

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 17 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26249069

研究課題名(和文)地震が引き起こす深層、浅層地盤内の变形、応力変化の抽出と国土保全への反映

研究課題名(英文) Detecting shallow and deep-seated ground deformations and stress changes caused by earthquakes and reflecting extracted information on land conservation strategies

研究代表者

小長井 一男 (Konagai, Kazuo)

横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・教授

研究者番号：50126471

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,700,000円

研究成果の概要(和文)：地震の被害調査では、被災地の地震記録が皆無であることも少なくなく、人的・物的被害の大きな代価を払いながらもその教訓が十分に得られないことがある。一方で履歴材料である地盤には、過去の地震災害の痕跡が变形や応力変化の形で明瞭に残されている場合が少なくない。当初検討対象にしていた東日本大震災の地盤变形痕跡に加え、本研究期間中に発生した2015年ネパール・ゴルカ地震、そして2016年の熊本地震で現れた地盤变形と被害の関係も調査の対象とし、これらの地震が残した地盤变形から科学的に読み取れる情報を整理し公表するとともに、復興や国土保全に関わる機関への提供を行った。

研究成果の概要(英文)：Seismographs are crucial for understanding a variety of aspects of earthquake-inflicted property damage and human suffering. However, strong ground motion records are often missing or very sparsely available especially in the developing countries, discouraging all attempts for rational rehabilitations. Soils are hysteresis materials exactly like a magnetic tape recording the past. As long as clear evidence of past large soil deformation was there in images obtained through remote sensing technology, we could bring potential hazard to light and take necessary actions. Ground deformations that appeared in the 2011 Great East Japan earthquake, 2015 Nepal Gorkha Earthquake and 2016 Kumamoto earthquakes were thoroughly investigated, and obtained lessons were transferred to relevant organizations.

研究分野：地震工学、地盤工学

キーワード：地震防災 国土保全 地震工学

### 1. 研究開始当初の背景

数千、数万の命が奪われる海外の地震の被害調査では、被災地域内の地震記録が皆無であることも少なくなく、人的犠牲・物的被害の大きな代価を払いながらも地震対策やその後の国土保全のための教訓が十分に得られないことがある。一方で履歴材料である地盤には、過去の地震災害の痕跡が変形や応力変化の形で明瞭に残されている場合が少なくない。したがって地形や地盤に残るあらゆる痕跡を見直し、そこに刻まれた情報から将来の地震防災、復興にかかわる教訓を読み解いていくことが求められている。

### 2. 研究の目的

干渉合成開口レーダ(InSAR)や航空レーザー計測(LiDAR:光検出と測距)など衛星・航空機計測情報から得られる広域のデータは、あらゆる地震被災地で詳細な地形変動を迅速に把握することを可能にしている。これらは、地震観測網の充実した我が国は言うに及ばず、地震記録が極めて少ない、特に海外の途上国での地震災害を読み解き、教訓を得るためにも重要である。本研究ではまず、申請者らが構築した手法で地震時の土粒子の動きであるラグランジアン(Lagrangian)変位を抽出する。そしてこれを、広域の地殻変動成分と浅層の局所的な地盤変形に分離し、これらが地震災害そのもののみならず、その後長期にわたる国土保全や、人々の生活とどう関わっていくのかを分析し、地域の長期の保全に資するための一連のレシピを構築する。

### 3. 研究の方法

本研究期間中に、当初検討対象にしていた東日本大震災の地盤変形痕跡に加え、2015年ネパール・ゴルカ地震、そして2016年には熊本地震が発生したため、これらの地震で現れた地盤変形と被害の関係も調査の対象とした。基本的な手法としては、先行研究によって構築された、地震時の地盤のオイラー変位から、土粒子の動きであるラグランジアン変位を分離抽出する方法を活用し、地形変形情報は干渉合成開口レーダ(InSAR)や航空レーザー計測(LiDAR:光検出と測距)に加え、UAVによる計測結果から得た。

### 4. 研究成果

東日本大震災で多くの液状化が報告された関東では、東京都側東京湾岸でこれまで計測・解析の及んでいない地域まで対象エリアを広げ航空レーザー計測(LiDAR)を行い、湾岸地域全体(航空管制のある羽田周辺を除く)の液状化沈下マップを作成した。ネパール・ゴルカ地震ではヒマラヤの山岳地帯を通過する2つの主要ハイウェイの一つであるパサンラミュハイウェイ沿いの斜面崩壊地の崩壊土砂量の推定を行うとともに、地震後も緩慢に変形を続ける斜面の実態を把握し、ネパール復興庁に報告、地震後の復興戦略に反

映される重要なデータを提供した。さらに熊本地震で生じた地盤変形については、アメリカ土木学会旧ライフライン地震工学評議会のメンバー、また Geotechnical Extreme Events Reconnaissance (GEER)のメンバーとの共同調査を行い、その成果を英文査読論文、英文報告に集約した。これらの地盤変形と類似の過去の痕跡は阿蘇火山の火砕流堆積物に覆われ、地震以前には確認できなかったものである可能性が高く、これらの精密な記録は今後の防災に欠かせない重要な情報である。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 16件)

- (1) Arliandy P. Arbad, Takeuchi W., Ardy A. and Ridwan A. Ashari, (2016). Observing Deformation at Mt. Raung East Java Based on PALSAR-2 Imagery by Using Interferometric SAR. *Earth and Environmental Science*, 47(1), 012021 doi:10.1088/1755-1315/47/1/012021. (査読有)
- (2) Kiyota T., Ikeda T., Konagai K., (2016): Geotechnical Damage Caused by the 2016 Kumamoto Earthquake, *Japan International Journal of Geoenvironment Case Histories*, 4(2), 78-95. [http://casehistories.geoengineer.org/volume/volume4/issue2/IJGCH\\_4\\_2\\_1.html](http://casehistories.geoengineer.org/volume/volume4/issue2/IJGCH_4_2_1.html). (査読有)
- (3) Konagai K., Shiga M., Kiyota T., Ikeda T. (2017). Ground deformation built up along seismic fault activated in the 2016 Kumamoto Earthquake, accepted for publication in the *JSCSE Journal*, Ser. A1, Vol. 73, No. 4. (査読有)
- (4) 梶原 和博, Pokhrel R. M., 清田 隆, 小長井 一男 (2016): 液状化による道路沈下量と PL 値の関係に基づく新たな液状化危険度マップの構築, *土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)*, 72(4), I\_234-I\_240, DOI: [http://doi.org/10.2208/jscejsee.72.I\\_234](http://doi.org/10.2208/jscejsee.72.I_234). (査読有)
- (5) Rahman, M.A., Konagai, K. (2016): Substantiation of debris flow velocity from super-elevation: a numerical approach, *Landslides*, 14(2), 633-647. DOI: 10.1007/s10346-016-0725-3 (査読有)
- (6) Konagai K., Kiyota T., Shiga M., Tomita H., Okuda H., Kajihara H. (2016): Ground fissures that appeared in Aso Caldera Basin

- in the 2016 Kumamoto Earthquake, Japan, JSCE Disaster Fact Sheet: FS2016-E-0003, <http://committees.jsce.or.jp/disaster/FS2016-E-0003>. (査読有)
- (7) Konagai K., Pokhrel R.M., Ikeda T., Shiga M., Rahman M. A., Okuda H. (2016): Follow-up report of damage caused by the Gorkha Earthquake, Nepal, of April 25th, 2015, JSCE Disaster Fact Sheet: FS2016-E-0002. <http://committees.jsce.or.jp/disaster/FS2016-E-0002>. (査読有)
- (8) Matsubara H., Aydan O., Konagai K., Pokhrel R.M., Shiga M. (2015): Rock slope failures, liquefaction and permanent deformation in 2015 Gorkha earthquake, Nepal, JSCE Disaster Fact Sheet: FS2016-E-0001. <http://committees.jsce.or.jp/disaster/FS2016-E-0001>. (査読有)
- (9) Konagai K., Pokhrel R.M., Matsubara H., Shiga M. (2015): Geotechnical aspect of the damage caused by the April 25th, 2015 Gorkha earthquake of Nepal, JSCE Disaster Fact Sheet: FS2015-E-0002. <http://committees.jsce.or.jp/disaster/FS2015-E-0002>. (査読有)
- (10) Aglipay M. R., Konagai K., Kiyota T., Kyokawa H. (2015): Simple Expression of the Ultimate Lateral Resistance of Piles on Sand based on Active Pile Length, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser A1 (structural Engineering and Earthquake Engineering (SE/EE)), 71(4), I\_329-I\_336, DOI: [http://doi.org/10.2208/jscejsee.71.I\\_329](http://doi.org/10.2208/jscejsee.71.I_329) (査読有)
- (11) Rahman M.A., Hashimoto T., Konagai K. (2015): An attempt for velocity estimation of Nebukawa debris flow triggered by the Great Kanto Earthquake, 1923, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser A1 (structural Engineering and Earthquake Engineering (SE/EE)), 71(4), I\_387-I\_394, DOI: [http://doi.org/10.2208/jscejsee.71.I\\_387](http://doi.org/10.2208/jscejsee.71.I_387). (査読有)
- (12) 菅原 千尋, 福田 圭吾, 小長井 一男 (2015): 2004 年新潟県中越地震による中山間地の伏在地すべりの検出, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 71(4), I\_395-I\_400, DOI: [http://doi.org/10.2208/jscejsee.71.I\\_395](http://doi.org/10.2208/jscejsee.71.I_395). (査読有)
- (13) 上村 健太, 清田 隆, 小長井 一男 (2015): 数値表層モデルから観測された液状化地盤沈下量に及ぼす諸要因の検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 71(4), I\_774-I\_779, DOI: [http://doi.org/10.2208/jscejsee.71.I\\_774](http://doi.org/10.2208/jscejsee.71.I_774). (査読有)
- (14) 池田 隆明, 釜江 克宏, 小長井 一男, 高瀬 裕也 (2015): 2011 年東北地方太平洋沖地震の強震動生成域を対象とした地震規模の推定, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 71(4), I\_855-I\_864, DOI: [http://doi.org/10.2208/jscejsee.71.I\\_855](http://doi.org/10.2208/jscejsee.71.I_855). (査読有)
- (15) 池田 隆明, 小長井 一男, 釜江 克宏, 入倉 孝次郎, 清田 隆, 目黒 公郎 (2014): 断層モデルと地盤の非線形性を考慮した簡便な強震動予測手法の提案, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 70(4), I\_252-I\_262, DOI: [http://doi.org/10.2208/jscejsee.70.I\\_252](http://doi.org/10.2208/jscejsee.70.I_252). (査読有)
- (16) 佐藤 京, 西 弘明, 池田 隆明, 高瀬 裕也, 小長井 一男 (2014): 北海道での地震動評価と道路橋梁構造物の被害推定, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 70(4), I\_1078-I\_1088, DOI: [http://doi.org/10.2208/jscejsee.70.I\\_1078](http://doi.org/10.2208/jscejsee.70.I_1078). (査読有)
- [学会発表](計 7 件)
- (1) Arliandy P. Arbad, Takeuchi W., Aoki Y. (2017). Time-Series InSAR Analysis of the Small Baseline Subset to Estimate Surface Deformation at Mt. Bromo Indonesia. 第25回 生研フォーラム「宇宙からの地球環境・災害のモニタリングとリスク評価」: 東京大学生産技術研究所 (東京都目黒区), 2017/03/02
- (2) Konagai K. (2017): Geotechnical aspect of damage caused by the 2016 Kumamoto Earthquake, 16th World Conference on Earthquake Engineering, (16th WCEE), Paper No. 4990, Santiago Chile, Jan. 13, 2017.
- (3) Rahman, M.A., Konagai K. (2017): Rational way to estimate velocities of earthquake-induced debris flow from super-elevations, 16th World Conference on Earthquake Engineering, (16th WCEE), Paper No. 1186, Santiago Chile, Jan. 11,

2017.

- (4) Kajihara K., Konagai K., Kiyota T., Shibuya S., Sato I. (2017): Subsidence map for the west part of Tokyo Bay shore area liquefied in the March 11th, Great East Japan Earthquake, 16th World Conference on Earthquake Engineering, (16th WCEE), Paper No. 3949, Santiago Chile, Jan. 10, 2017.
- (5) Konagai K. (2016): Some matters of geotechnical concern for rational reconstruction of areas hit by the April 25th, 2015, Gorkha Earthquake, Keynote lecture at the 8<sup>th</sup> Nepal Geological Congress, Kathmandu, Nov. 28, 2016.
- (6) Kajihara K., Pokhrel R. M., Kiyota T., Konagai K. (2015): Liquefaction-induced ground subsidence extracted from Digital Surface Models and its application to hazard map of Urayasu city, Japan, 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Nov. 9, Fukuoka, Japan.
- (7) Pokhrel R. M., Kiyota T., Kajihara K. (2015): Contribution of Geostatistical Technique to Investigate the Spatial Variation of Liquefaction Potential in Urayasu City, Japan, 6th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, 1-4, Christchurch, New Zealand.

〔図書〕(計 1 件)

- (1) 小長井 一男 (2016): 活断層がわかる本, 第 4 章, 技報堂出版, 71-88.

〔その他〕

ホームページ等

<http://konalab.main.jp/home-e/>

<http://shake.iis.u-tokyo.ac.jp/flyovers/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小長井 一男 (KONAGAI KAZUO)

横浜国立大学・大学院都市イノベーション  
研究院・教授

研究者番号: 50126471

### (2) 研究分担者

早野 公敏 (HAYANO KIMITOSHI)

横浜国立大学・大学院都市イノベーション  
研究院・教授

研究者番号: 70431814

### (3) 研究分担者

菊本 統 (KIKUMOTO MAMORU)

横浜国立大学・大学院都市イノベーション  
研究院・准教授

研究者番号: 50451878

### (4) 研究分担者

清田 隆 (KIYOTA TAKASHI)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号: 70431814

### (5) 研究分担者

竹内 渉 (TAKEUCHI WATARU)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号: 50451878

### (6) 連携研究者

池田 隆明 (IKEDA TAKAAKI)

長岡技術科学大学・大学院工学研究科・  
教授

研究者番号: 40443650