

# 多雪地域におけるGPS移動量観測用 二重管式支柱の提案と適用

中里裕臣\* 鈴木尚登\* 寺田 剛\*\*

\*企画管理部

\*\*東北農政局庄内あさひ農地保全事業所

キーワード：大規模地すべり，地表変位，融雪期，積雪期

## I 緒言

多雪地域におけるGPSを用いた地すべり地表変位の連続観測では、積雪に対し十分な支柱高を確保する必要があるが、積雪のクリープに伴う横圧等により支柱が傾動し、見かけの変位が生じる問題がある。そこで、積雪に接する外管と、受信機を支え直接積雪に触れない内管からなる二重管式支柱と、測位点は地表の標点として支柱の傾動による見かけの変位を確認・補正できる構造のGPS観測点を山形県鶴岡市の七五三掛地すべりに設置し、冬期の地表変位連続観測を試みた。本報告では冬期の観測結果と地中変位観測結果との比較に基づき、本手法の有効性を報告する。さらに、大規模地すべりブロックの中央部における地表・地中変位観測結果との比較により明らかになった大規模地すべりブロック末端部の変位の特徴について述べる。

## II 従来の観測手法の課題

### 1 GPS以外の観測手法

多雪地域における地すべりでは、従来融雪期の変位が問題視されてきたが、近年では地中変位計測の自動化により積雪期にも変位が生じる例が報告されている(松浦, 2004など)。このため、災害に直結する地表変位を積雪がある状態でも観測できる手法の確立が必要となっている。



Fig.1 地表伸縮計の雪囲いの例 (七五三掛地区)  
Example of a shield to protect a surface extensometer from snow

る。

代表的な地表変位観測手法である移動杭観測は、観測毎に観測点の除雪が必要であり、積雪期の実施は困難である。2点間の変位をインバー線(低熱膨張率ニッケル鋼線)の伸縮量として観測する地表伸縮計では、計測システム全体を地中に埋設したり、雪囲いで覆うことにより通年観測を実施している例がある(Fig.1)。さらに、インバー線の代わりに剛性と柔軟性を併せ持つ炭素繊維複合材ケーブルを用いて地表面に沿った屈曲設置を可能にし、雪囲いを不要としたシステムも開発されている(大川ら, 2007)。しかし、これらの伸縮計では移動方向の変化には対応できず、特に従来型の地表伸縮計では観測区間が長くなると、設置および維持管理が困難となる。

### 2 GPSによる観測手法

GPSによる地表変位観測は、各観測値に±5mm以上の水平誤差が含まれる短所があるが、変位量・変位方向に制限がない、自動観測化が容易などの長所があり、大規模地すべりの監視を中心に適用が進んでいる(中里・奥山, 2010など)。積雪期、融雪期における本手法の適用では、移動杭観測同様に観測毎の機器設置が困難であることから、GPS受信機を観測点に常設する連続観測が基本となる。連続観測では時系列データの平滑化処理により測位誤差を低減できる利点がある(松田ら, 2002)。

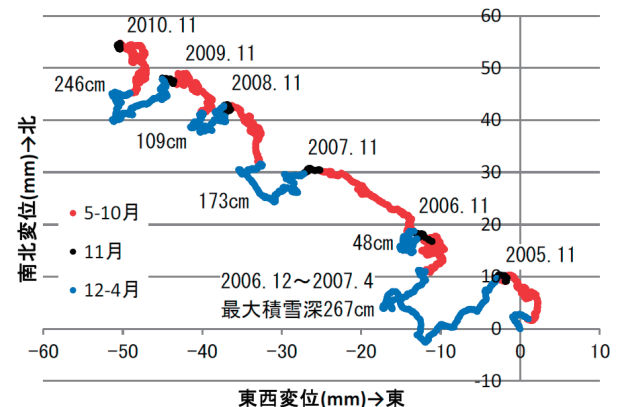


Fig.2 GPS観測による水平変位に対する積雪の影響の例  
Effect of snow for horizontal displacement by GPS measurement



Fig.3 七五三掛地区におけるGPS観測局の例  
Examples of GPS observation stations in the Shimekake district

先にも述べたとおり、GPS受信機の現地常設では、積雪に対し十分な支柱高を確保する必要があるが、積雪のクレープに伴う横圧等により支柱が変形し、見かけの変位を生じる問題がある。Fig.2は、新潟県上越市の釜塚・段子差地すべり地におけるGPSによる地表変位観測結果の例で、支柱は高さ3.5mの125A鋼管（外径139.8mm厚さ4.5mm）である。この図では、2005年から2010年までの水平変位ベクトルを示しており、積雪期前の各年11月のデータは北西方向への累積変位を示す。しかし、12月から翌年4月にかけては上記の移動方向に不調和な回帰的な変位を示す。回帰的な変位の大きさは、近隣の気象観測所におけるその年の最大積雪深の大きさに調和していることから、この変位は積雪の影響により支柱が南西方向に傾動し、融雪とともに元に戻る見かけの変位であると考えられる。このような見かけの変位を生じさせないために、農林水産省農村振興局農村環境課（2011）は、一般的な支柱の径100mmに対し、豪雪地域では径200mmが必要であるとしている。後述する直轄地すべり対策事業庄内あさひ地区（地すべり防止区域七五三掛地区）では、高さ3mの100A鋼管（外径114.3mm厚さ4.5mm）の上部に0.6mの40A鋼管（外径48.6mm厚さ2.3mm）を接続したものを支柱とし、周囲の単管パイプ製の槽にコンパネや屋根を取り付け、槽外の積雪の影響が支柱に伝わり難くした構造を採用している（Fig.3）。

また、国土地理院では電子基準点や火山監視用GPS観測点について、レドームの小型化や超撥水塗料塗布による着雪軽減や二重管支柱による日射変動の影響軽減などの冬期対策が行われている（測地観測センター，2004；小清水ら，2006）。

### Ⅲ 二重管式GPS支柱

今回試作した二重管式GPS支柱は、3.5mの80A鋼管（外径89.1mm厚さ4.2mm）を内管として、この上部にGPS受信機を設置し、この内管を長さ1mの250A鋼管（外径267.4mm厚さ6.5mm）を下側、長さ1.5mの150A鋼管（外径165.2mm厚さ5mm）を上側としてつなぎ合わせた外管で保護する構造である（Fig.4）。内管と外管は直接接しておらず、隙間幅は外管上部で33mm、基礎部の溝形

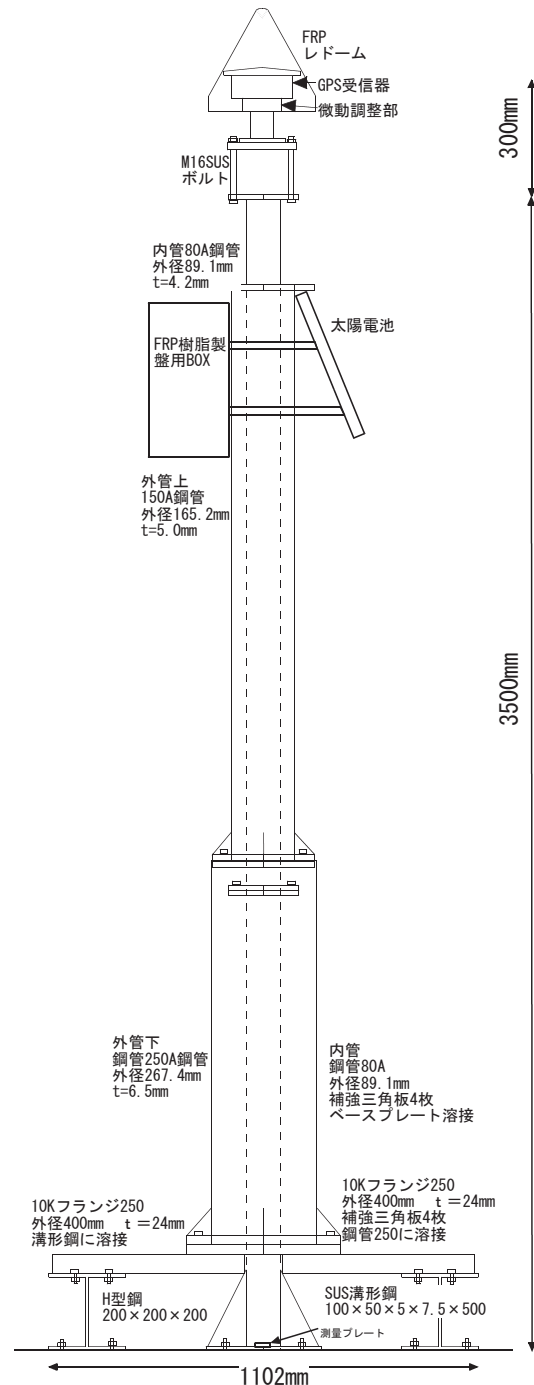


Fig.4 二重管式GPS支柱外観図  
Exterior view of double tube type GPS pillar

鋼部分で5mmである。受信機を収納するレドームは水平粗調整を兼ねたボルトで内管上面に接続され、内部には微動調整部を備えている。これらの調整部によりGPS受信機はベースプレート上の標点上に致心することができ、地すべり活動により支柱全体に傾動が生じても、補正が可能である（中里ら，2008）。通信制御機器を納めた盤用ボックスおよび太陽電池パネルは外管に固定した。なお、内管、外管ともに、輸送と組み立てを考慮して2分割できる構造である。

基礎は無筋コンクリート製で、外管の基礎は内管の基礎の外側に碎石を介し分離して配置した。内管は底部に

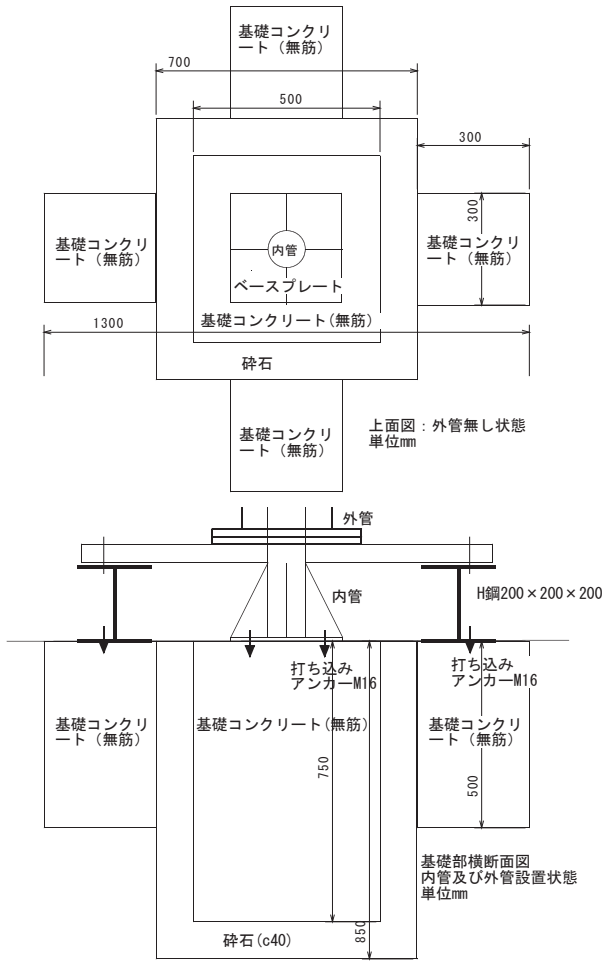


Fig.5 基礎部上面図および断面図  
Top view and cross section of foundation

溶接したベースプレートを中央の基礎コンクリートにアンカーボルトにより固定した。外管は底部のフランジに溶接した4本の溝形鋼とスペーサーとしてのH型鋼を介して外管用基礎に載せており、外管が雪圧等の応力を受けた場合でもその影響が内管に伝わり難くした (Fig.5)。

#### IV 観測方法および結果

##### 1 試験地および観測方法

試験地は山形県鶴岡市七五三掛地すべり地のD-1ブロック末端部のGPS10地点である (Fig.6)。GPS基準点はGPS10地点の南南西756mの国道112号線沿いに位置し、GPS基準点に対するGPS10地点の標高差は+59mである。GPS10地点では40W太陽電池パネル2枚と12V34Ahの鉛シールバッテリーを電源とし、古野電気製一周波型GPS受信機MG21を用いた連続観測を行っている。観測データについては、低価格ノートPCを通信制御装置として、受信機からのダウンロードと携帯電話回線を用いたつば市の農林水産研究情報総合センター内のFTPサーバへのアップロードを6時間毎に自動で行っている。GPS基準点のデータは東北農政局庄内あさひ農地保全事業所による斜面ネットGPS観測網より上記FTPサーバに提供を

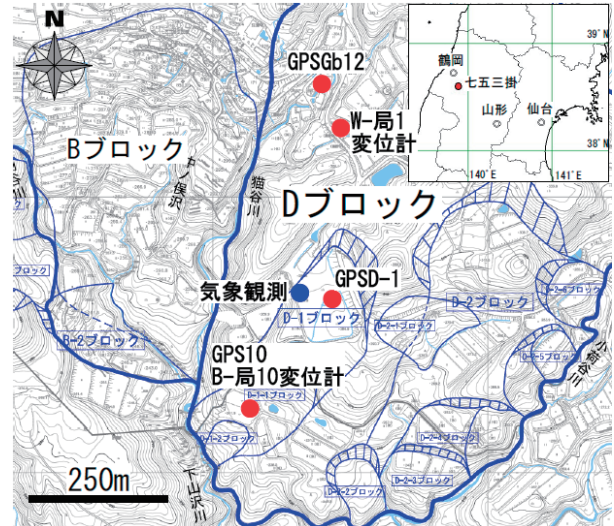


Fig.6 調査位置図  
Index map

受け、これらのデータを随時ダウンロードして、基線解析および変位計算を行っている。GPS10地点の変位データには、6時間データ (0~6時, 6~12時, 12~18時, 18~24時) の基線解析結果について、前2点、後2点のデータを用いた移動平均により平滑化を行った。比較に用いた斜面ネットGPS観測網の変位データは、古野電気製一周波型GPS受信機MG3112により観測されており (岩崎ら, 2011)、ここでは斜面ネットホームページからダウンロードした1時間データの基線解析結果の6時間分の平均値 (0~6時, 6~12時, 12~18時, 18~24時) について、GPS10と同様に前2点、後2点のデータを用いた移動平均により平滑化を行った。

GPS10地点の地表変位観測は、同地点のB-局10ボーリング孔に埋設したワイヤレス地中変位計 (地中伸縮計+パイプひずみ計: 中里ら, 2012) との比較のため、2010年4月15日に測量用三脚を支柱として開始した。受信機地上高が約1.3mであり積雪下での観測が不可能なため、2010年度の冬期は機器を撤収し、融雪後の2010年5月に再開した。二重管式支柱による観測は2011年12月18日から開始した。

##### 2 二重管式支柱による観測結果と考察

Fig.7は2011年12月18日から2012年6月1日までのGPS10 (D-1ブロック末端) およびGPSD-1 (D-1ブロック上部), GPSGb12 (Dブロック) 観測局 (Fig.3) の観測結果である。GPS10およびGPSGb12では近傍の地中変位観測結果も併記した。

GPS10では、12点 (Fig.7の①~⑫) の短期的な変位もしくは欠測が認められる。これらのうち⑤と⑩の欠測は、受信機-PC間のシリアル通信エラーによるものである。⑥の期間ではGPSD-1とGPSGb12で欠測となっており、各点で⑥の期間の前後で5mm程度東への変位が認められる。これは国道の除雪の影響でGPS基準点に

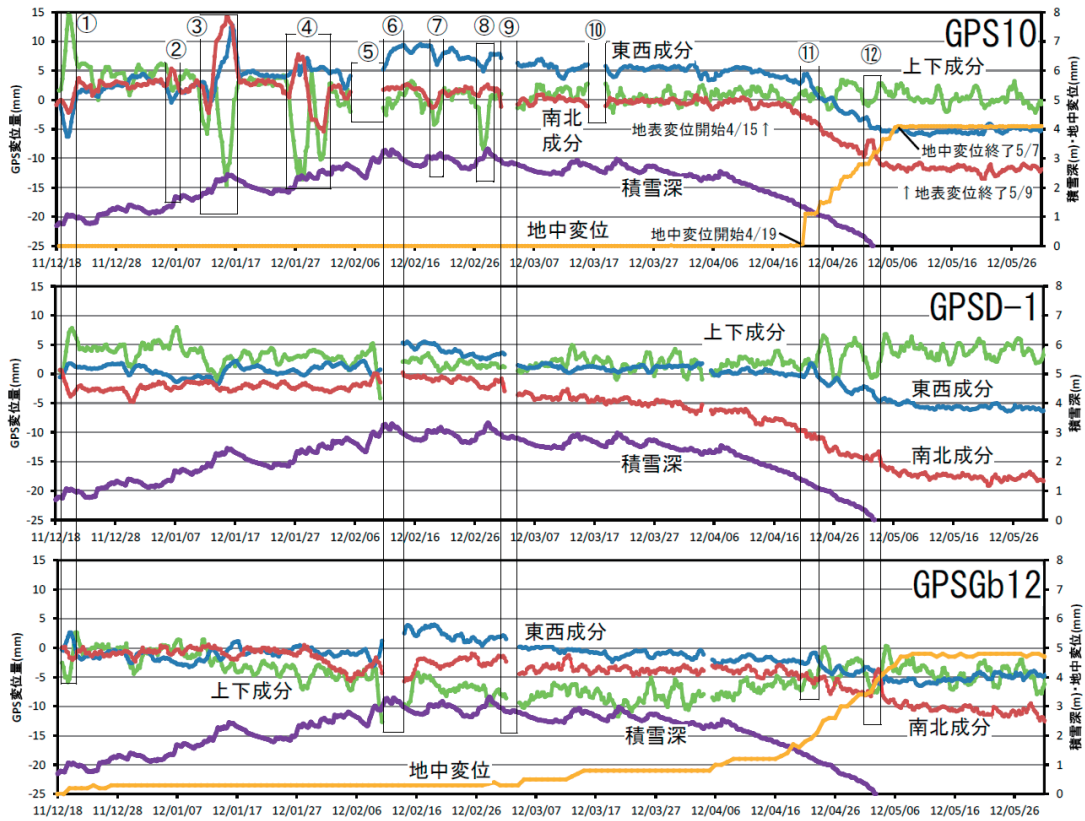


Fig.7 GPS10, GPSD-1およびGPSGb12観測点における地表、地中変位観測結果  
Surface and subsurface displacement at GPS10, GPSD-1 and GPSGb12 stations

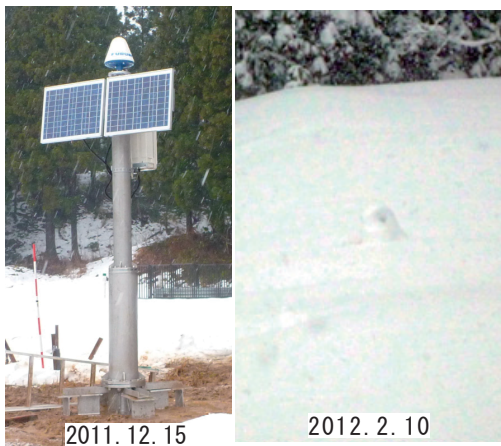


Fig.8 現地状況 (GPS10)  
Photographs of site situation (GPS10)

変位が生じたことが原因である。⑨の欠測は各点での基線解析不能によるものである。GPS10にのみ認められる②～④、⑦、⑧の短期的変位は、積雪深の増大期に生じており、特に③の変位は受信機への着雪を除去することで終了しているため、これらは受信機への着雪の影響と判断される。2012年2月10日にはGPS10点で高さ約4mのレドーム頂部まで雪にほぼ埋没しているのを確認しており (Fig.8)、GPS10点では観測値約3mの気象観測点より積雪深が大きい。このため、⑦、⑧の変位も受信機の埋没によるものと考えられる。①の変位は各点に認められることから、GPS基準点での着雪の影響と考えられる。⑪の東西成分と⑫の南北変位の異常変位は各点

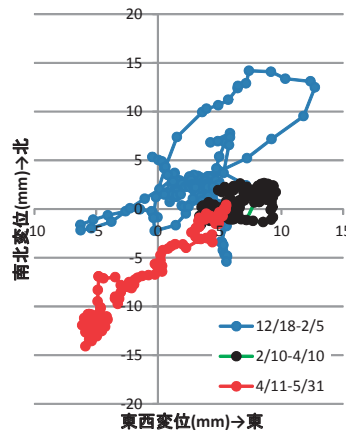


Fig.9 GPS10における水平変位ベクトル  
Horizontal displacement vector at GPS10

に認められ、原因は不明であるが、GPS基準点に起因するものと考えられる。一方、各点ともに4月中旬から5月上旬にかけて南西方向への累積的な水平変位を示す。GPS10では支柱傾動による受信機の致心誤差も認められなかったことから、これらの変位は融雪期の実変位と解され、B-局10およびW-局1における地中変位データとも調和する。

以上の変位に関する考察から、GPS10の水平変位を観測開始～2012年2月5日、2月10日～4月10日、4月11日～5月31日に区分して Fig.9 に示す。今回試作した二重管式支柱では低温で積雪深増大期である12月から1月末にかけては受信機への着雪、積雪への埋没等の影響が

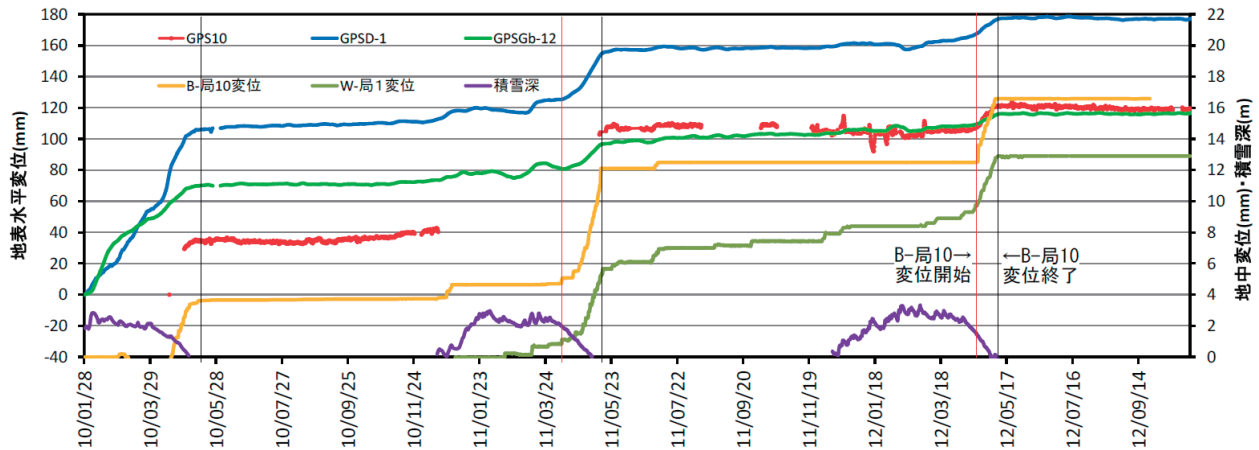


Fig.10 地表水平変位・地中変位データの比較 (Dブロック)  
Comparison of surface and subsurface displacement data (D block)

見られるが、2月以降はFig.2に示されるような支柱の傾動を示すような変位は認められず、4月以降は南西への累積的な変位が計測されており、特に重要な融雪期の変位を正確に捉えられたと判断できる。

### 3 通年観測データに基づく七五三掛Dブロック変位の特徴

変位速度の変化に着目してFig.7の融雪期変位期間を詳しく見ると、D-1ブロック末端のGPS10では4月15日～5月9日、B-局10の深度26.7mのすべり面を対象とした地中伸縮計データ(測定区間GL-22-27m)では4月19日～5月7日とほぼ同期している。この期間の地表変位17mmに対し、地中変位は4mmとオーダーが異なることについては、せん断面の厚さの影響で地中伸縮計の観測値が小さく出ているためと考えている(中里ら, 2012)。これに対し、D-1ブロック上部のGPSD-1およびDブロックのGPSGb12における地表変位期間は開始時期が不明瞭であるが、4月上旬～5月上旬とみられ、終了時期はGPS10と一致するものの、開始時期は早い。W-局1の深度108mのすべり面を対象とした地中伸縮計データ(測定区間GL-106-109m)でも変位期間は4月5日～5月7日とGPSGb12の地表変位と同期している。

変位終了は各点ほぼ同時であるが、変位開始はD-1ブロック末端で、より斜面上方の点から遅れる傾向は、GPS10の地表変位データはないもののB-局10の地中変位と他のデータとの比較により、2011年の融雪期にも認められ、2010年の融雪期の変位終了も各点ほぼ同時である(Fig.10)。さらに2011年5月～2012年1月のDブロック本体では、主に2011年6月下旬の大雨と12月の小融雪に対応し、地表、地中ともに累積的な変位が認められるが、D-1ブロックではその傾向は認められない。二重管式支柱の採用等により積雪・融雪期の地表変位を精度良く長期的に観測し、場所による変位開始時期の違いを把握することによりブロック間の押し引き等の関係が判明する可能性が高い。なお、2012年5月以降は全デー

タで顕著な変位が認められない。これは、融雪期の移動量も年々減少していることと併せ、ディープウェルなどのDブロックにおける地下水排除対策の効果が徐々に発現していることを示しているものと考えられる。

## V 結 言

多雪地域での地すべり観測で重要な融雪期の地表変位をGPSによって求めるための二重管式支柱を考案し、山形県鶴岡市の七五三掛地すべり地において冬期運用の結果、融雪期に捉えられた変位は近傍の地中伸縮計変位と同期しており、移動方向はブロック全体の移動方向と調和し、支柱傾動の影響も認められなかったことから、その有効性を確認できた。通年観測の結果、D-1ブロック末端における地表・地中変位は同期して開始・停止するが、他の場所に対し変位開始時期が遅れる傾向を把握できた。今回の試作支柱では積雪への埋没が生じたため、受信機位置をさらに高くする必要があるが、そのためには内管の径を大きくして剛性を増す必要がある。

謝辞：新潟県および北陸農政局には釜塚・段子差地すべり地のGPS観測データを提供いただいた。株式会社大栄および東北農政局庄内あさひ農地保全事業所の関係各位には、二重管式支柱の設置およびGPS観測局の保守にご協力いただいた。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 岩崎智治・荒川隆嗣・中里裕臣・増成友宏・清水則一(2011): GPSを主体とした大規模地すべり発生時の計測システムの構築, 日本地すべり学会誌, 48, 100-106
- 2) 小清水寛・石倉信広・雨貝知美・根本盛行・岩田和美・山田晃子・沼川邦男・志茂久男(2006) 浅間山周辺に設置された機動観測点の障害要因の究明と対策について, 国土地理院時報, 109, 55-63
- 3) 増成友宏・清水則一(2007): GPSによる地盤変位計測に

- おける気象の影響の補正方法の検討, 土木学会論文集F, 63, 437-447
- 4) 松田浩朗・安立寛・西村好恵・清水則一(2002): 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, 715/Ⅲ-60, 333-343
- 5) 松浦純生(2004): 積雪地帯における降水の到達過程と地下水および地すべりの挙動(その3), 地すべり技術, 30(3), 12-22
- 6) 中里裕臣・井上敬資・阿部栄一・高木圭介・増成友宏・武地美明(2008): GPSによる地すべり移動量観測における留意点, 日本地すべり学会誌, 44, 393-399
- 7) 中里裕臣・奥山武彦(2010): 大規模破砕帯地すべりにおけるGPS移動量観測システム, 地盤工学会誌, 58, 634-635
- 8) 中里裕臣・田頭秀和・鈴木尚登・寺田剛・遠目塚良一・樋口佳意(2012): ワイヤレスセンサによる大規模地すべり挙動監視-孔内型地中変位計の特性-, 第51回日本地すべり学会研究発表会講演集, 175-176
- 9) 農林水産省農村振興局農村環境課(2011): 地すべり監視体制構築の手引き-地すべり地の安全・安心のための効率的な地すべり監視体制-, 100p
- 10) 大川滋・齊藤浩之・板東和郎(2007): 炭素繊維複合ケーブルを用いた地表伸縮計について, 第46回日本地すべり学会研究発表会講演集, 219-222
- 11) 測地観測センター(2004) 電子基準点1,200点の全国整備について, 国土地理院時報, 103, 1-51

---

受理年月日 平成24年12月10日

## **Proposal and Application of Double Tube Type GPS Pillar for Surface Displacement Monitoring in Heavy Snow Area**

NAKAZATO Hiroomi, SUZUKI Hisato and TERADA Takeshi

### **Summary**

It is important to observe the surface displacement of the melting of snow period for the landslide research. We designed, and made the double tube type GPS pillar to measure the surface displacement of the melting of snow period for trial purposes. Because of the operation of the trial product in winter at Shimekake landslide, Tsuruoka city, Yamagata Prefecture, surface displacement which was synchronized to the subsurface extensometer displacement was obtained. The movement direction harmonized with the movement direction of the whole landslide block. Because the tilt of the pillar had not been admitted, the effectiveness of the trial product was able to be confirmed. Surface and subsurface displacements in the toe of the D-1 block were begun, and stop at the same time as a result of the continuous observation over winter. And it was understood that the beginning of movement tended to delay in this place compared with other areas. As the GPS receiver was buried in the snow in this trial pillar, it is necessary to raise the receiver location further. At this time, we should enlarge the diameter of the inner tube and increase the rigidity of that.

**Keywords** : large-scale landslide, surface displacement, snow melting period, snow season