

1. はじめに

広範囲に渡る地表面変位の計測は、地盤の安定性の評価や将来の挙動予測において重要である。DInSAR はそのような計測が可能であり、多くの適用が見られるが、工学的な地盤変位計測法として確立するためには、計測精度と連続計測に課題がある。本研究では、連続計測のための時系列解析として比較的容易に精度のよい結果が得られる手順について検討する。

2. 差分干渉合成開口レーダー (DInSAR) データの時系列処理

2.1 DInSAR について<sup>1)</sup>

SAR (Synthetic Aperture Radar, 合成開口レーダー) は人工衛星からマイクロ波を放射し地表面から反射した電波を観測し、異なる期間の 2 回の観測データを干渉させることによって、地表面変位を計測することができる方法である。この方法を DInSAR (differential Interferometry SAR) と呼ぶ。

2.2 時系列 DInSAR 解析

DInSAR によって連続的に地表面変位を計測するために、SAR データの時系列解析を行う。DInSAR 時系列解析には基本的に 3 種の手順がある (図 1(a)-(c))<sup>2)</sup>。手法 1 は時系列上、隣り合う SAR データを解析し得られた結果を累積する (図 1(a))、手法 2 は 1 つのマスター画像を基に各 SAR データを解析する (図 1(b))、手法 3 は 2 つの SAR データ間の垂直基線長が短く観測期間が短い干渉画像だけを選択し解析する (図 1(c)) ものである。著者らは手法 1 を用いるが、軌道縞が現れている差分干渉画像を取り除き、別の SAR データとの組み合わせに取替えて解析を行う第 4 の方法を提案している (図 1(d))<sup>3)</sup>。本研究では手法 1, 2 および、4 の結果を比較する。なお、解析には GMTSAR<sup>4)</sup>を用いた。

3. 時系列 DInSAR の適用

3.1 適用現場<sup>3, 4)</sup>

DInSAR の適用現場としてインドネシア・ジャワ島の北に位置するスマラン (図 2 南緯 6°58', 東経 110°25') を取り上げ地盤沈下の推移を観測する。

3.2 SAR データと時系列解析

地表面変位を計測するために 2.2 で示した時系列処理を用いる。データは 2006 年から 2011 年に運用された ALOS-PALSAR (JAXA) によって得られた 23 シーン (23 の時期に得られた

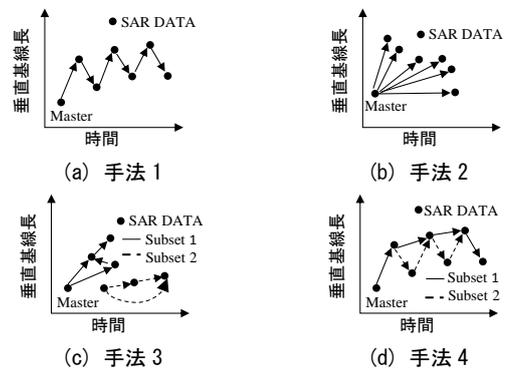
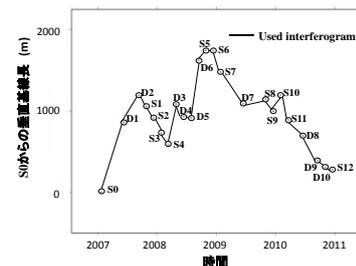


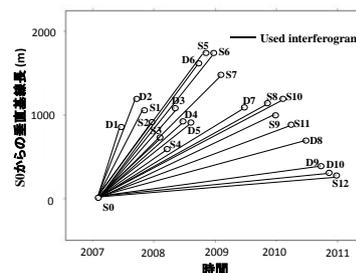
図 1 時系列 DInSAR の 4 種の手法概念図<sup>1, 3)</sup>



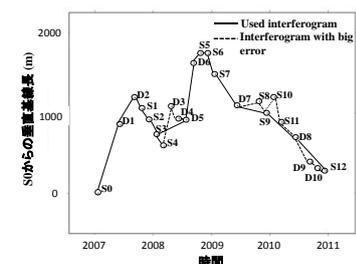
図 2 スマラン, インドネシア<sup>1)</sup>



(a) 手法 1



(b) 手法 2



(c) 手法 4

図 3 各時系列解析における衛星間垂直基線長と時間<sup>1, 3)</sup>

キーワード InSAR, 時系列処理, 変位分布

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科 TEL 0836-85-9011

データ)を用いる。各データの組み合わせに対して衛星間距離(垂直基線長と呼ばれる)と観測時期の関係を図3(a) - (c)に示す。実線は採択した解析結果に対応するデータの組み合わせである。

### 3.3 LOS 変位と沈下の関係<sup>1,2)</sup>

DInSAR で得られる変位は衛星と地表面上の位置の視線方向(Line of Sight: LOS)で1次元量である。そこで、水平変位が生じていないと仮定して、LOS 変位から次の式で沈下を求める。沈下(Z) = LOS 変位/cosθただし、“θ”はLOS 方向と鉛直方向のなす角でオフナディア角と呼ばれる(θ=34.4°)。

### 3.4 GPS 計測結果<sup>5)</sup>の比較

図4に3種のDInSAR 時系列解析結果とGPS 計測結果の関係を示す。手法2の結果は他の手法と比べてばらつきが大きく相関が低い。提案手法4はもっともGPS との相関が高い。

### 3.5 変位の時系列推移

図5に一例として2007年1月から2010年12月における、あるGPS の計測点(JOHR)の時系列DInSAR 計測の結果を示す。手法4がスムーズな計測結果を与えている。

### 3.6 沈下挙動の予測<sup>1)</sup>

手法4のDInSAR 計測結果を用いて最終沈下量の予測をするために双曲線法<sup>6)</sup> $S_t = t/\alpha + \beta t$ による沈下予測を行った。 $\alpha$ ,  $\beta$ は実測値から求められる係数である。本研究では最終沈下量 $S_f$  90%に到達する時間を $t_{90}$ として求めた(表1)。DInSAR の時系列解析と双曲線法を用いて、各地点の沈下の予測ができることが示された。

## 4 むすび

本研究では、時系列DInSAR 解析における解析手順を検討し、提案する手法が他の手法と比べて比較的良好な精度で変位を与えることが示された。

### 謝辞

本研究は、山口大学とJAXA との連携の一環として実施されたものであり、ALOS のデータはJAXA から提供を受けたことを付記し謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 国土地理院：干渉 SAR ホームページ, <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/index-e.htm> (Accessed 13 February 2016)
- 2) Casu, F: The small Baseline Subset technique performance assessment and new development for surface deformation analysis of very extended area: 2009.
- 3) Yastika, Putu E. & Shimizu, N. (2016) Monitoring deformation of ground surface over extensive area by Multi-Temporal DInSAR, EUROCK2016 (in press).
- 4) Dayid Sandwell : GMTASR: An InSAR Processing System on Generic Mapping Tool : 2011
- 5) Abidin, H.Z., Andreas, H., Gumilar, i., Sidip, T.P, Fukuda, Y: Land subsidence in coastal city of Semarang (Indonesia): 2012
- 6) Tan Thiam-Soon, Inoe, T., Lee Seng-Lip. 1991. Hyperbolic method for consolidation analysis. J. Geotech. Engrg 117: 1723-1737.

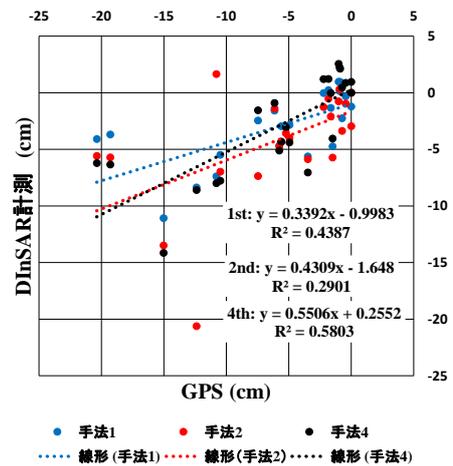


図4 DInSAR と GPS 計測結果の比較 (2009-2010 年)

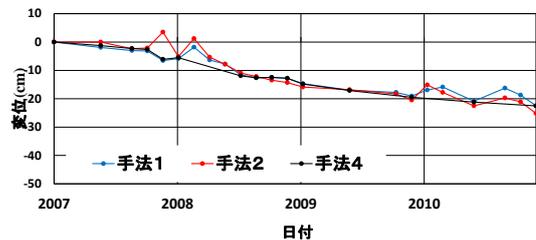


図5 GPS 観測地点 (JOHR) の時系列 DInSAR 計測結果 (2007-2010 年)



図6 DInSAR 計測値と沈下予測値 (観測点 JOHR)

表1 双曲線法による最終沈下予測

No	観測地点	Sf cm	t90 年
1	PRPP	69.9	22.3
2	SD01	27.5	19.7
3	PAMS	71.9	83.0
4	JOHR	39.5	30.7
5	BM01	70.9	80.6
6	ISLA	42.9	32.0