

2011年東北地方太平洋沖地震時の液状化—流動化現象がみられた東京湾北部埋立地における液状化—流動化現象解明調査結果 船橋市日の出町・市川市行徳： その1. 沖積層の層序

風岡 修 荻津 達 八武崎寿史 香川 淳 吉田 剛 加藤晶子

1 目的と調査研究方法

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(Mj.9.0)(以下「太平洋沖地震」と略す)とその余震の際、東京湾岸埋立地北部では広範囲に液状化—流動化現象が発生した。しかし、埋立地のすべてで被害が生じたわけではなく、斑状に生じた。このような局所的な液状化—流動化現象をより精度良く予測できるようになれば、地質災害予防のため、地質環境条件に見合った地質改良工事や土地利用形態の変更を計画的かつ効率的に行えるようになるであろう。

この地震の際、東京湾岸埋立地北部では直径数十mの斑状に局所的に著しい沈下を伴う噴砂・噴水が発生し、最大で約1mの地表面の沈下が生じた¹⁾。このような斑状の噴砂・沈下部分はほぼ北東—南西方向に延びる幅500m程度の帯内に集中し、その位置は概ね沖積層の厚い地域に重なる¹⁾²⁾。

一方、1923年関東地震の復興の際に行われた平野部での地質調査から、最終氷期に洪積層である下総層群を浸食して形成された浸食谷(以下「化石谷」とよぶ)が明らかにされ、化石谷の部分には軟弱な沖積層が厚いこと³⁾がわかり、この部分では地震動が増幅しやすいこと⁴⁾⁵⁾も明らかにされてきた。

これらを受けて今回の調査は、①液状化—流動化現象の誘因となる強い地震の揺れ(以下「強震動」と略す)が発生したと推定される沖積層の地質構成とその弾性波速度構造の解明、②液状化—流動化が発生した人工地層の地質構成や透水層構造と液状化—流動化部分との関係の把握、についてオールコアボーリングによって明らかにしようとするものである。

そこで、太平洋沖地震時に沈下を伴う噴砂がみられた市川市行徳付近と船橋市日の出付近に推定される化石谷部分において、①沖積層の基底よりも下位までのオールコアボーリングを行い、沖積層や人工地層の地

層構成を明らかにし、②各層の弾性波速度をP-S検層などで明らかにし、③千葉市美浜区稲毛海岸の本センター敷地内の下総層群内に設置された地中地震計により得られた太平洋沖地震の地震波形記録(以下「稲毛波」と略す)を基に、今回得られた弾性波速度や既存データを基に地震動シミュレーションを行い、沖積層中での地震の揺れの増幅の状況を再現した。

沖積層の地層構成については本報告にて、人工地層の地層構成と液状化—流動化部分についてはその2に、シミュレーション結果はその3に分けて述べる。

2 市川市行徳における地質構成

行徳付近では、太平洋沖地震の際に行徳高校やこの南東の小・中学校のグラウンドにて多量の噴砂が見られた(図1)。

オールコアボーリングは、地震時には砂混じりの地下水が多量に噴出し沈下が生じた高校のグラウンドの北東隅で行った。調査地点の地質構成は、下位より下総層群、沖積層、人工地層からなる(図3)。また、調査地点の標高は3.3m、人自不整合面(人工地層と自然地層との境界面)の深度は5.53m、沖積層の基底面深度は41.70mである。自由地下水面は深度約0.95mであった。以下に各層の概要を述べる⁶⁾。

下総層群：本層は、深度41.7m以深に分布する。平行ラミナが発達し貝殻混じりの淘汰の良いきれいな良く締まった極細粒砂層を主体とする。粗粒シルト層や粘土混じり細粒シルト層を頻りに挟む。深度54.1m以深では、火山灰層が多数挟む。S波速度は315m/sである。

沖積層：本層は深度41.7~5.5mに分布し、層相より6部層に分かれる。最下部層は、深度41.70~41.60mに分布し、淘汰の悪い締まった泥まじり細礫質中粒砂層を主体とする。下部層は、深度41.60~31.31mに分布



図1 市川市行徳付近の噴砂(青丸)の分布と調査地点

し、軟らかな細粒シルト層を主体とする。中下部層は、深度 31.31~25.77m に分布し、締まった極細粒砂~中粒砂層を主体とする。上方粗粒化がみられ、上半部の中粒砂層中にはロームの礫や貝殻片を含む。中上部層は、深度 25.77~13.53m に分布し、全体に貝化石を多く含む軟らかい細粒シルト層を主体とする。上部層は、深度 13.53~7.6m に分布し、やや締まった極細粒砂~中粒砂層を主体とする。上方粗粒化し、下部は平行ラミナが発達する極細粒砂~細粒砂層、上部は斜交ラミナが発達し関東ローム礫を含む中粒砂層からなる。最上部層は、深度 7.6~5.53m に分布し、生物擾乱が著しいやや締まった粗粒シルト~極細粒砂層である。S 波速度は、最上部層が 280m/s、上部層が 190m/s、中上部層が 135m/s、中下部層が 195m/s、下部層・最下部層が 175m/s である。

人工地層: 深度 5.53~0.00m に分布し、下部の埋立アソシエーションと上部の盛土アソシエーションからなる。埋立アソシエーションは、深度 5.53~0.9m に分布し、極軟らかい細粒シルト層と極ゆるい~ややゆるい極細粒砂~細粒砂層との互層からなる。全体に泥勝ちであり、泥層中に砂層が挟まれている。砂層部分の一部には地層の堆積時に形成されるラミナ模様が消失ないし不明瞭な部分がみられ、これら部分が液状化~流動化部分と推定される。盛土アソシエーションは、地表より深度 0.9m に分布し、ローム礫混じりローム質中粒シルト層を主体とする。S 波速度は 130m/s である。

電気検層結果: 下総層群は砂層の粒径が細かいものの比抵抗が高いことから、透水層がよく発達していると推定される。また、沖積層内では中下部の比抵抗がや



図2 船橋市日の出付近の噴砂(青丸)の分布と調査地点

や高く、透水層として発達していることが推定される。人工地層内では砂層部分の比抵抗が高く、透水層として発達していると推定される。

3 船橋市日の出における地質構成

船橋市日の出付近では、太平洋沖地震の際に船橋市立湊中学校のグラウンドを中心に大規模に噴砂・噴水が発生した(図2)。このグラウンドの北東隅の地震時に多量の噴砂があり沈下が生じた部分でオールコアボーリングを行った。

調査地点の層序は、下位より下総層群、沖積層、人工地層からなる。また、調査地点の標高は 1.8m、人自不整合面の深度は 3.48m、沖積層の基底面深度は 36.29m である。自由地下水面は深度約 0.80m であった。以下に各層の概要を述べる⁹⁾。

下総層群: 本層は、深度 36.3m 以深に分布し、平行ラミナが発達し貝殻片混じりの淘汰の良いきれいな良く締まった極細粒砂層を主体とし、粗粒シルト層や粘土混じりの細粒シルト層を頻りに挟む。S 波速度は 430m/s である。

沖積層: 本層は深度 36.3~3.55m に分布する。層相より 6 部層に分かれる。最下部層は、深度 36.29~31.09m に分布し、植物片を含みラミナが発達する締まった細粒砂~中粒砂層を主体とする。有機質な細粒~中粒シの軟らかな細粒~中粒シルト層と厚さ 1~10cm のローム礫混じりのやや締まった極細粒砂~細粒砂層との互層である。下部で生痕が発達する。中・上部はシルト層や泥炭層を挟む。下部層は、深度 31.09~26.16m に分布し、生痕がみられない軟らかな細粒シルト層を主体とする。下部に植物片を多く含む。中下部層は、

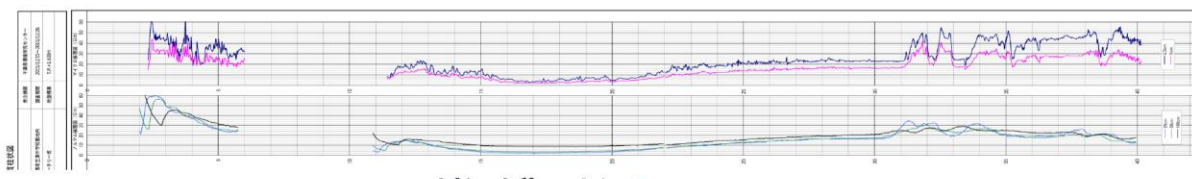
船橋市日の出

人工地層

- 盛土アソシエーション
- 埋立アソシエーション
- 最上部層
生物擾乱砂質シルト層
- 上部層
シルト層
- 中上部層
生物擾乱砂層
- 中下部層
生物擾乱泥勝ち砂泥互層
- 下部層
泥層
- 最下部層
礫層を挟む砂層.
泥炭層を挟む.
- 下総層群
火山灰層を挟む砂層



S波速度



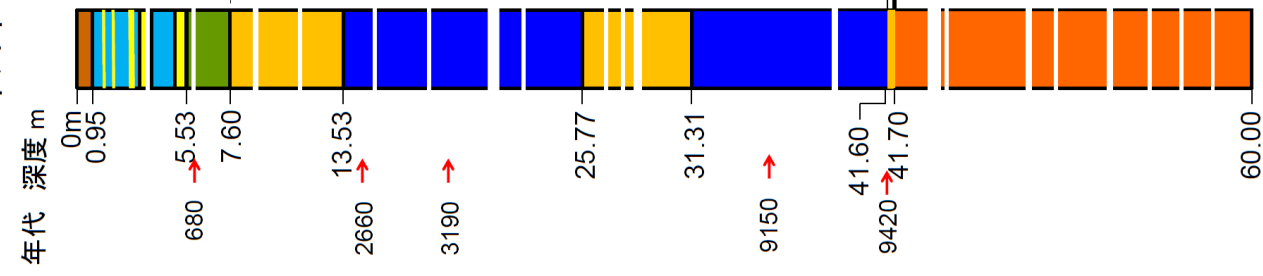
人工地層

- 盛土アソシエーション
- 埋立アソシエーション
- 最上部層
生物擾乱砂質シルト層
- 上部層
シルト層
- 中上部層
生物擾乱砂層
- 中下部層
生物擾乱泥勝ち砂泥互層
- 下部層
泥層
- 最下部層
礫層を挟む砂層.
泥炭層を挟む.
- 下総層群
火山灰層を挟む砂層

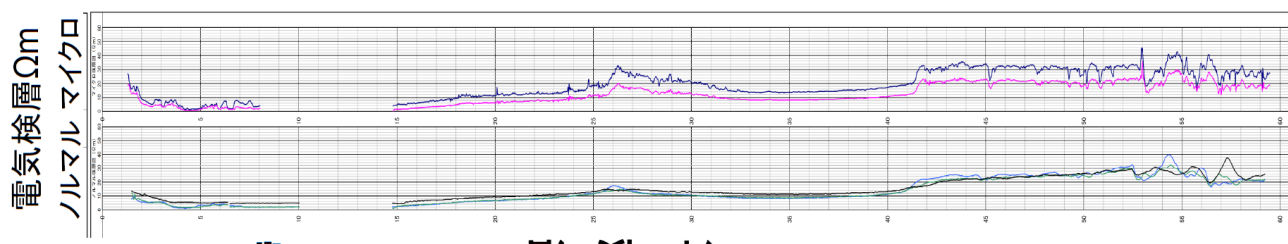
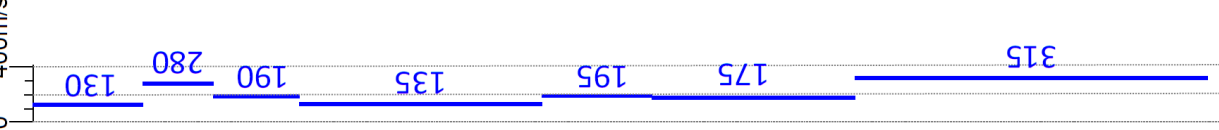
市川市塩浜

人工地層

- 盛土アソシエーション
- 埋立アソシエーション
- 最上部層
生物擾乱砂質シルト層
- 上部層
生物擾乱砂層
- 中上部層
シルト層
- 中下部s層.
生物擾乱砂層
- 下部層
シルト層
- 最下部層
礫混じり砂層.
- 下総層群
細粒砂層
ガラス質火山灰層挟在



S波速度



人工地層

深度 26.16～15.50m に分布し、厚さ 5～30cm の軟らかな細粒～中粒シルト層と厚さ 1～10cm のローム礫混じりのやや締まった極細粒砂～細粒砂層との互層である。下部で、生痕が発達する。中上部層は、深度 15.50～9.06m に分布し、やや締まった細粒砂～中粒砂層を主体とする。直径 2～16mm の関東ローム層の礫を含み、全体に上方細粒化し、上部に貝殻を含む。上部層は、深度 9.06～7.08m に分布し、軟らかな細粒シルト層を主体とする。最上部層は、深度 7.08～3.48m に分布し、粗粒シルト層を主体とし上方粗粒化し、最上部はやや締まった極細粒砂層となる。貝殻を多く含み生物擾乱が著しい。S 波速度は最上部層・上部層が 90m/s、中上部が 230m/s、中下部・下部・最下部が 150m/s である。

人工地層：盛土アソシエーションと埋立アソシエーションから構成される。埋立アソシエーションは、深度 3.48～0.54m に分布し、ゆるい～ややゆるい極細粒砂～細粒砂層を主体とする。この砂層中のラミナは消失しないし不明瞭となっており、ほぼ全体が液状化一流動化したものと推定される。盛土アソシエーションは地表より深度 0.5m に分布し、砂混じりのローム層を主体とし、弱く平行ラミナがみられる。S 波速度は 140m/s である。

電気検層結果：下総層群は砂層の粒径が細かいものの比抵抗は高く、よく発達した透水層と推定される。沖積層内では中上部層において比抵抗が高く、透水層として発達していることが推定される。人工地層内では比抵抗が非常に高く、透水層としてよく発達していることが推定される。

4 まとめと今後の展望

調査の結果、沖積層内の詳細な層序が明らかとなり、2 地点とも同様な区分となることが明らかとなった。今後、これら区分が周囲の既存の建築基礎ボーリングデータとどのように対比できるのかを検討し、沖積層の分布を明らかにしていく予定である。

謝辞：なお、本調査を進めるにあたり、千葉県立行徳高校と船橋市立湊中学校の方々からは現地調査の際に、さまざまな配慮をいただいた。また、コアの CT 撮影は高知大学海洋コア総合研究センター共同利用として行っていただいた。これらの方々に感謝いたします。

引用文献：

- 1 千葉県環境研究センター：平成 23 (2011) 年東北地方太平洋沖地震による東京湾岸埋立地での液状化一流動化被害 (第 1 報)。千葉県環境研究センター、調査研究報告、G-8、1-1-1-8 (2011)。
- 2 風岡 修：人工地層のでき方と液状化一流動化被害。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 農商務省地質調査所：東京及横濱地質調査報告。復興局建築部、144p (1929)。
- 4 地震研究所地盤研究会：東京都地盤調査報告。東京大学地震研究所彙報、33 号、471-545 (1955)。
- 5 金井 清地震工学。共立出版、177p (1969)。
- 6 風岡 修・宇澤政晃・檜山知代・荻津 達・八武崎寿史・香川 淳・吉田 剛・加藤晶子・本田恵理・小倉孝之：東京湾北部の埋立地における人工地層～沖積層の層序と 2011 年東北地方太平洋沖地震時の液状化一流動化現象：船橋市日の出町・市川市行徳での調査から。第 26 回環境地質学シンポジウム論文集、35-38 (2016)。