

RTK-GNSS データを用いた粒子フィルタによる斜面の異常検知

大阪大学大学院工学研究科 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、集中豪雨などにより斜面崩壊が多発している。道路管理者は斜面の異常を迅速に把握し、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。そこで、GNSS (Global Navigation Satellite System) を斜面管理に活用する取り組みが進められている。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) データに恒星日差分法とローパスフィルタによる誤差処理を実施し、Change Finder 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。図-1 に既往研究と本研究のフローを示す。以下、2. では GNSS データの誤差、3. では誤差処理の方法、4. では適用事例について述べる。

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。

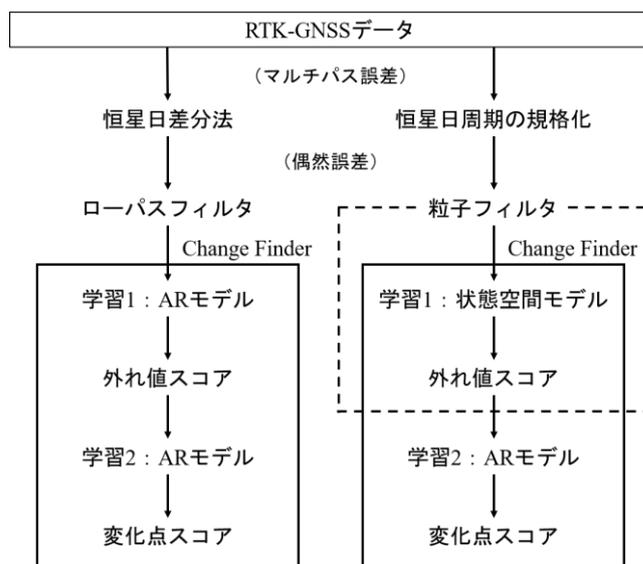


図-1 既往研究と本研究のフロー

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、検知精度を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

キーワード Change Finder, 斜面, RTK-GNSS データ, 粒子フィルタ
 連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL : 06-6879-7622

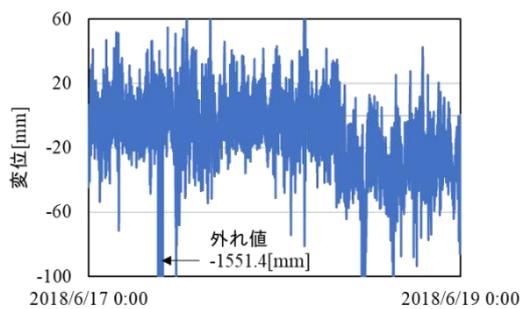


図-2 GNSS データ (原萩谷地点 1 上下方向)

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. 適用事例

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 19 日 0 時の間に観測された 72 の GNSS 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で 2[mm]以上の変位が発生した 18 データを 24 時間移動平均により抽出した。これらのデータに対して、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-2 に原萩谷地点 1 の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-3 の灰色で示すようにデータの標準偏差を低減した。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を確認できた。続いて、粒子フィルタを適用した結果を図-3 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⁾において 11 データが検知可能だったが、粒子フィルタ (PF) を用いた

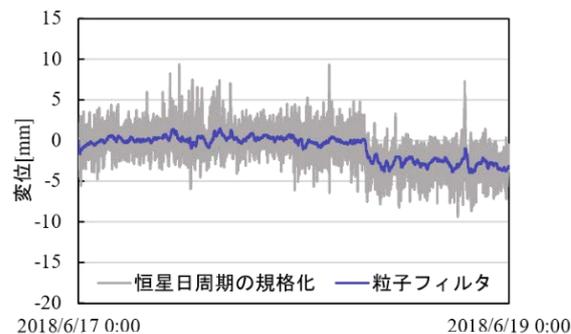


図-3 誤差処理後のデータ

表-1 検知結果の比較

地点	茨城北								
	1			2			3		
種類	南北	東西	上下	南北	東西	上下	南北	東西	上下
変位量[mm]	30	30	45	25	32	40	14	13	6
検知 (LPF)	○	○	○	○	○	×	○	○	×
検知 (PF)	○	○	○	○	○	○	○	○	×
地点	原萩谷								
	1			2		3		4	
種類	南北	東西	上下	東西	上下	東西	上下	南北	東西
変位量[mm]	8	28	25	9	10	22	40	3	4
検知 (LPF)	○	○	×	○	×	○	×	×	×
検知 (PF)	×	○	○	○	×	○	○	×	×

LPF のカットオフ周波数は 1/5[1/min]

本研究では 13 データが検知可能となり、提案した誤差処理手法によって検知精度が向上した。

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、RTK-GNSS 受信機の設置環境に合わせたパラメータ設定手法の確立や、GNSS データを多次元データとして扱うことなどが課題としてあげられる。

【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.