

(18) 衛星 SAR 2 次元変位解析を 建物ごとに行うための PS クラスタリングと地図対応付け

生藤 大輔¹・宝珠山 治²・田中 大地²

¹非会員 NEC スマートインフラ事業部 (〒211-8666 神奈川県川崎市中原区下沼部 1753)
E-mail: d-ikefuji@ce.jp.nec.com

²非会員 NEC データサイエンス研究所 (〒211-8666 神奈川県川崎市中原区下沼部 1753)
E-mail: houshu@bq.jp.nec.com, t-tanaka@me.jp.nec.com

本稿では、都市部における建設物や道路監視を目的として、合成開口レーダ (SAR : Synthetic Aperture Radar) を用いた 2 次元変位解析を構造物ごとに行うために PS (Persistent Scatterer) 点クラスタリングと地図データに基づき対応付けを行う自動化手法を提案する。SAR による 2 次元変位解析は、PSI (Persistent Scatterer Interferometry) と呼ばれる SAR 画像の時系列解析によって得られる時間的に反射強度が安定した反射点 "PS 点" を用いて、構造物の水平、上下の 2 次元変位をミリメートル精度で計測できる。提案法では、PS 点 クラスタリングを利用することで同一構造物からの反射による PS 点をひとつのクラスにまとめ、地図データ上の適切な構造物と対応付ける。複数の異なる観測方向ごとの PS 点から、対応付けられた各構造物の 1 次元変位を計算し、それらを統合解析することで、構造物単位で観測範囲内の各構造物の 2 次元変位を得る。解析結果から、都市部の変位解析が建設物ごとに自動的に行えることを確認する。

Key Words: infrastructure diagnosis, deformation, synthetic aperture radar, clustering, map information

1. はじめに

建物や橋梁、道路などのインフラ構造物は、老朽化や欠陥、地震などによる損傷、トンネル掘削や自然災害による地盤変動など、常に安全性に関わるリスクに晒されている¹⁾²⁾。効率的にインフラ構造物のスクリーニングを行うために、衛星合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar : SAR) の画像データを集積して、数十キロ四方の広域を一気に変位解析する PSI (Persistent Scatterer Interferometry) と呼ばれる手法がある³⁾。ここでは SAR 観測画像を時系列解析することで得られる PS (Persistent Scatterer) 点と呼ばれる安定反射点について観測方向に沿った 1 次元変位を高精度に計測し、さらに、図-1 に示すように、異なる観測方向から得られる PS 点の変位速度を合成することで、PS 点について高精度な 2 次元変位が得られる⁴⁾。しかし、都市部のような構造物が乱立する領域では、観測方向によって PS 点の位置が異なるため、画素単位での合成は困難である。そこで本稿では、PS クラスタリングと地図データに基づく構造物単位での 2 次元変位解析手法を提案する。

2. 衛星 SAR による 2 次元微小変位解析

衛星 SAR は、人工衛星に搭載したマイクロ波レーダを用いて、衛星の移動を利用し、巨大なアンテナと等価な計測、すなわち、高解像な計測を行う技術である。SAR を搭載した衛星は、地上数百 km の上空を周回し、10m から 1m 程度の解像度の衛星 SAR 画像を数 km から数十 km 四方の広さで、2, 3 週間に一回の頻度で取得できる。衛星 SAR 画像は反射波信号が並ぶ画像であり、その振幅に反射強度が、位相に波長以下の距離の情報が含まれる。PSI では、数十枚の衛星 SAR 画像を用いた時系列解析により、ミリオーダーの変位解析を可能としている。年オーダーで観測した数十枚の衛星 SAR 画像に安定して現れる反射点、PS 点を抽出し、統計処理により、雑音や大気などに由来する位相成分を推定して取り除き、観測期間にわたってゆっくりと単調で直線的に変化する成分 (トレンド) を、変位に由来する位相変化として解釈する³⁾。

2次元変位解析では、異なる方向からの衛星 SAR 画像について、変位解析できた安定反射点を構造物と対応付ける必要がある⁴⁾。SAR 画像には図-2 に示すようなひずみがあり、構造物との対応付けは難しい。また同じ構造物でも、観測方向によって反射する箇所は異なる。ビルの場合、安定反射点が見れるのは、角のあるビルの根元や、観測方向を向いている金属窓枠などである。図-3 のように、同じ構造物でも、出現位置の全く異なる反射点同士を対応付けするのは難しい。

従来の 2 次元変位解析⁴⁾では、観測方向によって異なる PS 点を統合するために、内挿補間を行った画素単位での変位速度の統合処理を行っていた。しかし、都市部のような様々な構造が立ち並ぶ領域では、補間処理によって異なる構造物の変位が混ざるため、正確な 2 次元変位を得ることが困難となる。また、手作業で各構造物に対応する PS 点を選定してから、統合処理をする方法もあるが、非常に手間が掛かる。

3. 提案法

PS 点を利用して都市部における構造物の 2 次元変位を高精度、かつ、自動的に計算するために、PS 点クラスタリング⁵⁾⁶⁾と地図データを利用する解析手法を提案する。提案法の原理を図-4 に示す。提案法は大きく分けて次の(1)~(3)の処理を行う。(1). PS 点クラスタリングによって同一の構造物からの反射点である PS 点を同一のクラスタにまとめる。(2). 各 PS 点クラスタを地図データ上の構造物に対応付ける。(3). 対応付けられた PS 点クラスタから観測方向ごとの構造物の 1 次元変位速度を算出し、それらを合成することで構造物ごとの 2 次元変位速度を算出する。

処理(1)の PS 点クラスタリングは建物や道路などの各構造物は剛体であるという仮定のもと、変位量が類似している、かつ近接している PS 点をひとつのクラスタとしてまとめる。例として図-5 (a)(b)に PS 点をクラスタリングした結果を示す。図-5 (a)(b)の各点は PS 点を表し、同色の PS 点が同一クラスタとなる。

処理(2)の地図データには観測領域内の建物や道路の位置、形状などの情報が含まれており、提案法は各 PS 点クラスタを構成する PS 点群と地図データ上の構造物との距離、形状の類似度から、それぞれの PS 点クラスタに対応する構造物を決定する。PS 点クラスタと構造物との距離の評価には、PS 点クラスタを構成する各 PS 点と構造物の輪郭との距離の中央値を利用し、形状の比較には分散値を利用する。本稿では中央値と分散の積が最も小さい構造物が PS 点クラスタと対応付けられる。

図-5(c)(d)に提案法によって対応付けられた PS 点を示す。

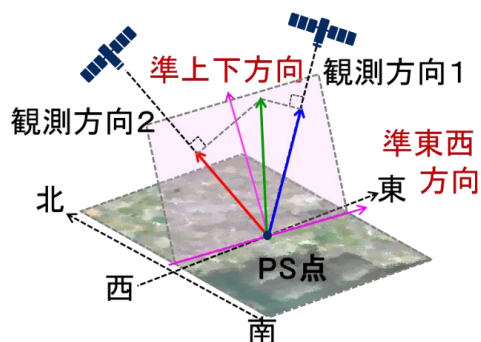


図-1 衛星 SAR による 2 次元微小変位解析の原理。

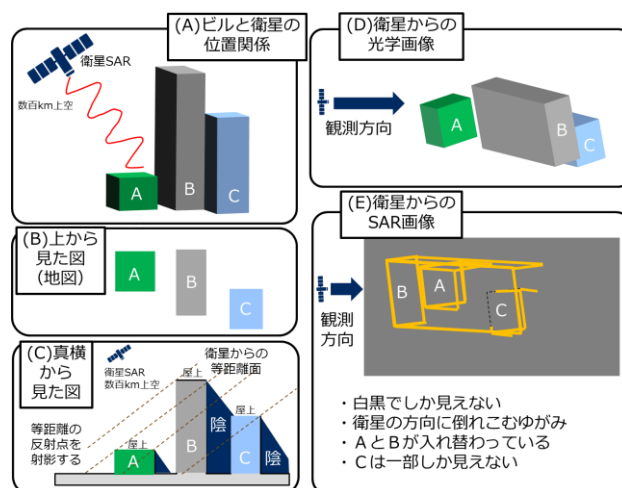


図-2 SAR 反射点を構造物と対応付けることの難しさ。

SAR 反射点は、衛星からの等距離の反射を区別できない。衛星とビルが (A) (B) (C) の位置関係にある場合には、(D) のような光学画像と (E) のような SAR 画像が得られるが、この簡単な例でも、位置の入れ替わりを含む難しいひずみがある。

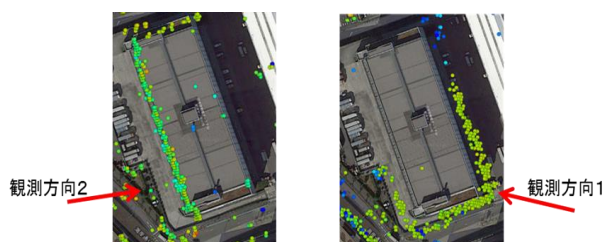


図-3 観測方向による反射点出現位置の違い。
(電子国土基本図より著者が作成)

各点是对应する構造物ごとに色分けされており、赤点は道路構造に、他の点は各建物に対応する。図-4 に示すように、PS 点を構造物に対応付けることで観測方向が異なる PS 点同士も自動的に対応付けることができ、処理(3)で構造物ごとに観測方向に沿った 1 次元変位速度をベクトル合成することで 2 次元変位速度を算出する。この 2 次元変位速度を垂直、東西方向に分解することで、それぞれの方向における構造物の変位速度を算出する。

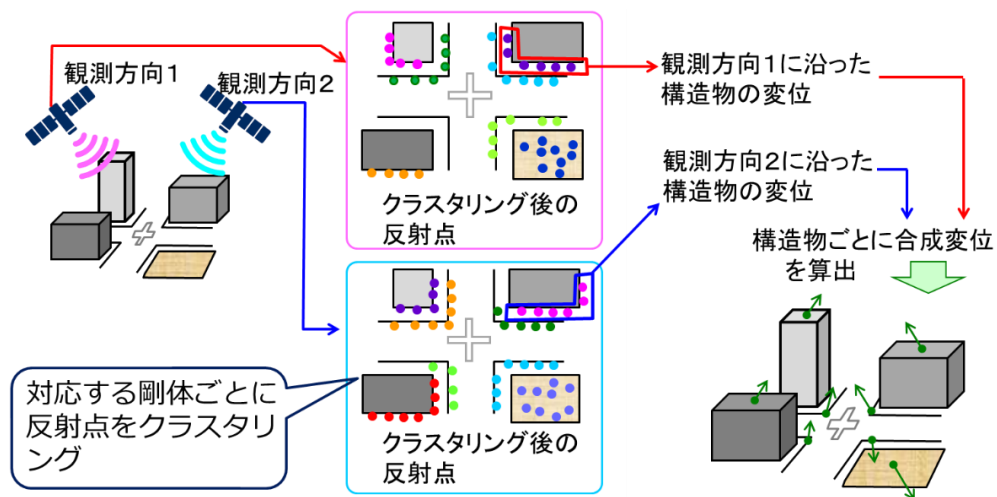
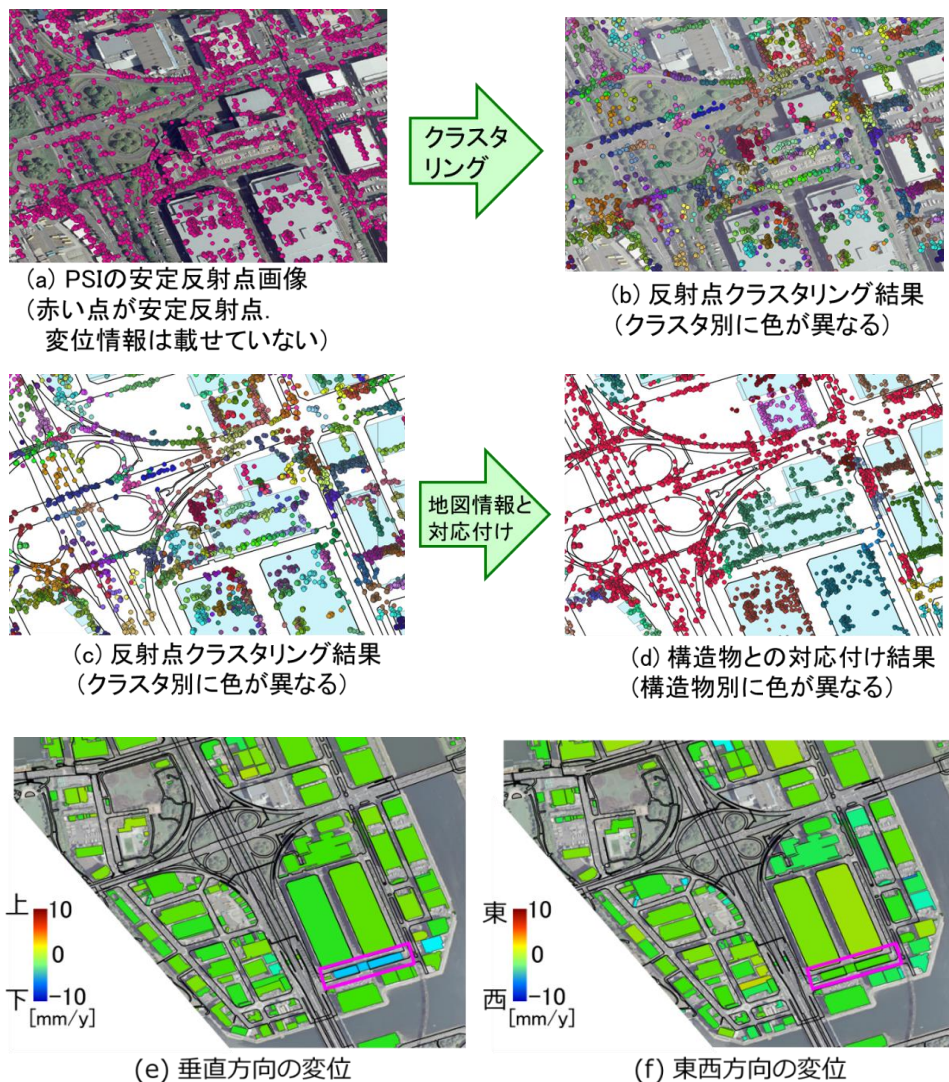


図4 提案する2次元解析手法の原理.



■ 解析期間: 2013年1月~2014年2月
■ SARデータ: COSMO-SkyMed(アセンド)、TerraSAR-X(ディセンド)
■ 地図データ: 国土地理院基盤地図情報

図5 広域の2次元解析結果例. (数百mを拡大表示. 電子国土基本図
(<http://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>)より著者らが作成.)

4. 解析結果

提案する2次元解析によって衛星 SAR 画像全体（ここでは数 km 四方）を一挙に自動解析し、得られた構造物ごとの垂直方向、および水平方向の解析結果を図-5 (e)(f) に示す。SAR 画像としては COSMO SkyMed（アセンディング）と TerraSARX（デセンディング）のデータを利用し、それぞれ 20 枚を用いて PSI を行った。地図データには国土地理院の基盤地図情報のデータ⁸⁾を使用した。各構造物の色は垂直、東西方向の変位速度を示し、赤が上昇、または東方向への変位を表す。観測域内のほぼ任意の構造物について解析できることが分かる。図-5 (e) では、赤枠で囲まれた建物が沈下傾向であることが分かり、提案法によって周囲と異なる変位傾向を持つ構造物を把握できている。

5. おわりに

本稿では、PS 点クラスタリングと地図データに基づく合成開口レーダの2次元変位解析を自動化する手法を提案した。提案法を用いることで、構造物単位で垂直、水平方向の変位を、自動で解析できることを確認した。

参考文献

- 1) 藤野陽三: 戦略的イノベーション創造プログラム
インフラ維持管理・更新・マネジメント技術,
<<http://www.jst.go.jp/sip/k07.html>>, (入手 2019.2.22).
- 2) 藤野陽三: NHKサイエンスゼロ 「リスクをあぶりだせ! インフラ点検最前線」, NHK E テレ,
2017 年 7 月 30 日放送.
- 3) A. Ferretti: Permanent scatterers in SAR interferometry,
IEEE Trans. GRS, pp. 8-20, 2001.
- 4) S. Fujiwara, T. Nishimura, H. Nakagawa, M. Murakami,
M. Tobita and P. A. Rosen: 2.5-d surface deformation of
m6.1 earthquake near mt. Iwate detected by SAR interfer-
ometry, Geophysical Research Letters, pp. 2049-2052,
2000.
- 5) T. Tanaka and O. Hoshuyama: Persistent scatterer cluster-
ing for structure displacement analysis based on phase cor-
relation network, IEEE IGARSS, pp. 4618-4621, 2017.
- 6) T. Tanaka and O. Hoshuyama: Persistent scatterer cluster-
ing for structure displacement analysis based on phase cor-
relation kernel, EUSAR 2018.
- 7) D. Ikefuji, T. Tanaka and O. Hoshuyama: Two-dimen-
sional displacement analysis with SAR images based on
persistent scatterer clustering, IEEE IGARSS, pp. 76-79,
2018.
- 8) 国土地理院: 基盤地図情報データ,
<<http://www.gsi.go.jp/kiban/>>, (入手 2018.3.15).