

傾斜センサーを用いた地すべり監視の有効性とパイプ歪計との比較

中央開発株式会社 ○オオヤマ エンリック セイジ, 藤谷 久 長崎大学大学院 杉本 知史

1. はじめに

近年、異常気象に起因する豪雨により、日本全国の至るところで土砂災害が頻発している。このような背景のもと、斜面の安定度をリアルタイムで把握できるモニタリングの需要が高まっている。斜面モニタリングは地表計測と地中計測とに大別でき、前者は主にがけ崩れ等の表層崩壊を対象とし、計測器はその滑動度を把握することを目的として地盤伸縮計や傾斜センサーが用いられる。一方、後者は主に地すべりを対象とし、計測器はその滑動度さらにはすべり面深度を把握することを目的として孔内傾斜計やパイプ歪計が用いられる。孔内傾斜計やパイプ歪計はボーリングを伴うため高価であるが、それに対し特に傾斜センサーは設置が簡便で安価であるとともに、地盤伸縮計と比較して亀裂や段差等の地表変状の有無に左右されず設置できるという利点がある。また、傾斜センサーは傾斜角速度の変化に着目し、表層崩壊の予兆を数時間前から捉えることができることから表層崩壊の検知に適しているという多くの報告がある¹⁾²⁾。一方ですべり面深度が深くブロックの規模が大きい地すべり地では傾斜センサーの適用例は少ないことから、本稿ではその有効性を検証するとともに、パイプ歪計観測結果と比較検討することでその適用可能性を評価した。

2. 調査地の概要

本調査地点の当該地すべりは、豪雨時には既存の4孔のパイプ歪計（ブロック上部から末端部にかけて BV-5→BV-2→BV-1→BV-4（図-1））にて変動種別 B～C（表-2）を確認している。本地点のすべり面傾斜がおよそ15°と緩やかであり、現在も滑動しているブロックである。

既存調査によると、調査地は古生代の黒色片岩と新生代新第三紀の玄武岩の上位に第四紀の凝灰岩、さらにその上位には崖錐堆積物が被覆している（図-2）。

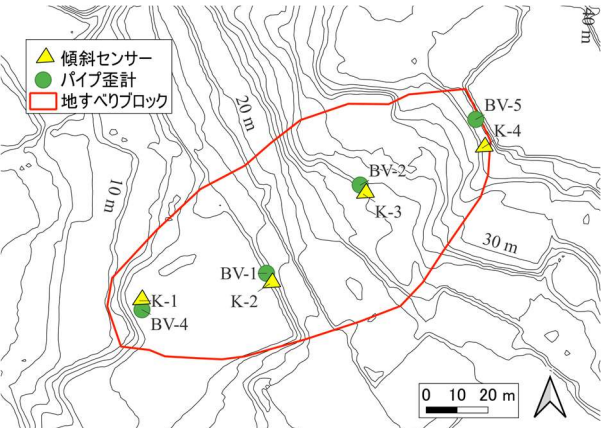


図-1 1m 間隔の等高線地図上。標高は、国土地理院（GSI）の1m 解像度の DEM データから抽出。

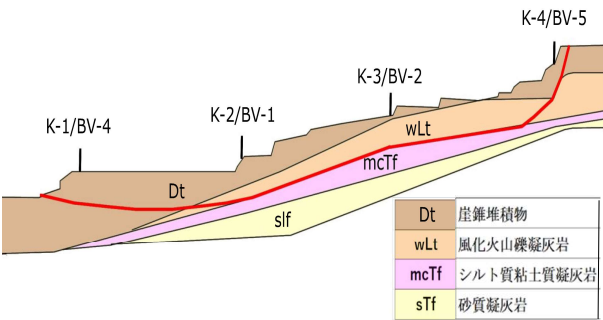


図-2 地質断面図と地すべりブロック断面図

3. 傾斜センサーによるモニタリング方法

傾斜センサー（K-1～4）は、2軸方向が測定可能な中央開発株式会社製のものを使用し、既存パイプ歪計との挙動を比較検討することを目的として、パイプ歪計の近傍の地表面下 GL-0.5m にそれぞれ設置した（図-1）。また、現地には簡易雨量計も設置し、地すべり挙動と降雨との関係の把握に用いた。なお、これらの傾斜センサーと簡易雨量計の計測は10分間隔でデータを取得し、そのデータは携帯電話回線を用いてリアルタイムでのモニタリングが可能な体制を構築した。傾斜センサーの管理基準は傾斜角速度に着目した3段階とし（表-1）、各基準値を超過した際には予め登録した関係者へメールを配信するようにした。また、パイプ歪計は半自動として1日間隔でデータを取得した。表-2に月変動のパイプ歪計変動種別を示し日単位の変動に変換した値も併記した。

表-1 傾斜センサーによる管理基準値²⁾

傾斜センサー 警報レベル	
警報レベル1	0.05/5時間
警報レベル2	0.1/1時間
警報レベル3	1.0/1時間

表-2 パイプ歪計の変動種別³⁾

パイプ歪計の 変動（以上）		
変動C	100 μ/月	3 μ/日
変動B	1000 μ/月	33 μ/日
変動A	5000 μ/月	167 μ/日

4. モニタリング結果

傾斜センサーは、大別すると計測期間中には6期間（イベント）にて、まとまった降雨に反応した。そこで、イベントごとに傾斜センサーの挙動とそれに対応するパイプ歪計の挙動を比較検討した。

(1)傾斜センサーの管理基準値の超過

多くのイベントにて警戒レベル1は超過し、一部警戒レベル2も超過したものの、警戒レベル3は超過しなかった(表-3)。

(2)傾斜センサーとパイプ歪計(深度 GL-0.5m)との比較検討

傾斜センサーの挙動と深度 GL-0.5m のパイプ歪計の挙動を比較すると、傾斜センサーの X 軸(すべり方向)の挙動のトレンド(軌跡)はパイプ歪計の挙動のトレンドと概ね近似しているように見える(図-3)。

(3)傾斜センサーとパイプ歪計との比較検討

表-3には、各センサーの基準値に基づいて検出された動きが示されている。傾斜センサーにおける警戒レベルと、パイプ歪計によって識別された変動種別を整理し、両者の検出結果を比較した。その結果、すべり面深度ごとのパイプ歪計の挙動と傾斜センサーの挙動には完全な一致は認められなかったものの、傾斜センサーに動きが検出された際には、パイプ歪計においても地すべりブロックの変位が確認された。

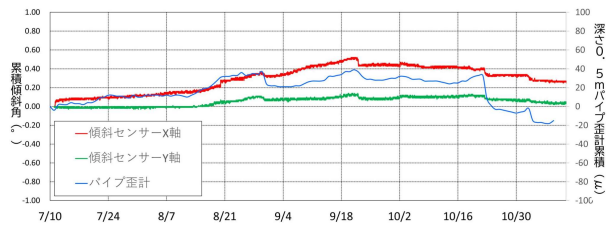


図-3 K-1傾斜センサーとBV-4パイプ歪計との計測結果比較図

表-3 イベントごとの傾斜センサーによる管理基準値超過とパイプ歪計変位との関係

イベント番号	イベント時期	日降水量(mm)	最大の土壌雨量指数(mm)	計測器	地すべり 未端部側 ← → 冠頭部側			
					番号	K-1	K-2	K-3
イベント①	7月11日	55.2	19.3	傾斜センサー	番号	K-1	K-2	K-3
					警戒レベル1超過	○	×	○
					警戒レベル2超過	×	×	×
				パイプ歪計	番号	BV-4	BV-1	BV-2
					変動C	×	×	×
					変動B	×	×	×
イベント②	7月14日	101.2	109.8	傾斜センサー	番号	K-1	K-2	K-3
					警戒レベル1超過	×	○	×
					警戒レベル2超過	×	×	×
				パイプ歪計	番号	BV-4	BV-1	BV-2
					変動C	×	○	○
					変動B	×	×	×
イベント③	8月19日	21.0	23.5	傾斜センサー	番号	K-1	K-2	K-3
					警戒レベル1超過	○	×	○
					警戒レベル2超過	×	×	×
				パイプ歪計	番号	BV-4	BV-1	BV-2
					変動C	×	×	○
					変動B	×	×	×
イベント④	8月30日	13.4	40.6	傾斜センサー	番号	K-1	K-2	K-3
					警戒レベル1超過	×	×	○
					警戒レベル2超過	×	×	×
				パイプ歪計	番号	BV-4	BV-1	BV-2
					変動C	×	×	○
					変動B	×	×	×
イベント⑤	9月22日	17.0	31.7	傾斜センサー	番号	K-1	K-2	K-3
					警戒レベル1超過	○	○	○
					警戒レベル2超過	×	×	×
				パイプ歪計	番号	BV-4	BV-1	BV-2
					変動C	×	×	○
					変動B	×	×	×
イベント⑥	10月22日	26.6	39.5	傾斜センサー	番号	K-1	K-2	K-3
					警戒レベル1超過	○	×	○
					警戒レベル2超過	×	×	×
				パイプ歪計	番号	BV-4	BV-1	BV-2
					変動C	×	○	○
					変動B	×	×	×

5. 結論

前記した様に、深度 GL-0.5m のパイプ歪計の挙動と傾斜センサーの挙動は概ね近似したトレンドを示すものの、すべり面深度のパイプ歪計の挙動と傾斜センサーの挙動は完全一致ではなかった。この要因としては、地すべりブロックの土塊は一体となって滑動しておらず、様々な挙動を示す個々の小ブロックとして滑動し、最終的にはそれらが集合体として概ね一定方向に滑動するものと想定される。事実、必ずしもすべり面深度のパイプ歪計の変位が全孔で確認されていないことは注目すべき点である。

本研究の結果、傾斜センサーは地すべり地ブロックの動きにおいても一定の有効性を示すことが判明した。ただし、傾斜センサーやパイプ歪計等の各計測機器の選定には、それらの特性と限界を十分に理解した上で適切に運用する必要がある。

6. さいごに

本研究では、急激な地盤変動を想定した傾斜センサーのアラートレベルを基準に比較を行った。今後は、他の幾つかの地すべり地においての適用性を検討するとともに、地すべりブロック内での設置位置の相違による傾斜センサーの挙動の特性(例えば、地すべりブロック冠頭部は鉛直変位、また中央部では水平変位が優位なため傾斜角度の変化が検出しづらいのに対し、末端部では圧縮域に位置することから押し出し性の挙動を受ける、つまり傾斜角度の変化を検出しやすい)を把握することで、傾斜センサーの適切な設置位置の選定が可能になると考える。

7. 謝辞

本研究の実施においては、長崎県県北振興局建設部の方々から、調査および計測結果をご提供いただきました。また、本研究では、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の研究助成を受けて実施しています。ここに謝意を表します。

《引用・参考文献》

- 1) Uchimura T, Towhata I, Wang L, Nishie S, Yamaguchi H, Seko I and Qiao JP (2015) Precaution and early warning of surface failure of slopes by using tilt sensors. Soils and Foundations. Vol. 55, No. 5:1086-1099.
<https://doi.org/10.1016/j.sandf.2015.09.0101>
- 2) Wang, Lin, et al. "Risk evaluation and warning threshold of unstable slope using tilting sensor array." Natural Hazards 114.1 (2022): 127-156.
- 3) 藤原明敏：地すべりの解析と防止対策，理工図書，p. 222 979.