

3. 液状化被害

3.1 はじめに

熊本地震では熊本県内 11 市町村で液状化が確認され、とりわけ、熊本平野においては広範囲で液状化が生じた^{1), 2), 3)}。今回の地震の特徴でもある前震、本震と短期間に大きな地震外力が複数回作用したことや、東北地方太平洋沖地震で生じた面的な広がりをもつ埋立地盤における液状化だけでなく、旧河道部や自然堤防部の一部で液状化の帯として現れたような限定的に生じているのが特徴的である。また、噴砂を確認したところ、その多くが火山性由来の土質と思われる火山灰質砂であり、この影響が液状化被害を甚大化した可能性も指摘される。

本章では、まず、熊本平野における液状化の状況と地形的特徴について、現地調査や資料調査結果に基づいて報告する。次に、液状化の帯に着目し、地盤情報を用いた液状化と地盤特性の関係について考察する。最後に、液状化被害からの復旧・復興について、現状と課題について述べる。なお、本章で紹介する報告内容は、地盤工学会平成 28 年熊本地震調査団液状化班の村上哲（福岡大学）と永瀬英生（九州工業大学）が主として行ったものであり、既報告分（文献 1）～9）をまとめなおしたものである。

3.2 熊本平野における液状化の状況とその被害

3.2.1 液状化地点の調査方法と空中写真を用いた液状化跡の判読方法⁸⁾

液状化地点の調査方法は、現地調査と空中写真判読により実施した。

現地調査は、まず、空中写真による液状化の噴砂状況の把握と旧版地形図や治水地形分類図等で従来液状化しやすいと言われている旧河道など微地形箇所をあらかじめ特定し、その地域を調査対象地域としている。現地調査では、噴砂の確認ができた場所は液状化発生と断定し、噴砂は確認できていなくても液状化に起因すると思われる建物周りの沈下や段差などが生じた場合も液状化による地盤変状と考えて調査結果を記録した。

一方、空中写真判読に用いた情報は、国土地理院提供の空中写真（4 月 16 日撮影と 4 月 22 日撮影）の 2 種類の空中写真を重ね合わせて利用した。空中写真による液状化による噴砂を判読し、地理情報システムを用いて地図上にプロットした。判読方法として対象領域である熊本平野を 50m×50m のメッシュ（以下、50m メッシュと呼ぶ）に分割し、メッシュ単位でその内部で液状化跡と判断される地点を記録する。ここで、50

m のメッシュ単位で判読を行ったのは、メッシュ単位で南北方向や東西方向に順にメッシュ内液状化跡を判読することで、効率的にかつ確実に読み落としが無いようにするためである。

図 3.2.1 は、その判読例である。図 3.2.1 (a) は近見地区の例であるが、液状化した黒色の噴砂が明瞭に判読できることが分かる。図 3.2.1 (b) は田畑において生じている液状化跡の判読例である。このように空中写真を用いることにより、液状化跡の判読が可能であることが分かる。このように地震後撮影された空中写真を用いた液状化判読は液状化発生状況把握に非常に有効である。実際、判読結果を熊本市へ提供し、液状化被災地域の把握とその後の対応に役立てていただいた成果をあげている。なお、この空中写真は、熊本市を支援する目的で国土地理院より提供いただいたものであり、一般に公開されている空中写真より高精度であることを付記しておく。

この判読方法により熊本平野部のほぼ全域で液状化噴砂跡の判読を行った。その結果を図 3.2.2 に示す。判読結果による地点数は 8,728 点であり、地点の

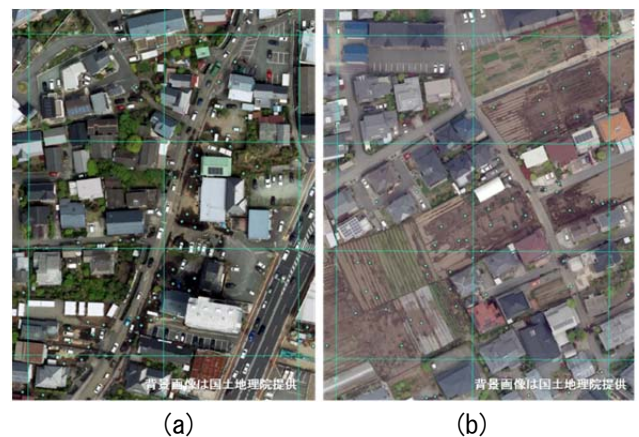


図 3.2.1 液状化跡判読例

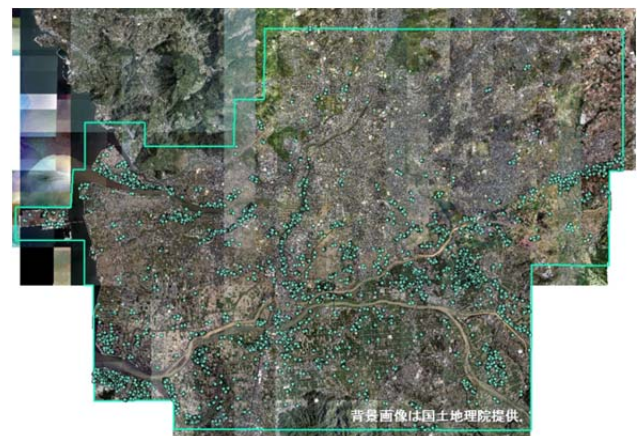


図 3.2.2 熊本平野部における液状化跡判読結果



図 3.2.3 白川沿岸部における液状化跡判読結果



図 3.2.5 緑川沿岸部における液状化跡判読結果



図 3.2.4 島原湾沿岸部における液状化跡判読結果

分布をみると熊本平野のほぼ全域で生じていることが分かる。図 3.2.3, 図 3.2.4, 図 3.2.5 はそれぞれ、白川沿岸部、島原湾沿岸部、緑川沿岸部を拡大したものである。

液状化跡判読結果により、図 3.2.3 の白川沿岸部では、熊本地震で生じた液状化被害の特徴の 1 つである液状化の帯を 3 本確認することができる。図 3.2.4 の島原湾沿岸では、白川河口部および緑川河口部における干拓地や埋立地、および、熊本港埋立地において、面的に広がりを持った液状化範囲が確認できる。図 3.2.5 より、緑川、加勢川の沿岸では、河川沿岸部だけでなく、河川から少し離れた場所でも液状化が生じるような広範囲での液状化が確認できる。

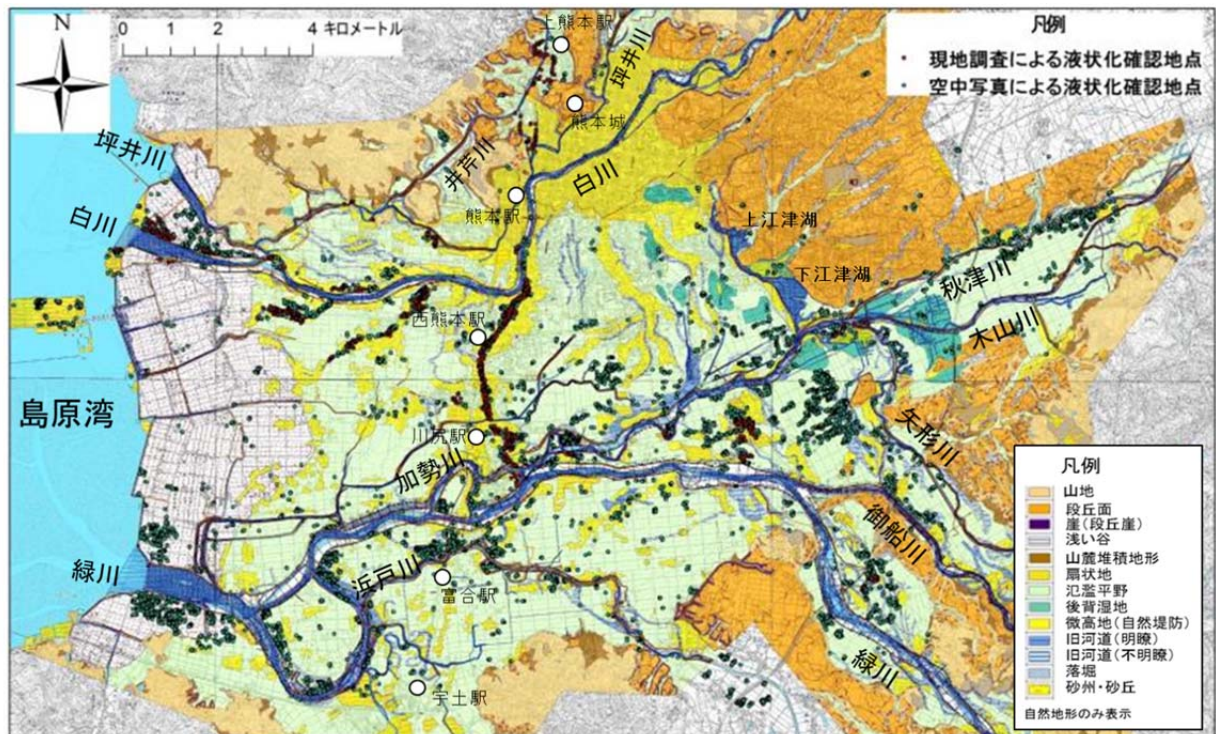


図3.2.6 熊本平野における液状化地点²⁾

「治水地形分類図更新画像データ」(国土地理院技術資料D1-585, 586) をもとに作成

以上のように熊本平野部では、液状化は広範囲で生じてだけでなく、白川沿岸部、島原湾沿岸部、緑川・加勢川沿岸部でそれぞれ特徴的な分布を持つ液状化が発生している。

3.2.2 液状化発生地点と微地形の対比^{1) ~9)}

上述した空中写真による液状化跡判読結果に加え、現地調査による結果も含めた液状化地点を表示させたものが図3.2.6である。図中のプロットのうち赤点は、現地調査による液状化被害等確認地点、青点は空中写真判読による液状化確認地点を国土地理院提供の治水地形分類図上に示している。ここでは、液状化発生地点と微地形との対比について考察する。

今回の液状化発生地点における特徴は、まず、白川沿岸部であり、液状化地点が白川から枝分かれするように帯状に伸びているのが特徴的であった。図3.2.7はこれら液状化の帯が現れた地域を拡大したものである。これらの3つの液状化の帯の微地形は、自然堤防あるいは旧河道上に位置している。特に、3つの液



図3.2.6 液状化の帯と微地形との対比²⁾

「治水地形分類図更新画像データ」(国土地理院技術資料 D1-585, 586) をもとに作成



図3.2.7 液状化の帯と旧版地形図との対比

「旧版地形図(大正15年測量)」(国土地理院提供) をもとに作成

状化の帯が位置する自然堤防は白川の氾濫に伴い形成された様子がうかがえる。しかしながら、液状化発生地点は自然堤防全域で生じているのではなく、帯状に分布した自然堤防の一部の地域で生じ、この液状化の帯が旧河道であったようにも見えなくもない。

図3.2.7は大正15年測量の旧版地形図と液状化の帯を対比させたものである。この旧版地形図が当該地域で最も古い2万5千分の1地形図である。この地図を見る限り、水路らしきものは見受けられるが、それでも液状化の帯の幅よりは小さく、旧河道があったということは確認できない。現地調査において地元の方から、80年前には水路、船で往来していたとの話を伺ったが、旧版地形図でも確認できない川であるので、空中写真 USA-R153-90 で確認するがその幅は狭く、用水路程度の川幅の小川かあるいは水路ではなかったかと思われる。一方、旧地名から近見から川尻にかけて川が流れていたことを研究されていた地元の方に出会った。その方によるとまだ完全に解読できていないが、おそらく川があったのではないかと話であった。例えば、南高江の“江”は川という意味であるが、白川や加勢川のほぼ中央に位置する南高江は現在の川からは遠いところにあるといったものである。また、科学的な視点から、白川の旧河道は蓮台時から川尻に向かって南流し川尻で緑川に合流していた可能性を有していたとする大本照憲ら(2010)の研究¹⁰⁾もなされている。ところで、近見から川尻にかけては、旧薩摩街道と呼ばれ古くから存在する道と思われ、大正や明治時代以前から水路としてではなく陸上の街道として熊本平野を縦断する人々の往来ルートだったと考えれば、河道があったのは江戸時代かそれ以前ということになる。その河道を人間が埋め立てたのか、あるいは、自然の作用で川が埋まり現在の地形を形成したとも考えられるが、これまでの調査結果からは、液状化の帯の部分における川の存在と現地形への変遷を確認することはできなかった。

液状化の帯が現れたのは、この帯内の地盤が液状化の生じやすい地盤であったことは事実である。地盤工学的視点からすると、帯の内外で地盤の堆積状況が異なることが示されれば良い。その検討結果は後述するとおりで、液状化の帯内の地盤は地下水位が高く表層に液状化しやすい層が堆積していたことによるものと考えられる。この液状化の帯は、微地形や知ることができる土地改変の歴史の範囲では説明することができないことから、この災害事例から学ぶ教訓としては、旧河道や埋立地は液状化の可能性が高いと言われるが、その他の地域では、微地形だけでは判断できない部分もあり、液状化の判定を行うことができる地

盤調査が重要であるということである。また、近見から川尻にかけては旧薩摩街道であり、その街道沿いに集落が形成され古くから街並みがあった地区であるが、古くからある居住地域は新興住宅地域より自然災害に強いという認識はここでは成り立たなかったと言っても過言ではないだろう。

この液状化の帯では、建物沈下・傾斜、建物周りの沈下や段差、地中埋設物の浮き上がり、用水路底部の破損や壁体構造物の変位など、甚大な被害が生じた。被害の様子については、章末に他地域とまとめて示しているの、そちらを参照いただきたい。

2011 年東北地方太平洋沖地震で見られたような旧河道や埋立地における液状化の発生は、今回の地震でも確認されている。図 3.2.8 は熊本市南区富合町杉島と川尻町の境界に位置する水路の両岸において、空中写真判読および現地調査により噴砂や液状化による被害と思われる地点を空中写真と旧版地形図上に表示したものである。旧河道は逆 S 字で流れているのに対し、現在の水路はほぼ直線的であり、地形が変化していることが分かる。旧河道であった部分は埋め立てられたと思われるが、その地点での水路護岸の変位による沈下を伴う側方流動や沈下、それに起因した道路や建物の被害が生じた。噴砂が生じている場所では液状化が比較的浅い位置で生じたと考えられるものの、水路の水位は地表面に対し目視で約 3~5m は低く、これと周辺の地下水位が一致すると考えると矛盾が生じる。一見説明できない現象のように見られるが、これは護岸の裏込めと周囲の地盤に溜まった地下水が排水できていない場合や、地盤内に存在する宙水により周辺の地下水位と一致しない場所が存在することに寄るものとすれば説明できる。周辺地盤の宙水も含めた地下水位の分布を調査し、地下水位が高い場合は護岸に水抜き工を設置することにより地盤内の地

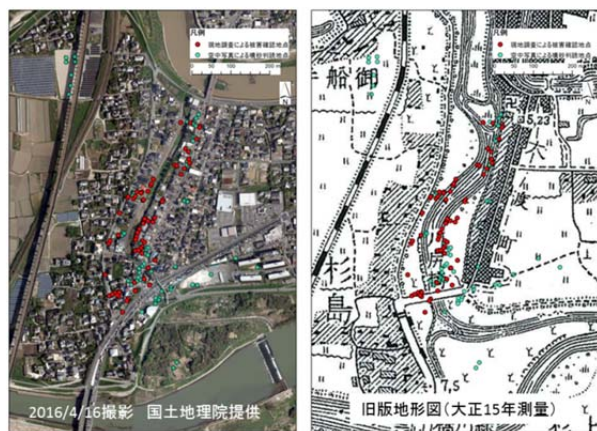


図3.2.8 熊本市南区富合町杉島と川尻町の境界付近の旧河道における液状化地点

「旧版地形図（大正15年測量）」（国土地理院提供）をもとに作成

下水位を下げることで有効であると考えられる。

熊本平野の北部を流れる坪井川および井芹川にも旧河道部が存在する。図 3.2.9 は旧版地形図上での坪井川および井芹川の河道と液状化等地盤被害の地点をプロットしたものである。なお、当時の河道が分かるように青色でトレースしている。坪井川下流域では、現地調査日が 5 月 20 日と地震発生後 1 か月以上経過しており、噴砂を確認することはできなかったものの、液状化による建物の傾き、建物周りの沈下、および、埋戻し土部での沈下が生じていた。上代地区では、住宅の被害が顕著であり、旧河道部と推定される部分で液状化による沈下が生じ、旧河道部ではない地盤面との段差を伴う、不等沈下により住宅の甚大な被害を受けている。一方、旧河道部でも地盤被害が生じていない地域も存在した。これらの地区は地盤が高く、地下水位が深い位置にあり、地盤としては安定性が高くなっていたと思われる。旧河道でも必ずしも液状化が生じる分けで無なく、地盤や地下水位の状況の影響を受ける。

井芹川旧河道部での被災状況は、北区釜尾地区を除き、調査日が 5 月 20 日と地震発生後 1 ヶ月以上経過しており、噴砂を確認することはできなかった。上熊本駅周辺の市街地において、とりわけ、杭基礎と思われる構造物周りの沈下被害が顕著であった。当該地域は、旧版地形図では田用地であり、現在は造成され宅地化されている。この造成盛土の圧縮による杭基礎構造物周辺の沈下に加え、旧河道部では、液状化による沈下の増大が生じた可能性が考えられる。

図 3.2.10 と図 3.2.11 はそれぞれ緑川とその支流部にあたる嘉島町と甲佐町における液状化発生地点と治水地形分類図を対比させたものである。図より旧河道や氾濫原、自然堤防で液状化が発生していることが分かる。特に旧河道では、その領域において限定的に生じているケースが多数見受けられる。

図 3.2.12 と図 3.2.13 はそれぞれ白川河口部と緑川河口部における液状化発生地点と治水地形分類図を対比させたものである。島原湾沿岸部の干拓地は緑川および白川の河口部付近で液状化による噴砂が確認できるものの、建物被害はそれほど顕著ではない。これは表層地盤が軟弱であることから建物の不等沈下を抑制するために杭基礎や柱状改良などを施工しているためとも考えられる。一方、埋立地では多量の噴砂が確認され、特に、白川河口部では長径 280cm、短径 170cm の楕円の噴砂孔も確認された。このように干拓地と埋立地による液状化の違いが明瞭に表れていた。

図 3.2.14 は秋津川沿岸域における液状化発生地点

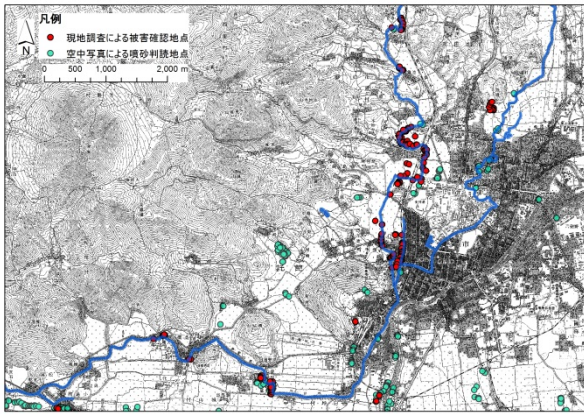


図3.2.9 坪井川・井芹川の旧河道部における液状化等被害確認地点

「旧版地形図（大正15年測量）」（国土地理院提供）をもとに作成

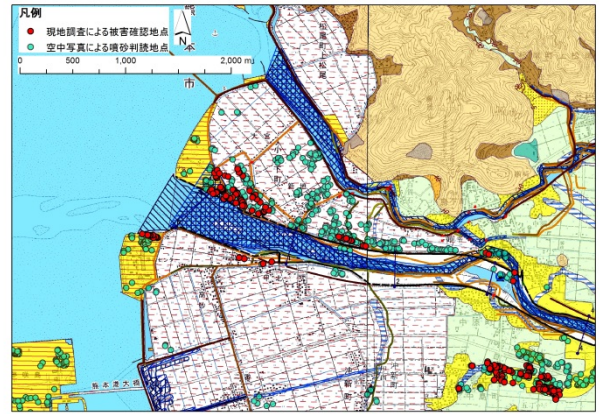


図3.2.12 白川河口部液状化地点と微地形の対比

「治水地形分類図更新画像データ」（国土地理院技術資料 D1-585, 586）をもとに作成

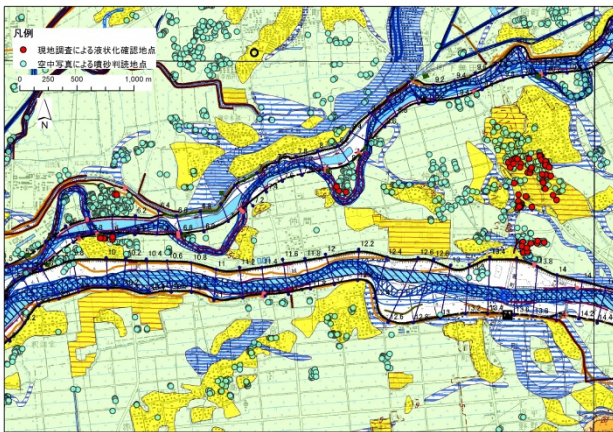


図3.2.10 嘉島町液状化地点と微地形の対比

「治水地形分類図更新画像データ」（国土地理院技術資料 D1-585, 586）をもとに作成

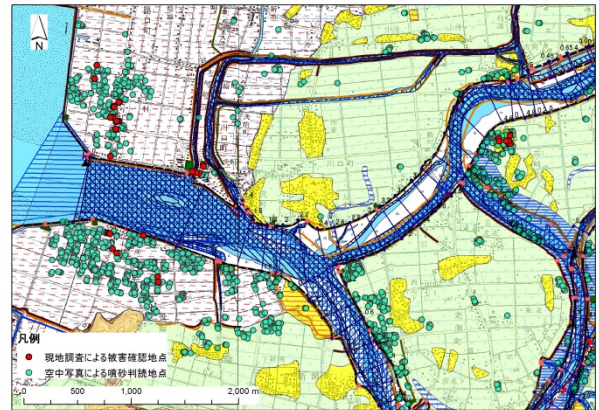


図3.2.13 緑川河口部液状化地点と微地形の対比

「治水地形分類図更新画像データ」（国土地理院技術資料 D1-585, 586）をもとに作成

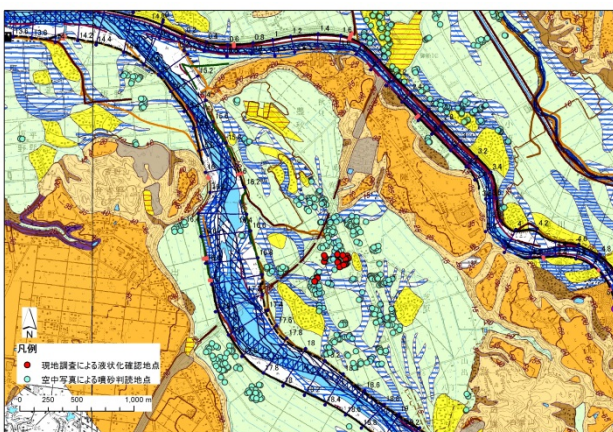


図3.2.11 甲佐町液状化地点と微地形の対比

「治水地形分類図更新画像データ」（国土地理院技術資料 D1-585, 586）をもとに作成

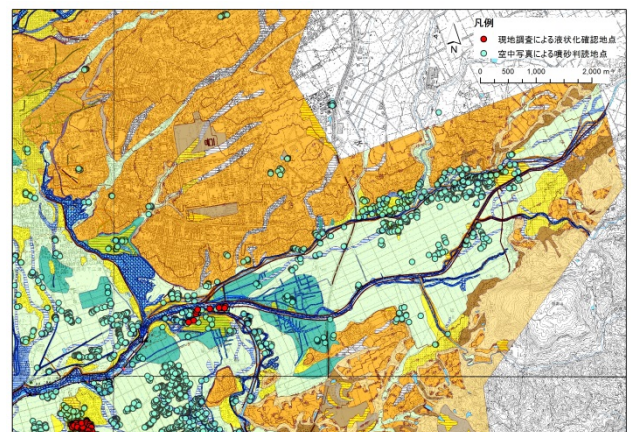


図3.2.14 秋津川沿岸における液状化地点と微地形の対比

「治水地形分類図更新画像データ」（国土地理院技術資料 D1-585, 586）をもとに作成

と治水地形分類図を対比させたものである。旧水田の埋立造成地と思われる下江津湖の熊本市動物園、熊本市東区沼山津から益城町にかけての秋津川と県道 28 号線間の低地でも液状化による被害が確認された。特に、沼山津から益城町にかけての被害は、震度 7 を前震と本震で経験した地域でもあり、地盤変状が多様化しており液状化だけの被害とは言い難い地区である。

このように、微地形区分だけでは、液状化の可能性は判別できず、自然堤防でも地盤の違いによって、液状化するかもしれないことが今回の地震でも分かる。

3.2.3 液状化の帯と地盤特性^{1),2)}

上述した液状化の帯は、地盤の堆積構造の違いが被害に表れたと考え、図 3.2.6 に示した近見地区から八幡地区にかけて生じた液状化の帯の一部の地点で、既存の地盤情報を用いて道路橋示方書（平成 24 年）レベルⅡタイプ 2 地震動による液状化判定を行い、液状化の帯の内外での液状化層の違いを検討した。図 3.2.15 はその結果である。まず、(a) の刈草付近の結果を見ると、いずれの地点も地下水位が高いところは共通している。また、液状化層（FL<1.0）は、いずれの地点も下部に液状化層が存在するが、液状化の帯の地点では上部にも液状化層が存在する点が特徴的である。(b) の城南中学校付近の地盤も液状化の帯へ向かうに従い、上部で液状化層が厚くなっている傾向が確認できる。この地点の 20m までの堆積状態は不明であるが、おそらく、(a) と同様、下部層にも液状化層があると思われる。以上のように、液状化の帯で上部の液状化層が厚くなっていることが確認されることから、液状化の帯として現れた地盤では表層に液状化の可能性のある砂質土層が堆積したためであると考えられる。すなわち、液状化の危険度を評価するためには、その地盤における液状化層の有無、層厚が重要であり、また、被害の甚大化については、液状化層が表層付近に存在するかどうかが鍵であると思われる。

3.3 液状化対策と課題

3.3.1 市街地液状化対策推進ガイドンス

2011 年東北地方太平洋沖地震では、関東地方を中心に、埋立地や河川沿いなどの宅地において約 27,000 件の液状化被害が発生した。そのため、国土交通省では、平成 23 年 11 月、東日本大震災復興特別区域法に基づく復興交付金事業の基幹事業として、都市防災推進事業（市街地液状化対策事業）（以下「市街地液状化対策事業」という。）を創設した。これにより復興

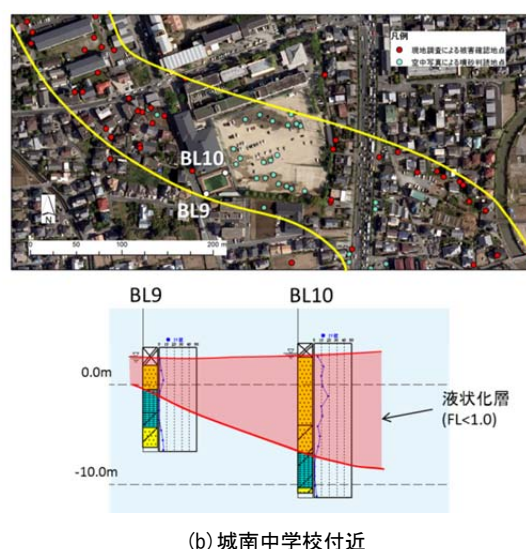
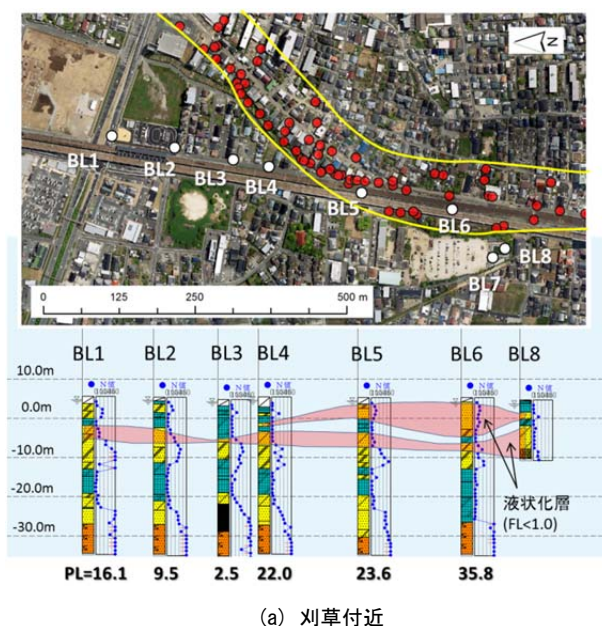


図3.2.15 液状化の帯と地盤内液状化層の分布²⁾

上図背景図には空中写真（2016/4/16 撮影 国土地理院提供）を利用。柱状図作成には中央開発提供のソフトを利用

特別区域に限るものの、公共施設と宅地を一体的に対策するのであれば、公共事業で市街地の液状化発生防止対策を実施することが可能となった。

この市街地液状化対策事業で参考とする技術基準類として、市街地液状化対策事業実施地区で得られた知見を取り込み市街地液状化対策推進ガイドンス¹¹⁾が平成 26 年 3 月に公表された。図 3.3.1 は市街地液状化対策推進ガイドンスに示された市街地液状化対策のタイムラインの一例である。このタイムラインでは、被災後 2 週間で被災概要の把握、1 ヶ月～2 ヶ月には地区別の対策方針の選別作業を実施することが目安として示されている。

熊本地震は液状化被害が広域で面的に発生した地震災害として、東日本大震災以来の災害となった。しかし、タイムラインで示した時間経過と比較して、事業の実施までに時間を多く要しており、平成29年3月の段階でタイムライン上の行程が(2)あるいは(3)までしか行程が進んでいない。

この理由として(1)に含まれる「液状化による宅地・建物被害状況調査」及び(2)に含まれる「被災前のボーリング・地質調査結果の入手」に時間を要していることが挙げられる。

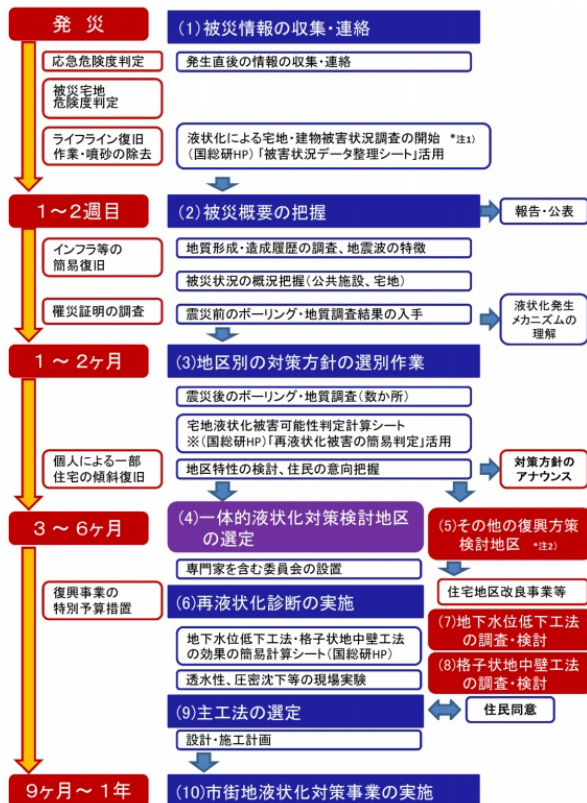


図3.3.1 市街地液状化対策のタイムラインの一例（国土交通省，2016）¹¹⁾

地震後に行政が実施する宅地被害状況調査として被災宅地危険度判定があるが、被災宅地危険度判定の成果は紙面情報として一次整理がされており「液状化による宅地・建物被害状況調査」に充分活用できていない。

また、「被災前のボーリング・地質調査結果の入手」について、当該地域には九州地盤情報共有データベース¹²⁾があるものの、市町村のデータの多くはデータベース化されておらず、多くは紙面情報であり、すぐには利活用できる状態に無い。

今後は、迅速にタイムラインを進めるためにも、被災宅地危険度判定成果や地盤情報の電子化とデータベース化が急務である。

3.3.2 公共施設と宅地の一体的な液状化対策

市街地液状化対策事業の創設を契機として、平成25年度に宅地耐震化推進事業に宅地液状化防止のメニューが追加された。これにより、市街地液状化対策事業と同様に、建物が並ぶ既存の宅地において実施する事前防災対策として、地下水位低下工法あるいは格子状地中壁工法等による公共事業による液状化対策が可能となった。

公共事業実施の前提条件として、これらの工法が適用可能である必要がある。また、事業実施主体の判断により受益相当分の個人負担金が発生する場合があります。工事実施にあたって住民同意に影響を及ぼす場合があります。東日本大震災後の市街地液状化対策事業では、液状化対策を検討した千葉、茨城、埼玉県の12市のうち全ての検討地区で工事に進んだのは2市にとどまっていた。残り10市のうち、5市は一部実施となるも、一部地区で工事を断念したり、着工見通しの立たない地区を抱えたりしている。残りの5市は地盤条件により地下水位低下工法が適用できない、個人負担金額などから住民同意が得られないことなどを理由に工事に進むのを断念した¹³⁾。

地盤条件について、例えば地下水位が3～5mに位置するものの、それ以深に厚い液状化層が存在する場合、液状化による不等沈下が懸念されたとしても、深い液状化層の対策には地下水位低下工法は不向きであり、また、格子状地中壁工法において格子状改良を深い層まで実施する場合はコストが高くなる。

このような状況から液状化対策を推進するためには、新規工法の開発により工法の選択肢を増やすことが必要になっていると考えている。

また、宅地耐震化推進事業については、熊本地震の被災地で事業を実施する地区が、対策工事に進む初めての事例となる。熊本市では熊本市地下水保全条例により地下工事における地下水への影響防止が義務づけられている。地下水位低下工法による周囲の地下水流動への影響や地盤改良による地下水水質への影響が無いように施工することが必要であり、従来の液状化対策に加えて、検討すべき項目は多い。宅地耐震化推進事業による対策済み地区を増やすためには、技術的な蓄積が必要とされている。

3.3.3 個別液状化対策

宅地は個人の資産であり、原則個人で液状化対策を行うものである。公共施設に影響を及ぼすような宅地の液状化については、上述した一体的な液状化対策の検討対象となるが、多くは個別液状化対策となる。液状化対策には、地盤の液状化を生じさせない対策、液

状化が生じても建物や構造物に被害を生じさせない対策、液状化により生じた建物被害を被災後修復させる対策など、複数の考え方と方法があり、それらを理解し適切な対策を講じることが重要である（表 3.3.1）。

表 3.3.1 に示した各種液状化対策工法は、元来、土木工事で行われているものが多い。図 3.3.2 は各種対策工法の施工面積とコストの関係を示している。一般に宅地は 100m²程度と考えると、現状では 500 万円以上の対策費用が必要となり、個別対策を実施できる宅地も限られたものとなる。より安価で確実な液状化対策技術の開発もまた急務である。

表 3.3.1 液状化対策の原理・目的と工法の例

原理		目的	工法
液状化の防止	土の性質の改良	密度増加	締固め工法
		強度増加	固化処理工法
		粒度の改良	置換工法
		飽和度の低下	地下水位低下工法 不飽和化工法
	力学的環境の改良	有効応力の増大	盛土工法
液状化被害の防止・低減	沈下抑制	間隙水圧の抑制消散	ドレーン工法
		せん断変形抑制	地中壁工法
		変位抑制	杭基礎工法
	浮き上がり抑制	浮き上がり抑制	補強土工法
		重量増大	密度増大
液状化後の修復	復旧・回復	沈下・傾斜修正	ジャッキアップ工法

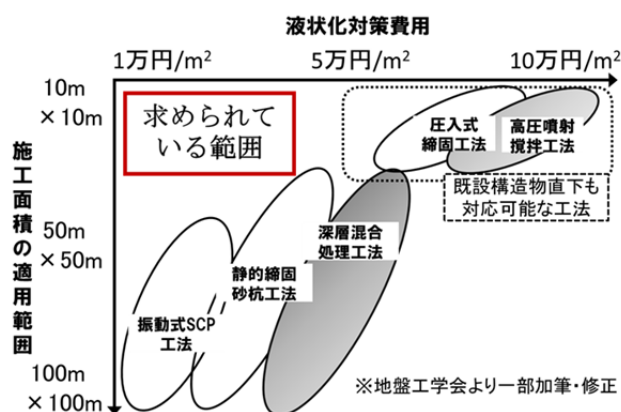


図 3.3.2 液状化対策費用と施工面積¹⁴⁾

3.4 まとめ

本章では、まず、熊本平野における液状化の状況と被害について現地調査と空中写真判読により調査した結果について述べた。液状化は、地形的にみると 2011 年東北地方太平洋沖地震で生じたような埋立地や旧河道といった場所だけでなく、自然堤防や氾濫平野においても生じていたことを示した。また、白川から枝分かれするように自然堤防内を縦断する液状化

の帯が 3 本認められた。宅地を対象とした液状化危険度評価¹⁾は主としてめり込み沈下に対して検討され、その評価方法には、上部の非液状化層厚が 3m, 5m を閾値として区別される。上部非液状化層が厚くなれば、めり込み沈下による被害は小さくなることから、建物被害も小さくなるという考え方である。しかし、5m 以深に液状化層が存在し、その層厚が建物敷地内で変化する場合には、不等沈下や段差を生じる可能性があるため注意を要する。すなわち、液状化層厚が不連続に変化、あるいは、急変している可能性も念頭においた地盤調査の実施と不等沈下の検討が必要である。

液状化被害の激しかった地区とそうでない地区等を比較検討することは有効であり、地盤調査、土質試験および地震応答解析等により火山灰質砂質土地盤に対する液状化判定手法を確立し、その判定手法によって液状化層を特定する必要がある。これによって明らかになった液状化層の深度や液状化の程度等から、液状化被害の原因分析を行い、その原因に応じた液状化対策を講じることが有効であると考えられる。なお、今回液状化した場所が再び液状化する（再液状化する）ことを想定し、地盤調査の実施と確立した液状化危険度の評価、そして、対策を講じること忘れてはならない。

液状化対策には、地盤の液状化を生じさせない対策、液状化が生じても建物や構造物に被害を生じさせないような対策、液状化により生じた建物被害を被災後修復させる対策など、複数の考え方と方法があり、それらを理解し適切な対策を講じることが重要である。また、熊本市では、熊本市地下水保全条例で地下工事における地下水への影響防止が義務づけられており、地下水位低下工法による周辺の地下水流動への影響や地盤改良による地下水水質への影響が無いように施工することが必要であり、従来の液状化対策に加えて、検討すべき項目は多い。

謝辞

本報告をまとめるに当たり、熊本市土木部、および、九州旅客鉄道（株）に提供いただいた地盤情報データを利用しました。また、国土地理院より空中写真および治水地形分類図のデータを提供いただいた。国土交通省都市局都市安全課 松下一樹氏には、貴重なアドバイスをいただきました。付記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 村上哲・永瀬英生・大里重人：液状化に関する報告，第 51 回地盤工学研究発表会（岡山）平成 28

- 年熊本地震地盤災害報告会, p.3, 2016 (参照 URL: <http://www.tec.fukuoka-u.ac.jp/tc/labo/drr/gis/H28KumamotoEQ/H28KumamotoEQ20160914TXT.pdf>)
- 2) 村上哲・永瀬英生・大里重人・矢ヶ部秀美:平成 28 年熊本地震による液状化・陥没による地盤被害, 地盤工学会誌, Vol.65, No.4, 2017. (投稿中)
 - 3) T. Mukunokia, K. Kasamab, S. Murakamic, H. Ikemid, R. Ishikurab, T. Fujikawac, N. Yasufukub, Y. Kitazono, Reconnaissance report on geotechnical damage caused by an earthquake with JMA seismic intensity 7 twice in 28 h, Kumamoto, Japan, Soils and Foundations, 56(6), p.947-964, 2016.
 - 4) 村上哲・永瀬英生:平成 28 年熊本地震 液状化被害, 平成 28 年熊本地震地盤災害説明会 (2016/4/27 福岡市), 2016. (参照 URL: <http://www.tec.fukuoka-u.ac.jp/tc/labo/drr/gis/H28KumamotoEQ/H28KumamotoEQ20160427.pdf>)
 - 5) 村上哲・永瀬英生:平成 28 年熊本地震による熊本平野で生じた液状化とその被害について(速報), 地盤工学会平成 28 年熊本地震地盤災害調査団 液状化班報告(平成 28 年 5 月 11 日), 2016. (参照 URL: <http://www.tec.fukuoka-u.ac.jp/tc/labo/drr/gis/H28KumamotoEQ/H28KumamotoEQ20160511.pdf>)
 - 6) 村上哲・永瀬英生・山田康平:坪井川下流・井芹川旧河道部における液状化とその被害について(速報) 地盤工学会平成 28 年熊本地震地盤災害調査団 液状化班報告(平成 28 年 5 月 23 日), (参照 URL: <http://www.tec.fukuoka-u.ac.jp/tc/labo/drr/gis/H28KumamotoEQ/H28KumamotoEQ20160523.pdf>)
 - 7) 村上哲・永瀬英生:平成 28 年熊本地震による熊本平野で生じた液状化とその被害について(その 2), 地盤工学会平成 28 年熊本地震地盤災害調査団 液状化班報告(平成 28 年 6 月 21 日), 2016. (参照 URL: <http://www.tec.fukuoka-u.ac.jp/tc/labo/drr/gis/H28KumamotoEQ/H28KumamotoEQ20160621.pdf>)
 - 8) 村上哲・永瀬英生:熊本市およびその周辺における空中写真による液状化判読と液状化マップ(20160624 版)について, 地盤工学会平成 28 年熊本地震地盤災害調査団液状化班報告(平成 28 年 6 月 24 日), 2016. (参照 URL: <http://www.tec.fukuoka-u.ac.jp/tc/labo/drr/gis/H28KumamotoEQ/H28KumamotoEQ20160624.pdf>)
 - 9) 村上哲:熊本地震による宅地地盤災害, 熊本地震における地盤及び建物被害についての研修会, 2016. 参照 URL: <http://www.tec.fukuoka-u.ac.jp/tc/labo/drr/gis/H28KumamotoEQ/H28KumamotoEQ20160830.pdf>)
 - 10) 大本照憲・富本和也・澤田誠一・加藤清正による流水制御法「白川の石塘」の機能評価, 河川技術論文集, 16, p.6, 2010.
 - 11) 国土交通省:市街地液状化対策推進ガイドンス(本編), p.180, 2016.
 - 12) 九州地盤情報共有データベース 2012 年版, 地盤工学会九州支部・九州地盤情報システム協議会(DVD), 2012.
 - 13) 田野井雄吾・有田智一・糸井川栄一・梅本通孝・太田尚孝:公有地・民有地の一体的な液状化対策事業の実態と課題ー東日本大震災液状化被災 12 自治体を対象としてー, 公益社団法人日本都市計画学会都市計画論文集, 50(3), p.394-401
 - 14) 地盤工学会関東支部:造成宅地の耐震対策に関する研究委員会報告書, 地盤工学会, 2013.

付録 A

図 3.A.1 から 15 に液状化による被害事例の写真を示す。



図 3. A. 1 近見・刈草地区における液状化被害



図 3. A. 2 南高江地区における液状化被害



図 3. A. 3 八幡地区における液状化被害



図 3. A. 4 富合・川尻地区における液状化被害



図 3. A. 5 土河原地区, 砂原・孫代地区における液状化被害



図 3. A. 6 城山薬師・城山半田地区, 中島地区における液状化被害

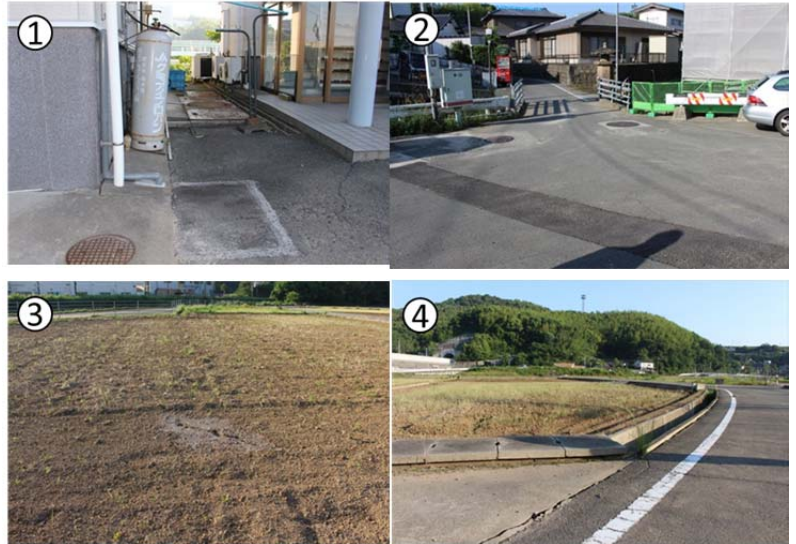


図 3.A.7 池亀地区、釜尾地区における液状化被害



図 3.A.8 花園・上熊本地区における液状化被害



図 3.A.9 横手・島崎地区における液状化被害



図 3. A. 10 松尾・高橋・上代地区における液状化被害



図 3. A. 11 沖新町地区、小島新町地区における液状化被害



図 3. A. 12 犬渕地区・御幸木部地区における液状化被害

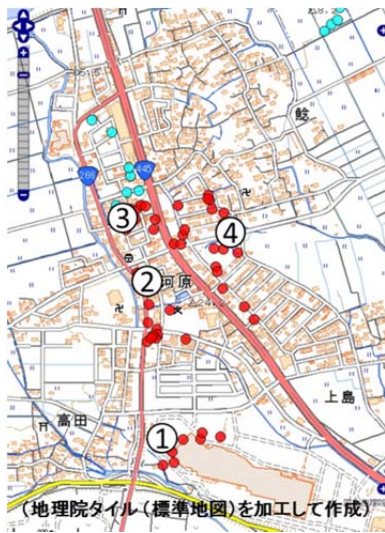


図 3. A. 13 上島・鯉地区における液状化被害



図 3. A. 14 秋津町秋田地区における液状化被害

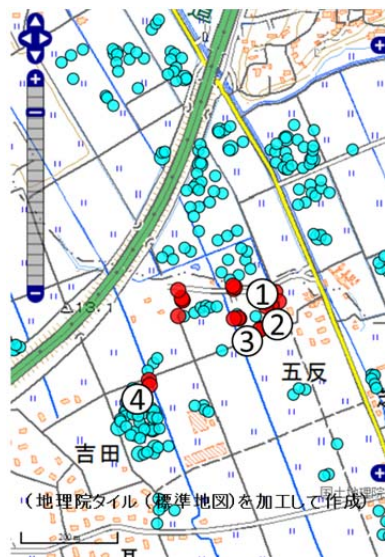


図 3. A. 15 甲佐町における液状化被害