

4.2 液状化

4.2.1 液状化発生地点の分布

図4.2.1に、本地震により液状化の発生を確認した地点を示す。液状化は、震源地に近い小千谷市、川口町などの信濃川沿岸地域をはじめとして、北は三島郡与板町・中之島町、西は柏崎市などで発生している。上記地域のうち、信濃川に架かる与板橋から越の大橋にかけての信濃川沿岸には特に高密度に噴砂が確認された。また、極めて局所的にはあるが柏崎市南部の新興住宅地でも液状化による住宅等の不同沈下が発生した。以下に地域別に液状化の特徴と地形・地盤特性との関係について述べる。

4.2.2 液状化発生の特徴と地形・地盤特性

(1) 見附市付近

図4.2.2に見附市付近の液状化発生地点を示す。調査漏れもあろうが、液状化の発生は散発的であり、噴砂量は総じて軽微であった。しかし、中には写真1に見られるように畑一面大量の噴砂が確認された地点もある。ここでの噴砂は自然堆積と推定される灰色のきれいな砂であった。図4.2.2のA地点では新潟地震でも液状化が確認されている¹⁾。また、噴砂地

点の大部分は刈谷田川の沿岸に位置しているが、図4.2.2のB、C地点のように川から離れた市街地でも噴砂が見られた。南本町2丁目(B地点)では、スーパーの駐車場に噴砂と地盤沈下が見られた(写真4.2.2)。被害は駐車場のみにとどまらず、付近一帯に噴砂や歩道の変状が見られた。

図4.2.3に、図4.2.2の地域の昭和6年の地形図を示す。見附市において液状化が確認された地点は、すべて明治時代の刈谷田川の流路およびこれに隣接する自然堤防(地形図で桑畑Yマークの部分)で発生していることがわかる。図4.2.4に旧河道におけるボーリング柱状図を示す。表層は腐植土混じりの軟弱な粘性土層であり、地下水位はGL.-1.1mと浅い。この粘性土層は旧河道が湿地化していた時代の堆積物であり、建物建設に際しては盛土が施されたと推定される。市街地といっても周囲より低く、すり鉢状の集水地形となっていることなどから、盛土材料が液状化したものと推定される。また、盛土直下の地盤が極めて軟弱で、そのため揺れやすかったことも液状化を誘発した一因と考えられる。

(2) 三島郡与板町・中之島町・長岡市北部(与板橋～蔵王橋)

信濃川にかかる与板橋から蔵王橋にかけての信濃

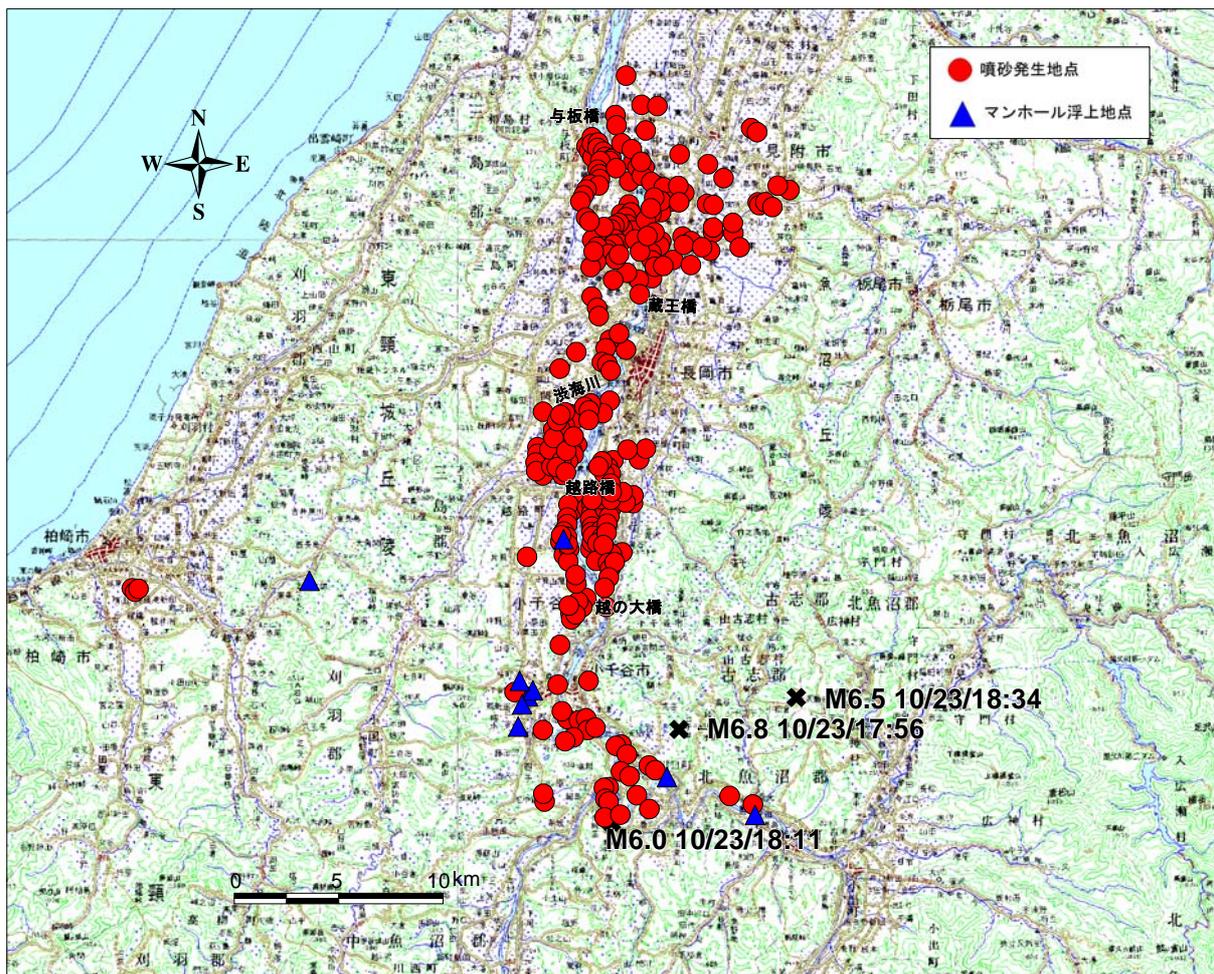


図4.2.1 新潟県中越地震による液状化発生地点の分布(現地踏査と空中写真判読による)

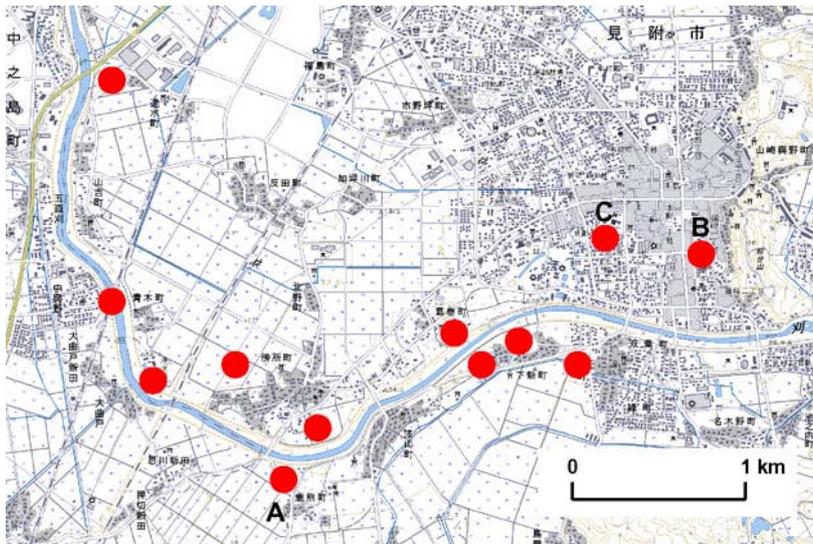


図4.2.2 見附市付近の液状化発生地点
(国土地理院1/2.5万地形図「見附」を使用)



写真4.2.1 見附市下新町の畑における噴砂



写真4.2.2 見附市南本町2丁目の駐車場で
の噴砂とアスファルトの波打ち

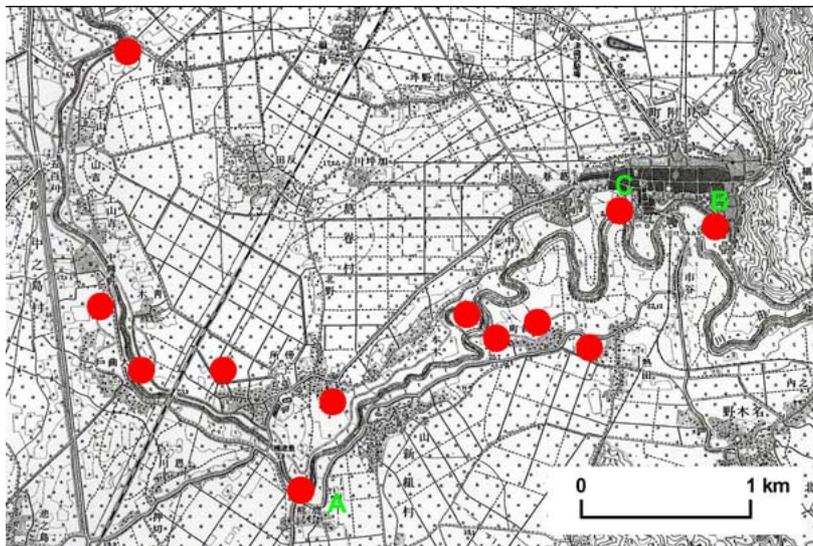


図4.2.3 見附市の液状化発生地点と旧地形との関係
(昭和6年測図1/2.5万地形図「見附」を使用)



図4.2.4 刈谷田川旧河道の土質柱状図²⁾
(図2のC地点)

川沿岸の水田には、写真4.2.3に見られるように多数の噴砂が見られた。図4.2.5に噴砂地点の分布の一例を示すが、噴砂は地形的に見ると信濃川の旧河道やポイントバー(蛇行州)にあたる所で発生しており、大きいものでは噴砂孔の直径が約2mのものもあった(写真4.2.4)。これらの地点の中には、1964年新潟地震で液状化した記録がある地点¹⁾も多く含まれている。

構造物への影響は少なかったが、水田に噴砂の発生した地域では電柱の傾斜や沈下、道路の変状などが見られた(写真4.2.5)。図4.2.6に、与板高校における土質柱状図を示す。ここでは、校庭に噴砂を生じていたが、新潟地震でも液状化が発生した記録がある¹⁾。地表から7m付近まで信濃川の河成堆積物と推定される緩い砂が堆積しており、このような地盤条件が震源地から30km程度離れているにもかかわらず、

この地域に広範囲・高密度に噴砂が発生した原因と考えられる。

(3) 長岡市南部・越路町・小千谷市北部(蔵王橋～越の大橋)

信濃川沿岸の地盤は、蔵王橋付近を境に砂質地盤(自然堤防地帯)から、砂礫地盤(扇状地)に移行する。従って、現地踏査前には蔵王橋より上流には液状化は余り生じていないと予想された。しかし実際には、渋海川合流点(越路町)付近より越の大橋に至る信濃川両岸の水田におびただしい噴砂が確認された(図4.2.1)。また、同じ水田でも噴砂が全く生じていない地域もあり画然とした相違が認められた。東京大学古関研究室のヒアリング調査⁴⁾によると、越路町岩野(信濃川左岸)での水田の噴砂箇所は、砂利を採



写真4.2.3 東与板水田における噴砂(白く筋状に写っているのが噴砂)³⁾



写真4.2.4 信濃川沿岸の水田。噴砂孔の孔径は約2m (長岡市川袋町)



写真4.2.5 電柱の沈下・傾斜と道路の変状(県道22号線与板町江西2丁目)

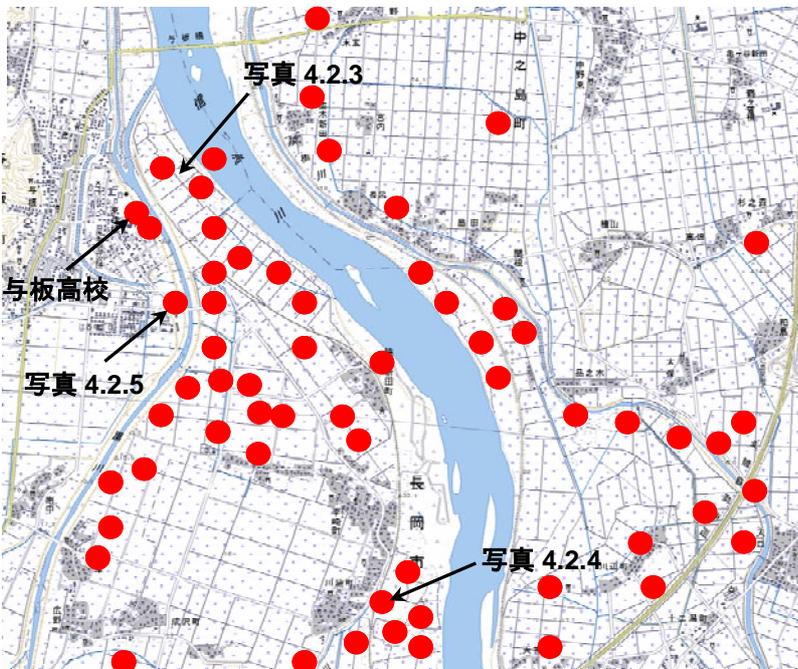


図4.2.5 与板町・中之島町・長岡市北部における液状化発生日点

標尺 (m)	土質名	N値	
		20	40
0	表土		
2	砂質シルト		
4	中粗砂		
6	粗砂		
8	粗砂		
10	礫混り粗砂		
12			
14	腐植土		
16	中砂		
18	粗砂		
20			

図4.2.6 液状化発生日点の土質柱状図²⁾ (与板町与板高校)

掘した跡地の埋め戻し地盤とのことである。このことから、筆者らは上記の地域で砂利採掘業者より採取地域の確認を行った。以下に砂利の採掘状況と噴砂発生との関係を記す。

① 左岸地域 (越路町岩野～小千谷市高梨町)

写真4.2.6に左岸地域の地震の翌日24日撮影された航空写真を示す。採掘業者によれば、越路町岩野の送電鉄塔より北側の地域でかつて砂利採取を行っており、現在は小千谷市鴻巣町や高梨町の上流側で採取しているとのことである。これらの証言と写真4.2.6の噴砂を比較すると、砂利採取が行われた地域では噴砂が高密度に発生していたが、未採取の地域

においても噴砂を生じていた。写真4.2.7は未採取の地域において撮影したものである。農道は波状に変形しており沈下・亀裂を生じている。農道両側の水田には一面噴砂を生じている。写真4.2.7の近傍で配管の敷設替え工事現場を見たところ、客土の下は黒っぽい大礫混じりの砂地盤であった。一方、写真4.2.8は砂利採取が行なわれた場所の噴砂状況である。写真7の噴砂は、暗青灰色であったのに対して、砂利採取が行なわれた田の噴砂は茶褐色で採取後に埋め戻した山砂が液状化したことを示唆している。

②右岸地域 (長岡市上前島町～三俣野町)

写真4.2.9に左岸地域の地震の翌日24日撮影された



写真4.2.6 越路町岩野～小千谷市高梨町の信濃川左岸地域における噴砂（国土地理院10月24日撮影空中写真）



写真4.2.7 砂利未採掘地点における農道の被害と水田の噴砂。鉄塔の向こう側で砂利の採掘が行われた。



写真4.2.8 砂利採掘跡地の埋戻し地盤における噴砂。

航空写真を示す。左岸側よりさらに広範囲な地域で水田に噴砂を生じている。生コン会社でヒアリングを行ったところ、現在は長岡市滝谷町で砂利採取中であるが、かつては、上前島町～大河原町にかけてランダムに砂利採取を行なったとのことであった。

写真4.2.9のA地点において、住民に話を聞いたところ、「この辺りは砂利採取が行なわれた場所と行われなかった場所があり、砂利採取が行なわれた水田は地震の際に大量の水を噴き、地震後1ヶ月以上経過した今も水が引かないが、砂利採取をしなかった水田は無被害または被害軽微であった。この場所は約20年前に砂利採取を行なったが、最近採取した南側の田はもっと被害がひどかった」そうである。

砂利採取業者によると、採取事業は県の許可事業で、水田のみで行われ期間は最長1年半。掘削方法は写真4.2.10に示すように素掘りで、地盤から採取した掘削土をそのままダンプに乗せて骨材プラントに運び、骨材プラントで粗骨材と細骨材を選別して、残りの土は再びダンプに載せて掘削した場所に戻す（写真4.2.11）。もとの地表面の-1m程度まで掘削残土で埋め戻した後、約70cmの厚さで山砂を撒き出し、最後の30cmは耕作土を入れて、農地に戻して返却するとのことである。埋め戻した場所は、写真4.2.12に示すように液状化していた。

右岸地域においても、砂利採取が行われた水田では顕著な噴砂噴水が認められたが、採取が行われなかった水田や採取の対象外であった農道でも噴砂が

発生し液状化が関与していると考えられる被害を生じていた。図4.2.7に大川原町における土質柱状図を示す。地下水位はGL-1.1mと極めて高いが、表土の下は厚い砂礫地盤で、砂利採掘が行われていない自然地盤のものと推定される。水田地帯におけるボーリングデータはほとんどなく、自然地盤で噴砂を生じた場所には局所的に緩い砂層が存在するのか、あるいは図4.2.7に示すような地盤でも液状化したのか現時点では判断できない。

なお、砂利採掘地域の東側では、上越新幹線滝谷トンネルを出てから脱線現場（越路橋東方）に至る新幹線橋脚部にも、埋戻し土の液状化と推定される泥水を噴き上げた痕跡が多数認められた。ただし、液状化ではなく橋脚と周辺地盤の地震時の動きの違いによって両者に相対変位が生じ、その隙間の地下水が押されて吹き上がっただけの可能性もある。新幹線脱線現場付近の水田にごく軽微な噴砂が散見され、マンホールの浮上が認められた。付近の土質柱状図を図4.2.8に示すが、大規模な液状化を引き起こすような厚い砂層は認められない。

(4) 小千谷市・川口町・魚沼市（越の大橋以南）

信濃川の形成した平野の南限は、右岸地域では越の大橋まで、左岸は山辺橋までであり、これ以南の地域では丘陵・山地が大部分を占めている。従って、液状化が起こりやすい沖積地盤は限られ、事実、長

岡市以北の地域のような大規模で広範囲な液状化は生じていない。

この地域の液状化の様相は2種類に大別できる。一つは、軟弱地盤地帯におけるマンホールの浮き上がりであり、もう一つは山間の河岸の低地・段丘の水田における噴砂である。

マンホールの浮き上がりは、小千谷市若葉町1丁目交差点付近をはじめとして小千谷市内の多くの箇所を観察され、また川口町、堀の内町でも起こっている。詳細は別報⁵⁾に譲るが、若葉町1丁目交差点付近では筆者らが確認しただけでも15基のマンホールが最大1.2m程度浮き上がっていた(写真4.2.13)。下水管路に沿って地盤が沈下し、所々に噴砂も見られた。また、小千谷市上村地区ではFRP製のマンホールが完全に地上に飛び出し倒れていた(写真4.2.14)。図4.2.9に写真4.2.14の近傍の土質柱状図を示す。GL-7.5m以浅は、透水性の悪い軟弱粘性土層と腐植

土層であり砂層は見当たらないことから、2003年の十勝沖地震をはじめとして北海道における地震でしばしば見られた埋戻し材料の液状化によるマンホールの浮き上がりと同じメカニズムと考えられる。

信濃川は小千谷市より上流で著しく蛇行しポイントバーを形成しており、多くは現河床面よりやや高く段丘化し水田として利用されている(写真4.2.15)。この段丘上の水田で写真4.2.15に示すような噴砂が散見された。段丘は沖積低地に比べて、液状化が一般に起こりにくいというのが通説であるが、この地域の河岸段丘の場合、背後の丘陵から多量の地下水の供給があり地下水位が極めて高いこと、ポイントバーは写真4.2.16に見られるように元々砂ないし砂礫質地盤であることから、液状化が発生したと推定される。なお、小千谷市稗生にある小千谷第二トンネルの小千谷側出口にある橋梁直下の水田では、写真4.2.17に見られるような直径4mの陥没が発生し

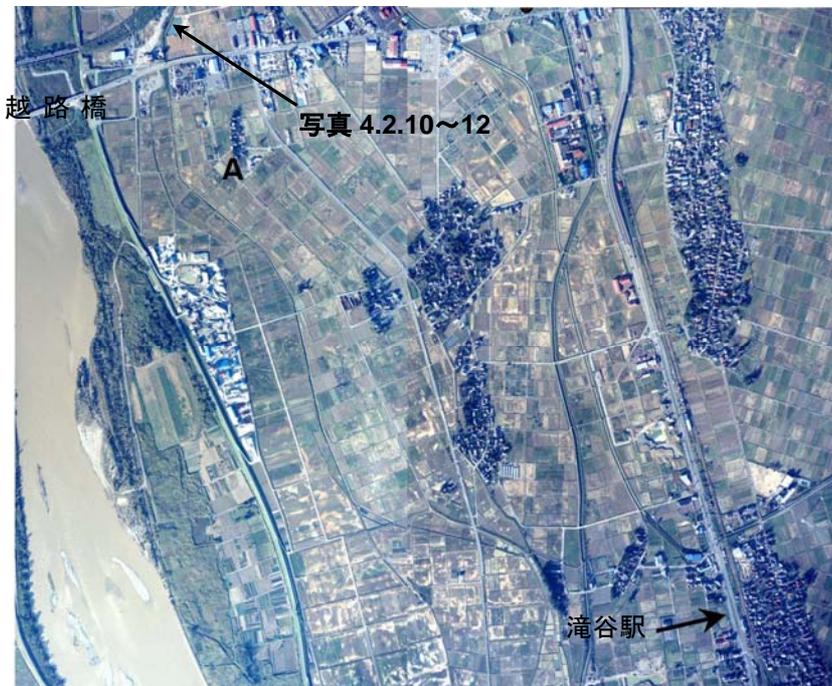


写真4.2.9 長岡市上前島町～三俣野町の信濃川右岸地域における噴砂(国土地理院10月24日撮影空中写真)



写真4.2.10 砂利掘削の状況



写真4.2.11 砂利採取後の埋戻しの状況



写真4.2.12 埋戻し地盤における噴砂

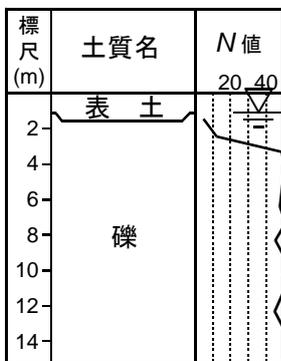


図4.2.7 大川原町における土質柱状図²⁾



図4.2.8 新幹線脱線現場付近の土質柱状図²⁾

た。付近に軽微な噴砂があることから液状化による噴砂孔との説⁶⁾もあったが、筆者らが付近の住民に聞いたところ、この孔は、昔、石炭の採掘を行なった孔で、地震後、陥没したとのことである。地盤中で間隙水圧が上がったかは不明であるが、少なくとも噴砂孔ではないようである。

堀之内町新道島の魚野川に面した堀ノ内浄化センターの敷地(盛土地盤と推定される)では、魚野川堤防と敷地内の全域に沈下・亀裂・噴砂などを生じ、施設の沈下や配管類に亀裂・破断を生じていた(写真4.2.18)。

(5) 柏崎市

柏崎市内では、市街地南東の半田・希望ヶ丘・朝日ヶ丘などの新興住宅地で噴砂噴水があり、住宅20棟余りに不同沈下や水道管破裂などの被害が発生した(図4.2.10)。また、数年前に敷設された下水管路に沿って道路が沈下した(写真4.2.19)。住民によれば、被害地域は元水田で平成元年頃付近の丘陵を削った山砂で盛土造成し住宅が建てられたとのことである。被害家屋は外観上は顕著な傾斜は生じていないが、建具類の開閉不能、外壁の亀裂などを生じており、転居を余儀なくされた家もある。また、付近の佐藤



写真4.2.13 小千谷市若葉町におけるマンホールの浮上



写真4.2.14 小千谷市上村におけるFRP製マンホールの浮上・転倒

標尺 (m)	土質名	N値
	表土	20
1	砂質シルト	20
2	粘土混じり砂質シルト	20
3	砂質シルト	20
4	砂礫	20
5	腐植土	20
6		20
7		20
8		20
9	砂礫	20
10		20

図4.2.9 写真4.2.14の近傍の土質柱状図²⁾

池運動広場では、グラウンドに噴水を生じ、施設に



写真4.2.15 川口町付近の信濃川のポイントバーと噴砂地点 (○で囲んだ範囲)
(国土地理院10月24日撮影空中写真)



写真4.2.16 川口町八郎場の堤外地に見られるポイントバー



写真4.2.17 小千谷市稗生の水田に生じた陥没⁶⁾

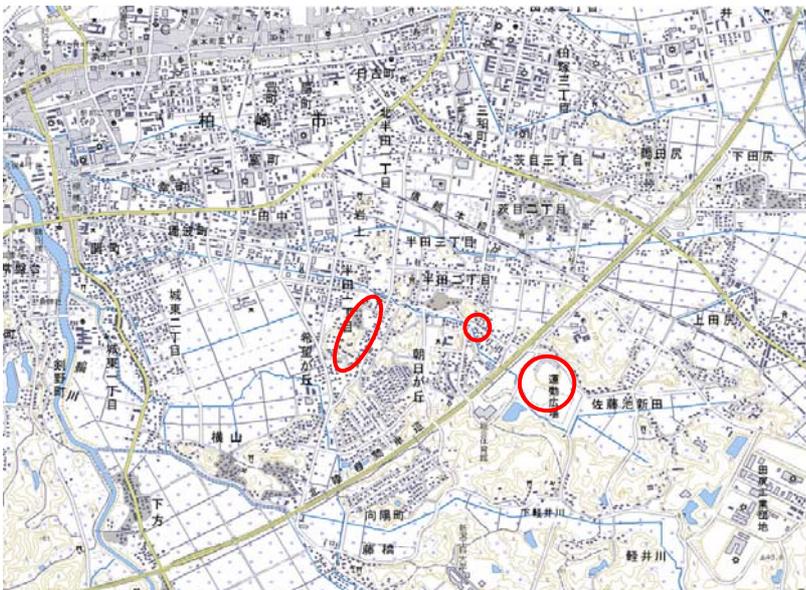


図4.2.10 柏崎市の液状化発生地点
(国土地理院1/2.5万地形図「柏崎」を使用)

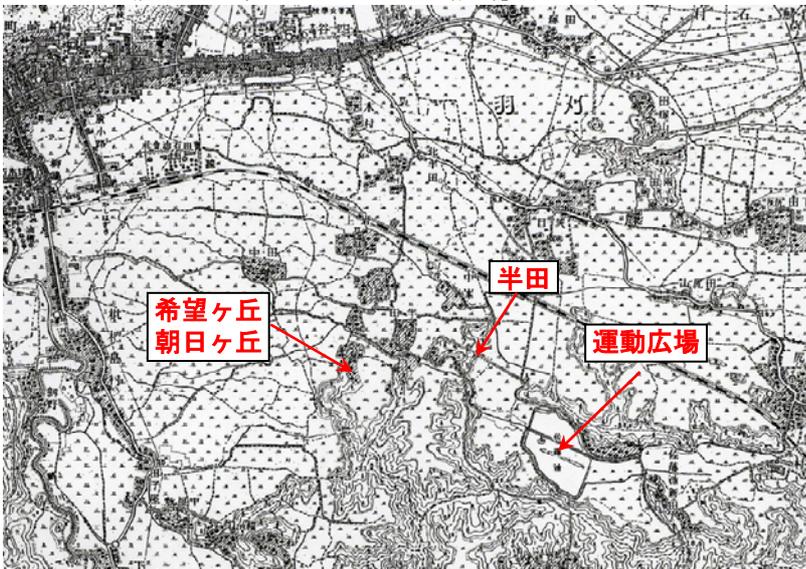


図4.2.11 柏崎市の液状化発生地点と旧地形との関係
(明治44年測図1/2.5万地形図「柏崎」を使用)

沈下・陥没などの被害を生じた。

図4.2.11に、図4.2.10の地域の明治44年の地形図を示す。住宅被害があった希望ヶ丘をはじめとする地域は、丘陵地に囲まれた水はけの悪い低地である。また佐藤池運動場は、その名の通り池であることがわかる。この池は旧版地形図の図歴より1970～1980年の間に埋立てられたようである。

図4.2.12に半田と運動場の中間を走る北陸自動車道の土質柱状図を示す。表層4mは腐植土、その下10mは極めて軟弱な粘土となっており、地下水位は地表に近い。半田2丁目の被害家屋敷地内で地震後実施したスウェーデン式サウンディング調査によれば、盛土厚さは約4mであった。現地を観察すると、周囲の丘陵地は造成のために掘削されたため低地との比高は小さいが、丘陵から低地に向かって地下水が流れ出しており、丘陵との境界を流れる水路の鋼矢板護岸の隙間から地下水がザーと音を立てて水路に



写真4.2.18 堀ノ内浄化センター管理棟アプローチの変状



写真4.2.19 柏崎市半田2丁目における住宅の被害 (8cmの不同沈下)



写真4.2.20 佐藤池運動広場クラブハウス周囲の沈下(宮山陽子氏提供)

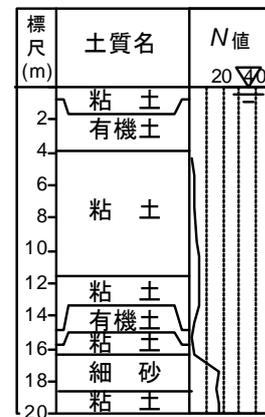


図4.2.12 液状化発生地点付近の土質柱状図²⁾

流れ込んでいた。また、被害を受けた住宅の敷地の地表面も、降雨後でないにもかかわらず湿気を帯びており地下水位が極めて高い状態であると推察された。

以上のことから、柏崎市の造成地では、軟弱地盤上の盛土が液状化したものと考えられる。

4.2.3 まとめ

今回の地震では、震源地から約30kmの範囲に液状化が発生し、特に信濃川沿岸では多数の噴砂が見られた。液状化による被害は、農地の噴砂、道路亀裂・沈下、マンホールの浮き上がり、ライフラインの破断が主で、建物への影響は液状化の発生範囲が広がった割には少なかった。

液状化発生したと推定される土を、地形・地盤特性から分類すると以下ようになる。

- 1) 信濃川の旧河道、自然堤防、ポイントバーなど河成砂
- 2) 扇状地性の砂礫地盤における砂利採取跡地の埋戻し土
- 3) 腐植土が堆積する軟弱地盤上の盛土
- 4) 腐植土が堆積する軟弱地盤上の埋戻し土

謝辞

現地踏査を実施するに当たり(株)興和の柴田 東氏と中野義仁氏には多大なご協力を頂いた。また、関東学院大学大学院生 伊藤 忠君にも現地踏査に同行して頂きお世話になった。柏崎市在住の宮山陽子さんには柏崎市内の新興住宅地での液状化被害に関する情報を提供して頂いた。以上の方々に記して深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 若松加寿江：日本の地盤液状化履歴図，東海大学出版会，1991.
- 2) 北陸建設弘済会：新潟県平野部の地盤図集，1981.
- 3) 朝日航洋ホームページ：www.aeroasahi.co.jp
- 4) 東京大学生産技術研究所古関研究室：2004年新潟県中越地震調査速報(11月2日)，
<http://soil.iis.u-tokyo.ac.jp/index-j.htm>
- 5) 安田 進・規矩大義:7(4) 下水道施設の被害，(本報告書)，土木学会，2005
- 6) 応用地質(株)平成16年(2004年)新潟県中越地震被害調査速報，2004.