

第IV部門

斜面管理における RTK-GNSS データの変化点検知に着目した誤差処理手法

大阪大学工学部	学生員	○吉田	伊織
西日本高速道路株式会社	正会員	田山	聡
西日本高速道路株式会社	正会員	堤	浩志
大阪大学大学院工学研究科	正会員	小濱	健吾
大阪大学大学院工学研究科	正会員	貝戸	清之

1. はじめに

近年、地震や台風、集中豪雨などの自然災害に伴う被害が発生しており、とりわけ突発的な斜面崩壊への対応が差し迫った課題である。斜面に隣接する高速道路などの管理者は、斜面の異常を迅速に把握し、道路利用者への事前通行規制などの措置を速やかに講じなければならないことから、近年ではモニタリング機器を設置することにより斜面の状態を常に監視できるような体制が構築されつつある。斜面のモニタリング機器の一つとして GNSS (Global Navigation Satellite System) 受信機が活用されている。GNSS 受信機を設置することにより斜面の位置情報を計測できる。しかし、モニタリングの現状は機器から獲得された座標変位の時系列データを管理者が目視で判断しており、時系列データを常時確認できずに変化を見逃す恐れがあり、獲得されるデータを有効活用できているとは言い難い。また、変化が微小であった場合、必ずしも管理者が判別できるとは限らない。このため、人の手に依らずに異常を検知できる新たな手法が求められている。そこで、堤ら¹⁾²⁾は、突発的な斜面の異常を早期に検知する手法として RTK-GNSS (Real Time Kinematic) データに Change Finder³⁾を用いて分析する方法論を提案した。一方、課題として実用化のための適用範囲の拡大をあげている。本研究では、堤らの提案した方法論の実用化に向け、GNSS データに含まれる誤差を事前処理する方法論を新たに提案し、Change Finder を援用した異常検知の精度向上を目指す。以下、2.では GNSS データの誤差、3.では誤差処理の方法、4.では実証分析について述べる。

2. GNSS データの誤差

GNSS データには主に、1)伝搬遅延による誤差、2)受

信機による誤差、3)マルチパスによる誤差、4)偶然誤差の4つの誤差が含まれる。ただし、本研究で扱った GNSS データについては、基線長が十分短く、変位前後の相対的な差を見ることから、1)、2)については影響を無視できるほどに小さい。したがって、本研究では、3)、4)の誤差の事前処理方法について考える。

マルチパスとは、衛星から受信機に直接届く電波に対して、周辺の地物で反射して様々な経路で入射する電波のことである。マルチパスの経路は衛星と受信機の位置関係によって決まるため、衛星の周回時間に依存し周期性を伴うものである。本研究では、恒星日周期の規格化を実施してマルチパスによる誤差を低減する。また、測定時の偶然がもたらすランダムな誤差である偶然誤差については、恒星日周期の規格化後のデータに状態空間モデルを仮定し、状態推定法の一つである粒子フィルタを用いて偶然誤差を除去する。以上の2つの手法によって誤差を処理したデータに対して、Change Finder を適用して検知の可否を調べ、検知精度に関して従来手法と比較する。

3. 誤差処理の方法

マルチパス誤差を低減するために恒星日周期の規格化を行う。恒星日とは見かけの日周運動に基づく公転周期であり、太陽日に換算して約 23 時間 56 分である。この恒星日における時刻ごとに平均と標準偏差の基準値を設定し、GNSS データを規格化することにより周期的な誤差を除去する。なお、基準値については5日前から前日までの恒星日における同時刻の値を用いた平均と標準偏差を利用した。また、偶然誤差を除去するにあたっては状態空間モデルを考え、誤差を含む観測量から過去の値との関係式を利用して誤差を除去した状態

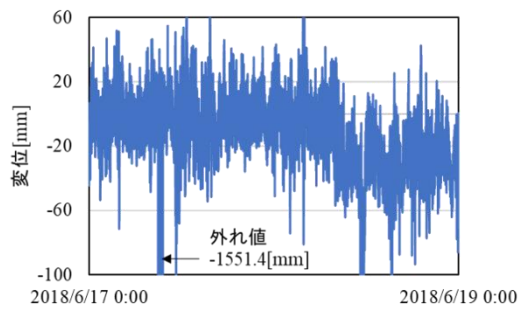


図-1 GNSS データ（原萩谷地点 1 上下方向）

量を求める。状態量を推定する手法としては、状態量の急激な推移も適切に表現できる粒子フィルタを用いた。その具体的なアルゴリズムは、ある時点の状態量の確率分布が粒子で近似されているとき、関係式を利用して 1 期先予測分布を求める。その後、観測量に基づく尤度を計算し、その大きさに応じて粒子を分裂・消滅させることで次の時点の状態量の確率分布を求める。これらの操作を繰り返すことにより逐次的に状態量の推定が可能となる。

4. 実証分析

新名神高速道路に設置された GNSS 受信機によって 2018 年 6 月 17 日 0 時から 2018 年 6 月 19 日 0 時の期間に観測された GNSS データを分析対象とした。これらのデータのうち 2018 年 6 月 18 日 7 時 58 分 34 秒に発生した大阪府北部地震により変位が発生した上下方向の 6 データに対して、恒星日周期の規格化と粒子フィルタによる誤差処理を実施し、Change Finder による異常検知の精度の改善を試みる。GNSS データの例として図-1 に原萩谷地点 1 上下方向のデータを示す。まず、GNSS データに対して恒星日周期の規格化を適用したところ、図-2 の灰色で示すように、データの標準偏差が小さくなった。恒星日周期の規格化の前後で自己相関分析を行った結果、恒星日間隔で極大値をとっていた自己相関係数が大幅に低下したことから恒星日周期の変動が取り除かれたことが検証された。続いて、粒子フィルタを適用した結果を図-2 の青色で示す。なお、状態空間モデルは観測雑音が正規分布、状態雑音が t 分布に従うとして分析を行った。これにより、偶然誤差を処理しながら地震による急激な変位を追従可能となった。これらの誤差処理を実施した上下方向データに対して Change Finder を適用した結果を表-1 に示す。誤差処理にローパスフィルタ (LPF) を用いた既往研究²⁾と比較して粒子フィルタ (PF) を用いた本研究では、新た

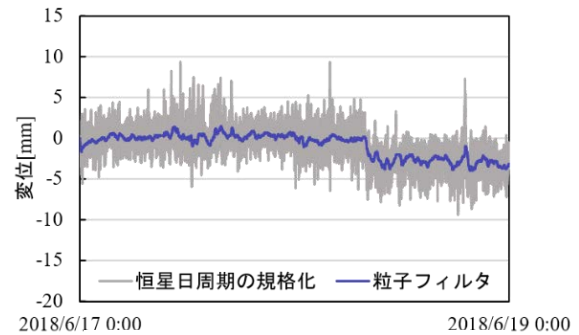


図-2 誤差処理後のデータ

表-1 上下方向データの検知結果の比較

地点	茨木北			原萩谷		
	1	2	3	1	2	3
種類	上下	上下	上下	上下	上下	上下
変位量[mm]	45	40	6	25	10	40
検知 (LPF)	○	×	×	×	×	×
検知 (PF)	○	○	×	○	×	○
遅延時間[min]	2	2	-	7	-	4

注) LPF のカットオフ周波数は 1/5 [min]

に 3 データが検知可能となり、検知精度が向上したことがわかる。

5. おわりに

本研究では、斜面管理のために設置された RTK-GNSS データに Change Finder を適用して、斜面に生じた突発的な変位を早期に検知する手法として提案されている方法論の実用化に向けて、誤差処理の手法を新たに提案し、異常検知手法の改良を行った。具体的には、恒星日周期の規格化により周期的な変動を低減し、続いて粒子フィルタを用いて偶然誤差の処理を実施した。誤差処理後のデータに Change Finder を適用したところ、検知精度が向上した。一方で、本研究では上下方向のデータを取り扱ったが、RTK-GNSS の設置環境に合わせたパラメータ設定手法の確立し、水平方向のデータについても今後分析を行う必要がある。

【参考文献】

- 1) 堤浩志, 小濱健吾, 中村葵, 小泉圭吾: 斜面管理における RTK-GNSS データの変化点検知手法, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), Vol.75, No.2, I_15-I_26, 2019.
- 2) 堤浩志, 小濱健吾, 小泉圭吾: 斜面管理における RTK-GNSS データの変化点検知手法の改良, AI・データサイエンス論文集, 1 巻, J1 号, pp.437-444, 2020.
- 3) 山西健司: データマイニングによる異常検知, 共立出版, 2009.