

衛星干渉 SAR と電子基準点を用いた地震の地表面変位とゆるみ斜面の把握 —2016 年熊本地震への試行—

新潟大学災害・復興科学研究所 ○水野 正樹*, 福岡 浩, 丸井 英明
株式会社パスコ 森田 保成, 三五 大輔, 寶楽 裕

*: 現, 国立研究開発法人 土木研究所

1. はじめに

地震後の降雨等による崩壊の監視や警戒エリアの設定のために、地震による地盤の「ゆるみ斜面」の把握手法が望まれる。そこで本研究では、図 1 の 2016 年熊本地震を対象に、「地震前後の ALOS-2 L バンド SAR の差分干渉画像」と「電子基準点」を用いた 2.5 次元解析から地表面変位量図を作成し、ゆるみ斜面の把握を試みた。従来、地震の地表面変位量図は、南北方向の変位量を 0 として 2.5 次元解析により計算している^{1), 2)}。本研究では、図 2 に示す電子基準点の水平方向の変位³⁾を入力するとともに、地表面が乱された低コヒーレンス領域でも 2 種類のアンラッピング処理法を併用することで連続性能を向上させて空白域を減らし、「地表面変位量図」を作成した。さらにこの図を用いて、ゆるみ斜面とみなす土塊状変位領域や崩壊地多発領域の抽出を試行した。

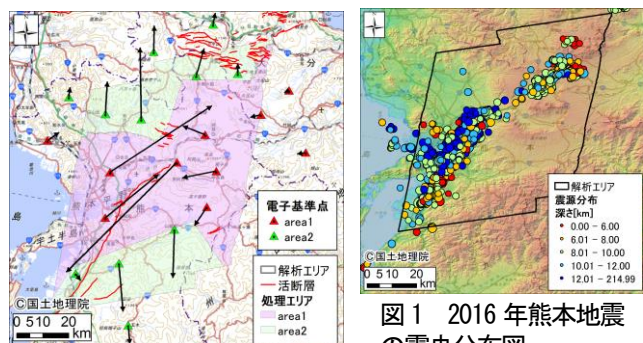


図 1 2016 年熊本地震の震央分布図

図 2 解析対象地域と電子基準点の水平変位量³⁾とエリア分割

2. 解析の手順

2.5 次元解析による地震時の地表面変位量図の作成フローを図 3 に示す。ここで、図 3 ②のアンラッピング処理は、コヒーレンス 0.3 以上の領域について、位相の連続性能が低い精度が高い Branch Cut (以下, BC) 法を優先使用して、生じた空白域に精度が低い傾向にあるが位相の連続性能が良い Minimum Cost Flow (以下, MCF) 法を適用した。

また、「エリア分割線の補正」は、電子基準点補正後の地表面変位量図を用いて、分割線の両側の

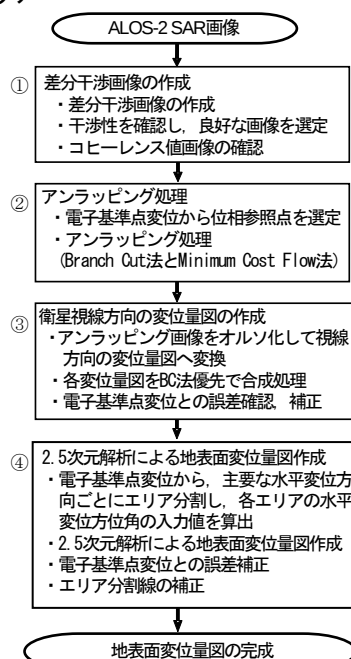


図 3 干渉 SAR による地震時の地表面変位量図の作成フロー

変位量が概ね同じになる線の位置を目視して、各エリアの対象領域となる分割線を引いた。

3. 地表面変位量図の作成

3.1 使用した ALOS-2 SAR 画像

図 2 の地域を対象として、熊本地震前後の表 1 の ALOS-2 画像を用いて、北行軌道 2 枚、南行軌道 2 枚の差分干渉画像を作成した。干渉性は概ね良好であった。

表 1 使用した ALOS-2 画像

軌道方向	軌道番号 フレーム番号	観測日	シーン シフト
北行	130-650	2015/6/18, 2016/6/16	-3
	131-640	2016/3/29, 2016/4/26	+1
南行	23-2950	2016/3/7, 2016/4/18	0
	23-2960		

3.2 水平方向の相関式の算出

地震時の電子基準点の変位ベクトルを基に、図 2 に示す area1 領域の 2.5 次元解析の(1)式で用いる水平方向の変位方位角を表 2 のとおり算出した。ここで、変位方向がほぼ南北方向の area2 は、軌道方向に近いために誤差が大きくなり不適と判定し、area1 領域のみについて解析を進めた。

表 2 水平方向の変位方位角 (area1)

$$\Delta y = \alpha \Delta x \quad (1) \text{式}$$

点数	方位角[°]	α
11	39.046	0.811

3.3 2.5 次元解析

地表面の変位量を $\angle x$ (東西方向)、 $\angle y$ (南北方向)、 $\angle z$ (垂直方向) とすると、干渉 SAR により観測される、2 つの異なる入射方向に対する視線方向の変位量 $\angle a, \angle d$ は、地表面の変位量ベクトル ($\angle x, \angle y, \angle z$) を各視線方向の単位ベクトル上に投影したものであり、(2)式、(3)式で表される。

$$\Delta a = \Delta x \sin \theta_a \cos \phi_a + \Delta y \sin \theta_a \sin \phi_a + \Delta z \cos \theta_a \quad (2) \text{式}$$

$$\Delta d = \Delta x \sin \theta_d \cos \phi_d + \Delta y \sin \theta_d \sin \phi_d + \Delta z \cos \theta_d \quad (3) \text{式}$$

(2)式、(3)式において、 θ は入射角、 ϕ は東方をゼロとしたときの衛星の方位角。なお、視線方向の変位は衛星に近づく方向を正とする。

北行軌道での視線方向の変位量を $\angle a$ 、南行軌道での視線方向の変位量を $\angle d$ として、(1)式、(2)式、(3)式から東西方向、南北方向及び垂直方向の変動量である $\angle x, \angle y, \angle z$ を算出した。

さらに、2.5 次元解析後に電子基準点の変位データを用いて変位軸方向ごとに補正した。(y=ax で補正)

4. 解析結果

4.1 熊本地震の地表面変位量図

4 枚の差分干渉画像を合成して、area1 領域の地表面変位量図を図 4~図 6 のとおり作成した。変位状況は画像境界線に接した両側で概ね整合している。しかし、画像境界線を挟んで変位状況に不整合がある領域が白川付

近にあり、コヒーレンス値が低い（0.7 以下）領域については、変位量の誤差がより大きいと考えられる。

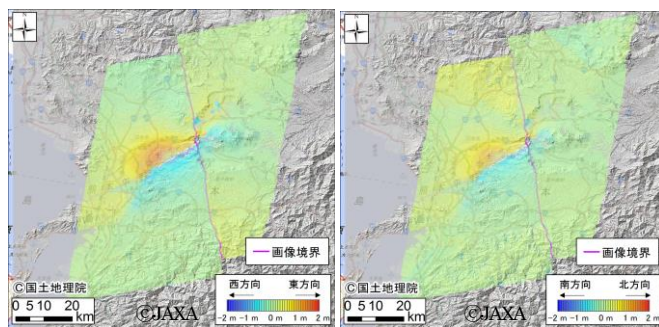


図4 東西変位量図

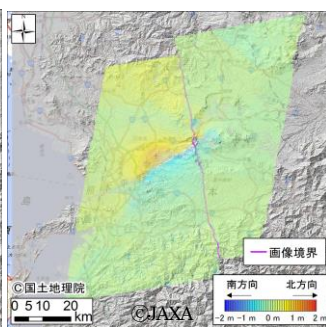


図5 南北変位量図

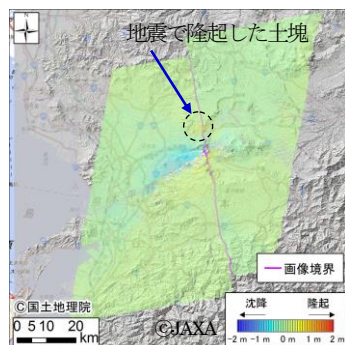


図6 垂直変位量図

4.2 地表面変位量図による土塊状変位領域の抽出

作成した地表面変位量図と、崩壊地分布⁴⁾を重ね合わせて図7に示す。図7から、東西変位の反転線や、「変位方向又は変位量が周囲と異なる土塊状領域」が抽出できた。それぞれ複数の崩壊地が発生している。なお、地表面変位量図の水平方向の変位は表2の方位角で計算しており、「変位方向が表2の方位角と異なる領域」は、変位方向と変位量の誤差が大きいことに留意を要する。

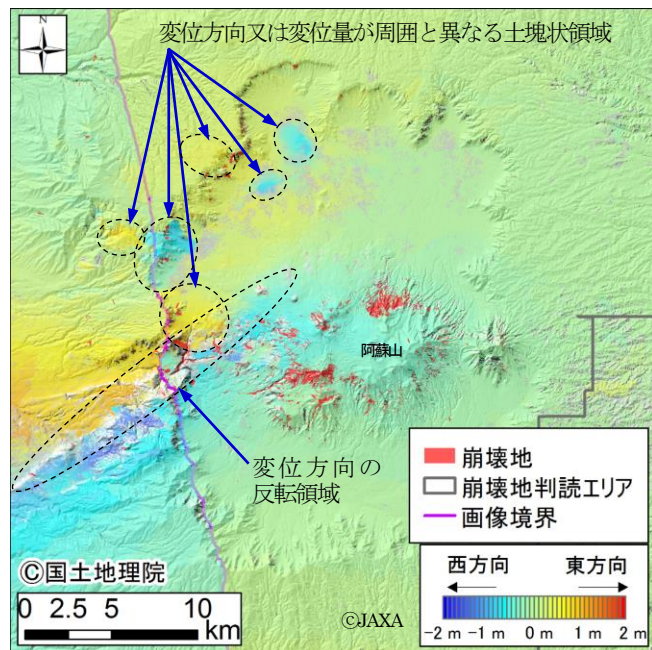


図7 東西変位量と崩壊地分布⁴⁾

4.3 BC法による崩壊多発領域の抽出

BC法の解析可否領域を示す図と「崩壊地分布⁴⁾」（緑色）を重ねて図8に示した。ここで、地表面が乱されて

不連続となりBC法で解析不可能な「BC解析不可能領域」を赤色で、BC法で解析できた「BC解析領域」を無色で示している。その関係は図9に示すとおり、崩壊地面積の62.6%が図8に赤色で示す「BC解析不可能領域」で発生していた。このことから斜面にある「BC解析不可能領域」は、崩壊地が多く発生している領域と考えられる。ただしBC法の解析画像はノイズの影響を受けることがある為、複数のBC法解析画像を重ね合わせて画像ノイズを排除することが、有効であると考えられる。

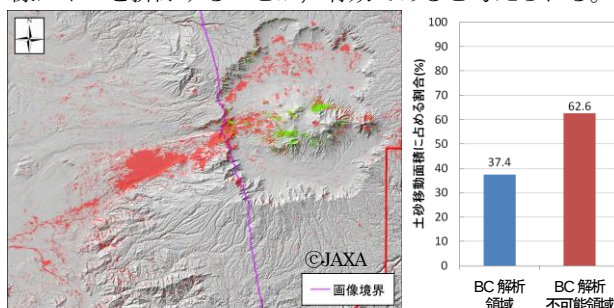


図8 崩壊地分布⁴⁾とBC解析不可能領域（BC法の解析不可能領域）

図9 BC法の解析可否領域と崩壊地面積の関係

5. おわりに

ALOS-2の差分干渉画像の2.5次元解析により熊本地震の地表面変位を把握することで、緩み斜面とみなす「土塊状変位領域」や「崩壊多発領域」の抽出を試行した。

まず、今回の手法による2.5次元解析で、「変位方向又は変位量が周囲と異なる土塊状領域」や「変位方向の反転領域（断層線）」が判読できた。変位の境界には亀裂が生じていることも考えられ、保全対象の位置関係と斜面勾配から土砂災害に警戒を要する地域を設定できる可能性がある。ただしコヒーレンス値が低い領域については、変位量の誤差がより大きいことに留意が必要である。

また、地震の崩壊地面積の62.6%が、地表面が乱されて不連続となりBC法で解析不可能な「BC解析不可能領域」で発生していた。衛星LバンドSARは樹林を透過することから、BC法は、地震による山間部の「崩壊多発領域」の抽出に有効であると考えられる。

今後の震災対応として、地震後に衛星LバンドSARで撮像し今回の手法で地表面変位量図を作成することで、土砂災害に長期的警戒を要する「土塊状変位領域」や「崩壊多発領域」を面的に抽出できる可能性が示された。

＜参考文献＞

- 1) 水野正樹, 神山嬢子, 江川真史, 吉川和男, 三五大輔, 草野駿一: 衛星干渉SARのステレオペアから抽出した地震の地表面変動量と崩壊分布の関係, 平成27年度砂防学会研究発表会概要集, P1-057, 2015
- 2) 国土地理院: 2.5次元解析による結果, だいち2号干渉SARによる変動の検出について2. (2), 2016, <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html>
- 3) 国土地理院: 平成28年4月16日の熊本県熊本地方の地震(M7.3)(暫定値)前後の観測データ(1)地殻変動(水平), 2016, <http://www.gsi.go.jp/common/000139639.jpg>
- 4) 防災科学技術研究所: 熊本地震による土砂移動分布図(2016.6.27更新), <http://www.bosai.go.jp/mizu/dosha.html>