴⁾があるが、数少ない実験データの結果であり、実務に耐えられる運用が確立できるかは、今後、多くのデータによる検証が必要な段階である。

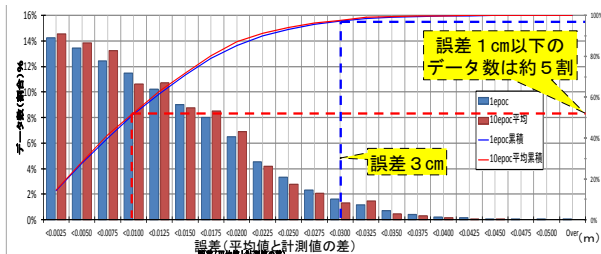


図-4 RTK-GNSSの計測値のばらつき

3. 高さ補完機能付き RTK-GNSS の概要

高さ補完機能付き RTK-GNSS とは、何らかの補完機能で高さ精度の向上を図るものである。その方策として、例えば、レベルやTSと組み合わせることが考えられる。通常のレベルだと、出力される計測データは RTK-GNSS のままであり、人が値を読み取り編集する作業（改ざん）が発生する。それだと、TSを用いた出来形管理の様に、取得した計測値の電子データを利用して施工管理（監督検査を含む）を合理化を図ることが出来ない。

国総研が情報化施工の取り組みとして対象とする技術は、精度向上が電子データにも反映される技術であり、その1つに、レーザー光を利用した技術がある（図-5）。

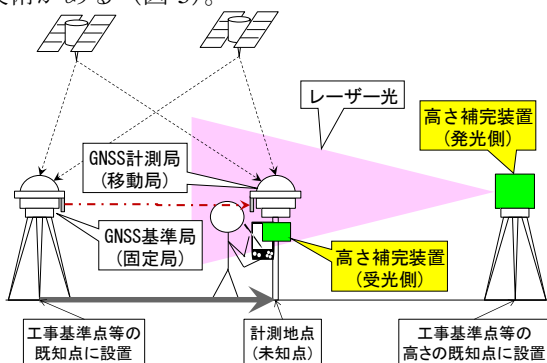


図-5 高さ補正機能付きRTK-GNSSの一例

高さ精度機能付き RTK-GNSS の1技術について、レーザー発光器と受光器の距離 250m 以内・高低差 $\pm 5m$ 以内で、必要な計測精度 $\pm 1cm$ 程度が確保できる検証データ（図-6）を得たので、この技術を広く利用できる様に、RTK-GNSS 要領に付加する形の手引きと、適切に計測精度を管理するためのガイドラインを作成した。

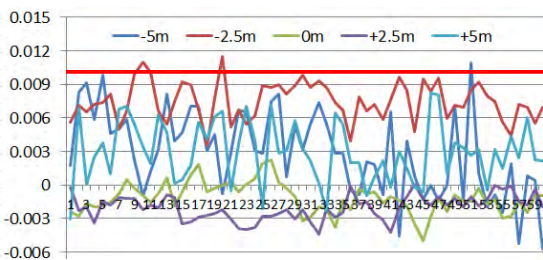


図-6 高さ補正機能付きRTK-GNSSの計測データ(250m)

4. 手引き

「高さ補完機能付き RTK-GNSS を用いた出来形管理の手引き(試行案)」(本手引き)は、高さ補完機能付き RTK-GNSS 技術に関し、施工者からの実施希望があった場合、受発注者協議の上、これを円滑に実施可能とすることを目的として作成したものである。

本手引きは、その技術を利用する上で、「RTK-GNSS 要領」とは異なる対応と注意が必要になる点を取りまとめたものである。なお、とりまとめに際し、必要な計測精度が得られることを確認した「mmGPS」技術を取り上げ、具体的に整理した。「RTK-GNSS 要領」の7項目に対応する形で変更点を示した。以下が、その一部である。

4.1 1-1-5 施工計画書

mmGPS 以外の技術が開発されても同様だが、公的な検定制度や校正証明書が無いことから、代替方法を追記した。

c.高さ補完装置の精度管理が適正に行われていることを証明するために、測量機器メーカー等が発行する有効な校正証明書を添付する。**mmGPS の場合、精度管理が適正に行われていることを証明する公的な検定制度及び校正証明書等はない**ため、測量機器メーカーの発行する**検査成績書（1年以内）**を添付する。検査成績書（1年以内）が無い場合には、「**高さ補完装置の精度確認ガイドライン(mmGPS 編)**」で確認した結果に代えて良い。なお、施工計画書作成段階では、当該現場で確認できていないため、前回工事現場等で確認した資料を添付し、現場に入って確認でき次第、監督職員に当該現場で確認した結果を提出する。

4.2 1-1-6 監督職員による監督の実施項目

前項目同様に mmGPS には等級や検定制度が無いことから、施工者が必要な性能を有した機器を利用し、また、適切に管理しているか把握するため、解説に、監督職員の実施項目として、「5) 高さ補完装置の精度確認チェックシートの把握」を追加した。

4.3 1-2-2 出来形管理用 RTK-GNSS 本体の計測性能及び精度管理

枠書内の本文で、高さ補完装置に対し「必要な計測精度」と「適正な精度管理」を求めることを示した。

出来形管理用 RTK-GNSS は、…(略)…機器であること。また、**高さ補完装置は、必要な計測性能を有し、適正な精度管理が行われている**機器であること。受注者は、本管理要領に基づいて出来形管理を行う場合は、利用する RTK-GNSS 及び高さ補完装置の性能について監督職員の承諾を受けること。以下に、…(略)…。

TSには検定制度があり、計測性能を直接記載しなくても、利用者に分かり易い機器の等級で間接的に示すことが出来たが、mmGPS には等級や検

定制度は無い。そのため、土工の出来形管理に必要な計測性能「鉛直方向±10mm 以内、水平方向±20mm 以内」を明記した。

これにより、今後、mmGPS 以外の技術の開発の指標になることも期待できる。

1) 計測性能

「国土交通省公共測量作業規程」では… (略) …国土地理院による登録は不要である。

高さ補完装置を含め **mmGPS の計測精度に関する規格は無い**ことから、**土工の出来形管理に必要な計測性能（鉛直方向±10mm 以内、水平方向±20mm 以内）が確保できることを、国土交通省または第三者機関等が係わる検証データで整理されていること。**

mmGPS には適切な精度管理を行う公的制度は無いため、その代替の方策を示した。

2) 精度管理

GNSS 測量機の… (略) …校正証明書で確認することができる。

高さ補完装置を含む mmGPS の**精度管理が適正に行われていることを証明する公的な検定制度及び校正証明書等はない**が、測量機器メーカーの発行する**検査成績書（1年以内）**で確認することができる。検査成績書（1年以内）が無い場合には、「**高さ補完装置の精度確認ガイドライン(mmGPS 編)**」で確認することに代えて良い。

4.4 1-2-3 出来形管理用 RTK-GNSS 本体の計測性能及び精度管理

mmGPS は、レーザー光が遮断される等の場合、計測出来なくなるのでは無く、RTK-GNSS 計測が出来てしまうため、解説に、それが判断できる機能を追加した。

(15)高さ補完機能の動作状況確認機能*

※：状況により機能が停止する場合に限る。mmGPS の場合、レーザー光を受信できない場合、RTK-GNSS として計測するので、**mmGPS 計測状態と RTK-GNSS 計測状態のどちらであるか確認できる機能が必要。**

4.5 1-3-4 出来形管理用 RTK-GNSS による出来形計測

枠書内の本文で、高さ補完装置の設置について言及し、解説で設置の留意点を記載した。mmGPS の設置の留意点として、「距離 250m まで、高低差 5 m まで」の計測上の制約、陰が出来て計測出来ない死角があること、及び後述の「精度確認ガイドライン」に従い最遠地点や高低差が大きい位置の計測精度確認を行うことを示した。

2) 「mmGPS」の高さ補完装置設置の留意点

1. 出来形計測点を効率的に取得できる位置に高さ補完装置（受光側）を設置すること。なお、高さ補完装置（発光側）と高さ補完装置（受光側）との**距離が 250 m を超えると、大気の状態によって計測できなくなる**ことがある。また、高さ補完装置（発光側）と高さ補完装置（受光側）との**高低差が大きくなるとデータのばらつきが大きくなる傾向があるため高低差が小さくなる位置が望ましく、最大で±5 m以内とする。**

2. 高さ補完装置（発光側）は高さ情報が必要であるため、工事基準点に設置することを標準とするが、設置後に発光部の位置を特定する機能がなければ、未知点に設置しても問題無い。

3. 発光側及び受光側は傾きがないように正しく設置すること。

4. 計測中に発光側が動かないように確実に設置…。

5. 設定時に単純な誤りをおかすことが多いので、注意すること。

6. 高さ補完装置（発光側）は柱部分が4方向あり、**ゾーンレーザーが陰になり観測できない**ので、その向きに注意を払う必要がある。

7. 計測範囲に設定した**最も距離が離れた位置**及び高さ補完装置の発光側と受光側の**高低差が大きい位置の計測精度が確保できるか、「高さ補完装置の精度確認ガイドライン」**に記載された確認方法に従い、現場内の安全が確保できる場所で**確認する**。万一、誤差の規定値を超える場合は、高さ補完装置（発光側）を移設するか、精度が確保できる範囲を確認し、その範囲内で利用する。

5. 精度確認ガイドライン

高さ補完機能付き RTK-GNSS の高さ計測精度を適切に管理するために、その確認方法を具体的に示したものである。

受注者は、高さ補完機能付き RTK-GNSS による出来形計測を行うに当たって、予め、本ガイドラインに記載の順に従って計測精度（高さ方向）の確認を行うことで、当該現場への導入可否の判断や機器の適切な設置計画を行うことが出来る。

また、受注者は、確認結果を図-1 に示す「別紙-1 高さ補完装置の精度確認チェックシート」（チェックシート）に記載し監督職員に提出することとした。このシートにより、監督職員は受注者の管理状況を把握することが出来る。

5.1 位置付け

受注者は、本ガイドラインによる事前確認により、高さ補完装置にて所要（鉛直方向±1 cm）の計測値が得られる場合に限り、確認した条件内で、手引きを適用することが出来る。ただし、手引きは試行案のため、適用に関しては、受発注者協議により事前承諾を得る必要がある。また、必要に応じ、適用範囲（出来形管理写真の撮影頻度や小黒板の記載項目、監督職員による出来形管理状況の把握頻度、検査職員による実地検査の検査頻度、電子成果品の納品、等）について協議を行う必要がある。因みに、従来手法と同様に行う場合は、受発注者協議は不要である。

5.2 確認手順

レベルと高さ補完機能付き RTK-GNSS の両方で、同じ点の高さを二重計測し、その差を確認することとした。なお、レベルに代え TS（プリズム方式）を用いる方法も規定した。確認作業結果を別紙-1 のチェックシート（図-7）に記載し管理する

こととした。施工現場に持ち込んだ高さ補完機能付き RTK-GNSS は、このチェックシートで事前確認し、精度が確保できる距離や高さの範囲内で利用することとなる。

- レベルと高さ補完機能付き RTK-GNSS の両方で、同じ点の高さを二重計測し、その差が規定値以内であることを確認すること。なお、「レベル」に代え「TS（トータルステーション）プリズム方式」を用いても良い。但し、TSを用いる場合は、レベルより高さの計測精度のばらつき幅があるため、5回以上計測して平均値を求めること。なお、5回の計測を連続して行ってはならず、毎回、バック点等に向けてから視準すること。
- 以下に…（略）…GNSS の確認作業の手順を示す。
- ① RTK-GNSS の GNSS 基準局（固定局）を設置する。
 - ② 高さ補完装置（発光側）を工事基準点上に設置し、その工事基準点から器械高をスケール等で直接計測するか、他の工事基準点を観測することにより間接的に器械高を求める。
 - ③ 計測点を、高さ補完装置（発光側）に対し、精度確認したい距離や高低差が確保できる位置に設置する。その計測点上に高さ補完装置（受光側）を設置する。
 - a. 施工現場で確認する際は…（略）…。
 - b. 安全管理あるいは工程等の理由により、施工現場の設置予定箇所と計測予定点で行えない場合、…（略）…。
 - ④ 計測点の高さ（Z座標）を計測し、結果を別紙-1「高さ補完装置の精度確認チェックシート」に記入する。なお、…（略）…2セット行う。
 - ⑤ 計測値は、10epoch 平均値とする。

5. 考察

RTK-GNSS は土工の出来形管理の計測精度が安定して確保できなかったため、現在の RTK-GNSS 要領は試行工事での検証を主とした試行案であったが、高さ補完機能により計測精度が実用レベルになり、それを反映した手引き（精度確認ガイドラインを含む）を作成したことから、RTK-GNSS 要領+手引きにより実用レベルで利用できる段階になったと考える。また、今回、高さ補完機能付き RTK-GNSS 技術として mmGPS を取り上げて、手引きや精度確認ガイドラインを作成したが、今後の他の高さ補完機能の開発の参考になると考えられ、また、その技術に対応した手引きやガイドラインの作成に際しても、その要点が明確になったと考える。ただし、これらを現場で利用した訳では無いので、現場で利用して、修正点や改良点が無いか検証する必要がある。

6. おわりに

RTK-GNSS 要領及び手引きは、現時点、試行案であるため、その適用を受けて出来形管理（監督・検査を含む）の合理化（写真撮影頻度の低減、小黒板の略図等の省略、実地検査の検査頻度の低減、等）を図るためには、現時点、発注者と協議し承諾を得る必要がある。実用レベルになったことから、導入効果が大きいと考えられる現場では、発注者と協議して導入して貰いたい。なお、精度確認ガイドラインについては、要領や手引きの適用に関係無く、計測ミスによる施工の手戻り発生防止のため、mmGPS の利用者の適切な計測機器の管理の参考に利用されることを願うものである。

参考文献

- 1) 梶田・北川：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，土木情報利用技術講演集，Vol.35，pp.61～64，平成22年
- 2) 梶田・北川：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，Vol.53 No.5，pp.18～21，平成23年
- 3) 梶田・北川：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～，建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集，平成23年度，pp.59～62，平成23年
- 4) 梶田・北川：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～，建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集，平成24年度，pp.57～60，平成24年

別紙-1

平成 年 月 日

工 事 名： _____
 受注会社名： _____
 作 成 者： _____ 印

高さ補完装置の精度確認チェックシート (mmGPS)

メーカー： _____
 製品型番： _____
 製造番号 発光側： _____
 受光側： _____

表-1 チェック表

チェック対象	視準距離 (m)	高さ計測点(m) <small>(小数点第30(mm)単位まで記入)</small>		高さ計測値の差 (mm)	規定値 <small>(判断基準)</small>	確認結果
		レベル <small>(又はTS)</small>	RTK-GNSS	③		
		①Z座標	②Z座標	(=②-①)		
1 回 目	1 面目				「高さ計測値の差 (③欄)」が、全て ±10mm以内か?	
	2 面目					
	3 面目					
	4 面目					
2 回 目	1 面目					
	2 面目					
	3 面目					
	4 面目					
<small>本事前確認を実施した箇所 (例：設置した工事基準点)</small>						

① 「視準距離」は「RTK-GNSS、TS、巻き尺」等を利用して計測した距離を記入する。

② 「確認結果」欄は、「高さ計測値の差 ③」欄の全ての値が「規定値 (判断基準)」の記載を満足することを確認した場合に「○」と記入する。

図-7 チェックシート