

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16H03153

研究課題名（和文）GPSとInSARを統合した地盤変位計測による時空間切れ目のない安全監視技術開発

研究課題名（英文）Development of a method for spatio-temporal continuous safe monitoring based on ground displacement measurements by coupling GPS and InSAR

研究代表者

清水 則一（Shimizu, Norikazu）

山口大学・大学院創成科学研究科・教授

研究者番号：70150357

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 9,500,000円

研究成果の概要（和文）：地盤災害の予測や減災対策、被害把握から復旧過程において、地盤の挙動の監視は時間的にも空間的にもデータが欠落することなく連続的に実施できることが望ましいが、現実的には容易ではない。本研究では、地盤変位を時空間切れ目なく連続的に監視できる技術を開発する。そのため、研究実施者がこれまでの科研や産学共同研究で開発したGPSによる変位計測技術と、近年注目される合成開口レーダーSAR技術とを組み合わせた。

さらに、実施者の持つ国際ネットワークを活用して世界各地の現場において本方法の適用と検証を実施し、本成果を国際的に普及するために、5か国、7大学、2政府研究機関、1自治体と国際共同研究を推進した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年多発する災害は、発災場所と時が不確か（これまで経験のない場所、予測できない時）、被災範囲が広い（これまでに経験のない広さ）という特徴がある。従来の計測システムでは時間的にも空間的にもカバーすることができない。本研究の成果は、広範囲を対象に時間的にも連続して、時空間切れ目なく地盤の変位挙動を監視できるシステムの実用化に目途がついたことである。非日常的な防災、減災だけでなく、日常的な地盤災害のリスク管理を実現するうえでもこの成果の意義は大きい。

また、本研究は世界各地の現場を使って実証しており、成果の世界発信はもとより、成果普及についてもすでに進んでいる。

研究成果の概要（英文）：Continuous displacement monitoring is essential to detect, predict and reduce natural disaster and to design countermeasure for preventing additional damage and recovering from the disaster. However, it is not easy to apply the conventional sensors and systems for monitoring the ground behavior in extensive area because those instruments can only be applied to the limited area. Satellite technology, GPS (Global Positioning System) and DInSAR (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar), is capable of overcoming the above problems.

In this research, a spatio-temporal continuous displacement monitoring method was developed by coupling GPS and DInSAR. Several case studies have been internationally achieved to validate the proposed method in several Asian and European countries.

研究分野：社会基盤（土木・建築・防災）/地盤工学

キーワード：安全監視 DInSAR 時系列解析 GPS 時空間連続変位モニタリング 地盤沈下 斜面 地すべり

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 地盤災害の予測や減災対策、被害把握から復旧過程において、地盤の挙動の計測・監視技術の充実は重要である。これまで開発されてきた様々な機器・システムは長所とともに適用限界がある。その最も大きな問題の一つは、現有の機器では計測センサーを設置した位置の挙動しか計測できないため、計測点、また、その周辺以外の個所で災害が起こったとき、発生前の前兆、発生の有無、発生後の挙動を観測することができないことである。

(2) さらに、センサーによる計測周期（時間間隔）の設定や計測現場における電源供給などの問題で災害発生前後のタイミングで計測ができず、最も必要な計測結果が欠落することがある。このようなことは、国内外を問わず実際に計測・監視に携わる技術者にとって少なからず経験する。必要な時に必要な位置で計測・監視できるためには、時間的にも空間的にも切れ目なく地盤変位を計測する技術やシステムの確立が喫緊の課題となっている。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、まずは、地盤、斜面、また、構造物を対象に時空間切れ目なく変位挙動を監視できる技術を開発することである。この目的を、研究実施者がこれまでに科研や産学共同研究で開発した人工衛星測位システム GPS (Global Positioning System) による変位計測技術と、近年注目されている人工衛星に搭載される合成開口レーダー (SAR : Synthetic Aperture Rader) 技術とを組み合わせることで実現する。

(2) さらに、実施者の持つ国際ネットワークを活用して世界各地の現場において本方法の適用検証を実施し、国際共同研究の推進によって本成果を国際的に普及させることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 実施者はすでに GPS によって、1 km 四方内の地盤（あるいは構造物）の変位を三次元的に mm 精度で連続計測できるシステムを開発した。これは国際的にも優れた技術として、実施者らの計測法は国際岩の力学会の推奨法として認定され出版物となっている。一方、SAR は照射した電波の地表からの反射波を干渉させて、数 km ~ 数 10 km 四方の地表の変位を cm 精度で計測できるとされている。この方法 (DInSAR: Differential Interferometric SAR) は地上にセンサーを設置する必要がなく、広い領域にわたりくまなく変位を計測できる利点がある。

(2) しかし、計測結果の良し悪しは地表の電波の反射条件や解析技術等に依存するため、いかに、地表条件によらず高精度に変位計測する技術を確立するかが課題となる。この課題を克服するために、本研究では DInSAR を時系列的に繰り返し用いる。DInSAR の時系列解析には 2 種の方法があるが変位を空間的にも連続的に求め得る SBAS (Small Baseline Subset) と呼ばれる方法を採用し、解析上のパラメータを各現場の特徴を踏まえて適切に定める。

(3) 研究 (実験、適用) 現場として、国内では、露天掘鉱山、国道沿い急傾斜斜面など、海外では、地下水汲み上げによる広域地盤沈下 4 都市 (インドネシア、ベトナム)、地下岩塩採掘による都市の地盤沈下 (ボスニア・ヘルツェゴヴィナ)、広域地すべり地帯の 2 斜面 (スロベニア、ブルガリア)、居住地域の地すべり斜面 2 か所 (クロアチア) を特に取り上げ、7 大学、2 政府研究機関、1 自治体と協力して研究を進めた。

4. 研究成果

GPS と InSAR を統合して時空間切れ目ない計測の実用性と信頼性を検証するために実施した研究の取り組みについて成果を述べる。

(1) 広域地盤沈下の長期間連続監視 (スマラン市、インドネシア)

スマラン市では、工業および生活用水のための地下水のくみ上げにより、長年地盤沈下が生じている。その状況を明らかにするためには長期の観測が必要である。しかし、SAR は一般にその寿命が 5 年程度であるため、継続観測するためには一定期間ごとに異なる SAR を用いる必要がある。この研究では、ENVISAT (2003-2007)、ALOS (2007-2011)、SENTINEL (2015-2019) の 3 機を用い、それぞれのデータに対して SBAS 手法を適用した。その結果、市街地北部、および北東部に広がる沖積層で海岸に近づくほど大きな沈下が生じ、また一部、市中にも沈下が進行している地域があることが検出された (図 1)。一方、異なる SAR のデータ間では解析ができないため、計測結果は連続しない。そこで、時間的に切れ目なく連続化するため、地盤工学手法の双曲線法をそれぞれに適用し、3 期間の結果を合理的に接続し、2003 年からの時空間切れ目のない沈下計測結果とすることに成功した (図 2)。その結果の妥当性は、研究協力者のバンドン工科大学の測地学グループの実施した GPS による沈下計測結果と比較することによって検証された。成果の一部はすでに、インドネシア地理空間庁 (BIG) との国際共著論文として出版されている。

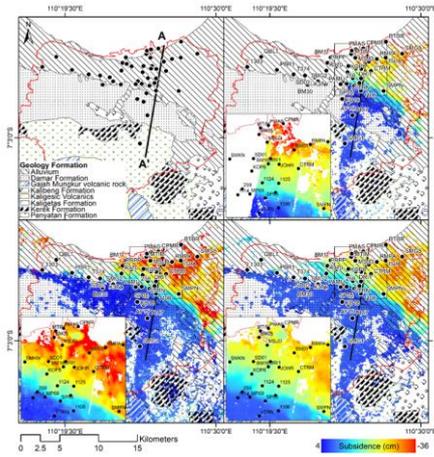


図1 地盤沈下の空間分布の時間推移

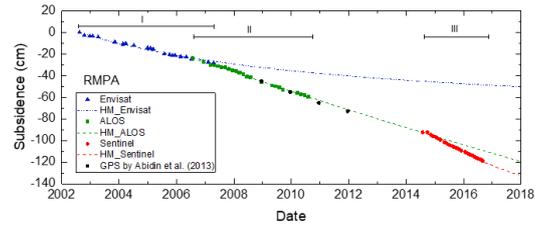


図2 3期間の計測結果の接続

(2) 岩塩採掘に伴う市街地地盤沈下の空間分布と時間推移（トゥズラ市，ボスニア・ヘルツェゴヴィナ）

トゥズラ市は古代から塩の町として知られ，1950年代から多数の井戸を使って市街地の直下にある地下岩塩層に水を送り，大量の塩水を汲み上げるようになった．その結果，20世紀の末には2km×数100mの範囲で1m以上，最大で12mの地盤沈下が起こり多くの被害が生じた．現在，塩水くみ上げは終了しているが沈下はなお進行しているものの十分実態が明らかでない．本研究では，2014年以降の約200のSAR（SENTINEL）データを用いてSBAS解析を行った（図3）．その成果（空間分布と各地点の沈下の時間推移）は，共同研究者のトゥズラ大学とトゥズラ市の測地学の専門家の実施したGPSによる計測結果と比較・検証し妥当性が示された（図4）．最大沈下を示す位置は市の中央から南東に移動し，沈下速度も大きく減じほとんどの地域では収束しているが，なお年間数cmの沈下が生じていることが検出された．市長を含む市幹部，担当部署とも2度打ち合わせ会議を行い，現在策定している市の再開発計画に本研究の成果を反映させるべく引き続き協力を要請されている．研究成果は，トゥズラ大学，トゥズラ市，および協力大学のリエカ大学（クロアチア）らと国際共著論文として発表している．

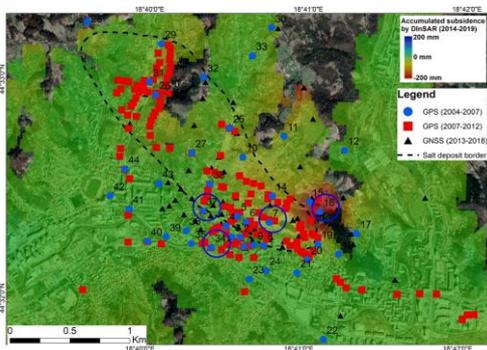


図3 地盤沈下の空間分布（2014-2019）

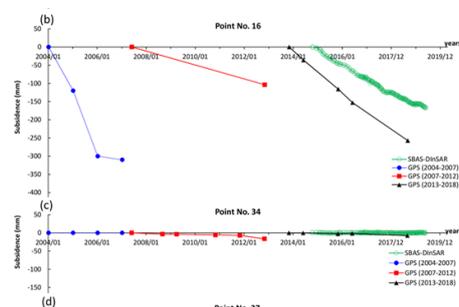


図4 沈下の時間推移（GPSとDInSAR）

(3) 石灰石大渓谷の地すべり現象の解明（ヴィパバ川渓谷，スロベニア）

ヴィパバ川渓谷は石灰石地形研究発祥の地として世界的によく知られている．大規模な地すべり，斜面崩壊，土石流などがいたるところに見られ，その全貌について，地質，地形学的には多くの成果があるが，実際の挙動に関する定量的な計測事例は極めて少ない．広大な渓谷を北西地域と南東地域に分け，それぞれについてSBAS解析を行った．それぞれから土石流，地すべり，地盤移動などの減少がみられ，地質の状況と対応することが明らかとなった．特に旧土石流斜面では，斜面の上部，中腹，下部のそれぞれに特徴的な挙動がみられ，空間的に大規模から小規模な領域まで時間的な推移が分かり，時空間切れ目のない計測結果が得られた（図5）．さらに，この地では，2方向からのSARデータの解析を行い，実際の挙動の方向についても推察できることを示した．ただ，現地での計測結果はなくこの度の成果の妥当性は検証中である．この研究は，リュブリャナ大学の地質学グループを共同で進めていて，同グループでは地表からの計測を計画しており，現地調査もすでにともに実施した．今後の検証が期待される．研究成果として，リュブリャナ大学との国際共著論文を発表している．

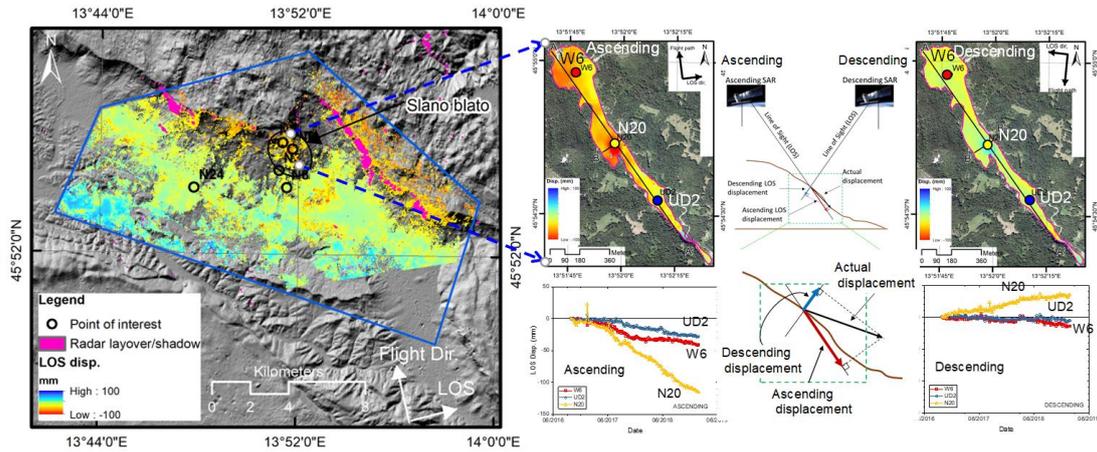


図5 空間連続的な斜面変位分布と地すべり領域変位の時間推移

(4) 採鉱が進行する露天掘り鉱山斜面の安全監視（八戸，日本）

鉱山斜面の特徴は自然斜面と異なり，採鉱することにより継続的に地表面の形状が変化することである．DInSARでは地表の正確な地形（標高）データを必要とするが，仮に標高データに数 m 程度の誤差があっても変位の結果に及ぼす影響が小さいと推定されあまり議論されなかった．しかし，鉱山では継続的に標高が変化し，短期には10~20m程度，長期には100mを超える変化があり，その影響は無視できないことを明らかにした．この研究では，さらに，時空間切れ目のない変位計測の鉱山斜面適用のための手順を明確にし，GPS変位計測システムによる結果と比較することで，その妥当性を検証した．その成果は，質の高い国際ジャーナルに掲載が決定している．

(5) その他

以上のほかにも，時空間切れ目のない変位計測（安全監視）の実証を進めた．これまで知られていなかった地盤沈下の発見，活火山挙動の監視（デンパサル市，アグンサン火山，インドネシア，連携：ウダヤナ大学），住居地に位置する地すべり斜面の監視（ザグレブ市，クロアチア，連携：クロアチア地質調査研究所，リエカ大学），大規模崩壊地すべり斜面の監視（フルヴァツカ・コスタイニチャ村，クロアチア，連携：リエカ大学，クロアチア地質調査研究所），湖岸地すべりの実態観察（黒海西岸，ブルガリア，連携：建築・土木・測地学大学），など研究を進めた成果がある．いずれも国際共著論文としてすでに発表，あるいは，投稿中である．

本研究で，GPSおよびInSARにより時空間切れ目なく広域的な地盤の変位計測が可能となり，多くの検証結果から実用性と信頼性が明らかとなった．その成果は，自然災害に対する防災，減災だけでなく，日常的な安産監視，リスク評価に結び付くものと期待される．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 P. E. Yastika, N. Shimizu, N. N. Pujianiki, I G. R. M. Temaja, I N. G Antara and T. Osawa	4. 巻 153
2. 論文標題 Detection of silent subsidence over extensive area by SBAS DInSAR: a case study of Southern Bali, Indonesia	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 E3S Web Conference, International Conference on Sustainability Science and Management: Advanced Technology in Environmental Research (CORECT-IJSS 2019)	6. 最初と最後の頁 02003:1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/e3sconf/202015302003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 I N. S. Parwata, N. Shimizu, B. Grujic, S. Zekan, R. Celikovic, E. Imamovic and I. Vrkljan	4. 巻 153
2. 論文標題 SBAS-DInSAR monitoring of subsidence induced by extracting brine from an underground salt deposit in Tuzla, Bosnia and Herzegovina	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 E3S Web Conference, International Conference on Sustainability Science and Management: Advanced Technology in Environmental Research (CORECT-IJSS 2019)	6. 最初と最後の頁 03007:1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/e3sconf/202015303007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 清水則一	4. 巻 23
2. 論文標題 宇宙技術 (GPS, SAR) を利用した防災・道路安全監視の実例と今後	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 神戸測量設計協会誌「測量・設計」	6. 最初と最後の頁 7-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 P. E. Yastika, N. Shimizu, T. Verbovsek	4. 巻 -
2. 論文標題 A case study on landslide displacement monitoring by SBAS DInSAR in the Vipava River Valley, Slovenia	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 5th ISRM Young Scholars' Symposium on Rock Mechanics and International Symposium on Rock Engineering for Innovative	6. 最初と最後の頁 2-5-6:1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 N. Shimizu	4. 巻 -
2. 論文標題 New horizons in displacement monitoring using satellite technology in rock and geotechnical engineering	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development	6. 最初と最後の頁 1023-1038
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N. Shimizu, N. T. Kien, I. N. S. Parwata and P. E. Yastika	4. 巻 -
2. 論文標題 Monitoring landslides and the subsidence process using satellite technology (GPS and DInSAR)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the ISRM Specialized Conference: VCRES 2019 International Symposium	6. 最初と最後の頁 19-38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N. Shimizu	4. 巻 -
2. 論文標題 Landslide monitoring using satellite technology and collaborative researches with Balkan countries	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 4th Regional Symposium on LANDSLIDES in the Adriatic - Balkan Region	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 清水則一	4. 巻 402
2. 論文標題 時空間切れ目のない変位モニタリングにおける宇宙技術 (GPS, SAR) の役割	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電力土木協会誌「電力土木」	6. 最初と最後の頁 3-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小室隆, 赤松良久, 山口皓平, プトゥ エディ ヤスティカ, 清水則一, 二瓶泰雄	4. 巻 14(1)
2. 論文標題 SAR画像を用いた2017 年九州北部豪雨における被害溜池の抽出	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 E-journal GEO	6. 最初と最後の頁 271-287
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4157/ejgeo.14.271	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 I N. S. Parwata, N. Shimizu, B. Grujic, R. Celikovic, S. Zekan, and I. Vrkljan	4. 巻 -
2. 論文標題 Validity of SBAS-DInSAR Monitoring of Subsidence Induced by Salt Mining in Tuzla	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the ISRM Specialized Conference on Geotechnical Challenges in Karst	6. 最初と最後の頁 311-316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 L. Podolszki, I. N. S. Parwata, N. Shimizu, D. Pollak, and I. Vrkljan	4. 巻 -
2. 論文標題 Landslide in Hrvatska Kostajnica - collected data and analysis in progress	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the ISRM Specialized Conference on Geotechnical Challenges in Karst	6. 最初と最後の頁 323-328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 P.E. Yastika, N. Shimizu and H. Z. Abidin	4. 巻 63
2. 論文標題 Monitoring of long-term land subsidence from 2003 to 2017 in coastal area of Semarang, Indonesia by SBAS DInSAR analyses using Envisat ASAR, ALOS PALSAR, and Sentinel-1A SAR data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advances in Space Research	6. 最初と最後の頁 1719-1736
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) org/10.1016/j.asr.2018.11.008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 清水則一	4. 巻 67
2. 論文標題 宇宙技術とのコラボレーションによる“時空間切れ目のない”地盤変位モニタリング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地盤工学会誌	6. 最初と最後の頁 12-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 I. N. S. Parwata, N. Shimizu, S. Zekan, B. Grujic, and I. Vrkljan	4. 巻 -
2. 論文標題 Application of DInSAR for monitoring the subsidence induced by salt mining in Tuzla, Bosnia and Herzegovina	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 10th Asian Rock Mechanics Symposium	6. 最初と最後の頁 185:1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 P.E. Yastika, T. Ibara, N. Shimizu, N. Iwata, H. Takahashi and Y. Araki	4. 巻 -
2. 論文標題 Application of DInSAR for monitoring the ground deformation due to volcanic activity: a case study of Sakurajima	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 10th Asian Rock Mechanics Symposium	6. 最初と最後の頁 186:1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N. T. Kien, S. Nakashima, N. Shimizu	4. 巻 -
2. 論文標題 Mechanism of landslide behavior at an unstable steep slope based on field measurements and a numerical analysis: a case study	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 10th Asian Rock Mechanics Symposium	6. 最初と最後の頁 182:1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 清水則一, I. N. S. Parwata and P. E. Yastika	4. 巻 414
2. 論文標題 人工衛星合成開口レーダーによる変位計測技術の残壁安全監視への適用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 石灰石	6. 最初と最後の頁 34-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中島伸一郎, 古山陽太, 林佑一郎, N. T. Kien, 清水則一, 廣川誠一	4. 巻 55(1)
2. 論文標題 急傾斜長大斜面のGPS三次元変位計測における誤差補正の効果と長期連続モニタリング結果	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本地すべり学会誌	6. 最初と最後の頁 13-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N. Shimizu	4. 巻 -
2. 論文標題 Displacement monitoring using satellite technology as a tool for assessing the stability of the ground	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 7th International Conference on Geotechnics in Civil Engineering	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 P. E. Yastika and N. Shimizu	4. 巻 -
2. 論文標題 Discussion on procedure of long-term land subsidence monitoring by Multi-temporal DInSAR	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2017 ISRM Young Scholars' Symposium on Rock Mechanics (YSRM 2017) & 2017 International Conference on New Development in Rock Mechanics and Geotechnical Engineering (NDRMGE 2017)	6. 最初と最後の頁 161-164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N. T. Kien, Y. Hayashi, S. Nakashima, N. Shimizu	4. 巻 -
2. 論文標題 Long-term displacement monitoring using GPS for assessing the stability of a steep slope	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2017 ISRM Young Scholars' Symposium on Rock Mechanics (YSRM 2017) & 2017 International Conference on New Development in Rock Mechanics and Geotechnical Engineering (NDRMGE 2017)	6. 最初と最後の頁 165-168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 I. N. S. Parwata and N. Shimizu	4. 巻 -
2. 論文標題 Digital Elevation Model generation by InSAR based on ALOS PALSAR data in a small area including steep slopes of a limestone quarry	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2017 ISRM Young Scholars' Symposium on Rock Mechanics (YSRM 2017) & 2017 International Conference on New Development in Rock Mechanics and Geotechnical Engineering (NDRMGE 2017)	6. 最初と最後の頁 169-172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N. Shimizu	4. 巻 -
2. 論文標題 Challenge of continuous spatio-temporal displacement monitoring in geotechnical engineering	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of the 7th Conference of Croatian Geotechnical Society with international participants VARAZDIN2016	6. 最初と最後の頁 13-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N. Shimizu	4. 巻 2
2. 論文標題 Continuous precise displacement monitoring using GPS for assessing the stability of slopes	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Geotehnika (e-magazine, Geotechnical Society of Bosnia and Herzegovina)	6. 最初と最後の頁 1-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 P. E. Yastika and N. Shimizu	4. 巻 -
2. 論文標題 Monitoring deformation of ground surface over extensive area by Multi-Temporal DInSAR	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of the ISRM International Symposium: EUROCK2016	6. 最初と最後の頁 1219-1224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計38件 (うち招待講演 22件 / うち国際学会 28件)

1. 発表者名 N. Shimizu
2. 発表標題 New horizons in displacement monitoring using satellite technology in rock and geotechnical engineering
3. 学会等名 3rd International Conference GEOTEC HANOI 2019 - Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Shimizu, N. T. Kien, I. N. S. Parwata and P. E. Yastika
2. 発表標題 Monitoring landslides and the subsidence process using satellite technology (GPS and DInSAR)
3. 学会等名 ISRM Specialized Conference: VCRES 2019 International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Shimizu
2. 発表標題 Application of satellite technology for monitoring ground displacements related to disasters and environmental issues in Indonesia
3. 学会等名 2nd International Conference on Science Technology and Humanities 2019 (ICOSTH2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 P. E. Yastika, N. Shimizu, H. Andreas, H. Z. Abidin
2 . 発表標題 Monitoring of land subsidence in Jakarta from 2014 to 2019 by SBAS DInSAR using sentinel-1A SAR Data
3 . 学会等名 2nd International Conference on Science Technology and Humanities 2019 (ICOSTH2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 I N. S. Parwata, N. Shimizu, N. N. Pujianiki, I N. G. Antara, I G. R. M. Temaja, T. Osawa
2 . 発表標題 Monitoring landslides and the subsidence process using satellite technology (GPS and DInSAR)
3 . 学会等名 2nd International Conference on Science Technology and Humanities 2019 (ICOSTH2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 N. Shimizu
2 . 発表標題 Landslide monitoring using satellite technology and collaborative researches with Balkan countries
3 . 学会等名 4th Regional Symposium on LANDSLIDES in the Adriatic - Balkan Region (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 亀山光雄, I. N. S. Parwata, P. E. Yastika, 清水則一
2 . 発表標題 DInSAR による急傾斜道路斜面の変位計測の事例
3 . 学会等名 第40回西日本岩盤工学シンポジウム
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 P. E. Yastika and N. Shimizu
2. 発表標題 Detection of subsidence in Denpasar, Indonesia by SBAS DInSAR
3. 学会等名 第40回西日本岩盤工学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Shimizu
2. 発表標題 Spatio-temporal continuous displacement monitoring in geotechnical engineering
3. 学会等名 China Rock 2018: 15th Chinese National Congress of Rock Mechanics and Engineering, Chinese Society for Rock Mechanics and Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Shimizu
2. 発表標題 Displacement monitoring using satellite technology (GPS and DInSAR) and practical applications to landslides, subsidence, mining slopes, dam, etc.
3. 学会等名 First Bulgarian National Workshop on Structural and Geotechnical Monitoring (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Shimizu
2. 発表標題 Displacement monitoring using satellite technology and its practical applications
3. 学会等名 Seminar on Geotechnical Engineering, Budapest University of Technology and Economics, Hungary (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Shimizu
2. 発表標題 Modern displacement monitoring using satellite technology in geotechnical engineering
3. 学会等名 Workshop on “DInSAR-Modern displacement monitoring” and “Geodetic survey in geotechnical engineering-Slovenian experience”, Slovenian Geotechnical Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 P. E. Yastika and N. Shimizu
2. 発表標題 Long-term monitoring of subsidence in Semarang by using SBAS DInSAR
3. 学会等名 土木学会第73回年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 I. N. S. Parwata, N. Shimizu, S. Zekan, B. Grujic, I. Vrkljan
2. 発表標題 Application of DInSAR for monitoring subsidence induced by salt mining in Tuzla, Bosnia and Herzegovina
3. 学会等名 土木学会第73回年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. T. Kien, S. Nakashima, N. Shimizu
2. 発表標題 Mechanism of landslide behavior at an unstable slope caused by changes of the ground water level
3. 学会等名 土木学会第73回年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 N. Shimizu
2 . 発表標題 Practical applications of displacement monitoring using satellite technology
3 . 学会等名 Lecture, University of Split, Croatia (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 N. Shimizu
2 . 発表標題 Practical applications of displacement monitoring using satellite technology to landslides and land subsidence- including case studies in Croatia, Bosnia and Herzegovina, etc.
3 . 学会等名 Lecture on the biggest landslide in Zagreb and settlement in Tuzli, Croatian Geotechnical Society and Croatian Geological Survey (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 N. Shimizu
2 . 発表標題 Modern Displacement Monitoring Using Satellite Technology in Geotechnical Engineering
3 . 学会等名 Workshop on “DInSAR-Modern displacement monitoring” and “Geodetic survey in geotechnical engineering-Slovenian experience”, Slovenian Geotechnical Society (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 N. Shimizu
2 . 発表標題 Monitoring slopes, dams, subsidence, etc. using satellite technology
3 . 学会等名 ISRM Training Course of Rock Mechanics and Engineering Geology for Reduced Geo-hazards in Mining and Civil Projects, Hanoi, Vietnam (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 N. Shimizu
2 . 発表標題 Monitoring ground displacements using satellite technology
3 . 学会等名 Joint Seminar with KICT (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology) and KAIST (Korea Advanced Institute of Science and Technology), Daejeon, Korea (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 N. Shimizu
2 . 発表標題 Monitoring subsidence and landslides process using satellite technology
3 . 学会等名 Lecture, Tuzla University, Tuzla, Bosnia and Herzegovina (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 N. Shimizu
2 . 発表標題 Displacement monitoring using satellite technology as a tool for assessing the stability of the ground
3 . 学会等名 7th International Conference on Geotechnics in Civil Engineering, Sabac, Serbia (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 N. Shimizu
2 . 発表標題 Continuous precise three-dimensional ground displacement monitoring using GPS -how it can be realized by the ISRM Suggested Method-
3 . 学会等名 Lecture, University of Belgrade, Serbia (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 N. Shimizu
2. 発表標題 Monitoring ground displacements using satellite technologies
3. 学会等名 1st International Forum on Rock Mechanics and Engineering Geology, Shaoxing, China (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 N. Shimizu
2. 発表標題 Displacement monitoring using satellite technologies for assessing the stability of slopes and dams
3. 学会等名 Geotechnical Engineering Seminar, Vietnam Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 N. Shimizu
2. 発表標題 Modern displacement monitoring using satellite technology in rock and geotechnical engineering - Practical applications to landslides, mine slope, ground subsidence, earthquake movement and large structures
3. 学会等名 Macedonian Association for Geotechnics Special Seminar at Ss. Cyril and Methodius University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 P. E. Yastika and N. Shimizu
2. 発表標題 Discussion on procedure of long-term land subsidence monitoring by Multi-temporal DInSAR
3. 学会等名 ISRM Young Scholars' Symposium on Rock Mechanics (YSRM 2017) & 2017 International Conference on New Development in Rock Mechanics and Geotechnical Engineering (NDRMGE 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 N. T. Kien, Y. Hayashi, S. Nakashima, N. Shimizu
2. 発表標題 Long-term displacement monitoring using GPS for assessing the stability of a steep slope
3. 学会等名 ISRM Young Scholars' Symposium on Rock Mechanics (YSRM 2017) & 2017 International Conference on New Development in Rock Mechanics and Geotechnical Engineering (NDRMGE 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 I. N. S. Parwata and N. Shimizu
2. 発表標題 Digital Elevation Model generation by InSAR based on ALOS PALSAR data in a small area including steep slopes of a limestone quarry
3. 学会等名 ISRM Young Scholars' Symposium on Rock Mechanics (YSRM 2017) & 2017 International Conference on New Development in Rock Mechanics and Geotechnical Engineering (NDRMGE 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 N. Shimizu
2. 発表標題 Challenge of continuous spatio-temporal displacement monitoring in geotechnical engineering
3. 学会等名 7th Conference of Croatian Geotechnical Society with international participants- VARAZDIN2016, Varazdin, Croatia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 N. Shimizu
2. 発表標題 Continuous precise displacement monitoring using GPS for assessing the stability of slopes
3. 学会等名 Science and Expert Conference GEO-EXPO 2016 - Geotechnics Ecological Engineering and Sustainable Development, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1 . 発表者名 N. T. Kien, Y. Hayashi, S. Nakashima, N. Shimizu
2 . 発表標題 Displacement monitoring using GPS for a steep and large slope
3 . 学会等名 37th West Japan Rock Engineering Symposium, Ube, Japan.
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 P.E. Yastika, N. Shimizu
2 . 発表標題 Applications of DInSAR for ground surface deformation measurements-case studies of subsidence measurements and deformation detections due to an earthquake
3 . 学会等名 37th West Japan Rock Engineering Symposium, Ube, Japan.
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 N.S. Parwata, N. Shimizu
2 . 発表標題 Application of InSAR for estimating topographic height in small area including steep slopes using ALOS-PALSAR data
3 . 学会等名 37th West Japan Rock Engineering Symposium, Ube, Japan.
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 P. E. Yastika, N. Shimizu, T. Tanaka and M. Shimada
2 . 発表標題 Connecting land subsidence monitoring results by multi-temporal DInSAR using, ALOS1 and AL02 PALSAR data
3 . 学会等名 CEOS SAR Calibration and Validation Workshop, Tokyo, Japan
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 I.N.S. Parwata, N. Shimizu, T. Tanaka and M. Shimada
2 . 発表標題 Application of InSAR for estimating topographic height in small area including steep slopes using ALOS-PALSAR data
3 . 学会等名 CEOS SAR Calibration and Validation Workshop, Tokyo, Japan (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 P.E.Yastika and N. Shimizu
2 . 発表標題 Monitoring deformation of ground surface over extensive area by Multi-Temporal DInSAR
3 . 学会等名 ISRM International Symposium EUROCK2016, Cappadocia, Turkey (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 N. Shimizu
2 . 発表標題 Displacement monitoring using satellite technologies for risk management of slopes and dams
3 . 学会等名 1st International Symposium on Reducing Risks in Site Investigation, Modelling and Construction for Rock Engineering (GEOSAFE2016), Xi ' an, China (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

〔図書〕 計2件

1 . 著者名 N. Shimizu and S. Nakashima (分担執筆) (編者 : Xia-Ting Feng)	4 . 発行年 2017年
2 . 出版社 CRC Press	5 . 総ページ数 723 (分担執筆pp.593-626)
3 . 書名 Rock Mechanics and Engineering , Vol. 4(Chapter 19, Review of GPS displacement monitoring in rock engineering)	

1. 著者名 N. Shimizu (分担執筆) (著者: Shunsuke Sakurai)	4. 発行年 2017年
2. 出版社 CRC Press	5. 総ページ数 219 (分担執筆pp.203-211)
3. 書名 Back Analysis in Rock Engineering, ISRM Book Series 4 (chapter 23, Monitoring of slope stability using GPS in geotechnical engineering)	

[産業財産権]

[その他]

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	中島 伸一郎 (Nakashima Shinichiro) (70346089)	山口大学・大学院創成科学研究科・准教授 (15501)	