

加速度センサを用いた地表傾斜計による 微小な斜面変動の計測

武田大典・森永高行・西井稜子・石井靖雄

1. はじめに

地すべりや崩壊の可能性を事前に認識することが困難な斜面において、地すべり活動が急速に進み、災害の発生に至る事例がある（例えば、2004年宇井地すべり¹⁾、2006年東横山地すべり²⁾）。このような事例に対しては、LP計測データによる高精度地形図を活用し、その可能性の高い斜面を把握することが有効である。さらに、把握された斜面の変動状況を高い精度で計測し捉えることができれば、事前に対策を行うことが可能になる。今後、観測により微小な段階にある変動斜面を把握していくためには、計器設置・観測のコストを抑えつつ、多数の地点で観測可能なシステムを開発するとともに、効果的な機器配置の検討が必要である。

本報告では、紀伊山地の山岳道路沿い斜面において、2009~2014年まで、加速度センサを用いた地表傾斜計を多数設置³⁾⁻⁵⁾することにより、斜面変動を検知しその範囲を特定した事例を紹介する。

2. 地表傾斜計計測システムの概要

地表面の変動計測は、2008~2009年にかけて土木研究所と民間企業3社の共同研究により開発した地表傾斜計を用いて実施した⁶⁾⁻⁸⁾。地表傾斜計は加速度センサを用いた傾斜計で、その観測精度は $\pm 0.01^\circ$ （=36秒）である。観測間隔は任意に設定可能であるが、本調査では1時間間隔でデータを取得し、携帯電話回線によるインターネット網を通して現地から事務所へのデータ伝送を行うシステムを構築した（図-1）。

従来の水管式などの地盤傾斜計と比較するとメリットとして以下の特徴が挙げられる。

- (1) 大きな傾動量（ $\pm 20^\circ$ ）の計測が可能
- (2) 簡便な設置方法（単管を打設して管内に傾斜計を設置）

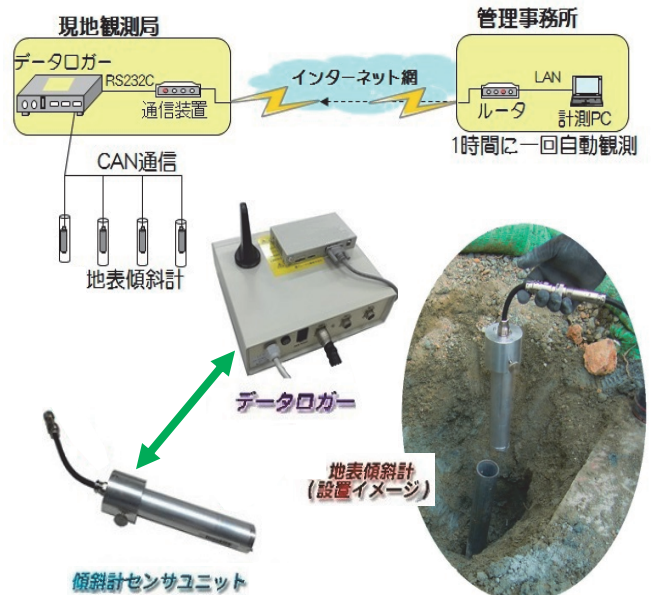


図-1 地表傾斜計構成図

- (3) 1つのデータロガーで最大100台の同時観測が可能
- (4) 50MPaの耐水圧性能

3. 調査地概要と観測方法

3.1 調査地概要

調査地は奈良県上北山村の紀伊山地内の山岳道路斜面に位置する（図-2）。四万十累帯の頁岩優勢砂岩・泥岩互層からなる斜面は、大局的には流れ盤構造を示す。斜面全体の平均傾斜は、 45° 前後を示し、幾分凸状の尾根地形になっている。斜面中腹には高さ2m程度の段差地形が存在するほかには、明瞭な地すべり変動の履歴を示す地形は確認できない。対象斜面に向かって、左右の斜面には崩壊跡地が認められ、谷地形となっている。

3.2 観測機器と観測期間

現地観測は2009年6月から地表傾斜計5基、地盤伸縮計1基を設置して開始した（図-2、図-3、写真-1）。その後、2010年に孔内傾斜計1孔、地表傾斜計5基の設置を行い、2012~2013年に地表傾斜計4基、地盤伸縮計4基を増設した。それぞれの機器の観測期間は表-1の通りであり、観測は、2011年に発生した紀伊半島大水害を含む2014年12月まで行った。

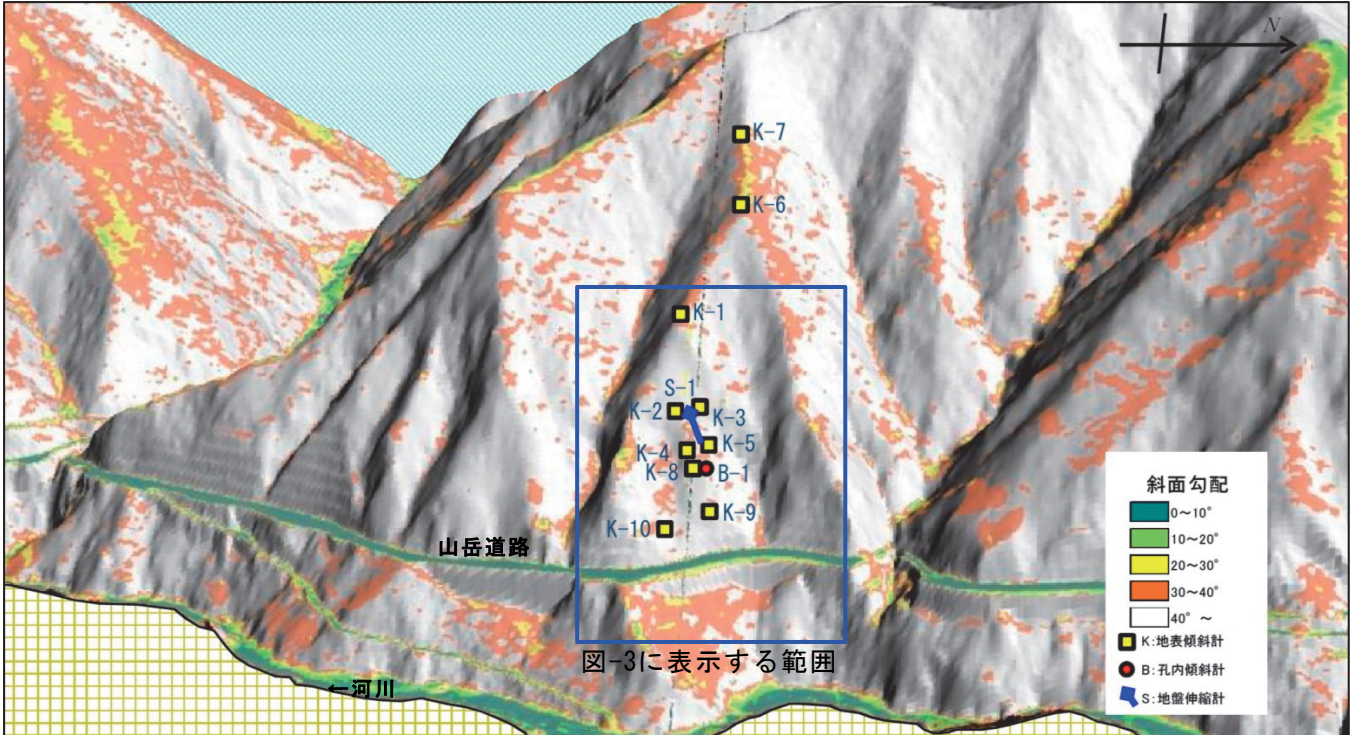


図-2 現地鳥瞰図 (40度以下の緩斜面を着色、水色は空、緑格子模様の範囲は未表示範囲、調査地を青実線で表示 2011年9月紀伊半島大水害までに設置した観測機器を表示)

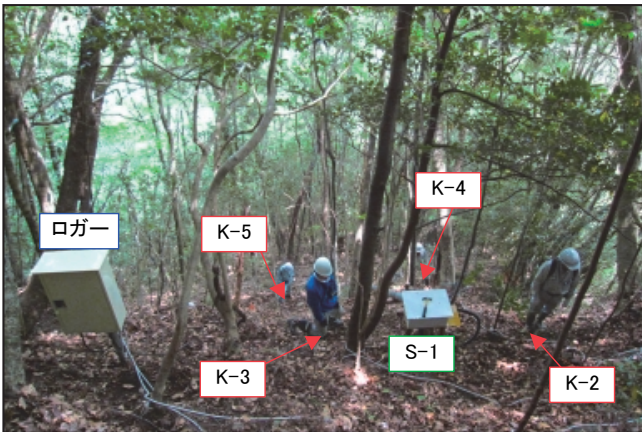


写真-1 K-2~K-5設置箇所状況

表-1 観測機器一覧と観測期間

観測機器		観測期間	
地表傾斜計	K-1~5	2009年6月	~ 2014年12月
	K-6,8~10	2010年11月	~ 2014年12月
	K-7	2010年12月	~ 2014年12月
	K-11~14	2012年11月	~ 2014年12月
地盤伸縮計	S-1	2009年6月	~ 2014年12月
	S-2~5	2013年1月	~ 2014年12月
挿入式孔内傾斜計	B-1	2010年12月	~ 2014年1月

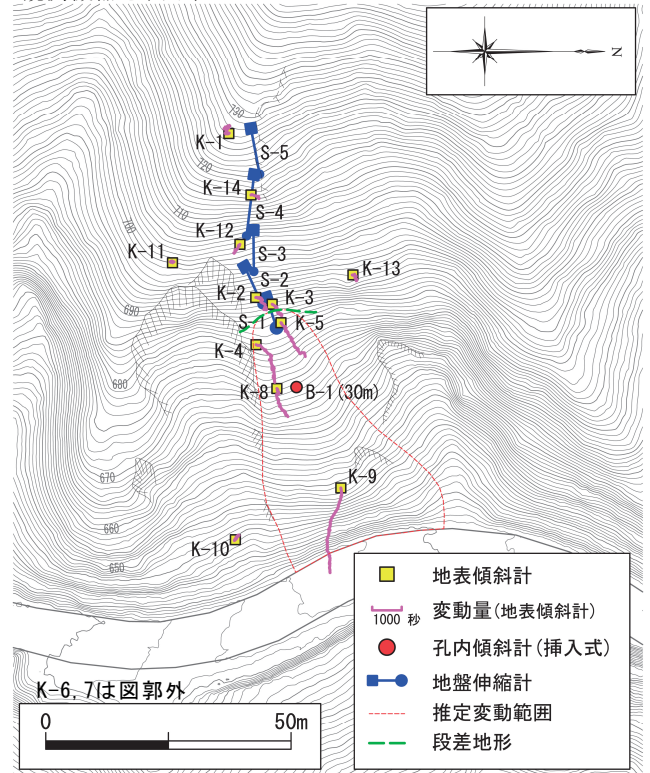


図-3 観測機器の配置と変動量

4. 観測結果および考察

4.1 降水量

調査地から最も近い気象庁の上北山観測所の観測期間中の日降水量を図-4に示す。2011年に発生した紀伊半島大水害は、紀伊半島に多数の斜面災害をもたらした。この大水害の一連の降雨により、上北山観測所では、1,812mm (2011年8月31日~9月4日) を観測した。

また、観測期間中に日雨量200mm以上の降水量を12回観測した (図-4)。

4.2 地表傾斜計

変動量が大きな値を示した機器は5基 (K-4, 5, 7, 8, 9) あり、それらの年平均変動量は400秒を超える (表-2)。これらの機器の変動方向は概ね最大傾斜方向を示す (図-3)。最下部に位置する

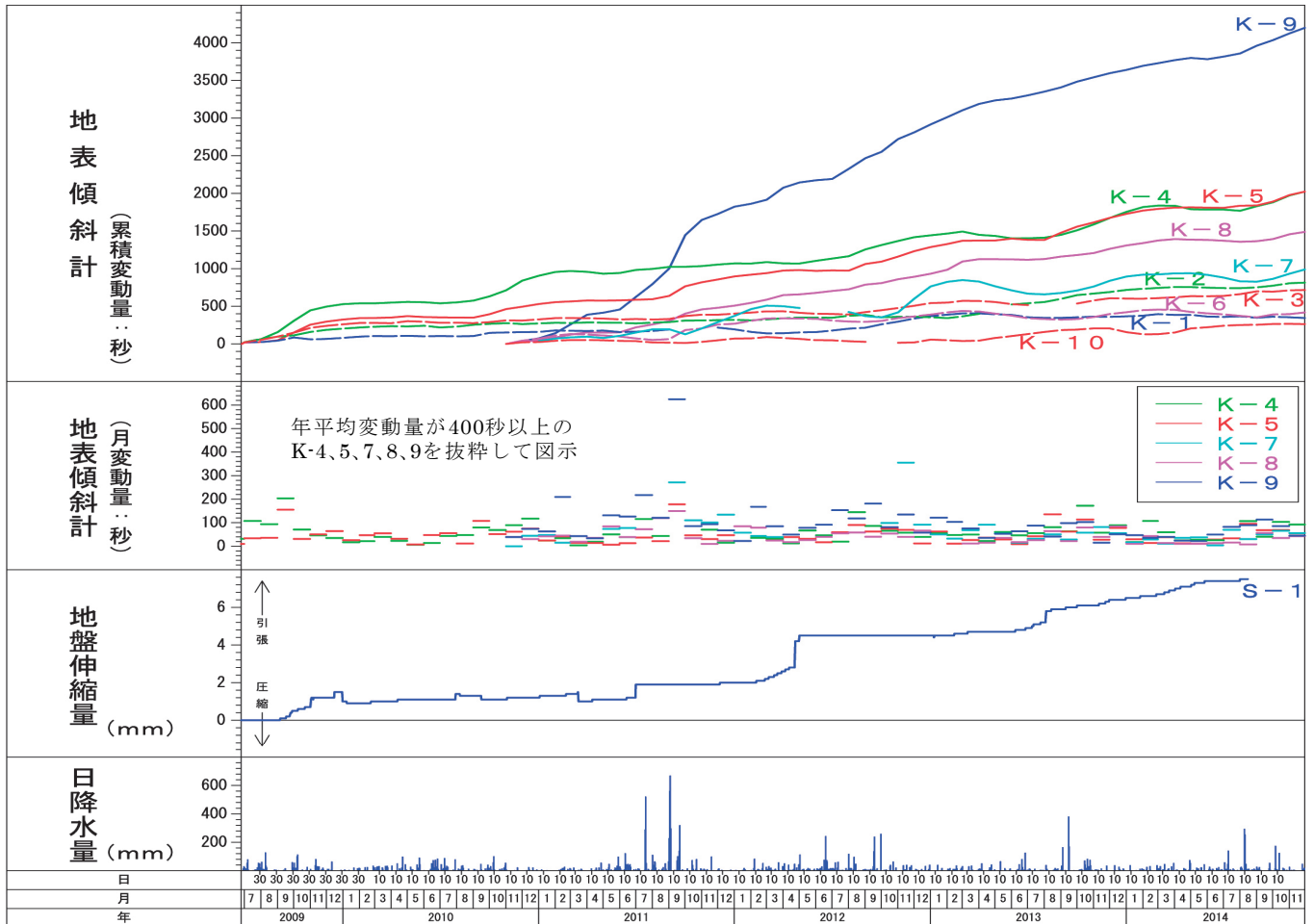


図-4 地表傾斜計・地盤伸縮計・降水量のデータ

表-2 地表傾斜計累積変動量・月平均変動量

	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5
5年間の累積変動量*1	327	719	594	1,737	1,800
年平均変動量	126	176	354	451	445
月平均変動量	40	32	32	55	46
2011年9月の月変動量	欠測	37	66	欠測	178

	K-6	K-7	K-8	K-9	K-10
3年間の累積変動量*2	298	996	1,089	2,961	263
年平均変動量	123	431	471	1,395	115
月平均変動量	40	72	39	92	35
2011年9月の月変動量	150	271	150	625	14

単位：秒 赤ハッチ：年平均変動量400秒以上の機器

*1) 5年間：2009/9/1～2014/8/31

*2) 3年間：2011/9/1～2014/8/31

*3) K-10は2011/9欠測の為2011/10/1～2014/8/31

K-9の年平均変動量は1,000秒を超えており、最大値を示す(表-2)。年平均変動量が400秒を超える計測機器は、K-7を除くと、下方斜面に位置するK-4、5、8、9である。微地形に着目すると、段差地形を頭部とする図-3に赤破線で示す範囲が変動の大きい範囲と推定される。

2011年8月31日～9月4日の豪雨時に、年平均変動量が400秒を超えた観測機器について、月ごとの変動量を図-4 2段目に示す。K-5、7、8、9は、2011年9月の豪雨時に月変動量が150秒を越え、

その値は表-2に示すとおりであった。また、これらの値は観測期間中の月平均変動量と比較すると4～7倍の変動量を示す。このように2011年9月の豪雨を含む期間に変動が著しく大きくなった。

4.3 地盤伸縮計

図-3に表示した段差地形を跨ぐように設置されたS-1は、図-4 3段目のグラフによると、月平均約+0.12mmの伸びを示した。2011年9月の豪雨時に変位の発生は認められない。2012年2～5月において約2.5mmの最大変位が生じているが、この期間の降雨は他の期間と比べて大きな値ではなく変位が生じた原因は不明である。

4.4 挿入式孔内傾斜計

孔内傾斜計の観測結果は、図-5に示すとおりであり、明瞭な地すべり変動が発生しているとは認められなかった。2.0m以浅では表層クリープの発生を示すと見られる変動が認められ、2010年12月3日～2013年11月25日にかけて約4mmの累積値となっている。また、これよりも変動は小さいが9.5m付近に谷側(図-3の東方向)への変動、24.0m付近に下流側(図-3の南方向)への微小な

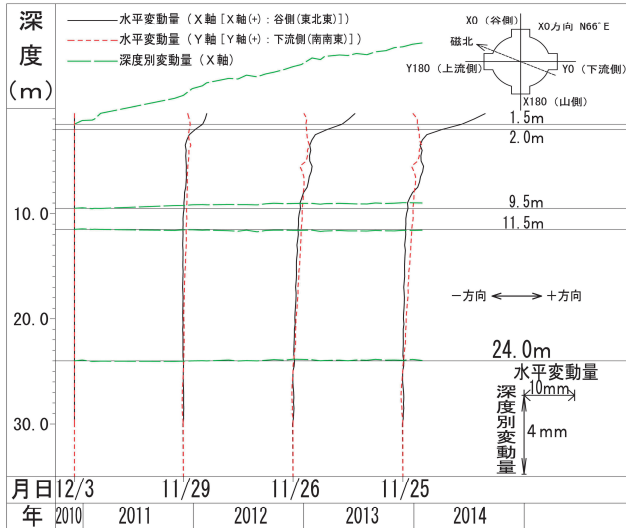


図-5 孔内傾斜計 (B-1) 変動図

変動が認められる。2011年の豪雨前後においては2.0m以浅の変動以外に大きな変動は認められないことから、地表傾斜計の変動量が大きくなった深度として、現時点では2.0m付近が考えられる。深度2.0m以浅で変動量の最も大きい深度1.5m (1.0～1.5m 区間) の年変動量は2011年:1.5mm、2012年:1.5mm、2013年:1.0mmであり、2011～2012年が大きな値を示した。図-4 2段目のグラフに示した地表傾斜計の月変動量(K-9)と比較すると2013年以降に変動量が低下傾向にあることと調和している。

5. まとめ

観測結果より、加速度センサを用いた地表傾斜計を用いることで、400秒/年程度の微少な斜面の変動とその範囲が把握された。地表傾斜計で観測された変動は、孔内傾斜計の観測結果などと併せて考察すると、深さ2.0m以浅の表層クリープによる斜面の動きを反映したものと考えられた。地表傾斜計の観測結果より発生現象の考察を行うためには、孔内傾斜計の観測もあわせて実施する必

要がある。今後、観測事例を増やし、観測機器のより効果的な配置方法について検討が必要である。

謝 辞

奈良県吉野土木事務所には調査に際し、ご協力を頂きました。また、地表傾斜計の設置、観測には特殊な地すべり環境下で使用する観測装置の開発研究会の皆様にご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 藤澤和範、野村康裕：奈良県大塔村で発生した地すべり災害 (災害速報)、土木技術資料、第46巻、第9号、pp.4~5、2004
- 2) 藤澤和範、池田学、樋口佳意、水野秀明：岐阜県揖斐川東横山地区で発生した地すべり、土木技術資料、第48巻、第7号、pp.4~5、2006
- 3) 千田容嗣、藤澤和範、宇都忠和：IT地盤傾斜計測システムを用いた初生地すべりの変動観測事例、土木技術資料、第53巻、第3号、pp.10~13、2011
- 4) 三輪賢志、小笠原啓介、武田大典、阿部大志、石井靖雄：加速度センサを用いた地盤傾斜計による地すべり観測の適用性について、第53回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp.69~70、2014
- 5) 武田大典、森永高行、小笠原啓介、石井靖雄、西井稜子、三輪賢志、西條敦志、藤原康正、黛廣志：紀伊半島西原における微小な斜面変動観測-加速度センサを用いた地盤傾斜計・伸縮計・孔内傾斜計データの比較-、平成27年度砂防学会研究発表会概要集A、pp.A-204~205、2015
- 6) 独立行政法人土木研究所、川崎地質株式会社、曙ブレーキ工業株式会社、坂田電機株式会社、株式会社共和電業：「厳しい条件下での使用に耐えうる地すべり観測装置の開発」、2009
- 7) 千田容嗣、坂本孝之、藤澤和範：特殊な地すべり環境下でも使用可能な観測装置の紹介 (その1)、土木技術資料、第51巻、第10号、pp.41~42、2009
- 8) 国立研究開発法人土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム「特殊な地すべり環境下で使用する観測装置の開発研究会 IT地盤傾斜計測システム」<http://www.pwri.go.jp/team/landslide/kanrisya/it/it.html> 2016年1月時点

武田大典



研究当時 土木研究所
土砂管理研究グループ地
すべりチーム交流研究
員、現 (株) パスコ
Daisuke TAKEDA

森永高行



研究当時 土木研究所
土砂管理研究グループ
地すべりチーム交流研究
員、現 日本基礎技術
(株) 九州支店調査部
Takayuki MORINAGA

西井稜子



研究当時 土木研究所
土砂管理研究グループ
地すべりチーム研究
員、現 新潟大学、博
士 (理学)
Dr.Ryouko NISHII

石井靖雄



研究当時 土木研究所
土砂管理研究グループ 地
すべりチーム 上席研究
員、現 火山・土石流
チーム 上席研究員、
博士 (農学)
Dr.Yasuo ISHII