GNSS 衛星測位を用いた出来形管理の検討

～高さ精度向上機能による計測精度の検証について～

㈱トプコン　○ 平岡　茂樹
(一社)日本建設機械施工協会　椎葉　祐士
国土技術政策総合研究所　梶田　洋規

１．はじめに

現在、衛星測位はカーナビ等に見られるように広く利用され、米国 GPS に露国 GLONAS を加えた GNSS 衛星測位システムが測量分野で利用されている。しかしながら、施工分野では情報化施工で重機の位置出しに利用される程度で、監督・検査に関連している出来形管理までは利用されていない。この一因として、高さの計測精度が、出来形管理の規格値（許容誤差）に対し十分とは言い難く、測位値が刻々と変化し再現性が低い点があげられる。そこで、GNSS の高さ補正装置(mmGPS)を開発し、高さ精度と安定性の検証をおこなった。

本論文は検証結果から本システムの有効性・汎用性を考察し、出来形管理の適用を提言すると共に、全国に配備されている電子基準点や今後運用が予定されている準天頂衛星の有効活用についても述べる。

２．GNSS 高さ補正装置「mmGPS」の概要

mmGPS は、RTK-GNSS 測位のボトルネックである高さ精度をゾーンレーザにより補正するシステムである。RTK-GNSS 測位で得られた情報は、高さ方向の精度に不安があるため、ゾーンレーザ発光器（以降、発光器）から発光されたレーザ光をゾーンレーザ受光器（以降、受光器）で受光することにより、高さをレーザから計算する、レーザの高さ精度と同等の能力を持つシステムである。

mmGPS は、従来の RTK-GNSS システムで必要な GNSS 基地局、GNSS 移動局に、図-1 に示すレーザ発光器とレーザ受光器を加える。GNSS で得られた位置情報と受光器で計算された高さ情報を合体することにより、mm 単位の高さ精度を実現する。

この発光器は、高低幅 10m（発光位置から±5m）の範囲で受光可能で、回転レーザのようにレーザ発光面に受光器を合わせる作業は必要ない。

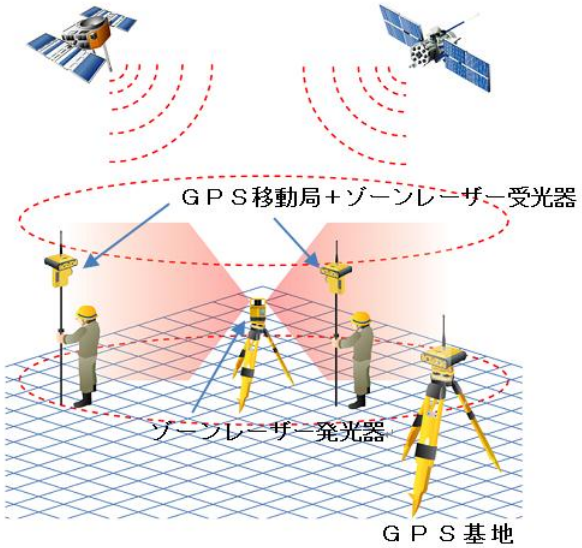


図-1　高さ補正装置(mmGPS)システム

３．検証方法および内容

3-1.　検証日時

2013 年 3 月 11 日（月）～3 月 15 日（金）

3-2.　実施場所

施工技術総合研究所

3-3.　観測ポイント

発光器と各観測ポイントは、図-2 に示すような配置とし、観測ポイントは、発光器から距離 100m～300m 間を 50m 毎、高低差は-5m～+5m 間を 2.5m 毎の 25 点を設置した。各観測ポイントの高さはレベルを用いて計測し、高さ精度の検証の基準とする高さとした。また、距離 150m で-2.5m のポイント（大きい丸）は 6 時間連続観測をおこない、データの安定性について検証した。検証は時間によるドリフトを GNSS と比較する。

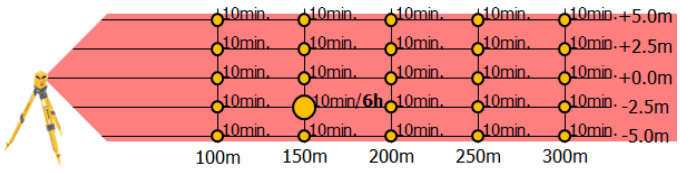


図-2　観測ポイント

3-4.　観測方法

(1) 発光器から高低差-2.5m、-5m の位置

観測ポイントより約 2mの高台に発光器を設置し、エレベータ三脚、伸縮式ポールで高さを調節して観測した（写真-1、図-3 参照)。



写真-1　ゾーンレーザ発光器設置状況

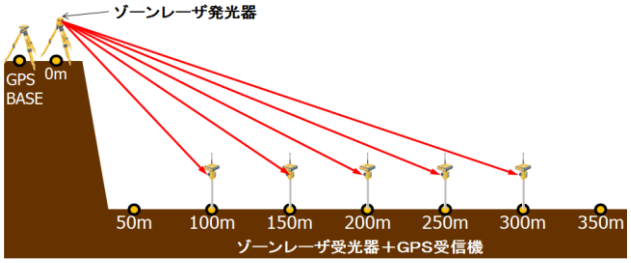


図-3　高低差-2.5m、-5m 観測方法

(2) 発光器から高低差+2.5m、+5m の位置

図-4 に示すよう受光器を高台に設置した。

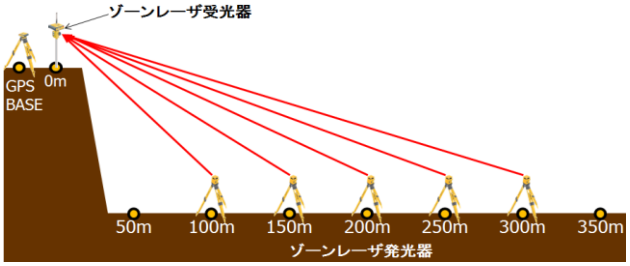


図-4　高低差+2.5m、+5m 観測方法

(3) 発光器からの高低差 0m の位置

図-5 に示すよう 50m 観測ポイントに発光器を設置して観測した。

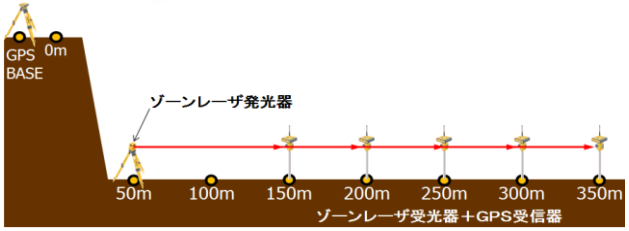


図-5　高低差 0m 観測方法

3-5.　データ取得方法

(1) データ取得

受光器と接続した GNSS 受信機とデータ取得用 PC を接続し、観測データを取得した(写真-2 参照)。



写真-2　データ取集状況

(2) データの取捨選択

GNSS が　Float(最確値が得られない)のときは、高さ計算のバラツキ大きくなるため、GNSS が FIX しているときだけデータを取得した。

(3) データの平均化

公共測量作業規定（RTK-GNSS）に従い、1Hz で 10epoch を取得（1 点当たり 10 秒）し、これを平均したデータを観測データとして比較検証した。どの観測ポイントも 10 分程度連続（約 60 点）観測した。

4．観測結果

TS を用いた出来形管理要領（土工編）に記載されている出来形管理基準および規格値では、土工の基準高の規格値は高低差±50mm であり、その基準値の 20%、(±10mm)をひとつの目安として検証する。観測日と観測時の天候の関係を表-1 に示す。

表-1　観測日と観測時の天候

観測標高差	観測日	天候	平均風速 m
-5m	3 月 11 日	晴れ	4.8
-2.5m	3 月 11 日	晴れ	4.8
+5m	3 月 12 日	曇り	5.0
±0m	3 月 14 日	小雨	4.7
+2.5m	3 月 14 日	小雨	4.7

後述する 4.1～4.5 に、各観測ポイントにおける高さ精度の検証結果を、4.6 に計測精度の安定性の検証結果を示す。図-6～図-9 では、縦軸はレベルで計測した基準とする高さとの差異（m）、横軸は観測回数を示す。図-10 では、縦軸は標高値（m）の比較、横軸は観測時間を示す。

4.1 発光器から 100m 地点の観測結果（図-6）

(1) ±10mm以内に100%入った。（赤枠内）
(2) ±4mm以内に100%入った。
(3) ±3mm以内に99.7%入った。

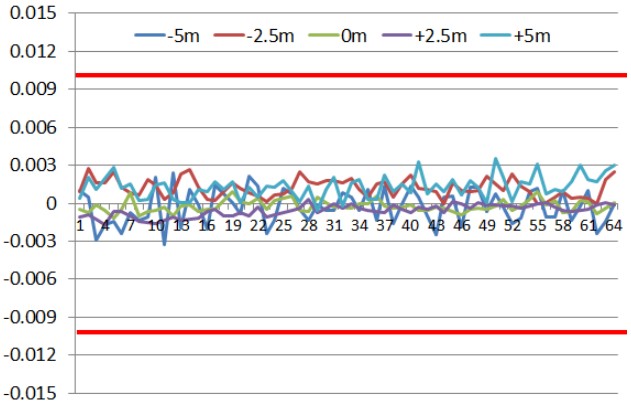


図-6　発光器から 100m 地点の観測結果

4.2 発光器から 150m 地点の観測結果（図-7）

(1) ±10mm以内に100%入った。（赤枠内）
(2) ±6mm以内に93.4%入った。
(3) ±5mm以内に82.3%入った。
(4) +5mと-2.5mの列は6mm程度シフトした。

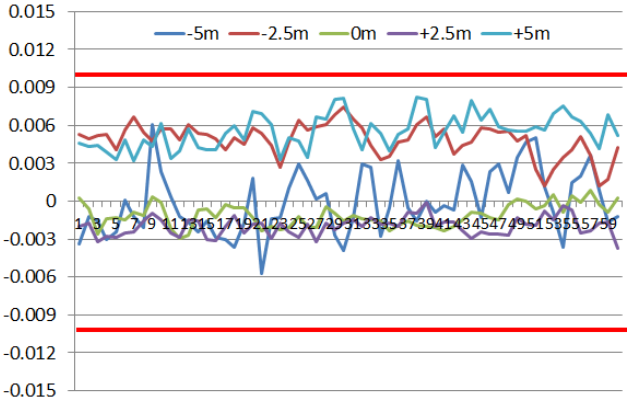


図-7　発光器から 150m 地点の観測結果

4.3 発光器から 200m 地点の観測結果（図-8）

(1) ±10mm以内に100%入った。（赤枠内）
(2) ±5mm以内に81.5%入った。
(3) -2.5mの列で6mm程度シフトした。
(4) -5m、+5mの列で変動が大きくなった。

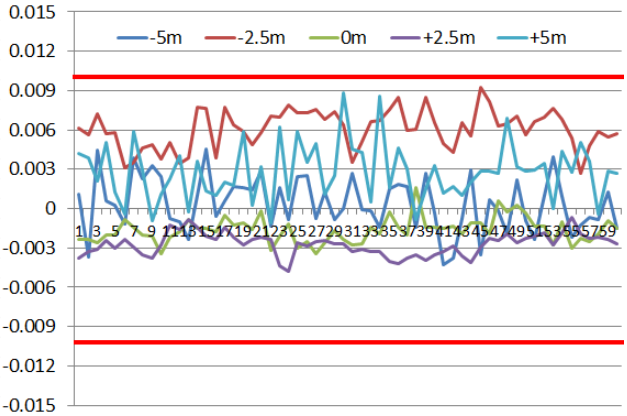


図-8　発光器から 200m 地点の観測結果

4.4 発光器から 250m 地点の観測結果　（図-9）

(1) ±10mm以内に98.7%入った。（赤枠内）
(2) ±12mm以内に100%入った。
(3) -2.5mの列で6mm程度シフトが認められた。再測をおこなったところほぼ±10mm以内に入った。
(4) -5m、+5m の列で変動が大きい傾向があった。

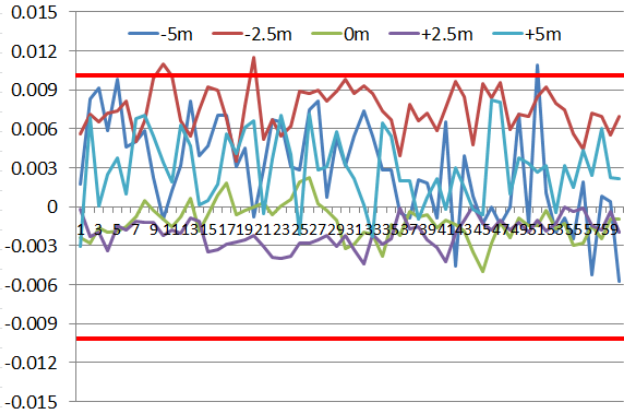


図-9　発光器から 250m 地点の観測結果

4.5 発光器から 300m 地点の観測結果

データ取得率が低減し、評価できる連続したデータ取得ができなかった。発光器の仕様は計測距離 300m であるが、発光器の個体の調整等が考えられる。今回は観測点 250m までを検証対象とした。

4.6 発光器から 150m 地点 6 時間観測結果

(1) mmGPSは、±6mm以内に100%入った。ドリフトは認められなかった（図-10参照）。

(2) RTK-GNSSも公共測量作業規定に従い1Hzで10epoch取得し、平均した。-44mmから+33mmの間でデータがドリフトした。±10mmに47.4%入った。

(3) 図-11は、図-10で観測した際のHDOPと衛星数推移の関係を表したものである。HDOPおよび衛星数の変化とmmGPSの観測高さの相関関係は認められなかった。

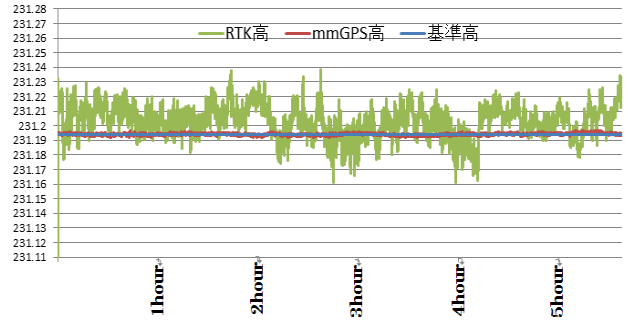


図-10　発光器から 150m 地点、RTK 高と mmGPS 高比較表

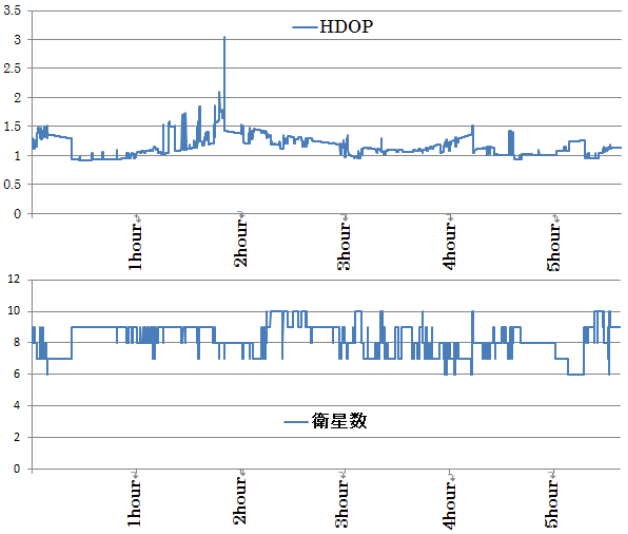


図-11　HDOP、衛星数推移

4.7 観測結果まとめ

(1) mmGPS の高さ精度と安定性

① 発光器から 250m 以内、発光器からの高低差±5m 以内の場合+10mm 以内に全観測ポイントの99%が収まった。

② 実験時の風速は 5m 程度であったが、特に高さ精度に影響はなかった(表-1 参照)。

(2) データの傾向

① 発光器からの距離が離れるほどデータの変動は大きくなる傾向にあった。

② 発光器からの高低差が大きくなると、データの変動も大きくなる傾向にあった。この傾向は、距離 150m 以上から認められた。

5. 考察

今回の検証で、mmGPS システムは、小雨や強めの風の中でも発光器から 250m 以内、高さ±5m 以内ならほぼ±10mm 以内で計測できることがわかった。現在、TS を用いた出来形管理要領では、精度確保のための計測距離制限が定められており、2 級 TS を使って 150m 以内との制限がある。mmGPS は 150m 以内のときレベルで出した基準高に対して±6mm 以内に 95%が入った。これは TS とほぼ同等の能力である。よって、土工用出来形管理の観測機器としての性能を有していると言える。

現在、日本には約 1,240 点の電子基準点があり、その配信データをもとにネットワーク型 RTK システムも活用されている。mmGPS はこの電子基準点にも対応可能である（図-12 参照)。

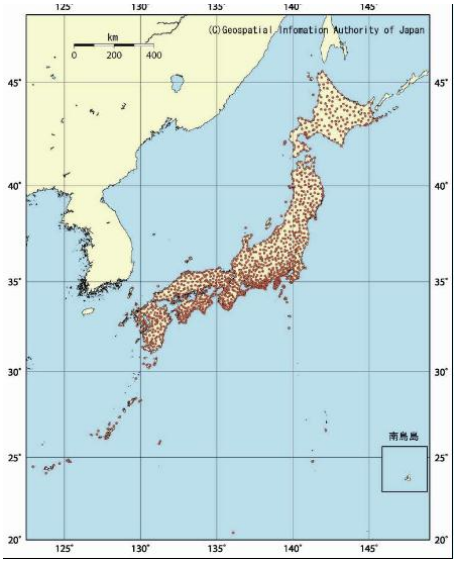


図-12　電子基準点設置位置

6. おわりに

現在、国土交通省発注の公共工事において、TS を用いた出来形実施要領が一般化となり活用されている。一方、電子基準点は約 1,240 点全国に配備されており、一部ネットワーク型 RTK システムとして活用されはじめているものの、一般土木現場でGNSS システムの活用が進んできたとは言い難い状況にある。

世界的にも建設現場において、GNSS の活用が進んできている昨今、高さ精度が回転レーザと同等である mmGPS が土木現場への普及のきっかけとなればと考える。

更に、今後打ち上げられる“みちびき衛星”により、GNSS システム活用の範囲が広がり、mmGPS がGNSS の更なる有効活用のひとつの手段になることを願う。