

GPS による地すべり地表面計測の実用性検証①

— 大規模地すべりでの長期計測および他の計測結果との比較 —

shamen-net 研究会技術委員会*・高知県中央西土木事務所越知事務所

キーワード：GPS、地表面計測、地すべり、自動計測

1. はじめに

GPS (Global Positioning System) は、衛星からの電波を受信できる環境であれば、天候に関係なく地表面の三次元座標を取得できるため、ナビゲーション分野や測量分野では早くから利用が始まり、最近では主流を占めているといっても過言ではない。

地すべり計測の分野においても、10 年以上前から GPS の利用が始まり、近年ではかなり多くの計測事例が報告されている。しかし、必ずしも急速に普及しているとは言いがたく、その理由としては、①計測精度、②計測コスト、③利便性に問題があるとされてきた。

そこで、shamen-net 研究会では、地すべり計測分野での GPS 計測の普及促進を目的に、GPS 計測技術・精度の向上や計測コストの低減、利便性（使いやすさ）の向上に取り組んできた。本発表は、shamen-net 研究会で実施中の大規模地すべりでの長期計測の結果および GPS と他の計測との比較について第一報を報告するものである（次年度には、この後の結果をまとめた第二報を予定）。これらの成果を基に、GPS による地すべり地表面計測の実用性を検証し、課題を抽出・克服して、GPS 計測の普及を促進したい。

2. GPS 計測の概要

2.1 計測地の概要

GPS の長期計測は、高知県吾川郡仁淀川町長者地内の長者地すべり¹⁾で実施している。長者地すべりは、仁淀川水系長者川の右岸に位置し、幅 200m、長さ 900m にわたり、平均傾斜約 20° をもって長者川に向かって滑動している。地質的には古生層の地すべりに分類され、古生層粘板岩の間に挟まれた蛇紋岩境界層地すべりでは我が国でも代表的なものの一つである。

長者地すべりは、昭和 38 年の台風 9 号を機に激しく活動を始め、昭和 39 年から地すべり調査および

集水井や排水トンネル等の対策工が施工されている。その結果、昭和 39 年ごろに年間 2m 程度の移動が観測されていたが、現在は年間数 cm 以下にまで収束している。

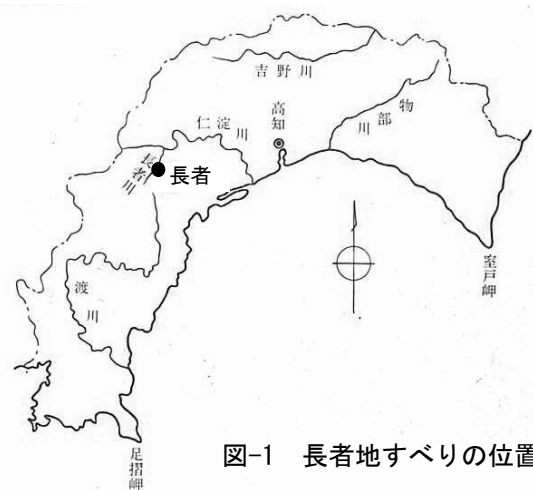


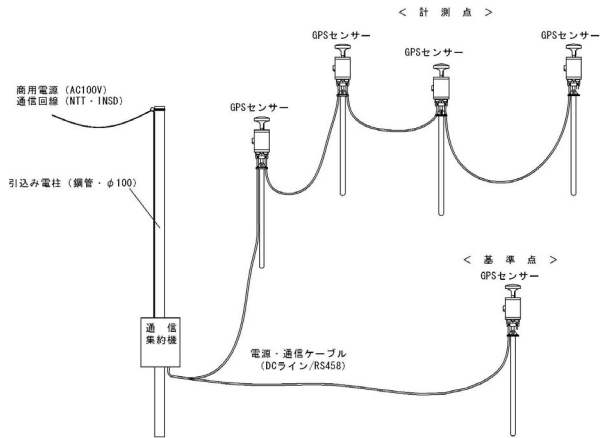
図-1 長者地すべりの位置

2.2 使用した GPS 自動計測システム

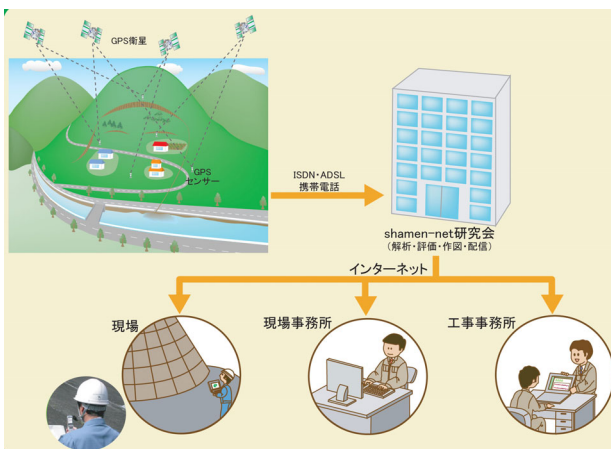
長期計測に使用した GPS 自動計測システム²⁾は、地すべり計測などの地盤計測用に開発されたもので、従来の測量用 GPS 機器を流用した自動計測システムに比較して、小型・軽量・安価である。図-2 に、GPS 自動計測システムを示す。

計測現場には、複数の GPS センサー（1 周波型）を設置し、それらを 4 芯ケーブルで数珠繋ぎに配線して通信集約器に導き、30 秒ごとに取得されるデータ（30 秒エポック）をインターネット回線で shamen-net 研究会の解析サーバーに送信する。解析サーバーでは、1 時間分のデータを使用してスタティック測位による基線解析（座標計算）を行うと共に、トレンドモデルと呼ばれる時系列統計処理³⁾⁴⁾による誤差処理を実施して水平方向で 1~2mm、鉛直方向で 2~3mm 程度の精度で地盤変位量を算出する。

算出された変位量は、一般的な時系列のグラフの他、平面図や断面図上にベクトル表示し、インターネットを介して関係者に常時配信される。



a) 現場設置機器の構成図



b) システム全体の概念図

図-2 GPS 自動計測システムの概要



写真-1 GPS 計測機器の設置状況

計測頻度は1回/時で、インターネットにアクセスできる環境であれば、PCや携帯電話を用いてもどこからでも計測結果を閲覧可能である。なお、情報セキュリティについては、現場ごとに設定されるID/PWにより確保される。

2.3 GPS 計測点の配置

GPS 計測点は、長者地すべり A ブロックの下部 II

ブロックに G-1、下部 III ブロックに G-2、長者川を挟んだ対岸の地すべり末端隆起部に G-4 の計 3 基を設置した(後掲の図-4 参照)。G-1、G-2 の近傍には孔内傾斜計や地表面伸縮計、水位計等が設置されており計測結果の対比が可能な配置とした。

また、基準点 K-1 は、不動地盤と思われる長者川対岸の露岩部に設置した。なお、K-1 が不動であるかの確認を行うために 200m 程度離れた不動地盤上の仮基準点から通常の GPS 測量により定期的に基準点測量を行っている。

3. GPS 計測結果

GPS 自動計測システムによる地表面移動量の計測は、平成 18 年 11 月 1 日から開始した。

図-3 に G-2 の時系列グラフを示す。グラフの上から順に NS 方向、EW 方向、UD 方向の変位量で、最下段には近傍のアメダス観測点(本川)の日雨量を示した。図中の実点は誤差処理前の GPS 計測値で、実線はトレンドモデルによる誤差処理後の値(トレンドラインと称す)である。

図のように、変位量は計測開始から緩やかな累積傾向を示し、現時点(平成 19 年 5 月 23 日時点、計測開始から 204 日)で N 方向に 16.5mm、W 方向に 0.4mm、沈下方向に 1.0mm である。なお、計測期間中に観測された 50mm/日を超える降雨時にも特に変位の急激な増加は認められないが、これは、地下水排除工の効果と、観測期間が年間を通じて最も降雨量の少ない時期であるためと推察される。

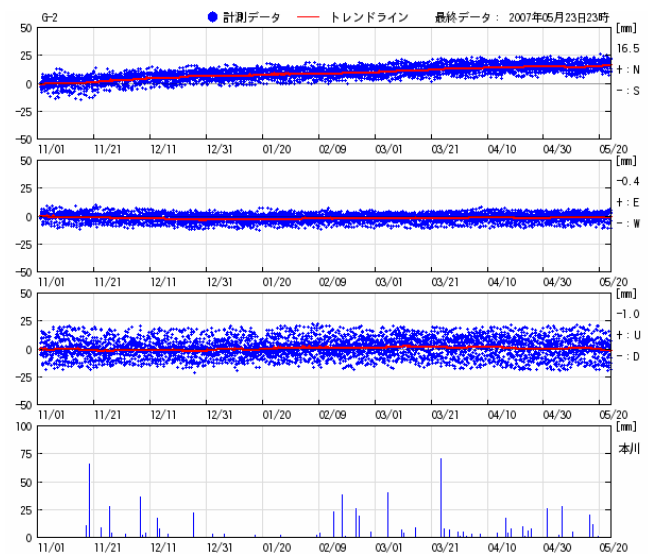


図-3 G-2 の時系列グラフ

図-4、図-5は、各GPSセンサーで計測された三次元変位量を平面図および断面図上にベクトル表示した。これらのベクトル図も当該システムで毎時作成され、インターネットで配信されている。

図-4はNS・EW方向の変位量を合成した平面変位ベクトルで、図-5は更にUD方向の変位量も合成した三次元変位ベクトルである。

G-1、G-2は、15mm程度の累積変位量が計測され、変位方向は概ねすべり方向と一致している。地すべり末端に設置したG-4の累積変位量は10.6mmで、斜め上方に向かって変位している。このことから、長者川を越えて対岸にまで達している地すべり末端部は、かなり隆起していることがわかる。

4. GPS と他の計測との比較

4.1 すべり面の変位と地表面変位

従来の伸縮計や光波測量による移動杭計測では、三次元的な地表面変位量を連続的に計測することが難いため、孔内傾斜計などで計測されるすべり面の変位と地表面変位との比較が容易ではなかった。しかし、GPSは高い精度で地表面の三次元的な変位を得ることができる。

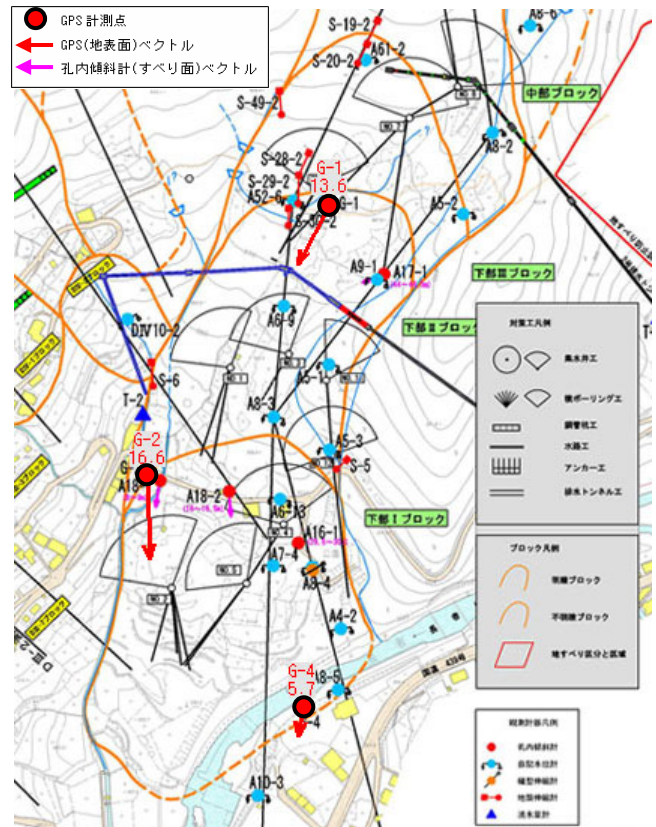


図-4 平面ベクトル図



図-5 断面ベクトル図

そこで、GPS計測で得られた地表面変位と孔内傾斜計によるすべり面変位を比較する。

GPS計測点のG-2は、孔内傾斜計A18-1と同じ位置に設置されている。G-2の計測結果を図-3に、A18-1の計測結果を図-6に示した。

孔内傾斜計A18-1は、GL-8.0~9.0mで明瞭な変位の累積が計測されており、平成18年6月13日(初期値)から平成19年2月2日までにXY合成で32mmの累積変位量である。

図-4には、孔内傾斜計(すべり面)とGPS(地表面)の変位方向を矢印で示した。両方の変位方向はほぼ一致し、共にすべり方向を示していることがわかる。

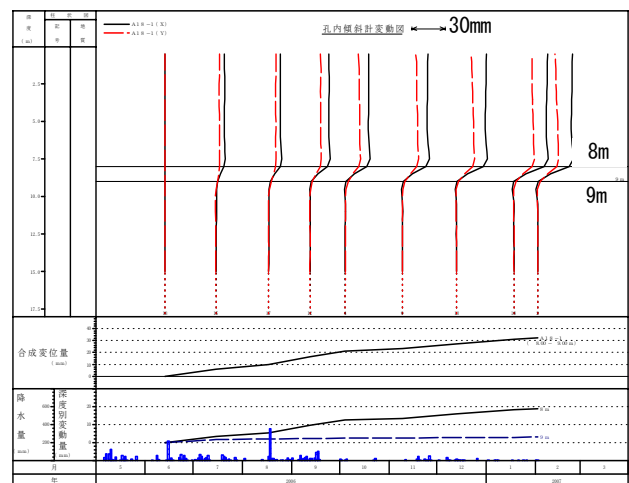


図-6 孔内傾斜計A18-1の計測結果

ここで、GPS・G-2 と孔内傾斜計 A18-1 の両計測が実施された平成 18 年 11 月 9 日～平成 19 年 2 月 2 日までの変位量を比較した（図-7）。図のように、両者はほぼ同じ変位量を示していることがわかり、先の変位方向が一致していることと合せて、G-2 地点ではすべり面と地表面の変位はほぼ同様であることがわかった。

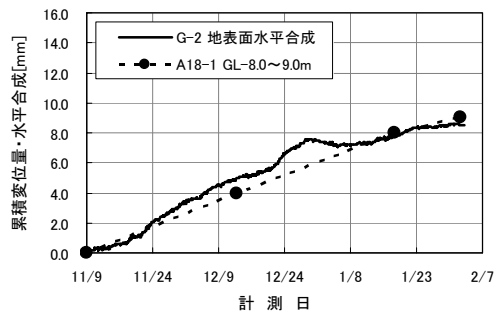


図-7 GPS・G-2 と孔内傾斜計 A18-1 の比較図

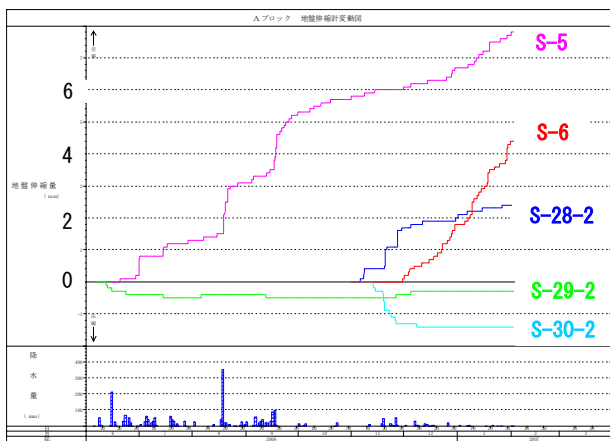


図-8 伸縮計変動図

4.2 伸縮計と GPS の計測結果比較

伸縮計は、G-1 の近傍に S-28-2、S-29-2、S-30-2 が、また、G-2 の数 10m 上方に S-6 が設置されている。それら伸縮計の変動図を図-8 に示す。

伸縮計と GPS はやや離れているため直接の比較は難しいが、伸縮計の変位量は GPS や孔内傾斜計に比較してかなり小さな値を示しているのが特徴である。これは従来から指摘されている①伸縮計はインバー線方向の一次元変位計測である、②伸縮計の方向がすべり方向に完全には一致しない、③高さ方向の変位が計測できない、④固定側の杭も変動していることが多い等々の理由によると思われる。

5. まとめ

現時点では、まだ GPS の計測期間が短く、地すべり活動が活発になる梅雨期・台風期の計測は今後の課題である（発表時には梅雨期の計測結果は報告できる）。今後、少なくとも計測開始から 1 年以上は計測を継続し、当該 GPS システムの長期安定性や孔内傾斜計・伸縮計との比較結果等について報告する予定である。以下に、現時点でのまとめを列挙する。

- ① 地すべり地表面の変位計測は、従来から、光波測量による移動杭観測を行うことである程度可能であったが、ターゲットまでの見通しや計測手間、計測費用、高精度の常時確保が難しい、降雨時や夜間の計測ができない等々の問題があった。GPS 自動計測は、天候や昼夜に関わらず連続的に高精度な三次元計測ができるため、変位量、変位速度、変位方向の把握が容易で地すべり地表面計測として非常に有用である
- ② 長者地すべりのように、分化が進んだ活動性地すべりでは、ブロックを跨ぐ伸縮計の変位は 2 点間の相対変位を計測することとなり、地表面の絶対変位を計測していない。このような場合には GPS 計測が適しており、逆に、GPS 計測結果から伸縮計の設置位置の選定や結果の解釈を行うことも有効である
- ③ 孔内傾斜計によるすべり面変位と GPS による地表面変位の相関性を調査検討して、GPS 計測値の管理基準値案を提案することは有意義である
- ④ また、GPS 計測値とすべり面変位の相関性が明らかになれば、変位が大きく孔内傾斜計が短期間で計測不能となる場合には、GPS 計測による地表面絶対変位の連続計測で孔内傾斜計の一部代替が可能となりコスト的にもメリットがある

<参考文献>

- 1) 全国地すべり対策協議会：長者地すべり，地すべり記録集，NO. 6，1972 年 3 月。
- 2) shamen-net 研究会：shamen-net 研究会・GPS 自動計測システム，平成 18 年度地すべり学会研究発表会新技術紹介セッション，2006 年 8 月
- 3) 清水則一，安立 寛，小山修治：GPS 変位モニタリングシステムによる斜面変位計測結果の平滑化に関する研究，資源と素材，Vol. 114，pp. 397-402，1998 年 6 月。
- 4) 松田浩朗，安立 寛，西村好恵，清水則一：GPS による斜面変位計測結果の平滑化処理法と変位計測予測手法の実用性の検証，土木学会論文集，No. 715/III-60，pp. 333-343，2002 年 9 月