

地盤伸縮計、傾斜センサー及び ネットワークカメラによる被災斜面の監視事例

A CASE OF SLOPE DISASTER MONITORING USING EXTENSOMETER,
TILTSENSOR AND WEB-CAMERA

藤谷 久¹・山口 弘志²

Hisashi FUJITANI, Hiroshi YAMAGUCHI

¹ 中央開発株式会社 九州支社（〒814-0103 福岡県福岡市城南区鳥飼6-3-27）

E-mail: fujitani@ckcnet.co.jp

² 中央開発株式会社 本社 防災モニタリング事業部（〒169-8612 東京都新宿区西早稲田3-13-5）

E-mail: yamaguchi.h@ckcnet.co.jp

Key Words: slope, extensometer, tiltsensor

1. 概要

国内では豪雨等による斜面災害が頻発している。これに対して、斜面の変動を監視するシステムが多く開発されているが、地表変位を測定する地盤伸縮計や地盤傾斜計、地中変位を測定する挿入式孔内傾斜計やパイプ式歪計等の観測は、設置・観測費が高価で且つ計測器が複雑で、設置に時間と手間を取るものが多い。著者らは、経済性(安価)・作業性(設置容易)の観点から、計測器や監視システムの開発を行い、様々な地点での測定を行うことでシステムの有用性を検証し、改善を重ねている。今回、九州地方における自治体管理の国道の被災斜面を監視する機会を得て、その一環として、監視システム並びに早期警戒警報発令システムの開発・改善に有用なデータを得ることができたので、その事例を報告する。

2. 災害の経緯

平成23年7月の豪雨に伴い、図-1及び図-2に示すように、国道に面する凸状尾根部の法面が幅50m、奥行き20m、深さ2mの規模で崩壊し、崩積土が道路を閉塞した。また、崩壊背後地では、幅60m、奥行き60m、深さ15mの規模の崩壊性地すべりの分布を

確認した。当該地には、中生代後期白亜系の花崗岩が分布し、調査の結果、地中15~20m程度の深さまでの風化進行が判明した。

一方、現地の斜面状況は、冠頭部から中腹部にかけて、今回の滑動により形成された開口亀裂の他に、今回の滑動よりも古い時期に形成されたと推察される開口亀裂の散在も確認した。また、比高差3m程度の滑落崖に着目すると、滑落面の新鮮度の差異より、当該滑落崖は今回の滑動に起因して一度に形成されたものではなく、過去から断続的に形成されたものであると判断した。従って、当該崩壊性地すべりは、昔から僅かながらに滑動していたと推察される。

これを受けて、当該地すべりの発生機構は、まず背後地の崩壊性地すべりが滑動し、その結果末端部に位置する法面がこの滑動力を受け、押されたことで崩壊したものと考えられる。

なお、災害後の方針として、崩壊背後地の崩壊性地すべりに対する十分な応急対策工(排土工または押え盛土工)の早期施工は、現地状況を鑑み、困難であることから、斜面監視システムによる24時間遠隔監視と仮設防護柵工等の設置を施することで、全面通行止めの解除を行い、片側交互通用による部分開通とした。斜面監視システムによる24時間遠隔監視は、復旧工事完了まで継続予定である。

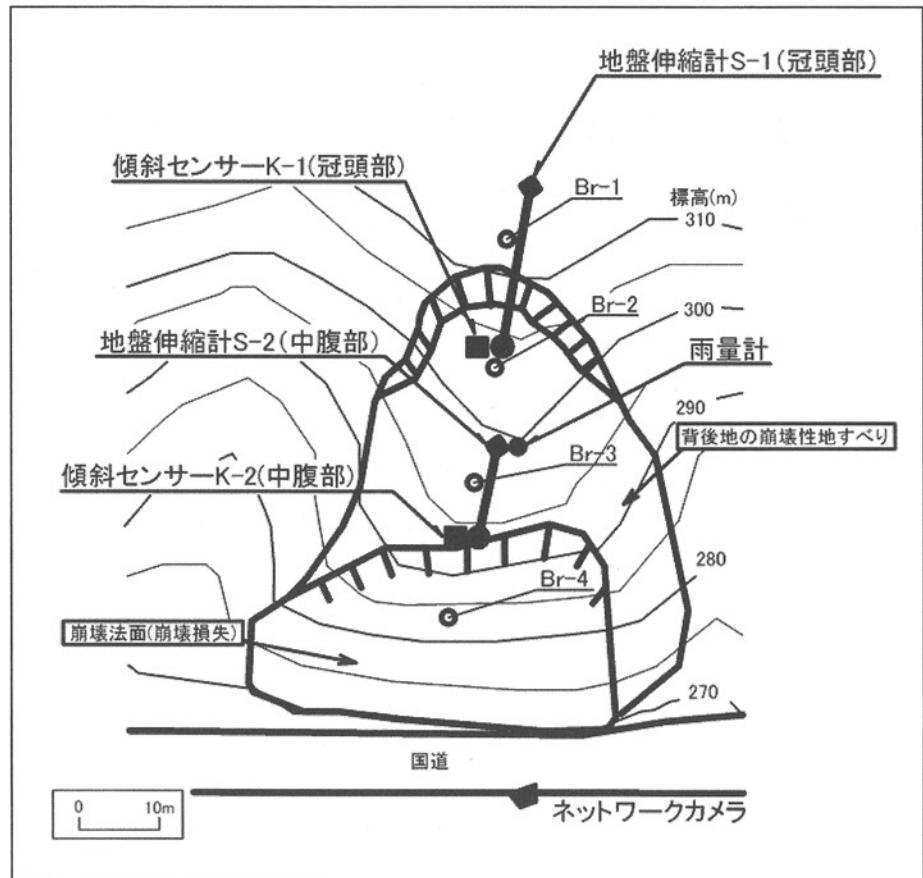


図-1 当該平面図

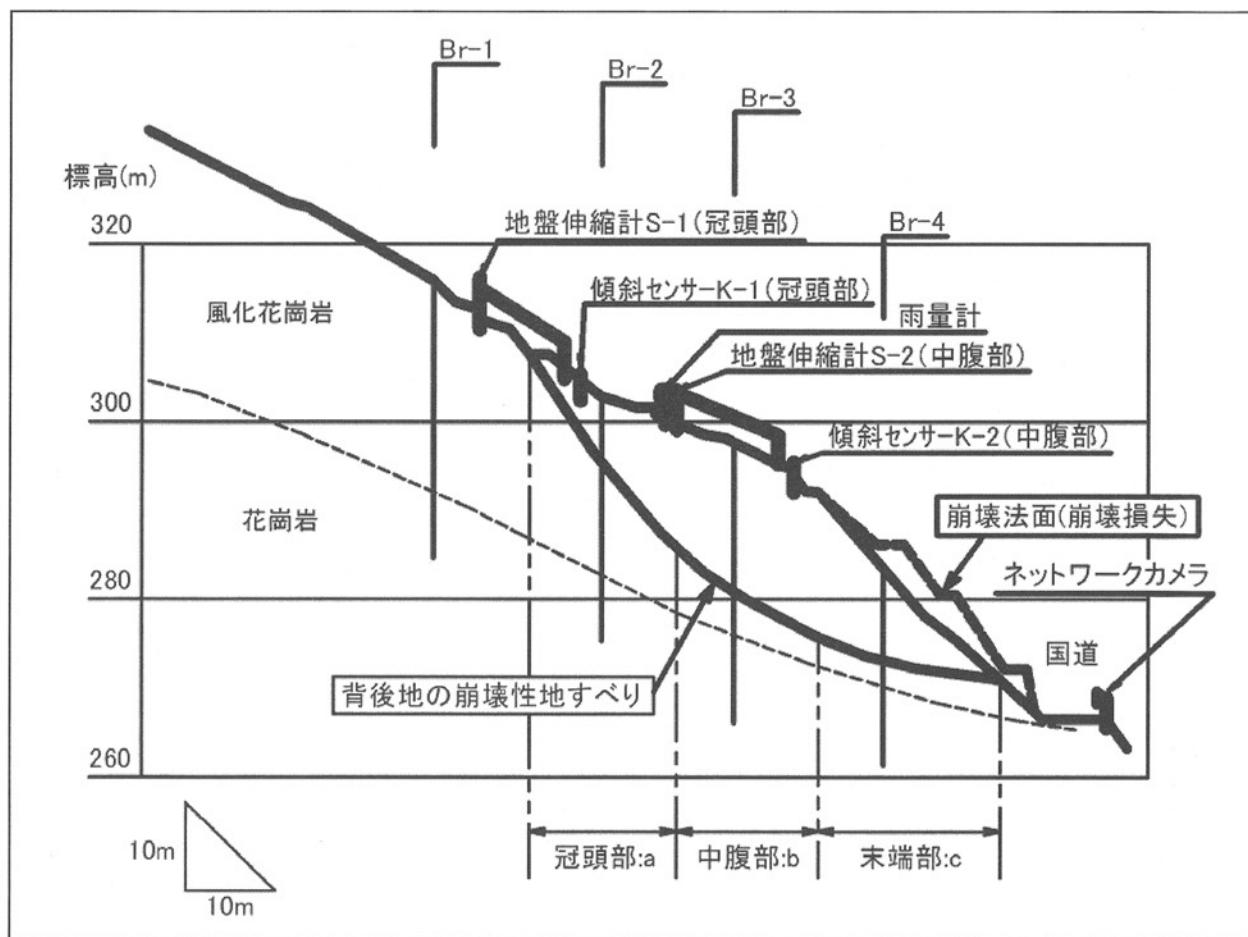


図-2 当該断面図

3. 斜面監視システムの概要

計測器は、図-1 及び図-2 に示すように、滑落崖を跨ぐ冠頭部と中腹部に地表地盤の水平移動量を測定する地盤伸縮計を計 2 基、さらに写真-1 に示すように、地盤伸縮計の移動杭に隣接するように、図-3 に示す地表地盤の地盤傾斜角度を測定する MEMS 加速度センサーを活用した傾斜センサーを計 2 基設置した。MEMS (Micro Electro Mechanical System) 加速度センサーとは、重りをバネで支えた構造を作り、加速度が加わった時の重りの変位を静電容量等の変化から計測するセンサーである。なお、地盤伸縮計の移動杭と傾斜センサーとの離隔距離は約 1m であることから、これら 2 つの計測値は同地点(同土塊)の計測値と位置付けられる。さらに、写真-2 に示すように、道路の起終点並びに斜面全体を見渡せる位置にネットワークカメラと、当該斜面内に雨量計を各々 1 基設置した。

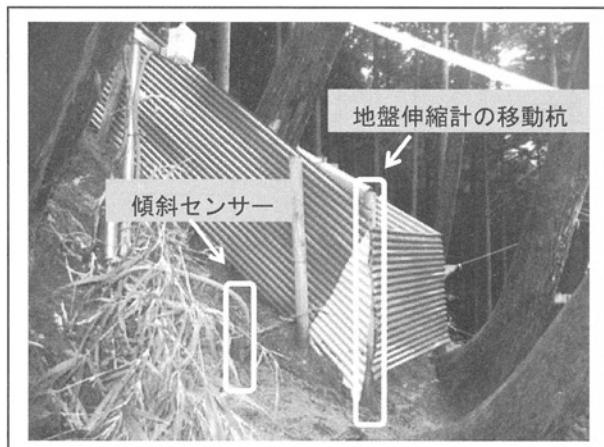


写真-1 地盤伸縮計の移動杭と傾斜センサーとの位置関係

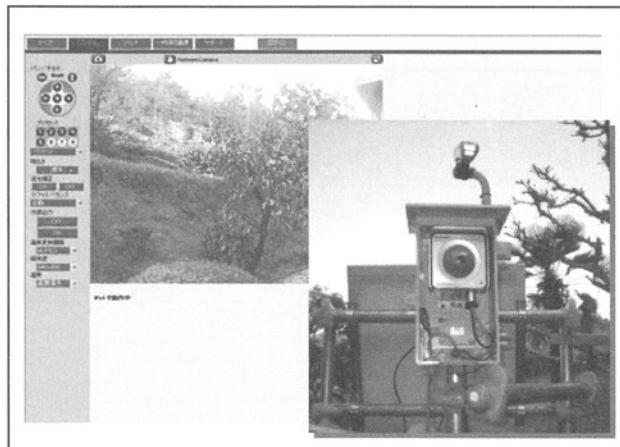


写真-2 ネットワークカメラ設置状況とWEB画像の一例

計測データ(10 分毎)やカメラ画像は、図-4 に示すように、センサーから無線及び有線にて現場の基地局へ送信され、携帯電話回線を通じて基地局から管理サーバーへ転送される。そして、WEB を介して関係者のパソコン上で観測グラフや現地画像を確認することができる。電源はいずれも乾電池や充電式バッテリーであり、バッテリーはソーラーパネルを用いて充電するため、商用電源の無い山岳地等の場所においても運用が可能である。なお、ネットワークカメラは 8 時間の充電で 2 時間の閲覧(3 秒毎に画像更新)が可能である。

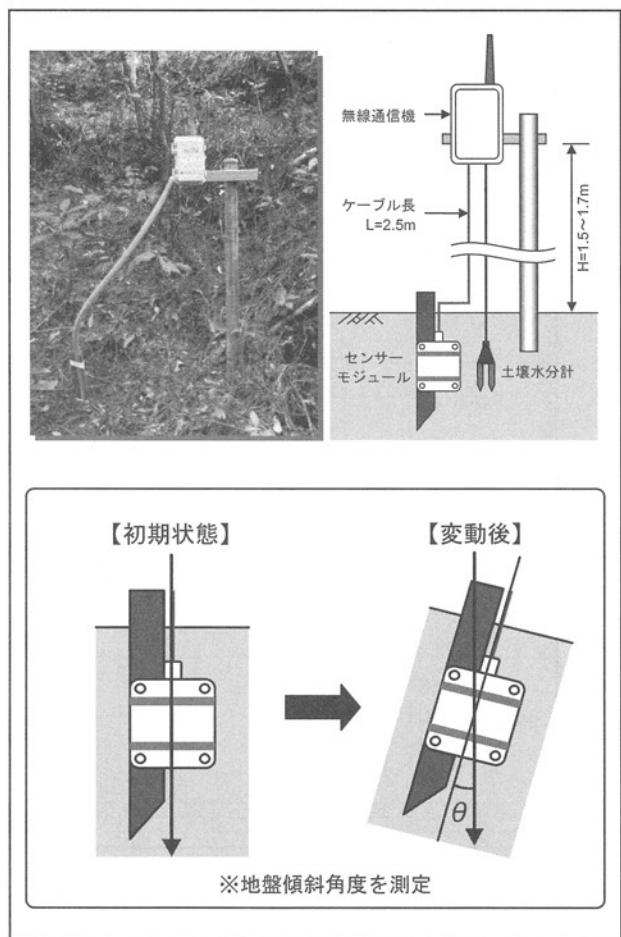


図-3 傾斜センサーの概要

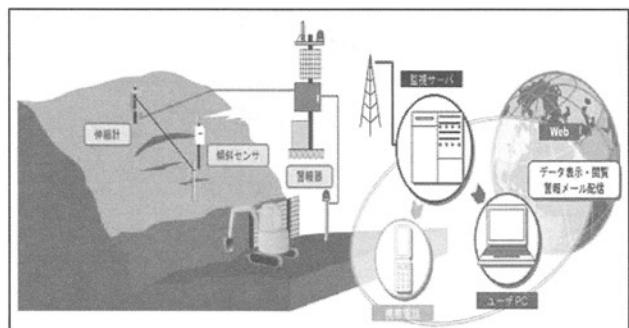


図-4 監視システムの概要

4. 地盤伸縮計と傾斜センサーとの対比

監視期間中の地盤伸縮計と傾斜センサーの観測結果を図-5に示す。また、当該期間中に急激な変動を示した2時期(A・B)の詳細な変動図を図-6・7に示す。これらから判明することは以下のとおりである。

①地盤伸縮計設置位置による変位量の相違

図-5に示すように、冠頭部S-1(図-2のa)での変位が顕著に大きい。つまり、地盤伸縮計では中腹部よりも冠頭部の方が変状を捕捉し易い。

②地盤伸縮計設置位置による変位発生時間(捕捉時間)の相違

図-6に示すように、冠頭部S-1(図-2のa)と中腹部S-2(図-2のb)で変位発生時間を比較すると変位の発生に時間差があり、中腹部S-2の方がいち早く変位が発生する。時間差は7~27時間と様々である。

③傾斜センサーの設置位置による傾斜量の相違

図-5に示すように、中腹部K-2(図-2のb)では傾斜量が大きいのに対し冠頭部K-1(図-2のa)では傾斜量が小さい。これは、冠頭部の土塊は地盤傾斜を伴わず、すべり面に沿って平行移動したのに対し、中腹部の土塊は地盤傾斜を伴って移動したためと考えられる。

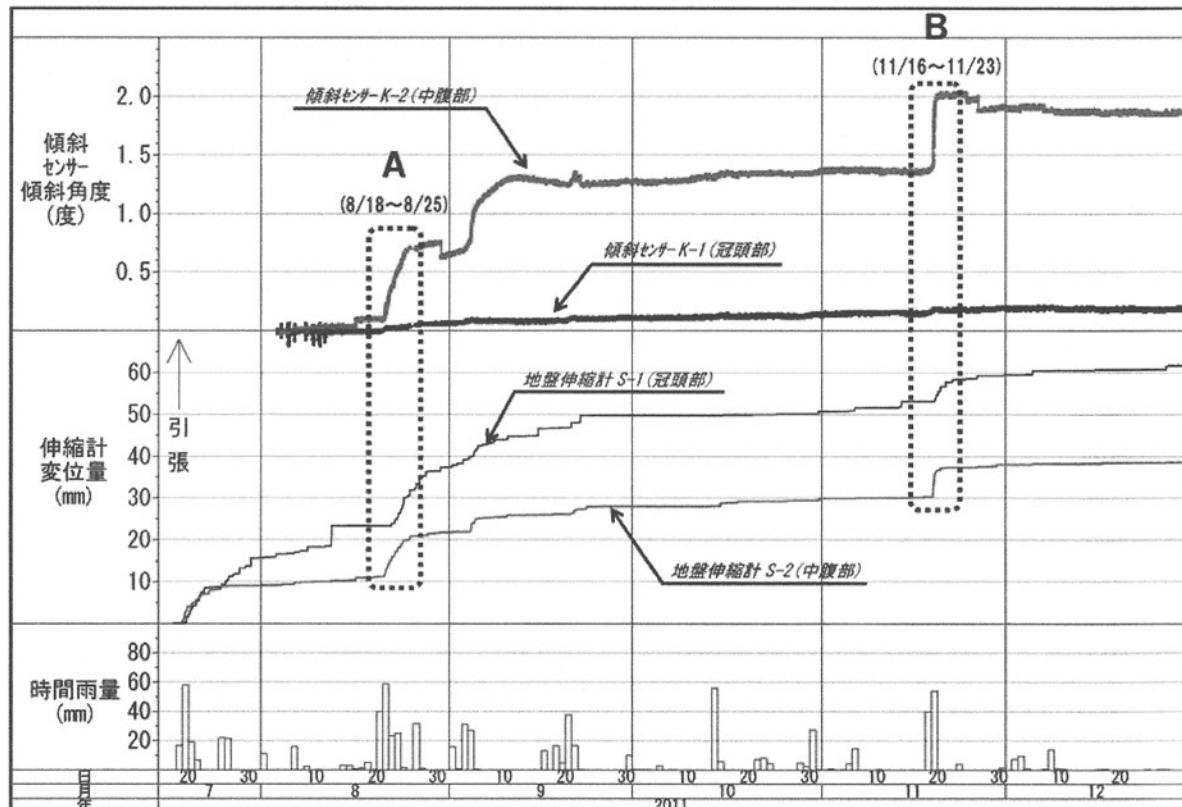


図-5 監視期間中の観測結果図

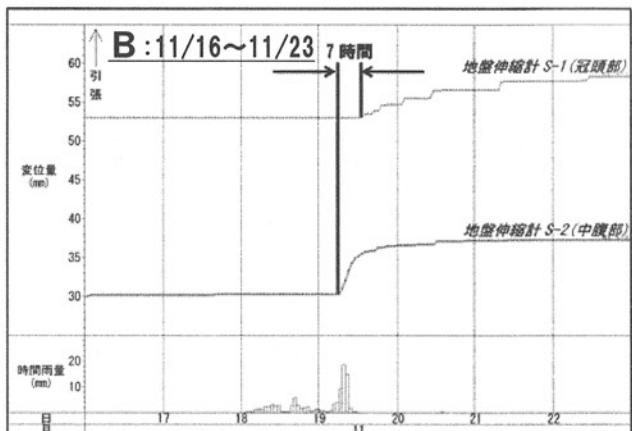
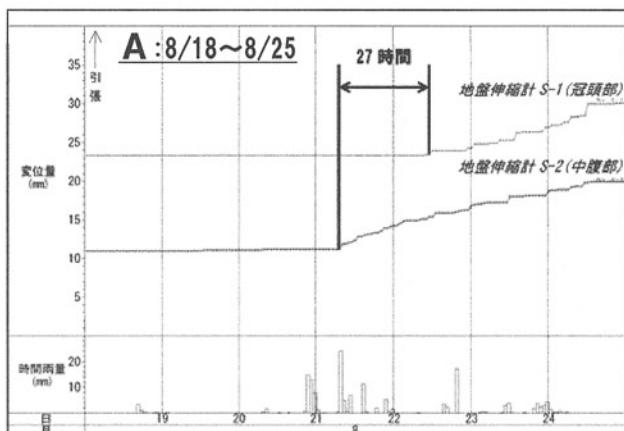


図-6 急激な変動を示した時期の地盤伸縮計変位詳細図(A・Bは図-5のA・Bの期間に対応)

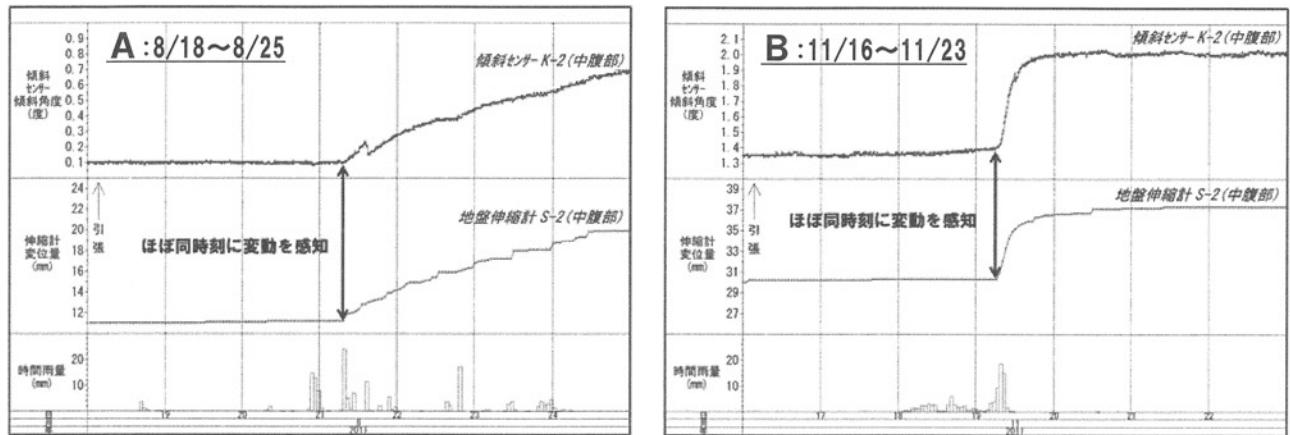


図-7 急激な変動を示した時期の地盤伸縮計と傾斜センサーとの対比詳細図(A・Bは図-5のA・Bの期間に対応)

④中腹部の地盤伸縮計と傾斜センサーの変位傾斜動態の相違

図-7に示すように、中腹部に設置した伸縮計S-2(図-2のb)と傾斜センサーK-2(図-2のb)は、ほぼ同時刻に変動を開始しており、有意な時間差は認められない。

本事例では、崩壊性地すべりブロック内での場所の相違、つまり冠頭部と中腹部、さらに計測器の種類の相違、つまり地盤伸縮計と傾斜センサーとでは、変動程度(変動の大小)及び変動発生時間(変動捕捉の早さ)が異なることが判明した。表-1に冠頭部と中腹部における両者を相対評価した計測器毎の結果を示す。

表-1 冠頭部と中腹部における観測計器毎の結果

観測計器	項目	冠頭部	中腹部
地盤伸縮計	変動(変位)程度	大きい	小さい
	変動発生(感知)時間	遅い	早い
傾斜センサー	変動(傾斜)程度	小さい	大きい
	変動発生(感知)時間	不明	早い

ここで、本事例から、後述するような考察が可能である。

i) 地すべりの滑動メカニズムが判然としない場合、地盤伸縮計は冠頭部の滑落崖を跨いで設置することが通常である。この場合、地盤伸縮計では例外なく変位を捕捉できるものの、当該地のように未

端側(中腹部)から変動が開始する場合には、冠頭部で変位を捕捉するまでに時間的な遅れが生じる可能性がある。

- ii) 設置箇所の地盤傾斜量を測定する傾斜センサーは、当該地のように末端側(中腹部)から変動が始まる場合、さらに中腹部に有意な地表亀裂が存在しない場合は、一般的に亀裂を跨いで設置する地盤伸縮計よりも、設置に際し亀裂の有無に左右されない傾斜センサーを末端部から中腹部にかけて面的に数多く設置すれば、変動の前兆をより効果的且つ即時に捕捉できる可能性がある。

5. まとめ

斜面監視システムの目的は、斜面の変動をいち早く捕捉し、迅速な対応を行うことであり、そのためには、①変動を捉え易い(変動が大きい)、②変動を早期に捉える、の2点から、計測器の選定並びにその設置位置に留意することが重要である。

本事例では、崩壊性地すべりブロックの冠頭部よりも中腹部の方が変動をより早く捕捉できたとともに、地盤傾斜を伴って土塊変動する中腹部での監視は地盤伸縮計による変位変動のみならず、傾斜センサーによる傾斜変動も有効であることが判明した。

傾斜センサーは、地盤伸縮計と比較して、経済性(より多数設置可能)・作業性(設置が容易)・融通性(地点移動が容易)で優っており、地すべりの滑動メカニズムを考慮した上で、それに応じた設置位置選定に留意することにより、変動をより早く捕捉、且つ変動範囲を特定できる可能性があると考える。

なお、本事例では、地盤伸縮計による変位量と雨量計による雨量に基づき、「警戒レベル1：注意態勢

(出動態勢準備)」, 「警戒レベル2: 警戒態勢(出動・通行止め準備)」, 「警戒レベル3: 非常態勢(通行止め)」に基づく3段階の警戒管理基準値を設定し, 運用した。その結果, 現時点では, 地すべり変位に起因した警戒レベル2以上に該当する変位量並びに雨量は観測されず, 幸いにして通行止め等の緊急措置をとることはなかったことをここで報告する。

謝辞: 傾斜センサーの開発・運用・結果の解釈等において, 東京大学大学院工学系研究科の東畠郁生教授並びに内村太郎准教授にいろいろとご指導を頂いた。この場を借りて, 謝辞とします。

(2012.5.9受付)