

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岸埋立地における液状化－流動化層準：地震後沈下が継続している浦安市内での調査結果

風岡 修 小島隆宏 荻津 達* 香川 淳 八武崎寿史

(*：現環境生活部水質保全課)

1 目的

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（以下「太平洋沖地震」という。）とその余震の際、東京湾岸埋立地の北部では直径百～数百 m の規模で、斑状に液状化－流動化に伴う地盤の沈下が多数発生した¹⁾。この中には、被害から10年経た現在でも地盤の沈下が継続し、地表の変形が進んでいる部分が存在する。その中の浦安市高洲9丁目にて（図1）地質調査を行った結果を以下に述べる。なお、以下の記述の一部は風岡ほか²⁾に修正・加筆したものである。

2 調査地の沈下の被害状況と調査方法

調査地付近では、太平洋沖地震直後2011年3月～4月の環境研究センターの調査によれば、液状化－流動化に伴い鉄筋コンクリート構造物の周囲では45～80cmの抜け上がりがみられていた（図2）¹⁾。レーザーの時系列航空写真³⁾によれば、2012年4月には敷地全体は平らに補修されたが、2016年12月には再び抜け上がりがみられるようになった。2022年3月には、抜け上がりが約20cmにも及んでいる（図3、図4）。



図1 調査地の位置図（地理院地図に加筆）



図2 地震直後の構造物の入り口付近の被害状況。

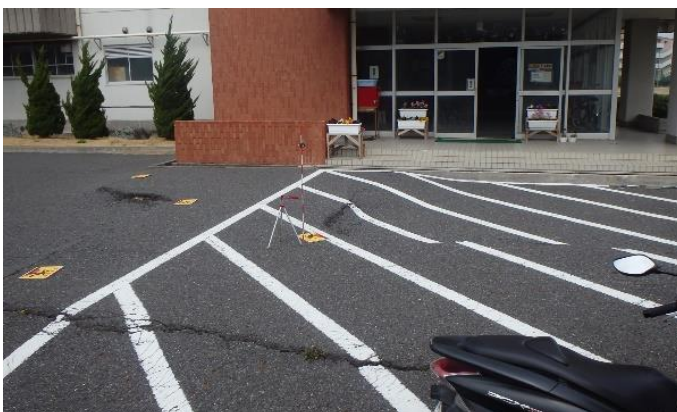


図3 入口前の地下構造物が抜け上がっている状況。

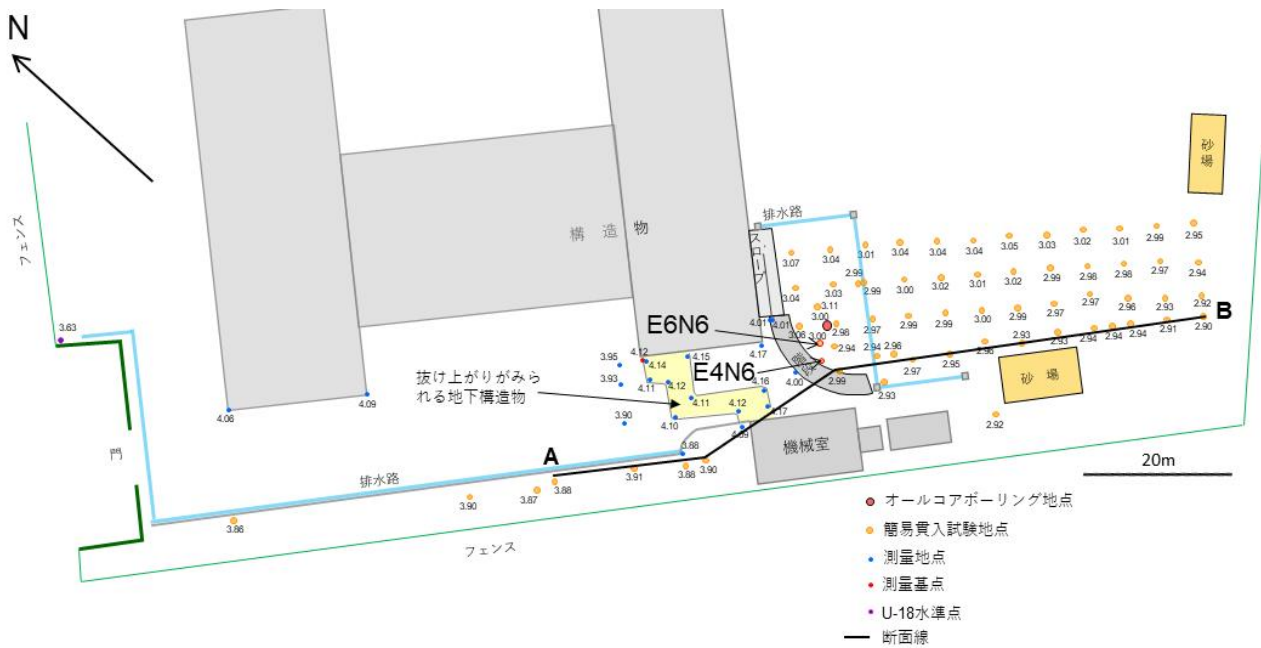


図4 調査地の地表変形状況と調査地点。等量線図の数字は標高。

オールコアボーリングは抜け上がりが見られた施設から約10m離れた場所（北緯35度37分46秒，東経139度55分3秒，標高3.00m）で深度22.45mまで行われた。また，この周囲では，4mから8m間隔に斜面調査用簡易貫入試験が深度約9～10mまで行われた（図4）。

3 調査地の地層構成

オールコアボーリングにより明らかとなった調査地の地層構成を示す地質柱状図を図5に，各層の代表的なコア断面の剥ぎ取り標本の写真を図6に示す。深度9.58m（標高-6.58m）に人自不整合面があり，これより上位は人工地層，下位は沖積層である（図5，図6-F）。

沖積層は，地層の種類や構成から，下部（深度17.93m以深）・中部（深度17.93～11.24m）・上部（11.24～9.58m）に細分される（図5）。

下部は厚さ0.5～7cmの極細粒砂～細粒砂層をまれに挟む黒褐～灰オリーブ色の泥層である（図6-I）。

中部は泥勝ち砂泥互層の間にしばしば厚い砂層が挟まれている。厚い砂層は，厚さが0.2～1.4mで，灰オリーブ色の極細粒砂～細粒砂層で葉理がみられることが多い。泥勝ち砂泥互層は，厚さ0.5～14cmの灰白色の泥層と，厚さ0.5～11cmの灰色の極細粒砂層ないし細粒砂層との互層で，泥層中には粗粒シルトの葉理がみられることがある（図6-G）。砂層中には葉理がみられることが多い。厚い砂層と砂層の間の泥勝ち砂泥互層の厚さは0.1～0.8mである。深度13～17mにある厚い砂層の中には葉理が不明瞭であったり，変形していたり，葉理がみられない部分がある（図6-H）。深度12.55～12.45m，深度13.16～13.13m，14.02～13.92m及び15.41～15.35mには，中粒砂～粗粒砂の粒径の軽石が含まれている。

上部は生痕が多くみられる灰オリーブ～オリーブ黒色の極細粒砂～中粒砂層から構成される（図6-Fの右側）。

人工地層は，深度0.69mを境にこの上位が盛土アソシエーション，下位が埋立アソシエーションである。

斜面調査用簡易貫入試験値

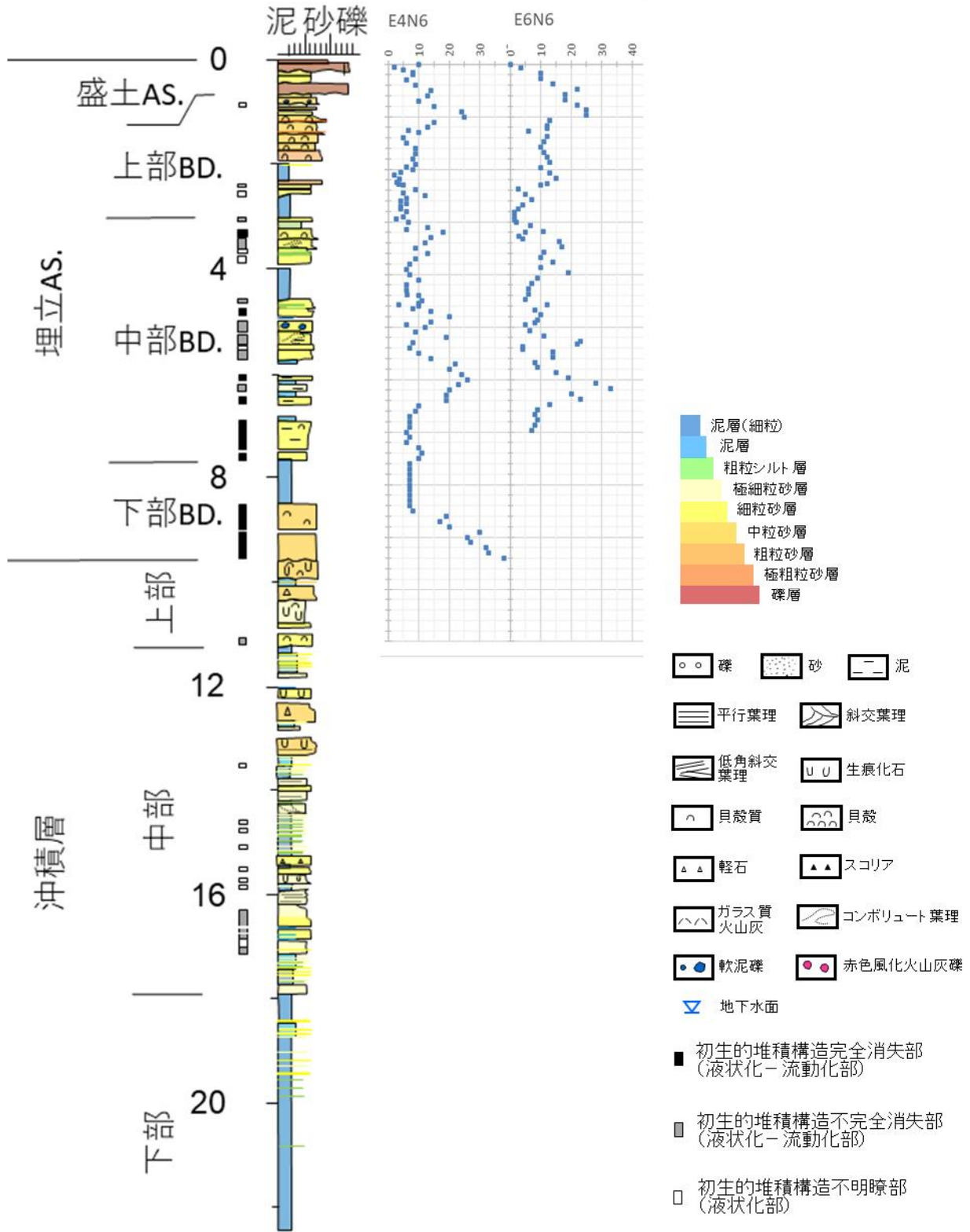


図 5 ボーリング地点での地層構成，液状化－流動化部分及び地層の硬さ。AS.：アソシエーションの略。アソシエーションは人工地層を作成する際の連続の工事を示す人工地層の区分。BD.：バンドルの略。連続の作業を示す人工地層の区分。 E6N6, E4N6：斜面調査用貫入試験を行った点。図 4 参照。

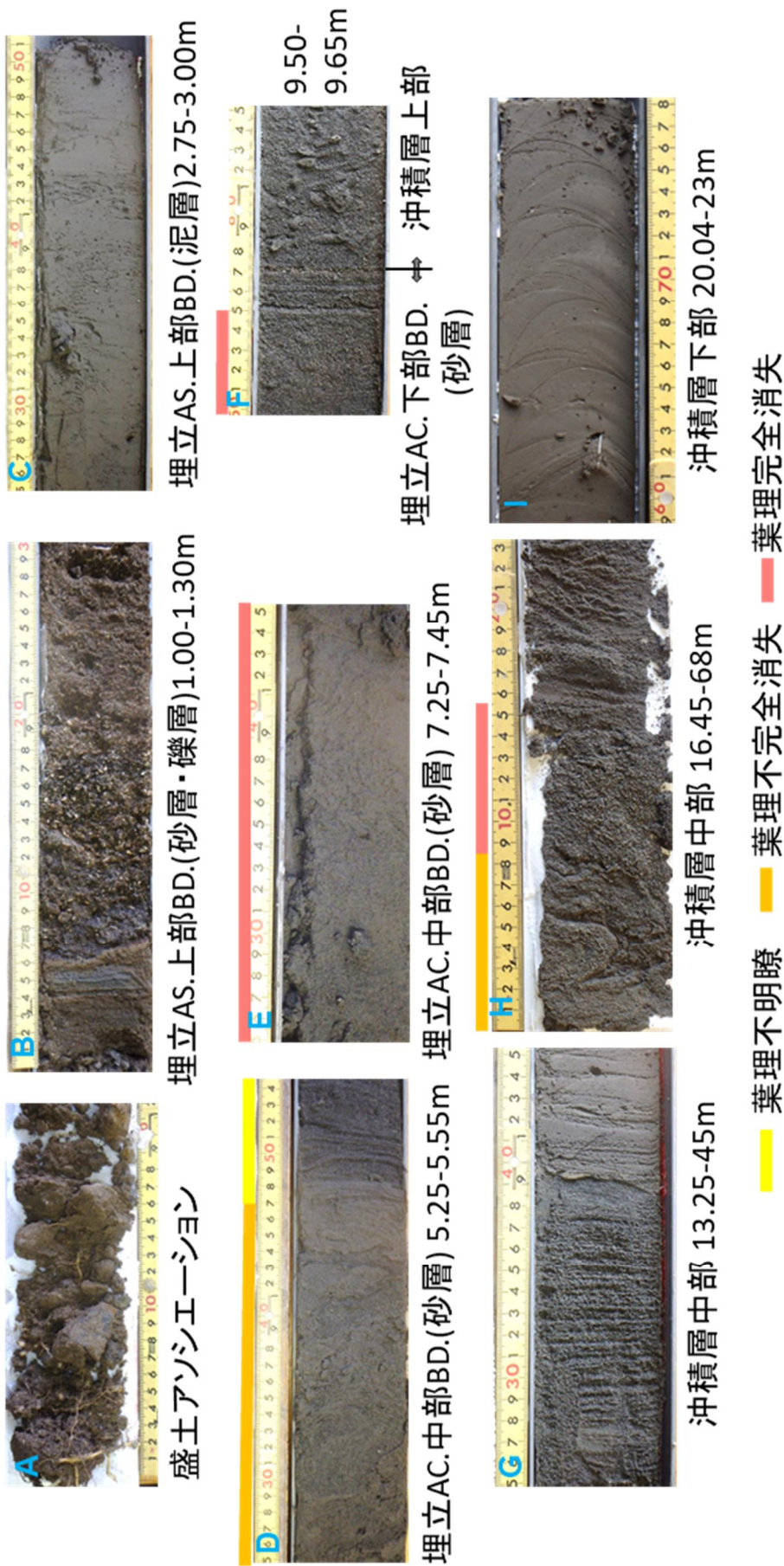


図6 各層の代表的なコアの断面写真。

埋立アソシエーションは、砂層と厚い泥層からなる下部バンドル（深度 9.58～7.67m）、細粒砂層主体の中部バンドル（深度 7.67～4.58m）、貝殻質砂層と泥層からなる上部バンドル（深度 4.58～0.69m）から構成される（図 5）。埋立層の硬さは、斜面調査用簡易貫入試験によって求めており、E4N6 及び E6N6 地点の値を参考とした。

下部バンドルは、8.50m を境に、これより下半部は砂層（図 6-F の左側）、上半部は泥層である。下半部は、オリーブ黒色で泥質分が少なく葉理のみられない塊状の中粒砂層から構成される。硬さは $N_c=23\sim32$ （簡易貫入試験値を以後「 N_c 」と略す）と中位である。上半部は、灰オリーブ色の泥層から構成され、硬さは $N_c=6\sim10$ と軟らかい～中位である。

中部バンドルは、厚さ約 0.1m のシルト層をしばしば挟む灰色の極細粒砂～細粒砂層を主体とする。砂層は泥質で、塊状ないし葉理が不明瞭であり変形を伴う場合が多い。下部は葉理のみられない塊状な砂層が優勢で（図 6-E） $N_c=8\sim10$ とゆるい。中・上部は葉理が不明瞭で変形を伴う砂層（図 6-D）が多く、 $N_c=4\sim15$ と非常にゆるい～ゆるい場合が多い。この下半部ではしばしば $N_c=15\sim36$ とゆるい～中位な部分が挟まれる。また、間に挟まれる泥層は、 $N_c=2\sim4$ と非常にやわらかい～やわらかい。

上部バンドルは、シルト礫や貝殻片を含む黄褐～オリーブ褐色ないし灰色の葉理がみられる細粒砂～中粒砂層（図 6-B）と灰黄褐～暗灰黄色の泥層（図 6-C）から構成される。泥層は下半部で発達し、厚さ 0.3～1m の灰色の細粒～中粒砂層を挟み、砂層中の葉理は不明瞭ないしほぼ消失している。泥層は $N_c=1\sim4$ と非常にやわらかい～やわらかい。挟まれる砂層部分は $N_c=5\sim10$ と非常にゆるい～ゆるい。シルト礫及び貝殻片を含む砂層は上半部に発達する。硬さは $N_c=15\sim25$ とゆるい～中位である。本層中には地下水面がみられ、深度約 1.5m である。

盛土アソシエーションは、灰色～褐色の碎石層（図 6-A）と黄褐～にぶい黄色の細粒砂層ないし極粗粒砂層との互層である。硬さは $N_c=5\sim28$ とゆるい～中位である。

4 地層の拡がりについて

図 7 は、図 4 に示した断面線に沿った地層の硬さの分布を基にした地質断面図である。図 5 のオールコアボーリングによる地層のデータとこの近傍で行われた斜面調査用貫入試験結果との関係を基に、地質断面図の硬さの分布と、地層との関連性は、概ね以下のようになる。

下部バンドルの下半部の $N_c=25\sim40$ は、初生的堆積構造が完全消失した砂層に相当する。上半部の $N_c=6\sim10$ は、泥層に相当する。

中部バンドルの最下部の $N_c=8\sim12$ は、初生的堆積構造が完全消失したゆるい砂層に相当する。中部付近にみられる $N_c=15\sim40$ は、初生的堆積構造が不完全消失ないし完全消失した砂層に相当し、貫入試験時の手ごたえでは貝殻片を含む場合が多い。上部にみられる $N_c=1\sim15$ は、初生的堆積構造が不明瞭～完全消失した砂層に相当する。一部に挟まれる $N_c<6$ は、泥層に相当する。

上部バンドルの下半部に見られる $N_c<6$ は、泥層に相当する。ここに挟まれる $N_c=1\sim10$ は、初生的堆積構造が不明瞭な砂層に相当する。この上位の $N_c=15\sim40$ は、本バンドル上半部のシルト礫及び貝殻片を多く含む初生的堆積構造がみられる砂層（非液状化砂層）に相当する。

以上のことから、以下のような水文地質構造上の各バンドルの特徴がまとめられる。

- ①下部バンドル上半部の泥層は、側方に連続性が良く、止水性の良い難透水層となっている。
- ②上部バンドル基底の泥層は、側方に連続性が良く、止水性の良い難透水層となっている。
- ③上記①②以外の部分は、透水性が良い透水層となっている。中部バンドルの透水層については、上下を難透水層に挟まれており、この層内の地下水が上下方向に流動するのは困難である。

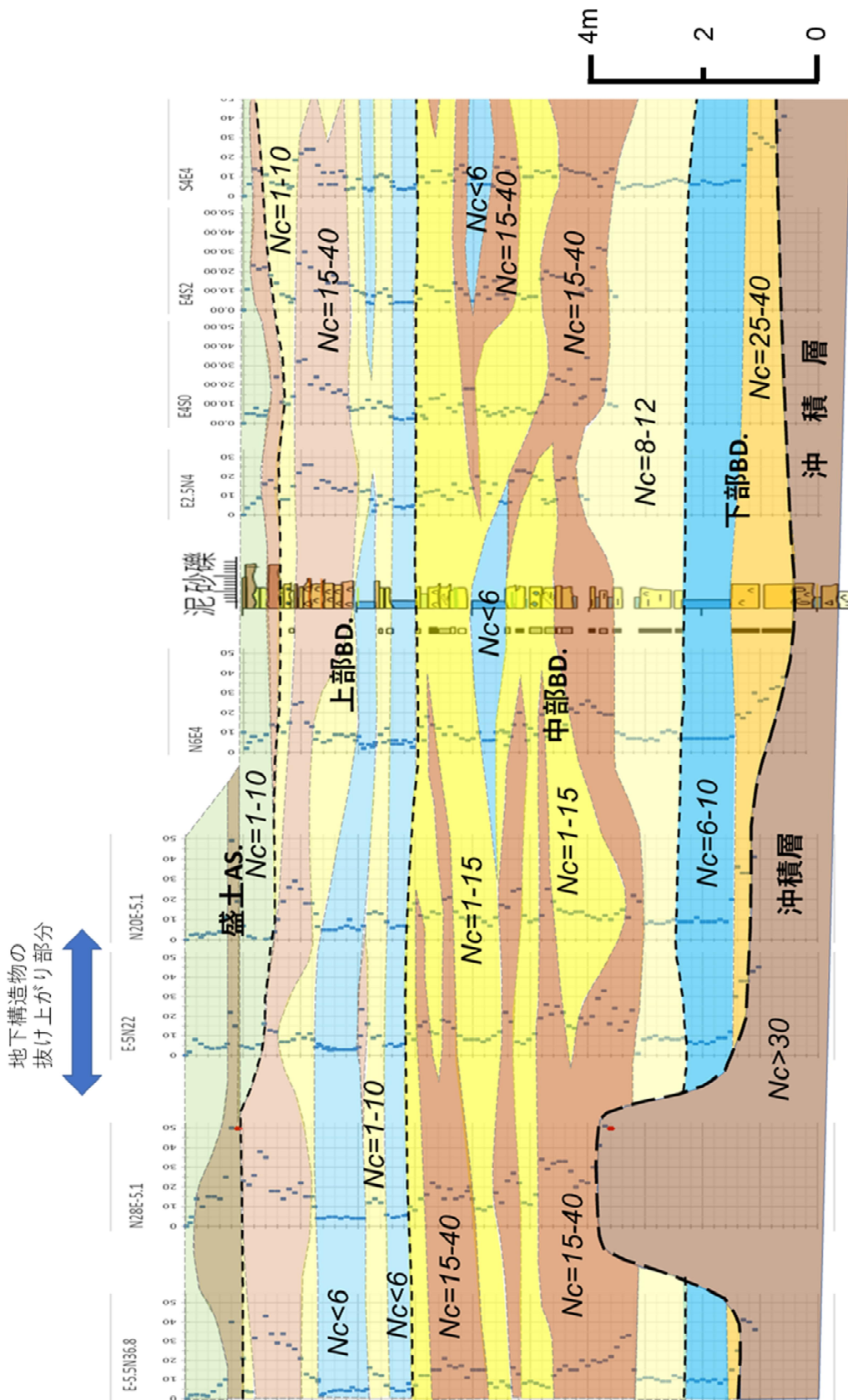


図7 図4の断面線に沿った地質断面図。Ncは斜面調査用簡易貫入試験値。
AS.:アソシエーション BD.:バンドル

5 液状化・流動化と地下構造物の抜け上がりに関して

液状化・流動化の判定は、風岡ほか⁴⁾・風岡⁵⁾に基づき、地層断面における、初生的な堆積構造の状態より判断した。埋立アソシエーションの下部・中部・上部バンドルの砂層の大部分では、葉理が不明瞭ないし消失していることから、この部分が液状化・流動化したものと考えられる。特に、中部バンドルの下半部の砂層は現在でもゆるく、下部バンドル上半部の難透水層と上部バンドル基底の難透水層に挟まれているため、太平洋沖地震時に上昇した間隙水圧の減衰速度が規制され、水圧があまり低下しておらず、砂層が現在でもゆるい状態となっている可能性がある。

地下構造物の下には、厚さ約 1m の上部バンドルの非常にやわらかい～やわらかい泥層と、厚さ約 1m の中部バンドル最下部のゆるい砂層があり（図 7）、これらが収縮し抜け上がっている可能性がある。

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千葉県内の液状化・流動化被害（第 2 報）. 千葉県環境研究センター報告, G-8, 2-1～2-69,（2011）.
- 2) 風岡 修・小島隆宏・伊藤直人・荻津 達・香川 淳・八武崎寿史・吉田 剛, 10 年後も地盤の沈下が継続している液状化・流動化部分での地質状態：東京湾岸埋立地北部における 2011 年東北地方太平洋沖地震の地質災害に関する地質調査から. 日本地質学会第 129 年学術大会講演要旨, G3-O-8,（2022）.
- 3) グーグルアースプロ, 浦安市高洲 9 丁目付近の 2012 年 4 月～2022 年 4 月における画像,（2022）.
- 4) 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, 1994, 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）.
- 5) 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）.