

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による液状化—流動化現象と詳細分布調査結果 —第 6 報平成 25 年度地層断面調査結果速報

2014 年 3 月 18 日作成
千葉県環境研究センター

東日本大震災では、東京湾岸埋立地において、局所的に大量の噴砂・噴水を伴う著しい液状化—流動化現象が発生し（図 1）、30 cm を超える沈下が発生しました。この大きな沈下は、幅 10~50m、長さ 20~100m の局所的な範囲で発生し、その周囲は大きな沈下がみられず、埋立地内にコントラストを持って斑状に分布しました（図 2）。従来にはないこのような現象については、どのような地質環境条件のどのような部分で発生したのかを明らかにすることが、今後の同様な被害の予測や対策を考えるうえでの第一歩となります。このため、このような被害があった千葉市美浜区の公立学校内において、そのメカニズムを検討するため、この現象が著しい部分から軽微な部分にかけて数か所で、3~6m 間隔に（図 3・4）深度 4~8m までの地層をそっくり採取し（図 5・6）、液状化—流動化部分を特定し、人工地層の地層構成との関係を検討する地層断面調査を行いました。このような調査は、世界でも初めてのことと思われまます。以下に調査の方法と調査の結果の概要を示します。

調査方法

本調査にあたり、事前に研究員が斜面調査用簡易貫入試験を 1~2m 間隔で行い、地層の硬さとその側方変化の状況を把握し、地層採取地点を決定しました。この結果を考慮して図 3・4 の地点で地層採取と現地での採取試料の剥ぎ取りを行い、液状化—流動化部分の認定を行いました。地層の剥ぎ取りは奈良国立文化財研究所埋蔵文化財センター（1980）の方法を改良して行いました。

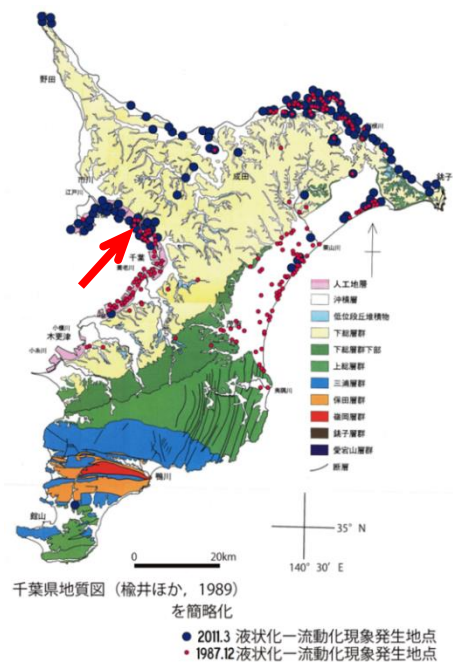


図 1 千葉県内での液状化—流動化の分布

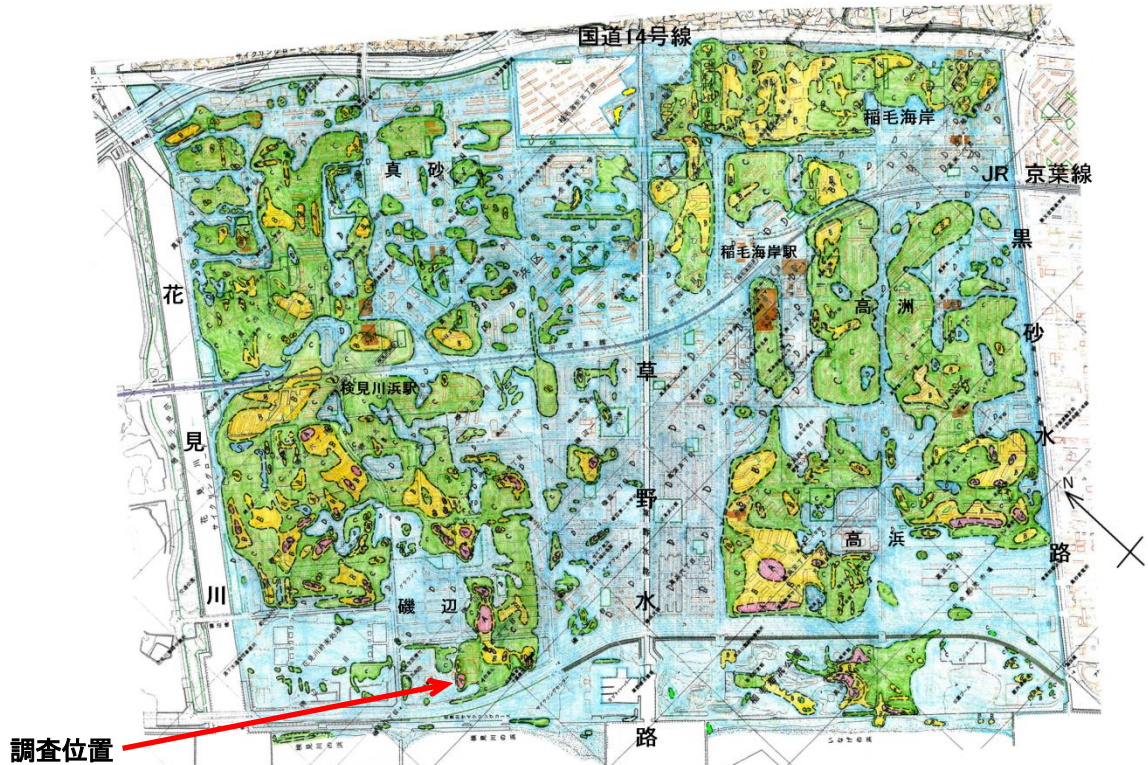


図 2 千葉市美浜区南東部での被害状況。A タイプ：30cm 以上の地表変形がみられた部分。B タイプ：10~20cm 程度の地表変形がみられたところ。C タイプ：数 cm 程度の地表変形がみられたところ。D タイプ：地表変形がみられなかったところ。

液状化—流動化現象のタイプ
 A タイプ C タイプ
 B タイプ D タイプ



図5 採取した地層.

図6 地層の採取状況.

図3・4 学校内の被害と地層採取地点、番号は地層採取地点で断面図(図7・8)の番号と同じ。

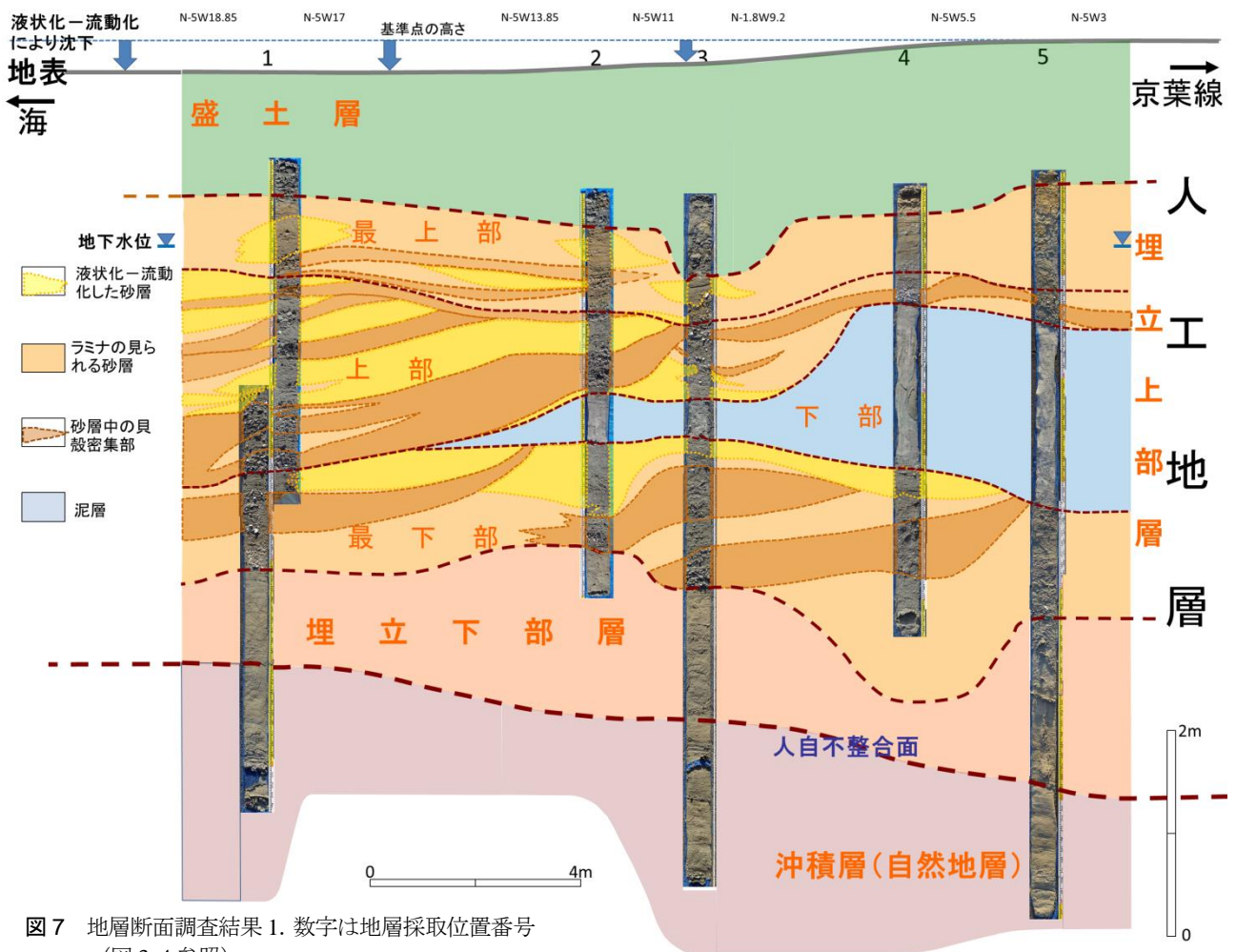


図7 地層断面調査結果1. 数字は地層採取位置番号(図3・4参照)

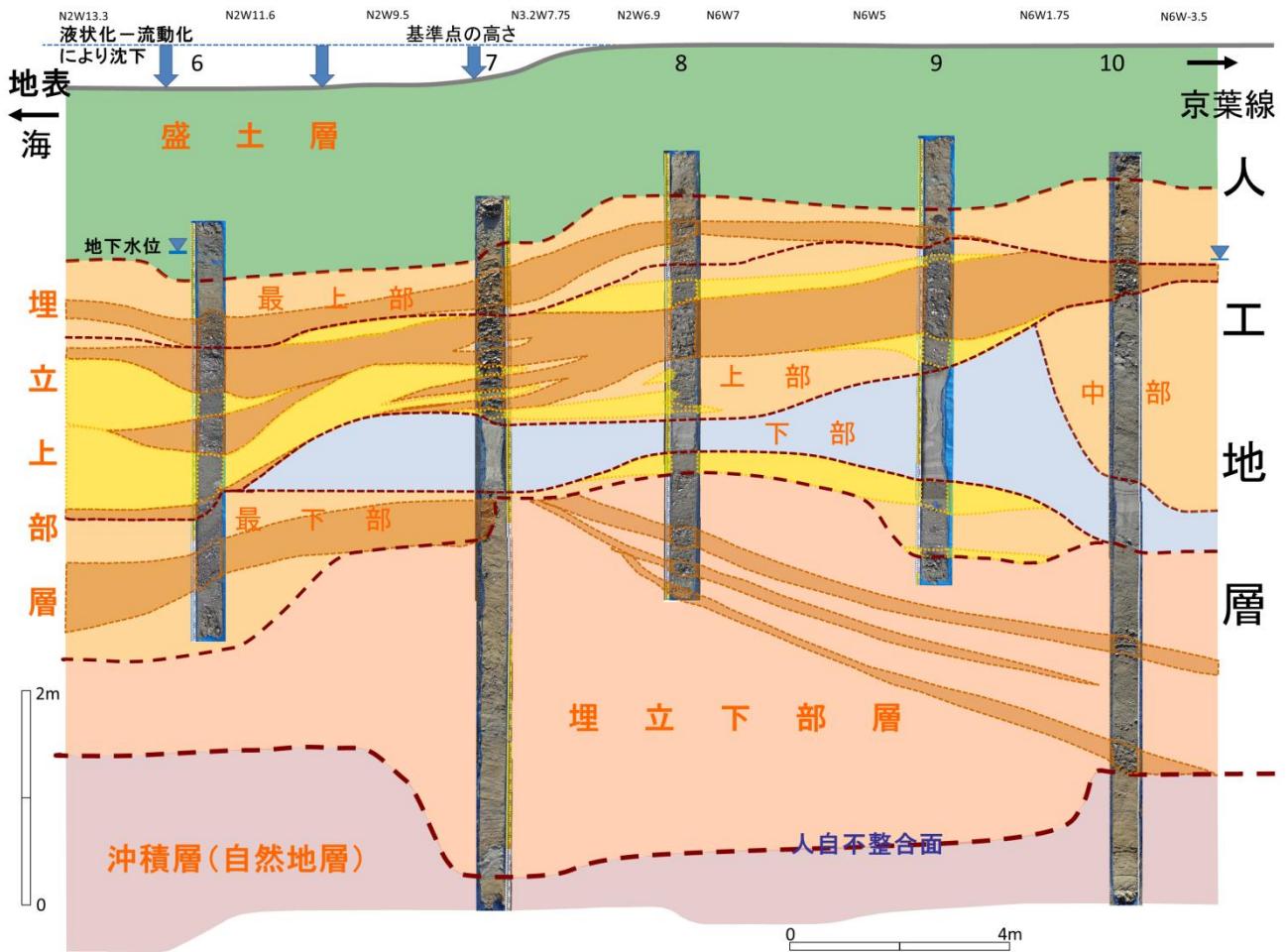


図8 地層断面調査結果2. 数字は地層採取位置番号(図3・4参照). 埋立上部層中の色彩の違いは図7を参照.

調査結果

調査結果を図7・8の地質断面図に示しました. 現段階で明らかになってきたことは以下のとおりです. なお, 波線部分は, 千葉県東方沖地震時の液状化に関するセンター独自の調査でたてた仮説のうち今回の地震調査で検証できた事項, 下線部分は今回の調査で新しくわかってきた事項です.

1. 地下水位は深度約2mと浅く, 人工地層の厚さは5.5~7.5mである. 液状化一流動化が発生した部分は, 地下水位が地表から浅く, ゆる詰まりの人工地層内でみられる.
2. 人工地層は大きく地表付近の盛土層とこの下位のサンドポンプ工法による埋立上部層・埋立下部層から構成される. 今回の地震は揺れが強く長かったため, 従来の液状化判定からは深部までの液状化が予想されたが, 調査の結果, 液状化一流動化は人工地層全体にみられるのではなく, 埋立上部層に集中してみられる.
3. 埋立層は, 主に砂層と泥層から構成され, 泥は難透水性で極めて軟弱で縮みやすく粘着性があり粒子同士が離れにくく液状化一流動化していない. 砂は粘着性がなく粒子同士が離れやすく比較的透水性の悪い細粒砂~中粒砂層の一部で液状化一流動化がみられる. なお, 軟弱な泥層は埋立後収縮し続けており, 地盤の沈下の一因となっている.
4. 図9に示すように, 剥ぎ取り面において, 非液状化一流動化部分は地層堆積時に形成されるラミナ(筋模様)が明瞭にみえるものの, 液状化一流動化部分はラミナが消えたりぼやけたりし,

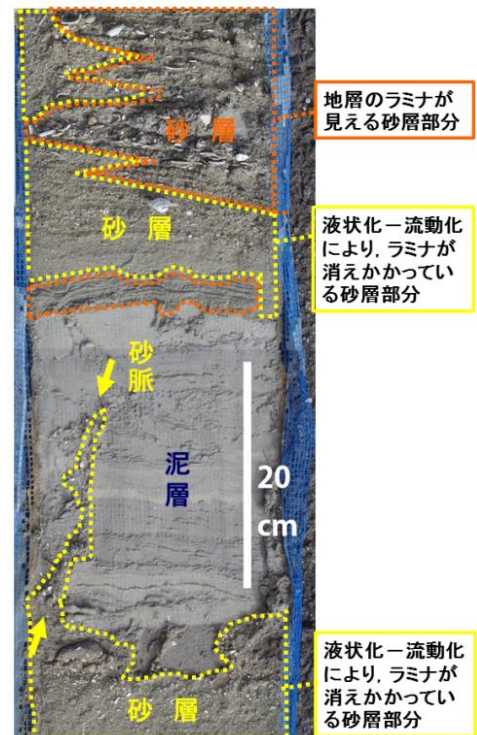


図9 剥ぎ取り面で判断できる液状化一流動化部分(断面図の8番)

多くの部分はゆる詰まりとなっており、再液状化しやすい状態となっている。

5. 各層の層相と液状化一流動化部分は以下のとおりである。

盛土層：厚さ 1.5～2.2m で、シルト礫や硬質礫を含む砂混じりシルト層～シルト質細粒砂層を主とし透水性が比較的悪く液状化一流動化部分はみられない。埋立上部層からと思われる黄褐色や灰色の噴砂脈が図 7 の 3・4 に、亀裂は図 8 の 8 付近で見つまっている。

埋立上部層：厚さ 2.6～5.1m で、細粒砂～中粒砂層、貝殻片密集層、泥層から構成される。ラミナが発達する黄褐色細粒砂～中粒砂層を主とする最上部、ラミナが消失し緩い灰色の中粒砂層中に貝殻片密集層を頻りに挟む上部、ラミナが発達し比較的しまった灰色の中粒砂層を主とする中部、極軟弱な灰色シルトからなる下部、多量の貝殻片が混じり灰色中粒砂層主体の最下部からなる。液状化一流動化部分は、上部の砂層中にみられ、貝殻片密集部にはみられない。また、泥層直下の最下部の上部及び最上部の上部の砂層中にみられる。最下部の液状化一流動化部分はこの直上の埋立上部層下部の泥層中に砂脈として貫入している（図 9）。これは、地震により泥層が変位し、砂層中の水圧が高まり液状化し、泥層に亀裂が生じた部分に液状化した砂が流動しこの亀裂に入り込んだものと考えられる。また、液状化一流動化部分の厚さは 30cm 以下のことが多い。

埋立下部層：厚さ 0.5～3.5m で、人自不整合面（人工地層と自然地層との境界面）の凹部を埋めるように分布する。黄褐色細粒砂～中粒砂層からなり、泥を含まず粒がよく揃いラミナが発達し、しまっている。京葉線以北を埋立てた際に、一部が沿岸流などにより運ばれ堆積した可能性がある。

沖積層：厚さ 1.5m 以上で、泥質分を含まず、粒径がよく揃い、ラミナが明瞭で、しまった細粒砂層から構成され液状化一流動化部分はみられない。この砂層は人工地層の可能性もある。

液状化一流動化現象に関するまとめ。

以下に、仮説が検証できたこと、新たに明らかになったことを示す。

1. 液状化一流動化部分は、主に埋立上部層内に限定される。このうち、下部の泥層の下位に接する砂層中には広くみられた。同様な現象は千葉県東方沖地震時にも他の場所でみられ、このことは、泥層は軟らかく地震時には加速度によって大きく変位する（動く）のに対して、砂層はそれほどでもないためこの境界に沿って歪が起り液状化しやすいと考えられる。また、泥層は難透水性であり、水圧が高まりやすいことも関係しているものと考えられる。さらに、今回はこの泥層が地震時に大きく変位し、一部に亀裂が生じ、これが開き、下位の液状化した砂層がこの中へ流動し入り込んだと思われる砂脈（図 9）が、みられる。
2. 浅層部である埋立層上部層の上部（深度 2-4m）の砂層部分を中心に液状化一流動化しており、その分布と沈下の分布がほぼ一致する。また、埋立上部層の最上部や最下部の液状化一流動化部分の分布と沈下部分には相関はみられない。このことから、埋立層上部層の上部の砂層の一部が液状化し引き続く流動化によって、この砂層が調査地点の 3・4 や 8 付近にみられる砂脈や亀裂を通り地表に噴砂となって噴出し、その部分が沈下したものと推定される。このように、今回起こった液状化一流動化による斑状の沈下のメカニズムを推定することができた。
3. 液状化一流動化がみられる埋立層上部層の中では、貝殻片密集層部分は液状化一流動化現象はほとんどみられない。これは、この層は隙間が多く透水性が極めて良いため地震時に高まる水圧が周囲へ発散しやすいためと推定される。このことは、今後の液状化一流動化の予測や対策方法を考える際の重要な点といえる。
4. 厚い泥層の下位の部分で液状化しているものの、この上位の泥層は変形しておらず、大きな沈下もみられていない。このことは、泥層直下の砂層部分は液状化したものの、流動し移動することができず、そこにとどまる場合、局所的な大きな沈下にはつながらない、すなわち軽微な被害で済む場合があることを示している可能性がある。

調査した埋立地における地質環境特性と液状化一流動化に関する考察

1. 埋立層内には、極めて軟弱な収縮しやすい泥層が部分的に挟まれており、地盤の沈下の一因となっている。このことから、地下水位を低下させる際には、地盤の沈下に十分注意する必要がある。
2. 透水性が極めて良い貝殻層が複数枚挟まれ広く分布している。このため、このような透水層を不透水性の構造物で遮断すると、地下水の流れの上流側では地下水位の上昇をまねき液状化しやすくなることがある。
3. 砂層部分に液状化一流動化がみられるので、この部分の地震時の水圧の消散を考えればよい。
4. 以上の調査地の地質環境条件では、液状化一流動化を防止するには、地下水面を変化させず、貝殻層などの透水層の構造を遮断することがなく、地震時に砂層内で上昇する水圧を消散させる方法が適当と考えられる。なお、このような対策の設計のためには、液状化一流動化部分は厚さ 30 cm 程度しかなくその特定と地層の透水層構造を明らかにするため、連続的に地層を採取するオールコアボーリングを中心とした調査が必要といえる。

(地質環境研究室)