

14. 3次元計測機器を活用した出来形管理の技術拡大の取組みについて

－ RTKGNSS、写真測量の出来形管理への活用手法の検討 －

国土交通省
国土技術政策総合研究所 ○ 近藤 弘嗣
国土技術政策総合研究所 長山 真一
(一社)日本建設機械施工協会 藤島 崇

1. はじめに

国土交通省の第二期情報化施工推進戦略上の課題の一つとして RTK-GNSS を用いた出来形管理の実現があげられる。GNSS の測位精度は特に高さ方向に課題があったが、別途、高さ補完技術を用いることで出来形管理への適用可能性が出てきた。本稿では、当該技術を利用した出来形管理手法について考案し、実現現場において測位の再現性、計測精度及び効率の評価を実施したので紹介したい。

一方、施工中に取得できる情報の維持管理での活用も推進戦略上の課題の一つであり、特に地下埋設物の位置情報については、後工事を施工する際に非常に有用な情報である。本稿では、占用企業者による道路埋設物工事における竣工形状取得にあたり、簡便な計測方法として写真測量を用いた手法を考案し、昼間・夜間の別で構内試験による計測精度の評価を実施したので紹介する。

2. RTKGNSS の出来形管理への活用手法の検討

2.1 高さ補完技術の概要

RTK-GNSS の出来形管理への適用に際して課題となる高さ方向の精度を改善する技術として今回利用したのは、既知点上の基準局から発射されるゾーンレーザを受光器付 GNSS 移動局で受信する仕組み(図-1)である。GNSS 移動局で得られた位置情報を受光器で計算された基準局との標高差の情報で補正することにより、mm 単位の高さ精度が期待できる。その一方で、ゾーンレーザが届く範囲が限られており、今回利用した機器においては、メーカーにおいて高さ方向で±5m、水平方向で 300m の範囲での受光を推奨している¹⁾。しかし TS (トータルステーション) を用いた出来形管理では本体から 150m の距離制限を設けていることから、それよりも広い範囲を少ない盛り変え回数で計測出来ることから、効率的な出来形管理の実現が期待される。

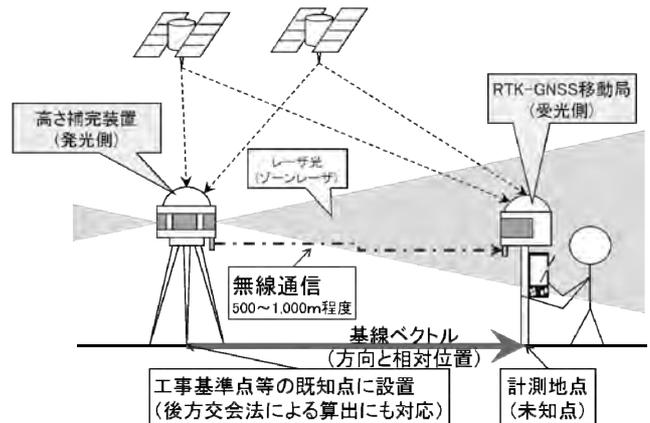


図-1 高さ補完技術のイメージ

2.2 精度確認手法立案及び計測ルールの構築

RTK-GNSS を用いた出来形管理は、計測項目の両単点の座標を計測した上で座標間斜距離を算出するという基本的な計測手法において、TS を用いた出来形管理と同様である。しかし、計測誤差が発生する要因が RTK-GNSS と TS とでは全く異なること、また、測量法に基づく機器の校正方法が高さ補完技術を用いた RTK-GNSS 計測には存在しないことから、TS 出来形管理にはなかった精度確認手法が新たに必要となる。具体的には、①高さ補完技術を有する装置自体の性能、②測定時点において機器の校正が十分なされていることの二点の確認方法である。

(1) 高さ補完装置自体の性能確認手法

RTK-GNSS 本体の計測性能は、国土地理院認定 1 級 (2 周波) であれば、公称精度として、 $\pm(20\text{mm} + 2 \times 10^{-6} \times D)$ が確保されるが、TS 並の出来形管理の実現には、それに加えて鉛直精度 $\pm 10\text{mm}$ の確保が必要である。この鉛直精度については、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を要件とした。なお、今回の実験で使用した機材についても第三者機関による検証

がなされている²⁾。追加的に課す鉛直精度の要件以外の部分については、TSを用いた出来形管理要領同様にメーカーカタログ等での確認とした³⁾。

(2) 測定時点における精度確認手法

使用現場において高さ補完機能が有効に機能する計測可能範囲を確定すること、また機器の校正状況の確認を兼ねて、実際の計測に先立ち計測精度を確認する手順については、当研究所より既出の「高さ補完機能付き RTK-GNSS 測量機の精度確認ガイドライン（試行案）⁴⁾」に準拠した。基本的な考え方は、最も条件の厳しい（即ち高さ補完装置からの高低差、距離が遠い）既知点を移動局で測定し、標高差が±10mm 以内であれば、当該箇所より装置寄りの範囲で精度が担保されるとみなすものである。（図-2 における計測可能範囲）

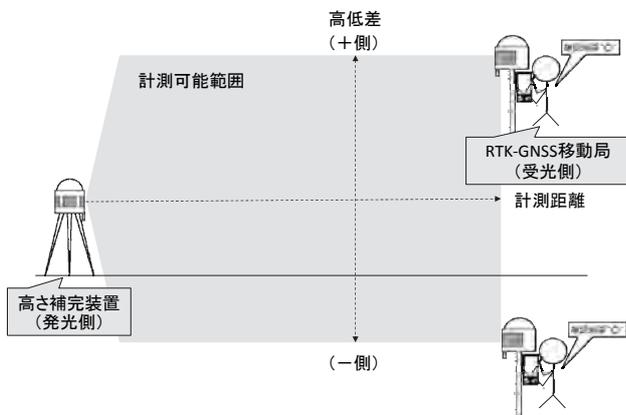


図-2 精度確認箇所による利用可能範囲のイメージ

事前の精度確認及び計測可能範囲確定後の実際の計測作業については、①工事基準点上での初期化及び既知点確認、②出来形計測（各箇所 FIX 解を得てから 10epoch 以上計測）、③既知点確認（誤差が水平±20mm 以内かつ鉛直±10mm 以内であることの確認）の手順で行い、誤差が既定値を超えていれば、計測のやり直しを行うというものである（図-3）。

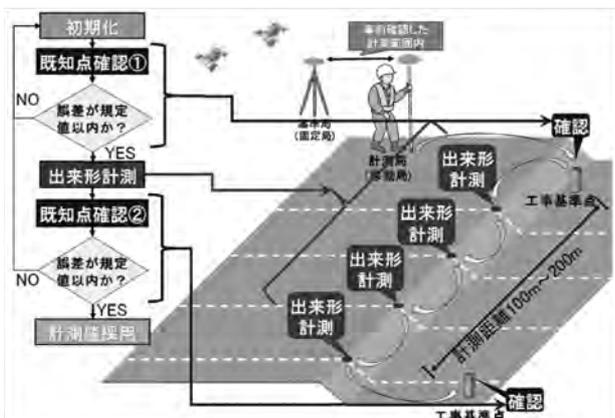


図-3 現地計測の手順

2.3 計測精度及び効果検証

(1) 工事概要及び試行条件

- ① 工事の概要は表-1 のとおり
- ② TSを用いた出来形管理に係る作業及び従来施工の現地作業は共同研究者が実施
- ③ 事前の精度確認により、基準局（発光器）からの計測可能範囲を水平 200m、垂直±5m と設定

表-1 試行工事の概要

工事名	工事概要	備考
腹帯地区道路改良工事 (三陸国道事務所)	施工延長:1,000m 工期:H26.6.23~ H27.3.27	試行断面数:3断面 管理項目:基準高×4 :法長×1

(2) 計測結果の比較と計測精度評価

各断面の基準高 4 箇所について、TS、高さ補完技術を利用した RTK-GNSS、高さ補完技術を利用したネットワーク型 RTK-GNSS と従来の計測手法（レベル）との計測結果の差分について、比較したのが以下の図-4 である。最大で 15mm の差があったが、概ね±10mm 以内に収まる結果が得られた。

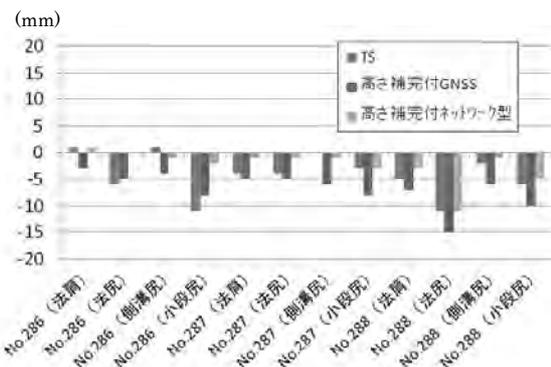


図-4 基準高計測結果のレベルとの差分比較

この結果について、試行現場の監督職員にヒアリングをしたところ、出来形管理には十分活用出来る性能であるという意見であった。

(3) 時間短縮効果

TSの出来形管理との作業上の違いは現地作業だけなので、事前精度確認以降、出来形計測までの時間（人・分）を比較したところ、TSでは56分、高さ補完技術を利用したRTK-GNSSで44分と約20%強の作業時間削減が見られた。これは、RTK-GNSSがワンマン測量で実施できることに因るが、本技術の時間短縮効果はTSと比べて盛り変え回数が少ないところにあるので、より広い現場であればさらなる時間短縮効果が期待できる。

2.4 出来形管理の手引きについて

今回の検証により、精度面、効率面においても実用化の目途が立ったものと考えられるため、当研究所としては、今回考案した手法をRTK-GNSSを用いた出来形管理の手引き（土工編）（案）として、研究成果として公表するとともに、国土交通本省と連携し、直轄工事で従来手法やTSに代わる出来形管理手法として選択し得るように、取り組みを加速する所存である。

3. 道路埋設物管理への写真測量の適用検討

3.1 業務プロセス案と要求精度の整理

占用企業者が敷設した道路埋設物に関する線形等の竣工状況の情報については、後工事における埋設管切断事故防止の観点からニーズが高い。その一方で、占用工事は夜間工事や現道上の交通を維持したままの工事を強いられることも多く、埋設物の形状や線形を計測する時間的、ヤード的な制約も多いことから、図面と違う現地切りまわしが行われていてもその記録が残らないのが実態である。そこで、以下に示す業務プロセスについて、占用企業者及び施工者に対してヒアリングを実施し、適用可能性及び計測精度への要求ニーズを整理した。

(1) 想定する業務プロセス（図-5）

- ①道路埋設物敷設に関する道路占用許可の際に、占用条件として、占用企業者に対して3次元的な竣工形状の計測及び提出を課す
- ②占用企業者は、何らかの方法（TS、写真測量等）で竣工形状を記録して道路管理者に提出
- ③次の占用工事あるいは道路管理者による直轄工事において施工者に対して参考資料として前工事で取得した竣工形状のデータを受領し活用（マシンガイダンス技術による切断防止等）

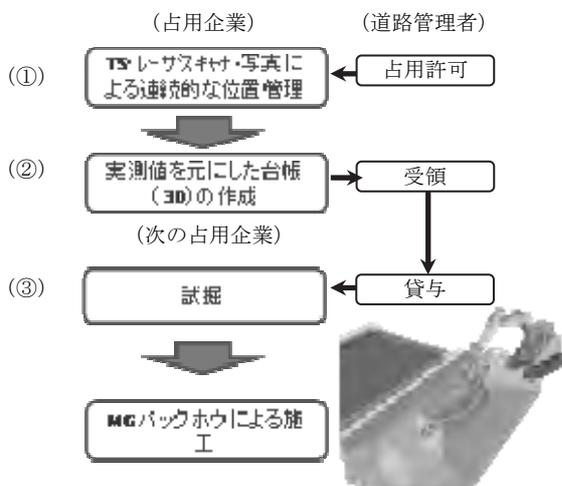


図-5 埋設管切断事故防止につながる業務プロセス

(2) ヒアリング実施概要

- ① 工事の概要は表-2のとおり
- ② 当該工事は、占用企業者の埋設物の移設が伴うため、想定する業務プロセスを現場に即してモデル的に再現（図-6）した上でのヒアリング

表-2 試行工事の概要

工事名	工事概要	備考
国道24号金尾交差点改良工事（京都国道事務所）	施工延長:751.7m 工期:H26.3.29～ H26.11.23	現道の付替工事であり、受注者による直轄の情報BOXの移設他、占用企業者（電力、NTT）の移設も工期内に実施

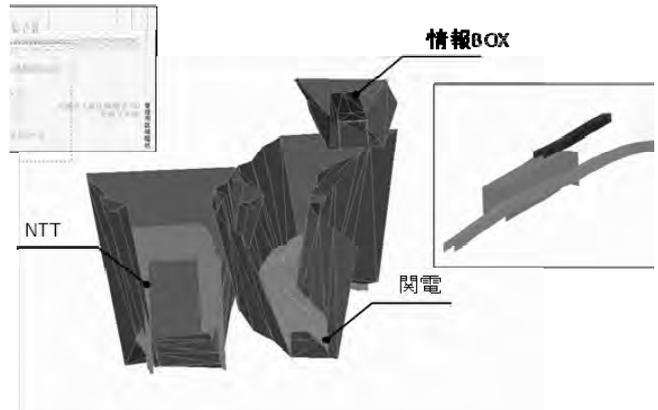


図-6 現地で実測した上で得られた3Dデータ

(3) ヒアリング結果及び要求精度

①次工事でのニーズについて

- ・試掘を併用する場合であれば、精度30cm程度でよい。それでもメリットはある。
- ・試掘無しであれば、10cmくらいの精度は必要
- ・管路、管種の情報の明示やデータの網羅性、信頼性が重要

②占用企業者としての実施可能性

- ・TSの設置場所の確保や、計測待ち等が発生するため、TSで計測するのは難しい。
- ・写真測量なら対応しやすい。

以上のことから、占用工事の条件で、写真測量による道路埋設物の竣工形状取得を、精度30cmで実現することを研究開発目標と整理した。

3.2 構内試験による適用可能性調査

(1) 構内試験条件

- ①施工技術総合研究所構内ヤードに塩ビ管を敷設
- ②埋設管の延長は6mで、座標を抽出する評価点は4箇所。
- ③位置座標を現場座標に関連づけるため、既知点K1～K3を設置した（図-7）
- ④精度の評価は、写真測量で求めた座標とTSで計測した座標を比較した。
- ⑤基準点の形状や、昼夜等の条件を変えて、表-3

の4ケースによる計測を実施した。
⑥写真測量の各諸元等は表-4のとおり。

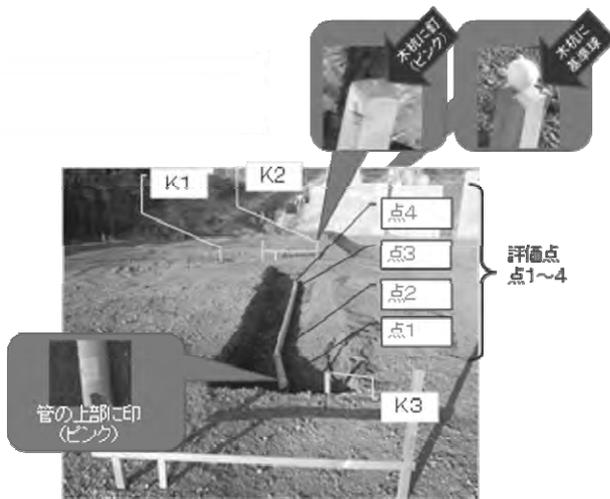


図-7 構内試験の状況写真

表-3 構内試験の試行ケース

ケース	基準点の種類	計測条件
ケース1	基準杭	昼(晴天)
ケース2	基準球	昼(晴天)
ケース3	基準球	夜間(照明有り(重機2台による照明)・フラッシュなし)
ケース4	基準球	夜間(照明有り(重機2台による照明)・フラッシュ有り)

表-4 写真測量の諸元

諸元	諸元
画素数・撮影モード	画素数：約200万画素(1600×1200) 撮影モード：オート、絞り F3.9、焦点距離 28mm
被写体距離	1m～3m
点群化ソフトウェア	PhotoScan (Agisoft 社製)

(2) 計測精度評価

評価点1～4について写真測量で求めた座標の標高とTSで計測した座標の標高を比較した結果が図-8である。このうちケース3については暗すぎて写真から評価点の座標を抽出することが出来ず、ケース4についても、一部の評価点の座標を抽出することが出来なかった。

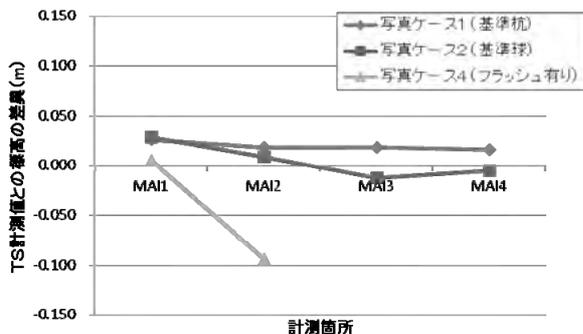


図-8 TSと写真測量との計測結果の較差

それでも、被写体を撮影できれば夜間でも±10cm程度には収まっており、要求水準である±30cmには十分達する結果となった。同様に平面の精度についても、±10cm程度という結果であった。

今回使用した夜間照明が、重機の照明ということで、十分な明るさが確保出来なかったが、通常夜間工事で使用されるバルーン照明等を用いれば、より夜間の計測精度が良くなるものと考えられる。

(3) 作業時間の比較結果

TSと従来施工(巻き尺による端部からの離れ測定)、写真測量による作業時間の比較結果が、図-9のとおりである。なお、100m当たり6測点、24箇所での作業時間に換算して比較した。従来手法並の作業時間で済む一方で、従来手法と違って絶対座標の取得が可能である。したがって、作業手間の面では適用可能性が確認された。

(人・分)

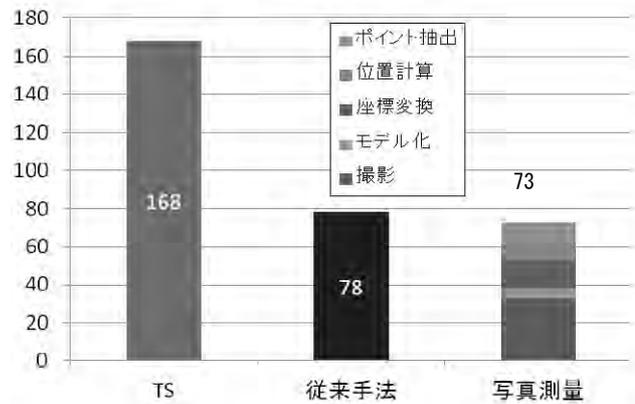


図-9 写真測量の時間短縮効果

4. おわりに

情報化施工推進戦略の目指す方向の一つは、適用可能な技術を次々に施策の俎上に乗せていくことにある。国土技術総合研究所では、さらなる現場試行を通じて、効率化に資する新たな情報化施工技術の実用化につなげていきたいと考える。

参考文献

- 1) (株)トプコンHP : http://www.topcon.co.jp/positioning/products/product/gnss/Z-Plus_J.html
- 2) 藤島・椎葉：高さ補完機能付RTK-GNSSによる高さ精度の検証報告，建設機械施工，Vol.67，pp.110～112，
- 3) 国土交通省：TSを用いた出来形管理要領(土工編)平成24年
- 4) 国土技術政策総合研究所HP : http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/ts/download/zplus_tebiki_140313.pdf