

大規模土工における地上設置型合成開口レーダによるのり面計測

安藤ハザマ 正会員○中谷匡志, 正会員 大沼和弘, 正会員 宇津木慎司
東北大学 東北アジア研究センター 佐藤源之

1. はじめに

地上設置型合成開口レーダ (Ground Based Synthetic Aperture Radar, 以下 GB-SAR と呼ぶ) は, レーダアンテナから電波を放射し, 観測対象物から散乱された反射波を受信することで, レーダアンテナとの距離を二次元で計測し, 連続的に計測結果を表示するものである. また, レーダアンテナは位置を変えながら計測を行うことで, 仮想的に大きなアンテナを作り出し, 計測分解能を向上することができる. 図-1 に計測概念図を示す. また, 干渉 SAR と呼ばれる解析手法により, 同じ範囲を繰り返し計測したデータから, 電波の位相のずれを検知することで, 変位を 1mm 以下の精度で算出することが可能である¹⁾. 図-2 に干渉 SAR による変位検知方法を示す. 今回, 大規模土工におけるのり面の動態観測として, 試験的な運用を行ったところ, 良好な結果が得られたので報告する.

2. GB-SAR による変位計測

干渉 SAR では, 通常は数分に 1 度の頻度で計測し, 前回のデータと比較することで, データの類似性を示すコヒーレンスが高い範囲において変位の算出を行うことができる. そのため, 植生が風の影響で揺らぐ場合などには, コヒーレンスは低くなり変位の算出は困難となる. また, 得られる画像データには, 振幅と位相の情報が含まれる. 振幅はターゲットの反射率に依存し, 位相 φ は送受信アンテナとターゲットとの距離 r および電波の波長 λ から以下のように求められる.

$$\varphi = -4\pi r / \lambda \quad (1)$$

また, 2 回の計測でアンテナとターゲットとの距離 r が異なる場合, 位相差 $\Delta\varphi$ は以下のように求まる.

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = -4\pi\Delta r / \lambda \quad (2)$$

使用した機材は, IDSGeoRadar 社の IBIS-FM で, 観測対象である切土のり面から直線距離で 700~800m の位置に設置した. 設置状況を図-3, システムの諸元を表-1 に示す.

3. 適用実験

国土交通省九州地方整備局発注の, 熊本 325 号災害復旧阿蘇大橋地区工事用道路 (南阿蘇工区) 工事は, 平成 28 年の熊本地震により落橋した阿蘇大橋の架け替えのための進入路造成工事である. 工事内容は, 南阿蘇村立野地区の黒川左岸において, 幅 100m, 高さ 100m 程度の範囲を掘削し, 進入路と

キーワード: 地上設置型合成開口レーダ, GB-SAR, 動態観測

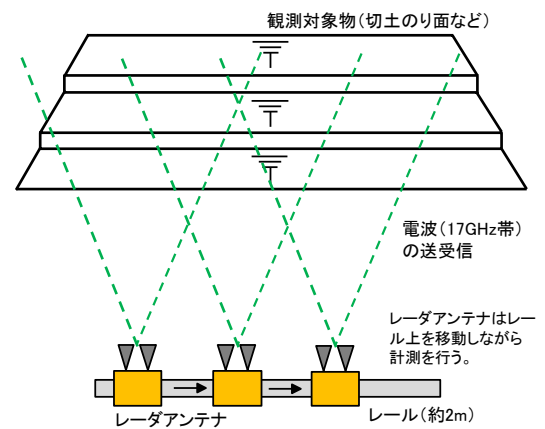


図-1 GB-SAR による計測概念図

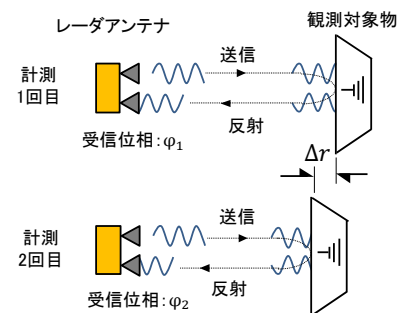


図-2 干渉 SAR による変位検知



図-3 レーダアンテナの設置状況

表-1 システム諸元

中心周波数	17.175 GHz
占有周波数帯幅	250 MHz
偏波	VV (垂直送信/垂直受信)
計測距離	700~800m
分解能	レンジ 約0.6 m
	クロスレンジ 約4.36 m
開口幅	2 m
計測間隔	5 分

連絡先: 〒107-8658 東京都港区赤坂六丁目 1 番 20 号 TEL:03-6234-3670 FAX:03-6234-3704

切土のり面（12 段，掘削勾配 1:1.5～0.5）を造成するものである．ここで，切土のり面を構成する地質は，上部から黒ボクや赤ボクと呼ばれる火山灰質粘性土，立野溶岩（自破碎部），立野溶岩（塊状部），立野層からなる．

GB-SAR は，不通となっていた JR 九州豊肥本線上に設置し，掘削中の 3 ヶ月間において 24 時間の連続計測を実施した．計測位置を図-4 に示す．また，計測頻度は 1 回/5 分とし，遠隔地においてリアルタイムで結果を閲覧可能な配信システムを構築した．観測結果例として，日累計 150mm の降雨を記録した 2017 年 7 月 6 日の 24 時間累計変位を図-5 に示す．図は，UAV に搭載したデジタルカメラにより撮影した画像から，高密度点群 DEM モデルを構築し，GB-SAR の結果を重ねて表示している．のり面全体において，有意な変状は確認されず，安定していることが確認できる．また，のり面保護工として植生マットを施工した範囲においては，不明瞭な計測結果となっている．これは，マットの設置直後は岩盤と一体化していないため，微小なずれやゆがみを検知したためと考えられる．

また，通常の計測管理として，GNSS 変位計測システム（以下，GNSS と呼ぶ）による計測を複数点で実施した．この中で，有意な変位を検知した計測点（図-5 参照）における GB-SAR と GNSS の計測結果を図-6 に示す．図中，7 月 10 日以降において，両手法で 20mm 程度の変位量を検知していることが確認できる．これは，

7 月 4 日以降の降雨により，局所的に変状が発生したものと考えられ，変位の方向としては GNSS による計測結果から北西－南東方向と考えられる．また，GB-SAR による結果についても，同様の計測結果が得られており，GNSS と同程度の変位検知精度を有するものと考えられる．なお，施工時においては，変位が確認された際に現場点検を実施し，変状の進行は確認されず変位の収束を確認している．

4. おわりに

今回，掘削中の切土のり面において，GB-SAR による試験的な動態観測を実施した．その結果，通常の計測手法である GNSS と同一箇所において，同程度の変位量を検知した．このことから，GB-SAR を適用することで，従来手法と同程度の精度で広範囲の変状を面的に計測することが可能であると考えられる．今後は，効果的な大気補正や出力方法を検討するとともに，山岳トンネルの坑内計測での適用を計画している．

1) 佐藤源之ほか（2017）：地表設置型合成開口レーダ(GB-SAR)によるインフラモニタリングに関する基礎実験，電子情報通信学会信学技報，Vol.116, No.526, pp. 11-16.

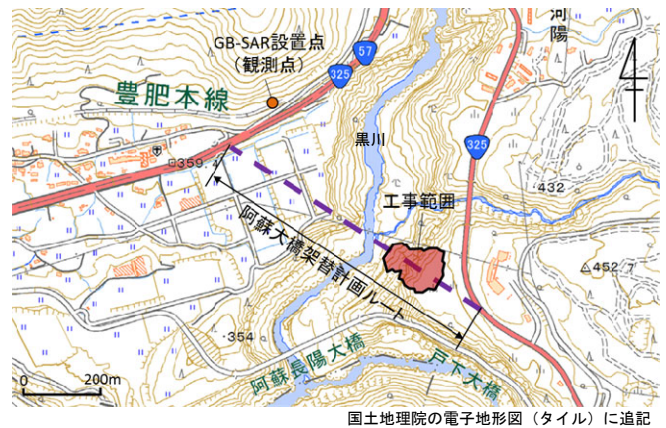


図-4 計測位置図

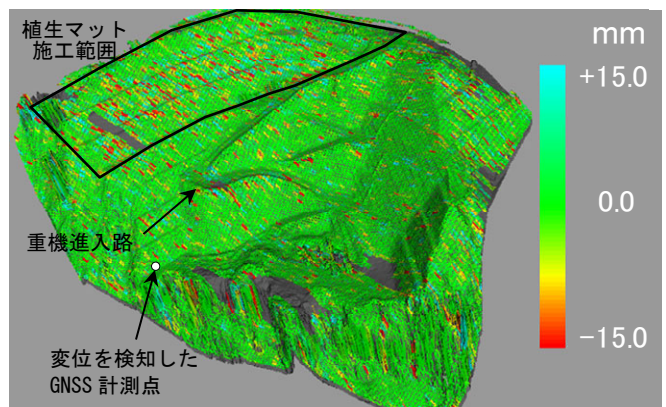


図-5 観測結果例（7月6日，24時間累計）

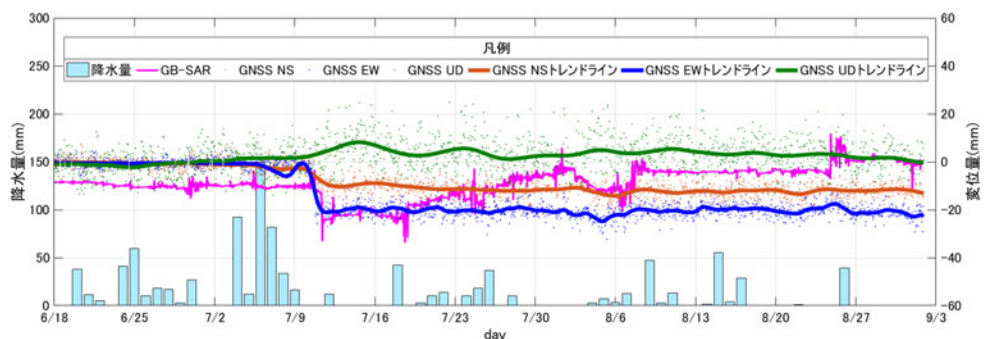


図-6 同一箇所における GB-SAR と GNSS の変位計測結果