

①東京湾臨海地区の液状化現象

水谷 羊介*

* MIZUTANI Yousuke、兼松日産農林(株) ジオテック事業部 技術部、博士（工学）・東京都千代田区麹町 3-2

1. はじめに

東日本大震災の被害として地震と津波による建物の倒壊等が多く発生した。被災された方に御見舞申し上げます。今回の地震災害の特色として震源から遠く離れた千葉や東京湾などの臨海地区でも液状化現象が想定以上の規模で発生した。本稿では、戸建て住宅の視点からみた特殊地盤として東京湾臨海地区に生じた液状化現象について記載する。

2. 液状化による被害

液状化が発生すると一般的に次のような被害が生じる。
①地盤の沈下：液状化により地下水が地上に噴き出すと、地盤が沈下し、基礎が地表近くにある建造物が沈下し、杭などで深い地盤に支持されている構造物では沈下量が少ないため、外部の下水管などと高さの差が生じたり、出入口付近に段差が生じたりする。沈下量が場所により異なると（不同沈下という）、建物自体や、床や柱などが傾いたりする。沈下は、道路や鉄道、地下埋設物などにも影響を及ぼす。

②構造物の浮上がり：地下にある建造物で内部空間の大きい構造物（マンホール・下水管・浄化槽など）は、体積に比べて比較的軽く、液状化現象が発生すると地下水圧が高くなって浮き上げようとする力が働く。その結果として、液状化した地域でよくみかけられるマンホールや地下タンクなどが地上に突き出てしまう（写真-1）。東京湾臨海地区に生じた液状化現象といえば、1987年の千葉県東方沖地震が県内各地で液状化を引き起こしたことが記録に残っている。その時と今回の震度には大差はなかったが、今回は被害の程度や噴き出した砂の範囲はかなり多きい



写真-1 液状化による浮上したマンホール（千葉県浦安市）



写真-2 液状化による噴砂（千葉県美浜区）

結果となった。震源から300 km離れた臨海地区の住宅地でも液状化の被害が発生した。千葉県浦安市では約8,000棟、習志野市で約3,000棟、茨城県の潮来市では約2,000棟など、関東地方だけで合計17,000棟の被害が生じた。

3. 液状化のメカニズム

液状化現象の研究の歴史は古くは1948年の福井地震からあるが、国内で注目され液状化とよばれ広く知られるようになったのは1964年の新潟地震からである。液状化は砂粒の間隙が広い砂地盤や粘土質の地盤で地下水位が浅い土地で起こりやすい。臨海地区などの埋立地は典型的である。一般に、埋立地、旧河道、三角州（デルタ地帯）、泥質で傾斜のゆるい谷底平野、自然堤防の周縁部などの砂地盤で地下水位の浅い場所では、地震により繰り返し振動を受けると、図-1のように砂粒同士の摩擦やかみ合わせが切れて、地下水と土の粒子とが混合された液体状になる。こうなると、今まで受けていた荷重を土粒子で受けられなくなり、その分が地下水に作用して地下水圧が上がり、地下水は地盤のわずかな隙間や弱い部分を伝わって細かい土粒子と一緒に地上に吹き出し（噴砂という）、火山の噴火口のように砂がたまる（写真-2）。地震がおさまって地下水圧が下がってくると、砂の粒子は徐々に沈降して、新しい配列となり、最終的には多くの場合、地表面は沈下する。

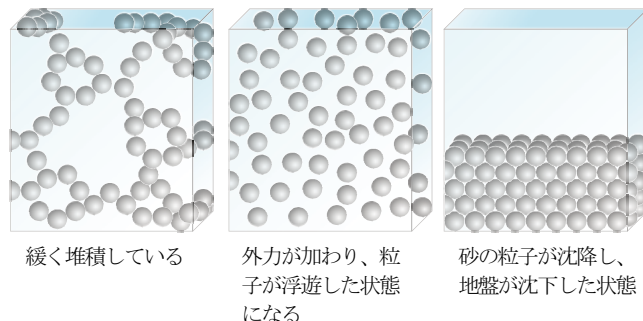


図-1 液状化のメカニズム

液状化がおこりやすい条件として、

- 1) 地下水位が浅いこと（水位が地表面に近い）。
- 2) 砂の粒径が0.1mmから1mmの砂地盤（粒径0.074mm以下の含有量が低い地盤）であること。
- 3) 砂が緩い状態で堆積していること。地盤調査結果の

N 値が小さい場合。（深さ5m程度まで： N 値15以下、深さ5～10m： N 値20以下の砂層の場合に液状化が起きやすい。）

4) 現地地盤面より20mより浅い位置に砂層がある場合。（砂地盤が、現在の地下水位より上にあり、地表面から20m以深の場合、たとえ、液状化が発生しても建物に被害を与えることは、少ないと考えられている。）

図-2は、今回の東日本大震災にて液状化被害を受けた関東地区における代表的な8か所において噴砂した砂のサンプリングの粒度分布を表したものである。この図を見ると平均粒径として0.01～0.1mmの粒子（砂質シルト～中砂）が分布しており液状化の可能性が高い地盤だったといえる。さらに、写真-3は、これらのサンプリングをマイクロスコープで撮影したものである。それぞれ、①千葉県香取市佐原、②千葉県香取市扇島、③茨城県ひたちなか市海門町1丁目、④浦安市弁天2丁目、⑤千葉県習志野市香澄6丁目、⑥千葉県旭市三川である。それぞれのサンプルは採取場所が違っても関わらず、粒径や空隙が同じような

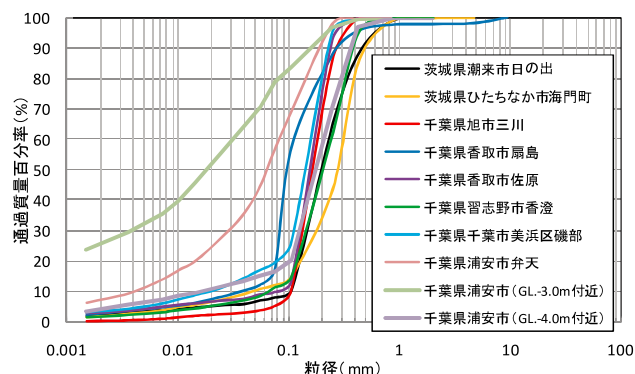


図-2 液状化で噴砂した砂の粒径加積曲線



写真-3 東日本大震災の液状化で噴砂したサンプル

構成になっているのが写真からもわかる。これらの砂が液状化するという事は逆に、地下水面より上位の地盤、粗い砂礫や粘土からなる地盤は液状化の可能性は低いことになる。次に、図-3,4、に今回の地震で加速度が大きかった宮城県築館および震源から370km離れた千葉県浦安市の加速度波形（上段：N-S、下段：E-W）を示す（UDは省略）¹⁾。図-3の縦軸（ m/s^2 ）の最大値は2700galで、図-4の縦軸（ m/s^2 ）の最大値は157galである。また、それぞれの右下に加速度のフーリエ変換（FFT）結果を示した。築館では図-3の波形より大きなゆれが2回以上つづいていることが伺える。一方FFT結果より、築館市が0.1～0.5sが卓越しているのに対し、浦安市の周期は1.0s付近が卓越しておりゆっくりとなっている。それぞれの地域のゆれの特性に違いがあるのもわかる。

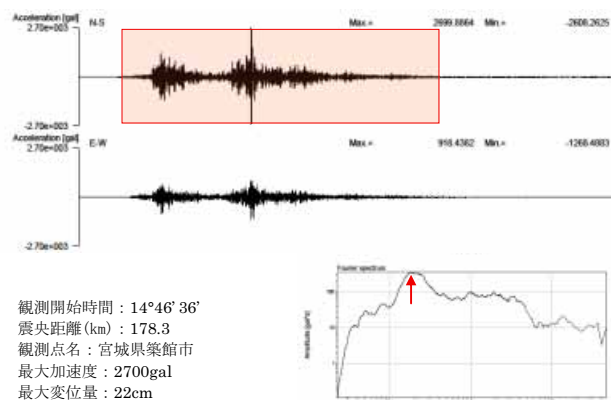


図-3 加速度波形および FFT 結果（宮城県築館市）

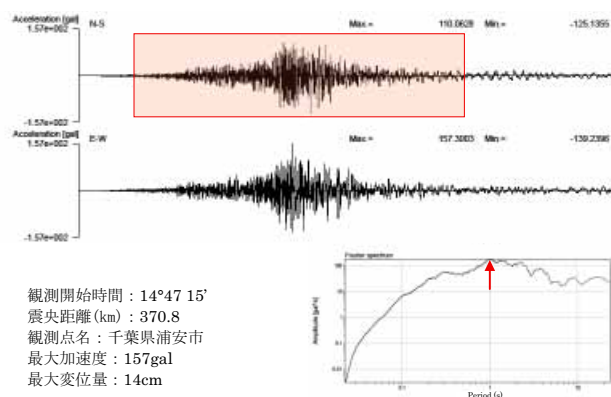


図-4 加速度波形および FFT 結果（千葉県浦安市）

規模の比較のため、図-5に築館市の加速度（N-S）を抽出し2004年11月に発生した新潟沖地震と重ね合わせた図を示す。まず注目すべきは、最大2700galという加速度の大きさもさることながら、ゆれの継続時間である。新潟中越地震が20秒～30秒に対し、東日本大地震は200秒以上と新潟中越地震の7倍～10倍とその長さが伺える。さらに、図-6は築館市の変位（N-S）と浦安市の変位（N-S）を示したものである。速度は加速度を積分、変位は速度を積分したものである。この波形と、図-3,4の加速度のFFT結果よりも、震源に近い築館市より浦安市の周期が大きいことがわかる。この地域ではゆっくりとした、大きな揺れ

幅をもった地震が長く続いた。この大きい振幅と長いゆれが今回の液状化被害の大きな要因の一つともいえる。

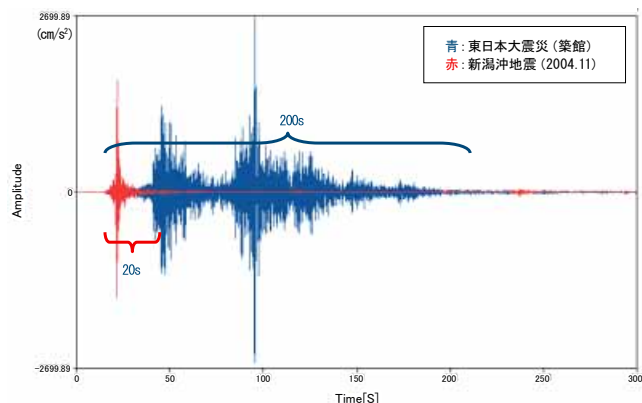


図-5 加速度波形比較

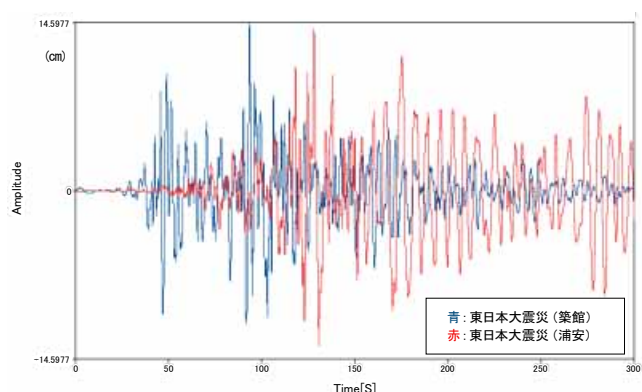


図-6 変位量波形比較

4. 液状化対策の現状

住宅設計時、液状化対策の可否を決定するために行われる液状化判定法はいくつか提案されている。一般的なものとして、想定する地震動レベルに応じた荷重と、 N 値と細粒分含有率から評価される強度を算出し、荷重に対する強度比率を計算した値により液状化の危険度を判定する F_L 法や、その F_L 値を用いて地盤構成を考慮した評価値から総合的に液状化の危険度を判定する P_L 法が用いられている。また、液状化判定時の参考資料として都道府県もしくは市区町村単位で公開されている液状化危険度マップ等を用いることも有効な手段である。一方、液状化判定を行った結果、液状化の発生が予測された場合には、何らかの液状化対策を講ずる必要がある。液状化対策では、基本的に地盤の液状化を発生させないとする考え方の他にも、損傷限界に対しては液状化させないようにし、終局限界に対しては液状化の発生をある程度許容し、剛性の高いべた基礎にするなど構造的対策を講ずる等の方法が考えられる。一方地盤においては、緩い砂地盤に対してセメント等を用いて固結させる工法、砂杭などで地盤を造成することにより、軟弱地盤を締め固め地盤の密度を増大させる工法、地盤内の地下水を強制的に排水する工法、改良の対象となる砂質土よりもはるかに透水性の良い粗骨材（砂利・碎石）を用いて柱または有効パイプ等を地盤内に一定間隔で配置

し、間隙水圧を消散させる工法等がある。しかしながら、これらの液状化対策工法は大規模な土木構造物や公共建築物に用いることは可能であるが、個人で建設する戸建て住宅を考えると、莫大な費用が発生することが多く、また広い範囲での改良が必要な場合も多い。そのため、戸建て住宅のみを考えると広く普及しているとは言い難い。

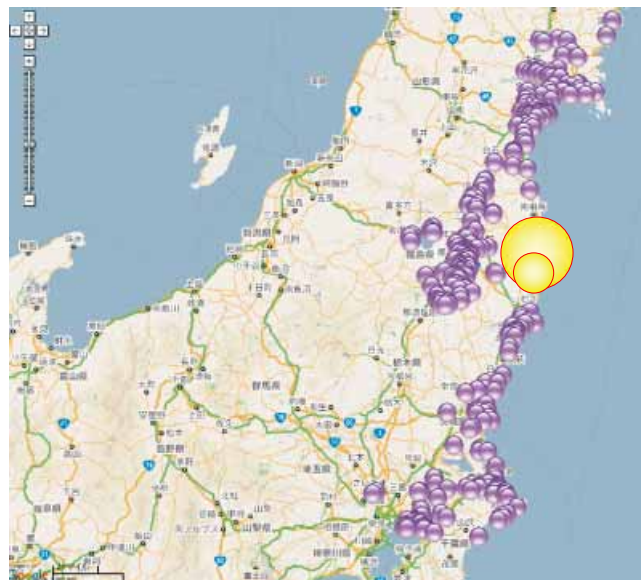


図-7 「e-soil II」に登録されている被害が生じた戸建て住宅のプロット

図-7に、我々が開発した宅地地盤設計支援システム「e-soil II」の一部を示す。今回の地震により戸建て住宅におけるなんらかの沈下障害が発生した657件（2011年6月7日現在）の調査箇所をプロットした図である。図中の赤丸で囲んだ付近は福島第一原子力発電所の事故により立ち入り禁止区域となっている部分であり現在この付近の調査は進んでないが、今後も沈下被害の調査データは登録され続けられる計画である。このシステムには、障害が報告された所在地の緯度経度、障害後のレベル測定結果、基礎・地盤の損傷程度、基礎形状、地盤データ、既存地盤補強の有無、等が登録されている。これらのデータは解析され、今後の住宅地盤の設計に役立てられる。このように過去の地震の沈下障害発生箇所をデータバンク化して蓄積し、設計時に参考にすることにより、今後より精度の高い地盤設計が可能となる。

5. さいごに

上記のように戸建て住宅において液状化に対する安価な対策が望まれるが、技術面においても予防策が乏しいのが現状である。膨大なコストを数百年に一度の大震災まで考慮するかは意見の分かれめでもあるが、いずれにしても戸建て住宅の液状化に対す更なる研究や対策は急務である。

【参考文献】

- 1) NIED 独立行政法人防災科学技術研究所、強震ネットワーク、K-NET