

GPSによる急傾斜斜面の3次元変位の長期連続計測（その2）

山口大学大学院 学生会員 ○里岳志

山口大学大学院 正会員 中島伸一郎 清水則一

1. はじめに

GPSを用いた変位計測システムは、地表面の3次元変位を多点同時に高精度かつ自動連続計測をリアルタイムに実施できる¹⁾。一方で、基準点と計測点間の高低差が大きい場合やアンテナ上空に障害物がある場合、対流圏遅延に起因する誤差や障害物による受信電波の乱れが発生する^{2),3)}。

本研究では、国道沿いの急傾斜斜面に対し、上記の誤差の低減を図り、長期変位計測を実施した⁴⁾。

2. GPSによる変位の連続観測と誤差処理法の概要

GPSにより計測された変位は次のように表せる。

$$y = u_0 + \varepsilon_p + \varepsilon_T + \varepsilon_R \quad (1)$$

ただし、 y は計測値、 u_0 は変位の真値、 ε_p は上空障害物の影響による誤差、 ε_T は対流圏遅延誤差、 ε_R はランダム誤差である³⁾。 ε_p は受信機アンテナの上空に植生などの障害物がある場合、衛星からの電波を受信する際に乱れが生じることで発生し、計測精度が劣化する。これに対し、マスク処理（上空障害物の背後を移動する衛星の電波を用いず基線解析を行う）を適用し、誤差を低減する⁵⁾。 ε_T は、基準点と計測点の間に高低差がある場合に発生する誤差で、GPS衛星から電波を受信する際、伝搬経路差間の気象の影響を受け電波の遅延が生じることが原因であり、対流圏遅延モデルと気象データを用いて対流圏遅延補正を行う⁶⁾。また、計測値から上空障害物、対流圏遅延の影響を除いた変位にトレンドモデル⁷⁾を適用し、 ε_R を取り除き、真の変位の推定を行う。

3. 現場概要

本研究の計測現場は、国道沿いに位置する急傾斜斜面である。花崗岩の上部に流紋岩が広がっており、両者の境界がすべり面となっていると思われ、過去に何度も土砂災害が発生している。GPSによる変位計測は2012年から実施され、2014年からG2、G3、G4の3計測点が設置されている。図-1に対象斜面の平面図とGPS受信機の配置を示す。

4. 計測結果

(1) 3次元変位の時系列推移

まず、2章の誤差処理の効果を図-2および図-3に示す。こ

キーワード GPS, 斜面, 3次元変位, 長期連続計測

連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科

TEL(0836)85-9334

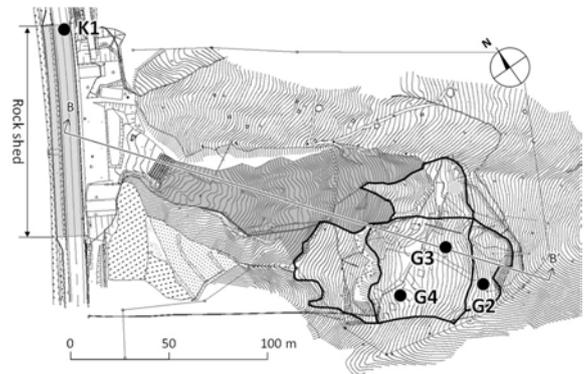


図-1 GPS受信機配置

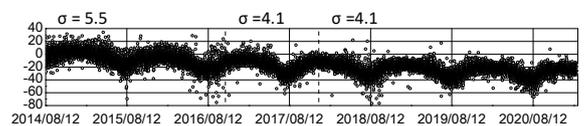


図-2 補正なしの計測点 G2 の高さ方向変位

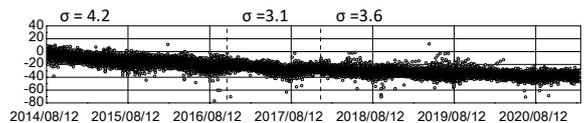
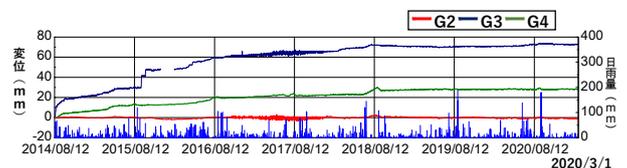
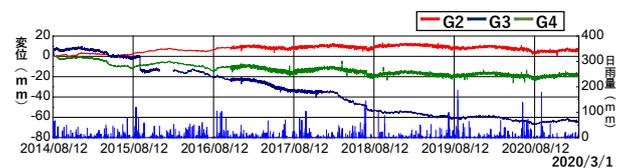


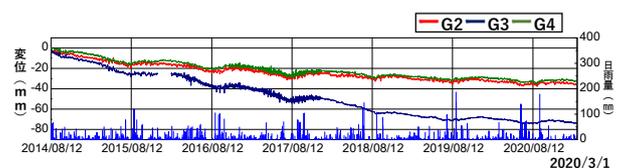
図-3 補正を行った G2 の高さ方向変位



(a) 緯度方向変位



(b) 経度方向変位



(c) 高さ方向変位

図-4 各計測点の変位計測結果

これは計測点 G2 における高さ方向変位の経時変化で、誤差処理前後の基線解析結果である。両図の比較から、誤差処理により、変位のばらつきの幅が小さくなるほか、突発的な挙動（飛び値）の低減、年周期的な変位のうねりの抑制、などの効果が表れていることが確認できる。このような効果は G2 の水平方向変位や他の計測点の変位にも表れている。対流圏遅延補正とマスク処理に加えてトレンドモデルを適用した変位計測結果と日雨量を図-4 に示す。変位計測結果は、緯度方向、経度方向、高さ方向に分けて示し、それぞれ北を正、東を正、上向きを正としている。計測点 G3 では、センサ台の取り換えにより、2015 年 12 月 9 日から 2016 年 2 月 10 日の期間で欠測している。全計測点のうち、計測点 G3 の平均日変位量が一番大きく 0.05mm、その他の計測点では 0.02mm 程度であり、どの計測点も 0.1mm/day 以下ではあるが、継続した変位の増加が見られる。また、2014 年以前は、降雨時に顕著な変位が見られていたものの³⁾、2014 年以降は降雨に伴う大きな変位は見られない。水抜きボーリング工が 2014 年度に施工され、降雨後の地下水の斜面内の滞留日数が短くなっており、その効果と考えられる。

(2) 3次元変位ベクトルの推移

図-5 および図-6 は、3次元変位を 1 年ごとのベクトルで表示したものである。図-5 より、2018 年 8 月までは、計測点 G3, G4 がおおむね北方向に変位しているが、2018 年～2019 年を境に全計測点の変位方向が西方向に変化している。また、図-6 より計測点 G2 は沈下方向に、他計測点は、斜面に沿うように変位をしており、典型的な地すべり挙動を示しているものの、変位速度は小さく、今後も継続した監視が必要と思われる。

5. むすび

急傾斜斜面の長期間計測において、筆者らが提案した誤差低減法の効果が示された。また、3次元変位の時系列の推移が把握された。

謝辞：現場計測に際し多くの方々にご協力いただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 岩崎智治, 原口勝利, 佐藤歩, 増成友宏, 内田純二, 清水則一：GPS を用いた自動変位監視のための Web システムの開発, 日本地すべり学会誌, 49(4):174-185, 2012.
- 2) 清水則一：GPS による地盤/構造物の高精度変位計測の現状と今後, 電力土木, 総説, 366:3-9, 2013.
- 3) 中島伸一郎, 古山陽太, 林佑一郎, Nguyen Trung Kiena, 清水則一, 廣川誠一：急傾斜長大斜面の GPS 三次元変位計測における誤差補正の効果と長期連続モニタリング結果, 日本地すべり学会誌, 55(1):13-24, 2018.
- 4) 里岳志, 中島伸一郎, 清水則一：GPS による急傾斜斜面の 3次元変位の長期連続計測, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム 講演集, pp.59-64, 2021.1.
- 5) 増成友宏, 武地美明, 田村尚之, 船津貴弘, 清水則一 (2008)：GPS 変位計測における上空障害物の影響とその低減法, 土木学会論文集 F, vol.64, No.4, pp.394-402.
- 6) 増成友宏, 武地美明, 船津貴弘, 清水則一：現場気象データを用いた GPS 変位計測の補正について, 土木学会論文集 F, Vol.65, No.3, pp.356-363, 2009.
- 7) 北川源四郎：時系列解析プログラミング, 岩波書店, 1993

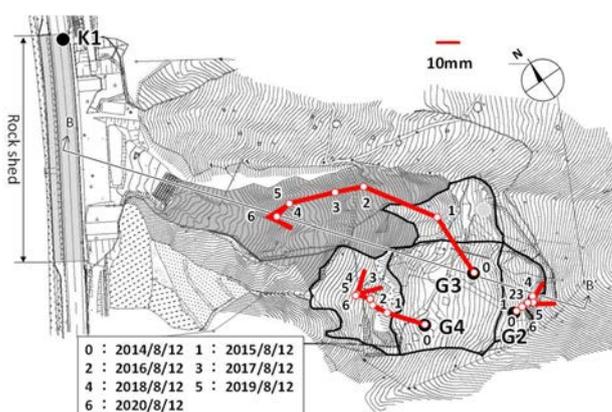


図-5 平面ベクトル図

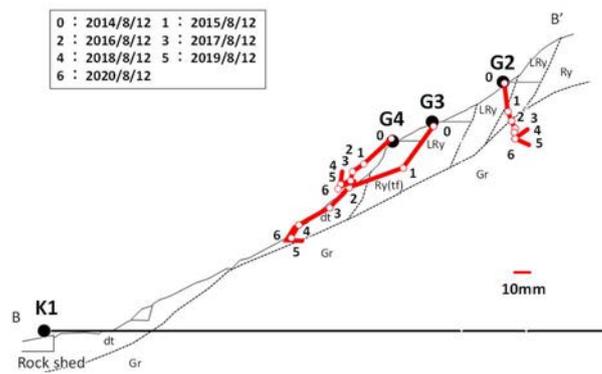


図-6 断面ベクトル図