P-171

ALOS-2/PALSAR-2 を用いた干渉 SAR 解析における斜面変動検出性能の評価

株式会社パスコ　○平田育士、吉川和男、柴山卓史、森田保成
国土技術政策総合研究所　神山嬢子（現　土木研究所）、野呂智之、鈴木大和、山下久美子

1. はじめに

大規模な土砂移動現象による被害を防止・軽減するための対策を適時適切に実施するためには、地すべりや深層崩壊等の予兆となる微小な斜面変動を早期に把握する必要がある。これらを広域的かつ定常的に監視するためには、合成開口レーダ（以下「SAR」という）の二時期の観測データを干渉処理する技術（以下「干渉 SAR 解析」）が有効である。

干渉 SAR 解析結果から斜面変動状況を把握し、これをもとに現地での詳細な調査・計測を計画する場合、干渉 SAR 解析結果が適切に斜面変動状況を表していることが前提となる。しかし、干渉 SAR 解析による斜面変動の検出性能を定量的に評価した事例は少ない。そのため、本研究では、ALOS-2/PALSAR-2 を用いた干渉 SAR 解析によって斜面変動を検出する際の検出性能を把握することを目的とし、継続的な地すべり性の斜面変動が認められている甚之助谷を対象として、変動範囲および変動量の検出性能の評価を行った。

2. 干渉 SAR 解析の実施

ALOS-2/PALSAR-2 の観測結果を用い、表-1 に示す 8 ペアにて干渉 SAR 解析を実施した。また、解析結果をもとに、既往研究[1]で示されている判読方法を採用して、斜面変動を検出したと考えられる干渉縞の判読を実施した。

表-1. 干渉 SAR 解析ペア

ペア No	軌道	軌道番号	フレーム番号	マスター観測日	スレーブ観測日
1	北行軌道	127	710	2014/10/8	2015/7/15
2	北行軌道	127	710	2015/7/15	2016/7/13
3	南行軌道	20	2890	2014/8/24	2015/9/20
4	南行軌道	20	2890	2014/8/24	2016/6/12
5	南行軌道	20	2890	2014/8/24	2016/8/21
6	南行軌道	20	2890	2015/9/20	2016/6/12
7	南行軌道	20	2890	2015/9/20	2016/8/21
8	南行軌道	20	2890	2016/6/12	2016/8/21

3. 変動量の検出性能評価

甚之助谷では ALOS-2 運用期間中に 58 点の測量点（図-1）で GNSS 測量による変動量測量が行われており、この測量結果と干渉 SAR 解析で検出された変動量を比較し、残差を指標として変動量の検出性能を評価した。

干渉 SAR 解析で検出される変動量は衛星視線方向の変動量であるため、比較する際には測量結果から得られた変動量を衛星視線方向成分に分解する必要がある。そこで、測量結果から得られた変動ベクトルを$\boldsymbol{a}$、干渉 SAR 解析で検出された変動ベクトルを$\boldsymbol{b}$とし、$\boldsymbol{a}$と$\boldsymbol{b}$の内積から両ベクトルのなす角θを求め、測量結果から得た変動ベクトルの衛星視線方向成分$\boldsymbol{a}'$および残差$|\boldsymbol{A}|$を次式により算出した。

$$\cos\theta = (\boldsymbol{a}\cdot\boldsymbol{b})/(|\boldsymbol{a}|\cdot|\boldsymbol{b}|) \quad (1)$$

$$\boldsymbol{a}' = \boldsymbol{a}\cdot\cos\theta \quad (2)$$

$$|\boldsymbol{A}| = |\boldsymbol{b} - \boldsymbol{a}'| \quad (3)$$

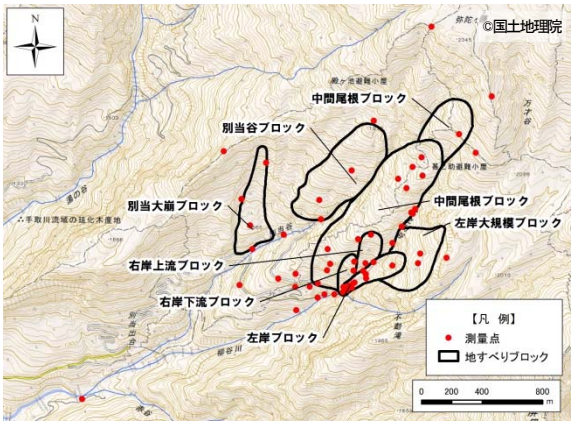

図-1. 地すべりブロック区分および測量点位置図

前述の 8 ペアの解析結果に対し、ア）58 点の測量点で得られた測量結果変動量の衛星視線方向成分（衛星視線方向変動量）とイ）干渉 SAR 解析変動量の関係を図-2 に示す。図-2 より、ア）の絶対値が大きい範囲（図-2 の黒枠線内）で、残差$|\boldsymbol{A}|$が大きい傾向を確認することができる。

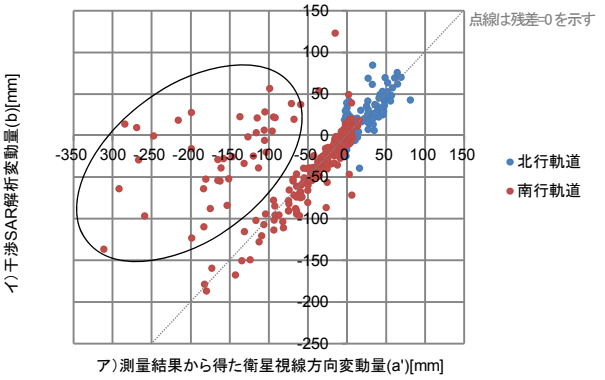

図-2. 衛星視線方向変動量と干渉 SAR 解析変動量の関係

次に、解析ペアごとの残差の統計値と観測間隔、軌道間距離、干渉縞周辺のコヒーレンス値を表-2 に示す。表-2 のペア No. 4, 5 のように、観測間隔が長いペアほど干渉性が低く、残差が大きくなる傾向が確認された。したがって、衛星視線方向変動量の絶対値が大きい場合、および干渉性が低い場合に残差が大きくなると考えられる。

表-2. 残差による変動量検出性能評価結果

ペア No	残差($|\boldsymbol{A}|$)[mm] RMS	残差 平均	残差 最大	観測間隔[日]	軌道間距離[m]	干渉縞周辺のコヒーレンス値
1	12.9	10.6	38.2	280	150	0.9
2	18.9	13.7	55.2	364	169	0.8
3	12.4	9.8	49.6	392	68	0.8
4	90.4	60.6	298.2	658	14	0.7
5	92.4	64.9	237.2	728	70	0.7
6	9.2	7.2	30.3	266	69	1.0
7	9.4	8.1	29.6	336	12	1.0
8	6.8	5.9	11.8	70	69	1.0
平均	48.3	22.1	298.2			

さらに、衛星視線方向変動量と干渉性（コヒーレンス値）に応じた残差の変化傾向を確認した。衛星視線方向変動量（絶対値）を15㎜、測量点のコヒーレンス値を0.1単位で分割した場合の残差のRMSを図-3に示す。これらより、以下のことが分かった。

- 衛星視線方向変動量 90㎜ 未満と比較すると、90㎜以上の場合の残差は 2 倍以上に大きくなっている。衛星視線方向変動量90㎜未満の場合、残差のRMSは概ね30㎜未満である。
- コヒーレンス値0.9以上と比較すると、0.9未満の場合の残差は 2 倍以上大きくなっている。コヒーレンス値0.9以上の場合、残差のRMSは20㎜未満である。

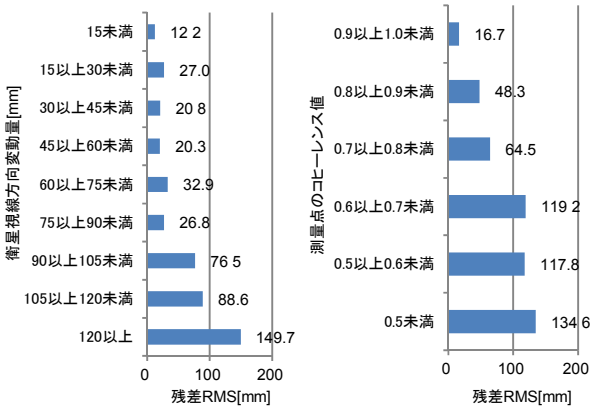

図-3. 衛星視線方向変動量と干渉性に応じた残差の変化

4. 変動範囲の検出性能評価

既存の調査結果に示される地すべりブロック区分（図-1）のうち、地表変動が認められるブロックの範囲（X）と干渉SAR解析で検出された変動範囲（Y）を重ね合わせ、的中率とカバー率を用いて変動範囲の検出性能を評価した。XとYの重複範囲をZとし、的中率およびカバー率を次式により算出した。

$$的中率 = Z/Y \qquad (4)$$

$$カバー率 = Z/X \qquad (5)$$

その結果、干渉縞周辺における干渉性が高いほど、的中率とカバー率が高くなる傾向が確認された（図-4）。

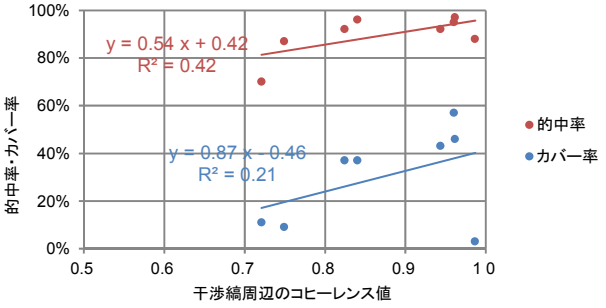

図-4. コヒーレンス値と的中率、カバー率の関係

さらに、変動方向に応じた変動範囲検出性能の変化傾向を確認した。まず、変動範囲の検出性能が低かったペアNo.4, 5, 8を除く5ペアを対象として、ブロック内の測量点の測量結果をもとにブロックごとの平均的な変動方向（方位角と傾斜角）を計算し、変動方向と衛星視線方向のなす角φを求めた。次に、ブロックごとに的中率を計算し、φとの関係を図-5に整理した。その結果、軌道方向によらず、φが90°に近づくほど的中率が下がる傾向が確認された。

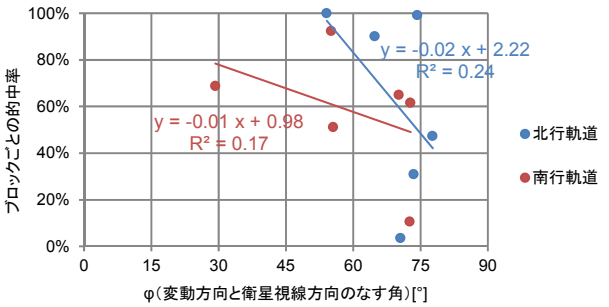

図-5. ブロックごとのφと的中率の関係

5. まとめ

- 変動量、変動範囲の検出性能には干渉性が影響し、干渉性が高いほど検出性能が向上することが分かった。また、変動範囲の検出性能には変動方向も影響し、変動方向が衛星視線方向に対して垂直に近づくほど、性能が低くなる傾向が確認された。
- 変動量の検出精度は、衛星視線方向変動量が90㎜未満の場合は概ね30㎜RMS未満、コヒーレンス値が0.9以上の場合は20㎜RMS未満であった。
- 変動量の検出性能には衛星視線方向変動量が影響することから、良好な結果を得るためには変動速度に応じて適切な観測間隔のペアを選び、解析を行うことが望ましい。衛星視線方向変動量が90㎜未満の場合に変動量の検出性能が高いこと、また既往研究[2]より干渉SAR解析による変動量の検出限界は15㎜程度と示されていることから、変動速度に応じた良好な結果が得られる可能性が高い観測間隔は図-6のように整理できる。図-6の2つの曲線に挟まれた領域が、良好な結果が得られる可能性が高い領域である。

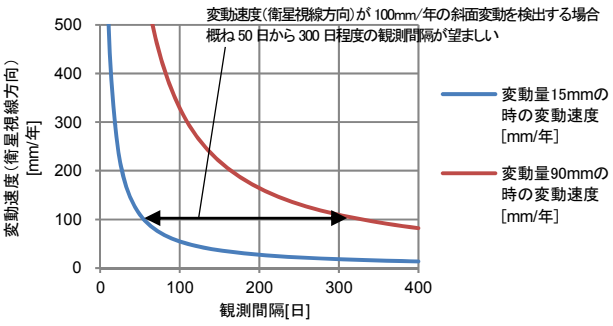

図-6. 良好な結果が得られる可能性が高い観測間隔

【謝辞】

干渉SAR解析において、（国研）宇宙航空研究開発機構が所有するALOS-2/PALSAR-2データを当機構より提供頂きました。また、斜面変動の把握に用いた測量成果（変動量測量成果、航空レーザ測量成果）は北陸地方整備局金沢河川国道事務所より提供頂きました。ここに謝意を表します。

【参考文献】

1) 平田ほか（2017）「干渉SAR解析における変動縞判読方法の検討」，平成29年度砂防学会研究発表会概要集，pp. 458-459.

2) 江川ほか（2015）「国土監視ツールとしてのLバンドSAR干渉解析の活用について」，平成27年度砂防学会研究発表会概要集，pp. B194-B195.