

# 地すべり変位の新たな観測手法の導入について ～紀伊田辺地区民有林直轄治山事業 (上秋津区域)～

久積 将史<sup>1</sup>・小澤 和也<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿中国森林管理局 計画保全部 治山課 (〒530-0042大阪府大阪市北区天満橋1-8-75)

<sup>2</sup>滋賀森林管理署 治山グループ (〒520-2134滋賀県大津市瀬田3-40-18)

和歌山県田辺市上秋津の民有林直轄治山事業地では、地すべりの変位速度が比較的大きいことから、設置から短期間で変形し観測不能となる観測孔が多く、地中変位の観測データを長期間連続してできるだけ多く取得できる観測体制の整備が課題となっている。この課題解決に向けた観測手法として、水平ボーリング後、ワイヤーに接続させたアンカーを不動地盤に定着させて設置し土塊の挙動を計測する水平型孔内伸縮計を導入し、連続したデータを取得するとともに伸縮変動を捕捉することができ、変位量等のデータと他の地中変位等のデータを比較分析して、地すべりブロック間における変位の連動性を明らかにすることが可能となった。

キーワード 地すべり変位, 新たな観測手法, 水平型孔内伸縮計, 治山事業, 上秋津区域

## 1. 事業地の概要

### (1) 民有林直轄治山事業の実施

紀伊田辺地区民有林直轄治山事業は、2011（平成23）年9月の台風第12号による紀伊半島大水害で、激甚な被害を受けた和歌山県田辺市の民有林（図-1）において、和歌山県の要請を受け2013（平成25）年度から実施している。2027年（令和9）年度まで実施する計画で、2022（令和4）年度末の進捗率は81%である。

2017（平成29）年度からは、和歌山県の要請を受け、上秋津区域を追加し事業を継続している。区域面積は22.5haである（図-2）。

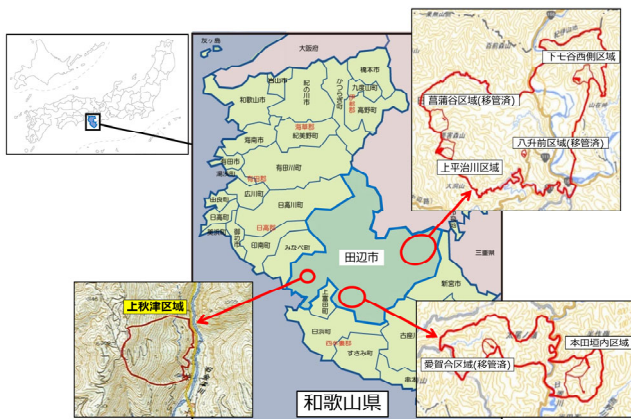


図-1 事業地の位置

### (2) 地すべりブロックとその変位

上秋津区域は、地すべり活動の影響を大きく受けた崩壊地であり、地すべりブロックは全体を包括するAブロックと、その中にA0ブロック、A1ブロックなど、移動特性に応じて区分された小ブロックがある（図-3）。

地すべり活動の様子を表す一例として、Aブロック頭部の地表伸縮計S-1を設置した箇所の付近では、隣接する既設の道路擁壁に大きな亀裂が生じており、これは経年のAブロックの動きに伴って生じたものと推測される（図-4）。



図-2 上秋津区域の遠景

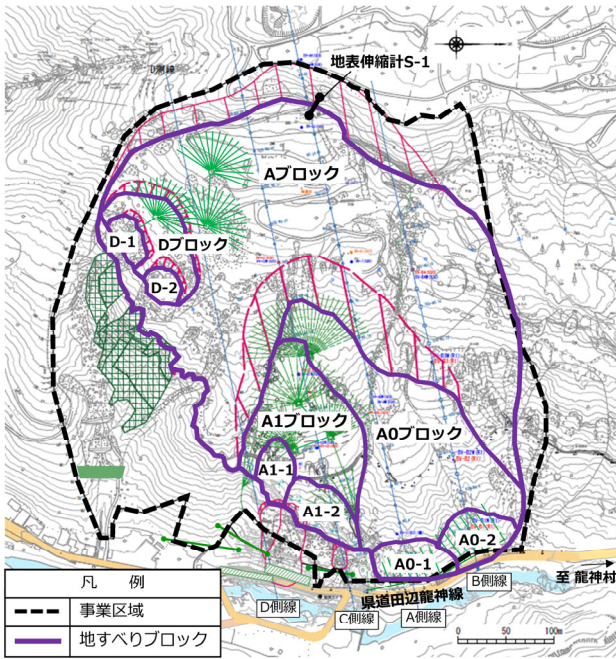


図-3 地すべりブロック



図-4 道路擁壁に生じた亀裂の様子

地表伸縮計S-1の2022（令和4）年度における1年間の変位量は8cm（82.79mm）と観測され（図-5），2018（平成30）年度から2022（令和4）年度までの5か年平均の変位量は13cmとなっており，地すべりブロックの変位速度が比較的大きいことを示している。

(3) 地すべりブロック末端部で発生したトップリング

2019（令和元）年7月には，A1-1，A1-2ブロック付近の地すべりブロック末端部において大規模な崩壊が発生した（図-6）。

左側の写真の点線で囲まれた部分が発生源となり，崩落した土石が落石防護柵を乗り越えて，直下の県道田辺龍神線まで及んだ。幸い通行中の車両はなく，人的被害は免れたものの，約8か月もの間，通行止めを余儀なくされた。

この大規模な崩壊はトップリングによるもので，主に

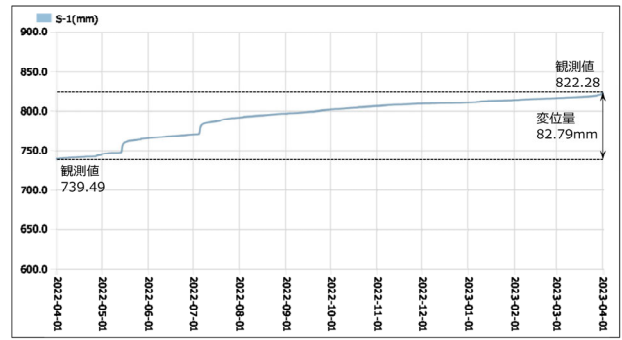


図-5 1年間の地表伸縮計S-1の変位量

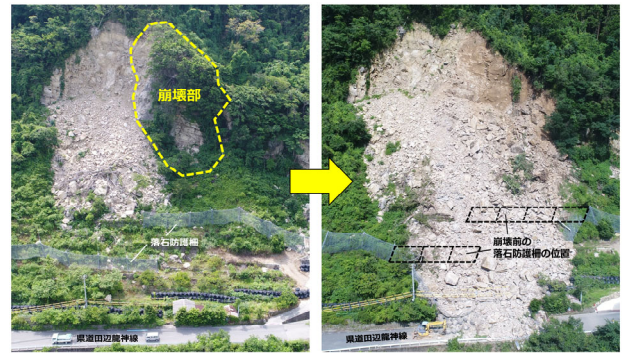


図-6 地すべりブロック末端部で発生した大規模崩壊



図-7 トップリングの発生イメージ

節理や亀裂を生じている岩塊が重力の作用により回転を伴って崩壊する現象である（図-7）。

上秋津区域では，地すべりブロック末端部に力が集中し，亀裂が入った岩盤が押し出しに耐えきれなくなって，一気に崩壊に至ったものと考えられる。現地に設置された監視カメラにより撮影された映像では，大きな岩塊が屏風のように倒れ込み，直下の落石防護柵に覆い被さる形で崩壊した様子が確認できた。

(4) 地すべりの変動形態

上秋津区域における地すべりの変動形態は2つに分類でき，一つは，ほぼ単一のせん断面からなり，すべり面がほぼ固定されている「せん断面型」，もう一つは，複数のせん断面を有し，幅を持ったせん断帯からなる「せ

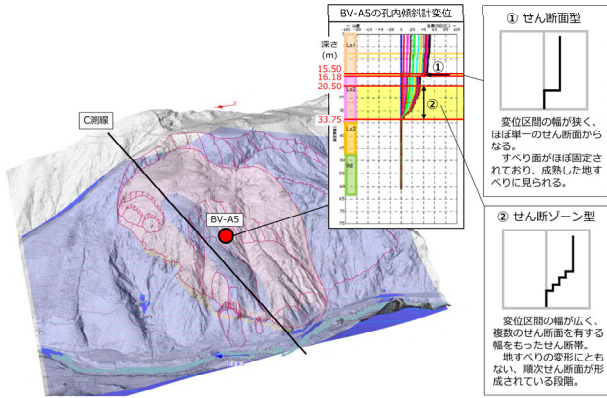


図-8 地すべりの変動形態の分類

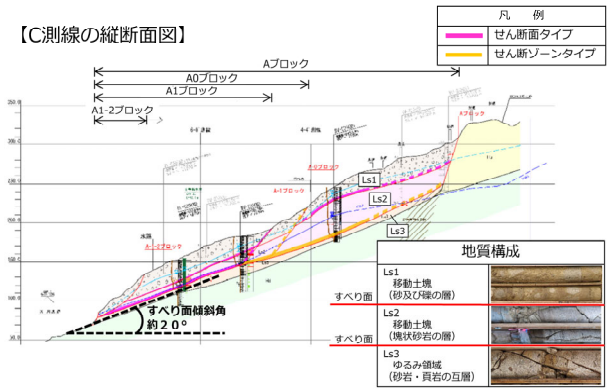


図-9 縦断面図で示す地すべりの変動形態

「せん断ゾーン型」である(図-8)。地すべりの活動に伴い、せん断ゾーン型の変動形態から、次第にせん断断面型に移行していくものと考えられる。

地すべりの変動形態を縦断面図で示すと図-9のようになり、濃い太線がせん断断面型のすべり面、薄い太線がせん断ゾーン型のすべり面を表している。

地質構成で見ると、せん断断面型は、砂及び礫の層のLs1と、塊状の砂岩の層のLs2の境界付近に多く見られる。また、せん断ゾーン型は、Ls2と、砂岩・頁岩の互層のLs3の境界付近に多く見られ、それぞれ長年の地すべり活動によって形成されたものと考えられる。

(5) 対策工の実施状況

対策工の実施状況(2023(令和5)年3月末時点)は、地下水排除工を中心に進めており、ボーリング暗きょ工4基、集水井工7基が完了し、集水井工8基目を施工中となっている。また、末端部の崩壊による県道への被害を防止するため、同時並行して待受け対策となる落石防護柵、斜面を直接保護する斜面補強ネット工を施工している(図-10)。

なお、アンカー工等の抑止工は、地下水排除工の効果を踏まえて実施する予定である。



図-10 対策工の実施状況(2023年3月末時点)

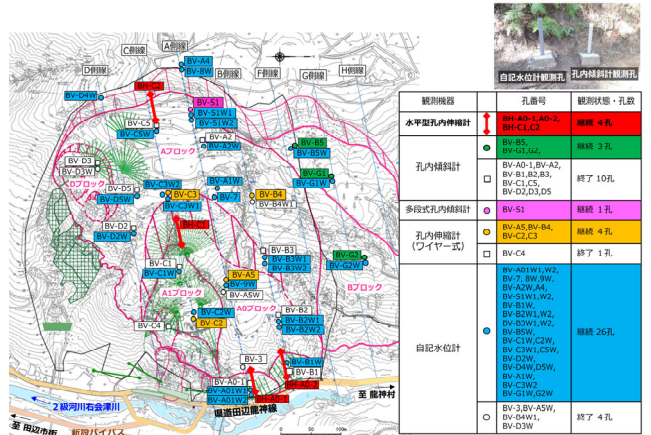


図-11 地すべり観測孔設置状況(2023年3月末時点)

2. 課題を取り上げた背景

地下水位や地中変位等の観測を目的として、調査孔を2023(令和5)年3月末までに計53孔を設置している(図-11)。これらは、地すべり発生機構を解明し、効果的な対策工計画を立案するために不可欠なものである。

孔内傾斜計観測孔は計19孔設置してきたが、そのうち15孔ではケーシングパイプの変形により観測不能な状態となっている(図-12)。これは、年平均変位量が13cmと地すべりブロックの変位速度が比較的大きいことが要因と考えられる。

このような状況から、地すべりブロック間における変位の連動性を明らかにするため、地中変位の観測データを長期間連続した形でできるだけ多く取得することが課題となっている。

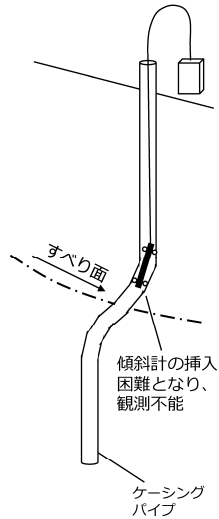


図-12 観測孔変形のイメージ

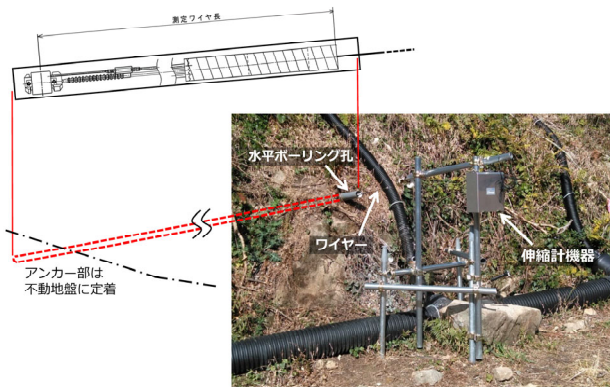


図-13 水平型孔内伸縮計の構造概念図

### 3. 新たな観測手法の導入

#### (1) 水平型孔内伸縮計の導入

この課題解決に向けた観測手法として、新たに水平型孔内伸縮計を導入することとし、2022（令和4）年3月にA0ブロック末端のA0-1、A0-2ブロックにそれぞれ1基、11月にA0ブロックの頭部に1基、12月にAブロックの頭部に1基の合計4基を設置して、変位観測に取り組んでいる（図-11）。

#### (2) 水平型孔内伸縮計の構造

水平型孔内伸縮計の構造は、水平ボーリングをすべり面より深いところの不動地盤まで掘進した後、ワイヤーに接続させたアンカーを不動地盤に定着させて設置するものとなっており、土塊の挙動をワイヤーの伸縮により計測する（図-13）。

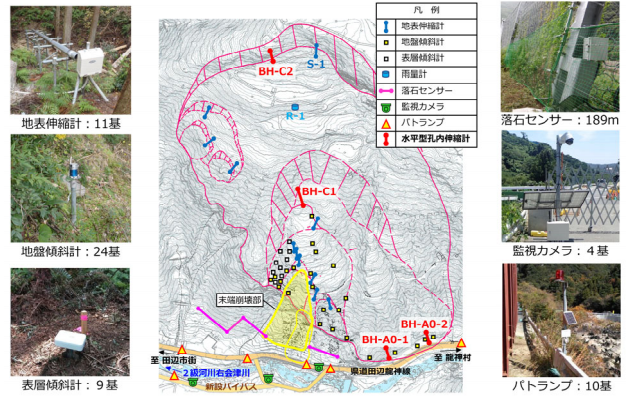


図-14 警戒監視体制位置図

観測点名	計器名	1時間変位	24時間変位	最新値	更新日時
上牧津地区S-1	S-1	-0.010mm	0.220mm	517.870mm	2020-08-19 15:30:00
上牧津地区S-2	S-2	0.030mm	0.070mm	-4.020mm	2020-08-19 15:30:00
上牧津地区S-3	S-3	0.050mm	0.030mm	18.010mm	2020-08-19 15:30:00
上牧津地区S-4	S-4	0.000mm	0.040mm	229.030mm	2020-08-19 15:30:00
上牧津地区S-7	S-7	-0.020mm	-0.090mm	-17.370mm	2020-08-19 15:30:00
上牧津地区S-8	S-8	-0.010mm	-0.040mm	-6.040mm	2020-08-19 15:30:00
上牧津地区S-9	S-9	-0.010mm	-0.010mm	5.660mm	2020-08-19 15:30:00
上牧津地区S-10	S-10	-0.010mm	-0.010mm	3.160mm	2020-08-19 15:30:00
上牧津地区S-11	S-11	0.000mm	0.320mm	29.020mm	2020-08-19 15:30:00
上牧津地区S-12	S-12	-0.010mm	-0.020mm	-137.470mm	2020-08-19 15:30:00



図-15 webシステムによるモニタリングの概念図

#### (3) 警戒監視体制の整備への活用

水平型孔内伸縮計は、設置済の地表伸縮計や地盤傾斜計などと同様に、警戒監視体制の整備にも活用している（図-14）。

具体的には、構築済のwebシステムに接続して設置済の観測機器とともに常時モニタリングし、閾値（2mm/h以上）を超える変位があった場合は関係者へ警報メールを自動配信している（図-15）。警報メールは和歌山県や田辺市等の関係機関担当者へも配信され、共有された情報は県道等の安全確保を図るための参考資料として活用されている。

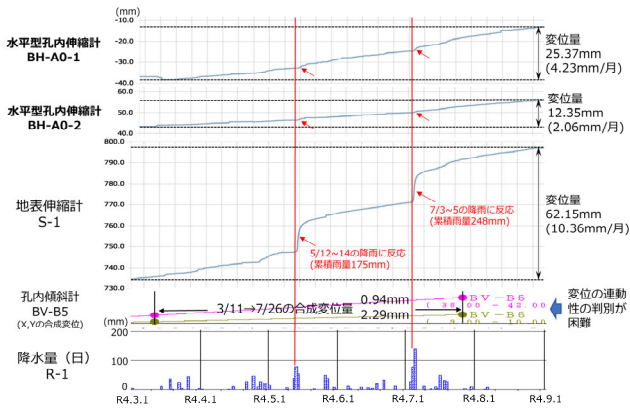


図-16 水平型孔内伸縮計と他機器の観測データ比較

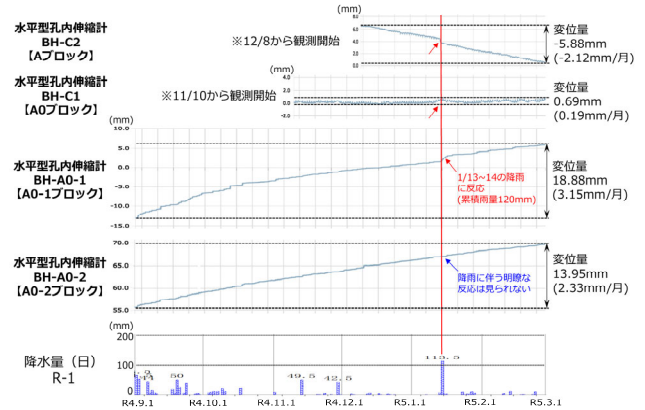


図-17 地すべりブロック間の変位の連動性

#### 4. 取組状況と考察

##### (1) 観測データの分析

a) 水平型孔内伸縮計と他機器の観測データの比較分析  
水平型孔内伸縮計と設置済の他機器による観測データをグラフに表し比較分析した (図-16)。

上の2つが水平型孔内伸縮計のグラフである。

水平型孔内伸縮計を設置した2022 (令和4) 年3月以降、一番下の日降水量のグラフによると5月中旬と7月上旬にまとまった雨が降っている。

この降雨のタイミングで、水平型孔内伸縮計2基とも、平常時よりも早い伸張反応が見られるとともに、真ん中の地表伸縮計のグラフのタイミングに呼応するように、若干遅れて反応していることが確認できる。

一方、従来の孔内傾斜計は、下から2つ目のグラフのとおり、手動計測のため常時記録されるデータではないことから、変位の連動性を判別することが困難である。

##### b) 地すべりブロック間の変位の連動性に係る分析

2022 (令和4) 年12月に4基目の水平型孔内伸縮計を設置して以降の地すべりブロック間の変位の連動性についても分析を行った (図-17)。

2023 (令和5) 年1月中旬に累積120mmの雨が降った際には、まずAブロック頭部の伸縮計に圧縮反応が、A0ブロック頭部の伸縮計に伸張反応が、それぞれ平常時よりもわずかに早い形で表れた。

圧縮反応は、地すべりブロック頭部の変動により、伸縮計機器設置部の地盤が沈下したことにより生じたものと考えられる。

その後、若干遅れて、A0-1ブロックの伸縮計に平常時よりも早い伸張反応が確認できた。なお、A0-2ブロックの伸縮計では明瞭な伸縮反応が確認できなかった。

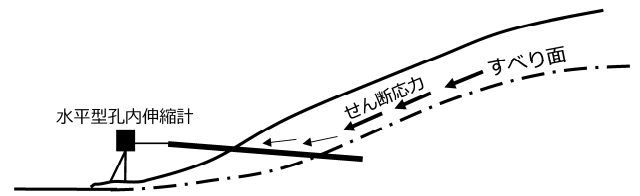


図-18 水平型孔内伸縮計にかかる応力のイメージ

##### (2) 考察

水平型孔内伸縮計では、連続したデータを取得するとともに、伸縮変動を捕捉することができた。

また、水平型孔内伸縮計の変位量やタイミング等のデータと他機器の観測データを比較分析して、区分した地すべりブロック間における変位の連動性を明らかにすることが可能となった。

さらに、すべり面傾斜角が約20° と比較的緩傾斜である上秋津区域では、水平方向に孔を設置することで地中変位による応力が逃げ、長期間観測可能な状態を保持することが可能となるものと考えている (図-18)。

#### 5. まとめ

従来の孔内傾斜計による観測では、長期間連続した地中変位の観測データを取得することが困難であるが、地すべり調査初期に必要な地質構造、地中変位が起こった深度や移動方向等の地盤情報の取得に有効である。

一方、水平型孔内伸縮計による観測では、地質構造、地中変位が起こった深度や移動方向等の地盤情報の取得が困難であるが、長期間連続した地中変位の観測データの取得に有効である。

このように、地すべり調査を行う段階や目的に応じて、適切な観測手法を使い分けることが必要であることが分かった。

引き続き、地すべり発生機構の解明に向け、事業地の

特徴を踏まえた適切な観測手法を検討した上で、調査分析を重ね、効果的な対策の実施に結びつけていきたいと考えている。

**巻末：**小澤和也は、前所属の和歌山森林管理署紀伊田辺治山事業所における所掌内容を論文としている。

**謝辞：**本研究に係る観測データ整理及び資料取りまとめに御尽力いただいた応用地質株式会社の皆様の御尽力に深く感謝する。

**参考文献**

1) 日本地すべり学会：地すべり 地形地質的認識と用語