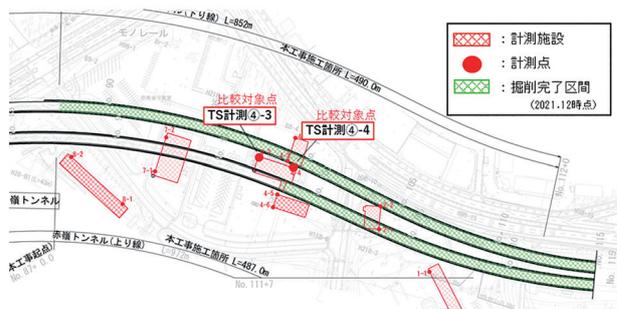


# SAR 解析による赤嶺トンネル 施工時の地表面変動の検討

黒田 卓也\*                      高永 光太郎\*\*  
Takuya Kuroda                  Kotaro Takanaga  
田中 義晴\*\*\*                  高村 浩彰\*\*\*\*  
Yoshiharu Tanaka              Hiroaki Takamura



図一 地表面沈下計測位置図

## 1. はじめに

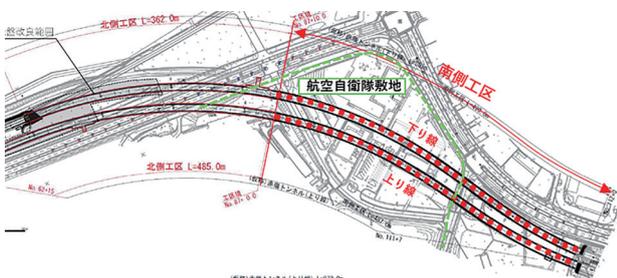
赤嶺トンネル南側工事では、坑口付近の小土被り地帯に国有施設があり、地表面の沈下計測を行う必要があった。通常、契約上の沈下計測は、重要構造物だけを対象に実施されるため、施設内の道路など利用されている土地全体が対象にされることはない。赤嶺トンネル南側工事でも、国有施設の建屋だけが対象になっていた。

このため、リスク管理の観点を含め、当社からの提案で、人工衛星データを利用した面的な変位観測（SAR 解析）を追加して、NATM トンネルの施工期間に併せて実施した。本報では、その計測結果について考察した。

## 2. 工事および計測概要

赤嶺トンネル南側工事は、トンネル延長約 1 km のうち、南側の上り 487 m、下り 490 m を NATM 工法にて施工するものである（図一）。航空自衛隊基地の下を小土被りで施工するため、掘削に伴う沈下が懸念されていた。

本工事では、航空自衛隊敷地内の建屋において、トータルステーション（以下、TS）による沈下計測が行われている（図二）。ただし、沈下計測は点での管理である



図一 赤嶺トンネル南側工事概要図

\* 技術研究所土木技術グループ  
\*\* 九州（支）赤嶺トンネル南（出）  
（現：筑穂トンネル（出））  
\*\*\* 九州（支）赤嶺トンネル南（出）  
（現：日田1号トンネル（出））  
\*\*\*\* 技術研究所

ことから、面的な変位傾向を確認するため、SAR 解析による地表面変動の確認を実施した。

## 3. SAR 解析について

人工衛星搭載の合成開口レーダー（Synthetic Aperture Radar：SAR）は、電波を使って地表面の高分解能画像を取得するセンサーであり、昼夜を問わず、雲や雨によらず地表面の画像を取得できる。SAR により得られるデータは、レーダーの地表からの反射波の強度と位相である。差分干渉 SAR（Differential Interferometric SAR：DInSAR）は、この SAR データを用いた観測を地表の同一地点に対して 2 回以上実施し、反射波の位相差を計算することによって、レーダーの視線方向（LOS：Line of Sight）の地表変位（LOS 変位）を面的に捉える技術である。

地表変位の時間的推移を精度よく効率的に求める手法として、多数の差分干渉ペアを用いる時系列干渉 SAR と呼ばれる手法が開発されている。代表的なものには、PSI（Persistent Scatterer Interferometry）と SBAS（Small Baseline Subset algorithm）があり、PSI は点の変位、SBAS は面的な変位を観測したい場合に利用される。本検討では、両手法による解析結果を確認し、両手法の結果を計測された沈下の経時変化と比較した。

## 4. 解析条件

本解析には、Sentinel-1 の衛星データを使用した。本衛星は、分解能がやや粗いものの、データが無料で公開されている。回帰日数が 12 日であることから、12 日に 1 回の観測が可能である。

施工時に沈下計測を実施しているトンネル直上付近を対象とし、検討期間は 2020 年 4 月～2021 年 12 月までの 50 シーンとした。

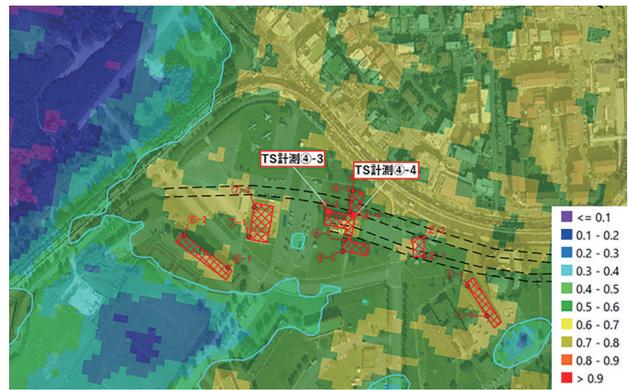
## 5. 解析結果および考察

### (1) SBAS 法

SBAS 法による解析結果として、コヒーレンス分布図を図三に示す。コヒーレンスとは、干渉 SAR 処理にお

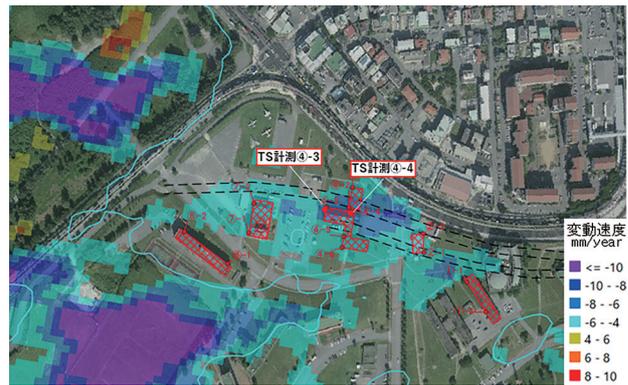
ける干渉性の度合いであり、対象地北側の植生が多い箇所ではコヒーレンスが小さいが、解析対象地点ではコヒーレンスが高いことがわかる。

図一4 に、LOS 変位分布図を示す。LOS 変位とは、衛星視線方向の変位であり、衛星から遠ざかる方向（沈下）をマイナス、近づく方向（隆起）をプラスとする。LOS 変位分布図より、コヒーレンスが小さい箇所で大きな隆起、もしくは沈下変位が見られ、解析精度が良くないことが推察される。一方、トンネル掘削箇所周辺ではコヒーレンスは良好であり、かつ広範囲で沈下傾向を示していることが把握できた。



図一3 対象地点付近のコヒーレンス分布

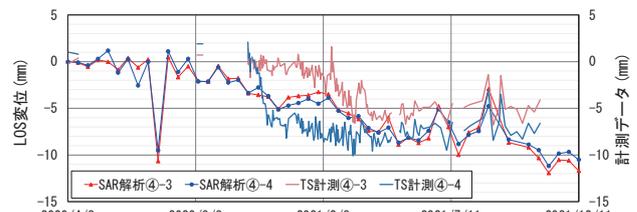
図一5 に、TS による沈下計測と、SAR 解析結果を比較した経時変化図を示す。SAR 解析による沈下量は、絶対値には差異があるものの、沈下が発生するタイミングや傾向はよく対応していることが確認された。



図一4 対象地点付近の LOS 変位分布 (SBAS 法)

(2) PSI 法

PSI 法による解析結果として、LOS 変位分布図を図一6 に示す。本解析では、データのばらつきの影響を軽減するため、10 m グリッドで平均化して評価した。PSI 法では面的な評価は難しいものの、SBAS 法と同様にトンネル掘削箇所周辺での沈下傾向が確認された。

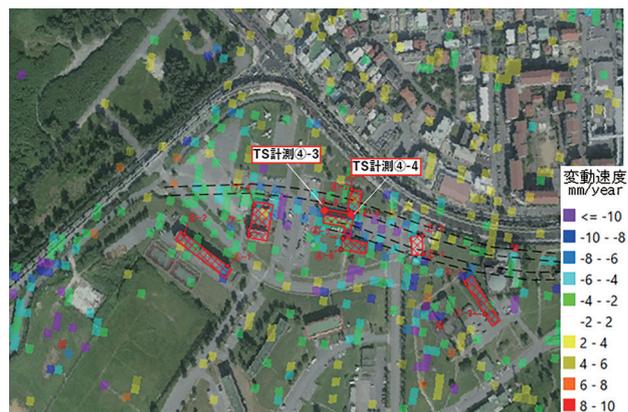


図一5 計測地点の LOS 変位経時変化 (SBAS 法)

図一7 に、経時変化図を示す。PSI 法では、SBAS 法と比較してデータのばらつきが大きくなるが、グリッドで平均化して評価することで、ばらつきが小さくなり、沈下計測結果と同様の傾向で沈下が確認された。また、解析に使用する PS 点にコヒーレンスの閾値を設けており、閾値を大きくするとデータのばらつきは小さくなるが、計測点も少なくなる。適切な解析条件の設定について、今後も検討していく必要がある。

6. まとめ

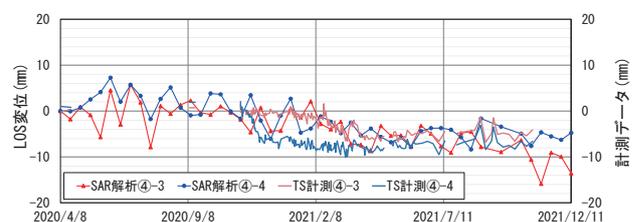
トンネル掘削時の地表面沈下の面的な変状監視のため、SAR 解析による地表面変動の確認を実施した。SBAS 法と PSI 法により解析を行った結果、両者とも絶対値には差異があるものの、沈下が発生するタイミングや傾向は、TS による沈下計測結果とよく対応していることが確認された。



図一6 対象地点付近の LOS 変位分布 (PSI 法)

本現場では、SAR 解析による変位観測を活用し、TS による沈下計測箇所地点以外の箇所においても変位傾向を把握することで、施工時のリスクをより広く把握することが可能となった。

本手法では、現地で計測を行うことなく、面的な変位の傾向を把握することが可能である。点計測データと組み合わせた面的な変位傾向の評価や、リスク箇所の抽出による計測計画の検討に活用していくことが期待される。



図一7 計測地点の LOS 変位経時変化 (PSI 法)