

千葉県環境研究センターニュース

発行日 平成23年10月31日

通巻21号

特集 房総半島でみられた2011年東北地方太平洋沖地震およびその余震による液状化・流動化現象について

2011年3月11日に「約千年に一回」といわれるマグニチュード9の東北地方太平洋沖地震(以後「太平洋沖地震」と略す)が起こり、地震の揺れと大津波により甚大な災害が発生しました。房総半島でも、太平洋岸に沿い最大7mを超える津波があり、多くの方が被災されています。また北部を中心に震度5強～6弱の強い揺れとなり、埋立地を中心に人工地層が液状化・流動化し、戸建て住宅や電柱・塀などの基礎の浅い構造物の沈み込みや上・下水道・ガスなどのライフラインに多くの被害がありました。24年前の1987年千葉県東方沖地震(以後「東方沖地震」と略す)の際にも、房総半島で人工地層分布域(埋立地・盛土地)を中心に液状化・流動化現象が発生していることを地質環境研究室(以下、研究室)が調査で明らかにし、その結果の普及や産学官の共同研究による液状化対策の新工法の開発なども行なってきました。ここでは、房総半島全域の液状化・流動化現象の概要について述べ、その後各地域での状況、この現象の起こり方等について紹介します。詳細は、本センターHPの被害報告¹⁾をご覧ください。

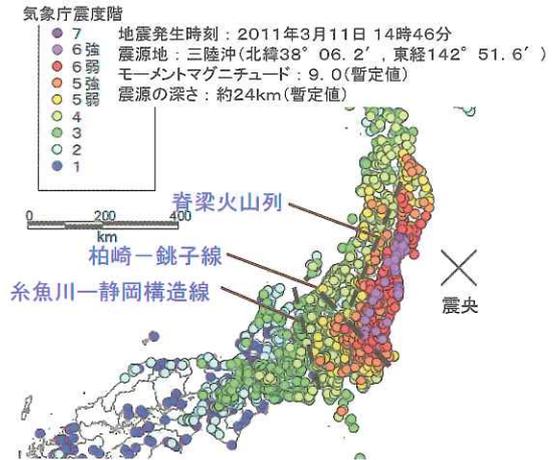


図1 東北地方大太平洋沖地震の震央位置と揺れ(気象庁震度階)の分布^{2), 3)}

1 太平洋沖地震の概要

震源は牡鹿半島沖約120kmの大陸斜面の直下約24kmです。揺れ方をみると、地質構造線(地質構造を支配する大きな断層)の一つである柏崎-銚子線・糸魚川-静岡構造線および春梁火山列を境にその強さが変化しています(図1)。房総半島では北部を中心に5強以上の強い揺れとなりました。

2 液状化-流動化とは

今回の地震で発生した、液状化・流動化現象とはどのようなもののでしょうか。液状化とは地層粒子の隙間にある地下水の圧が高まり、水圧を示す地下水位が地表に達すると粒子が水に浮いた状態となり支持力がなくなる状態をいいます(図2C)。地下水位が地表を超えると地下水が湧き出し、粒子もともに流動をはじめ、これを流動化と呼びます⁴⁾(図2D)。流動は図2に示すように、まず部分的に始まり、これが拡大し層状な拡がりをもっていきます。地表では地波や噴砂・噴水が始まり、地中ではラミナ(地層形成時にできる模様)が壊され、新たな堆積構造が形成されます。噴水がおさまると水圧が低下するに従い、地盤の沈下がゆっくりと進んでいきます(図2F)。こうして液状化-流動化が終息しても締め固まることはなく、液状化前よりも緩詰まりになっている場合もあります。なお、液状化・流動化は、粘土鉱物を含む泥層では起こりにくく、砂層で起こりやすいという特徴があります。

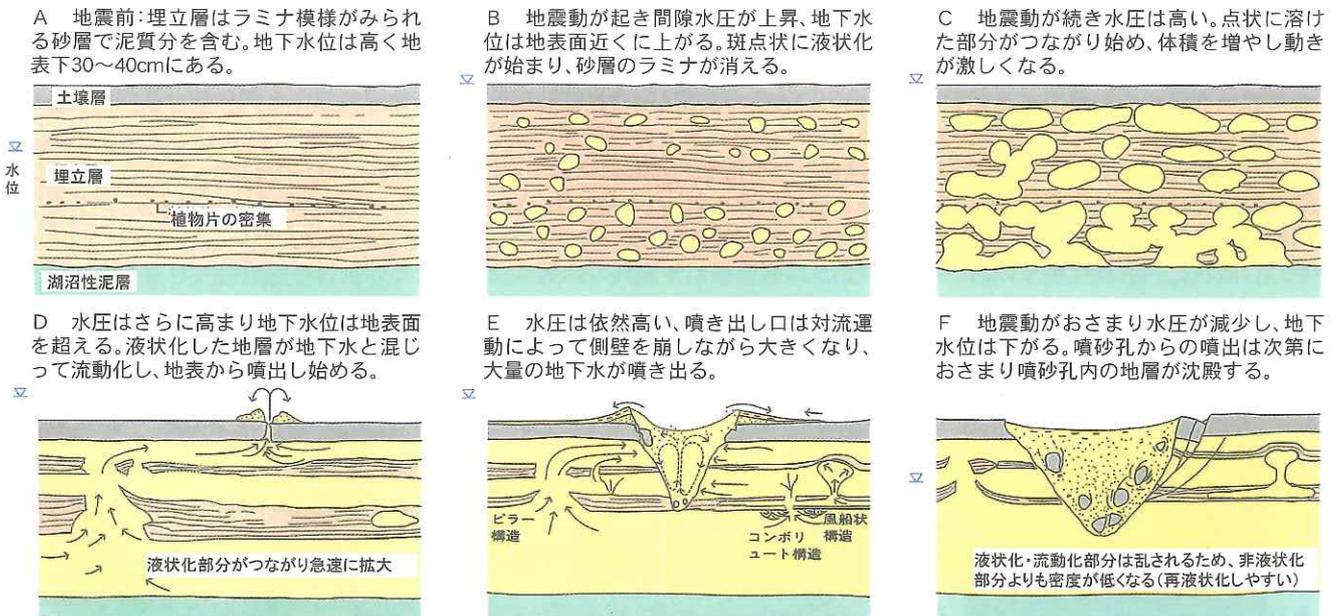


図2 液状化-流動化の過程 2003、アーバンクボタ40号「液状化・流動化」より

3 今回の液状化－流動化被害の特徴

(1)房総半島全域に共通すること

①人工地層分布域を中心に、噴砂・地盤の沈下・地表面の変形(地波⁵⁾(波状変形)を含む・電柱や建物の沈み込み・ライフラインの障害といった被害がみられます。

②房総半島北部で広く液状化－流動化現象がみられ、今回の地震での揺れが北部で強かったことが主因と推定されます。特に、5強以上の揺れのあったところで現象が生じています。(図3)

③房総半島北部の東方沖地震時に液状化－流動化したところでは再び発生しており、東方沖地震時と比べ、規模・被害程度ははるかに大きなものになっています。これは、強い揺れが長く続いたためと考えられます。

④沈降した戸建て構造物では、べた基礎のほうが布基礎よりも沈降量が小さい傾向があります。これは、布基礎のほうが地層との接地面積が小さいことによると考えられます。

⑤噴砂には、亀裂からの噴砂・直線状に並ぶ噴砂・単独の噴砂・巨大噴砂孔を伴う大規模噴砂の形態が認められます。また、噴砂の多くは粒径の揃った細粒砂～粗粒シルト(250～31 μ m)から構成されています。これは、房総半島は第四紀(258万年前～現在の地質時代)の初めにできた古関東深海盆地に堆積した地層が隆起し形成されたため、主に細粒な砂層と泥層から構成されこれらが人工地層材料になっているという地質特性によります。

⑥液状化対策が施された場所ではほとんど被害がみられていません。

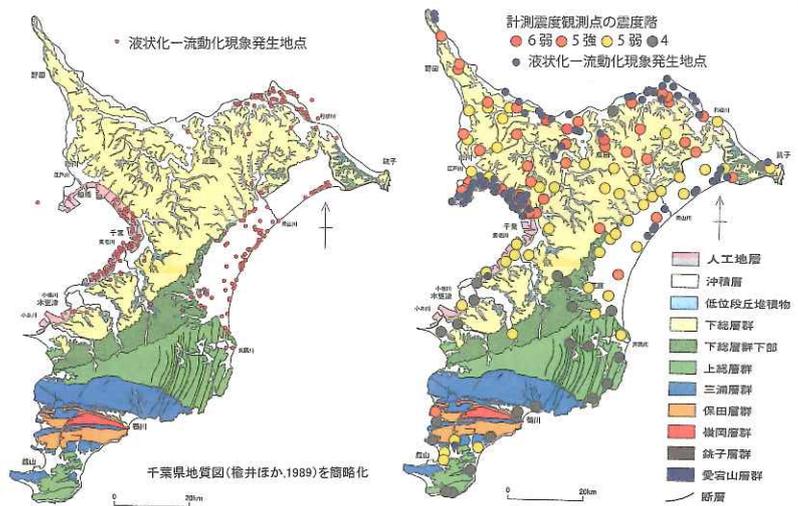


図3 左は1987年千葉県東方沖地震時の液状化－流動化現象の分布。右は2011年東北地方大平洋沖地震時の本震の気象庁震度階と液状化－流動化現象の分布。



図4 船橋市～千葉市美浜区の液状化－流動化現象の分布 赤:液状化－流動化現象発生地 オレンジ:液状化－流動化現象集中帯

(2)東京湾岸低地(船橋市－千葉市)

①埋立地全域で液状化－流動化被害が起こっているわけではなく、一般にまだら状に分布(数十mの平面分布を持つ噴砂の集中域と低被害・無被害地域が隣接)しています。(図4)

②海岸線に直交～やや斜交する幅数百mの帯状に被害が集中し、これは沖積層や人工地層の厚さと調和的な傾向がみられます。(図4)

③細粒砂～粗粒シルト主体の多量の噴砂が湧き出た地下水とともに下水や側溝に流れ込み、流路を詰まらせました。

④築山では道路面より比高約2m以下の部分に噴砂がみられ、この高さまで地下水位が高まったと考えられます。

⑤構造物の縁や角・電柱の脇からの噴砂が多くみられ、道路は車道の変形は小さく歩道は大きな変形がみられました。

⑥著しい液状化－流動化現象のあったところでは、強い揺れや家具の倒壊はなかったとの証言を複数得られました。



写真1 千葉市美浜区高浜三小校庭での噴砂



写真2 海浜幕張駅周辺での地表の変形



写真3 千葉市美浜区新港での電柱の沈み込み

(3) 東京湾岸低地(浦安市)

①地盤の沈下、構造物の沈み込み・傾き・浮き上がり、ライフラインの破損など深刻な被害が多くみられました。

②地盤の沈下により、深い基礎を有する構造物の多くが「抜け上がり」現象を生じました。また、建物の損傷は軽微でもライフラインが破損し都市生活に著しい障害となりました。高洲地区の災害用貯水槽も使用不能となり、消防活動の障害も懸念されます。

③本地区における抜け上がり量は、ほぼ表層の地盤沈下量を示していると推定され、20cm以上の抜けあがりが見られ、局所的に40cm以上の部分が多数存在しました。東関東自動車道の北側では抜け上がりが小さいところがあります。(図5)

(4) 利根川近辺の低地

①主にかつての湖沼や旧河道の埋立地に液状化－流動化現象が発生し、その全体が地盤の沈下を伴っています。

②沈下は、一般に数十cm～数mと大きく、亀裂や亀裂からの多量の噴砂や地波などの地表の変形を伴っています。

③基礎の浅い構造物の沈み込み・傾動やマンホールの浮上などが発生し、特に布基礎の戸建て住宅の中には1m以上の沈み込みがみられています。

(5) 九十九里近辺の低地

①余震も含め5強以上の揺れのあった北部に、液状化－流動化現象がみられました。南部のほとんどは5弱以下の揺れで今のところはみられません。

②砂鉄採取などのため掘り返した部分で液状化－流動化現象が発生し、数十cm～数mの地盤の沈下や地波がみられ、浅い基礎の構造物の中には沈降・傾動がみられました。

③木戸川などの河口部の低湿地の造成地において液状化－流動化がみられました。

④神崎町～香取市では、旧河道の外側の旧湿地を造成した部分でも液状化－流動化現象がみられました。

4 特徴的な被害分布について

東京湾岸埋立地では特徴的な被害分布が見られました。

①まだら状分布(図4の赤色部分):千葉県美浜区中磯部公園では東方沖地震の際に直線状に噴砂が並んでおり、このメカニズム解明調査を行ないました(図6a)。これに直交する地質断面から、噴砂は人工地層の砂層と泥層といった異なる地層の境界部に位置することがわかりました。泥層は液状化しにくく、砂層はしやすいという特徴から、太平洋沖地震では、この砂層部分全体が液状化－流動化し、多量の噴砂を伴いながら地盤の沈下が生じ、泥層分布域では地表面の変形はほとんどみられなかったものと考えられます。

では、このような砂層－泥層の分布はどのようにしてできたのでしょうか?

東京湾岸埋立地では、埋立てる場所を堤防で囲み、沖合いの浚渫船により海底の土砂を海水とともに吸い込み、パイプを通して堤防内に流入させ埋積していきました。地層粒子は粒径が大きなものほど水中での沈降速度が速い(ストークスの法則)ことから、流入口付近には砂が、離れたところには泥が沈殿していきます。航空写真の白く見える部分が流入口のうず高く砂が積もっているところです(図6d)。埋立てる際には流入口を移動させていきますので、人工地層の砂層や泥層の分布は複雑な形態となっており、液状化－流動化現象がまだら状分布をなしているものと考えられます。この地域の戸建ての敷地についても、それぞれ人工地層の構成は異なり、今回の地震での液状化－流動化の状況も異なったものと思われる。

②帯状分布(図4のオレンジ色部分):千葉県美浜区において、既存の地盤調査データと研究室で行なってきた層序(地層の重なり方)ボーリングとから、この帯状の液状化－流動化被害分布は約2万年前の氷河期の海面低下によって形成された谷の位置と調和的であり、また東京湾に向かいその幅が広がるのは、人工地層が厚くなることに関係していると推定しています。



図5 浦安市での抜け上がりの分布



写真4 旭市野中での地波と家屋の傾動



写真5 香取市一分目新田での1.5mを超える地盤沈下



写真6 千葉市中磯部公園での液状化－流動化状況 (a) 東方沖地震時、(b) 太平洋沖地震時、(c) 地質断面、(d) 埋立時の航空写真

5 液状化－流動化対策の考え方

液状化は以下の3条件が重なる場合に起こると言われています⁸⁾。

①緩詰まりの粘土分を含まない砂層である。②地下水位が浅い。③比較的大きな地震の揺れがある。

それでは液状化を防ぐにはどうすればよいのでしょうか？この3条件のうちの1つの条件を克服すれば良いわけです。③の地震動については現在は克服不可能といえます。①については地層に強い力を加えて締め固める方法、セメントミルクなどを注入し粒子同士を接着させる方法があります。ただし、この場合地下水の流動障害を起こしやすいので、何らかの地下水流動を確保する必要があります。さもないと、地下水流動の上流側の水位が上がり液状化しやすくなります。②については、地下水位をあらかじめ下げた方法と、地下水位が上昇する時に地表面まで達しないようにバイパスを作って排水させる方法とがあります。ただしこの方法は、地下水流動が遅い粗粒シルト層などには不向きです。研究室でも東京大学と民間企業との共同研究でヘチマドレーン工法を開発しております。対策を行なう深度は、これまでの研究室での調査から液状化－流動化は人工地層内にみられるので、人自不整合(人工地層と自然地層との境界面)よりも上位と考えられます。なお、1964年新潟地震の際には古くは江戸時代の地層までが液状化したこと⁶⁾が明らかとなっておりますので、地質コンサルタントに調べてもらい対策を行なうのがよいでしょう。一方、流動化に起因する側方流動を防ぐ工法等も開発されておりますが、これらは液状化に伴う現象なので、液状化を防ぐことがまず重要といえます。

6 液状化のプラス面－1995年阪神大震災で発見

阪神淡路大震災の際には、旧海岸線上に作られた大きな通りを境に被害状況が大きく変わっているところがありました。通りの内陸側は沖積低地で軟らかい粘土層が厚く液状化－流動化は起こらず強く揺れ、多くの家屋が倒壊し多数の方が死亡しました。しかし、通りの海側は砂の埋立地のため液状化－流動化現象により多くの戸建て住宅は傾き沈降しましたが、建屋は揺れで壊れることはありませんでした。地震波のS波によって構造物が破壊します。しかし、S波は液体中をほとんど伝わらず、地震時の初期に液状化した埋立地では、地層が液体と同様の物性となり、建屋に揺れの被害がみられなかったと推定されます⁷⁾。今回の地震でも同様な現象の証言を複数得ております。今後は、このような液状化による地震動の減衰作用を利用することが重要と思われれます。



写真7 阪神－淡路大震の際の戸建て住宅の被害の違い。右は沖積低地、左は埋立地

7 今後の復旧・復興と大地の継続的利用に向けて

(1)液状化－流動化対策: ライフラインや護岸などの液状化予防対策がまず重要と考えられます。また、地質構成が複雑な東京湾岸埋立地での対策は、ドレーン工法が適する場合が多いと考えられます。セメント固化などのような難透水性の地盤改良などは、地下水の流動障害が起こりやすく、地下水流動を考慮した対策が重要です⁵⁾。また、被害対策は土地の利用形態、被害状況、地質環境を考慮し、液状化による地震動の減衰効果も活用し、場合によっては利用形態の変更も視野に入れ、対象地に合わせた多様な方法を考える必要があります。

(2)地下水の重要性: 上水道が寸断した地域の自治会の中には、日常的に利用している井戸により上水を確保したところもありました。防災井戸は設置するだけでなく、維持管理のため日常的な利用と地下水位・地下水質のモニターが重要です。

(3)地盤の沈下: 過去の液状化－流動化被害調査では、地震直後に大きく沈下が起こり、その後数カ月かけて数cm～数十cmの沈下が進んだ例が多くみられています。また、埋設管の繋ぎ目や護岸の繋ぎ目から砂が流出し、陥没が起こっている例があります。地表のたわみなどの観察も重要となります。

(4)災害教育: 地質災害を取り扱う分野は、理科の地学分野です。その中で地震時に地質災害が生じる人工地層・沖積層・新生代層といった地層や地下水に関すること、地盤の沈下・斜面崩壊・地質汚染などの予防・修復や地質環境(大地)の持続的な利用を取り扱う必要があります。(地質環境研究室: 風岡修)

参考文献

- 1) 千葉県環境研究センターHP震災関係報告 (www.wit.pref.chiba.lg.jp/_sui_chi/chishitu/touhoku/touhoku.html)、2) 地震予知総合研究振興会、2011、地震加速度情報2011年3月11日14時46分 (www.adep.or.jp/shindo/Screen/C123380.html)、3) 気象庁、2011、地震月報、321p、4) Lowe, D.R., 1975, Sedimentology, vol.22, 157-201、5) 楢井久、2003、液状化対策、アーバンクボタ、40号、56-57、6) 新潟大学理学部地質鉱物学教室・深田地質研究所、1964、新潟地震地盤災害図、7) 楢井久ほか、1996、京都大学都市耐震センター研究報告、別冊第18号、127-146、8) Seed, H.B. and Lee, K.L., 1965, Univ. Calif., Berkeley, Dep. Civ. Eng. Rep. No. TE-65-5.

編集後記

今回は、3月11日の地震により、発生した液状化についてセンターにおける調査結果を紹介いたしました。専門用語が多く、わかりにくい点もあるかとは思いますが、出来るだけ正確な情報をお伝えしようと、今回はわかりやすさより、正確性を重要視し、専門用語を多く残しました。本ニュースの内容については、地質環境研究室までお問い合わせください。

発行: 千葉県環境研究センター

市原地区: 市原市岩崎西1-8-8

大気・騒音関係: 0436-21-6371 廃棄物・化学物質関係: 0436-23-7777

学習施設 電話 0436-24-5309 FAX. 0436-21-6810

E-mail: kankyoken@pref.chiba.lg.jp URL: <http://www.wit.pref.chiba.lg.jp>

稲毛地区: 千葉市美浜区稲毛海岸3-5-1

水質関係: 043-243-2935 地質関係: 043-243-0261