

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：82105

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25560185

研究課題名(和文) 干渉SARとレーザー測量による深層崩壊危険斜面ピンポイント検出技術

研究課題名(英文) Pinpoint detection of deep seated landslide prone slopes by using InSAR images and airborne LiDAR

研究代表者

大丸 裕武 (Hiromu, Daimaru)

独立行政法人森林総合研究所・水土保持研究領域・室長

研究者番号：60353744

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：深層崩壊が発生した斜面では、崩壊前から小規模な重力性変形が進行することが知られている。国土地理院の干渉SARデータによって異常が検出された地域の現地調査を行って、干渉SARによる地盤変動の監視の有効性を検証した。その結果、静岡県坂本川上流と長野県坂巻温泉上流斜面、天龍村虫川、大鹿村小塩、奈良県十津川村の神納川上流、和歌山県日高川町の斜面において、道路や擁壁の亀裂などの明瞭な変状が認められた。とくに、坂本川上流の斜面では、SARデータによって変形が確認された後に、大規模な深層崩壊が発生していたことから、明らかに崩壊発生前の重力性クリープを捉えていたことが示唆された。

研究成果の概要(英文)：It is widely recognized that small gravitational creeps precede deep seated landslides. We validated the mass movements suggested by the InSAR analysis by GSI through the field observations. Many evident local ground deformations were recognized such as cracks in sealed roads and retaining walls in the upper reach of Sakamoto River and Sakamaki hot spring area, Mushikawa area in Tenryu Village, Koshio area in Ohshika Village in Nagano Prefecture, upper reach slope of Kannogawa in Totsukawa Village and Hidaka-gawa Town in Wakayama Prefecture. Especially the mass movement occurred in the upper reach of the Sakamoto River was followed by a large deep seated landslide and suggested that the InSAR observation by GSI had clearly detected the premonitory phenomenon of the deep seated landslide.

研究分野：防災科学

キーワード：深層崩壊 干渉SAR 地盤変動 衛星観測 斜面微地形 地すべり

1. 研究開始当初の背景

近年、国内の各地で深層崩壊の発生が見られ、深層崩壊危険度評価手法の向上が大きな課題となっている。深層崩壊は重力性クリープ等によって岩盤が脆弱化した斜面で発生することが多い(千木良, 2006) ため、重力性クリープによって形成される線状凹地などの特徴的な微地形を評価することで、危険斜面を抽出する努力が続けられてきた。しかし、実際の山地にはそのような微地形はきわめて広く分布しており(横山他, 2011)、斜面微地形を指標とすると大半の斜面が危険地になってしまう場合もある。このため、重力性クリープによる変形が進行した斜面の中から、現在も変形が進行中の崩壊リスクが高い場所を絞り込む技術が必要とされている。

2. 研究の目的

衛星干渉 SAR 技術は cm オーダーの地盤変動を検出することが可能である。当初は地震後の地殻変動の評価や火山斜面の監視に用いられてきたが、解像度の向上によって近年では地すべりの監視にも利用されている。もし、干渉 SAR 技術を用いて深層崩壊発生前に進行する斜面の重力性変形を検出することができれば、広いエリアの中から、とくに活動的な斜面を抽出できる可能性がある。一般に、深層崩壊が発生する斜面の多くは典型的な地すべり地形に比べると急傾斜で平滑な部分の広がり小さい場合が多い。ALOS PALSAR センサーの干渉縞は 1 周期 11.8cm で、25m の解像度を持つため、理論的には 100m 程度の広がりを持つ斜面で発生する 10cm オーダーの地盤変動を検出することが可能である。そこで、ALOS PALSAR の干渉 SAR の解析結果から、全国から重力性斜面変形が進行している可能性が高い斜面を抽出し、実際に野外調査を行って干渉 SAR データが地盤変動を検出したのかどうかを検証することを目的に研究を行った。

3. 研究の方法

国土地理院が ALOS PALSAR データの解析によって作成した、“干渉 SAR 全国監視判読・評価資料”の中から、比較的アプローチが良い斜面を選択して現地調査を行った。国土地理院の解析結果の中には、100m オーダーの広がりを持つパッチ状の干渉縞がしばしば出現する(図 1)。この中には、年代が異なる複数の組み合わせでも干渉縞が出現し、地形条件からも重力性クリープとの関連性が疑われる場所も多い。この中から、急斜面に面した凸型の緩斜面など深層崩壊(地すべり性崩壊)の危険性が想定される箇所を選出して、現地における地盤変動の状況を検証した。植生に覆われた自然斜面では小規模なクラックを認定することは困難なため、可能な限り舗装道路やコンクリート構造物が存在する斜面を選択し、舗装面や擁壁に発生した亀裂などを判断材料にして地盤変動の有無を確認した。

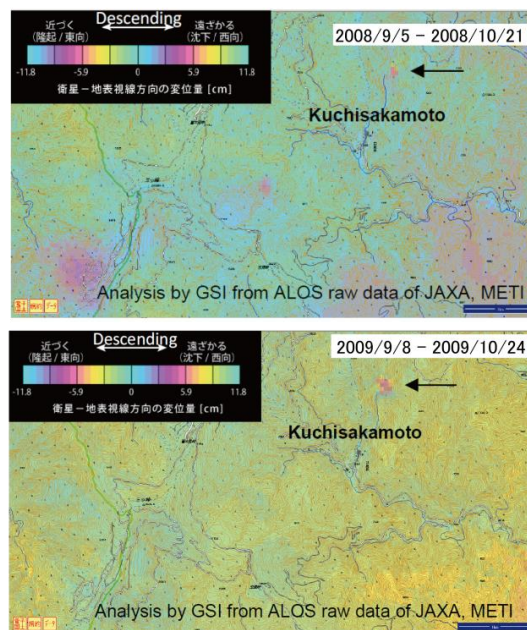


図 1 干渉 SAR で検出された口坂本川左岸斜面の地盤変動(小荒井他, 2014 に加筆)



図 2 現地調査で確認された地盤変動の例
干渉 SAR データは国土地理院による。色調の凡例は図 1 と同じ。

さらに、調査斜面において過去に計測された航空機レーザー測量データから作成した地形図や空中写真を判読して、現在進行中の地盤変動の原因を推定した。

4. 研究成果

(1) 現地調査結果

国土地理院の解析結果で変状が推定された斜面の現地調査を行ったところ、多くの場所で明瞭な斜面変形の証拠が認められた(図2)。この中には、田辺市右会津川や長野県小塩の斜面のように、比較的明瞭な滑落崖を持ち、明瞭な地すべり地形の特徴を持つものもあれば、坂巻温泉や十津川村神納川上流、天龍村虫川のように斜面全体が急傾斜で滑落崖が不明瞭な斜面も見られる。

図3は天龍村虫川の斜面について、航空機レーザー測量から作成した詳細なDEMをもとに微地形判読を行った結果である。この斜面では、不明瞭ではあるが周囲よりも若干急傾斜な小崖と、その下の凸型の膨らみを持った移動ブロックの組み合わせを認識できる。これらの移動ブロックは大きなブロックの内部に小規模なブロックが含まれる“入れ子状”の構造になっている。干渉SARで変形が推定されたのは、中央部の斜面下部の二段のブロックである。この移動ブロックを横断する道路では路面の沈下や、擁壁の亀裂が多数見られその分布範囲は、干渉SARの変状域とほぼ一致していた。移動ブロックの脚部が河川の浸食によって不安定化したために下方に膨らみ出すような斜面変形が発生したことが推定される。

一方、比較的明瞭な地すべり滑落崖を持つ小塩地区の斜面では、干渉SARで変形のシグナルが出現するのは移動ブロック前縁部に限られており、地すべり地形の全体が変動しているわけではない。この変状箇所の直下は急斜面となっており、地すべり地内で突発的な地すべり性崩壊(本質的には深層崩壊と同様の現象である)が発生する可能性が指摘できる。

このように、航空機レーザー測量による詳細DEMの判読では、きわめて多数の移動ブロックが推定されるが、全てのブロックが同時に移動しているわけではなく、ある時間断面においては、移動中の斜面と移動が停止中の斜面とが混在していることがわかる。

地形的特徴からは、過去において移動現象が発生した斜面しかわからない。その大部分は現在では地盤変動が起きていない斜面であり、現在活動中の斜面を特定することは困難である。干渉SAR技術は広大なエリアの中から現時点において変更が進行中の、とくに活動的な斜面を効率よく検出することが可能である。

(2) 深層崩壊直前予測の可能性

それでは、干渉SARで斜面の変動が観測された斜面は、本当に近い将来に深層崩壊が発生するリスクが高い斜面とみなすことができるのであろうか。

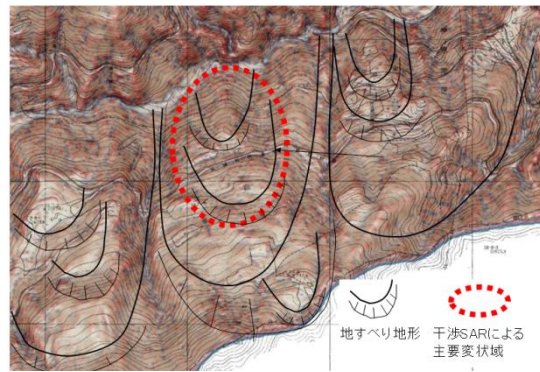


図3 天龍村虫川地区の1mDEMから作成した微地形図(戸田、未公表資料;国土交通省中部地方整備局の航空機レーザー測量データより作成した)



図4 虫川地区に見られる斜面変状



図5 大鹿村小塩地区の1mDEMから作成した微地形図(戸田、未公表資料;国土交通省中部地方整備局の航空機レーザー測量データより作成した)

静岡市口坂本地区の斜面の調査結果は、この問題を考える上で重要な意味を持つ。この斜面は静岡市口坂本地区を流れる坂本川上流部の左岸にあり、2008年9月5日と2008年10月21日、2009年9月8日と2009年10月24日の二組の衛星データの解析によって、幅100m内外の狭い範囲内に、cmオーダーの斜面変形を示唆するパターンが認められた(図1)。その後2012年11月の測量では崩

壊は確認できなかったが、2013年6月の現地調査では大規模な崩壊が発生していることが確認された（図7）。このことは干渉 SAR が深層崩壊発生の約4年前に起きた前兆的な地盤変動を捉えた可能性を示唆する。

口坂本地区では1998年の豪雨によって坂本川源頭部の斜面（図6）が崩壊して多量の土砂が流出した後に河床が2m程度上昇し、その後、侵食が進んで現在のレベルにまで低下したことが、樹木の特徴から推定される（図8）。このような激しい河床変動に伴う斜面脚部の浸食によって一部のブロックが不安定化し、地すべり性崩壊が発生した可能性が考えられる。

このように特定の斜面のみが不安定化する原因としては、上述したような河床変動だけでなく地下水の集中現象も考えられるが、いずれにしても今回の研究結果は、干渉 SAR 技術が、不安定化がとくに進行している斜面を検出し、結果として深層崩壊の前兆現象を検出できる可能性を示したものである。

2015年から一般へのデータ配信が開始された ALOS2 の PALSAR-2 センサーは、高分解モードでは3mの解像度で地盤変動を観測することが可能であり、深層崩壊発生前の斜面変形をモニタリングするうえで十分な性能を持っている。今後、このような高解像度センサーを用いて、解析事例が蓄積されれば、深層崩壊の的確な予測につながると期待される。



図6 口坂本地区の概況（Google Earth より作成）



図7 口坂本地区の斜面で2013年に発生した崩壊



図8 口坂本地区の崩壊斜面の対岸に見られる河床変動の痕跡

かつての河床面はaの樹木根系より下にあったが、堆積によってbのレベルにまで上昇した後、現在の河床面（治山ダムの上面）まで低下したことがうかがわれる。

<引用文献>

- ①千木良雅弘、地すべり・崩壊の発生場所予測—地質と地形から見た技術の現状と今後の展開—、土木学会論文集C、第62巻4号、2006、772-735。
- ②横山修、内田太郎、田村圭司、鈴木隆司、井上亨郁、宮崎県鰐塚山地における深層崩壊と微地形・地質的特徴の関係、砂防学会誌、第63巻5号、2011、3-13

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計5件)

- ① 佐藤浩、中島秀敏、中埜貴元、大丸裕武、Monitoring of precursor landslide surface deformation using InSAR image in Kuch-Sakamoto, Shizuoka Prefecture, Japan、2014 AGU Fall Meeting、NH11A-3638、2014年12月15日～19日、サンフランシスコ (米国).
- ② 戸田堅一郎、大丸裕武、中埜貴元、岩橋純子、干渉 SAR と CS 立体図による深層崩壊危険斜面検出技術の開発、第51回日本林学会中部支部大会、2014年10月25日～26日、名古屋大学農学部 (愛知県名古屋市).
- ③ 小荒井衛、中埜貴元、戸田堅一郎、大丸裕武、地すべり性斜面変動の前兆を干渉 SAR と航空レーザー測量で捉える、地球惑星科学連合 2014 年大会、HDS29-05、2014年4月28日～5月2日、パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市).
- ④ 小荒井衛、中埜貴元、佐藤浩、岡谷隆基、大丸裕武、干渉 SAR 技術による大規模斜面変動の前兆把握の可能性、写真測量学会平成 25 年度秋季学術講演会要旨集、2013年11月20日～22日、サンポートホール高松 (香川県高松市).
- ⑤ 中埜貴元、小荒井 衛、大丸裕武、三森利昭、岡田康彦、小川明穂、西井稜子、SAR 干渉画像で捉えた静岡市口坂本地区の地すべりの前兆変動 (速報)、日本地理学会秋季大会、2013年9月28日～30日、福島大学 (福島県福島市).

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大丸 裕武 (DAIMARU, Hiromu)

独立行政法人森林総合研究所水土保全研究領域・室長

研究者番号：60353744

(2) 研究分担者

村上 亘 (MURAKAMI, Wataru)

独立行政法人森林総合研究所水土保全研究領域・主任研究員

研究者番号：10353880

戸田堅一郎 (TODA, Kenichiro)
長野県林業総合センター・研究員
研究者番号：20507321

小荒井 衛 (KOARAI, Mamoru)
国土交通大学校・測量部長
研究者番号：50419876

岡谷隆基 (OKATANI, Takaki)
国土地理院企画部・調整官
研究者番号：20581606

中埜貴元 (NAKANO, Takayuki)
国土地理院・研究官
研究者番号：60511962
岩橋純子 (IWAHASHI, Junko)
国土地理院・研究官
研究者番号：90391698

中島秀敏 (NAKAJIMA, Hidetoshi)
国土地理院・室長
研究者番号：00742298

(3) 連携研究者

なし