

衛星 SAR による広域地すべり地域からの不安定斜面の抽出と観測結果（その2）

中電技術コンサルタント(株) 岩田 直樹, ○鹿瀬 一希
 西松建設(株) 高村 浩彰, 黒田 卓也
 琉球大学 伊東 孝, 藍檀 オメル, 渡嘉敷 直彦
 山口大学 清水 則一, 中島 伸一郎, 上野 明紘
 岩下建技コンサルタント(株) 兼村 友也

1. はじめに

データを利用して地すべり斜面の変状をモニタリングする技術が検討されており, 広範囲を面的にモニタリングできるという衛星の特徴を活かした広域斜面モニタリングの実施が望まれている. そこで本研究では, 沖縄県中城湾周辺で地すべりが多発している地区(延長約 10km)を対象に, 衛星 SAR データを用いた時系列干渉 SAR 解析結果をもとに大きな変位が生じているであろう 3 地区の斜面を抽出し, 合計 32 個の地表傾斜計を設置して降雨時期の地表変状を観測した. その観測結果から広域に分布する地すべりから危険箇所を抽出する本手法の妥当性を検証した. 本報告では, そのうちの観測結果と手法の妥当性について検討した結果を示す.

2. 対象地点の概要

対象地点は, 図-1 に示す沖縄本島の南部に位置する中城湾周辺の斜面であり, 比高差約 100m の段丘地形が海岸線とほぼ平行に約 10km 連続している. この地域は, ほぼ全域にわたって島尻泥岩が分布し, 風化に対する抵抗力が非常に弱いため軟質・土壌化しやすいため, 地形判読によると水色の線で示すように多数の地すべりブロックが分布している. なお, 地すべりのすべり面は, 表層から概ね 10~20m 以浅で発生している.

3. 地表傾斜計による観測結果

衛星 SAR データを用いて抽出した 3 地区(熱田, 奥間, 小橋川)に 3 軸方向の地表傾斜計(OKIPPA, 西松建設)を図-1 に示す 32 カ所に設置した. 傾斜計の計測精度は 0.1° で, 省電力広域無線通信(LPWA/Sigfox)を利用して 1 時間毎に計測結果をクラウドに送信し, リアルタイムに計測結果を見ることができる. 観測期間は 2023 年 4 月 20 日~2023 年 10 月 20 日までの 6 ヶ月間で, 8 月 2~6 日には台風 6 号が接近し, 長期間に亘る豪雨により累積で 700mm 近い降雨量を記録した. またこの暴風雨の影響により 8 月 2 日~3 日には多くの箇所での停電が発生した.

(1) 熱田地区の観測記録

図-2 は, 地表傾斜計の設置箇所と台風後に傾斜計 At3-2 の背後に発生したクラック(幅 20cm 程度, 深さ 20cm 以上, 延長 5m 程度)を示す. また図-3 は, 傾斜計 At3-1~3 と At4-1~4.2 の観測結果と近隣のアメダス胡屋観測所の時間雨量を示す. 傾斜量の時系列グラフは細線と太線で表しているが, 細線は 1 時間毎に観測されたデータであり, 太線は 1 時間毎のデータを 24 時間移動平均した値をプロットしたものである. 傾斜量のプラスは, 傾斜計が斜面前面方向に倒れこむ挙動を表す.

At4-1 の 24 時間移動平均の時系列データをみると, 5 月 18 日と 6 月 14~15 日の降雨では 0.1° 程度, 8 月上旬の台風時には 0.2° 程度の変状が生じている. しかし, 細線で示した 1 時間毎のデータを見ると, 昼夜の気温差により $0.1\sim0.2^{\circ}$ の変状が生じていることや, 季節的な気温変化による大きな揺らぎも確認できることから, At4-1 の降雨時には, 有意な変状が生じないと考えられる. 以上のことから, 観測期間中に気温変化により戻

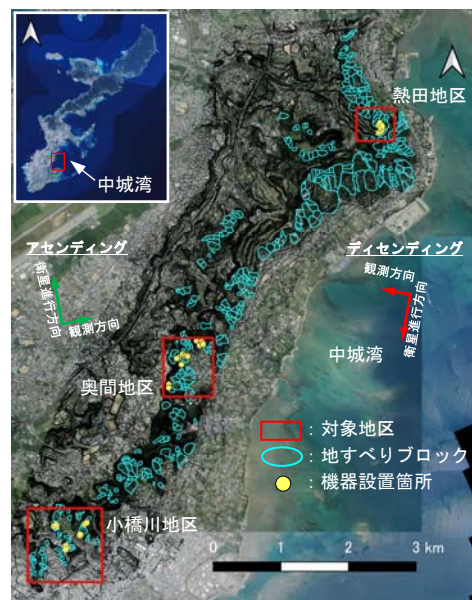


図-1 検討地区と傾斜計設置位置

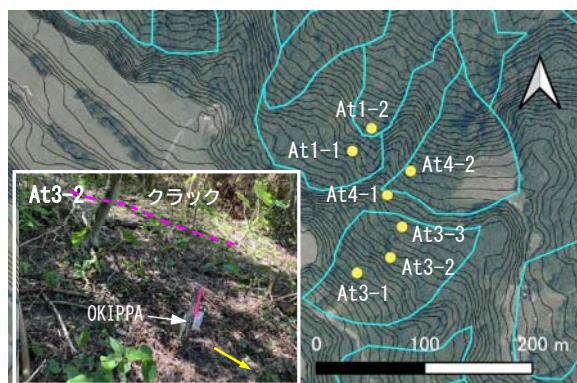


図-2 熱田地区の観測点と台風後に発生したクラック

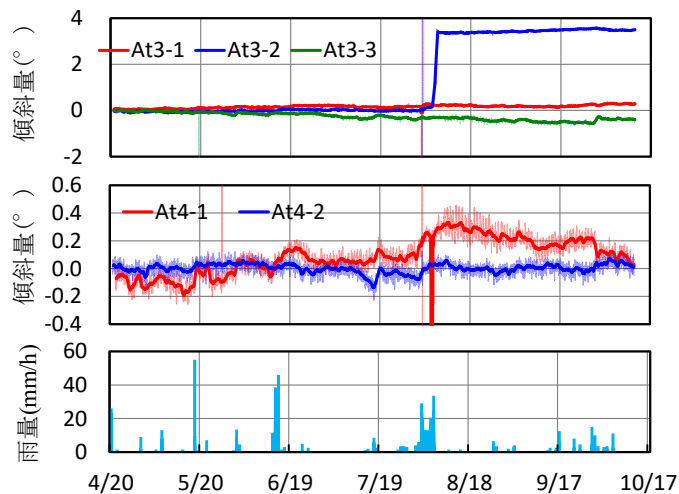


図-3 熱田地区の観測結果と雨量 (At3-1~3, At4-1~4.2)

ることなく、 0.3° 以上の傾斜量が生じている場合を変状ありと考える。

At3-1～3を設置した地すべりブロックについてみると、ブロック下端のAt3-3は継続的に減少し、観測期間中に 0.5° の変状が生じている。ブロック中央のAt3-2は、台風時を除くと変状は観測されていないが、台風時に 3.3° の大きな変状が生じている。これは現地で確認されたクラックによる表層の局所的な滑りの影響と考えられる。ブロック中央のAt3-3では変状は観測されていない。このように地すべりブロックの挙動は複雑であり、地すべりをモニタリングする際にどこに計測機を設置するかによって挙動が大きく異なる。

(2) 奥間地区の観測記録

図-4は、地表傾斜計の設置箇所と台風後の地すべり発生箇所を示す。オレンジ色で示した箇所は、台風前後のWorldview-2の光学衛星画像を用いて正規化植生指標(NDVI)が変化した、すなわち植生から裸地に変化した箇所を抽出したものである。また図-5は、傾斜計Ok2-1～2-3とOk3-1～3-3の観測結果を、図-6は7月30日からの台風時の傾斜量の変化を示す。

Ok2-1は台風時の地滑りに巻き込まれたため8月3日14時までしか観測できていない。Ok2-3の時系列を見ると、台風時に急激に減少しているが、継続的に増加の傾向が見られる。地すべりが発生した付近に設置したOk2-1とOk2-2には、恒常的な変状は見られない。

Ok3-1とOk3-2の時系列は、台風時に急激に変化しているが、恒常的に増加の傾向が見られる。一方、Ok3-3の時系列は8月までは増加傾向が見られるが、傾斜量が 0.2° 程度であり、季節の気温変化の影響か変状によるものかは判断できない。

図-6の台風時のデータを見ると、基地局の停電の影響により8月2日付近のデータが非常に少なくなっている。Ok3-2とOk3-3には傾斜量の減少が見られるが、図-4の写真にある現地で確認した地すべり下端の孕み出した箇所に隣接しており、同様に孕み出しが生じていると考えられる。一方、Ok3-1には傾斜量の増加が見られることから、Ok3-1～3-3を設置した箇所が地すべりブロックとしての動いた可能性も考えられる。

4. 本手法の妥当性評価

32カ所に設置した地表傾斜計について、観測期間中に傾斜量 $\Delta\phi$ が 0.3° 以上となり、傾斜が残留しているものを変状が発生したとして整理した結果を表-1に示す。観測期間内の長期変状発生箇所は50%程度となり、そのうち台風による変状箇所は30%程度であった(うち1ヶ所は斜面崩壊)。

5. おわりに

半年間という短期間であったが、SARにより変状箇所を適切に選定できる可能性は示せた。しかし、季節の気温変化による傾斜量の大きな揺らぎがどの程度なのか、変状発生箇所が継続的に挙動するのか、また変状が発生していない箇所は今後とも変状しないのかなど、長期的な観測により課題を解決していく必要があると考えている。

謝辞：本研究は、中電技術コンサルタント(株)、西松建設(株)、岩下建技コンサルタント(株)、琉球大学、山口大学の共同研究として実施した。また本研究の実施にあたり、ご協力いただいた沖縄県中部土木事務所の各位に深く御礼申し上げます。

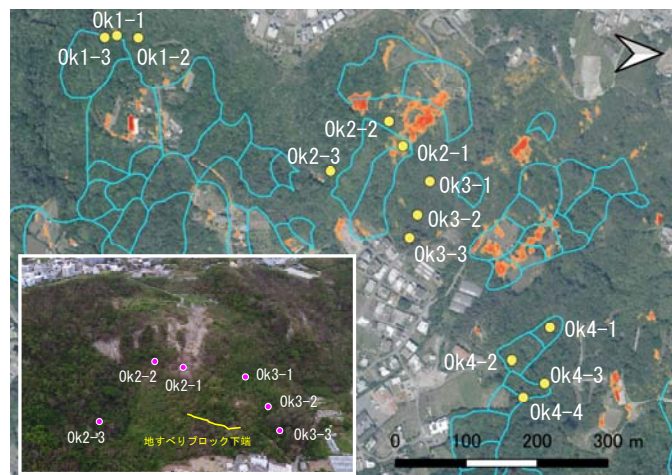


図-4 奥間地区の観測点と台風による地すべり発生状況

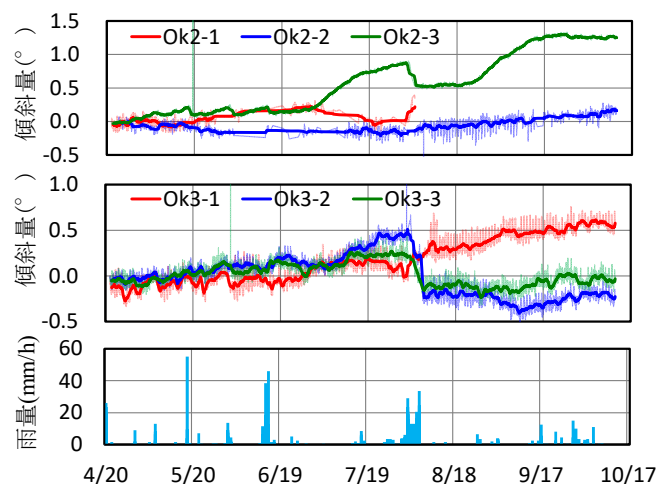


図-5 奥間地区の観測結果と雨量 (Ok2-1～3, Ok3-1～3-3)

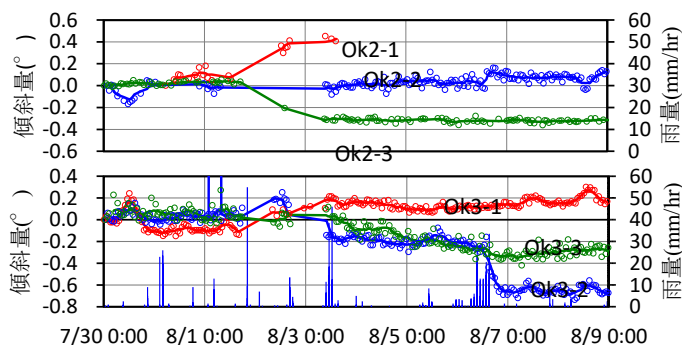


図-6 台風時の観測結果 (7/30をゼロとした図-5の拡大図)

表-1 地表傾斜計で観測された地すべり挙動一覧表

	設置	長期増加傾向 ($\Delta\phi > 0.3$)	長期減少傾向 ($\Delta\phi > -0.3$)	長期 変状なし	8月台風時変状 ($ \Delta\phi > 0.3$)
熱田	7	0	2	5	1
奥間	13	7	0	6	7
小橋川	12	6	1	5	2
合計	32	13 (41%)	3 (9%)	16 (50%)	10 (31%)