

土木計測分野における GPS 連続計測データの処理手法に関する一考察

ハザマ 技術・環境本部 正会員○黒台昌弘、正会員 蓮井昭則、正会員 笠 博義

1. はじめに

土木構造物は、多くの既設構造物が存在する都市部や山間部など、さまざまな立地条件の下で建設される。その建設においては、構造物本体の出来映えや周辺構造物への影響などを確認するための多様・多様な計測が行われる。GPS に代表される衛星測位システムも計測技術の一つとして、多方面で土木分野への適用を目指した研究開発が実施されてきた^{1) 2)}。

GPS は我が国では 1980 年代後半から土木測量分野への導入が検討され、工事測量としての利用はもとより、近年では、マシンコントロールなどの情報化施工には欠かせない「センサ」として利用されている。一方で、3 次元的な計測ができる、計測点間距離にほとんど制限がない、気象条件や季節による影響が少ない、GPS 時刻というタイムスタンプが利用できる、機械的動作部分がないためメンテナンスフリーである、といった従来の計測機器にはない特徴を活かして、地すべりや法面計測³⁾、既設構造物の沈下変位観測⁴⁾などの定点の変位を計測する「センサ」としても活用されている。しかし、従来の測量技術とは異なり、GPS データの内容やそのデータ処理方法は非常に複雑であるため、データの信頼性などの評価を現場で即座に行うことが困難な場合が少なくない。こうしたことから、GPS を各種計測用のセンサとして活用する上では、採用する処理手法によって得られるデータの特徴を十分に把握しておくことが重要である。

そこで、本稿では定点変位計測に GPS を効果的に利用することを目的として、実際に筆者らが土木施工や構造物の維持管理を実施している現場で取得した GPS データを例示しながら、GPS 計測の諸条件やデータ処理方法の特徴などをとりまとめることとした。

2. 変位計測に対応した GPS データ処理手法と実測結果に基づく整理

GPS を用いた代表的な測位方式について、その概要とデータ処理の特徴、計測可能分野などについて表 1 のようにとりまとめた。定点の変位計測に適用可能な GPS 計測には、大別すると、時間をかけて多くの GPS データを受信して統計処理することで高精度な解を導く「スタティック方式」と、それよりは精度が劣化するが、実時間

表 1 定点連続観測における GPS データ処理手法の比較^{3) 4) 5)} など

測位方式	スタティック方式				リアルタイム方式	
	方式 1	方式 2	方式 3	方式 4 (方式 1 + 平滑化処理)	RTK方式 on the fly	RTD方式 epoch by epoch
使用衛星	GPS	GPS	GPS+GLONASS 援用	GPS	GPS	GPS
使用周波数	1 周波	2 周波	1 周波	1 周波	2 周波 (初期化時) 1 周波 (初期化後)	1 周波、もしくは 2 周波
データ取得間隔 (一般的な数値)	30 秒	30 秒	30 秒	30 秒	~ 1 秒	受信機性能に依存 (ミリ秒 ~ 1 秒)
1 計測に必要なデータ量 (時間数)	1 時間 ~	1 周波に比べ少ない時間で処理可能	1 周波に比べ少ない時間で処理可能	1 時間 ~	~ 1 秒	ミリ秒 ~ 数時間
必要衛星数	4 個以上	4 個以上	4 個以上 (GLONASS は 2 個以上なら使用可能)	4 個以上	5 個以上	5 個以上
計測可能距離	~ 10km	10km ~	~ 10km	~ 10km	~ 10km	~ 5km (1 周波) ~ 50km (2 周波)
使用受信機	汎用 GPS 受信機	汎用 GPS 受信機	汎用 GPS 受信機	専用 GPS 受信機	汎用 GPS 受信機	汎用 GPS 受信機
計測精度	平面	3mm + 1.0ppm	3mm + 1.0ppm	3mm + 1.0ppm	1mm 程度	10mm + 1.5ppm
	鉛直	5mm + 1.5ppm	5mm + 1.5ppm	5mm + 1.5ppm	2mm 程度	20mm + 1.5ppm
データ処理の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・長時間観測により取得データ数を多くして、計測値の信頼性を向上 ・計測時間帯内の平均的計測値を算出 				<ul style="list-style-type: none"> ・上記の精度内で、データ受信ごとの変位が把握可能 	
	<ul style="list-style-type: none"> ・主に測量で使用されている手法 		<ul style="list-style-type: none"> ・2 周波のデータ受信して、誤差除去をより正確に行うことにより長基線化と計測時間短縮 	<ul style="list-style-type: none"> ・受信衛星数の増加により、計測時間を短縮 ・受信衛星数の増加により、計測値の信頼性向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・基線解析後に平滑化処理することにより、計測精度向上 ・計測結果を一次評価してあるので変位有無の判断が容易 	<ul style="list-style-type: none"> ・初期化に数秒から数分必要でその間測位不能 ・フィルタリング処理により誤差を最小化 ・急激な変位の検出が不得手 (タイムラグがある)
計測可能分野	<ul style="list-style-type: none"> ・長期的な変位の傾向を把握したい場合 ・後処理でよいので、高い精度の計測値を得たい場合 ・計測時間の短縮には、方式 2 や方式 3 が有効 ・狭隘な場所では、方式 3 が有効 				<ul style="list-style-type: none"> ・多少の精度は犠牲にしても、即時的あるいは瞬時に挙動を把握したい場合 ・被災した斜面など、実時間で変位を把握したい場合 ・統計処理方法によっては左記も可能 	
具体例	<ul style="list-style-type: none"> ・人工法面、自然法面 (地すべりなど) ・地殻変動、火山活動 (変化の兆候を捉えるまで) ・土木構造物、建築構造物およびその周辺地盤 				<ul style="list-style-type: none"> ・車両や船舶、建設機械など移動体の位置計測 ・施工中、連続観測が必要な構造物 (ケーソン圧入など) ・常時微動している構造物 (高層タワー、高橋脚) ・地殻変動、火山活動 (特に変化の兆候を捉えた後) 	

キーワード : GPS 定点変位計測

〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 Tel.029-858-8813 Fax.029-858-8819

でダイナミックな挙動把握が可能な「リアルタイム方式」の2つが上げられる。表1に示した「スタティック方式」には一般に公共測量に使用されている「方式1」や、遠方の基準点から地殻変動を計測する場合などに利用される「方式2」、また、GPS衛星に加えてGLONASS衛星からの電波も受信して、衛星数減による計測値の信頼性低下に対応した「方式3」などがある。

これらの方式のうち、「方式3」による計測結果を図1に示す。これはマンションが林立している中で行われたケーソン工事における周辺地盤の変位を示している。この図はデータ処理直後に得られたばらつき除去を施していない1日2回の計測結果を示しているが、計測データは約4mmの幅で上下する傾向を示しており、この状態では実際に地盤が変位しているかどうかの判断が難しい。

図2は高速道路工事によって出現した長大法面の変位を長期的に計測した例で、表1の「方式4」に対応するものであり、この図は「方式3」で得られたデータを、施工管理者の意志決定に直接利用できるような形に工学的理論³⁾に基づき処理されたものである。打点された計測データではなく、トレンドラインとして示された曲線の傾向から斜面の変状を把握しようとするもので、ある程度のばらつきを有したデータからも正確な変位を把握することが可能である。

「リアルタイム方式」には「RTK(real-time kinematic)方式」と「RTD(real-time dynamic)方式⁵⁾」の2つがあり、ともにミリ秒から1秒ごとに位置計測ができるものである。この方式はスタティック方式より精度が劣ることから、cm単位の変位の計測に適用されている。筆者らは現在、この方式を用いてケーソン函体にGPS機器を取り付け、圧入時の函体の3次元的な挙動を把握することを試みている。図3はまだ吟味されていない計測結果であり、計測データにばらつきが認められるが、約40cm函体が沈降している様子が捉えられていることが分かる。「RTD方式」は前後に受信したデータに影響されずデータ受信ごとに計測値が得られることから、函体の挙動を連続的に的確に表現できる方式として期待されている。

3. まとめ

本稿では、構造物の施工や維持管理における定点変位計測にGPS計測を積極的に導入していくことを視野に入れ、データ処理手法の優劣をつけるのではなく、いくつかの事例に基づいてその特徴を示すとともに、現場技術者がいくつかの処理手法の中から適切に選択できるような情報としてとりまとめた。また、GPSの導入初期に比べて現在では、計測精度や頻度、他の計測機器との融合解析等々、現場のニーズに応じたGPSデータ処理手法が選択できるようになってきており、ますます、この技術を利用する技術者の計測技術に対する正確な理解に基づいた現場への適合性の判断が重要となるものと考えられる。

【参考文献】

- 1) 黒台：建設工事におけるGPSの新たな挑戦、測量、第48巻第3号 pp.40-42、1998
- 2) 武石：GPS測位技術の最近の動向と計測分野での今後の利活用について、土と基礎、Vol.52, No.6、pp.7-10、2004
- 3) 松田ら：GPSによる斜面変位計測結果の平滑化処理法と変位挙動予測手法の実用性の検証、土木学会論文集 No.715/III-60、pp.333-343、2002
- 4) H.Noumi, M.Kurodai et al. : GPS Survey in Long Baseline Neutrino-Oscillation Measurement、IEEE Nuclear Science Symposium、2003
- 5) 内山：エポックバイエポックによる精密な基線解析とアプリケーションについて、GPS/GNSSシンポジウム2004、pp.67-71、2004

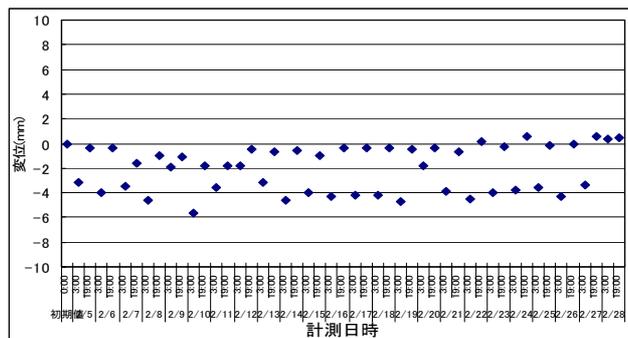


図1 ケーソン工事における周辺地盤変位計測結果

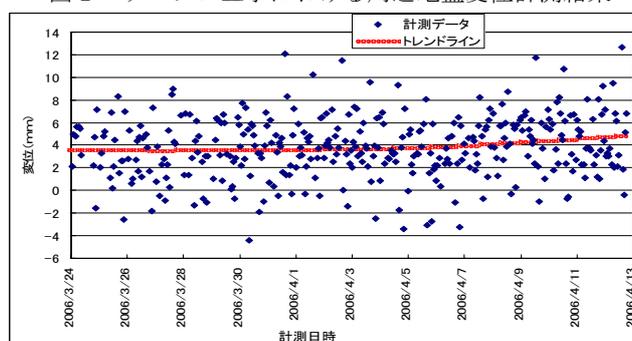


図2 高速道路工事による長大法面計測結果

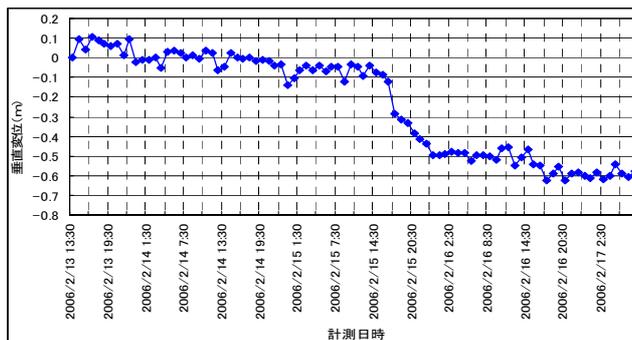


図3 ケーソン圧入時の函体挙動計測結果