

# 強震時の液状化－流動化現象と地質構造に関する研究 －東京湾岸埋立地千葉市美浜区における調査結果－

風岡 修 亀山 瞬 森崎正昭 酒井 豊 木村満男 吉田 剛 香川 淳 小倉孝之

## 1 はじめに

平成 23 (2011) 年東北地方太平洋沖地震 (以下「太平洋沖地震」と略す。) では、第四紀関東堆積盆地上は震源から遠方であるにもかかわらず、人工地層を中心に液状化－流動化現象による深刻な被害を受けた。東京湾岸埋立地では、10～50m×30～100m の局所的な部分に集中して液状化－流動化現象が起こり数 cm～1m もの沈下を伴う部分が、斑状に分布するという、従来の地震時の液状化－流動化被害ではみられない被害状況であった。このような被害の対策や予防には、このような局所的な沈下を伴う液状化－流動化現象のメカニズムを明らかにすることが第一歩といえよう。このため、局所的な沈下がみられた磯辺地区の県立高校内 (図 1) において地層断面調査を行った。以下は、調査結果速報<sup>1)</sup>を基に、簡略化しかつ一部改良を加えたものである。

## 2 調査方法

調査は、液状化－流動化により沈下量が大きく変わる部分において、高密度の簡易貫入試験後に、側方に約 3～5m 間隔に幅 25cm 長さ 5m ないし 8m のサンプラーにより、地層を乱さずそっくり採取し、地層の剥ぎ取り転写などを行った。その後、地層の詳細な観察を行い、採取地点同士の地層の対比、人工地層内の透水層構造の把握、液状化－流動化部分の認定を行い、人工地層の地質構造と液状化－流動化部分との関係を検討した。

## 3 調査結果

現段階で明らかになってきたことは以下のとおりである。

①地下水位は深度約 2m と浅く、人工地層の厚さは 8m 以上である。液状化－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人工地層は地表付近の盛土アソシエーション<sup>1)</sup>とこ

の下位のサンドポンプ工法による埋立上部アソシエーション・埋立下部アソシエーションから構成される。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－流動化は人工地層全体にみられるのではなく、埋立上部アソシエーション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、粘着性があり粒子同士が離れにくく液状化－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－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、校舎に古い抜け上がりが見られ、地盤の沈下が発生していることがうかがえる。

④剥ぎ取り面において、非液状化部分は地層堆積時に形成されるラミナ<sup>2)</sup> (筋模様) が明瞭にみえるものの、液状化－流動化部分はラミナが消えたりぼやけたりし、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－流動化部分は以下のとおりである。

盛土アソシエーション：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－流動化部分は見られない。埋立上部層からと思われる黄褐色や灰色の噴砂脈が図 2 の 3・4 に、亀裂は図 2 の 8 付近で見つかっている。

埋立上部アソシエーション：厚さ 2.6～5.8m 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バンドル<sup>3)</sup>、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バンドル、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バンドル、極軟弱な灰色シルトからなる下部バンドル、多量の貝殻片が混じり灰色中粒砂層主体の最下

部バンドルからなる。液状化一流動化部分は、上部バンドルの砂層中にみられ、貝殻片密集部にはみられない。また、泥層直下の最下部バンドルの上部及び最上部バンドルの上部の砂層中にもみられる。最下部バンドルの液状化一流動化部分はこの直上の下部バンドルの泥層中に砂脈として貫入している。この貫入は、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入したものと考えられる。また、液状化一流動化部分の厚さは30cm以下のことが多い。

埋立下部アソシエーション：厚さ5m以上で、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。なお、一部に液状化一流動化部分がみられるものの、上位の埋立上部アソシエーションにその構造は浸食されていることから、埋立上部アソシエーション堆積前に発生したもので、東日本大震災時のものではない。

#### 4 液状化一流動化と沈下に関するメカニズム

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東日本大震災時の液状化一流動化部分は、主に埋立上部アソシエーション内にみられる。このうち、下部バンドルの泥層の下面に接する最下部バンドルの砂層中にみられた液状化一流動化現象は、千葉県東方沖地震時にも東京湾岸埋立地の他の場所でもみられた。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こと」、「泥層は難透水性であり、水圧が高まりやすいこと」、この2つのことが関係し発生したものと考えられる。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入し、砂脈となったとみられる。

②浅層部である埋立層上部アソシエーション層の上部バンドル（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、埋立上部アソシエーションの最上部バンドルや最下部バンドル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、上部バンドル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上部アソシエーションの中では、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埋立上部アソシエーション下部バンドルの厚い泥層の下位の部分で液状化しているものの、この泥層はほとんど変形しておらず、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ず、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。

#### 5 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切と考えられる。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。

引用文献：

1)千葉県環境研究センター，平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による液状化一流動化現象と詳細分布調査結果 一第 6 報平成 25 年度地層断面調査結果速報（2014 年 3 月 18 日掲載），[http://www.pref.chiba.lg.jp/wit/chishitsu/ekijouka\\_houkoku/index.html](http://www.pref.chiba.lg.jp/wit/chishitsu/ekijouka_houkoku/index.html)（2014）。

\*1・\*3：アソシエーション・バンドルは IUGS-GEM（国際地質科学連合環境管理委員会）で提案されている人工地層の単位元（オーダー：生物分類の属・科などにあたるもの。同様な人工地層（単層一枚の地層）が集まったものをバンドル、バンドルが集まったものをアソシエーションと呼ぶ（Nirei ほか，2012, Episod,35 巻, P.333-336））。

\*2：地層断面中にみられる筋模様。地層に見られる成層構造の一種。単層（一枚の地層）の内部で粒径の異なる粒子が植物の葉程度のごく薄い層をなして重なり、断面において線筋状に配列する構造（地層粒子が水底に沈積する際、その粒の大きさや水流の速さにより様々な形態となる）。



図 1 地震時の液状化一流動化により局所的に沈下した自転車置き場

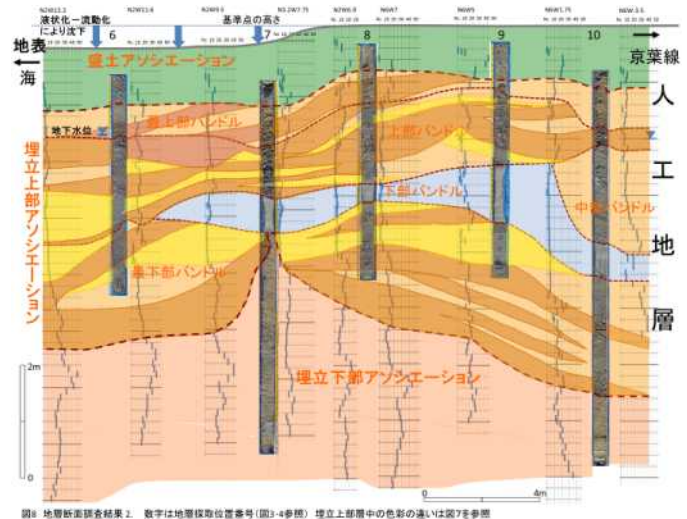
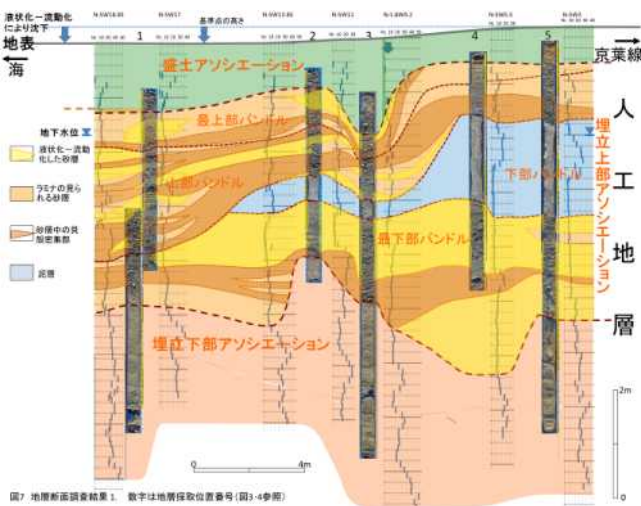


図 2 地層の剥ぎ取り面の写真と調査結果の地層断面図 剥ぎ取り写真の上の数字は，図 1 の地層採取位置