

cm 級精度の衛星測位結果を用いた mm 級ステップ変位検出手法 Method to retrieve mm-class step displacement embedded in cm-class satellite positioning result

三神 泉、齋藤 雅行、浅里 幸起
Izumi Mikami, Masayuki Saito, Koko Asari

一般財団法人衛星測位利用推進センター
Satellite Positioning Research and Application Center

1. まえがき

地球温暖化の影響と思われる局地的な豪雨の発生等により、地滑りの被害が急増している。地滑り発生の予報は防災の観点で重要な技術として様々な検討がなされたり、地滑り発生を 30 時間以前に検知するためには 5mm 程度の検出能力が必要といわれている[1]。我々は、cm 級の衛星測位結果に mm 級のステップ変位の測位結果が埋もれている可能性に着目し、その変位を測位結果から抽出する数学的手法を開発した。

2018 年 11 月より、準天頂衛星システムの cm 級測位補強情報 (CLAS : 無料) の本格的なサービスが開始される予定であり、日本全域で使える様になれば CLAS を利用した新しい地すべり監視センサーの登場が予想される。しかし、測結果そのものは、水平方向 6cm (95%) であり、地滑り検出目的には不十分である。本手法の開発においては、RTK 測位のみならず CLAS を用いた PPP-RTK 測位の利用も念頭に入れ、mm 級のステップ変位を検出する手法の確立を目指している。

2. PPP-RTK の測位結果の利用方法

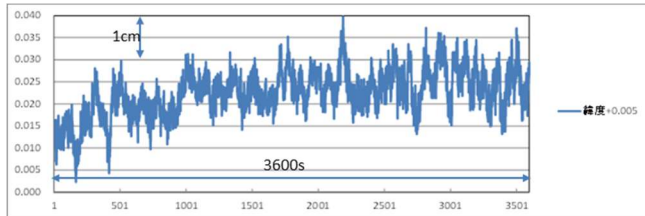


図 1 : PPP-RTK (CMAS) の cm 級測位誤差

図 1 に、電子基準点に対して CMAS (CentiMeter class Augmentation System) を用い、PPP-RTK 測位を施した場合の測位誤差 (電子基準点座標からのずれ) を示す。このデータには数 10 周期程度までの比較的緩やかで振幅が大きい変化と、秒単位周期で振幅が mm~cm 程度の変動が重畳されている。高周波数成分の振幅に含まれる mm 級変化が検出感度に近いと考えれば、高周波成分から mm 級のステップ変化を抽出できる可能性がある。この考察を経て、1 時間程度を評価期間とする測位誤差データを評価期間内で閉じる直交関数に展開し、次数 n までの直交関数の和を元のデータから減算して残留関数を求め、5mm のステップ変化の検出可能性を評価する。(1) 式は高周波成分を抽出する式のイメージである。式において、 $F(t)$ は元のデータ関数、 $A_i \Phi_i(t)$ は展開後の i 次の直交関数は、 $F_r(t)$ は残留関数である。

$$F_r(t) = F(t) - \sum_{i=0}^n A_i \Phi_i(t) \quad (1)$$

3. シミュレーション

図 1 のデータの後半部分に 5mm のステップ変化を数値として加えた後、ルジャンドル関数を用いて直交展開し、 $F_r(t)$

を求めた例、及び開発済みの A、B フィルター処理を施した結果を図 2 に示す。

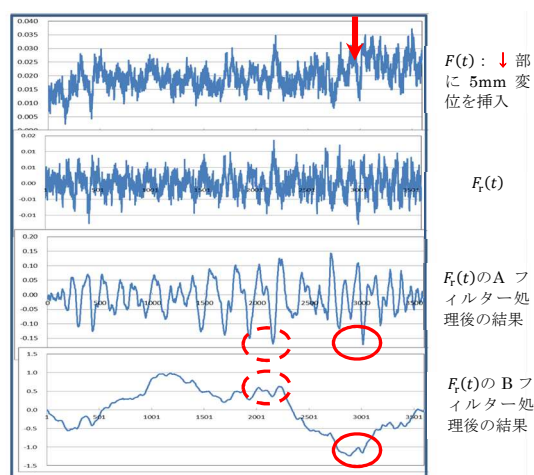


図 2 : 残留関数 $F_r(t)$ と 2 つのフィルター処理結果

図 2 から、5mm のステップ変位を与えた時間 (赤丸部) に極値が出現することが分かる。ただし、それ以外にも類似の判定が可能な極値 (赤破線丸部) が出るため、この部分との誤判定識別が必要となる。それぞれの時間を中心とする ± 10 分の $F(t)$ を用い、次数 n までの余弦波展開を行い、その残留関数に A フィルター処理を施した結果を図 3 に示す。図よりステップ変位発生に対応して確実に極値の有無が強調され、発生時刻の判定が可能になることが分かる。

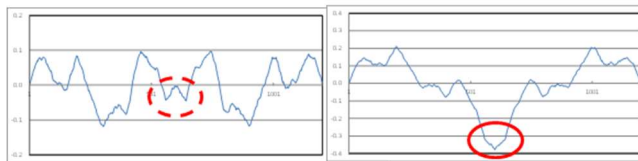


図 3 余弦波展開後残留関数の A フィルター処理判定結果

4. まとめ

本手法は、衛星測位結果に 5mm のステップ変位が含まれる場合にその発生時刻を検知するものであり、発生時刻が分かればその時刻前後の一定期間 (例えば 30 分~1 時間) の測位平均値の差からステップ変位を求めることが出来る。シミュレーション上では、30 分程度の評価期間でも十分に有用性が確認されていることから、30 分程度の時間遅れを伴うセミリアルタイムの検出を実用化の目標としている。現在、衛星測位用アンテナに mm 級の強制変位を与えた実測試験を国際航業 (株) と共同で実施中であり、その結果を待って実用段階への展開を考える。

参考文献

[1] 齋藤迫孝、上沢弘、斜面崩壊時期の予知、地すべり、第 2 巻第 2 号、pp7~12、1966 年 2 月