

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01224

研究課題名（和文）人為的土地改変による液状化災害に対する脆弱性への影響評価

研究課題名（英文）Assessment of the liquefaction vulnerability caused by the artificial land modification

研究代表者

青山 雅史（Aoyama, Masafumi）

群馬大学・教育学部・准教授

研究者番号：30724744

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：近年の地震による液状化発生域の土地条件や土地履歴について明らかにした。2011年東北地方太平洋沖地震の内陸部自然地盤での液状化発生事例とみなされていた領域には砂利採取履歴を有する領域が多く存在していた。2016年熊本地震で出現した帯状の液状化集中発生域には江戸期まで河川または水路が存在していたことが示唆された。2018年北海道胆振東部地震における札幌市清田区の液状化発生域は1980年代以降に丘陵地に造成された谷埋め盛土域であった。このように、近年の地震による液状化発生域の多くは人為的土地改変履歴を有し、河川や谷地形の埋土、採掘地の埋め戻し土など人工地盤の液状化脆弱性が高いことが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多くの人々の生活の場となっている平野部の海、河川、谷地形や採掘地などの埋立地は液状化脆弱性が高いことが知られていたが、土地履歴の調査がこれまで不十分であり、それらの領域が十分に抽出されていなかった（適切にハザードマップに反映されていなかった）ことを本研究により示すことができた。本研究で実施した多角的・統合的な調査・検討によって近年の地震による液状化域の土地履歴を明らかにできたことは、今後の液状化危険度の高い領域の抽出や液状化被害の軽減につながることから、その意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：The land condition and land history of the liquefied area due to the recent earthquake were clarified. There were many areas located on the past gravel pits in the area that was considered to be the liquefaction occurrence in the natural ground of the 2011 Tohoku Earthquake. It was suggested that small rivers or waterways existed until the Edo period in the zonal liquefaction concentrated area that appeared during the 2016 Kumamoto earthquake. The liquefaction occurrence area in Kiyota Ward, Sapporo City, during the 2018 Hokkaido Eastern Iburu Earthquake was the valley embankment area that was created in the hilly area since the 1980s. Most of the liquefaction areas caused by recent earthquakes have a history of artificial land modification, and the liquefaction vulnerability of artificial ground such as buried soil in river and valley topography and backfill soil in mined areas is high.

研究分野：自然地理学

キーワード：液状化危険度評価 土地履歴 砂利採掘 谷埋め盛土 史料 2011年東北地方太平洋沖地震 2016年熊本地震 2018年北海道胆振東部地震

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地盤の液状化は、臨海部の埋立地や旧河道・旧湖沼など特定の地形条件下で発生しやすいことが明らかにされてきた。そのような液状化発生域と地形との関係性(地形区分ごとの液状化しやすさの差異)は、ハザードマップ作成などの面的な液状化危険度評価を行う際の基準として用いられてきた。それに加え、一部の地域では、砂利や砂鉄などの採掘地を埋め戻した領域(採掘跡地)においても甚大な液状化被害が発生した事例が報告されていた。2011年東北地方太平洋沖地震や2016年熊本地震などにおける液状化発生地点の分布と土地条件に関する調査を私自身が広域的に行った結果、本研究開始時の液状化危険度評価には以下の問題点があることが判明した。

これまで氾濫平野や自然堤防(河川氾濫の作用で流路付近に堆積したおもに砂質土からなる微高地)などの自然地盤における液状化発生とみなされていた領域には、採掘跡地が存在していた事例が多数見出された。採掘跡地における液状化発生事例は一部地域の特殊事例ではなく、多くの地域・領域で発生しており、自然地盤における液状化発生危険度は過大評価されている傾向が判明しつつある。また、砂利採取は、日本列島の多くの沖積平野で行われていた履歴がある。しかし、過去の砂利採取場(砂利採取場跡地)の詳細な分布に関する情報は少なく、既存の地形分類図などにも図示されていない。液状化危険度評価の際には地形分類情報が用いられることが多いため、液状化しやすい砂利採取場跡地の存在に関する情報は、多くの地域のハザードマップに十分反映されていない(液状化危険度の高い領域の抽出が不十分である)と考えられる。

2016年熊本地震においては、既存の地形分類図では自然堤防とされていた領域上で甚大な液状化被害が発生した。この被害領域は幅100m未満の細長い帯状に出現したことから、旧河道の存在の可能性が指摘されているが、実証的なデータは得られていない。自然堤防における液状化発生危険度は相対的にそれほど高くないと評価されているが、既存の地形分類図において自然堤防と図示されている領域には(人為的に埋め立てられた)旧河道や水路跡が「隠れている」可能性があり、液状化危険度の高い領域の抽出が不十分な地域が存在していることが考えられる。

2. 研究の目的

2011年東北地方太平洋沖地震における液状化発生地点の土地条件について、GIS(地理情報システム)上での多時期の地形図(旧版地形図)や空中写真などの地理空間情報を用いた解析や、現地での聞き取り調査などを行うことによって再検討し、特にこれまでの調査研究において自然地盤(氾濫平野や自然堤防など)における液状化発生とみなされていた領域に砂利採取場や砂鉄採取場などを埋め戻した箇所(採掘跡地)がないか明らかにする。それにより、2011年東北地方太平洋沖地震における液状化発生地点の土地条件ごとの液状化しやすさ(液状化発生面積率)を再評価する。また、それらの採掘跡地における液状化発生領域の表層地盤や地下水位に関するデータの収集も進め、それらの領域における液状化発生要因についても検討する。また、その他の地域(とくに、都市近郊部)についても、と同様の方法で採掘跡地を抽出し、その分布を明らかにする。採掘跡地では緩く堆積した埋め戻し土砂が液状化しやすいため、採掘跡地の分布を明らかにすることは現在見落とされている液状化発生危険度の高い領域の抽出につながる。また、それらの領域の表層地盤や地下水位に関するデータについても収集することにより、液状化発生危険度を評価する。

2016年熊本地震において白川左岸で発生した帯状の液状化発生域に関して、多時期の絵図、地図、文書資料、表層地盤データなど多角的に(地理学的視点から)精査することにより、白川河道の変遷史やこの帯状の液状化発生域における旧河道の有無や旧河道埋め立て工事等の人為的土地改変の有無などを検討し、なぜこの領域において甚大な液状化被害が発生したか、その要因を明らかにする。また、本地震被害域を対象としたSAR(合成開口レーダー)干渉画像などの地球観測衛星データ、現地での聞き取り調査結果や応募者によるこれまでの調査研究で得られている液状化発生地点分布に関するデータなどを組み合わせることにより、本地震における液状化発生のタイミング(4月14日M6.5「前震」時発生か?4月16日M7.3「本震」時発生か?)や液状化発生域の時空間変化を明らかにする。

研究期間中(研究着手後)に発生した2018年北海道胆振東部地震において、札幌市近郊の丘陵造成地で甚大な液状化被害が発生した。この地震による液状化発生地点をまず現地踏査により明らかにしたうえで、その液状化発生域の土地条件、土地履歴について、明らかにする。

3. 研究の方法

過去に撮影された空中写真や地図など多時期の地理空間情報を用いたGIS解析、表層地盤や地下水位のデジタルアーカイブ情報を用いた検討や現地での聞き取り調査などを行うことにより、高い時空間分解能で東北地方太平洋沖地震における人為的土地改変地での液状化発生に関する全貌を明らかにし、液状化危険度の高い採掘跡地の抽出、人為的土地改変地での液状化発生要因の検討などを行う。

熊本地震の液状化発生域の土地条件と発生要因について、多時期の絵図、地図、文書資料を用いた人文・社会科学的アプローチに加え、デジタル標高データや表層地盤デジタルアーカイブデータを用いた自然科学的アプローチによる検討を行い、明らかにしていく。液状化発生域の時空間変化について、地球観測衛星データ(SAR干渉画像など)を用いた解析結果と現地での聞き取

り調査を組み合わせる。

2018年北海道胆振東部地震による札幌市清田区の液状化発生地点の分布について、SAR干渉画像によるデータを援用(参考に)したうえで現地踏査を行い、さらに空中写真判読を行うことで明らかにする。それにより明らかにした液状化発生域の土地条件、土地履歴について、多時期の地理空間情報を用いたGIS解析、SfM多視点ステレオ写真測量による解析などにより検討を行う。

4. 研究成果

2011年東北地方太平洋沖地震による鬼怒川・小貝川低地における液状化発生地点の多くは、これまで氾濫平野や自然堤防など、自然地盤における液状化発生とみなされることが多かったが、本研究の結果、そのような自然地盤における液状化発生は少なく、砂利採取場を埋め戻した領域や旧河道において盛土造成した領域など、人工地盤において液状化が多発したことが明らかとなった(図1)。それらの砂利採取場は、1960年代以降造成され、採掘終了後に埋め戻された。したがって、堆積年代が50年未満の新しい人工地盤における液状化発生という点において、臨海部の埋立地や旧河道・旧湖沼などの液状化が多発した土地条件と共通している。また、既存研究によるボーリング資料や地下水位のデータをみると、それら液状化域周辺の地下水位は2~3m以浅と比較的浅い位置にあることが多かった。これらのことから、この地域で発生した液状化は地盤表層部に存在する砂利採取場を埋め戻した土砂(人工地層)が液状化したケースが多かった可能性がある。2016年熊本地震においても同様に、熊本平野を流下する緑川中流域(熊本県御船町陣、甲佐町芝原)において、砂利採取場跡地で液状化が多発した地区が存在したことが明らかとなった。この地区の液状化発生域の多くは、1970年代から1980年代にかけて砂利採取場が造成され、その後埋め戻された領域(砂利採取場跡地)に位置していることが明らかとなった。それに対して、砂利採取場跡地以外の氾濫平野や旧河道では液状化発生地点少なく、自然堤防上の集落における液状化発生地点は存在しなかった。このことから、この地区では、1970年代から1980年代にかけて存在していた砂利採取場の埋め戻しに用いた土砂が液状化したことが考えられる。砂利採取場の造成から埋め戻しまでは数年程度と短いものも多く存在する(青山・小山 2017)ことから、本研究において用いた過去に国土地理院が撮影した空中写真のみからでは砂利採取場をすべて抽出することは困難と思われる。抽出できなかった砂利採取場跡地も存在するものと思われる。砂利採取場跡地は液状化脆弱性が高いことが既存研究においても指摘されている(青山・小山 2017)。また、砂利採取場の一つあたりの面積はそれほど小さくなく、2万5千分の1地形図や治水地形分類図、土地条件図などに図示されることはほとんどない。さらに、過去の砂利採取場の詳細な分布を示した行政資料も残されていない場合が多い。今後、精度の高い液状化危険度評価をおこなうためにも、聞き取り調査や他の資料の精査などにより、砂利採取場跡地の抽出を他地域においても進め、地下水位や表層地盤の調査検討を進める必要がある。

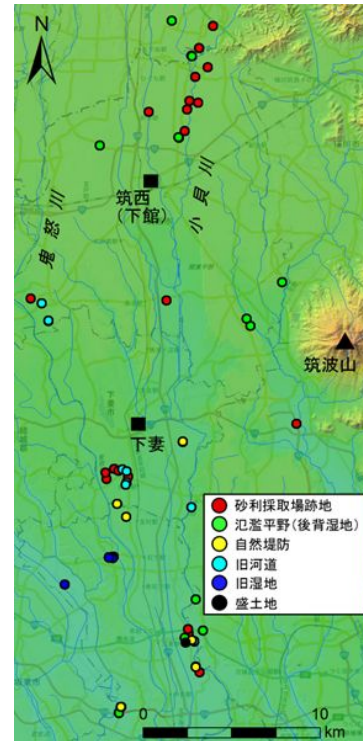


図1 東北地方太平洋沖地震における鬼怒川・小貝川低地の液状化発生域とその土地条件(青山 2019a)

熊本平野を流下する白川左岸の熊本市南区近見から元三町にかけて、表層地盤が砂質堆積物からなる明瞭な微高地が存在しており、2016年熊本地震においては、この砂質微高地において液状化が帯状に発生した(図2)。この砂質微高地をかつての白川が南流していたことが指摘されてきたが、江戸期の絵図、伊能図や、明治期以降の迅速測図、旧版地形図には、「液状化の帯」に該当する位置における河川の存在は認められず、白川河道は現在とほぼ同位置にあり、白川は蓮台寺や近見付近から西に流下していたことがそれらの古地図や絵図から読み取れる。その一方、「液状化の帯」に該当する領域付近には、かつての飽田郡と託麻郡の郡界が記されており、かつての河道の存在を示唆する。この「液状化の帯」の南端付近に位置する寺院である大慈寺に残された文書(大慈寺文書)には、川尻付近において白川と緑川が合流していたとする1276(建治2)年の記述や、大慈寺の東側は白川に、南側は緑川に隣接していたとする1282(弘安5)年の記述がある。これらの記述から、13世紀後半には白川が「液状化の帯」に該当する領域を流下(南下)していたことが示唆された。

江戸期前期の文書には、かつての白川河道における水路整備工事や当時の土地条件を示す記述がみられる。当時(1632~1641年)の熊本藩主の細川忠利は、白川筋の浅い所を掘り、熊本から川尻までの水路整備を計画したが、取り止めになったとの旨を記述する文書(旦夕覚書)がある。その一方、熊本城から川尻までの小川を高瀬舟が通れるよう拡幅する工事を願い出て、1640(寛永17)年6月14日に幕府の認可を受けたことを記した文書や、その小川(水路)の存在を図示した略図(永青文庫「御自分御普請」)などが存在する。また、白川から川尻にかけて、船

通りの川筋を整備する工事があることを 1640 年 7 月 19 日に記した文書（御奉行奉書抄出）も存在する。

これらのことから、中世には「液状化の帯」を南下していた白川は江戸時代前期までには現河道へと流路が変化しており、江戸時代前期には「液状化の帯」に該当する白川旧河道には小規模な河川が存在したことが示唆された。明治期の迅速測図や地形図にはそのような小規模河川の存在は認められないことから、その河川（または水路）はそれまでに消失（陸化）していたことが考えられる。

2018 年北海道胆振東部地震では、札幌市郊外（清田区）の丘陵地に造成された住宅地において、液状化被害が複数の地区で発生したことが確認された。この地域は、国土地理院の治水地形分類図や土地条件図は整備されていないが、地震発生後に国土地理院がこの地区の「地形復元図（地形分類図）」を作成・公開した。この地形復元図は、1961 年撮影の空中写真の判読によって作成された。この地域における液状化発生域のうち、清田区美しが丘地区において詳細な現地調査を行った結果、多くの地点において噴砂の発生が認められた。それらの地点の周辺では、家屋の不同沈下、ブロック塀や電柱の沈下・傾斜、路面の変形（波打ち）などが生じていた。住民への聞き取り調査から、多量の噴砂の堆積が認められた地点では、地震発生翌日まで泥水の発生が持続していたという情報が得られた。美しが丘地区の液状化発生地点とこの地形復元図とを GIS を用いて重ね合わせを行い解析した結果、この地区の液状化は宅地造成前には谷地形が存在していた領域において発生したことが確認された（図 3）。また、1961 年撮影空中写真から SfM（Structure from Motion）解析ソフトを用いて DSM（数値表層モデル）を作成し、造成前の地形や切土・盛土の分布（造成以降の地形変化量）を検討したところ、液状化はかつての谷地形におもに 1980 年代以降造成された谷埋め盛土域において発生したことが明らかとなった（図 3）。このことから、上述の被害は谷埋め盛土の液状化に起因するものと考えられる。この美しが丘地区以外の盛土造成地においても、丘陵地内部の谷埋め盛土域と切土・盛土の境界（切盛境界）において、宅地地盤や路面の開口亀裂、微小なリッジ、路面や盛土の変形など、盛土の地すべりの変動に起因するとされる地盤被害が発生した。

<引用文献>

青山雅史、小山拓志、2011 年東北地方太平洋沖地震による茨城県神栖市、鹿嶋市の液状化発生域と砂利採取場分布の変遷との関係、地学雑誌、126 巻、2017、767-784

青山雅史、2011 年東北地方太平洋沖地震における鬼怒川・小貝川低地の液状化発生域と人為的土地改変との関係、群馬大学教育学部紀要人文・社会科学編、68 巻、2019a、69-78

青山雅史、地形分類図と近年の液状化被害、地理、64 巻 6 号、2019b、64-71

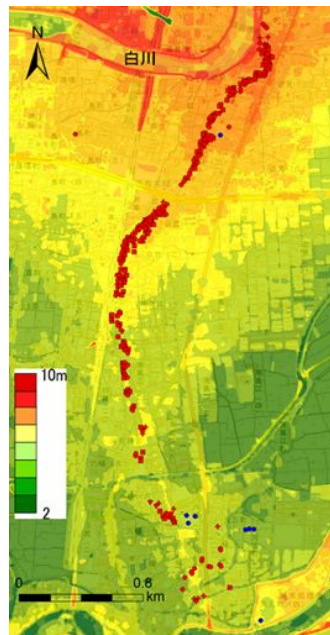


図 2 2016 年熊本地震における熊本市南区近見から元三町における液状化発生地点と標高分布

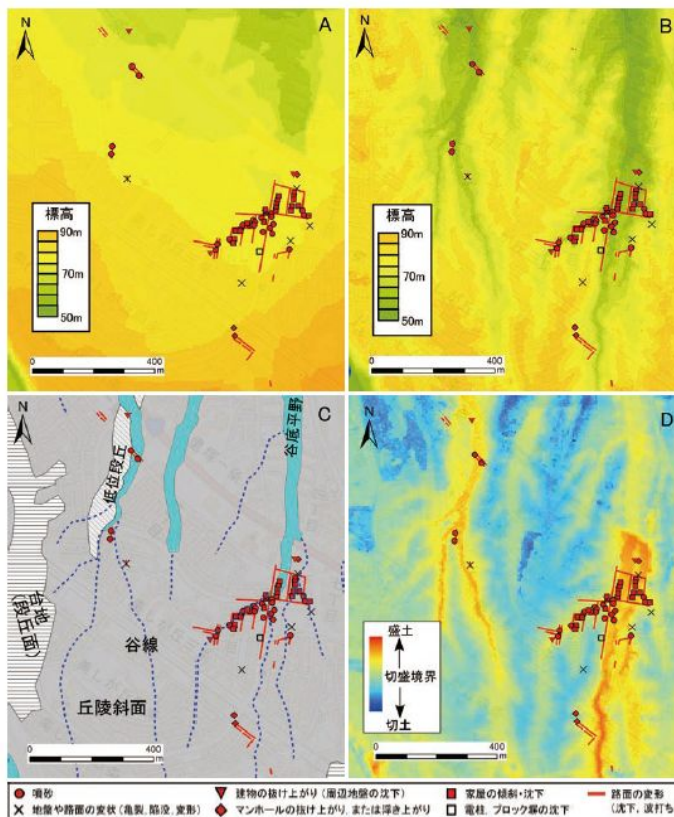


図 3 北海道胆振東部地震における札幌市清田区美しが丘地区の液状化発生地点と地形条件、地形改変との関係（青山 2019b） A：現在の標高分布（基盤地図情報数値標高モデルを用いて作成）、B：1961 年の標高分布（1961 年撮影空中写真より DSM を生成して作成）、C：地形復元図（地形分類図、1961 年撮影空中写真の判読から国土地理院作成）、D：切土・盛土分布（現在の DEM と 1961 年撮影空中写真より生成した DSM との差分から作成）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 青山雅史	4. 巻 64
2. 論文標題 地形分類図と近年の液状化被害	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地理	6. 最初と最後の頁 64-71
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 青山雅史	4. 巻 68
2. 論文標題 2011年東北地方太平洋沖地震における鬼怒川・小貝川低地の液状化発生域と人為的土地改変との関係	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 群馬大学教育学部紀要人文・社会科学編	6. 最初と最後の頁 69-78
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 青山雅史	4. 巻 62
2. 論文標題 旧版地形図・迅速測図から液状化危険地域を読む	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 月刊地理	6. 最初と最後の頁 20-27
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 青山 雅史, 小山 拓志	4. 巻 126
2. 論文標題 2011年東北地方太平洋沖地震による茨城県神栖市, 鹿嶋市の液状化発生域と砂利採取場分布の変遷との関係	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 地学雑誌	6. 最初と最後の頁 767-784
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5026/jgeography.126.767	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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 青山雅史
2. 発表標題 史料・古地図からみた2016年熊本地震「液状化の帯」における土地の履歴
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青山雅史
2. 発表標題 茨城県常総市若宮戸地区における河畔砂丘の人為的地形改変による洪水リスクに対する脆弱化過程
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青山雅史
2. 発表標題 那珂川・久慈川流域における液状化発生域の土地条件の再検討
3. 学会等名 日本地理学会2018年秋季学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青山雅史
2. 発表標題 2018年北海道胆振東部地震による札幌市清田区美しが丘と清田六条・七条地区の宅地地盤被害域の土地条件
3. 学会等名 日本地理学会2019年春季学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青山雅史
2. 発表標題 鬼怒川・小貝低地における人為的土地改変による洪水、液状化災害に対する脆弱化過程
3. 学会等名 2017年日本地理学会秋季学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 青山雅史
2. 発表標題 史料からみた2016年熊本地震「液状化の帯」における土地の履歴
3. 学会等名 2018年日本地理学会春季学術大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔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