

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23246087

研究課題名(和文)地震断層沿いに生じる地盤のラグランジアン変位の抽出と防災対策・国土保全への反映

研究課題名(英文)Detection of Lagrangian displacements induced in seismic source regions and its implementation for land conservation

研究代表者

小長井 一男 (Konagai, Kazuo)

横浜国立大学・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) 37,300,000円、(間接経費) 11,190,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は地震で生じる土塊の移動(Lagrangian変位)を、リモートセンシングで得られる空間に固定されたEuler座標上の標高変化から抽出する手法を開発し、得られた情報を復興事業に反映する手法を構築したものである。膨大な地形データと3577か所のボーリングデータなど豊富なデータの蓄積されている2004年10月の中越を対象とした基礎研究で技術的な課題を克服し、道路トンネルや鉄道トンネルの被害の原因を抽出されたラグランジアン変位をもとに考察した。また2011年3月11日の東北太平洋沖地震では液状化による地盤の沈下マップを作成し、これらが関連自治体などの機関に提供された。

研究成果の概要(英文)：Strong ground motion records are often missing or very sparsely available especially in the developing countries, discouraging all attempts for rational rehabilitation. Something that should not be forgotten in talking about rehabilitation is that a large earthquake often causes long lasting geo-technical problems, in which terrain changes are to be thoroughly studied. A method is presented to extract Lagrangian ground displacements from an available set of aerial/satellite data capturing sub-aerial topography. Its application to the Mid-Niigata Prefecture Earthquake, a well recorded and documented seismic event, has shown good correlation with the field measurements and/or observations. Also the method was used to prepare precise map of soil subsidence for Tokyo bay shore areas liquefied in the March 11th, 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：ラグランジアン変位 国土保全 地形変形 地震断層 地震防災

1. 研究開始当初の背景

2005年パキスタンカシミール地震や2008年中国四川大地震など数千、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。したがって地形や地盤に残るありと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た。

2. 研究の目的

地形に刻まれた地震痕跡から重要な情報を抽出することは、昨今のリモートセンシング技術の発達で決して不可能ではなくなっている。本研究では研究代表者が現地調査に深く関わった地震被災地を中心に、地震前後、そして地震後長期にわたり変動を続ける地形を解読し、今後の国土保全に活用していくノウハウを構築するものである。

3. 研究の方法

世界各地の地形変動を解析するうえでInSAR衛星データを活用することが一般的である。2011年あたりから空間分解能が1m×1m程度のXバンドのInSARが活用できるようになったが、それでも空間分解能においては航空レーザー計測(LiDAR)によるデジタル標高モデル(DEM)が優れている。このため、地震前後のDEMの差分情報から、深部の地殻変動や浅部の斜面崩壊、人工改変などを分離抽出する手法を構築した。これら多様なLagrangian変位の分離は一般に困難であるが、深部での変動ほど、変動の波長が大きいことを利用し移動平均法によって分離を行う方法が試みられた。これらの手法の構築と検証は、平成23年度、豊富なデータの蓄積されている中越を対象に行われた。平成24年度はこの手法を今も復旧の深刻な課題を抱える地震後の被災地の地盤変形抽出に活用した。本研究の計画を策定していた時点では調査対象地として2004年中越地震の被災地に加え、2005年10月8日パキスタン・カシミール地震、そして2008年5月12日中国汶川地震の被災地を考えていたが、2011年3月11日、東北太平洋沖地震(東日本大震災)が発生し、従来の研究対象地域に東日本大震災の被災地も加えられた。そして液状化の被害の甚大であった東京湾岸地域については本手法を用いて液状化による地盤の広域沈下と側方移動の実態を精緻なマップの作成を試みた。他に従前から対象としていた断層近傍の斜面災害地も調査・解析の対象であった。

4. 研究成果

中越地震の被災地で抽出したLagrangian変位

は地殻変動による寄与分と浅層の地すべりなどの成分に分離され、それらがトンネルなどの地下構造物に与えた影響などが個別の研究テーマとして定量的に検討された。また、これらのデータは新潟県や国土交通省北陸地方整備局などにも被災地域の保全に必要な情報として提供されている。

2011年の東日本大震災で液状化した東京湾岸地域(千葉県側)については詳細な液状化沈下マップを作製した。液状化で沈下した地域が地震後も長期にわたり、内水氾濫や下水処理に長期にわたる課題が発生することは例えば1990年フィリピン・ルソン地震や1964年の新潟地震などの過去の事例が示すとおりであり、この意味からも詳細な沈下マップのもたらす情報は重要である。

地盤変位の分離抽出は、地震直後に一回行うだけでは十分でない。地震が引き起こした地盤変形は地震後も緩慢に進行し、ある時突如顕在化することもあるからである。2005年パキスタン・カシミール地震では、ジェラム(Jehlum)川上流域で8000万 m^3 とも推定される土砂によって2つの支流が閉塞される天然ダムが形成された。当初崩壊土砂の量が貯水量以上に大きく当面決壊の恐れはないとされていたが、これが地震発生から4年4か月後に決壊し、ハティアンバラ(Hattian Bala)などの集落や震災後復旧された道路の一部を押し流してしまう。この事例については既に本研究開始以前から研究代表者らによるデータ集約が進められていたが、地形変動の詳細な解析をもとにその原因を詳細に検討した成果を集約した。これらはパキスタンの地震復興庁や被災地の中心都市Muzaffarabad市に報告され、災害復旧などに活用された。

上記の研究成果は後述の12編の査読論文7件の学会発表、2冊の書籍中の章としてまとめられている。

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12件)査読論文のみ

- (1) Zhao Y. and Konagai K.: Evidence of a hidden landslide slip surface beneath a mountain hamlet, Environmental Earth Science, Vol. 71, 2014.4615-4624, 2014.
- (2) Kazmi Z.A., Konagai K. and Ikeda T.: Field Measurements and Numerical Simulation of Debris Flows from Dolomite Slopes destabilized during the 2005 Kashmir Earthquake, Pakistan, Journal of Earthquake Engineering, Vol. 18, Issue 3, 364-388, 2014.
- (3) Konagai K., Kiyota T., Suyama S., Asakura T., Shibuya K. and Eto C.: Maps of soil subsidence for Tokyo bay shore areas

- liquefied in the March 11th, 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 53, 240-253, 2013.
- (4) Kazmi Z.A., Konagai K., Sekiguchi H., and Fujita T.: Extracting earthquake induced Lagrangian ground displacements and their implication for source inversion analysis, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 48, 198-208, 2013.
- (5) 池田 隆明, 小長井 一男, 片桐 俊彦, 清田 隆: 2011 年東北地方太平洋沖地震で液状化が発生した東京都江東区新木場の液状化強度の推定, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 69, No. 4 (地震工学論文集第 32 巻), I_678-I_687, 2013.
- (6) 朝倉 徹, 須山翔太, 小長井 一男, 江藤稚佳子, 渋谷研一: 航空レーザー計測による液状化地盤沈下マップの精度評価と浦安市の地盤と構造物変位の状況, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 68, No. 4 (地震工学論文集第 31-b 巻), I_1278-I_1284, 2012.
- (7) 池田隆明, 小長井一男, 片桐俊彦: 鉛直アレー地震観測記録を用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震における東京湾臨海部の地震時挙動の検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 68, No. 4 (地震工学論文集第 31-b 巻), I_138-I_151, 2012.
- (8) Kazmi K., Konagai K., Kyokawa H. and Tetik C.: Surface rupture of the normal seismic Faults and slope failures appeared in April 11th, 2011 Fukushima Prefecture Hamadoori Earthquake, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. A1 (Structural Engineering & Earthquake Engineering (SE/EE)), Vol. 68, No. 4, I_1285-I_1292, 2012.
- (9) Konagai K. and Sattar A.: Partial breaching of Hattian Bala Landslide Dam formed in the 8th October 2005 Kashmir Earthquake, Pakistan, Landslides, Vol. 9, No. 1, 1-11, 2012.
- (10) Sattar A., Konagai K., Kiyota T., Ikeda T. and Johansson J.: Measurement of debris mass changes and assessment of the dam-break flood potential of earthquake-triggered Hattian landslide dam, Landslides, Vol. 8, Issue 2, 171-182, 2011.
- (11) Kiyota T., Sattar, A., Konagai K., Kazmi, Z. A., Okuno, D. and Ikeda, T.: Breaching failure of a huge landslide dam formed by the 2005 Kashmir earthquake, Soils & Foundations, Vol. 51, No. 6, 1179-1190, 2011.
- (12) Konagai K.: Earthquake-induced soil displacements and their impact on rehabilitations, Proc. Japan Academy, Ser. B 87, 433-449, 2011.
- [学会発表] (計 7 件)
- (1) Konagai K.: Massive destruction caused by the March 11th, 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake and its impact on earthquake engineering practice, Proceedings of the XXXVIII IAHS World Congress, 365-376, April 16-19, 2012, Istanbul, Turkey.
- (2) Konagai K. Ulusay, R., Kumsar, H., Aydan, O. and Celebi, M.: The characteristics of seismic, strong motions and structural damage of the 2011 Van-Ercis Earthquake, One year after the 2011 Great East Japan Earthquake, International Symposium on Engineering Lessons Learned from the Giant Earthquake, A7, 2012.
- (3) Ulusay, R., Kumsar, H., Konagai K. and Aydan, O.: The characteristics of geotechnical damage of the 2011 Van-Ercis Earthquake, One year after the 2011 Great East Japan Earthquake, International Symposium on Engineering Lessons Learned from the Giant Earthquake, A7, 2012.
- (4) Kyokawa, H., Konagai K. and Kiyota T., Katagiri, T. and Kazmi, A. Zaheer,: LiDAR Measurement of the breached earth-fill dam in the March 11th Great East Japan Earthquake, One year after the 2011 Great East Japan Earthquake, International Symposium on Engineering Lessons Learned from the Giant Earthquake, B1, 2012.
- (5) Kazmi, A. Zaheer, Konagai K., Tetik, C., Bray, J. and Steig, A.: Fault rupture and associated geo-hazards of Fukushima Prefecture Hamadori Earthquake, One year after the 2011 Great East Japan Earthquake, International Symposium on Engineering Lessons Learned from the Giant Earthquake, B5, 2012.
- (6) Konagai K., Asakura, T., Suyama, S., Kyokawa, H., Kiyota T., Eto, C. and Shibuya, K.: Soil subsidence map of the Tokyo Bay Area liquefied in the March 11th Great East Japan Earthquake, One year after the 2011 Great East Japan Earthquake, International Symposium on Engineering Lessons Learned from the Giant Earthquake, B8, 2012.

- (7) Ikeda, T., Konagai, K. and Katagiri, T.: Earthquake behavior of the surface layer at Tokyo Bay Area during the 2011 Off the Coast of Tohoku Earthquake using the downhole array observation records, One year after the 2011 Great East Japan Earthquake, International Symposium on Engineering Lessons Learned from the Giant Earthquake, HB8, 2012.

〔図書〕(計 2件)

- (1) Konagai, K., Kazmi Z.A. and Zhao Y.: Extracting Earthquake Induced Coherent Soil Mass Movements, In the book "Earthquake Research and Analysis - New Frontiers in Seismology", Edited by Sebastiano D'Amico, InTech Open Access Publisher, ISBN 978-953-307-840-3, 361-380, 2011.
- (2) Sattar A. and Konagai K.: Recent landslide damming events and their hazard mitigation strategies, in the book "Advances in Geotechnical Earthquake Engineering - Soil Liquefaction and Seismic Safety of Dams and Monuments", Edited by Abbas Moustafa, InTech Open Access Publisher, ISBN 978-953-51-0025-6, 219-232, 2011.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

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

<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・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

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

(3) 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

(4) 研究分担者

関口 春子 (SEKIGUCHI HARUKO)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号：20357320