2004年新潟県中越地震による液状化現象と 液状化発生地点の地形・地盤特性

若松 加寿江¹・吉田 望²・規矩 大義³

¹正会員 防災科学技術研究所 川崎ラボラトリー (〒210-0006 神奈川県川崎市川崎区砂子2-6-2)

E-mail: wakamatsu@kedm.bosai.go.jp

²正会員 東北学院大学工学部環境土木工学科 (〒985-8537 宮城県多賀城市中央1-13-1)

E-mail: yoshidan@tjcc.tohoku-gakuin.ac.jp

³正会員 関東学院大学工学部社会環境システム工学科 (〒236-8501 神奈川県横浜市金沢区六浦東1-50-1)

E-mail: kiku@kanto-gakuin.ac.jp

本論文では、現地踏査と地震直後に撮影された航空写真の判読により、2004年新潟県中越地震による液状化発生地点の全体像を明らかにすると共に、現地踏査により液状化による被害の様相を明らかにした。さらに、微地形条件の調査および既存のボーリング資料から、液状化が発生した場所の地形・地盤条件を調べ液状化発生の素因についての考察を行った。その結果、震源地から約30kmの範囲に液状化が多数発生し、1964年新潟地震で液状化が発生した同じ場所で今回も噴砂が確認された。液状化したと推定される地層を地形・地盤特性から分類すると、1) 信濃川およびその支流の河成砂、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) 腐植土や粘性土が堆積する軟弱地盤上の盛土や埋戻し土、4) 海岸砂丘の裾の自然堆積の砂丘砂および砂丘砂による盛土、となった。

Key Words : *liquefaction, 2004 Niigata-ken Chuetsu earthquake, backfilled ground, former river channel, fluvial sand, aeolian sand*

1. はじめに

2004年10月23日17時56分頃、新潟県中越地方の深さ13kmでM6.8(暫定値)の地震が発生し、新潟県川口町で震度7、小千谷市、山古志村、小国町で震度6強、長岡市、十日町市、栃尾市、越路町、三島町、堀之内町、広神村、守門村、入広瀬村、川西村、中里村、刈羽村で震度6弱を観測したほか、東北地方から近畿地方にかけて震度1から5強を観測した¹⁾。

新潟県下では1964年の新潟地震の際に広範囲にわたって液状化現象が発生し、構造物に多大な被害を及ぼした経緯があることから、筆者らは地震3日後の10月26日から3日間現地踏査を実施し、新潟市から小千谷市にいたる信濃川流域の液状化発生状況を視察した。その後、現地踏査ではカバーできなかった地域に対して、地震直後に撮影された航空写真の判読によって噴砂発生地点を抽出し、液状化が発生した地域の広がりを大まかに把握すると共に、他の調査団や現地住民からの情報を得て、再び現地に赴き液状化の痕跡や被害状況を目視確認すると

いう作業を繰り返した。

上記の調査と平行して、被害地域の旧版地形図(古い時代の地形図)を入手し、過去の図歴から地形改変や土地利用の変遷を調べると共に、既存の地形分類図、地質図、ボーリング資料などから、液状化した地層とその堆積環境を推定し、液状化が発生した場所の地形・地盤条件の絞り込みを行った。これらの判断の妥当性を確認するために、さらに現地において地形条件と液状化発生の有無の確認を行った。

以上の調査の結果、液状化の発生地点には、微地形に反映されている堆積環境や地形・地盤の人工改変との間に密接な関係がみられた。このことは、今後、同じような条件を有するところでは他の地域でも液状化が発生する可能性が高いことを示している。事実、今回の液状化発生地域の中には、過去に液状化が発生した履歴があるいわゆる再液状化地点が多数含まれていた。このことから、今回の地震による液状化発生地点の分布を明らかにし、液状化発生地点の地形・地盤条件を整理・分類しておくことは、耐震対策上重要である。

なお、筆者らの調査した液状化地点は、今回の地震による液状化発生地点を完全に網羅しているとは言えないが、液状化が発生した範囲と、代表的な液状化現象とそれに伴う被害は遺漏なく調査したと考えている。

2. 調査方法

液状化発生地点と被害状況は、以下の方法で調査した。

(1) 現地踏査

現地踏査は、以下の日程で合計7回実施した。

- ・2004年10月26日～28日：与板町，三島町，見附市，越路町，長岡市，小千谷市
- ・2004年10月29日～31日：十日町市，堀之内町，川口町，小千谷市，長岡市，三島町，与板町
- ・2004年11月18日：大和町，小出町，堀之内町，川口町，小千谷市，長岡市
- ・2004年11月23日：柏崎市
- ・2004年11月24日～25日：長岡市，越路町，小千谷市，小国町，柏崎市
- ・2005年4月6日：見附市
- ・2005年4月19日：柏崎市，刈羽村，西山町

(2) 空中写真判読

10月24日および28日に撮影された縮尺1/8,000～1/12,500航空写真²³⁾合計205枚を判読した。撮影地域は、北は三条市付近、南は十日町市・塩沢町までの信濃川と魚野川沿岸地域、および柏崎平野のほぼ全域である。ただし、写真から噴砂が確認できるのは農地やグラウンドなど構造物がない土地に限定されている。また、写真上で噴砂が発生したと判断された地点の全てについて現地調査を行っているわけではないが、各エリアの代表地点は現地で確認している。

(3) ヒアリング

現地踏査の際に、被災地住民よりヒアリングを行った。このほか、新潟県建築士会柏崎支部の岡嶋和裕氏には柏崎市，刈羽村，西山町全域の液状化被害について、被災地で建物の応急危険度判定に参加された愛知県建設部の尾崎智央氏には刈羽村について、柏崎市在住宮山陽子氏には柏崎市の液状化被害について情報提供を受けた。

3. 液状化発生地点の分布

2章で述べた調査の結果明らかになった液状化発生地点を図-1に示す。なお、前述のように、農地やグラウンドでの噴砂は空中写真判読のみにより抽出したものが少

なくないが、図-1には明瞭な噴砂のみをプロットしている。農地等以外の噴砂については、現地踏査の際に発見したものやヒアリングなどの情報に基づき現地確認を行ったものである。したがって、農地等とそれ以外の地域では、調査密度が異なっている。

液状化は、与板町から十日町にいたる信濃川とその支流沿岸地域および柏崎平野に多数生じている。また、散発的ではあるが北部の三条市・燕市，南部の大和町・六日町でも、堤外地などに噴砂が見られた。

構造物への影響は、信濃川沿岸の市町村では、マンホールの浮上り，農業施設・農地・道路被害が主体で、建物被害は少なかった。これに対して、刈谷田川沿岸の見附市や日本海沿岸の柏崎市と刈羽村では、広い範囲で住宅の基礎に亀裂や不同沈下などの液状化被害が発生していた。

構造物の液状化被害が確認された震央から最も遠い地点は震央距離約43kmの燕市で、市街地北西部の廿六木において隣接する2階建て木造住宅2棟が数10cm沈下して室内は床が波打ち，転居を余儀なくされた⁴⁾。また、廿六木の約3km南方の燕小池中学校では、高さ1.5mのマンホールが浮き上がり地上に完全に飛び出し，金属製の制御小屋は数10cm沈下した⁵⁾。以上の2地点は、いずれも信濃川支流の中ノ口川より約1km離れた水田地帯で、近年盛土造成された場所である。

以下に液状化の発生と地形・地盤特性との関係について、地域別に述べる。

4. 液状化の発生と地形・地盤特性との関係

(1) 見附市付近

図-2に見附市付近の液状化発生地点を示す。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-2のA、B地点などのように川から離れた市街地でも噴砂が見られた。液状化の発生は概して散発的であったが、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。なお、図-2のE地点では1964年の新潟地震でも液状化が確認されている⁶⁾。

南本町2丁目（図-2のA地点）では、大型店舗の駐車場に噴砂と地盤沈下が見られた（写真-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。ちなみに、写真-2の店舗は写真撮影時には屋内に立ち入ることができず外観からは被害が確認できなかったが、地震の約5ヶ月後に現地を訪れた際には取り壊されていたことから、大きな構造的被害を被っていたものと推測される。付近の住民によれば、一帯の住宅はほとんどが程度の差はあれ沈下したとのことであり、筆者

図-1 2004年新潟県中越地震による液状化発生地点（現地踏査と航空写真判読による）
（国土地理院数値地図1/200,000長岡，新潟，高田，日光を使用）

らの調査時にも基礎が沈み込んでいるのが認められたが大きく傾斜した建物はなかった。

図-3に、図-2に示した地域の1931年(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、すべてこの時代の刈谷田川の流路およびこれに隣接する自然堤防上で発生していた。現在の刈谷田川北方の南本町1~3丁目、本町2丁目、新町1, 3丁目では旧河道沿いの住宅に多数の被害を生じていた。写真-3は、地震5ヶ月後の南本町2丁目南児童公園(図-2のB地点)の状況である。図-2と図-3の新旧地形図を重ね合わせると、旧河道はこの公園の東部をほぼ南西から北東方向に横切っていたことになる。流路に相当するゾーンでは噴砂の痕跡が多数認められ柵やベンチが沈下していた。

図-2のC地点の近くに1961年(昭和36年)から居住している住民によると、現在の刈谷田川の流路は昭和10年代には既に開削されており、現在の流路と切り離された旧河道は、1961年移住当時、沼地の状態で残っていた。住民によると、沼地は1970年頃付近の畑の土で埋め立てられたとのことである。図-2のC地点の旧河道部では、液状化による家屋と道路の被害が周辺一帯の中でも最も著しく、筆者らが地震の約5ヶ月後に現地を訪れた際には、住宅数軒は既に取り壊されていたが、傾斜が目視で確認できる住宅がまだ残っていた(写真-4)。液状化による家屋や道路の被害は、旧河道だけでなくポイントバー(蛇行州)でも生じていた。前述の住民によれば、この付近では1964年の新潟地震の際には、噴砂・噴水など液状化によると考えられる被害はなかったとのことである。

図-4に図-2のA地点における旧河道部のボーリング柱状図を示す。表層よりGL-6.75mまでは緩い砂質土であり、地下水位はGL-0.15mと地表に近い。旧河道の水面が残っていた時代に埋め立てられたことを考えると、表土の下シルト質砂(灰褐色)は埋土である可能性がある。GL-3.70~6.75mに堆積する中砂と砂礫は刈谷田川の河床堆積物と推定される。この地点における大型店舗駐車場での噴砂(写真-2)は灰褐色であったことから、埋土が液状化した可能性が高い。旧河床砂と推定される中砂の液状化については現時点では判断できない。

(2) 信濃川沿岸与板橋から蔵王橋にいたる地域

信濃川にかかる与板橋から蔵王橋にかけての信濃川沿岸の水田には、写真-5に見られるように多数の噴砂が見られた。中には、写真-6に示すような大きな噴砂孔もあった。図-5に噴砂地点の分布を示す。図には信濃川流路の過去の蛇行帯を矢印で示しているが、噴砂はこの蛇行帯に沿った旧河道やポイントバーにあたる所で発生している。また、図-5には1964年新潟地震での液状化が発生した領域⁹⁾も併せて示しているが、今回の地震で再液状

化した所も多く含まれている。被害は農地や農業施設が主体で、それ以外の構造物への影響は余り見られなかったが、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-7)。図-6に、図-5の与板高校における土質柱状図を示す。ここでは、新潟地震でも液状化が発生した記録があり⁹⁾、今回も校庭に広範な噴砂を生じていた。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、この地域で広範囲・高密度に噴砂が発生した原因と考えられる。

(3) 信濃川沿岸蔵王橋から越の大橋にいたる地域

信濃川沿岸の地盤は、蔵王橋付近を境にして砂質地盤から扇状地性の砂礫地盤に移行する。現地踏査前には蔵王橋より上流には液状化はほとんど生じていないと予想された。しかし実際には、写真-8、写真-9に示したように越の大橋までの信濃川兩岸の水田におびただしい噴砂が確認された。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。越路町岩野での噴砂箇所は砂利採掘跡地の埋戻し地盤との報告⁹⁾があることから、砂利採掘業者や生コン会社からヒアリングを行い、砂利の採掘方法や採掘地域と液状化発生との関係を調査した。

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-10に示すように素掘りで、深度5~15mまで掘削する。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、そこで粗骨材と細骨材を分離して、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-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。写真-11の地点に隣接する埋戻しが終了した場所は、写真-12に示すように液状化していた。

また、生コン会社によれば、現在は長岡市滝谷町で砂利採取中であるが、かつては上前島町から大川原町にかけて砂利採取を行ったとのことであった。写真-8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を行った場所と行わなかった場所があり、砂利採取の行った水田は地震の際に大量の地下水を噴き、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ったが、最近採取した南方の水田はもっと被害がひどかった」とのことである。図-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、

図-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)

図-3 見附市の液状化発生地点と旧地形との関係
(1931年測量1/2.5万地形図「見附」を使用)

標尺 (m)	土質名	N 値
0	表土	20~40
2	シルト質砂	
4	中砂	
6	砂礫	
8	硬質シルト	
10	シルト質砂	
12	硬質シルト	
14	シルト質砂	
16	砂質シルト	
18	硬質シルト	
20		

図-4 刈谷田川旧河道の土質柱状図
(図-2, 図-3のA地点)

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。

一方、前述の採掘業者によれば、写真-9の信濃川左岸地域では越路町岩野の送電線より北側の地域では以前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-1 見附市下新町の畑での噴砂(図-2のD地点)

写真-2 見附市南本町の駐車場での噴砂とアスファルトの波打ち(図-2のA地点)

写真-3 見附市南本町南児童公園の旧河道部での噴砂と柵の沈下(図-2のB地点)

写真-4 見附市南本町2丁目の家屋被害。手前の空き地は被災家屋が取り壊された跡地(図-2のC地点)。

写真-9の噴砂の分布を比較すると、砂利採取が行われた地区の水田では噴砂が多数発生している。しかし、砂利採取が許可されていない農道などでも液状化によると推定される被害を生じていた。写真-13はその一例で、農道は波状に変形し沈下・亀裂を生じ、農道両側の水田には一面噴砂を生じていた。写真-13の近傍で配管の敷設替え工事現場を観察したところ、客土の下は黒っぽい大礫混じりの砂地盤であった。1.5m余りの掘削深度では地下水位は確認できなかった。一方、写真-14は、送電線より北側の最近砂利採取が行なわれた場所の噴砂状況である。写真-14の噴砂は茶褐色で砂礫採取後に埋め戻した山砂が液状化したとは推定された。

当初、写真-13の噴砂は、砂利が採取された地域の噴砂の色と異なり、暗灰色であったことなどから自然堆積土が液状化したと思われた。しかし、図-7のような自然堆積の砂礫地盤で、写真-13付近のように大規模な液状化が高密度に発生するとは考えにくいことから、この地域において最近圃場整備が行われたか否かを旧版地形図の図歴に基づき調査した。図-8に1987年(昭和62年)測量の地形図を示すが、水田の畦や農道の位置が現在とは異なり、1988年以降に圃場整備が行われたと考えられる。稲場ら¹⁰⁾が実施した地元の土地改良区からのヒアリング調査によれば、この地域は1914年(大正3年)に10a区画の

写真-5 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)⁸⁾

写真-6 信濃川沿岸の水田。噴砂孔の孔径は約2m
(長岡市川袋町)

図-5 与板町・中之島町・長岡市北部における液状化発生地点

写真-7 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-6 与板町与板高校の土質柱状図⁷⁾

圃場整備が行われ、その後、1986年(昭和61年)まで砂利採取が行われ、1988年(昭和63年)に現在の30a区画の圃場に整備されたとのことである。したがって、写真-13の暗灰色の噴砂は、前述の当初の予想に反して、約20年

前に行われた砂礫採取やその後の圃場整備により掘削・埋め戻された土が液状化したと考えられる。この場合、他所から運ばれた山砂等が混じっていなかったために、原地盤と類似した色の砂を噴き出したと推定される。現

写真-8 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²⁾

写真-10 砂利掘削の状況

写真-11 砂利採取後の埋戻しの状況

写真-9 越路町岩野～小千谷市高梨町信濃川左岸地域における噴砂²⁾

写真-12 埋戻し地盤における噴砂

図-7 大川原町における土質柱状図⁷⁾

時点では、砂礫の採取と圃場整備のどちらが液状化の発生に大きな影響を与えたかは判断できないが、蔵王橋から越の大橋にいたる地域における大規模な液状化は、大部分が人工改変地盤で発生したと言えよう。

右岸地域の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)にいたる新幹線橋脚部に、写真-15に示すような泥水を噴き上げた痕跡が多数認められた。埋戻し土が液状化したとの解釈もできるが、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、その隙間から地下水が押されて吹き上がっただけの可能性もあり、今後詳細な調査が必要と考えられる。

新幹線脱線現場付近の水田には軽微な噴砂が散見され、マンホールの浮上りも認められた。付近の土質柱状図を図-9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。

図-8 1987年測量の地形図(国土地理院1/2.5万地形図「片貝」を使用)。四角で囲まれた地域の水田区画に注目

図-9 新幹線脱線現場付近の土質柱状図⁷⁾

(4) 越の大橋以南の地域

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、軟弱粘性土ないし泥炭地盤におけるマンホールの浮上りであり、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。

マンホールの浮上りは、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で見られ、また川口町、堀之内町、十日町、柏崎市、刈羽村でも起

写真-13 越路町岩野の農道の被害と水田の噴砂

写真-14 砂利採掘跡地の埋戻し地盤における噴砂

写真-15 新幹線橋脚部に残る泥水噴出の痕跡

こっている。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-16)。浮上りが見られたところでは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-17)。図-10に写真-17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、1993年十勝沖地震・北海道南西沖地震、1994年北海道東方沖地震、2003年の十勝沖地震の際に北海道の

写真-16 小千谷市若葉町におけるマンホールの浮上り

写真-17 小千谷市上村におけるFRP製マンホールの浮上り・転倒

図-10 写真-17近傍の土質柱状図⁷⁾

泥炭地盤で見られた埋戻し材料の液状化によるマンホールの浮上りと同じメカニズム¹¹⁾で発生したと考えられる。

信濃川は小千谷市より上流で著しく蛇行し多数のポイントバーを形成しており、その多くは氾濫原よりやや高く段丘化し水田として利用されている。この段丘上の水田で写真-18に示すように噴砂が散見された。段丘は沖積低地に比べて、液状化が起こりにくいと一般に考えられているが、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、ポイントバーは元来、砂ないし砂礫質地盤で構成されていることから、液状化が発生したと推定される。

堀之内町新道島の魚野川に面した堀之内浄化センターでは、敷地および隣接する魚野川堤防の全域に沈下・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-19)。

写真-18 川口町付近の信濃川のポイントバーと噴砂地点
(○で囲んだ箇所) (10月24日国土地理院²⁾ 撮影)

写真-19 堀之内浄化センター管理棟アプローチの変状

(5) 柏崎平野

柏崎平野では、図-11にも示したように、柏崎市郊外の東部地域と、柏崎市の北部の刈羽村、西山町など広い範囲で家屋の液状化被害やマンホールの浮上りが発生している。被害が大きかった家屋の大部分は地震後間もなく取り壊され、筆者らが地震3週間後に最初に現地を訪れた際には被害状況を確認することはできなかったが、新潟県建築士会柏崎支部でのヒアリングによれば、家屋は全般に傾斜より沈下が著しく、家屋全体が50cm以上沈下した家屋もあるとのことである。

a) 柏崎市

鯖石川左岸の河口に近い橋場町では、宅地や畑で噴砂があり、家屋の基礎に沈下・亀裂などの被害を生じていた。住民によれば、ここは昭和初期まで鯖石川の河道であったとのことである。旧版地形図の図歴をたどると、1972年(昭和47年)まで旧河道の沼地が存在し、1980年(昭和55年)に測量された地形図では宅地化されていた。筆者らが調査したのは数棟でそのほとんどで液状化被害が発生していた。旧河道上に位置する家屋は数十棟あることから、被災家屋数は軽微な被害も含めるとかなりの棟数に上っているものと推定される。

図-11に示す市街地南東の半田・希望が丘、朝日が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(写真-20)。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。佐藤池運動広場では、地割れ・噴砂・陥没が多数見られ、野球場の一塁側ベンチ前、投球練習場、附属施設の周囲が大きく沈下・陥没していた(写真-21)。安田では、2階建てのアパート2棟が傾斜していた(写真-22)。

図-12に、上記の地域の1911年(明治44年)の地形図を示す。住宅被害があった希望が丘をはじめとする地域は、丘陵地に囲まれた水田である。また佐藤池運動場はその名の通り池であり、旧版地形図の図歴をたどると、1970～1980年の間に埋め立てられたようである。運動場は1986年に完成したが、地震前から地盤沈下が生じていたとのことである¹²⁾。

半田地区の住民によれば、被害地域は元水田で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。旧版地形図の図歴によると、朝日が丘は1980年(昭和55年)、希望が丘と半田は1987年(昭和62年)には既に宅地造成が行われている。写真-22のアパートの敷地は、1987年～1993年の間に水田に盛土して建てられたと推定される。

図-13に図-11のA地点とB地点の間を走る北陸自動車道の土質柱状図を示す。表層4mは有機土、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。

図-13は盛土造成以前の柱状図であるが、住民によれば

水田を宅地化する際に盛土したとのことである。半田2丁目の被害家屋敷地内で住民が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ているので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多量の地下水が音を立てて水路に流れ込んでいた。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苔生しており地下水位が極めて高い状態と推察された。以上を総合すると、柏崎市の佐藤池付近の造成地では、周囲を丘陵で囲まれ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。

以上で述べた地区以外で家屋の不同沈下やマンホールの浮上りが発生した地域は、日本海岸沿岸の荒浜砂丘の麓に立地する長崎、長崎新田、下大新田地区、柏崎平野東縁の丘陵地帯の麓に立地する飯塚、曾地、花田、吉井、矢田、与三、畔屋、平井地区、および鯖石川およびその支流の長鳥川の谷底低地に立地する北条、南条、森近、漆島、小島、山澗、東条、旧広田、大広田、西長鳥、東長鳥地区などである。新潟県建築士会柏崎支部でのヒアリングによれば、以上の地区は旧広田の一部を除いてすべて軟弱粘性土地盤で、丘陵を削った山砂や砂丘の砂で水田を盛土造成した場所に建てられた家屋が被災しているとのことである。

b) 刈羽村・西山町

柏崎の北東に位置する刈羽村では、JR越後線刈羽駅付近の集落で住宅の液状化被害が発生している。この地域は日本海に面した荒浜砂丘の麓に立地しており、緩い砂丘砂が堆積し、地下水位が高い地域である。刈羽駅では待合所が傾いていた(写真-23)。筆者らが現地を訪れた際には既に復旧されていたが、ホームも1m以上沈下したとのことである。刈羽駅付近では1964年新潟地震でも液状化が発生した記録がある⁹⁾。

駅の西側の稲場地区は、図-14に示すように、海岸線に平行して道路がほぼ南北に走り、道路の両側に家屋が一行に建ち並んでいる。ブロック塀や大谷石塀の崩壊、道路舗装の亀裂や陥没が各所で見られ、宅地内では噴砂が発生して家屋に沈下や傾斜を生じていた(写真-24)。道路を挟んで西側の宅地は、いずれも道路面より高く、玄関にいたるアプローチは傾斜しており、北側の宅地から道路に向かって水平変位が発生していた。大きく傾いた家屋はなかったが、ほとんどの家には、写真-25のような立ち入りが危険であることを示す応急被災度判定の貼り紙が貼られていた。また、犬走りの亀裂など、液状化が原因と考えられる地盤変位による損傷を受けていた。

稲場地区は砂丘の裾に立地する古い集落で、1911年

(明治44年)の地形図には道路西側(砂丘側)に既に集落が認められる。住民によれば、建て替えの際に盛土・切土を個別に行うことはあるが、大規模な造成はしていないとのことである。地区内には大きな構造物はなく地盤資料を入手することはできなかったが、表層より砂丘砂(中砂)で構成され、背後の砂丘からの地下水が敷地内に湧きだしている家が多いことから地下水位は極めて高いと推察される。地震で家屋が30cm不同沈下し、復旧の際に 鋼管杭を打設した住民によれば、杭の支持層はGL-6mであったとのことである。同じ荒浜砂丘の裾に位置する柏崎市松波地区における地盤資料によると、地表よりGL-5m付近までN値10未満の中砂で構成されている。松波地区では地下水位がGL-3~4mと深かったのに対して、稲場地区の場合、地下水位が特に高かったことが多

図-11 柏崎市の液状化発生地点 (1/2.5万地形図「柏崎」を使用)

図-12 柏崎市の液状化発生地点と旧地形との関係 (1911年測量1/2.5万地形図「柏崎」を使用)

写真-20 柏崎市半田2丁目における住宅の被害 (8cmの不同沈下) 図-11のA地点

写真-21 佐藤池運動広場施設周囲の沈下(宮山陽子氏提供) 図-11のB地点

写真-22 柏崎安田におけるアパートの傾斜(図-11のC地点)

標尺 (m)	土質名	N値
2	粘土	20
4	有機土	20
6	粘土	20
8	粘土	20
10	粘土	20
12	粘土	20
14	有機土	20
16	粘土	20
18	細砂	20
20	粘土	20

図-13 柏崎市佐藤池付近の土質柱状図⁷⁾

写真-23 液状化による刈羽駅待合所¹³⁾

図-14 刈羽村刈羽付近の液状化発生地点 (1/2.5万地形図「宮川」を使用)

写真-24 刈羽村稲場の家屋。縁側前面が傾斜しており家の中央部が大きく沈下したと思われる。庭には噴砂の痕跡が残っており、地表面より数cm出ているはずの飛び石が沈下している

写真-25 刈羽村稲場の家屋に貼られた応急危険度判定の貼り紙

数の家屋に大きな被害を生じた要因と考えられる。

刈羽駅北側の山崎地区も、道路の東側の地盤が軒並み沈下し、木造家屋が水田側に傾いていた。住民によれば、道路の東側の宅地は元々水田であったが付近の砂丘の砂で盛土したとのことで、地下水位はGL-0.5～1m程度とのことである。旧版地形図の履歴をたどると、1952年(昭和27年)には道路の東側の水田が宅地化され始めている。

建物が大きく傾斜しない限り、外観のみから液状化による建物の被害の有無を判断することは困難であり、筆者らも液状化による被害家屋数を把握できなかったが、刈羽駅周辺地区で応急危険度判定が実施された353件の建物のうち、「危険」と判定された建物は30棟、「要注意」と判定されたものは75棟にのぼり、そのほとんどが液状化による被害とのことである¹⁴⁾。

以上で述べた刈羽駅付近でみられたような液状化被害は、刈羽村西元寺、滝谷、西山町鬼王、伊毛などの地区でも発生している。いずれも砂丘の裾に立地する集落で、砂丘からの地下水による池が多数分布する地区である。筆者らが確認した範囲では、水田に盛土した地盤に建てられた家屋の被害が多かった(写真-26)。

写真-27は刈羽村新屋敷の別山川(鯖石川支流)に近い敷地に建つ民家である。家屋は大きくゆがみ基礎周りに

写真-26 水田の盛土地盤の沈下(刈羽村長嶺)

写真-27 刈羽村新屋敷における家屋の傾斜。ワイヤーは転倒防止のためと思われる

も著しい被害を被っていた。住民によれば、水田に砂丘の砂で盛土をして家屋を建てたが、庭からは大量の砂水を噴き上げたとのことである。この一帯は、1964年の新潟地震の際にも液状化により家屋に大きな被害を被っており、**写真-27**の道路を隔てて北隣に建つ母屋は新潟地震で旧母屋が被災し、その後に杭を打設して家を新築したもので、今回の地震では無被害だったとのことである。

刈羽村内では、上記の新屋敷のように砂丘から離れた集落でも液状化被害を被っているが、いずれも水田の盛土造成地である。一帯には大規模な施設や建物は少ないが、刈羽村役場、刈羽村生涯学習センター、東城赤田浄化センターでは、液状化による地盤沈下と推測される建物周囲の埋戻し地盤の沈下や建物の付帯設備の被害を生じていた(**写真-28**、**写真-29**)。

新潟県建築士会柏崎支部でのヒアリングによれば、柏崎市、刈羽村、西山町内では、極めて多くのマンホールが浮き上がり、沿道の集落排水路の被害が多かったとのことである(**写真-30**)。刈羽村割町新田で10月27日午前10時40分頃、震度5弱の余震(M6.1)に遭遇した同支部の岡嶋氏によれば、地震の揺れを感じて10秒位経過した後にマンホールが約2m浮き上がり、その後周囲から砂を噴いたとのことである。前述の信濃川流域でのマンホールの浮上りは、軟弱粘性土地盤のみで発生していたが、柏崎平野内では粘性土地盤と砂丘の裾の砂地盤の両方で起きており、両者の浮上り発生のメカニズムの違いについては今後の検討課題である。

5. まとめ

2004年新潟県中越地震では、震源地から約30kmの範囲に液状化が多数発生した。特に信濃川沿岸では多数の大規模な噴砂が見られた。与板町、中之島町、見附町、刈羽村では、1964年新潟地震で液状化が発生した同じ場所でも今回も噴砂が確認された。

液状化による被害は、家屋被害、農地・農業施設の被害、道路亀裂・沈下、マンホールの浮上り、ライフラインの破断などであり、液状化発生地域が農村地帯であったため大規模な施設や構造物の被害は認められなかった。

液状化したと推定される地層を、地形・地盤特性から分類すると以下ようになる。

- 1) 信濃川およびその支流の旧河道、自然堤防、ポイントバーなどの河成砂
- 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) 腐植土や粘性土が堆積する軟弱地盤上の盛土や埋戻し土
- 4) 砂丘の内陸側裾の自然堆積の砂丘砂および盛土の砂丘砂

写真-28 建物周囲の埋戻し土の沈下(刈羽村東城赤田浄化センター)

写真-29 刈羽村役場における埋戻し土の沈下と配管類の被害

写真-30 刈羽村十日市におけるマンホールの浮上り¹⁵⁾

謝辞：現地踏査に際して(株)興和に多大なご協力を得た。(社)新潟県建築士会柏崎支部の岡嶋和裕氏、愛知県建設部の尾崎智央氏、柏崎市在住の宮山陽子氏には液状化被害の情報を提供して頂いた。東京電機大学安田進教授には、新幹線橋脚部における噴水現象について貴重なご指

摘を頂いた。以上の方々に深謝の意を表します。

なお、本研究の一部は、文部科学省による「大都市大震災軽減化特別プロジェクトⅢ-1 震災総合シミュレーションシステムの開発」によった。

参考文献

- 1) 気象庁：平成16年(2004年)新潟県中越地震について一速報一，http://www.jma.go.jp/JMA_HP/jma/niigata.html, 2004.
- 2) 国土地理院：平成16年新潟県中越地震空中写真，2004年10月24日，10月28日撮影，縮尺1/10,000および1/1,2500, 2004.
- 3) アジア航測(株)：2004年新潟県中越地震垂直空中写真，10月24日撮影，縮尺1/8,000, 2004.
- 4) 新潟・県央情報交差点HP：中越地震による液状化現象で燕市内の住宅2棟傾く，<http://www.kenoh.com/index.html>, 2004.11.9.
- 5) 新潟・県央情報交差点HP：燕小池中の浄化槽設備が液状化現象で壊れる，<http://www.kenoh.com/index.html>, 2004.10.24.
- 6) 若松加寿江：日本の地盤液状化履歴図，東海大学出版会，1991.
- 7) 北陸建設弘済会：新潟県平野部の地盤図集，1981.
- 8) 朝日航洋：平成16年(2004年)新潟県中越地震斜め写真，2004年10月24日撮影.
- 9) 東京大学生産技術研究所古閑研究室：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>, 2004.
- 10) 稲葉一成，中野俊郎，田中 聡：中越地震による農地の液状化被害，新潟大学農学部研究報告，第57巻2号，pp.139-144, 2005.
- 11) 安田 進，宮島昌克，規矩大義：上下水道の被害，2003年十勝沖地震地盤災害調査報告書，地盤工学会十勝沖地震地盤災害調査委員会，pp.111-120, 2004.
- 12) Niigata-boro.net daily-r: http://dynamite-shikoku.halfmoon.jp/459459/archives/2005/01/post_6.html
- 13) 尾崎智央：新潟中越地震応急危険度判定，OZAKI組ホームページ，http://www.geocities.jp/toshishi_ozaki/niigata/niigata.htm
- 14) 愛知県建設部建設総務課 尾崎智央氏私信，2005.
- 15) いいねっかHP：<http://210.160.206.215/~ivent01/nishikari.html>

(2005. 6. 6. 21 受付)

LIQUEFACTION DURING THE 2004 NIIGATA-KEN CHUETSU EARTHQUAKE - GENERAL ASPECT AND GEOTECHNICAL AND GEOMORPHOLOGIC CONDITIONS -

Kazue WAKAMATSU, Nozomu YOSHIDA and Hiroyoshi KIKU

The Niigata-ken-Chuetsu earthquake of October 23, 2004 caused widespread liquefaction in the alluvial plain of the Shinano River and southwestern coastal lowlands facing the Sea of Japan in Niigata Prefecture. We conducted reconnaissance investigations immediately following the earthquake, focusing on soil liquefaction and associated damage to structures. In addition to the field reconnaissance, we interpreted aerial photographs taken after the earthquake to determine the spatial extent of liquefaction. Sand boiling was more frequent and severe in Yoita, Mitsuke, Nagaoka and Ojiya in the northern region of the epicenter bordering the Shinano River, and Kashiwazaki and Kariwa in southwestern coastal lowlands. The liquefied soils classified into four types: fluvial sand deposits of the Shinano River and its tributaries, backfill on gravelly deposits, fill and/or backfill on soft cohesive or organic soil deposits, and natural dune sand on lower slope of coastal dune.