

平成 29 年 4 月 28 日

公益信託 NEXCO 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金  
受託者 三菱UFJ 信託銀行株式会社 宛

## 研究概要書

研究課題：複数の人工衛星搭載型合成開口レーダーによる長期的・連続的地盤変動解析手法の検討

研究代表者：（一財）リモート・センシング技術センター 研究開発部 主幹研究員 古田 竜一

共同研究者：（一財）リモート・センシング技術センター 研究開発部 研究員 二村 忠弘  
ソリューション事業部 主査 小野 清孝

はじめに

軟弱・超軟弱地盤や地すべり地を通過する高速道路では、安全で円滑な高速道路運用のために建設前から共用後の地盤変動を高速道路と周辺地盤を対象として把握する必要がある。しかし、建設前からの地盤変動状況の詳細な把握は困難で、通常、定量的な情報は建設時以降しか得られない。また、地盤変動域が広域、且つ、長期継続している場合、さらに把握が難しくなることが想定される。

これらの課題を解決する方法の一つとして、人工衛星搭載型合成開口レーダーによる地盤変動計測手法の活用が考えられる。人工衛星搭載型合成開口レーダーは地盤変動を±0.5～1cm 精度で広域（数十 km 四方）且つ面的に計測できる能力がある。また、蓄積されているデータを利用することで 20 年以上前から現在までの地盤変動を解析できる可能性がある。但し、連続的な地盤変動情報を得るためには様々な性能の人工衛星を利用する必要があり、各々の衛星の性能を明らかにし、計測結果を統合利用する必要がある。

### 1. 研究の目的

本研究では、20 年以上前から現在までに様々な人工衛星搭載型合成開口レーダーで観測されたデータを活用し、軟弱／超軟弱地盤や地すべり地を通過する高速道路を対象とした長期的・連続的な地盤変動解析手法を検討する。地盤変動解析手法には、地盤変動を±0.5～1cm 精度で計測できる合成開口レーダー差分干渉解析技術を用いる。前述の通り、20 年以上前から現在までの地盤変動解析を行うためには、性能の異なる人工衛星を利用する必要がある。そこで、性能の異なる人工衛星で解析された地盤変動計測結果を比較し、特徴を把握するとともに、長期的・連続的な計測値にするために解析結果の統合手法について検討を行う。また、取得した変動情報と地上計測値とを比較し、精度検証を実施するとともに、将来予測の可能性を検討する。さらに、検討を通じて性能面や経済面での比較を行い、性能の異なる人工衛星を利用した地盤変動解析を高速道路の維持管理に適用する際の留意点を取りまとめる。

### 2. 研究方法

本研究では、まず、人工衛星搭載型合成開口レーダーの種類と特徴を整理し、利用可能な合成開口レーダーを整理する。ついで、異なる人工衛星による地盤変動解析結果について考察し、統合手法について検討を行う。さらに、検討手法を実際の高速道路に適用し、異なる人工衛星データの統合利用による長期・連続的な計測の可能性について検討する。最後に、これらの検討を通じて性能の異なる人工衛星を利用した地盤変動解析を高速道路の維持管理に適用する際の留意点を取りまとめる。

### 3. 異なる人工衛星による地盤変動解析および統合手法の検討

合成開口レーダー差分干渉解析により得られた地盤変動量は、観測オフナディア角の違いにより利用した人工衛星単位で異なると考えられる。C バンド合成開口レーダーと L バンド合成開口レーダーでほぼ同じ期間に観測された地盤変動量を比較し、観測オフナ

ディア角の違いによる影響を調査した結果、得られた地盤変動量に 1cm 程度の違いが見られた。観測オフナディア角を考慮した補正を検討し、補正により 0.4cm 程度の違いにまで精度を向上できる可能性があることが確認できた。

#### 4. 実際の高速道路への適用

Cバンド合成開口レーダーとLバンド合成開口レーダーにより取得されたデータを利用し、各レーダーで時系列差分干渉解析手法による地盤変動時系列解析を実施した。結果を比較したところ、検討対象領域下端部の地盤沈下傾向は同様の結果が得られたが、対象領域中央部で利用データ数が少ないLバンド合成開口レーダーにおいて大気・水蒸気遅延の影響と考えられる誤差が確認された。計測値について、電子基準点付近の計測値とGNSS計測結果との比較を行った結果、変動速度において1mm以下の誤差であり、GNSSと同等精度で計測が実施できていることがわかった（図-1）。一方、高速道路面の計測値においては、Cバンド合成開口レーダーに比べてLバンド合成開口レーダーの計測値が10mm以上大きく、電離層遅延誤差が含まれていた可能性がある。

大気・水蒸気及び電離層遅延の補正技術は未確立であり、現状はこれらの誤差が含まれることに留意して本技術を利用する必要があることが明らかとなった。

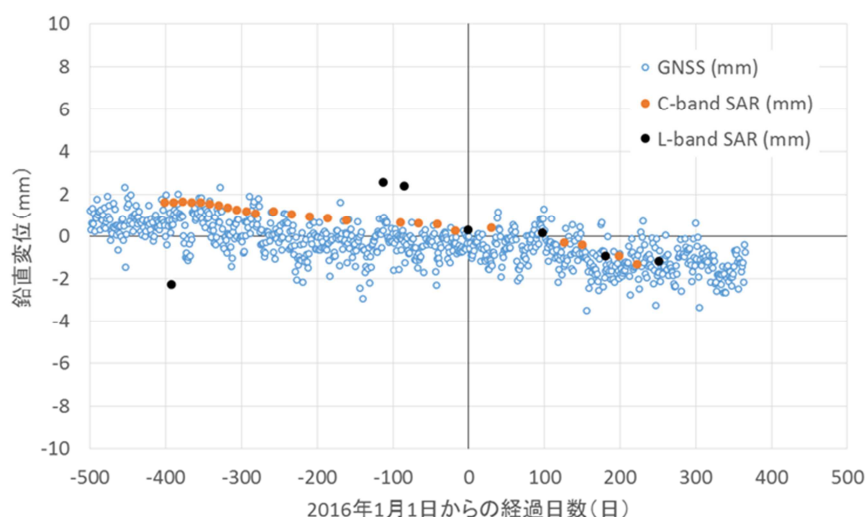


図-1 GNSS と合成開口レーダー時系列差分干渉解析結果との比較結果

#### 5. 異なる人工衛星を利活用する際の留意点

異なる人工衛星を用いて合成開口レーダーの差分干渉解析技術を道路維持管理に利活用する場合の留意点を、本研究を通じて得られた知見に基づいてとりまとめた。主な留意点は以下の通りである。

- 合成開口レーダー差分干渉解析により得られる地盤変動量は人工衛星と地上の任意点との間の距離（斜距離の）変化量であり、直接的に水平変位と鉛直変位に分離することはできない。
- 異なる人工衛星を複数利用する場合、人工衛星単位でマイクロ波を照射する角度（観測オフナディア角）が異なる。詳細な調査・計測、長期・連続的な観測の場合は観測オフナディア角の違いによる計測値の違いを考慮する必要がある。なお、観測オフナディア角が大きくなると合成開口レーダー差分干渉解析で得られる地盤変動量も大きくなる。
- 時系列差分干渉解析手法における理想的な観測データ量（シーン数）は13シーン以上であり、この条件を満たさない場合、誤差が大きくなる場合がある

#### ●. まとめ、今研究で得られた成果、今後の課題等

Cバンド合成開口レーダーとLバンド合成開口レーダーが取得したデータを用いて、合成開口レーダー差分干渉解析技術による地盤変動解析を実施した。その結果、両者には10mm程度の差異が見られ、観測オフナディア角の違いにより得られる地盤変動量が異なることが確認できた。また、観測オフナディア角を考慮した補正を適用することで、

その差異を軽減できることが確認できた。

時系列差分干渉解析による地盤変動解析では、Cバンド合成開口レーダーとLバンド合成開口レーダーにおいて利用データ数の違いによる解析結果の違いが見られた。特に、利用データ数が少ないLバンド合成開口レーダーにおいて大気・水蒸気遅延による誤差が見られ、利用データ数の違いが計測結果に大きく影響する可能性が確認できた。一方、電子基準点における計測値との誤差量は変位速度で1mm以内であり、GNSSと同等の計測精度で計測できる可能性があることがわかった。

2000年の中盤より分解能（解像力）3m以下の人工衛星搭載型合成開口レーダーが登場し、これまで計測困難であった局所的な地盤変動を捉えることができるようになった。また、本研究でも示された通り、GNSSと同等の精度で計測できるようになった。一方、マイクロ波の大気・水蒸気遅延や電離層遅延の補正技術は発展途上であり、より高精度な計測実施のためにはこれらの課題解決が必要である。