

観測測位データのカルマンフィルタ処理による適応評価

ー 設楽原 PA における GPS センサの事例 ー

大成建設(株) 技術センター 土木技術開発部 正会員 ○近藤 高弘
川手 伸哉

1. はじめに

広域で変位・変状を測定する手段として、層別式沈下計・多段式傾斜計・挿入式傾斜計・トータルステーション等を用いた測定が実施されてきた。

これらの測定機器は測定対象にセンサを設置しその後配線や電力供給およびデータ収集装置などの装置が必要であり、またはトータルステーションのように見通しが必要であったりして、システムへの電力およびデータ収集に問題がある場合が多い。

広域を無線センサでかつ自立給電できるシステムで簡易に設置し測定できるGPS無線センサシステムを開発した。

新東名高速道路設楽原パーキングエリア工事において、標高差約90m(13段)の長大切土の施工に対し動態観測の対象とした。法面挙動を監視するため地表面と地中の動態観測を以下に測定項目で行った。

- ・自動追尾トータルステーションによる地表面変位測定30箇所(1時間毎の自動測定)
- ・パイプ歪計1箇所・挿入式傾斜計6箇所による地中変位測定(2週間に1度の手動測定)

本報告の検証事例として採用された観測機器とは別に開発したGPS無線センサを3箇所設置(1時間毎の自動測定)しその有効性の確認を行った。

観測機器の配置を図-1に示す。

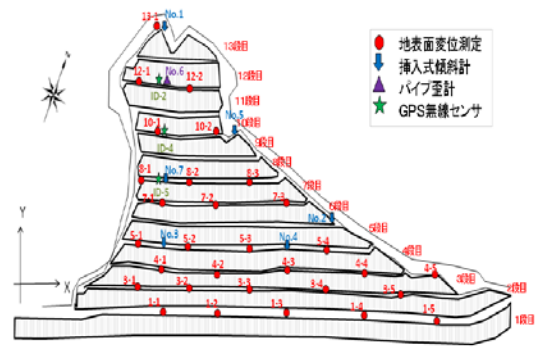


図-1 法面の動態監視計測機器の配置

2. GPSセンサの変位解析手法

GPS無線センサシステムは、GPS干渉測位方式を採用した計測システムである。

信頼性の平滑化として、カルマンフィルタ処理がある。カルマンフィルタは、系統誤差とシステム誤差の分散量を過去の測定値からベイズ推定し現在値を推定する方法である。

カルマンフィルタは確率的な枠組みで状態推定を検討する手法で、状態とはある時刻における信号に含まれる不確定な要素(ノイズ)を除いた量を指す。

ある時刻においてノイズ(雑音)の混入した時系列信号を観測した時、その背景にある量を、その時刻における測定可能な観測信号と時系列の状態空間モデルを用いて推定することがカルマンフィルタの目的である。

カルマンフィルタは以下の状態方程式と観測方程式から定義される。状態空間モデルを図-2に示す。

$$x_{k+1} = Fx_k + Gw_k \text{ -----状態方程式}$$

$$y_k = Hx_k + v_k \text{ -----観測方程式}$$

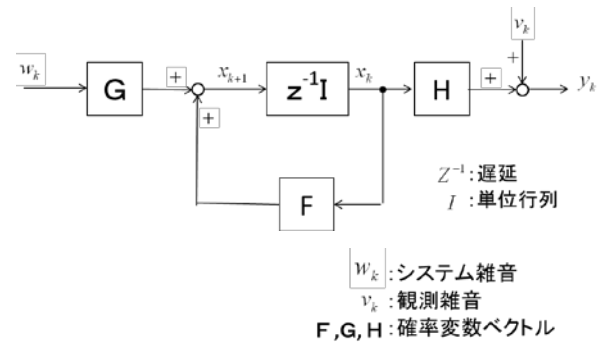


図-2 カルマンフィルタの状態空間モデル

キーワード 無線センサ, GPS, 干渉測位, カルマンフィルタ, 変位計測

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 TEL 045-814-7219

3. 観測結果

新東名高速道路設楽原パーキングエリア工事における法面切土施工で当初懸念された安定性において、現場法面動態観測の結果以下の変位を観測する事ができた。

3月上旬に切土掘削作業による影響と考えられる、No.6のパイプひずみ計の深度2m付近で微量な累積ひずみを検知。その後6月上旬には図-3に示すNo.7の挿入式傾斜計の測定結果から初期の明らかな動きの兆候として累積合成変位5mm程度を観測した。さらに7月上旬には図-4に示す地表面変位

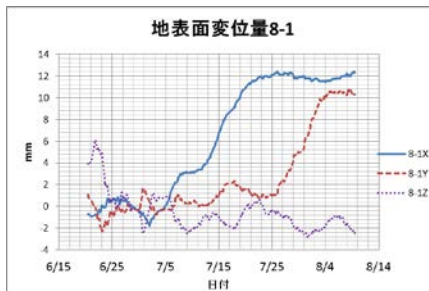


図-4 測点 8-1 の地表面変位量

計測として観測点 8-1 で X 方向に数 mm の変位を観測した。同様の時期に No.7 の挿入式傾斜計では深度 15~16.5m 付近で明瞭なせん断変位が現れ最大変位速度は 0.33mm/日を示した。7月中旬に 5 段目切度面に亀裂が発生し上盤側がせり出した。No.7 の累積合成変位量は 10.6mm を観測した。同様に地表面変位計測の観測点 8-1 は最大 12mm 程度の変位量を観測した。その後、押さえ盛土の施工を行い 8 月下旬以降は変位の収束を確認した。

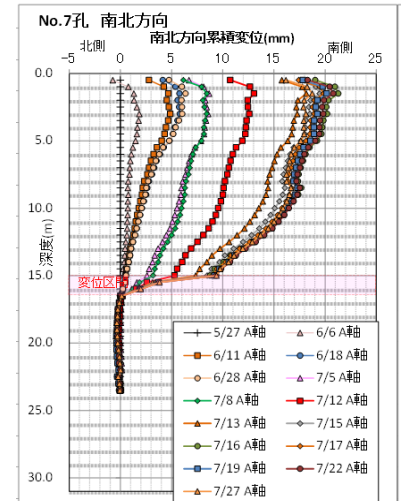


図-3 No.7 傾斜計の累積変位量

4. カルマンフィルタの適応

法面計測機器配置図(図-1)にあるように、GPS無線センサ(ID-5)と地表面変位計測(8-1)および挿入式傾斜計No.7とがほぼ同一箇所にあり、各観測値の比較対応が可能となり。観測法面の変位計測結果からNo.7の傾斜計と8-1の地表面変位観測結果は同様な結果を得る事ができた。対してGPS無線センサでの観測結果は、測位観測時の衛星配列の違いや、衛星仰角の違いによる差異から大きなバラつきが観測された。

このバラつきのある測位データにカルマンフィルタ処理を行い地表面変位と比較した。図-5にGPS測位値とフィルタ処理結果およびTSによる地表面変位監視結果の比較を示す。バラつきのあるGPS測位値にカルマンフィルタ処理を行う事で安定値が得られている事が確認できる。

GPS測位結果の三次元座標値は南北方向がY軸方向、東西方向がX軸方向となる。しかし現場のX軸方向は法面に平行に設定しているため、本結果のY軸とは20度程傾きがある。

5. おわりに

従来のGPS測位データは観測値のバラつきが大きく全体的な傾向を把握する事は出来ても動態観測には不向きであった。しかし本手法を用いる事で、動態観測の利用が可能になった。本手法により、観測値を確率的な状態推定を行うカルマンフィルタを用いる事で観測値の安定性と信頼性を確保しより実用に向けた手法として検証する事ができた。

今後はこの手法を他の計測値へ応用する事で、より信頼性を向上する必要があると考える。

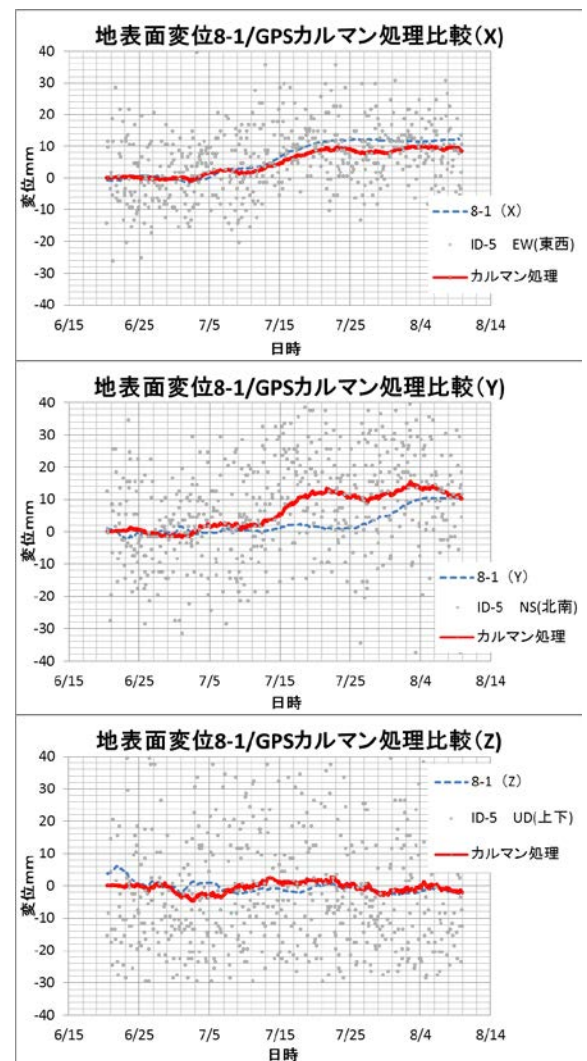


図-5 TS 変位・GPS・カルマン処理の比較結果