

落石発生斜面における干渉 SAR 解析による地表面変位およびコヒーレンスの時系列変化の傾向

東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター ○野池耕平・村岡 洋
一般財団法人リモート・センシング技術センター 奈良誠大・平松真宙・棚橋 廉

1. はじめに

鉄道沿線において発生する落石は鉄道の運転保安や列車の正常運行に影響する事象であるといえる。そのため東日本旅客鉄道（以下、JR 東日本）としては定期的な斜面検査や落石防護設備等によるハード対策、落石検知装置等によるソフト対策等を実施している状況である。これら落石発生の素因には地形・地質が関連するといわれている（野口ら,2001）。斜面崩壊や侵食に伴い落石が発生する事例もあり、落石発生箇所では何らかの斜面変化がある可能性がある。

そこで本検討では、落石が発生した斜面において干渉 SAR 解析を実施することで、過去に遡った落石発生前における斜面変化の有無やその斜面状況について把握した。なお、JR 東日本では落石発生の恐れのある斜面に対しては、尾根や谷などの地形単位で区分して検査区間を設定している。ここでは、その区分単位をブロックと呼ぶこととする。

2. 調査方法の概要

本検討は、落石発生履歴の多い線区を対象に実施した。検討対象とした線区はジュラ系粘板岩が主として分布し、多くが東西方向に流下する河川沿いに敷設された線区であり、山域には急峻な斜面が分布する。

衛星データは ALOS-2(L バンド)の SM1 モード(解像度 3m)、オフナディア角 38.2 度で観測された SLC(Single Look Complex)データを使用した。使用したデータを表 1 に示す。主に東西方向に分布する線区であり、レーダーシャドウ・レイオーバーの影響を低減するため南行・北行の両軌道を対象とした。植生や積雪の影響を極力避けるため春季・秋季のデータを使用することとした。

表 1 使用した衛星データ

南行軌道				北行軌道			
春季		秋季		春季			
No	観測開始日時	No	観測開始日時	No	観測開始日時		
1	2016/4/16 2:34	1	2014/10/4 2:33	1	2016/4/5 14:31		
2	2017/4/1 2:32	2	2015/10/17 2:33	2	2017/3/21 14:31		
3	2018/3/31 2:34	3	2016/9/17 2:33	3	2018/4/17 14:30		
4	2019/3/30 2:34	4	2017/9/16 2:33	4	2019/3/19 14:31		
5	2020/3/28 2:34	5	2018/9/15 2:33	5	2020/3/17 14:31		
6	2021/3/13 2:34	6	2019/9/14 2:33	6	2021/3/16 14:31		
		7	2020/9/12 2:33	7	2022/4/12 14:31		
		8	2021/9/11 2:33	8	2023/4/11 14:31		
		9	2022/9/10 2:33				
		10	2023/9/9 2:33				
		11	2024/9/7 2:33				

3. 解析方法

SAR 画像の位相情報を用いて、地表面変位（差分干渉解析）、およびコヒーレンスの解析を実施した。干渉期間は、季節変化の影響を排除する目的で 1 年間隔となるよう解析ペアを設定した。地表面変位の解析時にはコヒーレンスの値が 0.3 以下の領域は非干渉域としてマスク処理を施した（東京大学ら,2021）。

本検討では、ALOS-2 の運用を開始した 2014 年から 2024 年までの期間を対象に、期間内で落石が発生した 12 ブロックを含む計 273 ブロックを対象に解析を実施した。干渉 SAR 解析によって得られた地表面変位、コヒーレンスの変化を北行・南行それぞれの軌道で整理し、落石発生前の斜面変化を把握した。なお、時系列グラフでは 2 時期目の観測日としてプロットした。

4. 解析結果

4.1. 地表面変位

落石が発生した 12 ブロックのうち、解析対象期間中に 2 回落石が発生したブロック（以下「A ブロック」とする）に注目し、斜面状況を図 1、落石発生前の地表面変位を図 2 に示す。落石発生前ではブロック内の地表面変位にばらつきが見られた。このばらつきを数値化するため、ブロック内における地表面変位の標準偏差を取り、その時系列変化を整理した（図 3）。ここでは、この地表面変位のばらつきを「ノイズ」と表現する。時系列変化を見ると、落石の発生前には標準偏差が大きくなり、ノイズが増加する傾向が見受けられた。

また、図 2 に示すように落石発生前に有効画素数が低下し、非干渉域が多くなる傾向も一部で見られた。有効画素数分布率の時系列変化を図 4 に示す。このため、落石発生前にコヒーレンスが低下している可能性が考えられる。

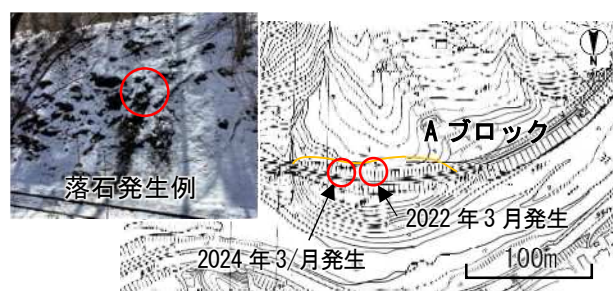


図 1 A ブロックの概要

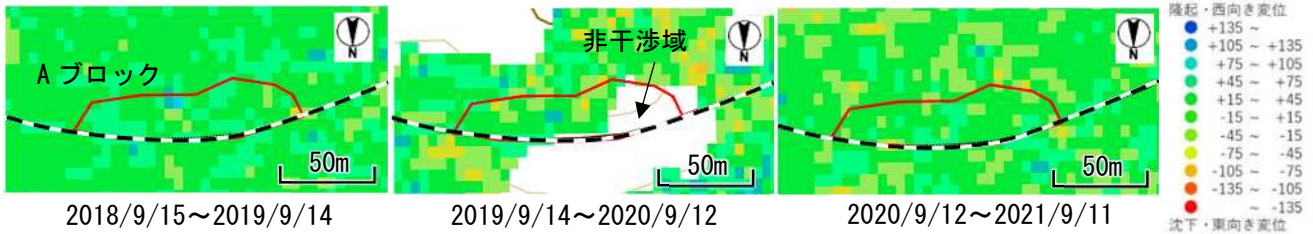


図2 Aブロックにおける落石発生前の地表面変位の変化（2022年3月落石発生）

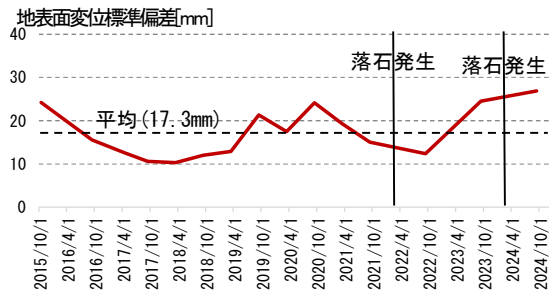


図3 ノイズの時系列変化(Aブロック)

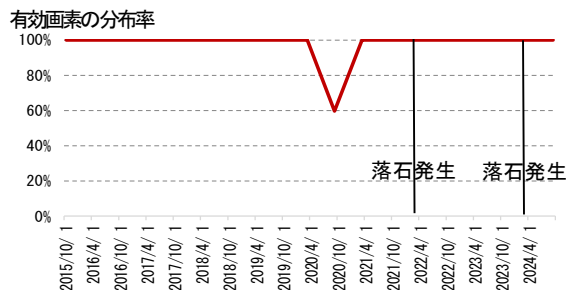


図4 有効画素の時系列変化(Aブロック)

5. 現地調査

解析対象期間内に落石が発生し、ノイズの増加およびコヒーレンス値の低下が見られた斜面を対象に現地調査を実施した。ここでは、Aブロックの例を示す。

Aブロックは切土のり面となるが、全体的に表層部の侵食が見られ、植生はほとんど根付いておらず、礫が浮石化している様子が確認された。同様に斜面が侵食を受けている様子はほかのブロックでも見受けられることから、ノイズが上昇し、コヒーレンス値が低下した斜面では広く表層が侵食され、流出している可能性が推察される。



図6 Aブロックの状況（調査日：2024年5月9日）

4.2. コヒーレンス

Aブロックにおけるコヒーレンス平均値の時系列変化を図5に示す。また、参考値として今回解析を実施した全落石検査ブロックの平均値も併せて示した。Aブロックのコヒーレンスは全体的に平均よりも高い数値で推移している。しかし、2回の落石発生前にコヒーレンスが低下し平均値を下回る傾向が見られた。このことから、何らかの斜面変位によってコヒーレンスが低下し、落石に至った可能性が考えられる。

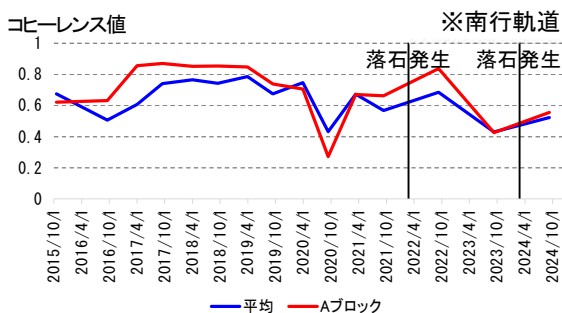


図5 コヒーレンス値の時系列変化(Aブロック)

6. 落石発生斜面における干渉 SAR 解析結果の傾向

Aブロックを対象に干渉 SAR 解析を実施した結果、落石発生前において地表面変位のばらつき（ノイズ）が上昇し、コヒーレンス、および有効画素数が低下する傾向が見られた。解析対象期間内に落石が発生したほかの11ブロックにおいても、落石が発生した4年前以内の期間においても同様の傾向が確認された。

今後は、航空レーザー計測によって得られた標高差分解析の結果とコヒーレンスの解析結果を比較し、コヒーレンスが低下したブロックにおける斜面の実態を定量的に整理していく。また、落石非発生ブロックに対しても同様の解析を実施し、有効画素数、ノイズ、コヒーレンスによる評価方法について精査していく。

参考文献

- 野口・杉山：岩石・岩盤崩壊にかかわる素因の分析（その2）-災害データによる素因の分析-，応用地質42(2)，p114-122，2001.
- 東京大学・基礎地盤コンサルタンツ：合成開口レーダー（SAR）の道路土構造物の維持管理への活用マニュアル（案），89p，2021.