

2011 年東北地方太平洋沖地震時に震度 5 弱で揺れた地震観測点近傍における液状化－流動化被害箇所地質条件

風岡修 小島隆宏 八武崎寿史 森崎正昭 香川淳 吉田剛

1 目的

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震の際、東京湾岸埋立地では液状化－流動化現象による地盤の沈下や噴砂・噴水が斑状に発生した。袖ヶ浦市長浦の埋立地では沈下を伴う噴砂が複数箇所で見られた。これら噴砂の近傍には地震観測点があり、計測震度は本震時には 5 弱であった¹⁾ (図 1)。なお、この観測点では最大余震時にはデータが得られていないが、周囲の観測点の揺れから、袖ヶ浦市長浦の揺れは震度 4 または 5 弱と推定され、銚子市のように最大余震時の方が揺れが強かったわけではないと考えられる。東京湾岸埋立地において、噴砂が見られた場所の近傍に設置されていた地震観測点での計測震度はほとんどの場所で 5 強であり、袖ヶ浦市長浦は揺れが小さかったものの液状化－流動化被害が生じた特異点と考えられる。この原因を調べるため、噴砂地点ではオールコアボーリングを、地震観測点から噴砂箇所までの水平距離約 100 m の間は動的コーン簡易貫入試験を行い地質条件の変化を調べた。なお、以下の記述の一部は風岡・小島²⁾に修正・加筆したものである。

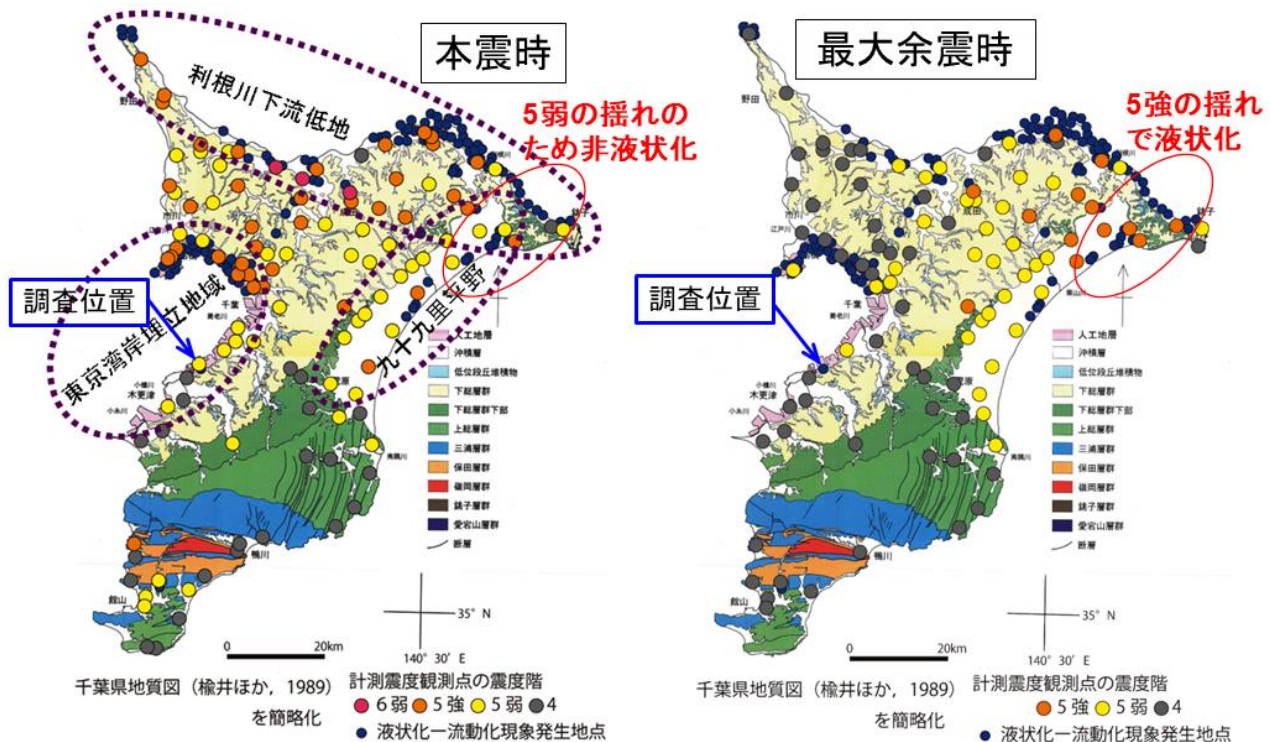


図 1 2011 年東北地方太平洋沖地震の本震時と最大余震時の地震観測点における気象庁震度階と噴砂などの液状化－流動化現象の分布（千葉県環境研究センター（2011）¹⁾の図に加筆）。液状化－流動化現象の発生地点は、2011 年 3～5 月の現地調査によるため、本震時と余震時の発生はついていない。銚子市役所近傍については、5 弱の揺れであった本震時には噴砂が見られなかったが、5 強の揺れとなった最大余震時に噴砂が見られたとの証言がある。

2 調査地の土地改変履歴

調査地は 1960 年以前は満潮時には水域となる干潟であった（図 2）。1960 年代初期からこの一帯では干拓が行われ（図 3）、少なくとも調査地は 1965 年には水田となっていた（図 4）。1970 年頃からサンドポンプ工法により埋立られ（図 5）、1975 年には土地造成後の現況の土地利用となった（図 6）。2011 年東北地方太平洋沖地震時には東屋とその周辺において噴砂が生じた（図 7）。また、1987 年千葉県東方沖地震時には東屋付近にて噴砂が見られた。



図 2 調査対象地周辺の 1946 年 2 月 28 日の国土地理院空中写真（USA-M58-A-6-51）の一部。黄色の点線内が調査地。



図 3 調査対象地周辺の 1961 年 11 月 14 日の国土地理院空中写真（MKT-617-C18-2）の一部。黄色の点線内が調査地。



図 4 調査対象地周辺の 1965 年 6 月 25 日の国土地理院空中写真（MKT-655X-C3-5）の一部。黄色の点線内が調査地。



図5 調査対象地周辺の1970年5月22日の国土地理院空中写真（MKT705X-C8-7）の一部。黄色の点線内が調査地。



図6 調査対象地周辺の1975年1月23日の国土地理院空中写真（CKT7413-C36-8）の一部。黄色の点線内が調査地。

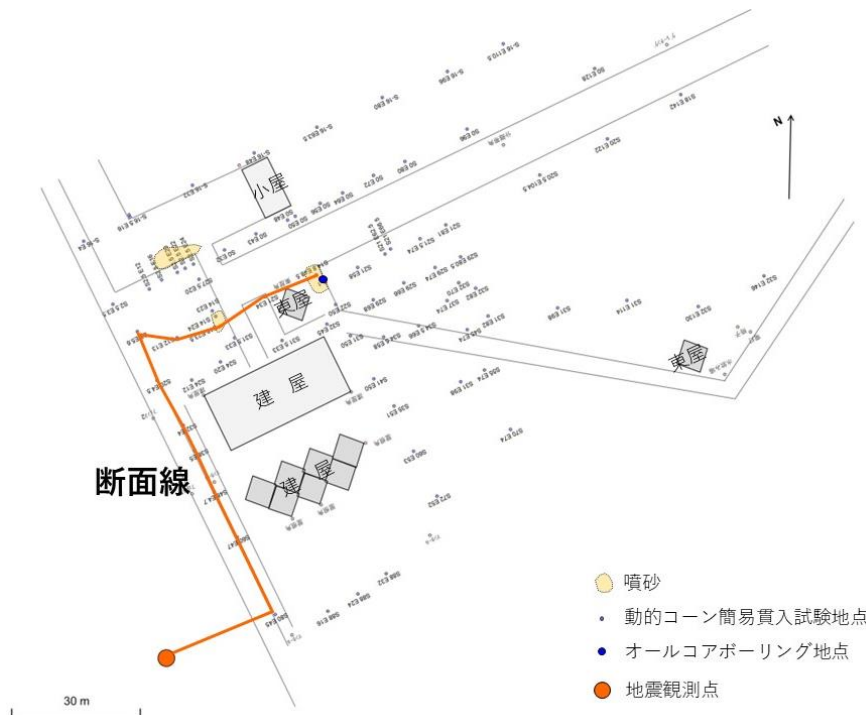


図7 調査対象地での噴砂、ボーリング地点、貫入試験地点及び地震観測点。地震観測点からオールコアボーリング地点までを結んだオレンジの線は断面図の位置。

3 調査方法

オールコアボーリングは、噴砂が見られた北緯 35 度 26 分 57 秒、東経 139 度 59 分 21 秒、標高 3.4 m にて深度 16 m まで行った (図 8、図 9)。動的コーン簡易貫入試験は、斜面調査用簡易貫入試験機にて深度 4.5 ～11 m まで行った (図 10)。

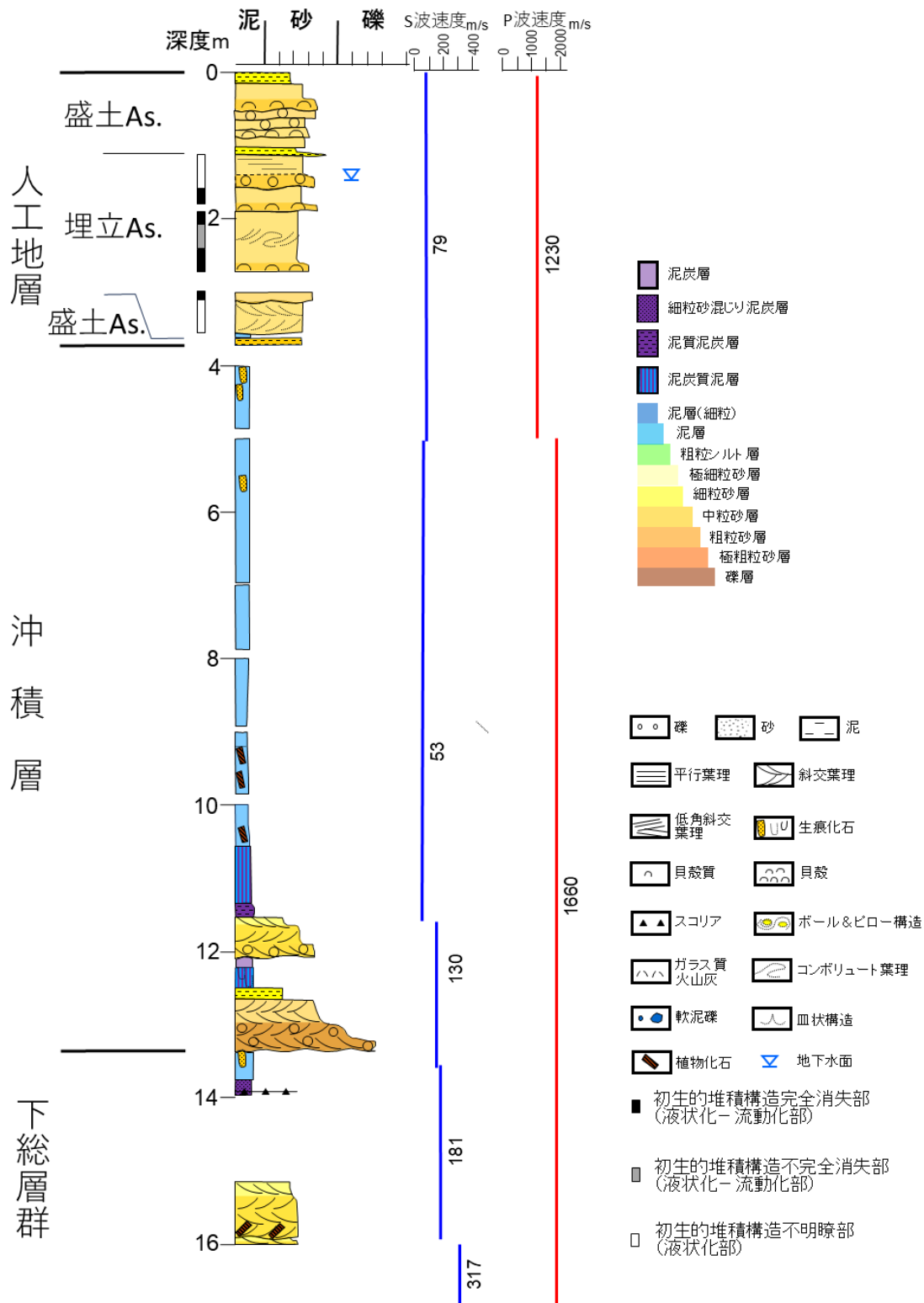


図8 オールコアボーリングによる調査地点の地層構成を示した地質柱状図と P 波・S 波の伝播速度の深度分布。地質柱状図の左わきの白黒のバーは初生的堆積構造の状態（地層の液状化－流動化の履歴）を示す。バーが無い部分は初生的堆積構造の乱れが無く液状化－流動化の履歴が無いことを示す。深度 14～15 m と 16～17 m は、コア採取ができなかったが、P 波・S 波の伝播速度の測定は行うことができた。

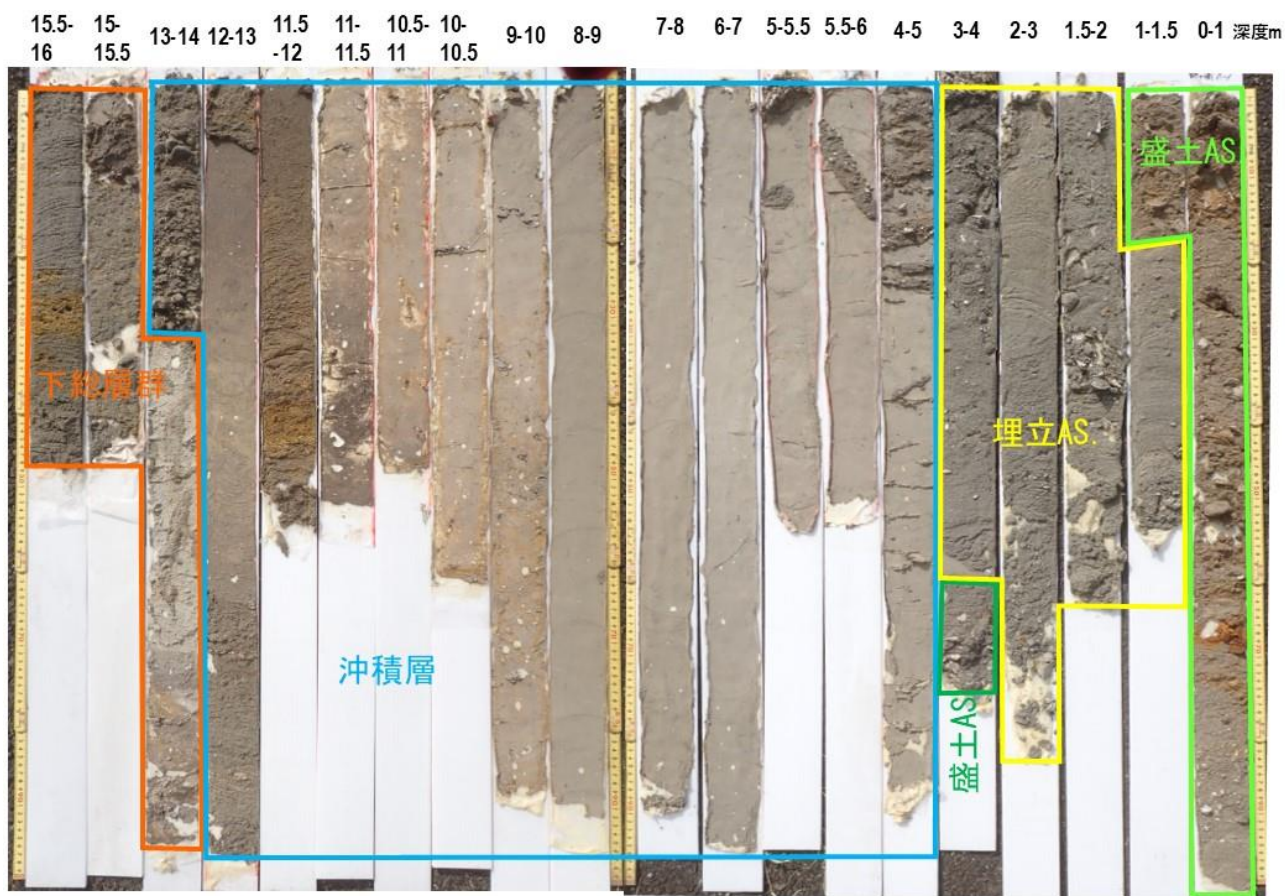


図9 オールコアボーリングの剥ぎ取り標本の写真。

4 調査地の地層構成

オールコアボーリング地点では、深度 3.75 m に人自不整合があり、この上位は人工地層、下位は沖積層である。また、深度 13.32 m を境に地層の硬さや層相が急変する不整合面があり、この上位は沖積層、下位は下総層群である（図 8、図 9）。

下総層群は、下部の砂層と上部の泥層から構成される。下部の砂層はオリーブ黄色で良く締まっており、地層堆積時の初生的堆積構造の葉理が明瞭な細粒～中粒砂層である。上部の泥層は、深度 13.73m を境に上半部がサンドパイプ状の生痕化石を含む中位の硬さの灰白色シルト層で、下半部が中位の硬さの灰褐色の泥炭質シルト層である。P 波の伝搬速度は 1660 m/s、S 波の伝搬速度は 181 m/s であるが、下部の砂層の下位の深度 16 m 以深は 317 m/s と速くなる。

沖積層は、砂層や礫層を挟む泥炭質な泥層である下部と泥層主体の上部とから構成され、その境は深度 9 m である。

下部は、オリーブ黒色～黒褐色の軟らかい有機質シルト層や泥炭層及び緑灰色粘土質シルト層とオリーブ色の締まった中粒砂層、粗粒砂層、中礫層が互層をなしている。砂層中には植物片を含む。

上部は灰色～灰オリーブ色の軟らかい泥層から構成され、深度 4.65 m よりも上位にはサンドパイプ状の生痕化石をしばしば含む。P 波の伝搬速度は概ね 1660 m/s であるが、S 波の伝搬速度は下部の礫層が挟まれている深度 11.5～13.3 m が 130 m/s、この上位が 53 m/s である。

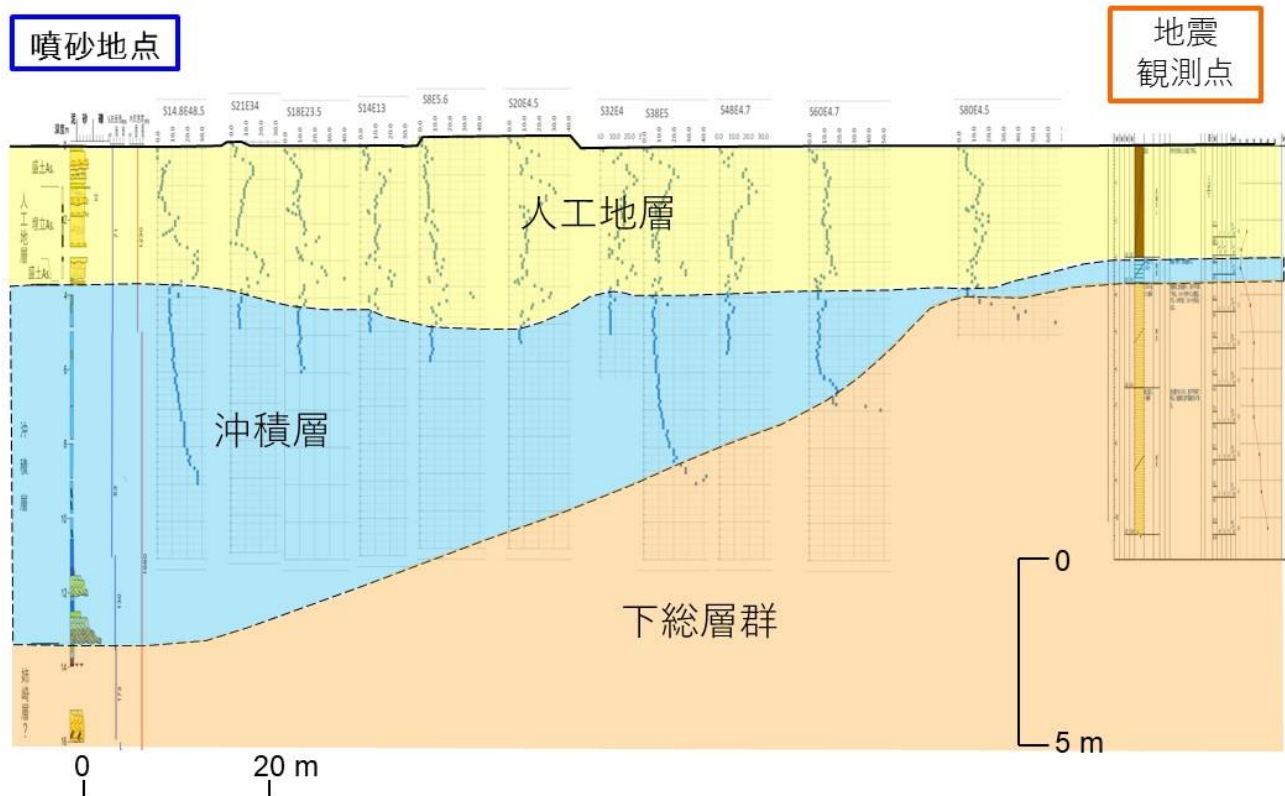


図 10 地震観測点から噴砂地点の地質断面。噴砂地点の地質柱状図は図 8 のオールコアボーリングによる柱状図。地震観測点の地質柱状図は地震観測点近傍の標準貫入試験による地質柱状図（千葉県情報マップ地質柱状図）。これらの間の柱状図は動的コーン貫入試験による。断面位置は図 7 を参照。

人工地層は、深度 3.62～3.75 m の下部盛土アソシエーション、深度 1.19～3.62 m の埋立アソシエーション、深度 0.00～1.19 m の上部盛土アソシエーションから構成される。

下部盛土アソシエーションは、灰オリーブ色の泥・細粒砂混じり粗粒砂層から構成され、植物片や貝殻片を含む。1960 年代の干拓時の盛土と考えられる。

埋立アソシエーションは粒径がよく揃い泥質分をほとんど含まない細粒砂層を主体とし、厚さ 5～30 cm の貝殻片を含む中粒砂層、厚さ 5～10 cm の貝殻片や細礫混じりの中粒ないし粗粒砂層を挟む。細粒砂層の多くは葉理が消失又は不明瞭となっている。貝殻片・細礫混じり中粒ないし粗粒砂層の多くは葉理が明瞭である。これらはサンドポンプによる埋立層と考えられる。

上部盛土アソシエーションは、シルト礫密集層と碎石質細粒砂層から構成される。最終的な土地造成時の盛土と考えられる。

ボーリング地点近傍での動的コーン簡易貫入試験結果（図 10）から、 N_c （動的コーン貫入試験値）と地層との関係は以下のようにまとめられる。最下位の $N_c > 45$ と硬い部分は下総層群、この上位の $N_c = 25 \sim 45$ で深度方向へ硬さが互層状に変化する部分は沖積層下部、この上位の $N_c = 4 \sim 30$ で深度方向へ徐々に硬くなる部分は沖積層上部、 $N_c = 1 \sim 30$ で深度方向に硬さが互層状に大きく変化する部分は人工地層と推定される。ここで、地震観測点近傍では、厚さ約 4 m の人工地層の下位に厚さ約 0.5 m の沖積層下部があり、その下位は下総層群である。一方、地震観測点から噴砂地点へ向かうにつれて、人工地層の厚さに大きな変化はないものの、沖積層は徐々に厚くなっていき、ボーリング結果から噴砂地点では約 11 m となる。

5. 液状化－流動化に関して

液状化－流動化の判定は、風岡ほか（1994）³⁾・風岡（2003）⁴⁾に基づき判断した。埋立アソシエーションの下部・中部の大部分では葉理が不明瞭ないし消失しており、この部分が地震時に液状化－流動化したものと考えられる。地震観測点では人工地層の下位の軟弱な沖積層はごく薄く地震動の増幅はほとんどなく 5 弱の揺れであったが、噴砂が見られた付近では軟弱な沖積層が厚く、この沖積層部分で地震動が増幅し 5 弱よりも強い地震動となり、人工地層が液状化－流動化したものと推定される。

引用文献

- 1) 千葉県環境研究センター: 千葉県内の液状化－流動化現象とその被害の概要及び詳細分布調査結果（第 3 報）. 千葉県環境研究センター報告 G-8 号, 3-1～3-25 (2011)
- 2) 風岡修, 小島隆宏: 震度 5 弱の地震観測点近傍における液状化－流動化被害箇所の地質条件：2011 年東北地方太平洋沖地震時における東京湾岸埋立地での地質災害に関する地質調査から. 日本地質学会第 131 年学術大会 講演要旨, (2024)
- 3) 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)
- 4) 風岡修: 液状化・流動化の地層断面. アーバンクボタ, 40, 5-13 (2003)