

鉄道沿線斜面管理における観測衛星の活用に関する検討事例について

J R 東日本研究開発センター テクニカルセンター

土木G 主幹研究員 栗林 健一

1. はじめに

鉄道設備を適切に維持管理するためには、状態や変化を客観的に捉え続けることが重要であるが、目視を主体とする検査では設備の変化を捉えることは難しい。特に広大な斜面全体の変化を目視で捉えることは容易ではなく、また急峻な斜面等を登る検査員の負担が大きい(図1)。当社の一部の路線では、より定量的なデータ取得を目的に航空レーザによるリモートセンシングや変位センサ等を直接設置し状態を監視¹⁾²⁾しているが、線状の鉄道沿線に点在する斜面を定期的に測定するのはコスト面で課題があった。

そこで、複雑な路線全体を定期的に俯瞰し、異常を発見できれば、要点検箇所や点検優先度のスクリーニングが効率良くできる可能性を有する観測衛星の活用に着目した。

しかし、地表面を直接計測した場合、測定精度のバラツキが大きいため鉄道施設及びその周辺施設状態監視としての活用はほとんど検討されてこなかった。

本研究では、あらかじめ斜面に設置した金属製ターゲットを測定することで測定精度の向上を図り、また複数回測定することで精度のバラツキを管理する方法について検討を行い、鉄道の維持管理に適した手法の提案を目指す。本稿では、実際に観測衛星で斜面上に設置したターゲットを測定した結果の評価と斜面管理への活用の可能性について報告を行う。

2. 観測衛星の概要³⁾

本研究で使用した観測衛星データは、2014年5月24日に宇宙航空研究開発機構(JAXA)が打上げた陸域観測衛星だいち2号(ALOS-2)に搭載された合成開口レーダ(SAR)データである。2006年1月に打ち上げられただいち1号には光学センサと合成開口レーダが搭載されたが、だいち2号では衛星の軽量化による長寿命化や観測頻度向上のために合成開口レーダのみを搭載している。だいち1号同様に地図更新、地域観測、災害状況把握、資源探査等への貢献を図ることを目的として打ち上げられた。搭載している合成開口レーダは、マイクロ波を用いた能動型(アクティブ)のリモートセンシングであり、全天候かつ昼夜観測可能で、また木や葉を透過するため地表面の把握が可能な「フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ2(PALSAR-2)」である。

同一観測場所の観測頻度は14日に1度で、観測幅は衛星進行方向に直交する方向(おおよそ東西)に25km~490kmである。だいち1号と比較して、高頻度、且つ、広域の観測が可能となった。また、空間分解能(解像力)は、1m~100mで、一般に入手可能な衛星搭載型の合成開口レーダデータでは最高分解能である。なお、標準的な観測での観測幅は50kmであり、解像力は3mである。高解像度の地球観測衛星で、観測幅が広いことが大きな特徴であり、同程度の解像力を有する合成開口レーダを搭載した地球観測衛星の中では、最も観測幅が広い衛星で



図1 斜面等の検査状況

ある。

3. 実施内容(現地試験, 解析)

観測衛星により地表面を直接計測した場合、測定結果に大きなバラツキが生じる恐れがあるため、本研究では斜面(スキー場)に基準点となる測定ターゲット(以下、図および表中はCRとも記載)を設置し測定を行うこととした。また、解析結果は測定ターゲットの周辺に設置されたGPS測定結果との比較により評価を行う。

3.1 測定ターゲットの設計・製作

測定ターゲットの設計を行うにあたって、その形状は観測衛星から照射されたマイクロ波の散乱が最も強くなるコーナーキューブ型とした。

概要を図2に示し、本研究で設計・製作した形状などの条件を表1に示す。一辺100cmの三面正方CRが5台、一辺200cmの三面正方CRが1台、一辺80cmの三面正方CRを1台設置した。また、使用した素材は軽量かつ防錆性の高いアルミを採用し、運搬性向上のために現地を組み立てる方式とした。

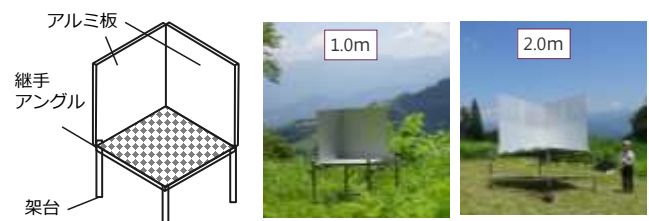


図2 製作ターゲットの一例

表1 ターゲット(CR)の製作条件

番号	形状	鋼板種別
CR-1	1.0m	平鋼板
CR-2	1.0m	平鋼板
CR-3	1.0m	平鋼板
CR-4	2.0m	孔明鋼板
CR-5	1.0m	孔明鋼板
CR-6	1.0m	平鋼板
CR-7	0.8m	平鋼板

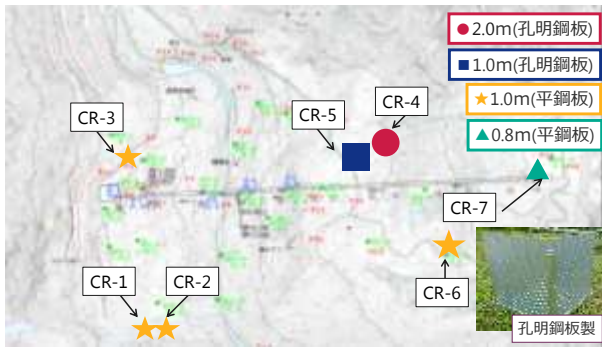


図3 測定ターゲットの設置箇所

3.2 評価項目

図3に示すように、製作した測定ターゲットを斜面(スキー場)に設置し、観測されたデータをもとに以下について把握を行った。

(1) 視認性 (形状・鋼板種別・天候)

設置した測定ターゲットを観測衛星から捉えられるかを確認する。測定ターゲットの形状の最適を検証するために、大きさや使用鋼板の種別(平鋼板及びパンチングメタル)による視認性の差を確認することとした。また、天候の違いによる視認性についても確認を行う。

(2) 複素相関 (コヒーレンス) 値

測定ターゲットが信頼性のある斜面管理の基準点として機能するためには複素相関(コヒーレンス)値(0~1)が高いことが求められる。測定ターゲット後の複素相関(コヒーレンス)値を評価する。

(3) 斜面変動量

測定ターゲットを設置した地表面に変状が発生した場合、測定ターゲットの位置情報も変化すると考えられる。変化した地表面に引きずられて測定ターゲットの位置が変化した場合を想定し、その変動量を観測衛星で捉えられるかについて、隣接した箇所に設置したGPS測定結果との比較により検証をおこなう。

4. 測定および解析結果

4.1 視認性 (形状・鋼板種別・天候)

観測衛星の散乱強度画像を図4に示す。図中の白く明るい点がターゲットを設置した箇所である。ターゲット設置後の散乱強度画像には、設置前には見られなかった白点を確認できた。これは測定ターゲットの設置箇所と一致している。

大きさの異なる測定ターゲットを測定結果として、ターゲットの中では2m形状のものが最も鮮明に測定でき、斜面中に設置してある建物(リフト小屋)も鮮明に測定されていた。これらのことから対象物が大きいほど視認性が向上すると考えられるが、0.8mのターゲットも十分視認可能であることを確認できた。また、本研究で使用した鋼板種別(平鋼板と孔明鋼板)の違いによる視認性の差は確認されなかった。

図5に上空に雲がかかっている場合に撮影した結果を示す。図4に示す設置後の撮影画像は晴天時に撮影されたものであるが、それと比較しても視認性に大差なく、雲がかかっている場合でも視認可能であることが確認された。

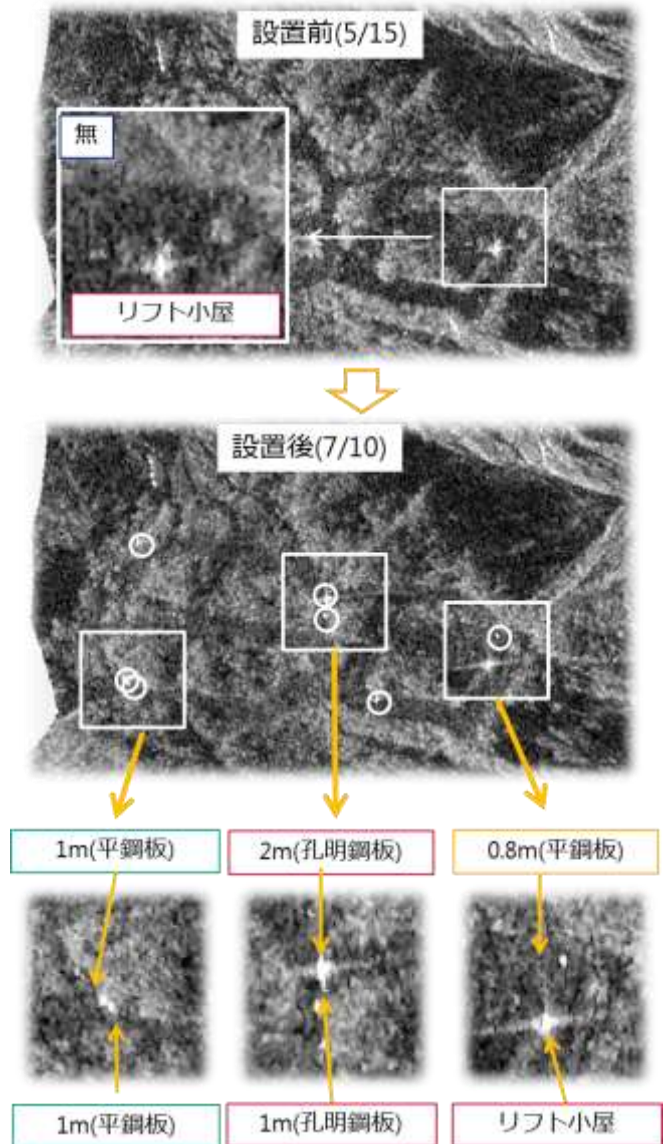


図4 設置前後の視認性の評価

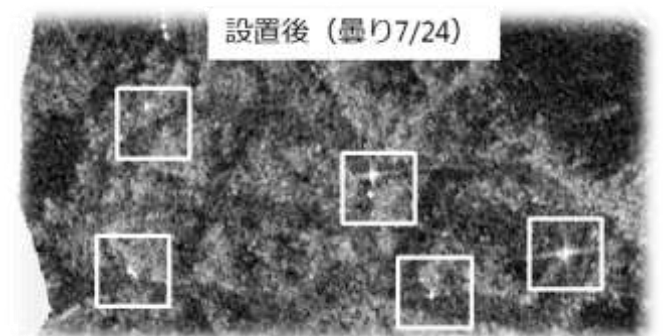


図5 曇り時の観測結果

4.2 複素相関（コヒーレンス）値

図6にターゲット設置前後の干渉解析結果（コヒーレンス解析画像）を示す。コヒーレンス画像は異なる2つの時期の測定データを干渉させたもので、干渉性が高いほど測定の信頼度も向上する。

設置前および設置後で測定ターゲットを設置していない箇所は砂嵐状に点が乱れ全体的に複素相関（コヒーレンス）値が低いのに対し、設置後のターゲット周辺は高い値であることがわかる。

測定ターゲットごとの複素相関（コヒーレンス）値については、2m形状のターゲット（CR-4）の値が最も高いが、いずれの測定ターゲットも0.97以上の非常に高い複素相関（コヒーレンス）値を示した。このことから、本研究で製作した測定ターゲットは管理点として活用できる可能性があるかと判断できる。

また、設置した測定ターゲット以外にも人工構造物であるリフト小屋が同様に高い複素相関（コヒーレンス）値を示した。

4.3 斜面変位量

2015年7月10日及び2015年7月24日の干渉解析結果より測定ターゲットの位相値（変動量に相当）を算出した。測定ターゲット近傍に設置したGPSによる変動量の比較を図5に示す。どの箇所も変位は±2cm以内であった。一般的にGPSは±数cmの誤差を有するといわれていることを踏まえると、観測衛星の測定結果もGPSの誤差の範囲内と判断できる。

4.4 その他

4ヶ月程度の現地試験であったが、実用性においては課題が確認された。例えば、図9に示すように設置直後からコーナー部に雨水や木の葉などが堆積する事象に加え、積雪を考慮した構造でなかったため冬季前には撤去する必要があった。今回、測定ターゲットは主に視認性などの確認を目的に製作をされたものであったが、測定ターゲットの設置方法を含めた実用性の向上は重要な課題である。

5. 試験結果まとめ

本研究で評価をおこなった観測衛星による測定ターゲットの視認性、や複素相関（コヒーレンス）値、また斜面変動量の測定結果から、測定ターゲットを管理点として斜面管理に活用できる可能性を有すると思われる。以下に確認された事項を示す。

- ・ 斜面（スキー場）に設置した7台のターゲットの干渉解析結果から、各ターゲットの複素相関（コヒーレンス）値が0.97以上あることを確認した。これは干渉性が非常に高いことを意味しており、定常的な観測においてコーナーキューブ型をした測定ターゲットが有用であることを示し、監視用ターゲットとして十分利用可能と考えられる。
- ・ 測定ターゲット以外にもリフト小屋が同様に高い複素相関（コヒーレンス）値を示しており、既存人工構造物と測定ターゲットを活用した観測網の構築が可能であることを示唆する結果を得た。
- ・ 設置後の2015年7月10日と2015年7月24日の干渉解析結果よりターゲットの位相値（変動量に相当）は想定精度内であり、変動は2cm以下と考えられる結果となった。これは同時期に測定されたGPS測定結果と同等であり、変動量を捉えるリモートセンシングとしての活用できる可能性がある。

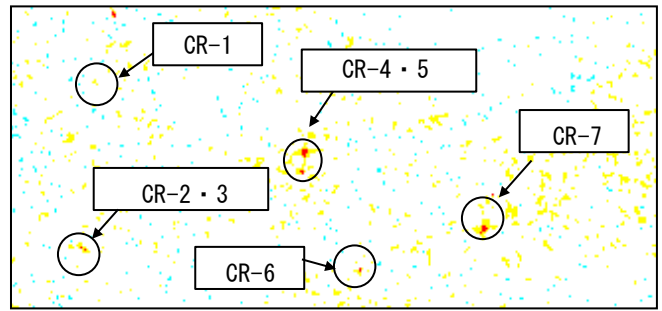


図6 設置後のコヒーレンス画像

表2 ターゲットごとの複素相関（コヒーレンス）値

ターゲット	コヒーレンス値	記事
CR-1	0.979	1.0m/平鋼板
CR-2	0.972	1.0m/平鋼板
CR-3	0.977	1.0m/平鋼板
CR-4	0.986	2.0m/孔明鋼板
CR-5	0.980	1.0m/孔明鋼板
CR-6	0.980	1.0m/平鋼板
CR-7	0.975	0.8m/平鋼板



図7 GPSの設置状況

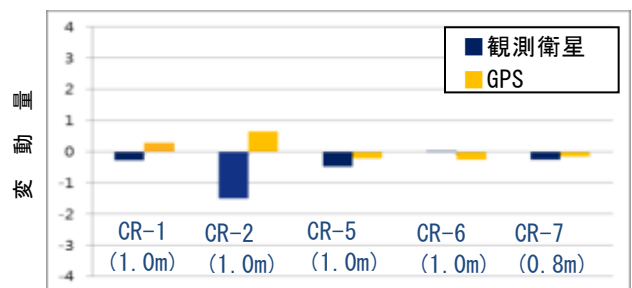


図8 GPS測定結果との比較



図9 コーナー部での滞水状況

6. 観測衛星を用いた斜面管理の将来像

本研究の測定結果などをもとに斜面管理への観測衛星の活用法（案）を以下に述べる。

6.1 斜面検査の効率化

斜面上に設置したターゲット（管理点）の定期的な観測により、管理点の有無や視認性の差、複素相関（コヒーレンス）値の増減等を捉えることで現地に行くことなく、斜面の挙動を捕捉できることが期待される。

6.2 長期データをもとにした将来予測

観測衛星は運用開始から現在までの測定データを蓄積しているため、過去に遡った変動傾向の把握が可能であるという利点を有する。さらにGPSや航空レーザの結果と組み合わせることで、将来予測の確度の向上が期待される。

図10に示すように、地すべり地形箇所など要注意の監視箇所に予めターゲットを設置しておけば、変状等が確認された際には過去に遡って挙動のデータを把握することが可能であると考えられる。

7. おわりに

本研究により、開発した測定ターゲットは斜面管理の基準点として機能し得る可能性を有していることを確認することができた。

一方で、どの程度の斜面の傾斜や変動量を補足できるかといった測定性能や実運用を考慮した測定ターゲットの設計など解決すべき課題はある。

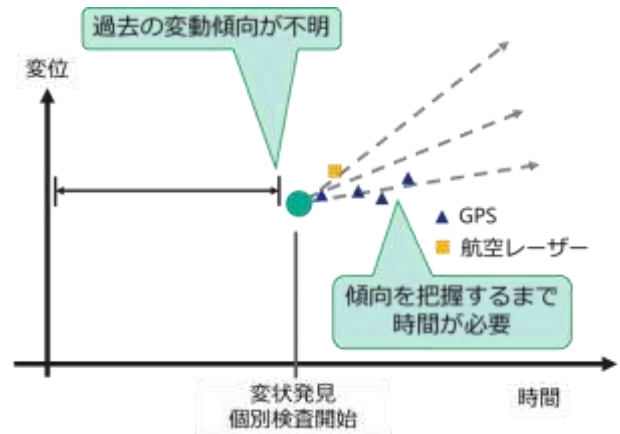
今後も計測データの蓄積および解析を継続していき、以下について検討を行っていく必要がある。

- ・ ターゲットの実用化（設置性能や耐候性の確保）
- ・ ターゲット設置の最適化（対象斜面や設置箇所の選定、斜面内の配置数量等の最適化）

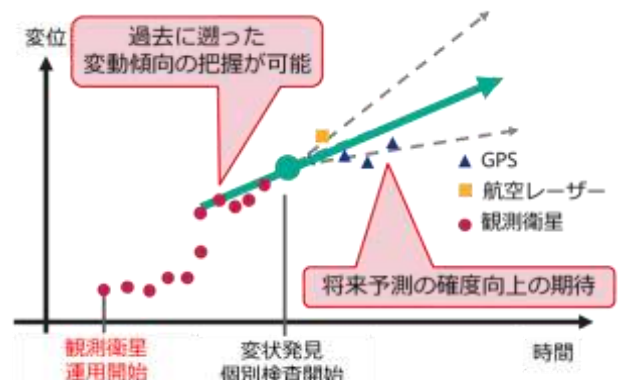
本研究成果はRESTEC様との共同研究成果の結果の一部抜粋であります。

参考文献

- 1) 原田悟, 村山克之, 鴨志田祥子, 逸見研二: 上越線の重点監視箇所に位置する巨大岩塊のモニタリング, 土木学会年次学術講演会, 2012.9
- 2) 鴨志田祥子: 鉄道沿線斜面にある巨大岩塊のモニタリング, 日本鉄道施設協会 総合技術講演会, 2012.10
- 3) 村沢譲: 世界一わかりやすいロケットのはなし, 科株式会社 KADOKAWA, 2013.12, または宇宙航空研究開発機構 (JAXA) ホームページなど



(現状のリモートセンシングの活用イメージ)



(観測衛星のリモートセンシングの活用イメージ)

図 10. 観測衛星の斜面管理への活用イメージ