

SAR データによる道路斜面監視への適用性評価

中電技術コンサルタント(株) 岩田 直樹, ○鹿瀬 一希
西日本高速道路エンジニアリング中国(株) 金子雅博, 川波敏博, 有本行秀
山口大学 中島 伸一郎

1. はじめに

道路土工構造物の崩壊に繋がる変状把握と、健全性評価のために通常点検が実施されているが、局所的な変動の有無や程度を現地調査し、個別箇所に計測機器を設置してくまなくモニタリングすることは経済的にも技術的にも困難である。このため衛星 SAR データを利用して広範囲を面的にモニタリングする技術が検討されているが、地表の植生の影響、斜面方向や勾配等の地形的影響、様々なノイズによる計測精度の低下などの課題が多く実用に至っていない。

そこで本研究では、水準測量を行っている道路斜面を対象として、衛星 SAR データを用いた時系列干渉 SAR 解析結果をもとに、斜面前方への水平変位と上下変位を推定し、それを水準測量結果と比較して妥当性を検討した。

2. 対象斜面の概要

対象斜面は、図-1に示す南北向きの切取道路斜面で、延長約200m、法面高さは北側で約30m、南側で約15m、法面勾配 1:1.5 程度であり、南側斜面の背後は平場が造成されている。この北側と南側斜面の法尻で水準測量を行っている。図-2は2015年～2020年までの北側斜面の水準測量結果で、プラスは隆起を示す。計測開始(2015年12月)から2016年11月までは大きな変状は観測されていないが、2016年11月～2019年5月にかけて急激に隆起し、それ以降の隆起量は小さくなったものの隆起傾向が続いている。なお、南側斜面も斜面中央部で40mm程度隆起する同様の挙動が観測されている。

3. 時系列干渉 SAR 解析の概要と検討条件

本検討では、多数の差分干渉ペアを用いる時系列干渉 SAR のうち、斜面全体の面的な時系列変位を評価できる SBAS (Small Baseline Subset algorithm) を用い、ENVI SARscape Ver.5.6.2 ソフトウェア (sarmap 社) により解析を行った。時系列干渉 SAR による変位は、衛星から地表を見た LOS 変位であるため、一方向からの観測では水平方向か上下方向の変位かを判断できない。このため、衛星進行方向の異なるディセンディング (南行軌道、東側から観測) とアセンディング (北行軌道、西側から観測) の時系列 LOS 変位を用いて斜面変状を評価する。本検討では、斜面変状は斜面前面への動きが主体で、それと直交する横方向の変位は無視できると仮定し、図-3に示す斜面前面方向への水平変位 H と上下変位 V で表した。

$$H = (LOS_a - LOS_d) \cdot \cos \phi / (\cos \alpha + \cos \beta) \quad (1)$$

$$V = (LOS_a - H \cdot \cos \alpha \cdot \cos \phi) / \sin \phi \quad (2)$$

ここで、 LOS は LOS 変位、 α 、 β は水平変位 H の方向とアセンディングおよびディセンディング LOS 方向の水平面への投影線と成す角度、 ϕ は衛星の観測方向が水平面と成す角度を示し、添字 a および d はアセンディングおよびディセンディングを意味する。

衛星 SAR データは、陸域観測技術衛星 2 号「だいち 2 号」(ALOS-2, 宇宙航空研究開発機構: JAXA) に搭載された L バンド波長の合成開口レーダ (PALSAR-2) を用いた。アセンディングは 2014 年 9 月 20 日～2022 年 2 月 26 日 (計 18 シーン)、ディセンディングは 2014 年 9 月 17 日～2022 年 3 月 9 日 (計 22 シーン) の SAR データを用いて解析を行った。SBAS の干渉ペアの作成に当たっては、1 つのデータに対して 5 つ以上のペアを作成することが推奨されてい

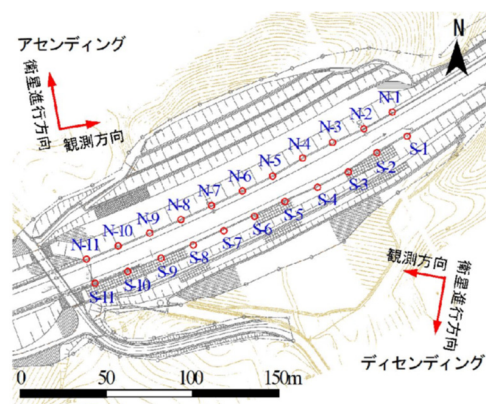


図-1 対象斜面の平面図

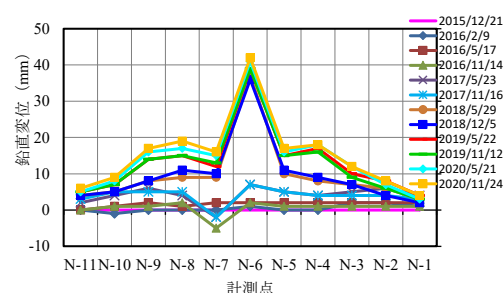
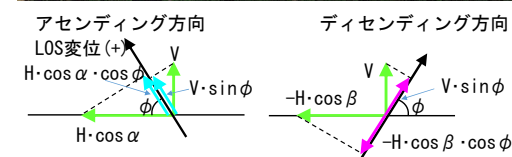
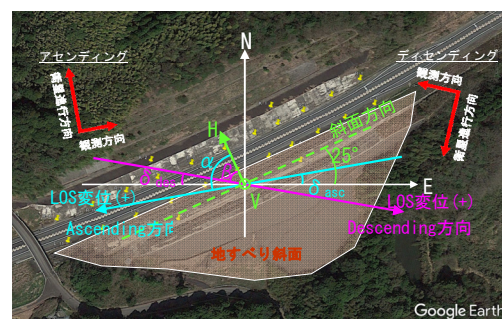


図-2 斜面法尻の水準測量結果(北側斜面)



アセンディング方向断面 ディセンディング方向断面

図-3 斜面方向の変形ベクトル算定の概念図

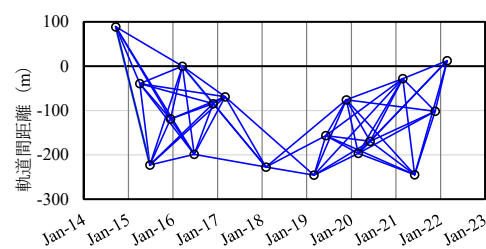


図-4 コネクショングラフ(アセンディング)

る。しかし、アセンディングの観測データは、2017 年と 2018 年には 1 シーン/年のみであることから、ペアの撮影日数間隔を 730 日以下として図-4 に示す干渉ペアを設定した。また解析に当たっては、対象斜面を中心とした 4km×4km の領域を切り出し、その領域の境界付近に変位が既知な点 (GCP) を複数設定し、これと調和するように変位量を算定した。なお、SAR 解析における評価単位 (ピクセル) は 10m×10m とした。

4. 時系列干渉 SAR 解析結果

図-5 および図-6 はアセンディングのコヒーレンス分布と LOS 変位速度分布を示す。山林部では、LOS 変位速度が大きい箇所が点在するが、コヒーレンスが 0.5 以下の低い箇所が多く、実際には変位が発生していない可能性が考えられる。一方、道路沿いを見るとコヒーレンスが高く、対象斜面付近は LOS 変位速度が大きい領域となっており、対象斜面の挙動を捉えているように見える。なお、この傾向はディセンディングでも同様である。

図-7 は北側斜面計測点の LOS 変位の時系列変化を示す。なお、LOS 変位がプラスは衛星に近づく方向 (隆起傾向) を示す。アセンディング、ディセンディングとも、LOS 変位は時間の経過とともに増加し、斜面中央付近の計測点の値が両端部よりやや大きくなる傾向を示している。アセンディングの時系列を見ると、2017~2019 年で急増しており、その前後では変化が小さい。この結果は、水準測量の結果とも整合している。しかしながら、ディセンディングではばらつき幅が 20~30mm 程度と大きく、アセンディングほど明瞭な傾向は見られない。これはアセンディングに比べてコヒーレンスが低いことや、衛星 SAR で観測が困難といわれている南北向き斜面であることなどが原因と考えられる。

図-8 は時系列干渉 SAR 解析結果をもとに式(1)、(2)を用いて斜面法尻の鉛直変位を算定した結果を水準測量結果と比較したものである。SAR 解析結果の斜面中央付近の鉛直変位は、概ね水準測量の値程度となっており、斜面中央付近が大きい山型となるなど測量結果と整合している。

図-9 は、時系列干渉 SAR 解析結果をもとに算定した斜面中央部の道路横断方向の変位ベクトルを示す。北側、南側斜面とも、法尻付近が隆起し、法肩付近が沈下するとともに、斜面前方への水平変位が生じる地すべり挙動を確認できる。

5. おわりに

道路斜面を対象として、衛星 SAR データを用いた時系列干渉 SAR 解析結果を用いて斜面前方への水平変位と上下変位を推定し、それを水準測量結果と比較して妥当性を検討した。その結果、測量結果と同様の隆起傾向を評価できた。しかし、ディセンディングの時系列 LOS 変位に見られたように、条件によっては結果が大きくなる可能性がある。今後は条件の異なる様々な斜面で検討を行い、提案した評価方法の適用性を検討していく予定である。

謝辞：本研究は、中電技術コンサルタント(株)、西日本高速道路エンジニアリング中国(株)、山口大学の共同研究として実施した。また、山口大学と宇宙航空研究開発機構 (JAXA) との連携協力協定に基づき JAXA から提供された ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた。ここに記して関係者各位に謝意を表す。

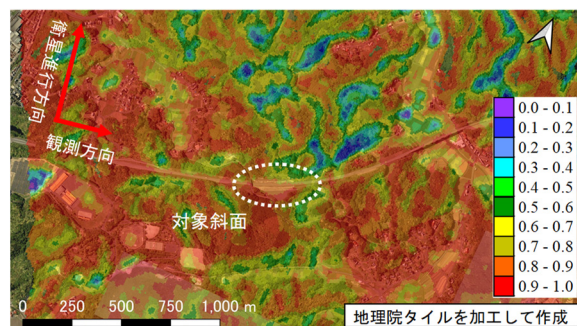


図-5 コヒーレンス分布(アセンディング)

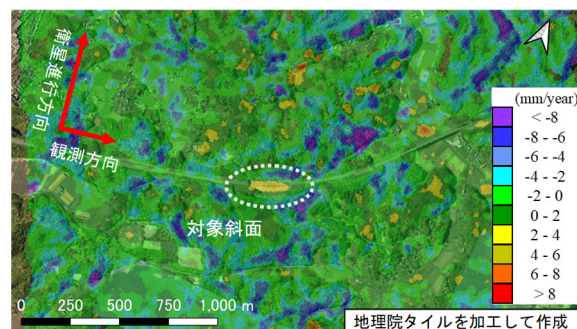


図-6 LOS 変位速度分布(アセンディング)

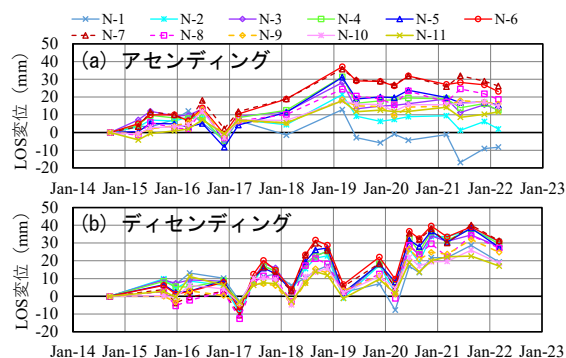


図-7 北側斜面計測点の LOS 変位の時系列変化

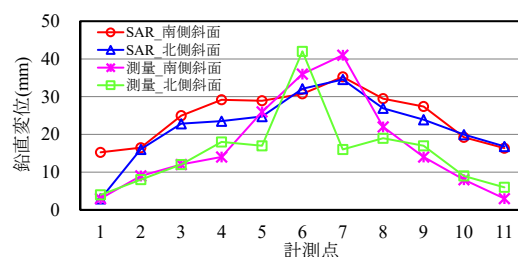


図-8 斜面法尻の鉛直変位分布の比較

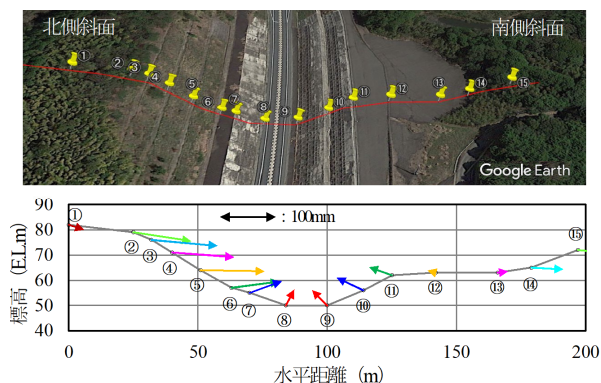


図-9 SAR 解析による道路横断方向の斜面変形