

静岡県浜松市天竜区春野町における地上設置型合成開口レーダーを用いた斜面監視について

国土交通省 中部地方整備局 ○松下一樹・船戸総久
 国土交通省 静岡河川事務所 水谷直樹・川上哲広・杉澤文仁
 株式会社パスコ 堀内成郎・吉川和男・三五大輔・野田敦夫

1. はじめに

2013年3月21日に門島地すべり防止区域（静岡県浜松市天竜区春野町杉地先、図-1）の斜面上部の緩斜面において亀裂が確認された。崩壊が発生した場合、緩斜面及び斜面下に位置する人家等の被害が懸念された。そのため、静岡県が地盤伸縮計を設置し斜面監視を行った。4月21日に地盤伸縮計の観測値が警戒基準値を超過し、浜松市は住民に対して避難勧告を発令した。4月23日に崩壊が発生し、杉川の河道が約8割閉塞した。その後、斜面は断続的に拡大崩壊し不安定な状況が継続した。

応急対策の実施にあたっては、斜面監視を実施し斜面安定性を判断することが必要となる。国土交通省中部地方整備局は、応急対策を実施する静岡県及び浜松市への支援として、地上設置型合成開口レーダー（以下、地上型 SAR）を用いた斜面変位の監視を行った。地上型 SAR を用いた斜面変位の監視は事例があるが¹⁾、災害発生時に現場で活用した事例は日本で初めてとなるため、結果を報告する。

2. 地上型 SAR による斜面監視

静岡県による地盤伸縮計を用いた斜面監視に加えて、静岡県と浜松市の職員により目視による監視が行われた。4月23日に崩壊が発生した後も斜面が不安定な状況が継続したため、中部地方整備局が照明車を配置し、24時間体制で監視が行われた（図-2）。しかし、目視や映像による監視は夜間や悪天候時に困難となる。一方の地盤伸縮計による監視は、設置済みであった崩壊上端部の拡大崩壊を対象としていた。そこで、中部地方整備局は崩壊斜面全体を対象として、昼夜や天候によらず監視を継続することを目的に、4月29日から5月16日まで地上型 SAR による観測を行った（図-3）。

中部地方整備局が設置した地上型 SAR の諸元を表-1 に示した。地上型 SAR は、電波を斜面に照射し、反射波の位相差を観測することで微少な地形変位を捉える装置である。設置した地上型 SAR の観測精度は mm 単位で、観測できる変位は±約 4mm/5 分以内だった。図-2 のとおり、崩壊の影響が及ぶように、斜面から約 250m 離れた安全な位置に地上型 SAR を設置し、約 5 分間隔で地形変位を観測した。

また、地上型 SAR による観測期間中に、地上型レーザー計測器による地形測量を3回実施した（5月1日、10日、13日）。5月1日の測量成果は、地上型 SAR 観測結果を変位速度分布図として表現する際に背景図として利用した。

3. 地上型 SAR による斜面監視結果

3.1. 地上型 SAR による斜面監視結果

現地において観測結果を処理し、崩壊斜面の変位速度を分布図とグラフに整理して監視を実施した。一例として、崩壊が発生した時の変位速度分布の推移と変位速度変化を、それぞれ図-4、図-5 に示した。なお、図-4 には図-5 の地盤伸縮計と地上型 SAR の変位速度の比較位置を示した。

図-4 のとおり、変位が発生している範囲と変位が発生していない範囲と分けて認識することができた。機器から見て斜面が前に近づいてくるマイナスの変位と後ろに遠ざかるプラスの変位を観測できるが、観測期間中に確認された変位は、マイナスの変位がほとんどだった。また、降雨や霧により電波の減衰が大きくなるため、気象変化に伴う地上型 SAR による観測の中断が懸念された。この観測期間中に 14mm/h の降雨や目視による監視が困難となる程度の霧が発生したが、降雨や霧の影響と思われる観測結果は判別できなかった。

観測を開始した当初は変位が発生している範囲の認識に止まった。その後、目視による崩壊発生の確認と合わせて観測結果を分析した結果、斜面変位が発生している範囲と崩壊範囲の規模はおおむね一致していた。また、崩壊が発生する範囲はマイナスの変位が継続していた。マイナスの変位が継続し、変位速度が急激に低下した場合、崩壊が発生した。そのため、観測後半は、マイナスの変位が継続する範囲を崩壊範囲、マイナスの変位速度が急激に低下した場合は崩壊間近と解釈して監視を行った。その結果、約 100m² 以上の崩壊規模について、おおむねの崩壊範囲を推測するとともに、観測結果を現地関係者で速やかに共有することで崩壊に対する切迫感を共有することができた。

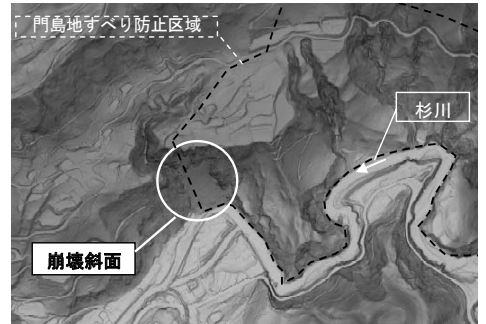


図-1 崩壊発生斜面の位置および周辺地形※
 ※LP データからの作成（5月3日 LP データ取得）



図-2 斜面監視機器等の配置



図-3 地上型 SAR 観測風景

表-1 地上型 SAR 観測諸元

項目	諸元	
機器の名称	IDS社 IBIS-FL	
中心周波数と帯域幅	17.175GHz 140MHz	
合成開口長(レール長)	2m	
斜面までの距離	約250m~400m	
仰角	15°	
分解能	レンジ(視線)方向	1.1m
	高さ方向	0.73m ~ 1.07m
	奥行き方向	0.94m ~ 0.85m
観測精度(カタログ値)	クロスレンジ方向	1.10m ~ 1.75m
		最大0.1mm
観測間隔	約5分	
観測限界	±約4mm/5分	

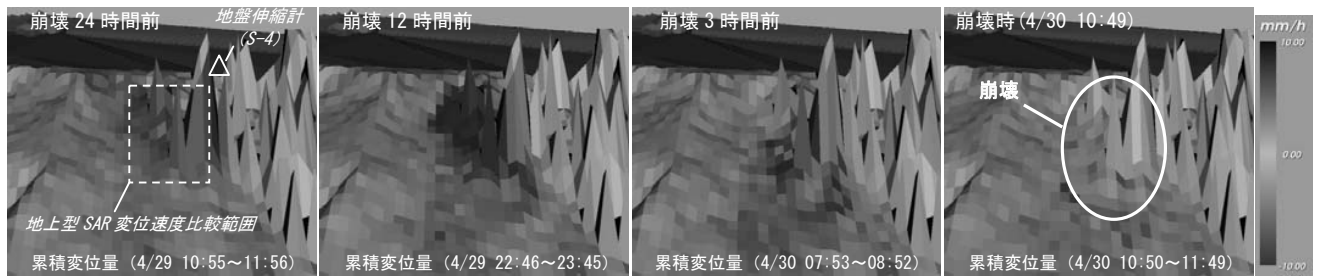


図-4 変位速度分布の推移 (4/30 10時49分崩壊時)

3.2. 地上型 SAR と地盤伸縮計計測結果との比較

地上型 SAR 及び地盤伸縮計による変位速度変化を図-5 に示した。地盤伸縮計の変位速度変化についてみると、変位速度が緩やかに上昇する期間が継続し、その後に変位速度が急激に上昇して崩壊が発生していた。一方の地上型 SAR の変位速度変化についてみると、地盤伸縮計同様に、変位速度が上昇する期間が継続している。しかし、地上型 SAR の変位速度は、急激に変位速度が低下し崩壊に至っていた。

地上型 SAR において、地盤伸縮計同様に崩壊前の急激な変位速度上昇が観測されなかった原因としては、地上型 SAR の観測限界値(±約4mm/5分)を超える変位が発生したと推定された。

なお、地盤伸縮計は5月1日に計測が不能となった。この地盤伸縮計は斜面上端部に設置されていた地盤伸縮計のうち最後までデータが取得できていたもので、5月1日以降は目視と地上型 SAR を主として斜面監視が行われた。

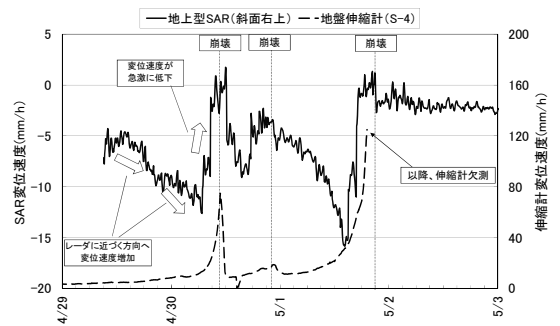


図-5 地上型 SAR*と地盤伸縮計による変位速度変化
*地上型 SAR : 変位速度比較範囲内の平均値

3.3. 地上型 SAR と地上型レーザー計測器による観測結果の比較

地上型 SAR による累積変位量と地上型レーザー計測器による地形変化量との比較を行った(図-6)。双方の変位等が生じている範囲を比較すると、変位等が生じている範囲はおおむね一致する。ただし、地上型 SAR の観測結果は地表面が機器に近づく方向を示していたが、地上型レーザー計測器による観測結果は機器から離れる方向を示していた。

地上型レーザー計測器からは崩壊に伴う地表面の変化量が把握できたが、地上型 SAR による観測結果の解釈は難しかった。これは、崩壊前の斜面の変形が地上型 SAR で観測できる遅い速度で進行する反面、崩壊は観測限界以上の速度で進行するためだと思われる。このことは地上型 SAR による観測対象の選定や、観測結果を単独で解釈することが難しいことを示していると思われる。

また、植生が繁茂している範囲については地上型 SAR と地上型レーザー計測器による観測結果に共通点が見いだせなかった。これは、植生のある部分について観測が難しい地上型 SAR の特性によるものと思われる。

4. おわりに

目視による崩壊発生確認と合わせて地上型 SAR 観測結果を解釈し、観測期間の後半では崩壊発生を予測することで、関係者で切迫感を共有することができた。

地上型 SAR は崩壊地から離れた安全な場所に機器を据え付け可能であり、監視を面的に実施できる可能性がある。また、昼夜問わず、多少の降雨・霧であっても観測可能であることが実証できた。

今後、他の現場においても斜面監視機器として地上型 SAR を利用するため、地上型 SAR で監視が可能な現象を明確にしていく必要があり、他の機器との組み合わせや観測結果の解釈、あるいは観測結果の伝達共有方法について検討を進める必要がある。

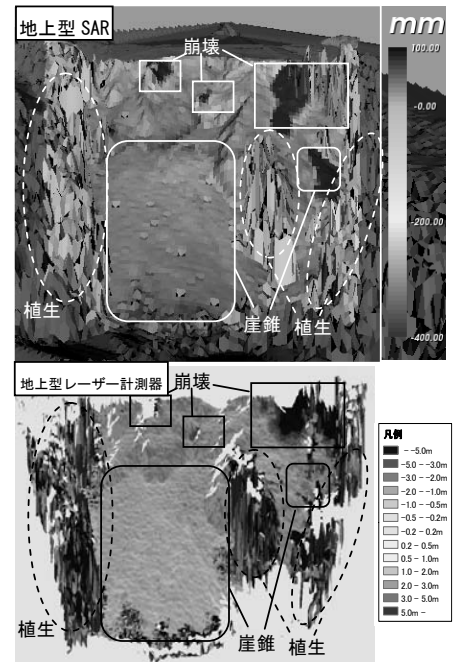


図-6 5月1日から5月10日までの地上型 SAR による累積変位量と地上型レーザー計測器による地形変化量

謝辞：静岡県交通基盤部から地盤伸縮計データをご提供頂きました。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 佐藤源之：レーダーによる栗原市・荒砥沢大規模地滑りモニタリング, <http://cobalt.cneas.tohoku.ac.jp/users/sato/GB-SAR-Ar.pdf>, 2011