

液状化-流動化の被害程度が急激に変わる部分における地質環境の違い —地層断面調査の結果から—

風岡 修 亀山 瞬 森崎正昭 重野聖之¹⁾ 鈴木喜之¹⁾ 香川 淳 吉田 剛
木村満男²⁾ 酒井 豊²⁾ 小倉孝之

(1: 明治コンサルタント(株) 2: 元千葉県環境研究センター)

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(Mj.9.0)とその余震では、東京湾岸埋立地北部において、局所的に著しい液状化-流動化現象が発生し、最大で約1mの地表面の沈下が発生した。このような大きな沈下は、幅10~50m、長さ20~100mの局所的な範囲で発生し、大量の噴砂・噴水を伴うものの、その周囲ではほとんど沈下がみられず、あっても数cm程度で噴砂・噴水もほとんどみられない。このような局所的な液状化-流動化現象が埋立地内に斑状に分布した¹⁾²⁾。埋立地内におけるこのような特異な局所的な液状化-流動化現象は、過去の強震時の液状化被害地に観察された例はない。このため、どのような地質環境条件で発生したのかを明らかにするため、千葉市美浜区の公立高校内の液状化-流動化現象に伴い局所的に沈下した部分において地層断面調査を行った(図1)。その結果、サンドポンプによって埋め立てられた埋立上部アソシエーション内で、地層の種類が側方へ変化し、透水層構造が変わり、これに関連して液状化-流動化の程度が変化すると同時に、液状化部分の流動条件が左右され、地表面の沈下に大きな影響を与えたことが明らかとなった³⁾⁴⁾。

一方、この調査の際に、現地にて、ACEライナーによる不攪乱ボックスコア試料について、密度試験用サンプルの採取と山中式土壌硬度計による地層の硬さの測定をおこなった。

液状化に関する過去の研究において、地層断面上で液状化-流動化部分と非液状化-流動化部分を判定し、物性値を得た例はなく、今回得たこのデータは貴重なものとなる。そこで、次に調査地の地層区分ごとの物性値を述べていく。

2 調査地の層序区分

調査地の地層区分と層相の概要を以下に示す。地下水位は深度約2m、人工地層の厚さは8m以上である。人工地層は地表付近の盛土アソシエーション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³⁾⁴⁾。

2・1 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ないしシルト質細粒砂層を主とし塊状である。礫は層理面に対し平行に配列する傾向がある。水平層理がぼんやりみえることがある。透水性が比較的悪く液状化-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1の地点3・4に、亀裂は図1の地点8付近で見つまっている。

2・2 埋立上部アソシエーション

厚さ2.6~5.1mで、主に細粒砂~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、ラミナが一部で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、貝殻片や細礫サイズの関東ロームの円礫が多く混じる灰色中粒砂層主体の最下部バンドルからなる。液状化-流動化部分は、上部バンドルと最下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、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-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、地波などにより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-流動化部分の厚さは30cm以下のことが多い。

2・3 埋立下部アソシエーション

厚さ 3.5m 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。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。

3 液状化一流動化部分と非液状化一流動化部分の物性の違い

地層断面調査により採取された剥ぎ取り面の観察から、初生的ラミナの攪乱状況が明らかとなり、液状化一流動化部分が判断できるようになった。その結果は、図3・図4に示されている。

従来の地層の硬さを中心とした液状化に関する研究では、液状化被害のあった地域で、貫入試験や各種地層物性調査が行われているものの、実際にどの深度が液状化一流動化した部分なのかどうかの判断は行われてこなかった。これは、物性値を求めるには不攪乱試料が必要であり、物性試験後の試料は試験によって乱されてしまうので、試験前の地層の状態を知ることができなかったことによる。また、同時に、今回の調査や 1987 年千葉県東方沖地震時に液状化一流動化した地点でのトレンチ調査⁵⁾⁶⁾で明らかになってきたように、液状化一流動化部分は極めて局所的な現象であることすら、従来わかっていなかった。

今回は、特にトレンチ調査では実行が不可能な深度までの比較的大面積の不攪乱試料が得られたため、剥ぎ取り面の採取の際に、土壤硬度計によるピンポイントの地層の硬さの把握と、密度試験サンプルの採取を初めて行うことができた。これら結果について、アソシエーションごとに以下に示す⁵⁾⁶⁾。

3・1 盛土アソシエーション

礫を多く含むが、硬さは礫を避け、基質部分を測定した。硬さは 1.0～2.0kg/cm² と軟らかな部分と 3.3～4.8 kg/cm² とやや硬い部分がみられる。

3・2 埋立上部アソシエーション

砂層・貝殻層・シルト礫混じり貝殻密集層・泥層から構成される。液状化一流動化部分と非液状化一流動化部分の物性値の比較は、砂層部分について各バンド

ルごとに以下に示す。なお、非液状化一流動化部分に対し、液状化一流動化部分はゆる詰まりとなつて軟らかくなっている場合とほぼ同様な硬さの場合がみられる。

埋立上部アソシエーション最上部バンドル：非液状化一流動化部分の硬さは 2.1～4.6 kg/cm² であるのに対し、液状化一流動化部分の多くは 0.7～1.8 kg/cm² と軟らかくなっている。液状化一流動化部分の一部には 3.3～4.1 kg/cm² とやや硬い部分もみられる。

埋立上部アソシエーション上部バンドル：非液状化一流動化部分の多くは 1.2～3.0 kg/cm² であるのに対し、液状化一流動化部分は 1.2～2.1 kg/cm² と軟らかくなっている部分がみられる他、2.6～3.2 kg/cm² とやや硬い部分がみられる。硬い部分は非液状化一流動化部分よりも硬くなっている傾向がある。軟らかい部分の密度は 1.47～1.50 kg/cm³ と緩く、硬くなっている部分の密度は 1.60～1.66 kg/cm³ とややしまっている。

埋立上部アソシエーション中部バンドル：非液状化一流動化部分の硬さの多くは 2.8～4.2 kg/cm² ないし 6.5～7.5 kg/cm² と比較的硬いのに対し、液状化一流動化部分も同様な 2.8～4.2 kg/cm² ないし 6.5～7.5 kg/cm² である。非液状化一流動化部分の密度は 1.48～1.53 kg/cm³ である。

埋立上部アソシエーション下部バンドル：液状化一流動化していない泥層からなる。

埋立上部アソシエーション最下部バンドル：非液状化一流動化部分の硬さの多くは 4.2～5.0 kg/cm² であるのに対し、液状化一流動化部分は 1.0～2.1 kg/cm² と極めて軟らかくなつていたり、2.7～3.3 kg/cm² とやや軟らかくなつていたり、4.0～5.5 kg/cm² と変わらなかつたりする。液状化一流動化部分の密度は 1.27～1.38 kg/cm³ と極めてゆる詰まりとなつていたり、1.46～1.50 kg/cm³ であつたりする。

3・3 埋立下部アソシエーション

非液状化一流動化部分の硬さの多くは 3.0～6.0 kg/cm² と比較的硬いのに対し、液状化一流動化部分は 2.8～4.2 kg/cm² とやや軟らかくなつていたり、5.5～7.5 kg/cm² とやや硬くなつていたりする。液状化一流動化部分と非液状化一流動化部分の密度は共に 1.49～1.60 kg/cm³ である。

3 まとめと今後の展望

東日本大震災での液状化－流動化は埋立上部アソシエーションの砂層部分で発生している。また、埋立上部アソシエーション内では、上位のバンドルほど、液状化－流動化部分は非液状化－流動化部分に比べて密度は小さく、硬さもゆるい状態となっている。しかし、下位のバンドルでは、密度や硬さでは区別がつかない部分が多くなっている。このことは、液状化－流動化部分の判断には、地層の硬さや密度だけではわからず、オールコアボーリング試料などのように、そっくり地層を不攪乱状態で採取し地層構造の乱れを観察することが必要といえる。

引用文献

- 1) 千葉県環境研究センター：千葉県環境研究センター調査研究報告 第G-8号 (2011)。
- 2) 風岡修：人工地層のでき方と液状化－流動化被害。シンポジウム「人工改変地と東日本大震災」資料集，

地質汚染－医療地質－社会地質学会，1-21 (2011)。

- 3) 千葉県環境研究センター地質環境研究室：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，4p (2014)。
- 4) 風岡修，亀山瞬，森崎正昭，重野聖之，鈴木喜之，香川淳，吉田剛，木村満男，酒井豊，小倉孝之：2011 年東北地方太平洋沖地震時に発生した沈下を伴う液状化－流動化現象発生地の人工地質の特徴－東京湾岸埋立地千葉市磯辺地区での地質調査から－。第 24 回環境地質学シンポジウム論文集，9-14 (2014)。
- 5) 風岡修，楠田隆，香村一夫，楡井久，佐藤賢司，原雄，古野邦雄，香川淳，森崎正昭：液状化－流動化のメカニズムとその実態。日本地質学会第 101 年総会・討論会 講演要旨，125-126 (1994)。
- 6) 風岡修：液状化・流動化の地層断面。アーバンクボタ 40 号，5-13 (2003)。



図1 2011年東日本大震災により局所的に大きな沈下がみられた千葉市美浜区の県立高校の自転車置き場。数字はACEライナーによる地層採取地点¹⁾。

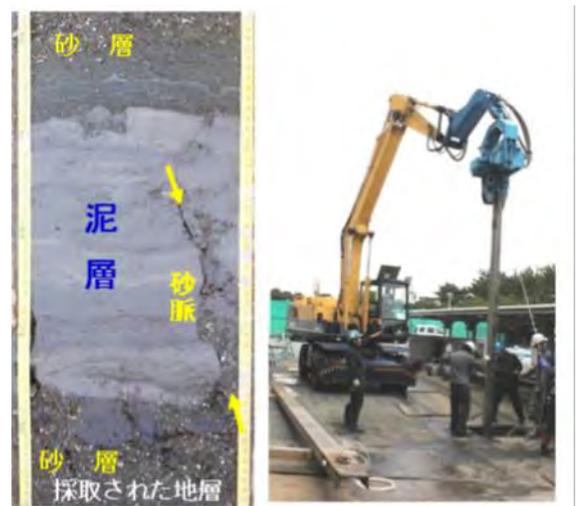


図2 ACEライナーによる地層採取状況と、採取した地層の断面¹⁾

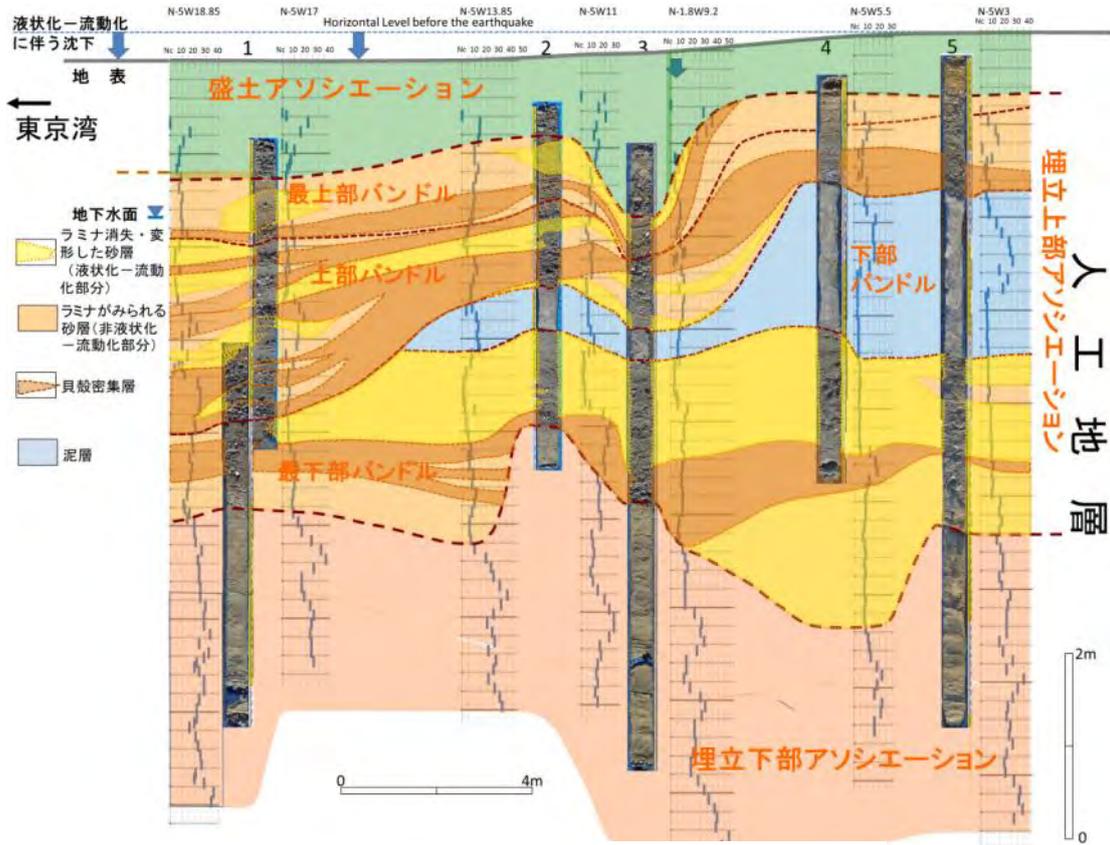


図3 図1の地点1～5の地層断面（引用文献4）を一部修正）

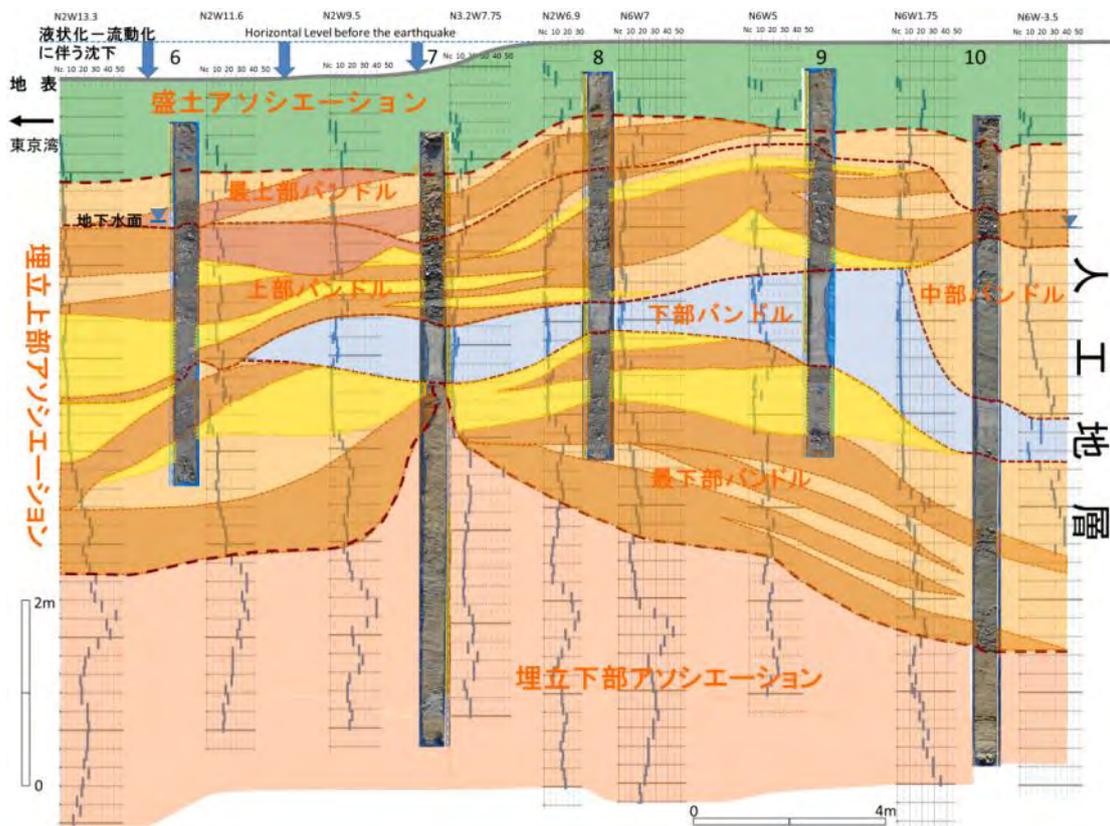


図4 図1の地点6～10の地層断面（引用文献4）を一部修正）