

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656283

研究課題名(和文)地震前後の衛星画像による広域液状化発生範囲の早期把握手法の開発

研究課題名(英文)Development of procedures to analyse satellite images for early detection of widely-spread liquefaction occurrence

研究代表者

古関 潤一 (Koseki, Junichi)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：30272511

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：地震前後に撮影した高解像度の衛星画像(GeoEye1)を分析し、液状化により噴砂・噴水が発生した箇所とその範囲を精度良く判別する手法を開発した。液状化発生を現地確認してある地点の情報をトレーニングデータとして用いることで、被災後の衛星画像から類似の地点を抽出し、この抽出結果を現地調査で検証した。また、実際の噴砂試料を用いて地表面に噴出した後の乾燥過程を室内で再現し、画像スペクトルの変化をスペクトルメータで計測した。さらに、解像度は劣るが撮影頻度が高い衛星画像(RapidEye)を対象とした分析を行い、数県にまたがる広域な範囲を対象とした液状化範囲の推定を比較的短期間で実施できることを示した。

研究成果の概要(英文)：Analysis was made on a set of high resolution satellite images (GeoEye1) taken before and after the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku earthquake. By using information on the sites where liquefaction-induced sand boiling has been observed as training data, location of the sites with similar conditions were identified from the satellite image taken after the earthquake. The results were verified through on-site investigation. In addition, by simulating sand boiling under drying process that is exposed to air, a laboratory test was conducted to reveal the possible change of its image conditions with time. Further analysis was also made on a set of satellite images (RapidEye) that were taken more frequently than the above, it was demonstrated that regions with possible sand boiling over several prefectures could be extracted in rather a short period.

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：液状化 地震 衛星画像 現地調査 室内実験

1. 研究開始当初の背景

2011年東日本大震災では東北から関東地方にかけて広域で多数の液状化が生じた。液状化発生箇所が多数かつ広域に分布しているために、多数の研究者で分担したが、その全ての現地調査を短期間に行うことは実質的には不可能であり、被害の全容が解明するまでに長期の時間を要した。

2. 研究の目的

本研究では、地震前後に撮影した高解像度・マルチバンドの衛星画像を用いて、液状化により噴砂・噴水が発生した箇所とその範囲を精度良く判別する手法を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

液状化被害が広範囲に生じた利根川流域で撮影した2種類の衛星画像を対象とした分析と、これに関連する現地調査および室内実験を行った。分析対象とした衛星画像の例を図1, 2に示す。



図1 RapidEye 画像 (2011年3月12日撮影)



図2 RapidEye 画像 (2011年3月19日撮影)

4. 研究成果

研究期間全体を通じた検討成果は以下のようによまとめられる。

(1) GeoEye-1による衛星画像の分析：地震前後に撮影した高解像度・マルチバンドの衛星画像を分析し、液状化により噴砂・噴水が発生した箇所とその範囲を精度良く判別する手法を開発した。液状化発生を地震直後に現地確認してある地点の情報をトレーニングデータとして用いることで、被災後の衛星画像から類似の地点を抽出した。

分析結果の例を図3に示す。ただし、図4に示すOpenStreetMapのデータを用いて道路

部分のみを抽出対象としている。その結果、茨城県潮来市内の日出地区のほぼ全域とJR潮来駅近傍の一部の地域において液状化被害が発生した状況を、精度よく抽出することができた。



図3 GeoEye-1画像を用いた茨城県潮来市付近の噴砂発生箇所の抽出結果



図4 図3の抽出対象とした道路の位置

(2) 現地調査：(1)で抽出した液状化範囲の整合性を現地調査で検証した。また、関連自治体へのヒアリングを行い、噴砂発生状況から実際の液状化範囲を推定した。

さらに、現地に残された噴砂とその背景となるアスファルト舗装の画像スペクトル特性の計測も行った。この計測結果と、次に述べる室内試験結果およびトレーニングデータのスペクトル特性との比較を図5に示すが、噴砂のスペクトル特性は、現地計測結果も室内試験結果もトレーニングデータもほぼ一致することがわかった。

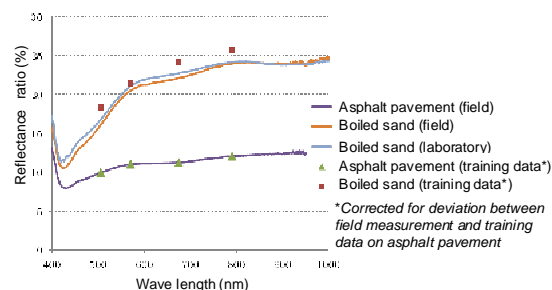


図5 噴砂とその背景となるアスファルト舗装の画像スペクトル特性の比較

(3) 室内実験：実際の液状化箇所から採取した多数の噴砂試料を用いて、地表面に噴出した後の乾燥過程を室内で再現し、その際の画像スペクトルの変化をスペクトルメータで計測した。この結果を、上記(1)の抽出条件および(2)の現地調査結果と比較した。

含水比の異なる噴砂の画像スペクトル特性の比較を図6に示す。含水比の変化に伴って反射率の値自体は変化するが、スペクトル特性の形状はあまり変わらないことがわかった。

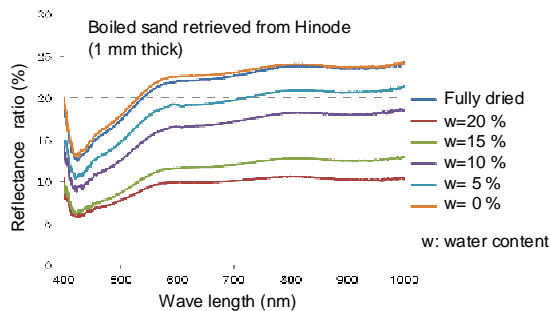


図6 含水比の異なる噴砂の画像スペクトル特性の比較 (室内実験結果)

(4) RapidEyeによる衛星画像の分析: 上記(1)よりも解像度は劣るが撮影頻度が高く地震翌日の画像も得られている衛星画像を対象とした分析を行い、トレーニングデータの選定と類似箇所の抽出条件の設定を適切に行うことにより、数県にまたがる広域な範囲を対象とした液状化範囲の推定を比較的短期間で実施できることを示した。

トレーニングデータとして検討した8地点の位置を図7に示す。これらの位置では、例えば図8に示すように噴砂が発生したことが地震後の研究代表者の調査により検証されている。

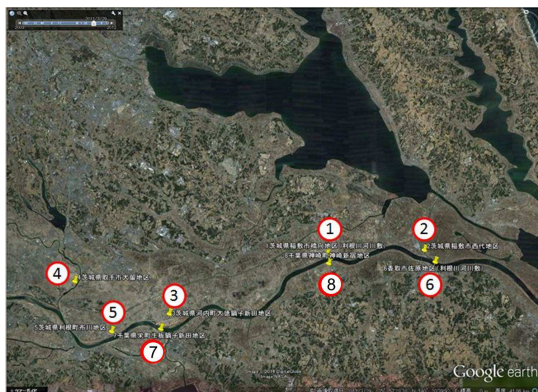


図7 トレーニングデータとして検討した地点の位置図



図8 噴砂の検証写真の例 (図7の地点8)

2011年3月19日撮影画像における図8に示した地点8の噴砂のスペクトル特性を、他のトレーニングデータと比較したものを図9に示す。これらのスペクトル特性は、「白っぽい領域」と「黒っぽい領域」の2種類に大別することができ、「白っぽい領域」は乾いた噴砂、「黒っぽい領域」は湿った噴砂に相当することがわかった。

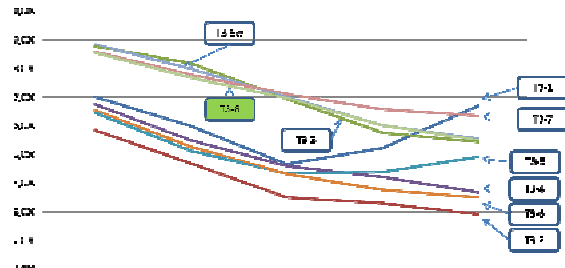


図9 トレーニングデータのスペクトル特性の比較 (2011年3月19日撮影画像)

トレーニングデータの5つのバンドの平均値に対し、その標準偏差(σ)の一定倍率を基準とした幅を判別の閾値としたときに、抽出されるピクセル数を調べた結果の一例を図10, 11に示す。図10は $\pm 0.7\sigma$ 、図11は $\pm 2.0\sigma$ の幅を設定した場合の結果であるが、抽出したピクセル中に含まれるトレーニングデータの割合(的中率)は $\pm 0.7\sigma$ のときに最大となるものの、トレーニングデータ(この例では253ピクセル)中の抽出ピクセルの割合(抽出率)は $\pm 2.0\sigma$ のときに最大となることがわかった。



図10 $\pm 0.7\sigma$ で抽出した結果 (地点8付近)



図11 $\pm 2.0\sigma$ で抽出した結果 (地点8付近)

以上の結果に基づいて、2011年3月19日撮影の広域衛星画像から噴砂発生地点と考えられる箇所を抽出した結果を図12に示す。検出に際しては $\pm 2.0\sigma$ の判別閾値を設定し、さらに各トレーニングデータの5つのバンドを用いた判別における類似度が所定の条件を満足するものを抽出した。実際に液化化被害が生じた利根川流域や太平洋沿岸の旭市等の低平地が比較的多く抽出されており、地震直後に撮影された衛星画像データをこのように分析することで、広域な液化化範囲の推定を比較的短時間で実施できることが明らかとなった。

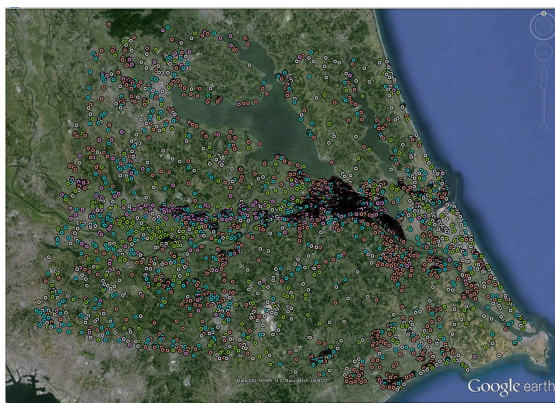


図12 広域抽出結果(2011年3月19日撮影)

地震直後の2011年3月12日に撮影した広域衛星画像に対して同様な分析を実施した結果を図13に示す。図12と比較すると利根川から離れた箇所が多めに抽出されているが、その理由として、トレーニングデータが雲の影響を受けたために、本来のスペクトルに対応するデジタルカウントよりも少し明るめの数値となったことが考えられる。このような誤差要因とその影響の低減手法について今後も検討を続ける必要がある。

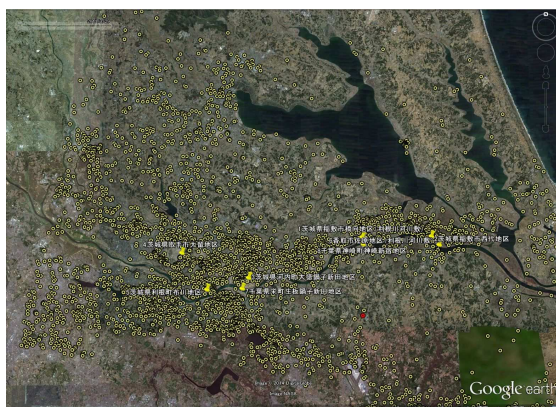


図13 広域抽出結果(2011年3月12日撮影)

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 2 件)

①Ishikawa, T., Sawada, H., Ochi, S., Li,

Y. and Koseki, J.: Detection of liquefaction-induced sand boiling based on satellite image, Bulletin of ERS, No. 46, pp.13-20, 2013. 査読なし

②越智士郎, 古関潤一, 沢田治雄: 高分解能衛星画像による液化化噴砂地の検出, 生産研究, Vol.64, No.4, pp.25-28, 2012. 査読なし

[学会発表] (計 1 件)

①古関潤一, 越智士郎, 宮下千花: 地震前後の衛星画像を用いた千葉県我孫子市内における噴砂発生箇所の検出, 第47回地盤工学研究発表会講演概要集, CD-ROM, 2012. 7. 15, 八戸

[図書] (計 0 件)

[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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古関 潤一 (KOSEKI, Junichi)
東京大学・生産技術研究所・教授
研究者番号: 30272511

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

沢田 治雄 (SAWADA, Haruo)
東京大学・生産技術研究所・特任教授
研究者番号: 80353712

宮下 千花 (MIYASHITA, Yukika)
東京大学・生産技術研究所・技術職員
研究者番号: 20396914