

東北地方太平洋沖地震による液状化被害の特徴

関東学院大学工学部 教授
若松 加寿江

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（モーメントマグニチュード M_w 9.0、東日本大震災）では、地震直後、津波による被害、次いで原子力発電所の被害が大きく報じられた。しかし、日時の経過と共に、液状化による被害が特に関東地方で深刻であることが明らかになった。本稿では、この地震による液状化被害の特徴を過去の地震による液状化の発生と比較しながら概観する。

2. 液状化被害の特徴

(1) 広域な液状化発生

図1に、2011年東北地方太平洋沖地震により液状化が起きたことが確認された地点を示す。液状化が発生した地域は、青森県から神奈川県まで南北約650kmの範囲（東北地方の6県および関東地方の1都6県の合計160の市区町村）に及んでいる¹⁾。



液状化は、大河川の沖積作用による低地や埋立地の面積が大きい関東平野では、沿岸部のみならず内陸部まで極めて多数発生している。これに対して、海岸近くまで山地・丘陵が迫っている東北地方では、少ない。沿岸部に津波が襲来し液状化の痕跡が消失してしまったこともあるが、両地域の地形的特徴の違いが大きく影響したと考えられる。

液状化発生地点の分布の広がり、地震のマグニチュードに比例している。明治以降の地震で液状化が最も広域に発生した地震は1946年の南海地震（ $M8.0$ ）の380kmである。東北地方太平洋沖地震のマグニチュードは9.0であったこと考慮すると650kmの広がり、は例外的ではない。

(2) 震度5強で高密度に大規模な液状化

図1 東北地方太平洋沖地震による液状化発生地点
（国土交通省関東地方整備局（2011）及び若松（2012）による）

東京湾沿岸の浦安市から千葉市にかけての埋め立て地帯では、震度5強とそれほど大きな震度ではなかったにも関わらず、高密度に液状化が発生した。これまでの地震でも、液状化はごく少数の地点を除いて震度5強以上の地域で生じていた²⁾。今回も液状化が起きた地域は概ね5強以上の地域で過去の傾向と整合するものの、町全体が液状化するなど、かつてなかったほど高密度に液状化を生じた。地震動の継続時間が長かったこと、本震後に大きな余震が頻発したこと、埋め立てに用いた土の性質などが複合して影響していると推測される。学術的には今後の課題である。

液状化に伴い地下から噴き出して地表に堆積した噴砂の厚さは、東京湾岸（震度5強）、利根川下流沿岸（震度5強～6弱）などで最大50～60cm、地盤の沈下量は、東京湾岸埋立地では最大50cm以上にも及んだ。このような沈下量は、地盤が液状化した後、圧縮されたことによるのみ生じた沈下とは考えにくい。莫大な砂が地表に噴き出したことにより地下の空洞が埋まり、地盤沈下が生じたものと思われる。また利根川下流沿岸では、正確な測量に基づく値ではないが、1m以上沈下したとされる場所がある。液状化した層が川の方向に流動する現象（側方流動）が生じたことで、沈下量が増大したと推測される。

(3) 戸建て住宅とライフラインに被害が集中

液状化による直接的被害は、道路、堤防、港湾施設などの社会基盤や農業施設・農地などで甚大であったが、最も大きな影響を受けたのは戸建て住宅とライフラインである。国土交通省都市局の調べ（2011年9月27日現在）によると、液状化による住家被害は、表1に示すように、9都県80市区町村の26,914棟にも上っている。都県別に見ると千葉県が最も多く18,674棟、市町村別では浦安市が8,700棟と最も多かった。

表1で液状化被害件数が最も多い浦安市は、総面積30.94km²のうち、約85%は東京湾岸の干潟や海を1965～1980年の間に造成された埋立地である。今回の地震により、地盤改良を行っていなかった埋立地のほぼ全域で液状化現象が発生した。戸建住宅など直接基礎の小規模建築物は、液状化で不同沈下を起こし、約3,700棟の建築物が半壊以上（1/100以上の傾斜）の被害認定を受けた（写真1）。

一方、大・中規模建築物は、そのほとんどが杭で支持されていたことにより、建物本体には大きな被害は発生しなかったが、建築物周囲が地盤沈下したことによって出入口に段差を生じたりライフラインの寸断などの被害が生じた。浦安市のライフラインは、停電は一部の地域で発生したが当日復旧、ガス、上水道、下水道は完全復旧まで1ヶ月前後を要した。

表1 液状化による住家被害
 (国土交通省都市局調べ 2011.9.27)

都県名	被害棟数	被害上位10市	被害棟数
千葉県	18,674棟	千葉県浦安市	8,700棟
茨城県	6,751棟	千葉県習志野市	3,916棟
福島県	1,043棟	茨城県潮来市	2,400棟
埼玉県	175棟	千葉県香取市	1,842棟
宮城県	140棟	茨城県神栖市	1,646棟
神奈川県	71棟	千葉県千葉市	1,190棟
東京都	56棟	福島県いわき市	1,043棟
岩手県	3棟	千葉県船橋市	824棟
群馬県	1棟	千葉県旭市	757棟
合計	26,914棟	千葉県我孫子市	635棟



写真1 浦安市における住宅被害³⁾

ライフラインの被害原因として、液状化による管路の損傷やマンホールの浮き上がりの他、噴砂で排水溝が詰まった、地盤沈下や下水管の浮き上がりによって下水の勾配が逆になり、下水に排水できなくなったなどの被害が関東地方の各地で起きた。写真2は、浦安市の耐震性貯水槽の被害状況を示している。貯水槽のマンホールは約1m浮き上がり、災害用に備蓄された100m³（1万人の3日間相当）の飲料水は供給できなかった⁴⁾。

(4) 人工的に改変された土地に被害が集中

東京湾岸の埋立地の浦安市の液状化状況については既に述べたが、被害が顕著であったのは海岸の埋立地だけではない。

利根川やその支流の小貝川・鬼怒川の旧河道で甚大な液状化被害が発生した。これらの旧河道は、1900年代初頭に始まった河川改修工事によって蛇行した流路を直線化し、元の流路を締め切ったことによってできた沼地で、その後、1960年前後に埋め立てられた。旧河道・旧沼地では、液状化による地下水の湧出で昔の沼地が復元されたように湛水し、1mにも及ぶ住宅の沈下も見られた（写真3）。

東北地方でも、北上川、鳴瀬川、江合川などの旧河道で液状化が発生したが、噴砂の規模は利根川沿岸に比べて小さく、また農地が多いため住宅等への影響も少なかった。

利根川下流部の北岸には、霞ヶ浦に続く西浦、内浪逆浦などの湖沼がかつては広がっていた。これらは、戦後農林省により干拓され水田化された。東北地方太平洋沖地震では、内浪逆浦干拓地の水田に、湖底の砂をポンプ浚渫して吹いた砂で盛土造成した潮来市日の出団地で激しい液状化が発生し、多数の住宅とライフラインに被害を生じた。

757棟の液状化による家屋被害が報告された千葉県旭市では、古来、砂鉄の採掘が行われてきており、1960年代の高度経済成長期には、深さ5～10mの大規模な採掘が行われていた。掘削後は砂鉄を選別した後の砂で埋め戻され締固めも行われなかった。旭市で液状化被害が発生した地区は、大部分が砂鉄採掘跡地の埋戻し地盤である。



写真2 耐震性貯水槽の浮き上がり
(浦安市高洲, 小松美加氏提供)



写真3 利根川沿岸の旧沼地の被害、
左端の住宅は約1m沈下 (稲敷市役所提供)

砂鉄の採掘跡地における被害例は、青森県三沢市の海岸地帯（1968年十勝沖地震）や長万部市内（1993年北海道南西沖地震）で発生している。

旭市と利根川を挟んで北側の茨城県神栖市や鹿嶋市では、砂利の採掘が盛んに行われている。掘削深さは8～10m程度で掘削後は質の良くない土で埋め戻されているとのことである。噴砂が50cm以上も積もり新築の住宅が大きく傾いた神栖市深芝地区は、この砂利の採掘跡地の埋戻し地盤を宅地化したとのことである。同様な砂利採掘跡地の埋戻し地盤での液状化は、2004年新潟県中越地震の際に長岡市の信濃川沿岸の水田地帯で広範に起こっている。

以上のように、東北地方太平洋沖地震で甚大な液状化被害を受けた場所は、海域や干潟の埋立地、湖沼の干拓地、旧河道の埋立地、砂鉄や砂利の採掘後の埋戻し地など、人工的に改変された地盤が多かった。

(5) 再液状化の発生

過去に一度液状化した地盤が再び液状化することを「再液状化」と呼んでおり、これまでも、わが国やアメリカ合衆国で報告されている。液状化が発生した場所は、古い地震では位置曖昧なため、全く同一場所で再液状化が確認された事例はあまり多くない。このこともあり地盤が一度液状化すると締め固まり、再び液状化し難くなるのではないかと考える人も多かった。

今回の地震では、1987年千葉県東方沖の地震、1978年宮城県沖地震、2003年宮城県北部の地震などで液状化が確認された場所と全く同じ85箇所¹⁾で再液状化が確認された¹⁾。

(6) 避難・救助を阻んだ液状化

液状化は、これまで「人が死なない」災害と言われてきた（実際には死亡例は数例ある）。東北地方太平洋沖地震では、液状化が間接的に人的被害に関わった。

宮城県亘理町荒浜では、3月11日15時50分頃、高さ約4.5m⁵⁾の津波が押し寄せた。防災無線で津波避難が呼びかけられたが、至る所地面が液状化によって泥海化した。車両の通行ができなくなり、住民の速やかな避難を阻んだ⁶⁾。

茨城県東海村の東京電力常陸那珂火力発電所では、高さ220mの煙突上で足場の取り付け作業中だった作業員9人のうち5人が、地震の揺れで高さ160～202m付近に転落した。周囲の道路液状化して救助の車が近づけなかったとのことである⁷⁾。

3. おわりに

東北地方太平洋沖地震による液状化被害から得られた教訓は以下の通りである。首都直下地震、南海トラフの巨大地震などの減災対策に生かしたい。

- (1) 地震動の継続時間が長く、余震が多い海溝型巨大地震では、広域にわたって液状化が発生する可能性が高い。大河川の沖積作用による低地や埋立地が多い大都市圏では、対策を講じない限り甚大な被害が予想される。
- (2) 海、河川、湖沼などの水域の埋立て地盤や大規模な掘削の埋戻し地盤は、特に液状化しやすい。過去に液状化が起きた場所の周辺も要注意である。
- (3) 住宅などの小規模建築物やライフラインは、特に液状化被害を受けやすい。小規模建築物への安価で効果的な液状化対策の開発および耐震管路への入れ替え、埋戻し土の十分な締固めは、喫緊の課題である。
- (4) 液状化の発生が予想される地域で避難、救助・救援活動を迅速・円滑に行うためには、道路の液状化対策が重要である。

参考文献

- 1) 若松加寿江：2011年東北地方太平洋沖地震による地盤の再液状化、日本地震工学会論文集第12巻第5号、pp.69-88、2012.11.
- 2) 若松加寿江：日本の液状化履歴マップ745-2008、東京大学出版会、2011.3.
- 3) 浦安市：液状化対策実現可能性技術検討委員会、<http://www.city.urayasu.chiba.jp/menu12095.html>、2012.
- 4) 原忠，豊田浩史，竹澤請一郎，高田晋，須佐見朱加：東北地方太平洋沖地震による高洲中央公園の液状化被害，日本地震工学会大会－2011梗概集，104-105、2011.11.
- 5) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ：統一調査データ、<http://www.coastal.jp/ttjt/>、20121003版.
- 6) NHK：映像記録3.11～あの日を忘れない～、2012年3月4日放送.
- 7) 朝日新聞社：火力発電所320人孤立煙突作業の5人転落、http://www.asahi.com/special/10005/TKY_201103120348.html、2012年3月12日.