

公益財団法人国土地理協会 第16 回学術研究助成
土地履歴からみた液状化被害・水害の発生要因と
危険度評価の検証

研究代表者

青山 雅史

群馬大学教育学部

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震において、臨海部の埋立地や内陸部の旧河道・旧湖沼の埋め立て地、砂利や砂鉄等の採掘地が埋め戻された領域等における液状化の多発と、それらの土地条件を有する領域における液状化被害が報告された（小荒井ほか 2011; 青山ほか 2014; 若松・先名 2014, 2015; 青山・小山 2017）。2016 年 4 月に発生した熊本地震においても、現地踏査および国土地理院が地震発生後に撮影した空中写真や Google Earth 画像などの判読から、旧河道や自然堤防などのほかに、かつて砂利採取が盛んにおこなわれていた緑川下流域における砂利採取場跡地においても液状化が多数発生していた（青山・宇根 2016）。それらの土地条件を有する領域は液状化しやすいことが以前よりある程度知られており、地形・地質条件によって液状化しやすさに差異があることに基づいた（地形分類図を用いた）液状化危険度評価がおこなわれることがある（国土庁防災局震災対策課 1999; 国土地理院 2007; 損害保険料率算出機構 2008）。また、2015 年 9 月に発生した関東・東北豪雨による鬼怒川水害では、茨城県常総市の無堤区間における人為的土地改変（鬼怒川河畔砂丘の人為的削剥）が溢水の発生に大きく影響したことが、報道等により指摘された。このように、臨海部浅海域や内陸部旧河道・旧湖沼の埋め立て、採掘地の埋め戻しや河畔砂丘の人為的削剥などの人為的土地改変は、液状化や洪水などの発生に影響を与えていることが指摘されている。

日本列島の沖積低地では、捷水路の開削等による河川流路の付け替え、臨海部浅海域および旧河道・旧湖沼の埋め立てや干拓、砂利や砂鉄等の採掘と採掘後の埋め戻しなど、人為的土地改変が多くのある場所においておこなわれてきた。日本列島の沖積平野を対象とした地形発達史や土木史に関する研究、国土地理院治水地形分類図や土地条件図の作成、近年の液状化発生地点の土地条件に関する研究などから、河道変遷史や旧河道・旧湖沼の詳細な分布は明らかにされつつある。しかし、過去の採掘地（採掘跡地）の詳細な分布は、それに関する行政資料が残されていないことが多く不明な点が多い。また、その分布は国土地理院刊行の治水地形分類図や土地条件図などにも図示されていない。そのような状況から、採掘跡地は液状化しやすいにもかかわらず、液状化危険度評価においてその分布は十分に反映されていないことがあり、液状化危険度が過小評価されている領域が多く存在している可能性がある。また、常総市の鬼怒川溢水発生地点では、建材としての砂の採取を目的として河畔砂丘の大規模な削剥や、太陽光発電のソーラーパネル設置のためわずかに残存していた河畔砂丘が削剥された結果、堤防の役割を担っていた河畔砂丘の縮小が進み、この地域における水害に対する脆弱化が進行していた。

このような状況を踏まえ、本研究では、2011 年東北地方太平洋沖地震において液状化が発生し、2015 年関東・東北豪雨において水害が発生した鬼怒川・小貝川低地と、2016 年熊本地震において液状化が発生した熊本平野を対象とし、現地踏査、地域住民を対象とした聞き取り調査、過去に撮影された空中写真、旧版地形図、衛星画像や数値標高モデルなどを用いた GIS 解析などからそれらの地域の地形や土地利用の時系列変化を検討し、地形・表層地盤の人為的改変が上記の災害発生に与えた影響を明らかにすることを目的とする。それら両地域とも、河川流路の変化がこれまで多数生じており、人為的な河道付け替えも多くおこなわれ、旧河道やそれに沿って発達した自然堤防も多く分布している。また、砂利や砂の採取が盛んにおこなわれていた履歴も有する。

2. 調査地域

2-1. 鬼怒川・小貝川低地

鬼怒川・小貝川低地は茨城県西部に位置し、西側に鬼怒川、東側に小貝川が流下し、その両河川に挟まれた沖積低地である(図1)。鬼怒川や小貝川はかつてより河道変遷を繰り返しており、大正・昭和期以降は捷水路開削を伴う河道付け替え(河道直流化)が複数の地点でおこなわれている。また、本地域においては、高度経済成長期以降、砂利採取が盛んにおこなわれていた(千代川村史編さん委員会 1998, 1999)。2011年東北地方太平洋沖地震においては、鬼怒川・小貝川低地においても複数の地点において液状化の発生が確認されており(小荒井ほか 2011; 国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学 2011; 先名ほか 2012; 若松・先名 2015)、下妻市鬼怒では、液状化発生の影響を受けた家屋被害なども報告されている(小荒井ほか 2011; 若松・先名 2015)。

2015年関東・東北豪雨における溢水発生地点の常総市若宮戸地区には、鬼怒川左岸沿いに比高数 m の河畔砂丘が分布し、それが堤防の役割を担うとされ、この河畔砂丘が連続的に分布している領域は堤防が存在しない無堤区間となっていた(図2)。2015年9月10日にこの無堤区間の2地点において溢水が発生し、この下流側の常総市上三坂地区では鬼怒川左岸の堤防が決壊した。これにより、それらの地点から氾濫水が堤内地に侵入して常総市の広い範囲が浸水した。

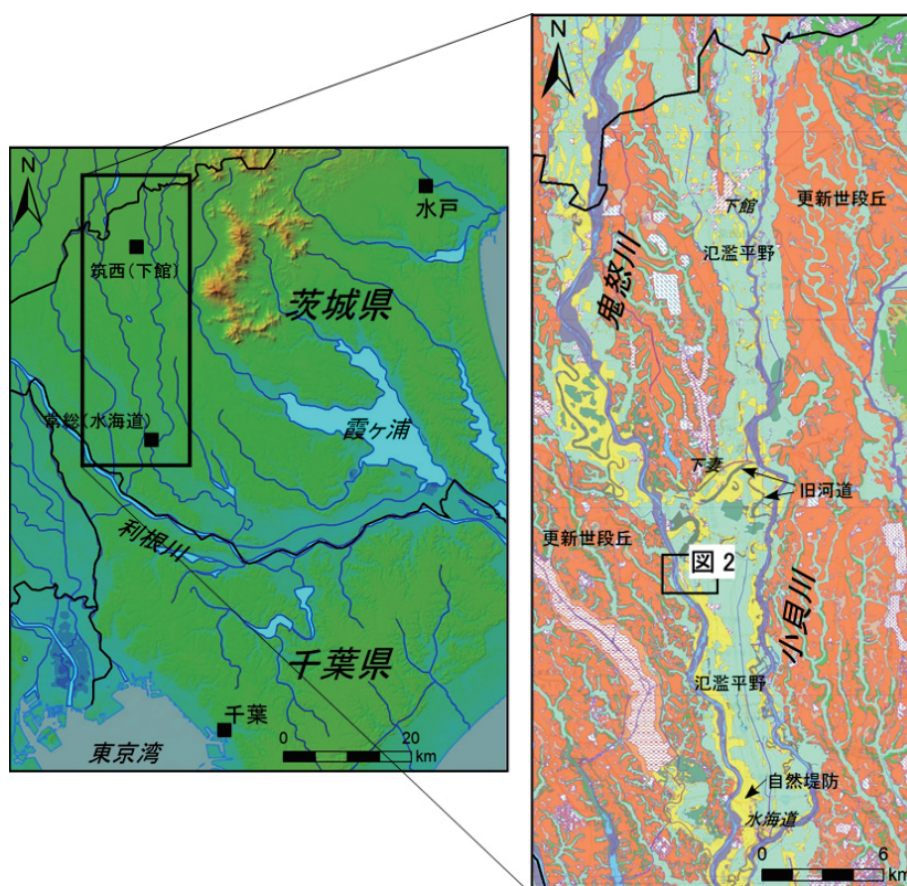


図1 調査地域(鬼怒川・小貝川低地)の位置と地形
(国土地理院数値地図25000(土地条件)を用いた)



図2 常総市若宮戸地区周辺の地形と河川堤防の分布
(国土地理院治水地形分類図更新版を用いた)

2-2. 熊本平野

熊本平野は白川、緑川などの河川が形成した沖積平野である。白川は阿蘇カルデラを水源に持ち、下流部においては白川河道および複数の旧河道沿いに自然堤防が分布している(図3)。白川と緑川の河口域には、近世以降に形成された干拓地がひろがっている。2016年4月14日に、熊本地方を震源とするマグニチュード6.5の地震が発生し、益城町において震度7を観測した。その2日後の4月16日にはマグニチュード7.3の地震が発生し、益城町と西原村において震度7を観測した。2016年4月14日から同年4月16日にかけて、熊本地方において最大震度6弱以上の揺れが観測された地震が7

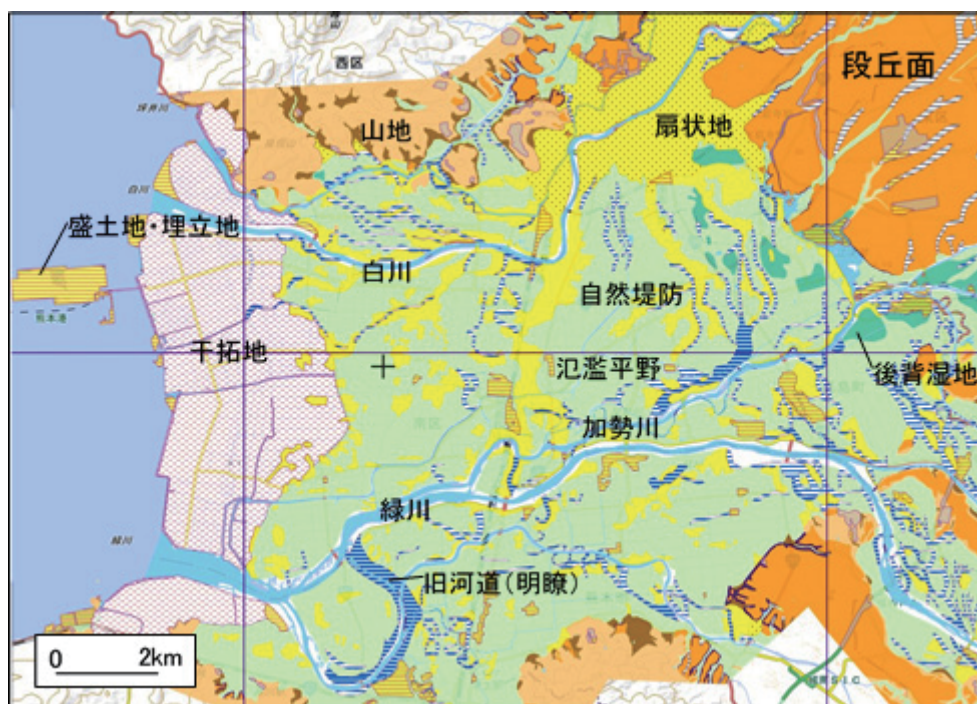


図3 調査地域(熊本平野)の地形
(国土地理院治水地形分類図更新版を用いた)

回発生しており、この一連の地震により、熊本平野の広範囲において液状化が発生した（青山・宇根 2016; 若松ほか 2017）。特に、上述の白川下流の自然堤防において甚大な液状化被害が帯状に出現した領域があり、その液状化被害域は「液状化の帯」として大きく報道された（2016 年 5 月 4 日付朝日新聞朝刊）。熊本地震による液状化は、阿蘇カルデラ内においても多くの地点で発生した（若松ほか 2017）。

3. 調査方法

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域の土地条件を明らかにするため、国土地理院数値地図 25000（土地条件）、旧版地形図や 1940 年代後期以降米軍や国土地理院により撮影された多時期の空中写真等の地理空間情報を用いた GIS（Arc GIS10.3.1）解析（液状化発生域と地理空間情報の重ね合わせ）、文献資料調査などを実施した。本地域においては、現地踏査による液状化発生域の分布に関する調査は実施しておらず、東北地方太平洋沖地震発生後数ヶ月以内に撮影された空中写真や Google Earth 画像等も存在しないと思われるため、液状化発生域に関するデータは国土交通省関東地方整備局・地盤工学会（2011）による既存データを用いた。

2015 年関東・東北豪雨による溢水発生地点の一つである茨城県常総市若宮戸地区鬼怒川左岸側河畔砂丘における 1947 年以降の人為的地形変化（特に河畔砂丘の平面分布と面積の変化）と土地利用変化について、多時期の米軍・国土地理院撮影空中写真の判読（実体視）、それらの空中写真や旧版地形図等を用いた GIS 解析（砂採取などの人為的土地改変域の同定や河畔砂丘の面積測定）、砂採取に伴う河畔砂丘削割に関連した集落内の石碑に関する調査、住民への聞き取り調査などから検討した。

2016 年熊本地震における液状化発生域の分布とその土地条件を明らかにするため、熊本平野を対象として現地踏査をおこない、目視観察に基づいて液状化発生地点（噴砂、液状化に起因と思われる構造物被害や地盤変状）のマッピングを実施した。また、国土地理院撮影空中写真や Google Earth 画像などを用いて、それらから明瞭に視認できる噴砂の抽出・マッピングをおこなった。GIS（Arc GIS 10.3.1）を用いて、液状化発生地点と国土地理院数値地図 25000（土地条件）や空中写真などとの重ね合わせによる液状化発生地点の土地条件の検討、国土地理院数値標高モデルを用いた液状化発生域の地形条件の検討などをおこなった。さらに、旧版地形図、江戸期の絵図や文書資料を用いて、液状化発生地点の土地履歴（特に河道（水路）や土地利用の変化）を検討した。それらに加え、SAR 干渉画像を用いて液状化発生域の時空間変化についても検討した。

4. 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 液状化発生域と砂利採取場跡地の分布との関係

2011 年東北地方太平洋沖地震においては、東日本の太平洋側を中心とした広範囲の多くの領域で地盤の液状化が発生した。鬼怒川・小貝川低地においても、複数の地点における液状化の発生が報告されている（小荒井ほか 2011; 国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学 2011; 先名ほか 2012; 若松・先名 2015）。それらの液状化発生域の土地条件として、旧河道における昭和期以降の造成地のほか、後背湿地や自然堤防などの自然地盤においても多数の液状化発生が指摘されている（国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学 2011）。それらの液状化発生域の地形条件を国土地理院治水地形分類図で確認すると、旧河道、盛土地のほか、氾濫平野や自然堤防などと分類されている領域も多く見られた。

それらの液状化発生域の土地条件について、1940 年代後半以降に米軍や国土地理院により撮影され

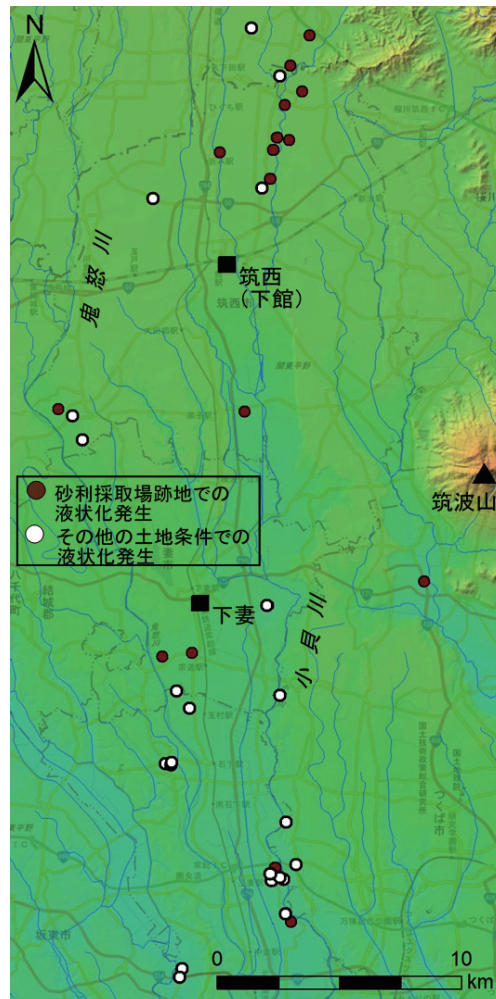


図4 東北地方太平洋沖地震における鬼怒川・小貝川低地の
液状化発生域と砂利採取場分布との関係
液状化発生域は国交省関東地整・地盤工学会（2011）に基づく

た空中写真を用いて再検討したところ、それらの液状化発生域のうちの複数の地点において、1960年代後半（高度成長期）以降砂利採取場が存在し、砂利採取履歴を有していることが明らかとなった（図4）。それらの砂利採取場は砂利採取終了後埋め戻され、水田等の農地や宅地へと変化している。それらの地点では、砂利採取場埋め戻し土が液状化した可能性が考えられ、砂利採取場の造成と砂利採掘後の埋め戻しといった人為的土地改変が液状化の発生に大きく影響していることが指摘できる。

ここでは、鬼怒川・小貝川低地の3つの地区における土地の履歴について、国土地理院が撮影した多時期の空中写真を用いて、以下詳述していく。

4-1. 筑西市北部（大関、井出姥沢）と南西部（関本肥土）における液状化発生域の土地履歴

栃木県真岡市から茨城県筑西市の小貝川沿いの低地にある大関、井手姥沢、小栗などの地区においては、液状化発生域が多数分布する（図5）。これらは、既存の報告では後背湿地や自然堤防などの自然地盤における液状化発生とみなされてきた（国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学2011; 先名ほか2012; 若松・先名2015）。

これらの地区の土地履歴について、国土地理院が過去に撮影した多時期の空中写真で検討した結果、この地区の液状化発生域には1970年代から1990年代にかけて砂利採取場が存在していたことが判読された（図6）。それらの砂利採取場の分布は空中写真の撮影年ごとに異なっており、時系列で細かく

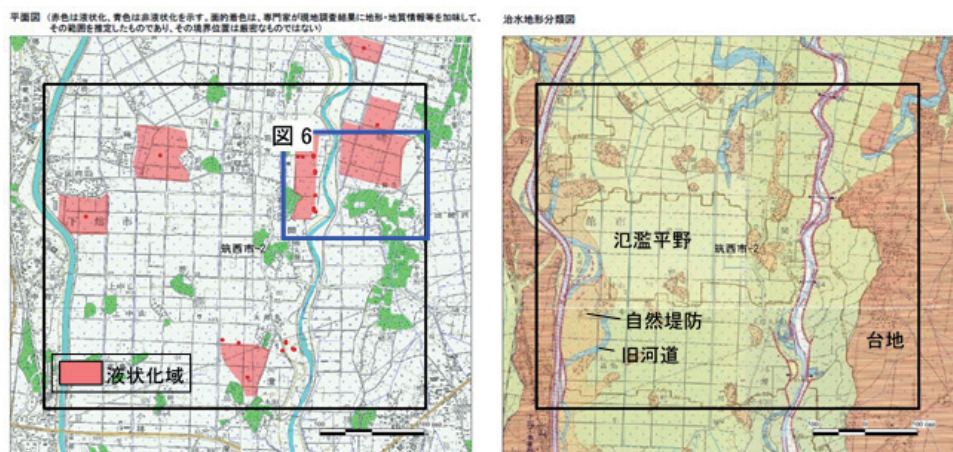


図5 筑西市北部（大関、井出姥沢）における液状化発生域と地形区分
国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学（2011）に加筆

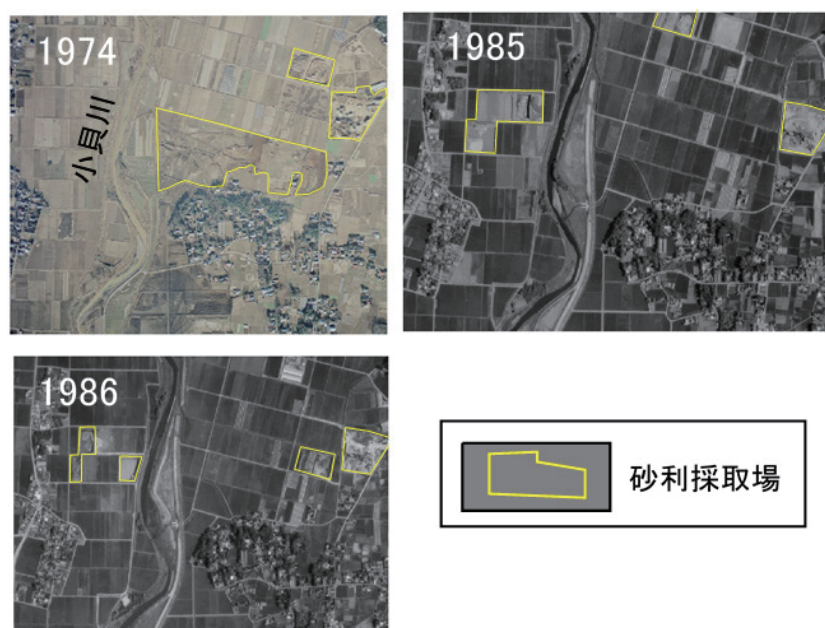


図6 筑西市北部（大関、井出姥沢）における砂利採取場分布の時系列変化
国土地理院撮影空中写真を用いた

変化していることが読み取れる。一つの砂利採取場の面積はそれほど大きくないが、異なる時期に採掘され、埋め戻された砂利採取場（砂利採取場跡地）が多数分布している。それらの砂利採取場では砂利の採掘が終了すると埋め戻され、現在は水田や畑などの耕作地となっている領域がほとんどである。これらのことから、この地区では、表層部に堆積している砂利採取場の埋め戻しに用いられた土砂（人工地層）が液状化した可能性がある。

筑西市南西部の鬼怒川左岸にある関本肥土、関本中や上野などの地区においては、複数の液状化発生域が分布する（図7）。これらは、既存の報告では後背湿地や旧河道などを農地として造成した領域における液状化発生とみなされている（国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学 2011）。

これらの地区の土地履歴についても、国土地理院が過去に撮影した多時期の空中写真で検討した結果、関本肥土の液状化発生域の一部領域における砂利採取場の存在が、1975年11月、1976年5月、1980年10月の3時期の国土地理院撮影空中写真から確認できる（図8）。この砂利採取場はその後埋め戻され、1985年5月撮影空中写真では農地となっていることが判読できる。1967年10月から1974年12月までの間の約7年間、この地区を撮影した空中写真は存在しない。この時期は、後述するよう

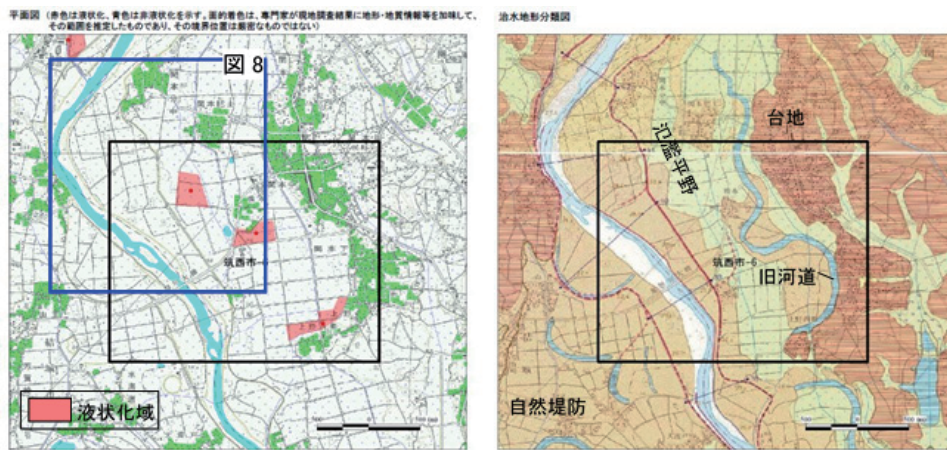


図7 筑西市南西部（関本肥土）における液状化発生域と地形区分
国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学（2011）に加筆

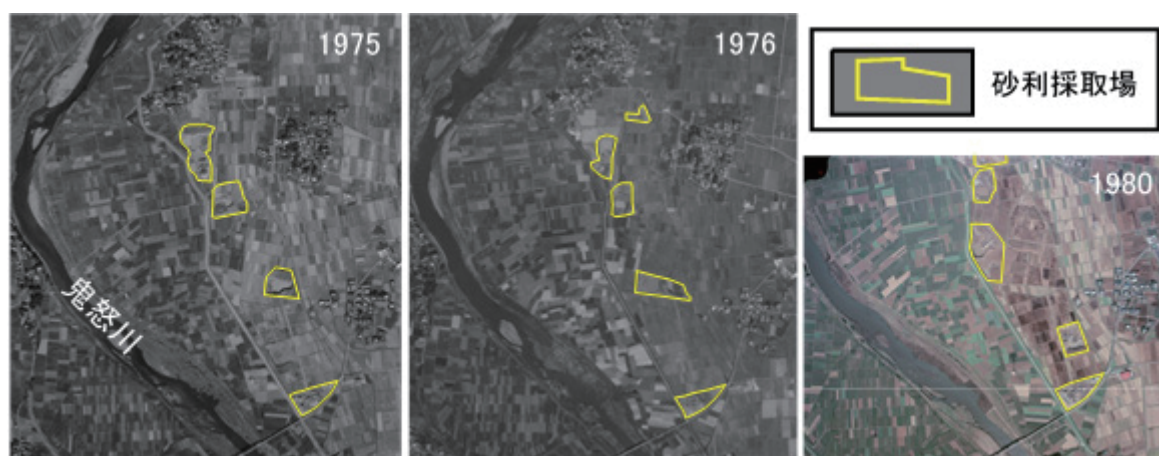


図8 筑西市南西部（関本肥土）における砂利採取場分布の時系列変化
国土地理院撮影空中写真を用いた

に鬼怒川・小貝川低地において多くの領域で砂や砂利の採取がおこなわれていた時期であり，その間のこの地区における砂利採取履歴を今後多角的に検討する必要がある。

4-2. 下妻市南部（鬼怒）における液状化発生域の土地履歴

茨城県下妻市南部の鬼怒地区では，多くの地点における液状化の発生が確認されている（小荒井ほか 2011；国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学 2011；先名ほか 2012；若松・先名 2015）。それらの液状化発生地点は，国土地理院治水地形分類図に基づくと，鬼怒川のかつての蛇行部であった旧河道やそれに沿って存在する自然堤防に集中的に分布している（図9）。この地区の液状化発生域の土地条件について，既存の報告においては，鬼怒川旧河道やそれに沿った自然堤防における液状化発生とされている（小荒井ほか 2011；国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学 2011；先名ほか 2012；若松・先名 2015）。

この地区の土地履歴について，この地区に設置されている土地履歴に関する石碑，文献，旧版地形図や米軍・国土地理院が撮影した多時期の空中写真から検討する。この鬼怒地区の旧河道は，昭和初期に捷水路開削を伴う河川改修工事によって廃川化された領域であり，1935（昭和10）年に現河道への付け替えがおこなわれ，1938（昭和13）年に完工したとの記述がこの地区に設置されている石碑から読み取れる。また，1947年米軍撮影空中写真を判読すると，旧河道が水田になっていることが読み取れる（小荒井ほか 2011）。これらのことは，この間に作成された旧版地形図からも読み取れる。そ

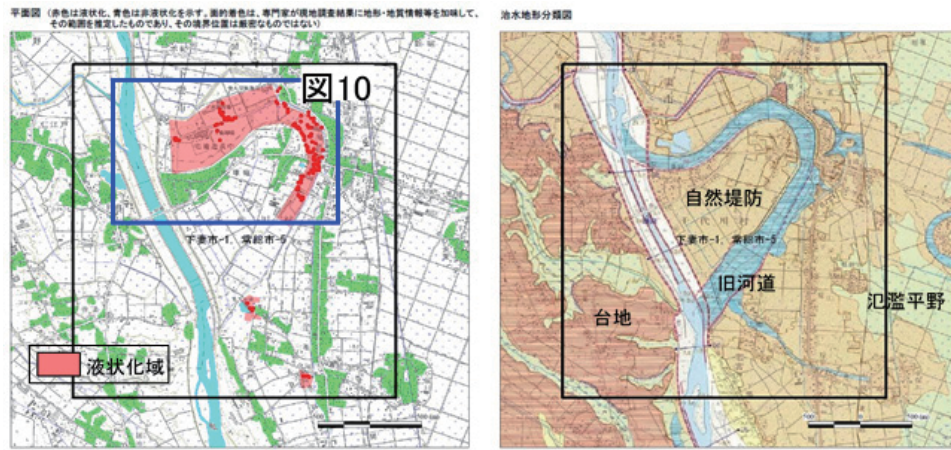


図9 下妻市南部（鬼怒）における液状化発生域と地形区分
国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学（2011）に加筆

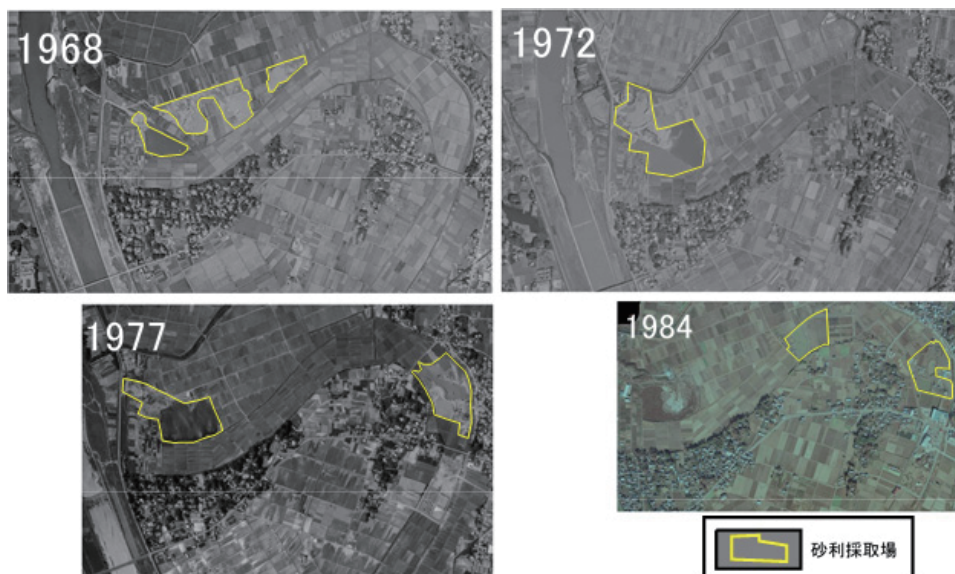


図10 下妻市南部（鬼怒）における砂利採取場分布の時系列変化
国土地理院撮影空中写真を用いた

の後、この地区の液状化発生域の多くの領域において、1960年代後期から1990年代にかけて砂利採取場が存在していたことが、この間に国土地理院が撮影した空中写真から判読できる（図10）。筑西市北部の事例と同様に、それらの砂利採取場の分布は空中写真の撮影年ごとに異なっており、時系列で細かく変化していることが読み取れる。それらの砂利採取場では砂利の採掘が終了すると埋め戻され、現在はごみ処理施設「クリーンポート・きぬ」、総合公園「フィットネスパーク・きぬ」、水田や住宅地などとして造成・整備されている。その住宅地において、液状化に起因すると思われる戸建家屋の不同沈下等の被害が生じた（小荒井ほか 2011; 若松・先名 2015）。

以上のことから、この地区においては、旧河道における水田造成時の盛土のほか、砂利採取場の埋め戻し土などの地盤表層部に堆積する人工地層が液状化した可能性がある。

4-3. 常総市東部（上蛇町，川崎町）における液状化発生域の土地履歴

小貝川右岸の常総市上蛇町においては、かつての小貝川蛇行部が三日月湖（河跡湖）として残存しており、その周辺は公園（吉野公園）として整備されている。その旧河道周辺部において液状化が発生し、旧河道のポイントバーでははらみ出しが生じたことにより、河川方向に沿った多数の開口亀裂

の存在が確認された（小荒井ほか 2011）。治水地形分類図によると、この液状化発生域の地形条件は氾濫平野および自然堤防である（図 11）。その 1km ほど下流側の常総市川崎町においても農地における噴砂の発生が確認されている（国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学 2011）。

この地区における土地履歴を米軍や国土地理院が過去に撮影した多時期の空中写真や先行研究から検討する。上蛇町の吉野公園周囲の旧河道は、1948 年米軍撮影空中写真を確認すると、その空中写真撮影時にはまだ小貝川本川であったことが読み取れる（小荒井ほか 2011）。1959 年国土地理院撮影空中写真撮影時には、小貝川河道は直川化しており、現在と同様の流路となっていることが判読できるため、その間に河道の付け替えがおこなわれたものと思われる。1972 年国土地理院撮影空中写真から、吉野公園北側の旧河道周辺において砂利採取場と思われる領域の存在が確認できる（図 12）。この砂利採取場はその後拡大し、1970 年代後期まで砂利の採掘がおこなわれていたことが、1970 年代後期に国土地理院により撮影された空中写真から判読できる。その後、この砂利採取場は埋め戻され、その領域のほとんどは吉野公園に隣接する総合スポーツ施設として整備されている。

川崎町の液状化発生域も、上蛇町の液状化発生域と同様の土地改変履歴を有していることが空中写真から確認できる。1972 年国土地理院撮影空中写真から、この液状化発生域に砂利採取場が造成されていたことが読み取れる。この砂利採取場は 1975 年 1 月国土地理院撮影空中写真においてもその存在が確認できるが、その後撮影された空中写真においては農地になっていることが確認できる。



図 11 常総市東部（上蛇町、川崎町）における液状化発生域と地形区分
国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学（2011）に加筆



図 12 常総市東部（上蛇町、川崎町）における砂利採取場分布の時系列変化
国土地理院撮影空中写真を用いた

このように、この地区の液状化発生域のほとんどは、小貝川沿いの氾濫平野や自然堤防上に造成された砂利採取場を埋め戻した領域や、旧河道蛇行部のポイントバーに分布しており、砂利採取場の埋め戻し土を構成する人工地層やポイントバー堆積物が液状化した可能性が考えられる。

5. 2015 年関東・東北豪雨の鬼怒川溢水発生地点（常総市若宮戸地区）における 河畔砂丘の人為的地形改変履歴と土地利用変遷

2015 年 9 月関東・東北豪雨において鬼怒川からの溢水が生じた常総市若宮戸地区には、鬼怒川河道と集落間に河畔砂丘が存在する。1947 年撮影米軍空中写真や旧版地形図等をみると、この河畔砂丘は尾根状の高まりが複数存在し、現在よりも広い面積にわたって分布しており、比高も大きかったことなどが読み取れる。これまでは、この河畔砂丘が堤防の役割を担っており、この河畔砂丘が連続的に存在している区間は堤防のない区間（無堤区間）となっていた。しかし、この河畔砂丘は 1960 年代高度経済成長期以降人為的削剥が進み、2015 年関東・東北豪雨発生前には河畔砂丘が完全に消失した区間が出現し、暫定的に土のうが設置されていた状況であった。2015 年関東・東北豪雨による若宮戸地区の溢水は、そのような河畔砂丘が人為的に削剥された領域において発生した。報道では、2014 年以降に生じた太陽光発電ソーラーパネル設置に伴う土地改変のみが大きく取り上げられたが、それ以前から河畔砂丘の削剥は進行しており、若宮戸地区における洪水に対する脆弱性は増加していたことが、本調査研究により明らかとなった。

本章では、この常総市若宮戸地区に存在する河畔砂丘の人為的地形改変の履歴と、この地区の土地利用変遷について詳述し、それらの土地改変が 2015 年関東・東北豪雨におけるこの地区での溢水の発生に大きく影響したことを示す。

5-1. 常総市若宮戸地区の河畔砂丘における人為的地形改変の履歴

常総市若宮戸地区の鬼怒川左岸に分布する河畔砂丘の 1940 年代後期以降の人為的地形改変の履歴について、米軍・国土地理院が撮影した多時期の空中写真の実体視や Google Earth 画像の判読および GIS による解析、文献資料調査や住民を対象におこなった聞き取り調査などの結果に基づいて述べていく。

米軍・国土地理院撮影空中写真および Google Earth 画像から判読した若宮戸地区の河畔砂丘の変遷および土地履歴について、図 13 に示す。また、GIS による解析で得られた河畔砂丘面積の時系列変化を図 14 に示す。1947 年 10 月米軍撮影空中写真を判読すると、鬼怒川河道と若宮戸集落間に 3～4 列の明瞭なりッジを伴う河畔砂丘が存在していることが読み取れる。この河畔砂丘の南北方向の長さは 2,000m 弱、東西方向の最大幅は 400m 弱であり、面積は 41.7ha であった。住民への聞き取り調査においても、河畔砂丘の尾根は 3 列存在し、集落側（東側）の尾根が最も高く、現在残存している河畔砂丘よりも高くその頂部には標高 32m を示す三角点が存在したという。このことは、当時の旧版地形図においても読み取ることができる。

1964 年 5 月国土地理院撮影空中写真を判読すると、河畔砂丘の河道側（西側）の鬼怒川左岸河床において、砂の採掘を示すものと思われる痕跡が読み取れる。現在から約 50 年前（1965 年前後）までは鬼怒川河床において砂の採取がおこなわれていたといった聞き取り調査結果も得られている。河畔砂丘については、1947 年段階から大きな地形変化は認められない。

1968 年 8 月国土地理院撮影空中写真を判読すると、河畔砂丘北半部の集落側が削剥されて河畔砂丘北半部が大幅に縮小し、河畔砂丘の尾根が 1 列のみとなって河畔砂丘の幅が小さくなっていた区間

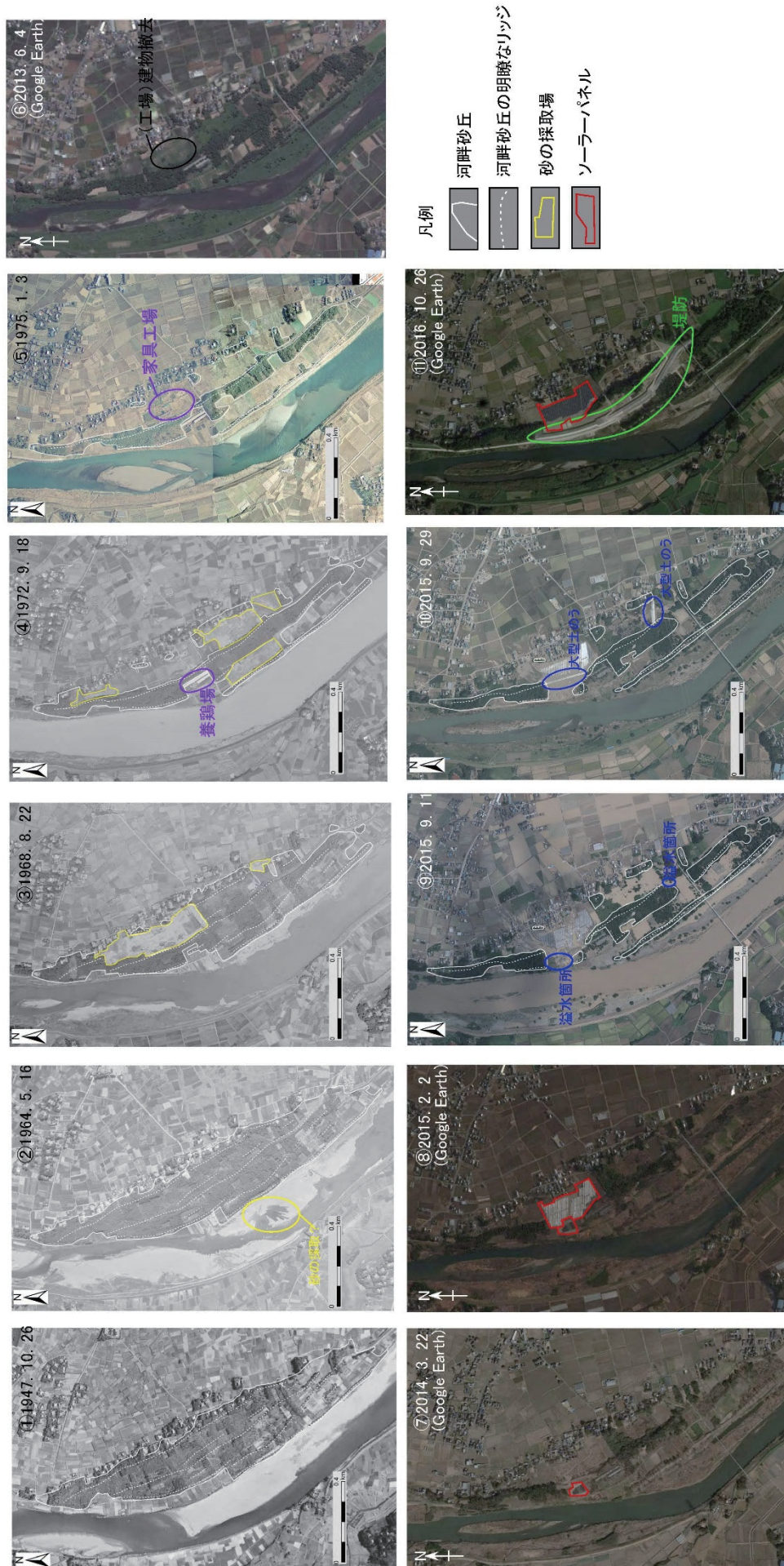


図 13 若宮戸地区における鬼怒川左岸河畔砂丘の時系列変化と人為的土地改変の履歴

が生じたことなどが読み取れる。河畔砂丘の面積は、1947 年当時の 41.7ha から 31.4ha へと大幅に減少した（図 14）。聞き取り調査によると、1964 年東京オリンピックの頃から 1970 年代中期まで河畔砂丘を削り、砂を採取していたとのことであり、後述するように、この河畔砂丘において砂の採取のため河畔砂丘を削った旨を 1968 年に記述した石碑が存在することなどから、砂の採取工事によってこの河畔砂丘の削剥が進行したものと判断できる。河畔砂丘北半部の集落側の尾根はこの時期に大部分が消失したが、現在でも集落内において点的にわずかに残存している箇所がある。住民への聞き取り調査によると、風よけのために残したとのことであった。また、砂を東京方面に運搬するダンプカーが集落内を多数通行して危険だったことや、砂を売った収入で新築（改築）した家屋が多かったことなど、当時の若宮戸地区において砂の採取が活発におこなわれていたことを示す情報も聞き取り調査により得ることができた。

1972 年 9 月国土地理院撮影空中写真を判読すると、河畔砂丘南半部においても削剥が進行していることが読み取れる。また、河畔砂丘北半部においても河畔砂丘の削剥がさらに進行していることも判読できる。聞き取り調査においても、河畔砂丘での砂の採取は北部で始まり、後に南部でもおこなわれたとの情報が得られていることから、この河畔砂丘南半部の削剥も砂の採取によるものと判断できる。河畔砂丘の面積は、1968 年段階からさらに減少して 19.1ha であり、1947 年当時の 5 割弱と大幅に減少した（図 14）。河畔砂丘南半部の集落側の尾根はこの時期に大部分が消失したが、河畔砂丘北半部と同様に集落内において点的にわずかに残存している箇所がある。

1975 年 1 月国土地理院撮影空中写真を判読すると、河畔砂丘における砂の採取跡地に工場が造成されたことが読み取れる。聞き取り調査によると、この工場は家具関連の工場であったという。また、この空中写真の判読から、河畔砂丘におけるかつての砂の採取地のほとんどは上述の工場や空き地などへと変化し、砂の採取がおこなわれている様子は読み取れない。したがって、この時期には河畔砂丘における砂の採取は終了していたと思われる。この時期の河畔砂丘の面積は 15.8ha であり、1972 年当時よりもさらに縮小している（図 14）。

その後、しばらくこの河畔砂丘に大きな変化は認められず、2013 年 6 月の Google Earth 画像をみると、先述の工場は撤去されていることがわかる。聞き取り調査によっても、工場が撤去されてから後述の太陽光発電ソーラーパネルが設置されるまでは空き地になっていたとの情報が得られている。

2014 年 3 月の Google Earth 画像をみると、河畔砂丘を削剥してソーラーパネルが設置され、さらにその集落側（東側）にも別事業者（事業者 B）によってソーラーパネル設置のための造成工事が進行し、その結果河畔砂丘のような高まり状の地形が消失した区間が生じたことが読み取れる。国土交通省関東地方整備局（2016）によると、若宮戸地区住民と常総市が浸水被害への懸念から河畔砂丘の削剥を伴う工事の中止を国土交通省下館河川事務所に申し入れ、下館工事事務所が常総市と連携してさらに事業者 B に河畔砂丘を残すことを申し入れたが合意にいたらず、2014 年 7 月に緊急的な措置として土地を借りて事業者 B のソーラーパネル用地河川側に大型土のうを設置したという。住民への聞き

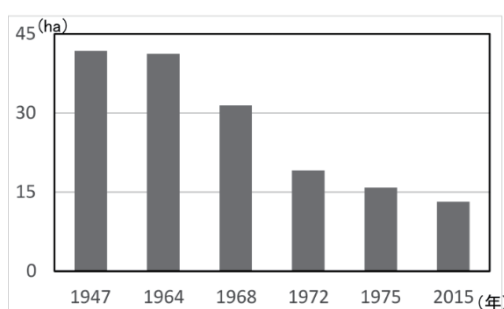


図 14 若宮戸地区鬼怒川左岸河畔砂丘の面積時系列変化



図 15 若宮戸北部溢水発生箇所
ソーラーパネル設置に伴う造成工事による
河畔砂丘消失区間（2016 年 3 月 4 日撮影）



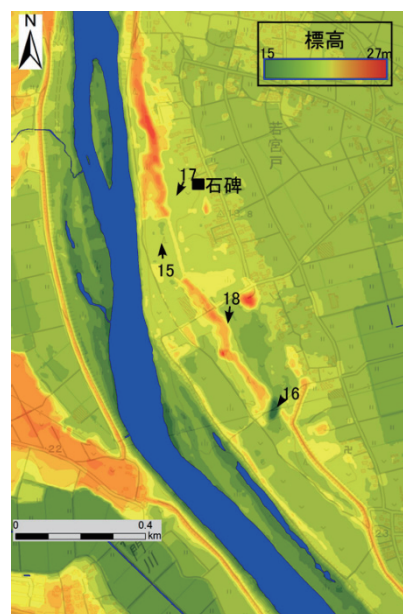
図 16 若宮戸南部溢水発生箇所における地盤洗掘
（2016 年 3 月 4 日撮影）



図 17 河畔砂丘北半部
写真左端はソーラーパネル設置に伴う造成工事よる
河畔砂丘消失箇所（2017 年 7 月 15 日撮影）



図 18 河畔砂丘北半部
（2017 年 2 月 24 日撮影）



数字と矢印は写真（図）の
撮影位置と方向を示し、
各写真（図）の番号に対応

図 19 若宮戸地区河畔砂丘（2015 年度）の標高段彩図と
砂採取履歴を記す石碑の位置

取り調査によっても、2014年3月からソーラーパネル設置のための造成工事が始まり、それによって河畔砂丘の削剥が進行し、2015年1月には河畔砂丘の尾根状の高まりが消失していた区間が生じていたことを住民が確認していたとの情報が得られた。2015年2月のGoogle Earth画像をみると、事業者Bのソーラーパネルの設置が完了していることが読み取れる。

2015年9月関東・東北豪雨により、若宮戸地区の2箇所において9月10日に溢水が発生したことが報告されている（図13、15、国土交通省関東地方整備局2016）。溢水は、上述の砂の採取やソーラーパネル設置に伴い河畔砂丘が削られ、河畔砂丘の幅が狭まって（細くなって）いた区間において発生した（図15、16）。河畔砂丘南部の溢水発生地点では地盤が深く洗掘されており、これは溢水の影響で生じたものと思われる（図16、19）。2015年9月時点での河畔砂丘の面積は13.1haであり、1947年時点の31.4%に減少していた（図14）。水害発生後、これらの溢水発生地点を含む若宮戸地区の無堤区間において築堤工事が進行している。住民への聞き取り調査によると、若宮戸地区では最近数十年間浸水被害が生じたことはなく、1947年カスリーン台風時にもこの地区への浸水はなかったとのことである。また、かつては燃料としてマツの葉を採取するため河畔砂丘内に入る機会があったが、最近はそのような機会がなく人が入らなくなって荒れ放題となり、廃棄物が残置されていたような状況であったという。

5-2. 若宮戸地区の河畔砂丘における砂の採取履歴を示す石碑

若宮戸集落内には、元来河畔砂丘の頂部にあった石碑や石塔が砂採取工事で河畔砂丘が削られたことによって移築されたことを1968（昭和43）年に記した石碑が存在する（図20）。この石碑に記された碑文は以下の通りである。

是に内陸の大砂丘あり標高凡そ三十余米 頂に古くより風鈴塔大権現等ありたまたま砂取工事ありて山を削る

ここに移転して厚くこれを祀る

昭和四十三年八月吉日

この碑文の記述内容は、前述の空中写真判読から判明した河畔砂丘北半部の削剥時期や住民への聞き取り調査内容と合致しており、河畔砂丘の削剥が砂の採取のため進行したことを示している。



図20 若宮戸集落内に存在する河畔砂丘における砂の採取履歴を記した石碑
(2017年7月15日撮影)

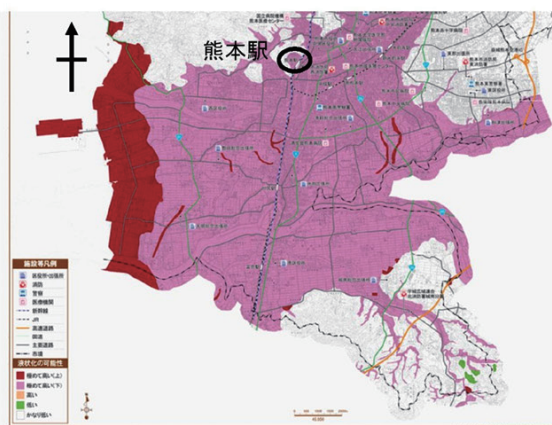
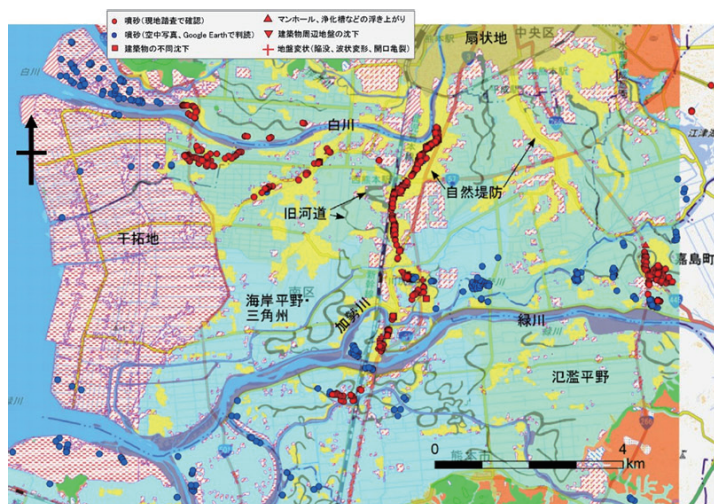
5-3. 2015 年 9 月関東・東北豪雨による溢水発生地点と人為的土地改変との関係

前述のように、2015 年 9 月関東・東北豪雨における若宮戸地区の無堤区間での溢水は、1960 年代から 1970 年代にかけての砂の採取に伴う河畔砂丘の削剥が進んで河畔砂丘の幅が狭まって（細くなって）いた区間や、2014 年以降のソーラーパネル設置のための造成工事によって河畔砂丘が消失したことによる緊急的な措置として大型土のうが設置されていた区間において生じた。無堤区間に存在していた河畔砂丘は、元来 3～4 列の高まり（尾根）を有し、最大幅も 400m 弱あった。しかし、最も大きい比高を持つ集落側の高まりは、1960 年代中期から 1970 年代中期にかけての砂の採取を目的とした削剥により、その大部分が消失していた。この段階で、河畔砂丘の幅がそれ以前と比較して大幅に減少して顕著に細くなった箇所が生じていた。つまり、2014 年以降のソーラーパネル設置のための造成工事以前のこの段階（1960 年代中期～70 年代中期）で若宮戸地区における水害に対する脆弱性はそれ以前と比べて大幅に増大しており、1972 年当時の河畔砂丘の面積は 1947 年当時と比較して 45.8% と大幅に減少していた。2014 年以降のソーラーパネル設置のための造成工事によってさらに河畔砂丘が削られ、河畔砂丘の面積は 1947 年当時と比較して 31.4% まで減少し、鬼怒川河道と集落間に堤防も河畔砂丘のような高まり状の地形も存在しない区間が生じて水害に対する脆弱性が極めて高い区間が発生した。このように、2015 年 9 月関東・東北豪雨における若宮戸地区の溢水発生要因を検討する際は、2014 年以降のソーラーパネル設置のための造成工事だけではなく、高度経済成長期の 1960 年代から 1970 年代におこなわれていた砂の採取を目的とした河畔砂丘の削剥についても考慮する必要がある。

6. 2016 年熊本地震における液状化発生域の分布と土地条件、土地の履歴

6-1. 熊本平野における液状化発生域の分布とハザードマップとの関係

2016 年熊本地震による熊本平野における液状化発生域と、熊本市が本地震発生以前に作成、公開していた液状化ハザードマップを図 21 に示す。2016 年 4 月 14 日に、熊本地方を震源とするマグニチュード 6.5 の地震が発生し、その 2 日後の 4 月 16 日にはマグニチュード 7.3 の地震が発生した。2016 年 4 月 14 日から同年 4 月 16 日にかけて、熊本地方において最大震度 6 弱以上の揺れが観測された地震が 7 回発生しており、この一連の地震により熊本平野の広域かつ多数の地点において液状化が発生



熊本市政策局危機管理防災総室発行「熊本市液状化ハザードマップ」から一部抜粋、加筆

液状化発生地点の地形条件（国土地理院土地条件図を使用、熊本平野東部は土地条件図未作成の地域）

図 21 熊本地震における液状化発生地点分布と
ハザードマップに図示された液状化の可能性との比較

した。

液状化ハザードマップにおいては、とくに沿岸部の干拓地や埋立地における液状化の可能性を「極めて高い(上)」と評価していた。しかし、本地震においては、熊本港の埋立地や白川河口部の干拓地においては広域的に液状化が発生したが、干拓地の多くの領域においては液状化の発生が確認された地点は少なかった。また、本地震では、ハザードマップにおいて液状化の可能性が「極めて高い(上)」よりも一つ下のランクの「極めて高い(下)」と評価されていた領域において、液状化とそれによる構造物被害が多数生じた傾向がみられた。このように、本地震による液状化発生域の分布は、熊本市が公表していた液状化ハザードマップの被害想定(熊本市政策局危機管理防災総室 2014)とは異なる傾向がみられた。なぜこのような被害実態とハザードマップとの差異が生じたか、今後検討する必要がある。

6-2. 液状化発生域の土地条件と土地の履歴

GIS を用いて液状化発生地点を国土地理院土地条件図や空中写真に重ね合わせた結果、液状化発生地点は自然堤防、旧河道、盛土地、砂利採取場跡地において相対的に多く分布し、氾濫平野と海岸平野・三角州においては相対的に少ないことが示された。以下、いくつかの液状化発生域の土地条件や土地履歴について、地区別にみていく。

1) 熊本市南区土河原町、砂原町、孫代町、西区中原町、中島町

白川下流域左岸では、液状化発生地点が帯状に(細長く列状に)分布する自然堤防が複数みられた。それらのうち、熊本市南区土河原町から砂原町、孫代町にかけての自然堤防および西区中原町、中島町の自然堤防上では、農地や学校のグラウンドにおいては噴砂孔(開口亀裂)とその周囲における噴砂の堆積がみられ、住宅地においては噴砂やアスファルト路面の変形・損傷、電柱の沈下・傾斜(電柱周囲に噴砂堆積)、宅地地盤の沈下・傾斜などの被害がみられた(図 22)。

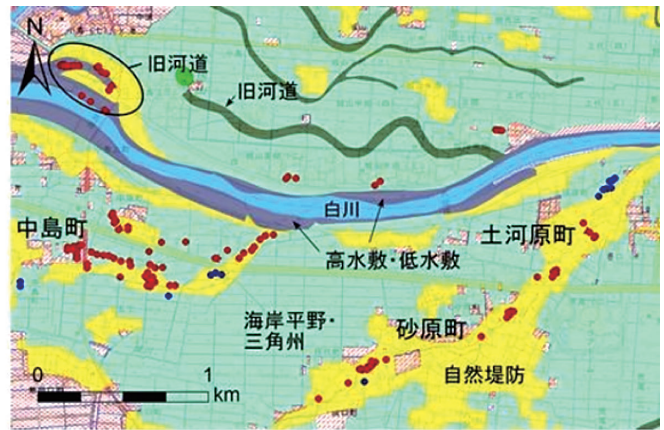
これらの液状化発生域は、江戸期の絵図に描画されている小河川(水路)と領域的に合致しているように見える。また、国土地理院治水地形分類図においては、土河原町～砂原町の液状化発生域の一部は旧河道として図示されている(図 23)。これらのことから、それらの液状化発生地点の地形条件は小河川(水路)が陸化した(埋め立てられた)旧河道に該当する可能性があり、そのような小河川(水路)を埋積した堆積物が液状化したことが考えられる。



図 22 熊本市西区中原町(左)、南区土河原町(右)における噴砂と開口亀裂



白川下流域を描いた江戸期の絵図（鮑田郡之図、1711 年以降作製）（新熊本市史編纂委員会（1993）『新熊本市史別編第一巻 絵図・地図』より引用・加筆）



小島から土河原町にかけての液状化発生地点の地形条件（国土地理院土地条件図を使用）

図 23 白川下流域（熊本市西区小島町から南区土河原町）の液状化発生地点の土地条件と絵図から読み取れる小河川（水路）の存在

2) 熊本市南区近見から元三町（液状化の帯）

熊本市南区近見から南区元三町にかけて南北に帯状に延びる自然堤防上では、多数の地点において噴砂が発生し、液状化に起因すると思われる戸建家屋の不同沈下、電柱の沈下、中層建築物周辺地盤の沈下に伴う建物基礎の抜け上がりやアスファルト路面の変形・損傷などの構造物被害が多数発生した（図 24）。この液状化発生域は、自然堤防（微高地）上の中央部付近のさらに細長い（帯状の）領域（幅 100m 未満）に限定される（図 25）ため、「液状化の帯」などとして報道がなされた。

このような液状化発生域の地形条件や分布形状（図 25）などから、その領域には自然堤防を形成・発達させた白川のかつての河道（または水路）が存在していたことが考えられる。しかし、1901 年（明治 34）年測量 1/20000 地形図、江戸期の伊能図や絵図などには、この帯状の液状化発生域に河川は描画されておらず、白川下流はほぼ現在と同じ流路であり、近見付近から西に流下していたことが読み取れる（図 26）。その一方、13 世紀後半において、大慈寺の東側には白川が流下し、南側には緑川が



図 24 熊本市南区近見から元三町「液状化の帯」における液状化構造物被害

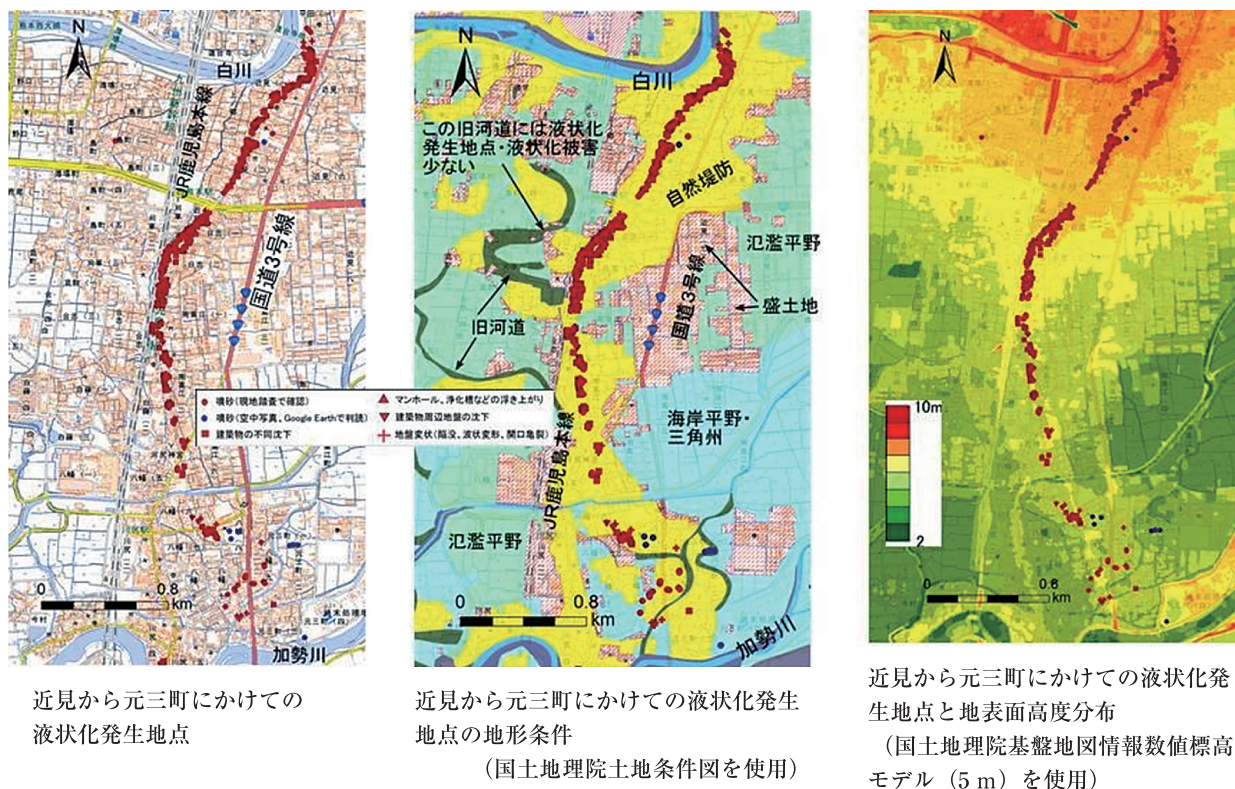


図 25 熊本市南区近見から元三町における液状化発生地点の分布，土地条件と地表面高度の分布

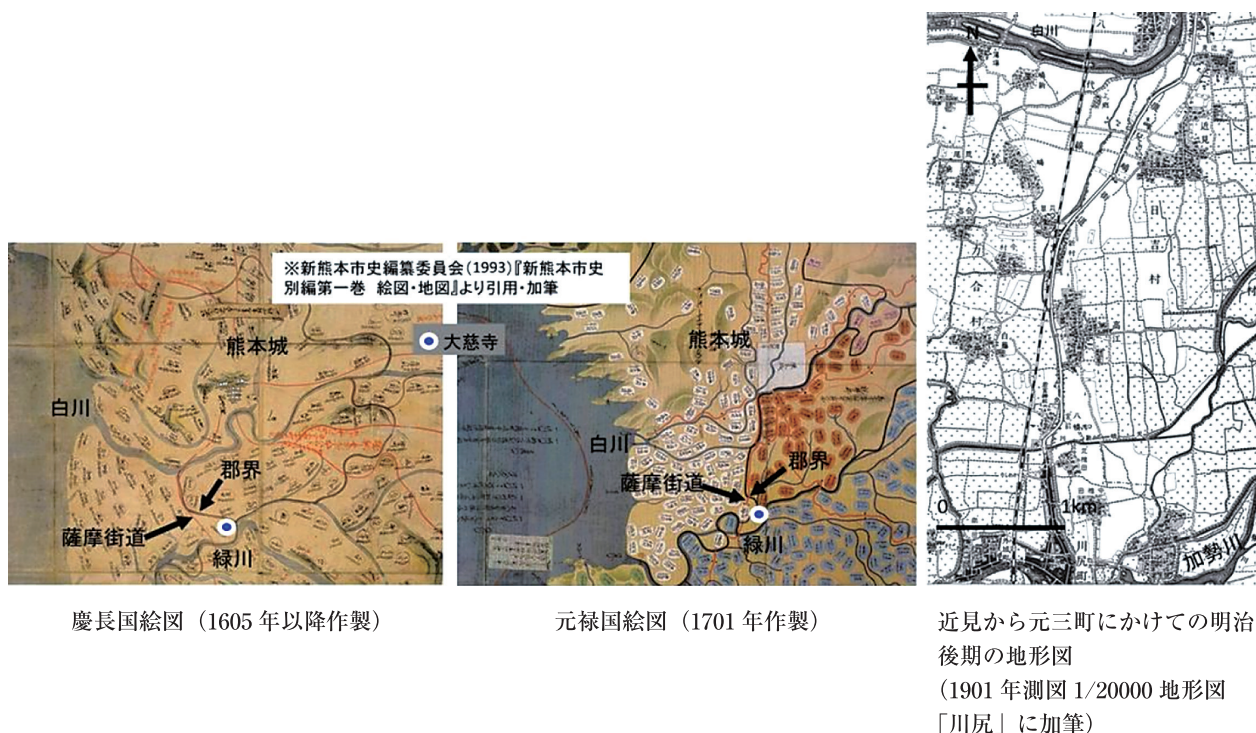


図 26 白川下流域の江戸期の絵図と明治期の旧版地形図
絵図上に示した大慈寺の位置は推定のもの

流下しており，川尻地区（元三町付近）で白川と緑川が合流していたことを記述した文書（大慈寺文書）が存在する．それらのことから、白川が川尻方面に南流していたのは江戸期よりも前までであり，江戸期における白川下流は現在と同様に西に流下していたものと思われる．また，江戸時代前期の

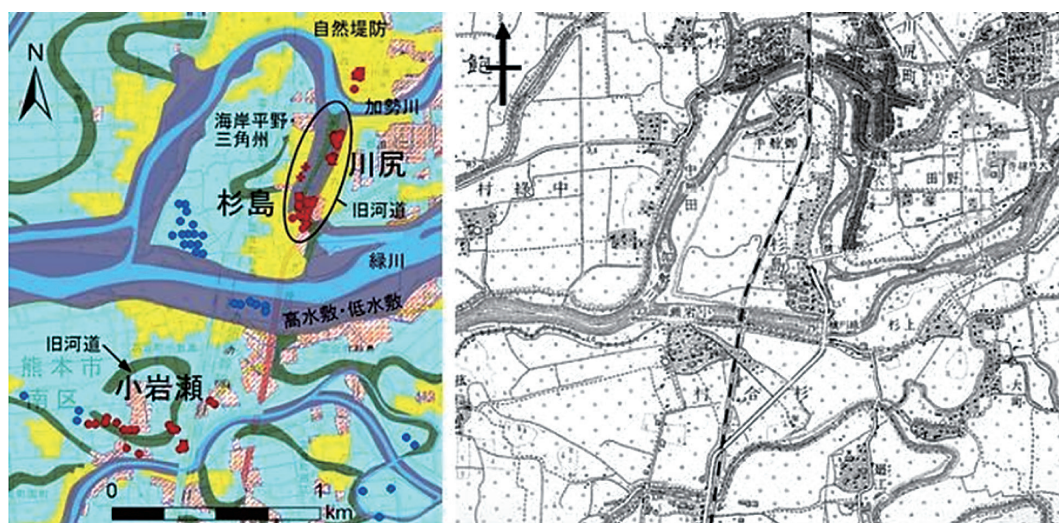
1640（寛永17）年において、熊本から川尻にかけての高瀬船通行のための小河川の拡張工事を願い出て、その認可を受けたことを示す文書（神雑、寛永17年6月14日の記述）や、白川から川尻にかけて河川工事がおこなわれることを示唆する文書（御奉行奉書抄出、寛永17年7月19日の記述）が存在する。また、細川忠利が熊本城下から川尻まで白川の川筋の浅いところを掘削する河川改修工事を計画したが、取り止めになった旨を記述する文書（旦夕覺書）も存在する。これらの文書の記述や上述の地図の図示内容などから、江戸時代前期には、白川現河道から川尻方面にかけて小規模な河道（かつての白川河道）が存在し、その後明治期までにはその小規模な河道（または水路）は消失して（または埋め立てられて）いたことが推察される。この地区の液状化は、このような土地条件、土地履歴を有する領域において集中的に発生しており、白川旧河道またはそれを整備して開削された水路を埋積している（埋め立てた）堆積物が液状化したことが考えられる。今後、この地区の液状化発生要因に関して、白川の河道変遷とそれに伴う地形発達、液状化層の土質や土木史（河川改修の歴史や河川・水路埋め立ての有無）などのさらなる検討が必要である。

3) 熊本市南区川尻

熊本市南区川尻地区の加勢川左岸側には、加勢川旧河道の水域が残存する。この旧河道水域沿いの領域（川尻六丁目、富合町杉島）において噴砂が発生し、戸建家屋の不同沈下、アスファルト路面の変形やそれに伴う路面損傷などの液状化に起因するとみられる構造物被害が生じた（図27、28）。



図27 熊本市南区川尻における液状化被害と土地の履歴を記した石碑



川尻、富合町杉島、富合町小岩瀬の液状化発生地点の地形条件（国土地理院土地条件図を使用）

川尻、富合町杉島、富合町小岩瀬周辺の大正末期の地形図（1926年測図1/25000地形図「川尻」）

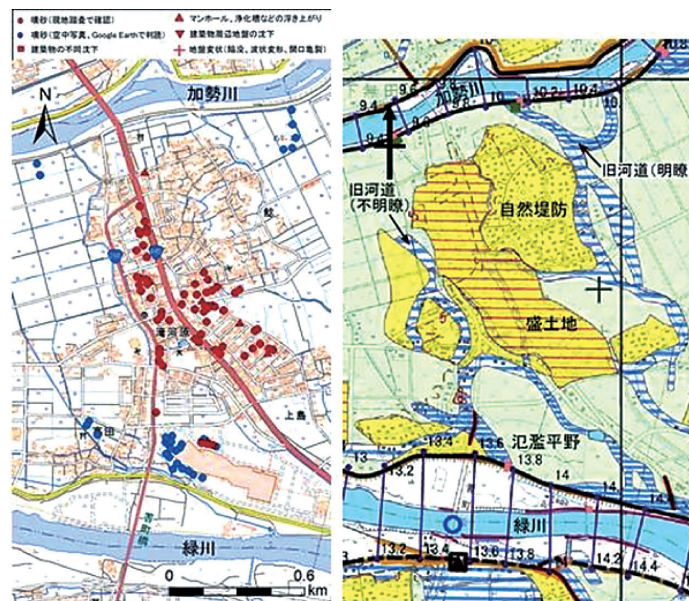
図28 熊本市南区川尻における液状化発生地点の分布、土地条件と河道変遷

この地区の液状化発生域にある大渡公民館の敷地内には、この地区の加勢川河道の人為的改変を伴う土地履歴を記した石碑が存在する（図 27）。それによると、この旧河道は昭和初期の河川改修で加勢川河道が廃川となったものであり、公民館周辺の地域は 1953（昭和 28）年 6 月の白川水害の廃土を用いて埋め立てられた領域とのことである。後述する住民への聞き取り調査においても、それと同様の情報が得られており、旧河道の水域の川幅は現在の 2～3 倍程度あったとのことである。これらのことから、この地区では 1953 年の加勢川旧河道の埋め立てに用いられた堆積物が液状化したことが考えられる。

4) 嘉島町鯉

加勢川と緑川に挟まれた領域にある嘉島町鯉地区では、公園・空き地・大型商業施設駐車場等において噴砂の発生が確認され、マンホールや浄化槽の軽微な浮き上がり（5～10 cm）や建築物周辺地盤の沈下などの液状化に起因すると思われる構造物被害が発生した。

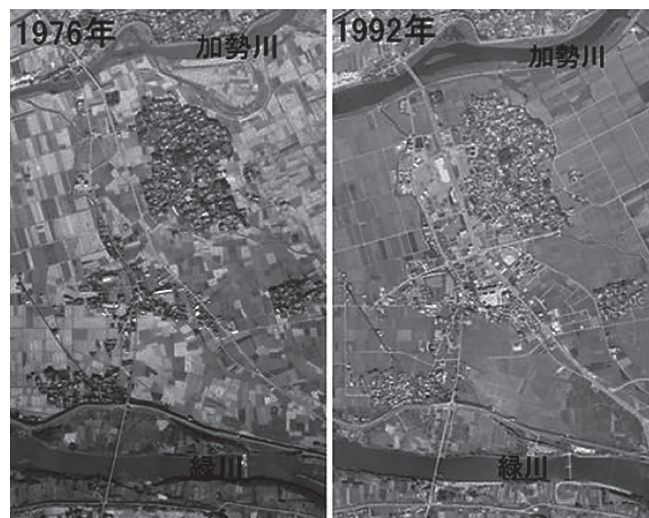
この地区の液状化発生域の土地条件について、国土地理院が撮影した過去の空中写真や土地条件図



嘉島町周辺の液状化発生地点の分布

嘉島町鯉周辺の地形条件

（国土地理院治水地形分類図から抜粋、加筆）



鯉周辺の 1976 年国土地理院撮影空中写真（KU763Y-C8-5 から抜粋）と 1992 年国土地理院撮影空中写真（KU924X-C10-10 から抜粋）

図 29 嘉島町鯉地区の液状化発生地点の分布、土地条件と土地の履歴

などから検討した結果、液状化は1980年代後半以降盛土造成された領域や加勢川左岸の旧河道において集中的に発生していることが判明した（図29）。それに対し、自然堤防上に立地している鯰地区の古くからの集落やその周囲の氾濫平野においては、液状化の発生はほとんどみられなかった。このことから、この地区では1980年代後半以降おもに氾濫平野上においておこなわれた盛土（人工地盤）や旧河道を埋積した堆積物が液状化したと考えられる。

5) 緑川中流域（御船町陣，甲佐町芝原）

緑川中流域の右岸に位置するこの地区では、農地や事業所敷地内において噴砂が発生し、事業所駐車場アスファルト路面の波状変形や戸建家屋の不同沈下といった液状化に起因すると思われる構造物被害が生じた。

国土地理院が撮影した過去の空中写真から、この地区の液状化発生域の多くは、1970年代から1980

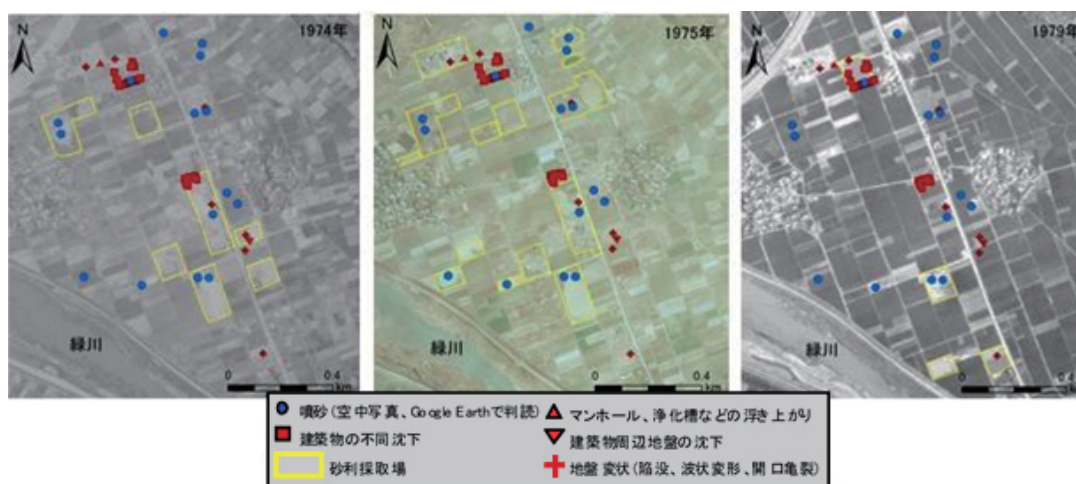
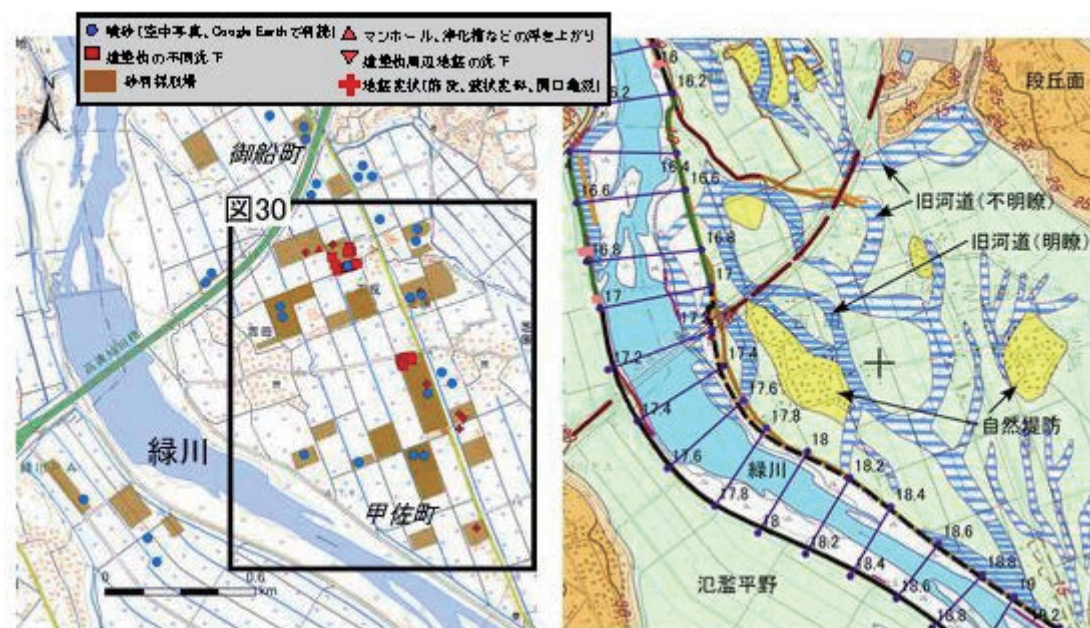


図30 緑川中流域における1970年代の砂利採取場分布と本地震液状化発生地点との関係
（国土地理院撮影空中写真 MKU742X-C11-9、CKU7422-C58-23、KU794 X -C2-10 から抜粋）



緑川中流域の液状化発生地点と1970年代の砂利採取場の分布

緑川中流域の地形条件
（国土地理院治水地形分類図から抜粋、加筆）

図31 緑川中流域における液状化発生地点と砂利採取場分布，地形条件などとの関係

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読み取れる（図 30）。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い（図 31）。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。

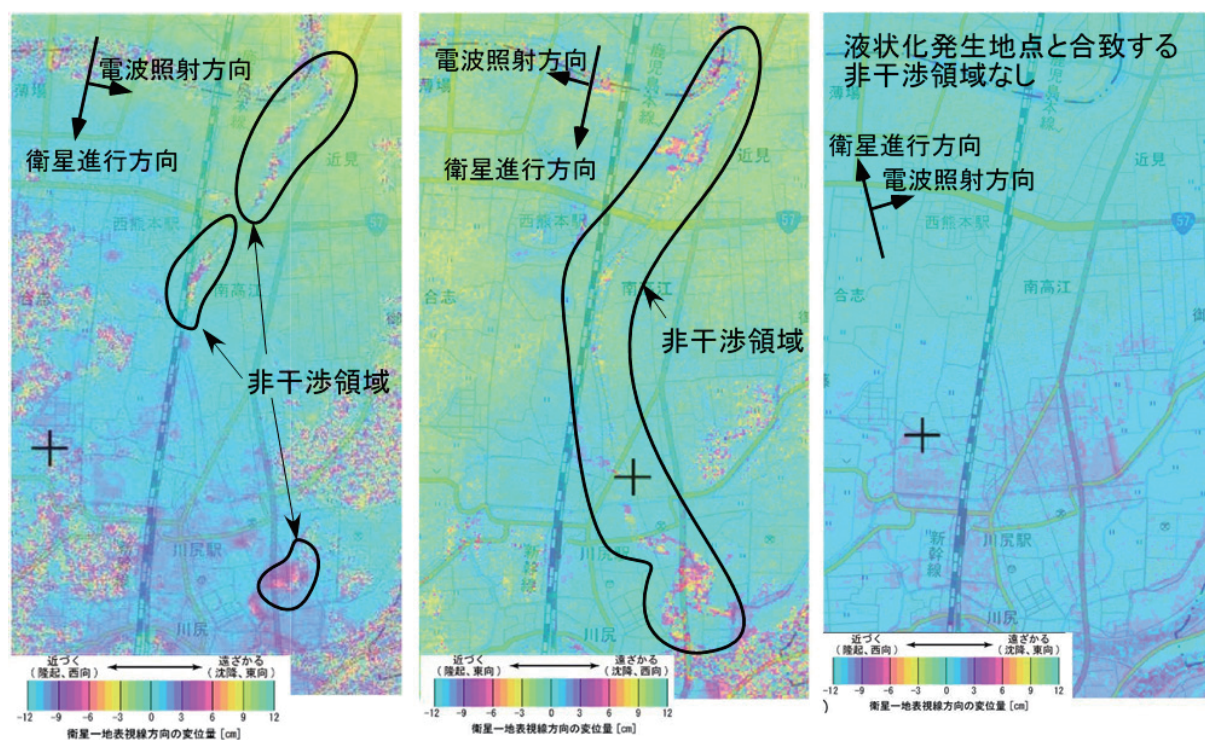
6-3. 液状化の発生タイミングと被害状況

前述のような熊本平野における液状化が、2016 年 4 月 14 日に発生した M6.5 の「前震」によるものか、同年 4 月 16 日に発生した M7.3 の「本震」によるものか、液状化発生のタイミングを検討することを目的として、住民を対象とした液状化発生タイミングと被害状況（とくに液状化と関係した被害）に関する聞き取り調査を実施した。

熊本市西区中原町における聞き取りでは、1 回目（前震）で液状化が発生し、2 回目で被害が大きくなったとの情報を得た。この周辺の集落、家屋にはあまり被害は発生しなかったとのことであった。西区小島町（小島公園）での聞き取りにおいても、1 回目の地震（前震）で液状化が発生したが、集落内はあまり被害が出なかったとのことであった。

南区近見（近見一丁目）における聞き取りでは、前震と本震ともに噴砂が発生し、家屋敷地内に噴砂が 15 ～ 20 cm 堆積したとのことであった。噴砂は井戸から吹き出したこと、井戸には蓋をしてあったがその蓋が取れて噴砂（噴水）が発生したこと、前震発生後に井戸に再度蓋をしたが、本震の後に再度蓋が取れて噴砂が発生したこと、前震発生時よりも本震発生時における噴砂の方が多かったこと、などの情報を得た。

南区八幡（八幡十丁目）では、1 回目前震時に地面から水が噴出していたとの情報を得た。



SAR 解析結果（国土地理院）
2015 年 11 月 14 日～2016 年 4 月 15 日
（前震の地表変動）

SAR 解析結果（国土地理院）
2016 年 3 月 7 日～4 月 18 日
（前震 + 本震の地表変動）

SAR 解析結果（国土地理院）
2016 年 4 月 17 日～5 月 1 日
（本震後の地表変動）

図 32 熊本市南区近見から元三町「液状化の帯」における SAR 干渉画像
国土地理院公表データを用いた

南区川尻（川尻六丁目）では、4月14日前震時には砂の吹き出しはなかったと思うし気が付かなかったとのこと、また、4月16日本震時に多量の砂の吹き出しがあったと思うといった情報を得た。家屋とその周囲の地盤との隙間から砂が吹き出し、家屋の周囲に5～10 cm 砂が堆積したとのことであった。

これらの液状化発生タイミングに関する聞き取り調査の結果は、国土地理院が公表している前震および本震による面的な地表変動を示す合成開口レーダー（SAR）干渉画像における非干渉領域の時空間変動と整合的である（図32）。前述の現地踏査と空中写真・衛星画像の判読結果などから得られている液状化発生地点の位置は、それらのSAR干渉画像における非干渉領域とほぼ領域的に合致していることから、この非干渉領域は液状化に起因する不規則な地表の変形を示しているものと考えられる。聞き取り調査から前震時に液状化が発生したとの情報が得られた地区では、前震の地表変動を示すSAR干渉画像においてもそれらの地区における非干渉領域の存在が認められた（青山・宇根 2016）。また、聞き取り調査から、前震時には液状化しなかったが本震時に液状化したとの情報が得られた川尻地区では、SAR干渉画像からも液状化は前震時には発生せず本震時に発生したことが示唆された。このように、聞き取り調査結果やSAR干渉画像の解析結果などから、熊本地震における液状化は、①前震時に液状化が発生して本震時にも再度液状化が発生した（液状化被害が拡大した）地点と②前震時には発生しなかったが本震時に発生した地点があり、本震によって液状化発生域が空間的に拡大したことが示された。

7. まとめ

人為的土地改変が液状化や河川の溢水などの発生に与えた影響について、鬼怒川・小貝川低地における2011年東北地方太平洋沖地震による液状化と2015年関東・東北豪雨による鬼怒川水害、および熊本平野における2016年熊本地震による液状化などの事例を取り上げ、検討した。その結果、それらの地区では、1960～70年代以降に砂利や砂の採取がおこなわれ、採掘終了後に埋め戻された領域（砂利採取場跡地）や、かつて存在した旧河道や水路が陸域化した（埋め立てられた）領域において、液状化が多く発生していたことが確認された。また、鬼怒川・小貝川低地の常総市若宮戸地区では、1960年代以降おこなわれていた砂の採取によって、堤防の役割を担っていた河畔砂丘の削剥が進行し、2014年以降にソーラーパネル設置のため河畔砂丘を削剥・造成して河畔砂丘が消失した箇所から溢水が生じた。

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。また、2016年熊本地震においても同様に、緑川中流域において、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。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、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しやす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）。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進める必要がある。

2016年熊本地震では複数の自然堤防上において帯状の細長い液状化発生域が出現し、その領域における旧河道または水路の存在が指摘された。旧河道は既往地震においても液状化が多発しており、液

状化しやすいことが知られていた（若松 1991; 青山ほか 2014; 中埜ほか 2015）。熊本地震の事例は、地形地質学的には抽出されていない旧河道が日本列島の沖積平野上には存在すること、つまり液状化しやすい領域が潜在的に存在している可能性があることを示している。今後、地形地質学的調査や地盤工学的調査のみならず、史料、絵図なども用いて土地の履歴を明らかにし、多角的に液状化危険度の評価をおこなう必要がある。

2015 年関東・東北豪雨により鬼怒川の溢水が発生した常総市若宮戸地区の河畔砂丘では、2014 年以降におこなわれたソーラーパネル設置・造成以前に、1960 年代から 1970 年代におこなわれた砂の採取のための削剥によって、河畔砂丘の面積はそのような顕著な人為的土地改変がおこなわれる以前と比較して大幅に減少し、河畔砂丘の幅が著しく小さくなっていた区間が生じ、洪水に対する脆弱性が増していた。

日本列島の沖積平野上では、古くから人為的土地改変が進んだ領域が多く存在している。そのような人為的土地改変履歴を有する領域は災害に対して脆弱であることから、人為的土地改変の履歴を明らかにすることは、自然災害の危険度評価にとって重要なことである。そのような人為的土地改変の履歴は、自然科学的観点に基づいた調査のみならず、人文・社会科学的観点に基づいた調査も有効であることが、本研究においても示された。今後の地域における防災・減災のためにも、土地の履歴を多角的に調査・検討し、自然災害に対する危険度を多角的に評価していく必要がある。

謝辞

茨城県常総市若宮戸地区の聞き取り調査においては、群馬大学大学院教育学研究科大学院生の齋藤由樹さんにご協力いただいた。熊本市南区近見から元三町にかけての「液状化の帯」における江戸時代前期の水路開削工事や旧河道の存在を記した文書の記述内容の検討に際しては、群馬大学教育学部国語教育講座の永由徳夫教授と永由研究室構成員のみなさまにご協力いただいた。記して御礼申し上げます。

引用文献

- 青山雅史・宇根 寛（2016）：平成 28 年熊本地震による液状化分布と土地条件。日本学術会議主催公開シンポジウム熊本地震三ヶ月報告会資料。
http://janet-dr.com/11_saigaiji/160716kyushu-houkokukai/20160716pdf/22_ajg.pdf [Cited 2016/8/31].
- 青山雅史・小山拓志（2017）：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，126，767-784.
- 青山雅史・小山拓志・宇根 寛（2014）：2011 年東北地方太平洋沖地震による利根川下流低地の液状化被害発生地点の地形条件と土地履歴。地理学評論，87，128-142.
- 千代川村史編さん委員会（1998）：村史 千代川村生活史 第一巻 自然と環境。千代川村。
- 千代川村史編さん委員会（1999）：村史 千代川村生活史 第四巻 近現代史料。千代川村。
- 小荒井 衛・中埜貴元・乙井康成・宇根 寛・川本利一・醍醐恵二（2011）：東日本大震災における液状化被害と時系列地理情報の利用。国土地理院時報，122，127-141.
- 国土地理院（2007）：自治体担当者のための防災地理情報利活用マニュアル（案）——土地条件図の数値データを使用した簡便な災害危険性評価手法——。国土地理院技術資料 D・1-No.479.
- 国土庁防災局震災対策課（1999）：液状化地域ゾーニングマニュアル。
- 国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学会（2011）：東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明報告書。65p.
- 熊本市政策局危機管理防災総室（2014）：熊本市液状化ハザードマップ。

- 中埜貴元・小荒井 衛・宇根 寛 (2015): 地形分類情報を用いた液状化ハザード評価基準の再考. 地学雑誌, 124, 259-271.
- 先名重樹・長谷川信介・前田宜浩・藤原広行 (2012): 東北地方太平洋沖地震における利根川流域の液状化被害. 日本地震工学会論文集, 12 (5), 143-162.
- 損害保険料率算出機構 (2008): 微地形区分データを用いた広域の液状化発生予測手法に関する研究. 地震保険研究, 15, 104p.
- 若松加寿江 (1991): 液状化問題の地形・地質的背景. 応用地質, 32, 78-84.
- 若松加寿江・先名重樹 (2014): 2011 年東北地方太平洋沖地震による東北地方の液状化発生と土地条件. 日本地震工学会論文集, 14(2), 124-143.
- 若松加寿江・先名重樹 (2015): 2011 年東北地方太平洋沖地震による関東地方の液状化発生と土地条件. 日本地震工学会論文集, 15(2), 25-44.
- 若松加寿江・先名重樹・小澤京子 (2017): 平成 28 年(2016 年)熊本地震による液状化発生の特性. 日本地震工学会論文集, 17 (4), 81-100.