

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 その2

風岡 修 小島隆宏

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液状化－流動化に伴う直径百～数百 m の規模での地盤の沈下が斑状に多数発生した¹⁾。この中には、被害から11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丁目において（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・小島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

太平洋沖地震直後2011年3～4月の当センターの調査によれば、調査地付近では液状化－流動化に伴い、鉄筋コンクリート構造物の周囲で45～80cmの抜け上がりが見られていた¹⁾。グーグルアースの時系列航空写真³⁾によれば、2012年4月には敷地全体は平らに補修された。しかし、2023年3月には、地下に設置した給水・給電用のボックスカルバートの抜け上がりは約22cmにも及び（図2）、管路にも鉛直方向のずれがみられた。

オールコアボーリングは、2021年度の調査結果⁶⁾との比較のため、抜け上がりが見られた施設から約200m離れたB-1・B-1'（北緯35度37分51秒、東経139度55分7秒、標高3.06m）、B-2（北緯35度37分50秒、東経139度55分8秒、標高3.06m）において深度約14mまで行った。また、この周囲では、4mから8m間隔で動的コーン貫入試験を深度約8～9mまで行った（図3、図4）。



図1 調査地の位置図（地理院地図に加筆）。



図2 給水・給電用のボックスカルバートの抜け上がりの被害状況。

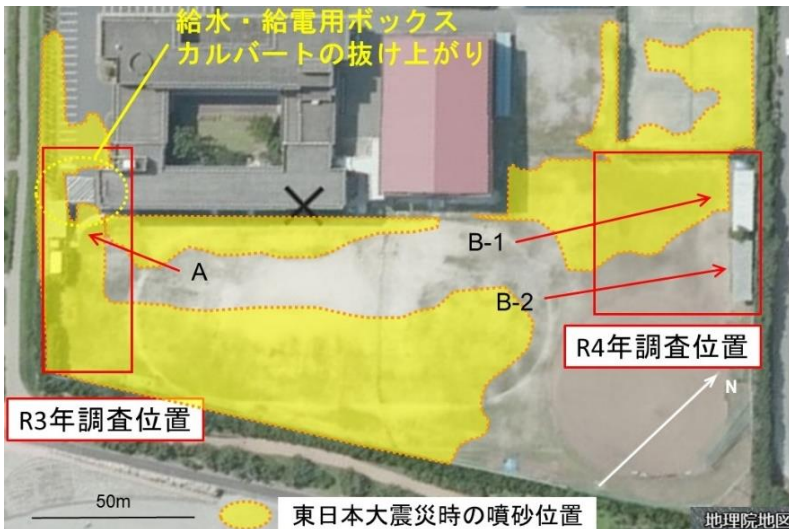


図 3 施設の被害、地震時の噴砂、2021 年度 (R3 年) と 2022 年度 (R4 年) の調査位置 (地理院地図の空中写真に加筆)。A, B-1, B-2 はボーリング地点。

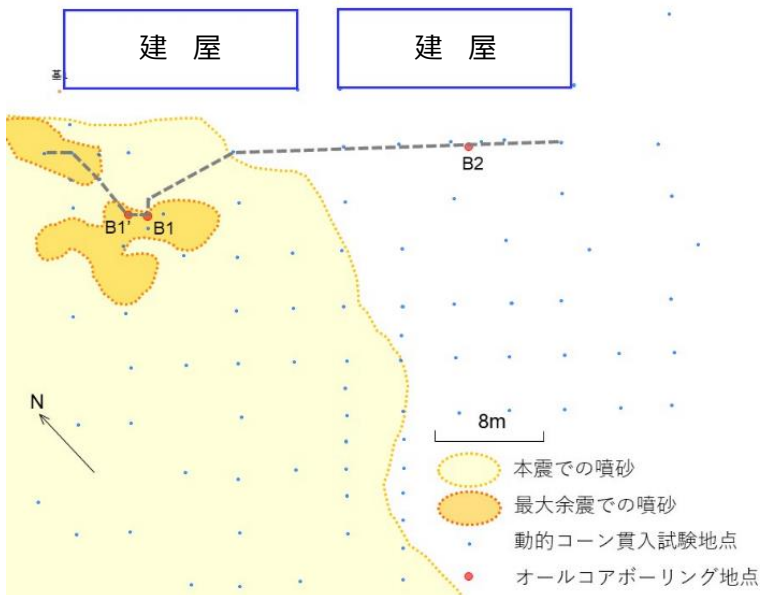


図 4 2022 年度の調査位置と噴砂の状況

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と周辺の動的コーン貫入試験結果を図 5、また、コアの剥ぎ取り標本の写真を図 6、図 7 に示す。自然地層と人工地層との不整合面 (人自不整合面) は、B-1 で深度 8.01m (標高-4.95m)、B-2 で深度 8.23m (標高-5.17m) であり、これより上位は人工地層、下位は沖積層である。

沖積層は、地層の種類や構成から、中部と上部に細分され、その境界は B-1 で深度 10.43m、B-2 で深度 10.49m である。

中部は灰色～オリーブ灰色でやや砂勝ちの砂泥互層である。砂層は細粒砂主体で葉理が見られる場合が多い。一部では葉理が消失又は不明瞭になっている。

上部は生痕化石や葉理が見られる灰黒～オリーブ灰色の細粒砂層を主体とする。

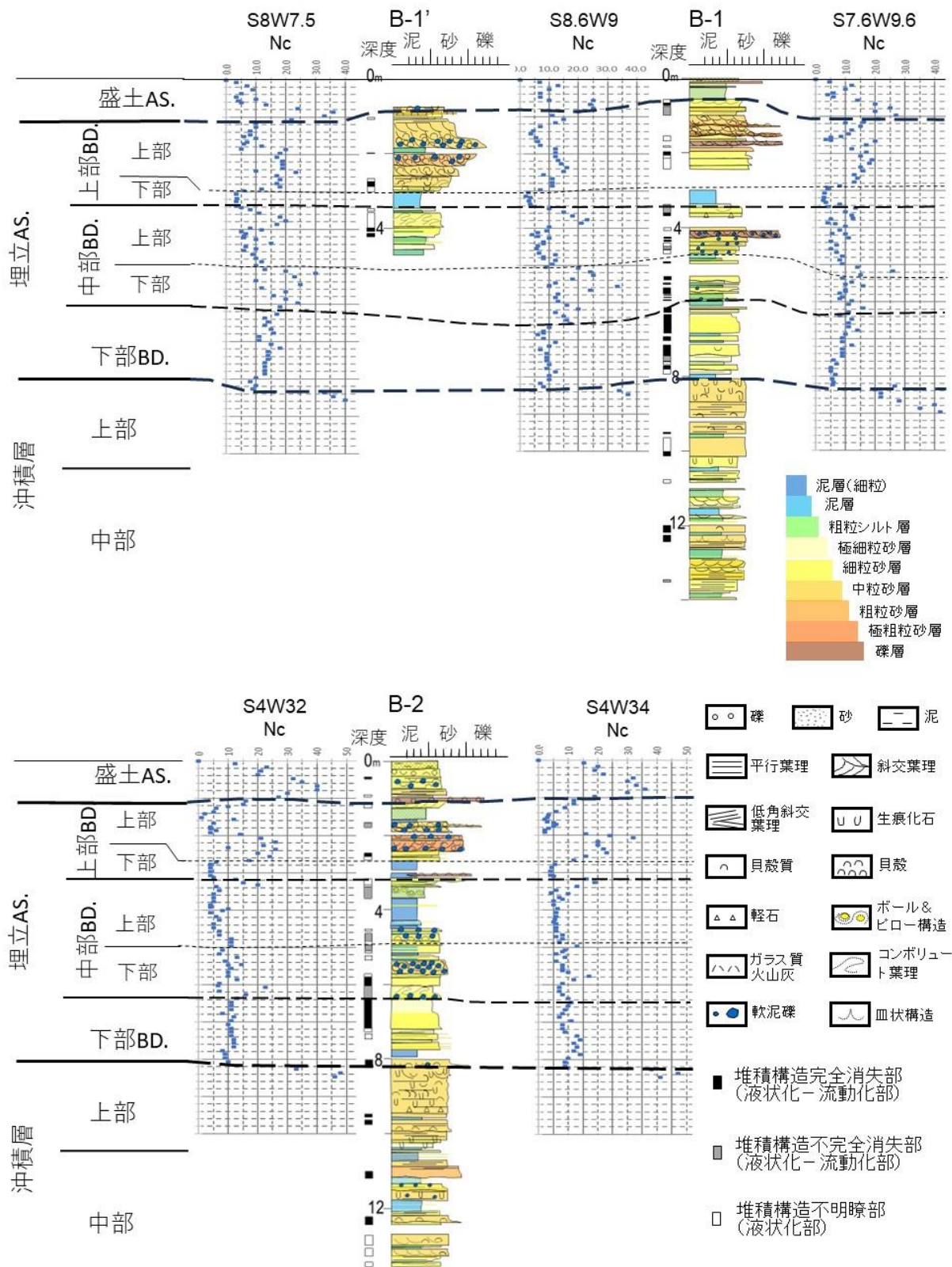


図 5 ボーリング地点での地層構成，液状化－流動化部分及び動的コーン貫入試験による地層の硬さ。AS：アソシエーションの略。アソシエーションは人工地層を作成する際の一連の工事を示す人工地層の区分。BD：バンドルの略。一連の作業を示す人工地層の区分。S8W7.5, S8.6W9, S7.6W9.6, S4W32, S4W34：動的コーン貫入試験を行った地点。Nc：動的コーン貫入試験での硬さの値。各調査地点の位置は図 4 参照。

B-1

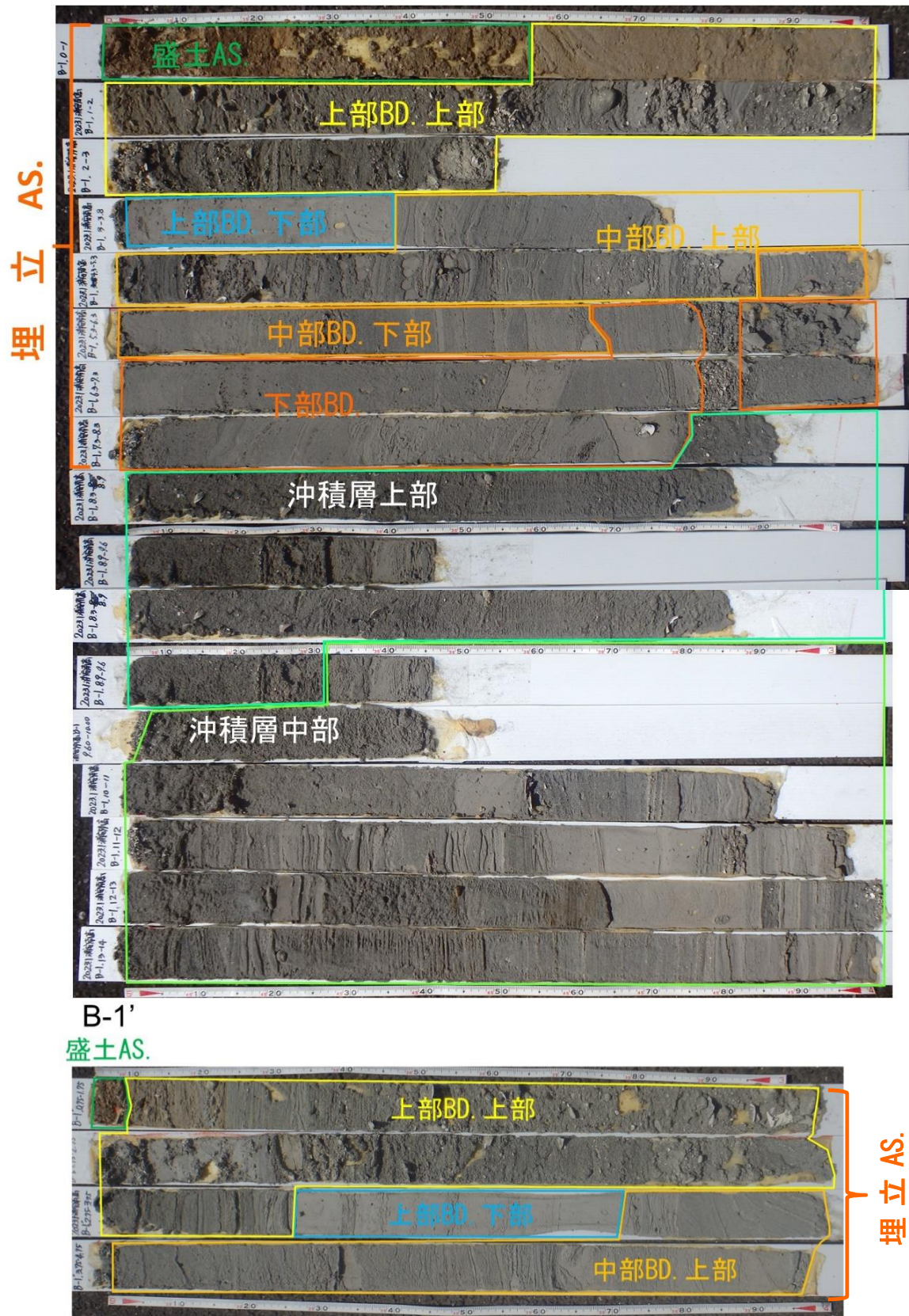


図 6 B-1 及び B-1'コアにおける人工地層部分の剥ぎ取り試料の写真。AS. : アソシエーションの略。BD. : バンドルの略。位置は図 4 参照。

B-2

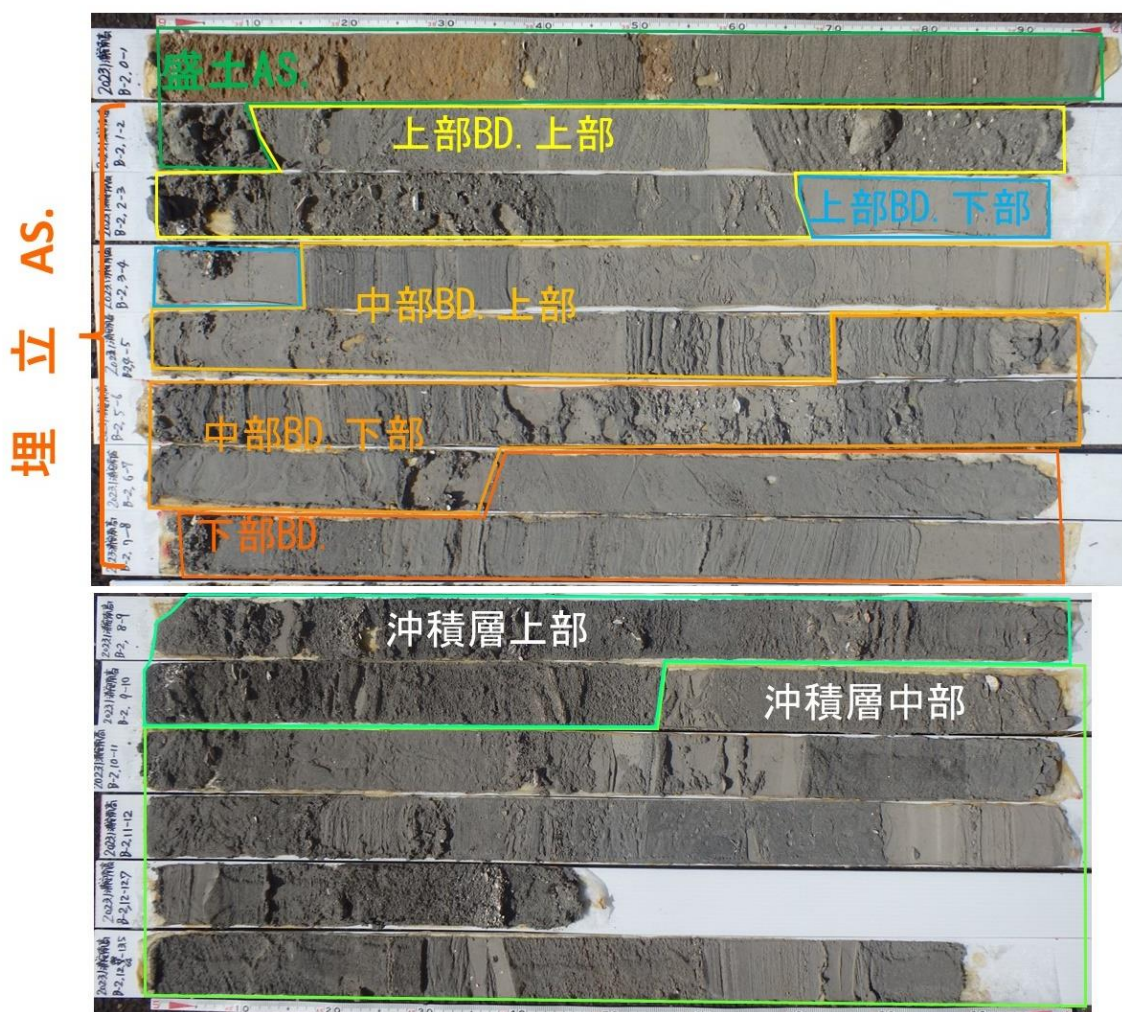


図 7 B-2 コアにおける人工地層部分の剥ぎ取り試料の写真。AS. : アソシエーションの略。BD. : バンドルの略。位置は図 4 参照。

人工地層は、B-1 で深度 0.56m, B-2 で深度 1.13m 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。埋立アソシエーションは、極細粒砂～細粒砂層を主体とする下部バンドル（B1 で深度 5.95～8.01m, B2 で深度 6.36～8.23m）、砂泥互層と軟質なシルト礫や貝殻片を多く含む細粒～中粒砂層との交互層から構成される中部バンドル（B1 で深度 3.36～5.95m, B2 で深度 3.16～6.36m）、下部に連続性の良い粘土質シルト層がありこの上に中粒砂又はシルト礫や貝殻片質な中粒砂から構成される上部バンドル（B1 で深度 0.56～3.36m, B2 で深度 1.13～3.16m）から構成される。埋立層の硬さを調べる動的コーン貫入試験は、斜面調査用簡易貫入試験機により行った。この貫入試験値を以後「 N_c 」と略す。

下部バンドルは、葉理が消失し、非常にゆるい極細粒砂～細粒砂層を主体とし、厚さ 10cm 以下の非常にやわらかな粘土質シルト層を挟む。基底付近には厚さ 20cm 程度の泥層を挟むことがある。葉理が消失した部分は $N_c \leq 10$ と非常にゆるい場合が多い。葉理が不明瞭又は明瞭に見られる砂層は $N_c = 10 \sim 20$ とゆるい場合が多い。

中部バンドルは、細粒砂と粘土質シルトによる砂泥互層と軟質なシルト礫や貝殻片を多く含む細粒～中粒砂層との交互層から構成される。このうち、砂泥互層の砂層は葉理が消失又は不明瞭な場合が多く、 $N_c \leq 10$ と非常にゆるい場合が多い。まれに $N_c=10\sim 20$ とゆるい部分もある。泥層は $N_c \leq 6$ と非常にやわらかい場合が多い。軟質なシルト礫や貝殻片を含む細粒～中粒砂層は、 $N_c=8\sim 16$ とゆるく、葉理は明瞭又は不明瞭な場合が多い。しばしば $N_c=20\sim 34$ と中位の硬さの部分もある。コンポリュート葉理（葉理がみられる砂層が流動し葉理が飴のように褶曲変形したもの）の見られる砂層は $N_c=15\sim 23$ とゆるい～中位の硬さである。

上部バンドルは、下部に連続性の良い粘土質シルト層があり、この上に中粒砂層又はシルト礫や貝殻片質の中粒砂層から構成される。中粒砂層は葉理が不明瞭なことが多く、 $N_c=10\sim 20$ とゆるい部分が多い。シルト礫や貝殻片質の中粒砂層は葉理が比較的明瞭である部分が多く、 $N_c=10\sim 30$ まれに $N_c=30\sim 40$ とゆるい～中位の硬さであることが多い。本層中には地下水面がみられ、深度約 1m である。

盛土アソシエーションは、砂混じりシルト層、細礫混じり泥炭質シルト層、泥質細粒砂、中礫層、など多様な不均質な地層から構成される。硬さは $N_c=10\sim 35$ と中位であることが多いが、 $N_c=1\sim 10$ と非常に軟らかい部分もある。

4 地層の広がりについて

図 8 は、図 4 に示した断面線に沿った地層の硬さの分布やオールコアボーリングによる地質柱状図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動的コーン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、概ね以下ようになる。

下部バンドルの $N_c=5\sim 10$ は、葉理が消失ないし不明瞭な砂層に概ね相当する。 $N_c=10\sim 15$ 及び $N_c=10\sim 20$ は、貝殻片混じりの砂層に概ね相当する場合が多い。

中部バンドルの $N_c=5\sim 10$ は、砂泥互層に概ね相当し、この砂層中の葉理は消失ないし不明瞭なことが多い。また、鉛直方向に $N_c=5$ 程度の値が続く部分は、泥層に相当する。下部や最上部にみられる $N_c=10\sim 30$ は、軟質な泥礫や貝殻片を多く含む中粒砂層に概ね相当し、葉理は比較的明瞭であることが多い。図 8 の $N_c=5\sim 10$ の部分と $N_c=10\sim 30$ の部分の広がり方により、本バンドルは $N_c=10\sim 30$ が卓越する下部と $N_c=5\sim 10$ が卓越する上部に分かれる。

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。この上位の $N_c=5\sim 10$ は、葉理が不明瞭な中粒砂層に概ね相当する。 $N_c=15\sim 50$ は、シルト礫及び貝殻片質な葉理が比較的明瞭にみられる中粒砂層に概ね相当する。

以上の状況は、水文地質構造の視点から以下のような特徴にまとめられる。

- ① 上部バンドル下部の泥層は、側方に連続性が良い難透水層となっている。
- ② 上記①以外の部分は、葉理が消失ないし不明瞭となった非常にゆるい～ゆるい細粒～中粒砂層又は砂泥互層を主体とするアクイタード層（透水層と難透水層の中間的な透水性の地層）中に、葉理が比較的明瞭で軟質な泥礫と貝殻片質な中粒砂の透水層が複数枚挟まれている。

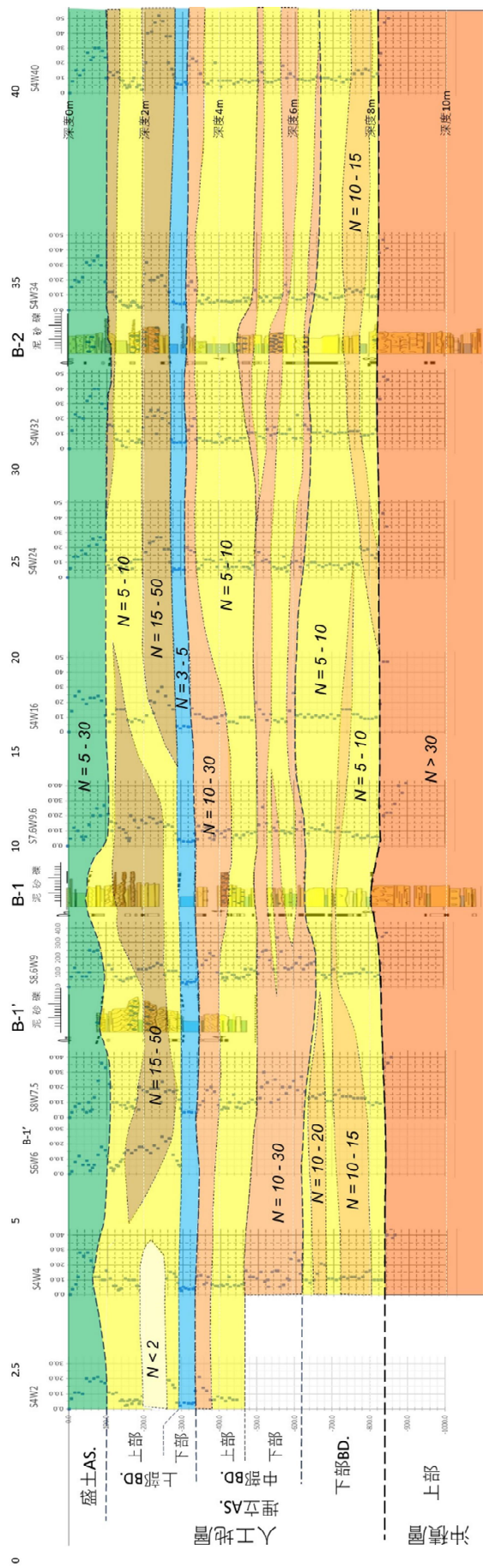


図 8 図 4 の断面線に沿った地質断面図。Nc は動的コーン貫入試験値入試験値。AS. : アソシエーション BD. : バンドル

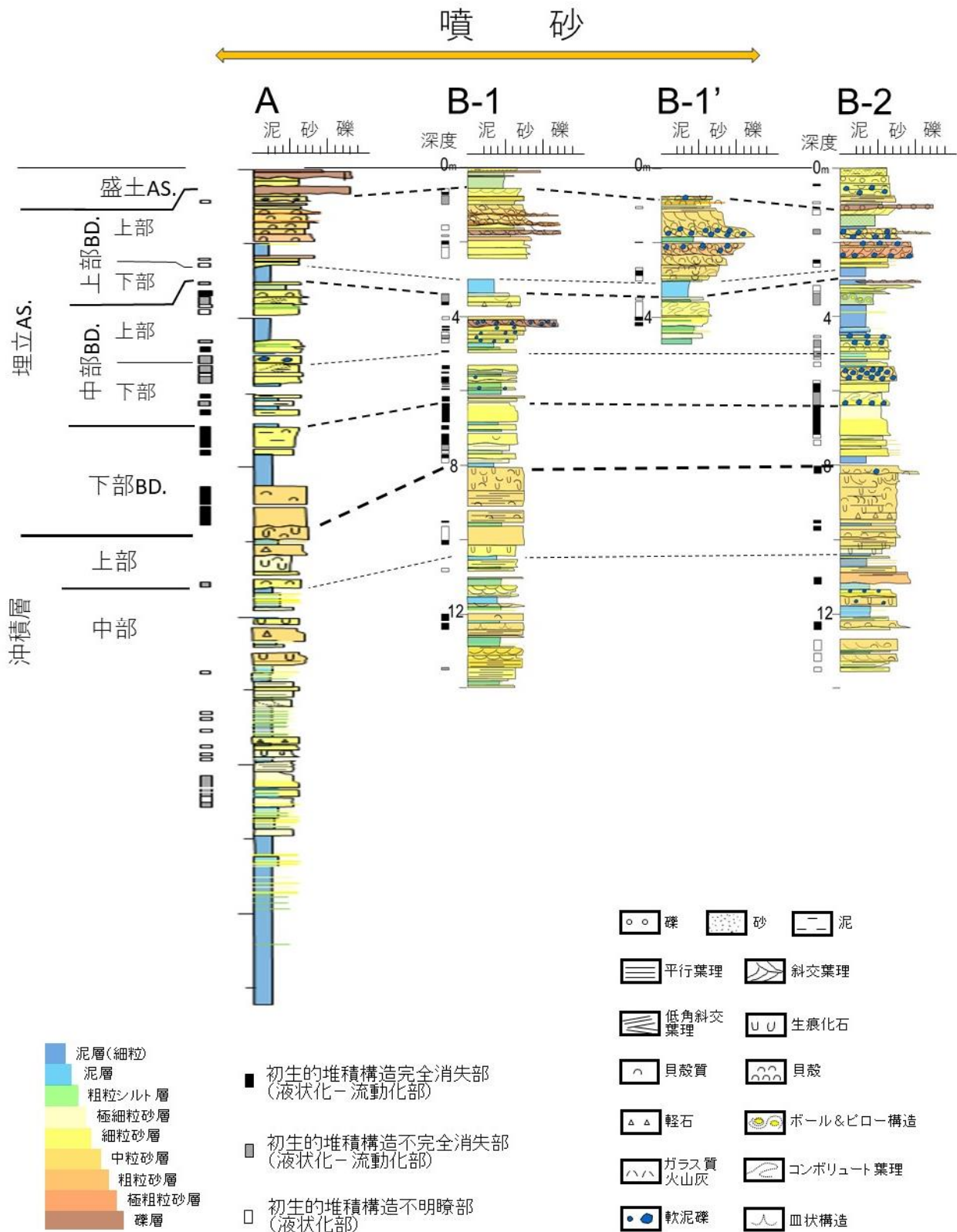


図9 2021年度の調査地点の地質柱状図(A)と2022年度の調査地点の地質柱状図(B-1, B-1', B-2)との対比。AS.:アソシエーション BD.:バンドル

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、コアの剥ぎ取り標本にみられる堆積構造の状態から判断した。埋立アソシエーションの下部・中部バンドルの砂層の大部分と上部バンドルの一部の砂層では、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。図9は2021年度のボーリングコアと2022年度のボーリングコアとの地層のつながりを示した図である。特に、2021年度のボーリング地点⁶⁾から離れた2022年度のコア採取地点においても、下部バンドルの砂層は現在でもゆるく、上部バンドル下部の泥層は、この敷地全体に良く連続している。このため下部バンドルは、地下水で満たされ、被圧状態にあり、この砂層中の非常にゆるい砂層が圧密に伴う脱水に長時間を要している可能性が高い。また、埋立層中に挟まれる泥層はいずれも非常に軟らかく透水性が低いいため、圧密に伴う脱水に長時間を要している可能性が高い。これらの非常にゆるい砂層及び非常にやわらかい泥層がわずかずつ収縮し、地盤の沈下が続き、地下構造物が徐々に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, 液状化－流動化被害と人工地層の水文地質構造との関係：2011年東北地方太平洋沖地震時における東京湾岸埋立地北部での地質災害に関する地質調査から日本地質学会第130年学術大会講演要旨, T16-O-18, (2023)。
- 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)。
- 6) 風岡 修・小島隆宏・荻津 達・香川 淳・八武崎寿史, 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。千葉県環境研究センター年報。