

4 地形判読による災害要因の抽出

4.1 地形判読の目的と地形要素

「道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪等)[改訂版]-DX時代に向けたチャレンジ」には地形判読による災害要因の抽出の目的について、以下の記述がある。

(1) 地形判読の目的

道路防災点検においては、落石・崩壊、岩盤崩壊、地すべりや土石流などの多様な災害が発生するおそれがある場所を抽出するとともに、現地踏査(安定度調査)によって発生の可能性や規模等を判定して的確な防災対策や定期点検に繋げる必要がある。したがって、まず沿道ののり面・斜面や土工構造物等の危険性や安定性に影響を及ぼす災害要因を広範囲にわたって極力見逃すことなく把握することが求められる。その手法として、空中写真や航空レーザ測量データなどを用いた地形判読が最も有効なものとしてされている¹⁾。

ここでは地形判読が有効であることを示す事例として、山地斜面における表層崩壊の発生場で観察される微地形を図-6.1に示す。図中のような微地形を現地踏査も含めて詳細に判読することで、不安定化している場所と範囲が明らかとなり、発生メカニズムとともに斜面の安定性を評価することも可能となる¹⁾。

このように空中写真や航空レーザ測量データを用いた地形判読によって、沿道の斜面や溪流、土工構造物やその周辺の災害要因を抽出するとともに、抽出箇所にとった現地踏査によって詳細な微地形判読を段階的に行うことで複雑で多様な斜面の不安定化機構や道路への影響を評価できることから、道路防災点検においてもその初期段階からこの手法が活用されている。

図-6.1 山地斜面の表層崩壊の発生場と不安定化機構 (佐々木原図)

(一社)全国地質調査業協会連合会 (令和4年3月)

道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪等)[改訂版]-DX時代に向けたチャレンジ p35

また、判読する地形要素については以下の記述がある。

(2) 判読する地形要素

道路防災点検において、初期段階（安定度調査箇所の抽出段階）だけでなく、安定度調査や総合評価においても各種地形情報が必要となる。現行の「(参考資料) 点検要領」に記述のある地形情報等とその活用段階をまとめて、表-6.1 に示す。同表には点検対象項目に関連する自然地形要素だけでなく人工構造物等も掲載しているが、防災点検箇所において安定度調査に関わる可能性がある項目に絞って判読するとよい。また、航空レーザ測量データから作成された精度の高い微地形表現図では、これまで現地調査でしか分からなかった浮石・転石や小崖地形なども判読できる場合もあるため、同表の活用段階に関しては適宜判断する必要がある。

この表-6.1 の多くの地形要素のうち、基本的なものの説明として図-6.2 に模式図を示した。これ以外の判読地形の詳細は、「道路土工指針」や「点検要領」、「落石対策便覧」などに掲載されおり、参考文献を参照するとよい^{1~6)}。

また、これらの地形情報の多くは安定度調査箇所の抽出段階や安定度調査時に必要なものとなるほか、総合評価においても災害形態や影響範囲の想定、既設対策工の効果を判定する上で有用なものである。特に、詳細な航空レーザ測量から定量的な斜面等の勾配や高さ、断面形状などの情報が容易に取得できることから、従来の地形図や空中写真の判読結果や目視を主体とする手法に比べて、より効率的かつ定量的な点検成果となることが期待できる。

(一社)全国地質調査業協会連合会 (令和4年3月)

道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪等)[改訂版]—DX時代に向けたチャレンジ— p36

上記に示した、地形要素について、次ページに示した表- 4.1にまとめられている。

表- 4.1 「点検要領」における地形情報等の一覧表

表-6.1 (1) 「点検要領」における地形情報等の一覧表 (1)				表-6.1 (2) 「点検要領」における地形情報等の一覧表 (2)				
分類	地形情報・項目	活用段階		分類	地形情報・項目	活用段階		
		点検箇所 抽出段階	安定度 調査			点検箇所 抽出段階	安定度 調査	
基本的情報	斜面境界及び集水範囲の境界	○	○	土石流	土石流跡地	○	○	
	斜面傾斜分布	○	○		発生源流域面積	○	○	
	横過・並走河谷や溪流とその集水範囲	○	○		最急渓床勾配	○	○	
	形状 (のり面・斜面や崖壁の高さと勾配)	○	○		斜面特性 (斜面勾配 30 度以上の面積, 新しい亀裂・滑落崖, やや規模の大きな崩壊履歴の有無)	—	○	
	斜面型 (尾根型・崖錐堆積・谷型・中間型)	—	○		未満砂高	—	○	
	台地面・段丘面	○	—		流路幅と桁下高さ	○	○	
災害関連地形 (項目共通)	遷急線・遷緩線 (落石・崩壊、岩盤崩壊)	○	○	盛土	盛土条件の区分	—	○	
	オーバーハング (崩壊、岩盤崩壊)	○	○		集水地形・地すべり地形・土石流跡地・崖錐・人工改変地	○	○	
	溝状凹地・二重山稜 (崩壊、岩盤崩壊、地すべり)	○	○		形・埋立地	—	○	
	小崖地形 (崩壊、岩盤崩壊、地すべり)	○	○		ほ行斜面	—	○	
	線状模様 (リニアメント)	○	○		軟弱地盤 (沖積低地地形)	○	○	
災害地形要素 (点検対象項目別)	(活) 断層地形	○	—	擁壁	地すべり地形・崖錐地帯・軟弱地盤関連の地形	○	○	
	落石・崩壊	崖錐地形	○		○	基礎地盤の傾斜 (>30 度)	—	○
		崩壊跡地	○		○	洗掘防止工	—	○
		台地の裾部や急崖	○		○	橋梁基礎 の洗掘	河床勾配	—
		著しい脚部侵食	—	○	架橋位置 (水衝部または深掘れ部)		—	○
		集水型地形 (谷頭斜面、0 次谷など)	○	○	既設対策工など 関連施設	斜面安定施設 (用地内外)	—	○
		尾根先端の凸型斜面	—	○		土石流対策	—	○
		攻撃斜面 (滑走斜面)	—	○		地すべり対策	—	○
		落石堆	—	○		雪崩対策	—	○
		表層の状況 (浮石・転石, ガリ・リル, 裸地・植生等)	○	○	地表水の集排水系統	—	○	
		谷壘斜面 (側壁斜面または山腹急斜面)、クリープ地形等	—	○	その他	現地安定度調査計画・ルート選定	○	○
	岩盤崩壊	○	○	詳細調査計画図面作成		—	○	
	露岩・壁岩・急崖 (土砂や植生に覆われた斜面で 45° 以上、岩盤斜面で 60° 以上)	○	○	凡例：アンダーラインは「点検要領」で示された写真判読要素 (例)				
	地すべり	地すべり地形全般 (明瞭・不明瞭)	○	○	二重アンダーラインは今回追記した判読項目や活用内容			
地すべり兆候 (亀裂・隆起・陥没など判読可能なもの)		○	○					
雪崩	窪地・離れ山	○	—					
	発生区の斜面勾配	○	○					
	見通し角	—	○					
	植生の疎密度	○	○					
	斜面方位	—	○					

(一社)全国地質調査業協会連合会 (令和4年3月)

4.2 地形判読の手法

4.2.1 新技術の活用

地形判読の手法についてはいろいろなあるが、近年、航空レーザ測量をはじめとしたレーザ計測機器(Laser Profiler : LPと略することもある)によって取得された三次元点群データが活用されている事例が多い。レーザ計測機器は、年々精度の向上し、低コスト化も進んでおり、航空レーザ測量は各地で実施され、そのデータが蓄積・整備されつつある。これら航空レーザ測量により作成されたLP図は、従来の地形図より微地形等を正確に表現でき、各種の災害の地形判読に多く使われてきている。航空レーザ測量の概要と航空レーザ測量から得られたLP地形図の利用方法等については、「道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪等)[改訂版]—DX時代に向けたチャレンジ」を参照されたい。

また、近年では衛星画像を用いたいろいろな地形解析手法が開発されている。例えば、地上分解能1m前後の高分解能衛星画像(光学衛星画像)が入手可能となり、衛星画像からでも詳細な地表面状況の把握が可能となっており、これらを用いた微地形判読が行われている。光学衛星画像に対し、衛星搭載の合成開口レーダー(SAR)を用いて、地表の変動を捉える技術も開発されている。合成開口レーダーは、アンテナから電波を発射し、観測する対象物に当たって反射された電波を観測し、反射された電波の強さから、対象物の大きさや表面の性質が、反射された電波が戻ってくるまでの時間を測定することで、対象物までのおおまかな距離も測定できる。そのため、時系列で干渉SAR衛星画像を入手し、その差分により地表面の変動を捉えることが可能となった。

4.2.2 地形判読の手法

当手引きでは、地形判読の手法として以下の3手法をスクリーニングの手法として列挙した。

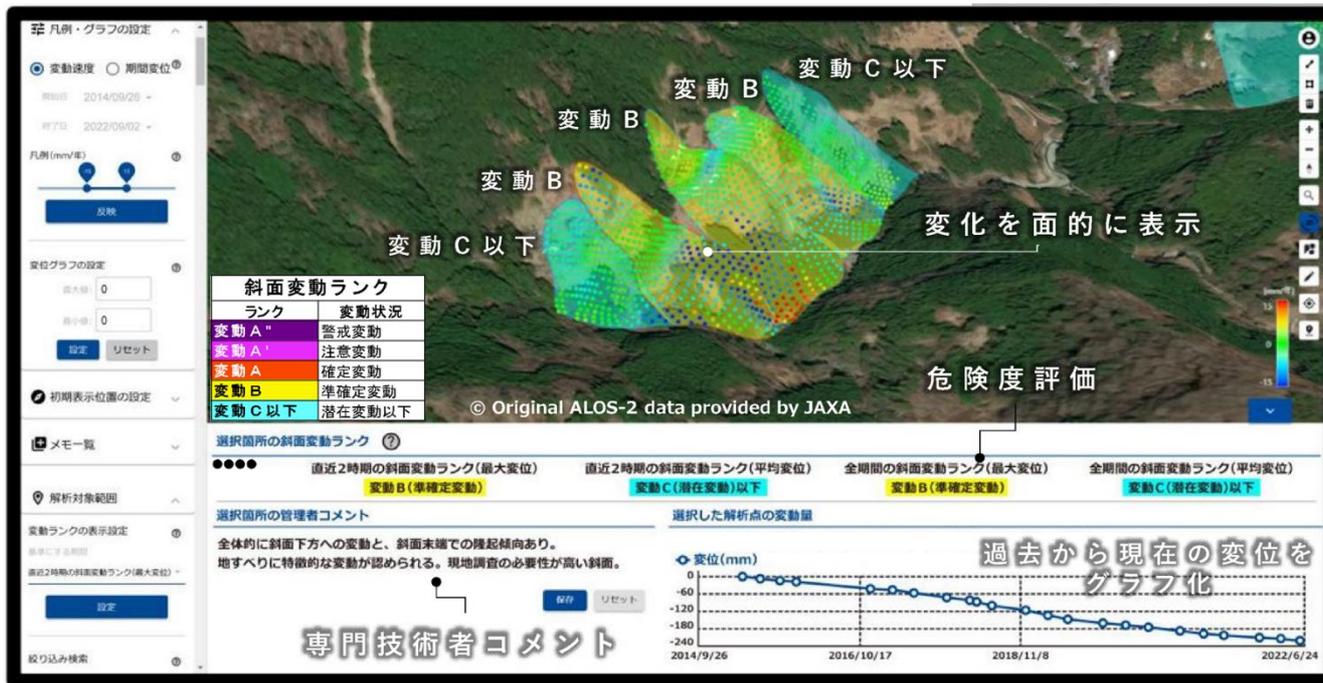
- ①LP地形図の地形判読
- ②2時期のLP地形図を用いた差分解析
- ③干渉SAR衛星画像を用いた時系列解析

①、②についての詳細は「(一社)全国地質調査業協会連合会 (令和4年3月) 道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪等)[改訂版]—DX時代に向けたチャレンジ」に詳しいことが書かれているので参照されたい。③については4.3節に述べる。

4.3 干渉SAR時系列解析による不安定箇所抽出

衛星SARデータを活用し、道路土工構造物等（のり面、地すべり、大規模切土盛土など）の変状の経時変化を求めることにより不安定箇所抽出を行う。

衛星SARデータは、斜面変動を広域且つ過去に遡って定量的に解析することが可能であり、主に大～中規模の斜面変動の早期覚知が可能となり、変動監視の省力化・効率化の点で有用である。解析の特性上、衛星の移動方向に直交する向き（南北方向）の変位は捉えにくいことや、20cm以上の突発的な変位を捉えることができないデメリットも存在する。



日本工営株式会社 基盤技術衛星情報サービスホームページ
<https://www.n-koei.co.jp/consulting/service/satellite-intelligence-service/>

図- 4.1 衛星 SAR データを用いた不安定箇所の抽出事例

(1) 使用する衛星および合成開口レーダーの概要

人工衛星には通信衛星や、測位衛星、地球観測衛星等、様々な種類が存在する。このうち、地球観測衛星は、気象予報のためのデータ取得、資源探査、地形情報の取得、インフラ監視、防衛情報の取得等に活用されている。当干渉SAR解析では、JAXAが運用している陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)に搭載された合成開口レーダー(PALSAR-2)によって取得された観測データを使用する。なお、ALOS-2は耐用年数を大幅に超過しており、昨年打ち上げに成功した高性能なALOS-4にまもなく代替わりする予定であるため、ALOS-4のデータも使用していく予定である。加えて、今後技術開発等が進み、衛星のバリエーションが増えていくことも想定されるため、様々な技術を取り入れていく予定である。

表- 4.2 人工衛星の種類

種別	 通信衛星	 測位衛星	 地球観測衛星
用途	衛星電話、テレビ放送、インターネット通信等	カーナビゲーション、スマートフォンの地図アプリ等	気象予報のためのデータ取得、資源探査、地形情報の取得、インフラ監視、防衛情報の取得等

表- 4.3 使用予定の合成開口レーダーの概要

衛星名	だいち2号 (ALOS-2)	だいち4号 (ALOS-4)
概要	災害状況や森林分布の把握、地殻変動の計測などの様々な分野で利用されている。	「ALOS-2」の高い空間分解能を維持しつつ、観測幅を4倍に拡大した先進レーダ衛星。ALOS-2とのデータ互換性あり。
運用開始	2014年5月24日	2024年7月1日打ち上げ成功 ※データ提供開始時期未定
センサ名	PALSAR-2	PALSAR-3
SAR周波数	Lバンド (1.2GHz帯)	Lバンド (1.2GHz帯)
観測波長	約24cm	約24cm
観測モード	高分解能モード	高分解モード 広域観測モード スポットライトモード
分解能	3m	高分解モード：3m 広域観測モード：25m スポットライトモード：1m×3m
観測頻度	定期観測は3～4回/年	定期観測は20回/年(予定)
観測幅	50km	高分解モード：200km 広域観測モード：700km スポットライトモード：35km

(2) 地球観測衛星に搭載される主なセンサーと特徴

地球観測衛星には、カメラのように、対象物の色や形の観測に適した光学衛星（可視・赤外光センサー）や、対象の材質や微小な変化の観測に適したSAR衛星（合成開口レーダー）が搭載されることが多い。これらの地球観測衛星を活用した強みは、「地球上全体」を「定間隔、同精度」で「繰り返し把握する」ことができることに加え、過去のデータがアーカイブデータとして蓄積されているため、過去に遡った解析が可能なことである。

1) 可視・赤外光センサー（光学）

物体から反射される太陽光を観測するため、カメラで撮影したように、対象物の色・大きさ・形などが分かる。ただし、カメラと同様に、雲が存在する場合にはその下の地表面の撮影は行えず、明かりの無い夜間の撮影も不可能である。

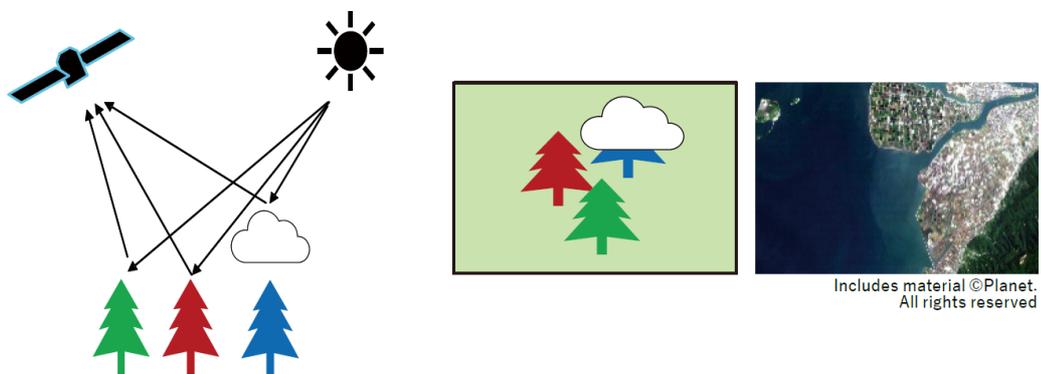


図- 4.2 光学衛星による観測イメージ

2) 合成開口レーダー（SAR）

SAR衛星が電波を地表に向けて照射し、地表からの反射波を受信することで、地表の形状や性質についての画像情報を取得する手法である。観測に電波を使用するため、対象物の有無・材質・変化などが分かる利点がある一方で、反射の強度を示す画像は白黒であり、直感的な把握は難しい。レーダー波を使用するため、雲や夜間に関係なく撮影が可能である。同じ条件で撮影したSAR画像を使用することにより、物体の状態変化を計測することができる。

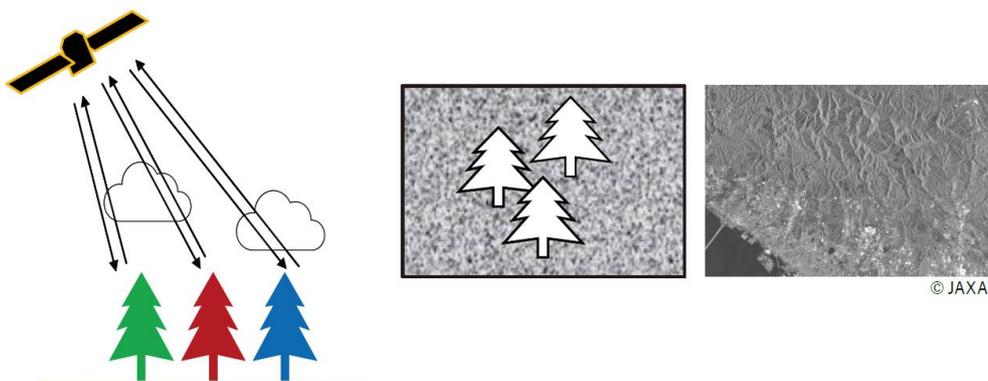


図- 4.3 SAR衛星による観測イメージ

3) 合成開口

合成開口とは、レーダーによる観測で高分解能の画像を得るための手法である。レーダー観測で取得する画像の分解能を向上させるためには、電波を照射するアンテナを大きくする必要がある。例えば、人工衛星に搭載したレーダーによって10m程度の分解能の画像を取得するために必要なアンテナの大きさ（≒開口）は1km以上となり、衛星に搭載する機器としては非現実的な大きさとなる。

そこで、小さいアンテナを搭載した人工衛星が移動しながら電波を送受信し、そのデータを計算処理により統合することで、あたかも大きなアンテナで一度に観測したように「開口」を「合成」することで高い分解能を得るのが「合成開口」の技術である。

4) 衛星軌道方向

衛星軌道には、衛星が南から北へ飛行するアセンディング軌道（北行軌道）とディセンディング軌道（南行軌道）が存在する。衛星は常に同一の位置を周回するように飛行しているのに対して、地球は自転しているため、全球をくまなく観測することができる。

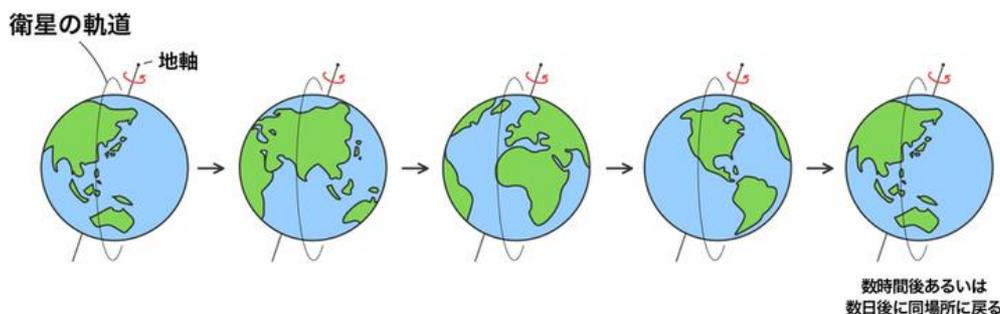


図- 4.4 衛星軌道の模式図

一般社団法人リモート・センシング技術センターホームページ リモート・センシングとは？

<https://www.restec.or.jp/knowledge/sensing/sensing-1.html>

5) 電波照射方向

ALOS2（だいち2号）には衛星進行方向に向かって右側斜め下方向を観測するモードと左側斜め下方向を観測するモードが存在する。左側観測は災害時などの臨時観測に用いられる場合が多く、干渉SAR解析用の定常観測では右側観測の場合が多い。

従って、衛星軌道方向（アセンディング・ディセンディング）と観測方向（右側・左側）の組合せから、図- 4.5に示す4パターンが存在する。なお、干渉SARで抽出される変位は「衛星視線方向（電波照射方向）」であり、電波照射方向が東西方向に偏っているため、南北方向の変位抽出は不得手となる。

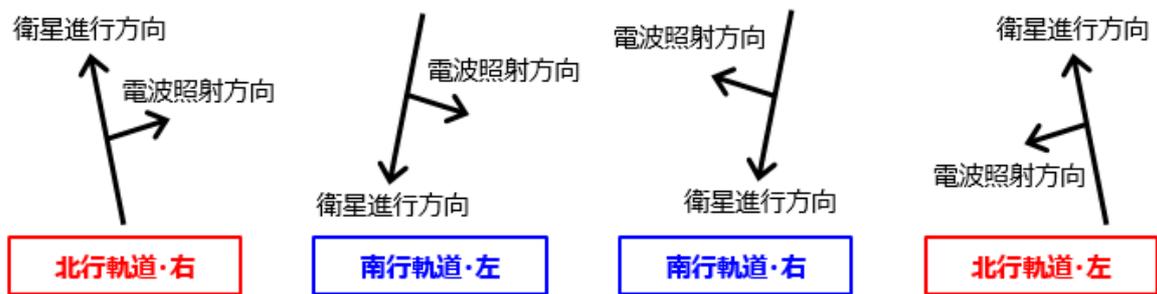


図- 4.5 観測方向と電波照射方向の組合せ

国土交通省国土地理院ホームページ Q1. 干渉SARの基礎・原理に関する質問

https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/gsi_sar_faql.html

6) 波長

合成開口レーダーが使用している電波は7.5mm～1000mmの波長帯を持つマイクロ波である。マイクロ波はその波長の長さから、バンド名が割り振られている。衛星搭載合成開口レーダーには主にXバンド（約3cm）、Cバンド（約6cm）、Lバンド（約24cm）が使われることが多い。

当マニュアルで使用するALOS2衛星はLバンドを使用している。Xバンド（約3cm）やCバンド（約6cm）レーダーを用いて森林地帯を観測すると、木の上の葉っぱ（樹冠）の部分で電波が反射し、地表面の情報を得ることができない。一方で、Lバンド（約24cm）は、レーダー波の一部が植生を透過して地表面まで届くため、地表面の情報を得られるといったメリットがある。このことから、国土の3分の2を植生で覆われている日本においては、Lバンドの利用価値が高いと言える。

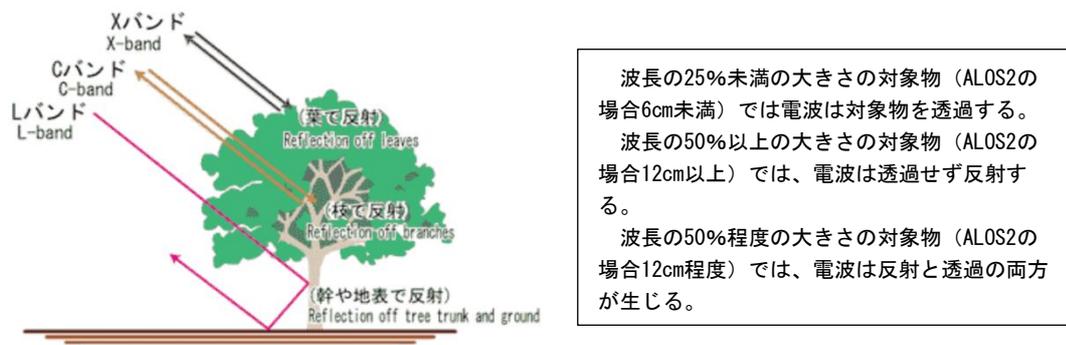


図- 4.6 バンドの違いによる植生の透過・反射特性

JAXAホームページ SRTMの観測原理(詳細) その1

https://iss.jaxa.jp/shuttle/flight/sts99/mis_principle_1.html

7) 後方散乱

衛星から照射されたマイクロ波は、地表面で地面・森林・建物等に衝突した後に、様々な方向に散乱する。これらのうち、衛星に戻ってきた反射信号のみが、観測可能な反射波である。この反射波は衛星から照射されたマイクロ波の向きに対して後方への散乱であることから、後方散乱と呼ばれている。後方散乱の強さを色階調（通常、白～黒で表現）に割当て、後方散乱強度が強いと明るく（≒白）、弱いと暗く（≒黒）なるように可視化した画像を「SAR強度画像」と呼ぶ。

なお、マイクロ波の反射信号には後方散乱（実数として記録）の情報に加えて、位相（複素数として記録）の情報が含まれている。

8) 位相

マイクロ波は電波であるため、周期的に繰り返すパターンを持っており、その1周期の長さが波長である。位相とは、1周期中における波の位置を表しており、角度（ラジアン）で表現される。

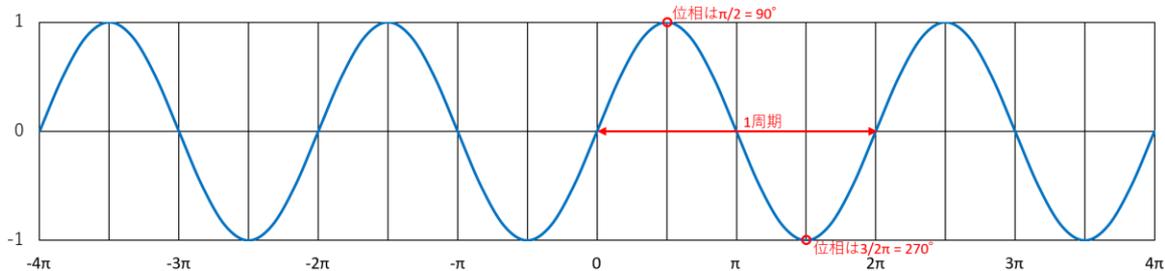


図- 4.7 位相の概念図

9) 干渉SAR解析

位相は、衛星と地表の間の距離を2倍した長さ（電波は往復するため）を電波の波長で除算した際の剰余（あまり）の値である。このように、位相は衛星と地表を結ぶ距離そのものではない事から、1回の観測の位相のみでは情報としての利用が難しい。

一方で、地表の同一の場所に対して2回のSAR観測を実施し、それぞれの位相の差を取る（干渉させる）ことによって、位相の差を計測することができる。この技術が干渉SAR解析である。通常のレーダー技術のみで距離を測定する場合の精度は数m程度なのに対し、二時期差分干渉SAR解析では数cmオーダーでの測定が可能である。

2)

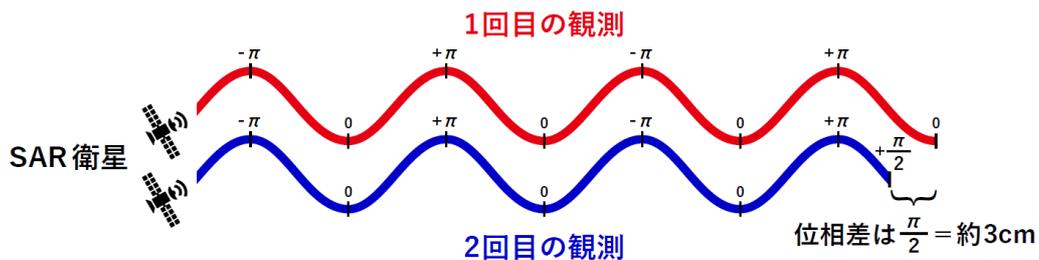


図- 4.8 干渉 SAR 解析の概念図

10) コヒーレンス

1回目に観測したSARデータと2回目に観測したSARデータの干渉性を示しており、干渉SAR解析結果の品質や位相情報の精度を示す指標として利用される。コヒーレンスは局所的な領域内での位相の均一性の程度を表しており、コヒーレンスが高いほど位相のばらつき（分散）が小さくなり、ノイズの少ない解析結果を得ることができる。コヒーレンスは1回目の観測と2回目の観測の間にマイクロ波の後方散乱（衛星への反射）に影響する部分の変化が大きいと低下する。具体的には、地表面の植生の状態変化（落葉や下草の繁茂等）、土壌水分の変化等が発生するとコヒーレンスが低下する。したがって、干渉SAR解析を行う際には、観測時期やタイミングを考慮し、極力コヒーレンスが低下しにく

い解析ペアを選定することが重要である。なお、コヒーレンスは実際に地表面変動が発生し、地表面の状態が変化した場合にも低下する。

11) レイオーバー

SARは、衛星の進行方向に対して真横斜め下方向に向けて電波を照射し、その地表からの反射波が衛星に到達した順に、反射強度を記録する仕組みである。観測対象となる地表の勾配が緩い場合には、平面位置の手前から奥に向かって地物の位置順に地表に電波が照射され、反射波も実際の平面位置の順に受信できるため、地物の位置関係が正しく記録できる。一方で、電波の入射角よりも勾配が急な斜面においては、衛星から見て手前に位置する谷部よりも奥に位置する稜線部の方が衛星との直線距離が近くなり、その結果として反射波の受信順序が逆転する現象が起きる。この電波受信の逆転現象をレイオーバーと呼ぶ。レイオーバーが発生した箇所の受信電波を画像化すると、衛星に正対した稜線部と谷部で位置関係が逆転して圧縮され白く潰れた画像となり、画像判読や干渉SAR解析が困難となる。

12) レーダーシャドウ

レイオーバーを回避するためには、センサーと地表の間で水平距離の位置関係と直線距離の位置関係に逆転が起きないように、電波を照射する入射角を大きくする必要がある。一方で、入射角を大きくしすぎると電波が稜線に遮蔽され、稜線裏側の斜面は、影となって観測できない。この影が発生する範囲をレーダーシャドウと呼ぶ。

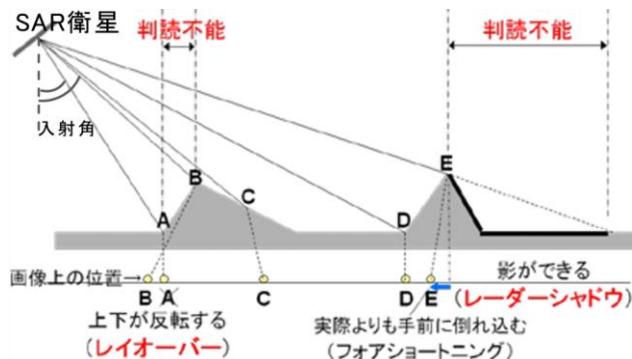


図- 4.9 レイオーバーおよびレーダーシャドウの模式図

13) 使用する衛星データ

道路土工構造物及び周辺斜面（草地、森林等）を対象とした解析を行うことから、植生透過性の高い「Lバンド」の合成開口レーダーを搭載するALOS-2データ（ALOS-4）を用いる。衛星観測原理の制約による解析精度低下を防止し、幾何学的な不可視領域を低減する目的から、衛星観測軌道は、アセンディング及びディセンディングの両方のデータを用いる。

一方で、今後の技術開発の進展により衛星の種類が増えていくことが想定されるため、様々な方法を用いてより良い調査を目指していく予定である。

表- 4.4 現在運用中の主要な SAR 衛星一覧

衛星名	運用機関 (国)	バンド	植生 透過性	解像度	観測幅	観測期間
RADARSAT-2	CSA (カナダ)	C	△	25m	100 km	H19～現在
TerraSAR-X	DLR (ドイツ)	X	×	3m	50 km	H19～現在
TanDEM-X	DLR (ドイツ)	X	×	3m	50 km	H22～現在
COSMO-SkyMed-1	ASI (イタリア)	X	×	3m	40 km	H19～現在
ALOS-2	JAXA (日本)	L	○	3m	50 km	H26～現在
ALOS-4	JAXA (日本)	L	○	3m	200km	R5 年打ち上げ成功
Sentinel-1	ESA (EU)	C	△	20m	250 km	H26～現在
ASNARO-2	NEC (日本)	X	×	2m	12km	H30～現在

14) 解析

干渉 SAR 解析の流れを以下に示す。

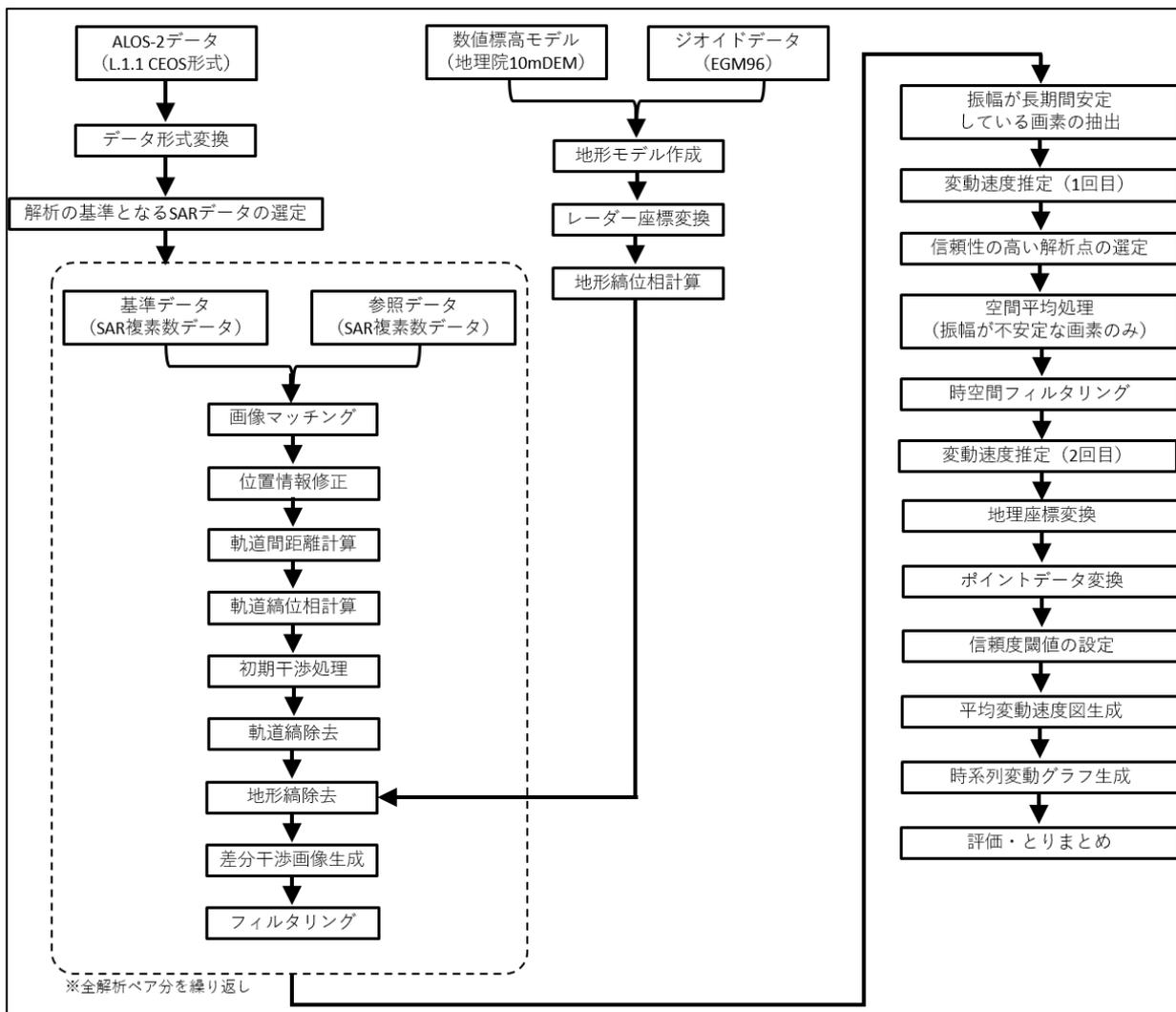
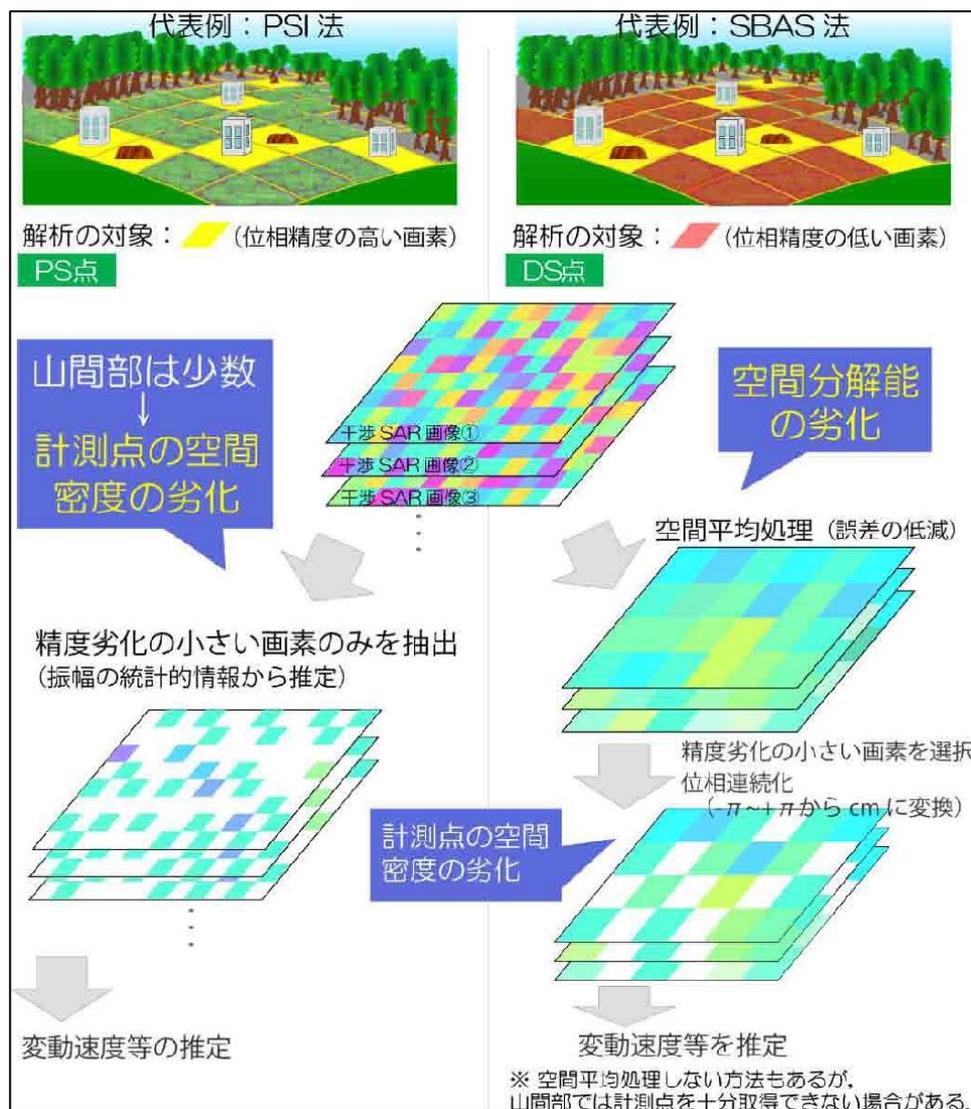


図- 4.10 干渉 SAR 時系列解析の流れ

干渉SAR時系列解析とは、多数のSAR画像から干渉度低下の影響が小さい部分を抽出し、大気や軌道誤差に起因する誤差を統計的に推定・除去することで変動計測精度を向上させ、変動の時間変化を追跡する解析手法である。

干渉 SAR 時系列解析の代表例として、PSI 法、SBAS 法があり、模式図を以下に示す。



<https://www.gsi.go.jp/common/000212151.pdf> より引用

図- 4.11 PSI 法および SBAS 法

PSI法では、人工構造物など反射の位相が非常に安定したターゲット（永久散乱体：Permanent Scatterer）を含むピクセルのみを用い干渉処理を行う。各観測時の変動量および変位速度をピクセルごとに推定する。

SBAS法では、短い撮像日間隔のSAR干渉画像を多数作成し、各観測時の変動量および変位速度を推定する。

衛星SAR解析におけるマイクロ波の伝搬遅延（電離層の影響）及び大気遅延による解析誤差を軽減するため、PS-InSAR（永久散乱体を用いた干渉SAR）を用いた時系列解析を行う。

干渉SAR解析結果は、「衛星-地表視線方向」の距離の変化を捉えるものである。

アセンディング (Asc) 及びディセンディング (Des) の解析結果は、上下方向及び東西方向の成分による合成ベクトルであるため、解析結果は以下に示す変位の合成であることに留意する。

Asc (衛星に近づく変位) : 西向き+鉛直上向きの合成

Asc (衛星から遠ざかる変位) : 東向き+鉛直下向きの合成

Des (衛星に近づく変位) : 東向き+鉛直上向きの合成

Des (衛星から遠ざかる変位) : 西向き+鉛直下向きの合成

4.4 各災害に対する地形判読手法の適用性

第7章で説明してきた各種地形判読手法の各災害に対する適用性について「目視」の項目を加えて、表- 4.5にまとめた。LP地形図を用いた地形判読は、災害が発生する可能性のある範囲を抽出する、LP差分解析と干渉SAR時系列解析は差分による動きを捉えた場合、災害発生の「予兆」を捉えるものである。

各地形判読手法はそれぞれの災害に対し向き不向きがある。そのため、各種判読方法を組合せながら行うことが望ましい。

表- 4.5 各災害に対する地形判読手法の適用性

主な災害種別	スクリーニングによる地形判読手法			目視（道路パトロール） ※スクリーニングでは抽出が難しくても、道路パトロールで予兆を捉えられる可能性
	LP地形判読	LP差分解析	干渉SAR時系列解析	
落石	点群の密度が高い場合、落石の発生源となる急崖（露頭）を判読できる可能性がある。	突発的な現象であるため、予兆の把握は難しい。	突発的な現象であるため、予兆の把握は難しい。	<p>日常的に実施することで、繰り返し発生している箇所などを把握できる可能性が高い。</p> <p>現地での落石増加箇所等での新たな落石発生の予兆を捉えられる可能性がある。</p>
	場合により抽出可能	抽出は困難	抽出は困難	
表層崩壊	集水地形や周辺の崩壊跡から、発生する可能性のある斜面を抽出できる可能性がある。	突発的な現象であるため、予兆の把握は難しい。ただし、前兆現象としての小崩壊等がある場合は予兆を把握できる場合がある。	突発的な現象であることが多いため、予兆の把握は難しい。ただし、前兆現象としての小崩壊等がある場合は予兆を把握できる場合がある。	<p>突発的な現象であるため、予兆の把握は難しい。ただし、落石が繰り返し生じるなど、予兆を示す場合もあり、その場合は、予兆を捉えることは可能である。</p> <p>場合により予兆を捉えることが可能</p>
	場合により周辺の地形から抽出可能	場合により周辺の地形から抽出可能	場合により周辺の地形から抽出可能	
岩盤崩壊	重力変形等が地形に表れているようなある程度規模の大きなもの場合は発生する可能性を推定可能な場合がある。	2時期における変動量がある程度大きい場合は予兆を把握できる場合がある。一方で、突発的に発生するタイプは、予兆の把握が難しい。	重力変形等により変状が継続している場合は予兆が把握できる場合がある。一方で、突発的に発生するタイプは、予兆の把握が難しい。	<p>突発的な現象であるため、予兆の把握は難しい。ただし、落石が繰り返し生じるなど、予兆を示す場合もあり、その場合は、予兆を捉えることは可能である。</p> <p>場合により予兆を捉えることが可能</p>
	突発的な岩盤崩壊の抽出は困難だが、変動量が大い場合は抽出可能	突発的な岩盤崩壊の抽出は困難だが、変動量が大い場合は抽出可能	突発的な岩盤崩壊の抽出は困難だが、変動量が大い場合は抽出可能	
地すべり	地すべり地形として判読できる可能性が高い。	2時期における変動量がある程度大きい場合は予兆を把握できる場合がある。	一般的に変状が継続的に進行していることが多いため、予兆を把握できる可能性が高い。	<p>大きく変動していない場合は予兆の把握は困難。ただし変動量が大きく、末端の孕み出しや末端崩壊がある場合、現地計測器の変動増加が認められる場合等で、予兆を捉えることは可能である。</p> <p>変動量により予兆を捉えることが可能</p>
	抽出可能	変動量が大い場合は抽出可能	変動している場合は抽出可能	
深層崩壊	深層崩壊特有の地形変状の確認により抽出できる可能性がある。	2時期における変動量がある程度大きい場合は把握できる場合がある。	継続的に変状が進行している場合は、予兆を把握できる可能性が高い。	<p>規模が大きいため、大きく変動していない場合は予兆の把握は困難。ただし変動量が大きく、末端の孕み出しや末端崩壊がある場合、現地計測器の変動増加が認められる場合等で、予兆を捉えることは可能である。</p> <p>変動量により予兆を捉えることが可能</p>
	抽出可能	変動量が大い場合は抽出可能	変動している場合は抽出可能	
土石流	過去の土石流の形跡や流域内の侵食程度から、危険性がある溪流かどうか推定できる可能性がある。	集水域内での侵食の活発性（土砂流出の程度）をある程度把握できる場合がある。	集水域内での侵食の活発性（土砂流出の程度）をある程度把握できる場合がある。	<p>降雨後に繰り返し土砂流出が生じている箇所では予兆を把握できる可能性がある。</p> <p>土砂流出が頻発している場合は予兆を捉えることが可能</p>
	抽出可能	源頭部崩壊斜面の変状や渓流内の不安定土砂量の変化は把握が可能	変動量が20cm以下であれば、抽出可能	

抽出及び予兆を捉えることが可能 条件付きで抽出及び予兆を捉えることが可能 抽出及び予兆を捉えることが困難

※干渉SAR時系列解析：干渉SARで抽出される変位は「衛星視線方向（電波照射方向）」であり、電波照射方向が東西方向に偏っているため、南北方向の変位抽出は不得手となる

今後は、LP図を用いた地形判読、LP差分解析、干渉SAR時系列解析を用いてスクリーニングを行い、路線沿いの地形判読図を作成し、不安定箇所の抽出を行う。LP差分解析、干渉SAR時系列解析では、地形により解析が難しい箇所があるので、それぞれの手法により判読範囲を補完し、漏れの無い抽出を行う。

第4章 参考・引用文献

- 3) 一般社団法人全国地質調査業協会連合会：道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪等)[改訂版] -DX時代に向けたチャレンジ- 194p
<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/lec-road/docs/guidance-rain-snow.pdf>
- 4) 日本工営株式会社 基盤技術衛星情報サービスホームページ
<https://www.n-koei.co.jp/consulting/service/satellite-intelligence-service/>
- 5) 一般社団法人リモート・センシング技術センターリモートセンシングとは
<https://www.restec.or.jp/knowledge/sensing/sensing-1.html>
- 6) 国土交通省国土地理院ホームページ Q1. 干渉SARの基礎・原理に関する質問
https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/gsi_sar_faql.html
- 7) JAXAホームページ SRTMの観測原理(詳細) その1
https://iss.jaxa.jp/shuttle/flight/sts99/mis_principle_1.html

5 奈良県における道路防災点検の見直しと新たな点検方法

5.1 これまでの奈良県における点検方法の問題点と課題

奈良県では、一般国道および県道の奈良県管理区間について主にパトロールカーによる目視点検を実施している。問題点として、道路沿いの吹付工や法砕工等の斜面对策工の経年的な劣化については、パトロールカーによる目視点検ではこれらの変状を必ずしも十分に検知できないことが挙げられる。

このため、のり面の変状を検知・把握し、かつ省人化・省コストを踏まえた平常時の定期的なのり面点検方法の作成が必要である。また、変状や異常が生じた緊急時に、迅速に点検を行うための緊急時の点検方法の作成や体制の構築が必要である。

5.2 奈良県における点検方法の検討

一般的な道路防災点検では、机上でレーザプロファイラ地形図等を用いて、斜面の不安定箇所を抽出し、路線全体のスクリーニングを行う。不安定箇所については安定度調査(詳細調査)を実施し、対応が必要である箇所であるかどうか確認を行い、道路防災点検カルテを作成し、毎年の防災点検の基礎資料とする。

今回奈良県における点検方法では、大規模発生予想の予兆を見落とさないためスクリーニングを重視し、新技術を用いたスクリーニングの省力化を取り入れる。

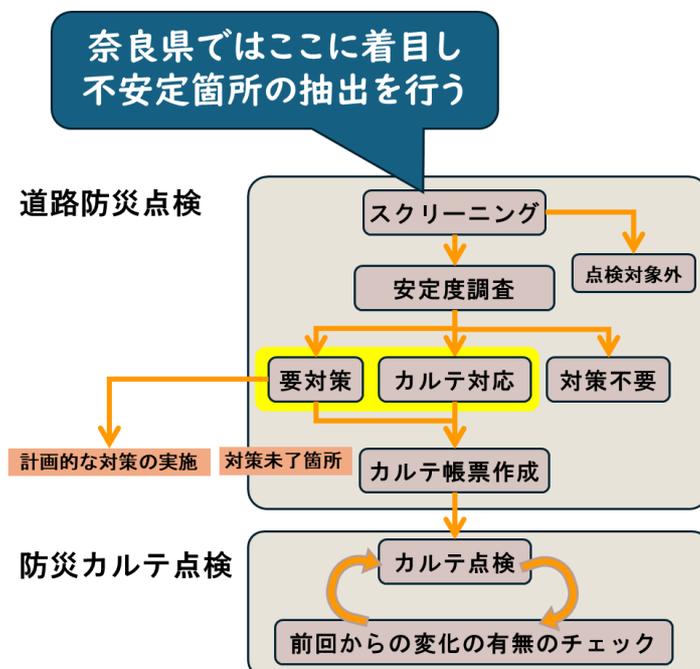


図- 5.1 道路防災点検の流れ

全地連 地質関連情報WEBホームページ 講習会関連資料集のご利用にあたって
講義2. 道路防災点検の概要

<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/lec-road/docs/lecture2.pdf>

またスクリーニングの対象とする災害は、前兆現象がわかりにくい低頻度の中～大規模災害とし、スクリーニングをすることにより将来発生する可能性のある大規模災害の発生予兆を把握する。高頻度の小～中規模災害(落石等)については、日常点検等で対応とし、点検対象とする箇所については道路防災カルテを作成し、日常点検、防災カルテ点検で活用する。

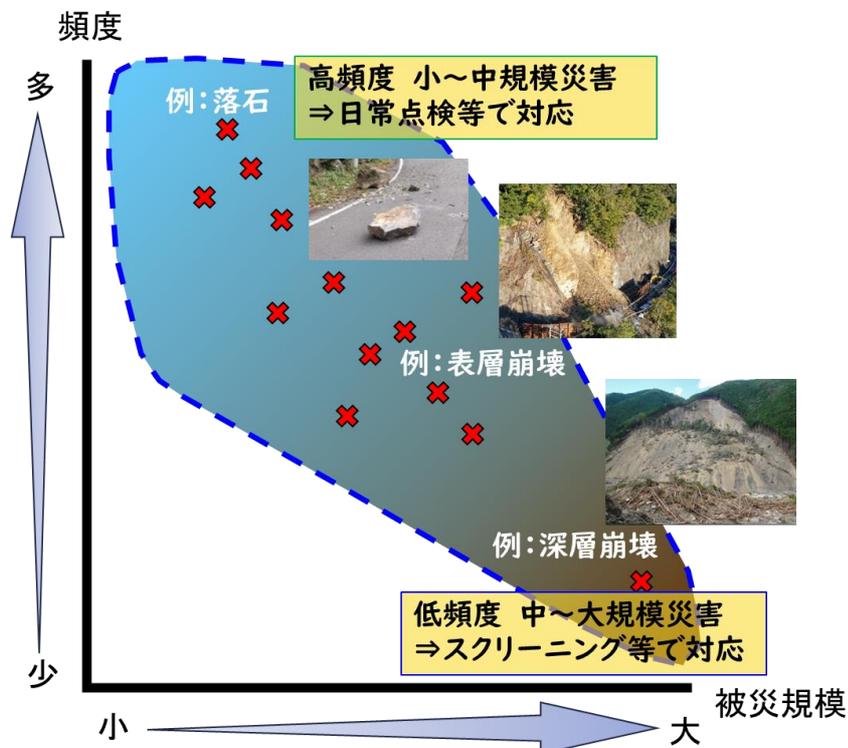


図- 5.2 目指す姿の概念図

スクリーニングを考慮した点検フローを図- 5.3に示す。机上のスクリーニングを行うことにより、不安定箇所を抽出する。抽出した箇所については詳細調査を実施し、要対策箇所と観測・監視箇所に区分し、道路パトロール対象とする。これらのスクリーニング、詳細調査結果についてはデータベース化し、奈良県管理のサーバーに集約、保存する。道路パトロール結果についてもサーバーに集約、緊急時点検の基礎資料とする。

今後はスクリーニング結果と道路パトロール結果を蓄積していくことにより、以下のような活用を行っていく。

- ・干渉SAR時系列解析を年々行うことにより、これまで要対策・カルテ対応箇所でも長年変位の認められない箇所の点検省力化やランクダウン
- ・パトロール結果の累積による災害発生頻度の高い場所の予測や、パトロール重点箇所の把握

これらにより、将来的に道路防災カルテ点検の省力化や対策工事の優先度評価の見直しを行い、より現実に即した道路点検を目指していく。

なお、スクリーニングは、全地連の「点検要領（平成18年9月）」の選定基準を踏襲しつつ、机上調査およびSARや高精度LP図などの新技術を活用したスクリーニングを踏まえて安定度調査箇所を選定していく。

5.3 奈良県におけるスクリーニング及び詳細調査(安定度調査)、道路防災カルテの作成

(1) スクリーニング

奈良県におけるスクリーニングでは以下を実施する。

- ① 被災履歴分析
- ② LP(レーザプロファイラー)地形図、空中写真を用いた地形判読
- ③ 衛星SAR解析を用いた変動範囲の抽出

1) 被災履歴分析

被災履歴分析では、過去に発生した災害をとりまとめ、「再帰性」、「素因：地質、地形(斜面勾配等)」、「誘因：降雨特性」で整理分類し、災害発生特性を明らかにする。それにより、災害が発生しやすいリスク箇所を事前に把握することが可能となる。

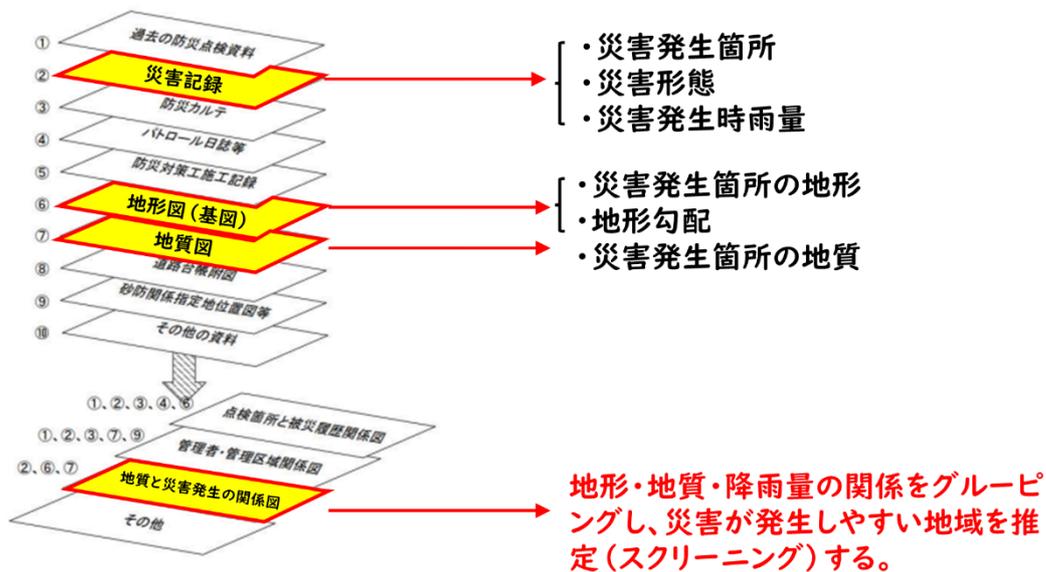


図- 5.4 既存資料の整理及び重ね合わせのイメージ

(一社)全国地質調査業協会連合会 (令和4年3月)

道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪等)[改訂版]-DX時代に向けたチャレンジ- p77 に一部加筆

2) LP地形図、空中写真を用いた地形判読

LP地形図、空中写真を用いて、陰影起伏図、傾斜量図、CS立体図等の視覚的にわかりやすい微地形表現図を作成し、それらを用いて地形判読図(等高線図または微地形表現図の上に災害に関連する地形の種類を示す記号が記入されたもの)を作成し、不安定化しやすい地形要素を抽出する。また、UAVを用いたレーザ測量によれば、より高精度な点群データの取得が可能であり、落石発生源等の抽出が可能となる。異なる時期の2時期のLP地形図を用いて差分解析を行い、地形の変化を読み取ることも可能である(7.5節参照)。

LP地形図の判読方法や利用方法については、第7章を参照されたい。LPの取得は5年に1度程度の頻度で取得することを想定する。LP地形図の判読については、当手引き作成後に既存LP地形図を用いて1回、その後新たにLP地形図が作られた時点で実施することが望ましい。

3) SAR衛星解析を用いた変動範囲の抽出

SAR衛星とはレーダーを搭載した衛星でマイクロ波を地表面に照射してその反射波を観測する衛星である。夜間・悪天候時も観測可能であり、得られる画像はモノクロ画像のようになる。SAR衛星は反射の強さを観測し、凹凸のある粗い表面では強い反射が得られ、衛星の周回軌道を利用し、2回の観測の差を取り、反射強度の違いにより地表面の変化を抽出することが可能となる。ただし、水面などのなめらかな表面では弱い反射となり衛星に返ってこず、解析が難しい場合もある。

また、SAR衛星では定性的な変化有無だけではなく、定量的な地表面の変動計測が可能である。移送情報を解析することで地表面の微小な変位をmm～cm精度で把握可能となる。図- 5.5 にSAR衛星活用事例を示す。地すべり頭部に設置した地盤伸縮計と干渉SAR時系列解析結果の変動状況を比較している。その結果、変動量に差はあるものの、連続的な変動傾向は捉えられている。

SAR衛星解析については、毎年実施することを想定する。

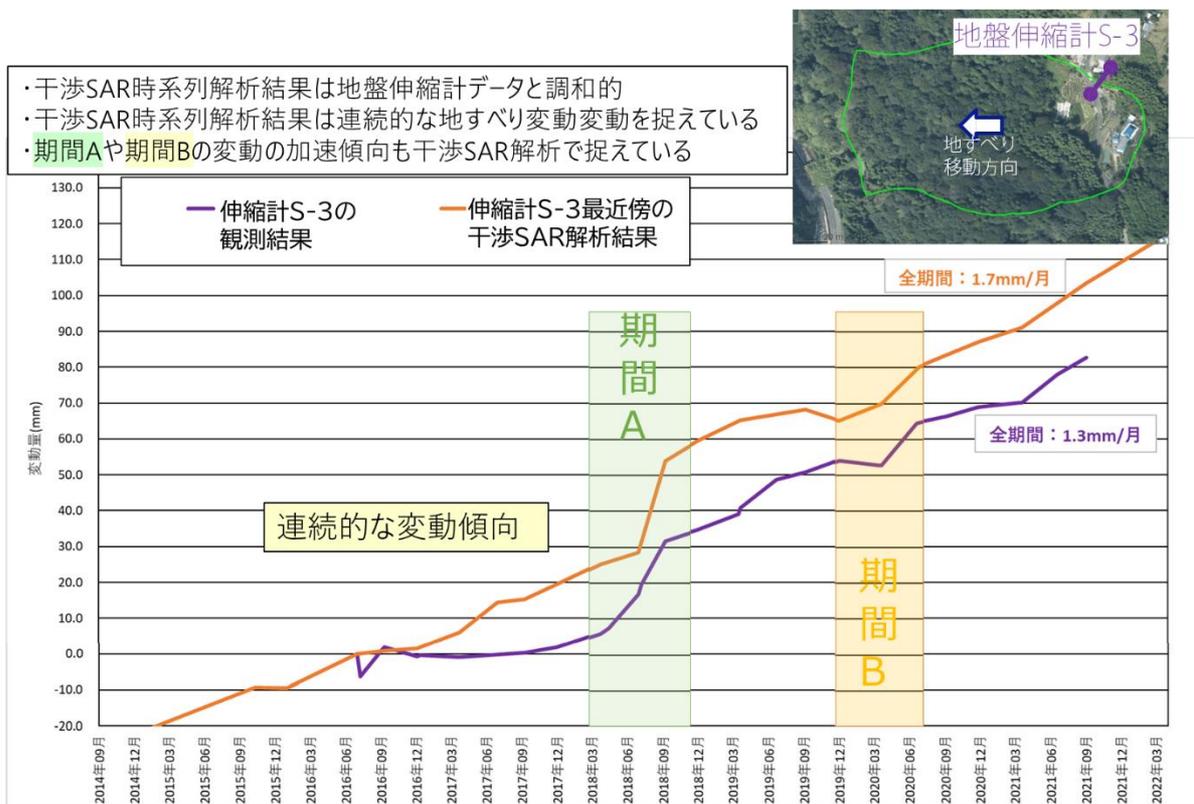


図- 5.5 SAR衛星の活用 精度検討事例

(2) 詳細調査(安定度調査)

「詳細調査(安定度調査)」は、スクリーニングにより選定された安定度調査箇所について、点検の専門技術者が、踏査により「箇所別記録表」と「安定度調査表」を作成し、総合評価を実施する現地調査である。必要があれば熱赤外線調査、UAV調査、MMS(モーダルマッピングシステム)調査を実施する。

箇所別記録表、安定度調査表の作成方法、記載様式等については「道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪等)[改訂版]-DX時代に向けたチャレンジ」を参照されたい。

1) 現地調査

「現地調査」は、現地で路上からの観察、斜面内の観察、斜面上方・周辺斜面観察により、被災規模、災害要因、周辺支障物の確認、対策の実施状況を確認し、現状での変動状況を把握する。

2) 熱赤外線調査

「現地調査」により、不安定と判断された吹付のり面においては、赤外線による空洞調査を提案する。本技術は、熱赤外線カメラにより吹付のり面の表面温度分布を熱赤外線画像として計測することにより、非破壊で吹付のり面の老朽化診断を行う技術である。熱赤外線画像の計測は、熱赤外線カメラを対岸から、またはUAVに設置して撮影を行う。図- 5.6に調査・診断の流れを示す。調査頻度については、赤外線調査後、道路が被災する可能性が高い変状が認められた場合は、カルテ点検実施時に同時に行うことが望ましい。そうでない場合は、地表変状の拡大が認められた場合、その都度実施することが望ましい。

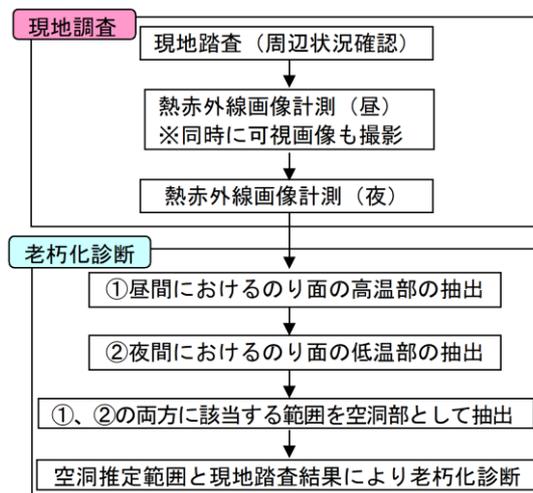


図- 5.6 調査・診断の流れ

調査結果の一例を図- 5.7に示す。吹付面裏の空洞範囲の推定が可能となる。

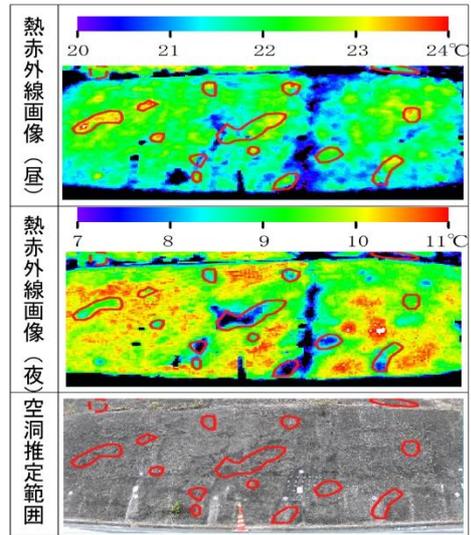


図- 5.7 熱赤外線画像による空洞範囲推定例
(赤線部が空洞推定範囲)

3) UAV調査

「現地調査」が不可能な箇所があった場合、UAV調査を実施する。「現地調査」が不可能な箇所としては、急崖斜面で作業員が近づくことができない、植生が繁茂していて踏査ができないなどの箇所であり、UAVを用いて近接目視観察を行う。必要があれば点群データの取得等を実施する。

4) MMS調査

カラーラインカメラ、レーザースキャナーを搭載した車両を50km/h以下で走行させ、斜面構造物の画像・点群データを取得することで対象となるのり面を抽出する。

全景画像を取得するため、位置情報の取得によるスクリーニングおよび画像の確認による重大な変状の有無を確認する。年に1回程度実施することが望ましい。



図- 5.8 MMSによる調査

(3) 点検結果とりまとめ

点検結果については、箇所別記録表、安定度調査表にとりまとめ、安定度調査箇所ごとに該当する項目の点数を求める。箇所別記録表、安定度調査表の作成方法、記載様式等については「道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪等)[改訂版]-DX時代に向けたチャレンジ」を参照されたい。

また、点数を参考としつつ総合評価を実施し、安定度調査箇所に対する対応区分として、以下の3項に分類する。

- ① 対策が必要と判断される : 災害に至る可能性のある要因が、明らかに認められる箇所
- ② 防災カルテを作成し対応する : 将来的には対策が必要となる場合が想定されるものの、当面「防災カルテ」による監視等で管理していく箇所
- ③ 特に新たな対応を必要としない : 災害の要因となるものが発見されず、特に新たな対応を必要としない箇所

なお、①を「要対策箇所」、②を「カルテ対応箇所」、③を「対策不要箇所」と簡易に表現することが多い。

(4) 道路防災カルテの作成

道路防災カルテの作成については、10章を参照されたい。

(5) 点検結果(日常点検含む)データベース作成

点検結果についてはデータベース化し、サーバーに集約する。集約する項目は以下である。

- ・スクリーニング結果(被災履歴分析結果、地形判読結果、SAR衛星解析結果)
- ・安定度調査結果(詳細調査結果含む) 箇所別記録表・安定度調査表
- ・道路パトロール結果
- ・道路防災カルテ

データベースに関してはシステム化し、県職員、点検作業員がアクセス可能なサーバーとする。

第5章 参考・引用文献

- 1) 一般社団法人全国地質調査業協会連合会：道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪等)[改訂版] —DX時代に向けたチャレンジ— 194p
<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/lec-road/docs/guidance-rain-snow.pdf>
- 2) 全地連 地質関連情報WEBホームページ 講習会関連資料集のご利用にあたって 講義2. 道路防災点検の概要
<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/lec-road/docs/lecture2.pdf>