

## Ⅱ 東日本大震災を契機とした環境分野での取組

東日本大震災は、東北地方のみならず本県においても、津波、液状化、地震動等により、多くの人的・物的被害をもたらし、大量の災害廃棄物の処理など迅速な対応が求められました。

また、震災により発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故（以下「原発事故」という。）により、大量の放射性物質が放出され、県民の不安が高まったことから、県では環境汚染の状況を把握するための環境モニタリングの強化や除染等の対策を行ってまいりましたので、平成25年版環境白書に引き続き、水環境中の放射性物質モニタリング結果及び液状化対策に関する研究について紹介します。

### 1. 水環境中の放射性物質モニタリング結果

県では、原発事故後、水環境中の放射性物質について、海水浴場、手賀沼・印旛沼とその流入河川及び東京湾の水質及び底質のモニタリングを行っています。

これらの水環境の測定結果は、県水質保全課ホームページにおいて公表しています。

(<http://www.pref.chiba.lg.jp/suiho/h23touhoku/kaisui/index.html>)

#### （1）海水浴場のモニタリング

海水中の放射性ヨウ素、放射性セシウム（Cs-134、Cs-137）について、25年度は、67海水浴場69地点（千葉市を除く）において、開設前と開設期間中に調査を実施しました。

その結果、調査した全ての地点で「水浴場の放射性物質に関する指針（環境省）」で示されている放射性セシウムの指針値（10Bq/L：Cs-134とCs-137の合計値）に適合していることを確認しています。

#### （2）手賀沼・印旛沼流域における水質・底質モニタリング

手賀沼・印旛沼流域における放射性物質の実態や移動などの状況を、より詳細に把握するため、25年度は4回、水質及び底質のモニタリング調査を行いました。

- ・1回目：25年6月～7月
- ・2回目：25年8月
- ・3回目：25年11月
- ・4回目：26年1月

#### ア 水質のモニタリング結果

放射性セシウム（Cs-134、Cs-137）は手賀沼流域・印旛沼流域の全ての地点で検出されませんでした。

手賀沼流入河川、手賀沼調査地点



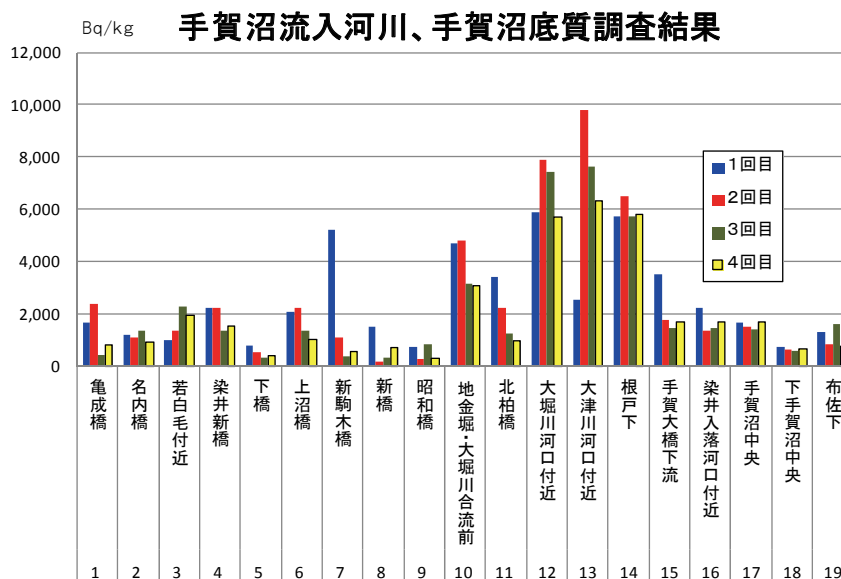
印旛沼流入河川、印旛沼調査地点



イ 手賀沼流域の底質のモニタリング結果 (Cs-134 と Cs-137 の合計値)

手賀沼流入河川\*については下表のとおりでした。

	測定範囲 (Bq/kg)	最大地点
1回目	730 ~ 5,900	手賀沼大堀川河口付近
2回目	159 ~ 9,800	手賀沼大津川河口付近
3回目	298 ~ 7,600	手賀沼大津川河口付近
4回目	283 ~ 6,300	手賀沼大津川河口付近

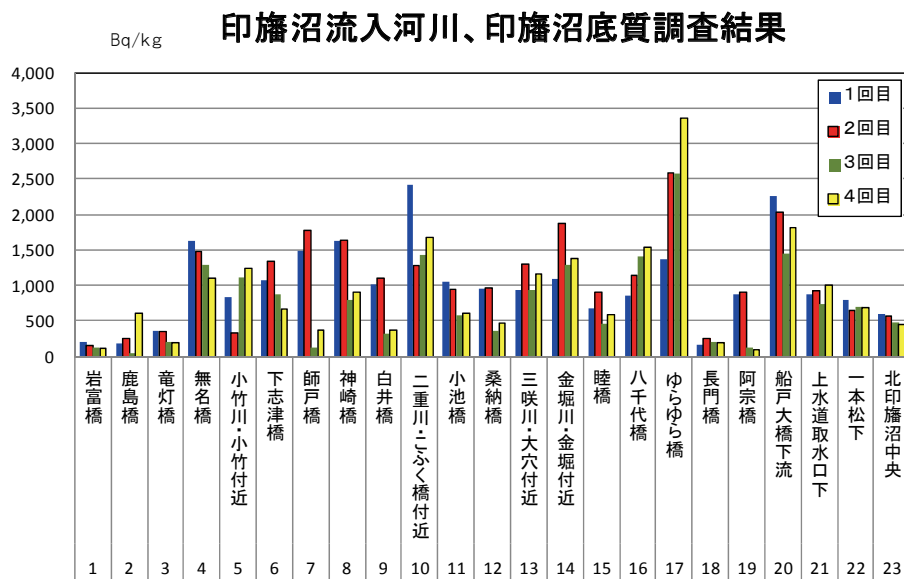


\* 手賀沼流入河川は、NO.1~11

## ウ 印旛沼流域の底質のモニタリング結果 (Cs-134 と Cs-137 の合計値)

印旛沼流入河川\*については下表のとおりでした。

	測定範囲	最大地点
1回目	165 ～ 2,410	二重川・こふく橋付近
2回目	158 ～ 2,580	印旛放水路ゆらゆら橋
3回目	44 ～ 2,570	印旛放水路ゆらゆら橋
4回目	95 ～ 3,360	印旛放水路ゆらゆら橋



\* 印旛沼流入河川は、NO.1～18

## エ まとめ

底質の放射性物質濃度は、印旛沼流域よりも手賀沼流域の方が高い傾向にあること、また、上昇傾向にある地点と下降傾向にある地点がそれぞれ存在することがわかり、今後も引き続き放射性物質の動態を監視して行く必要があると考えられます。

なお、生活圏への影響については、底質の放射性物質は水底にあり、水で放射線が遮蔽されることから、極めて少ないと考えています。

### (3) 東京湾における水質・底質モニタリング

東京湾調査地点図

東京湾全体の放射性物質の状況を把握するために、25年度は4回、水質及び底質のモニタリング調査を実施しました。

- ・1回目：25年6～8月
- ・2回目：25年8～10月
- ・3回目：25年11～12月
- ・4回目：26年1～2月



#### ア 水質のモニタリング結果

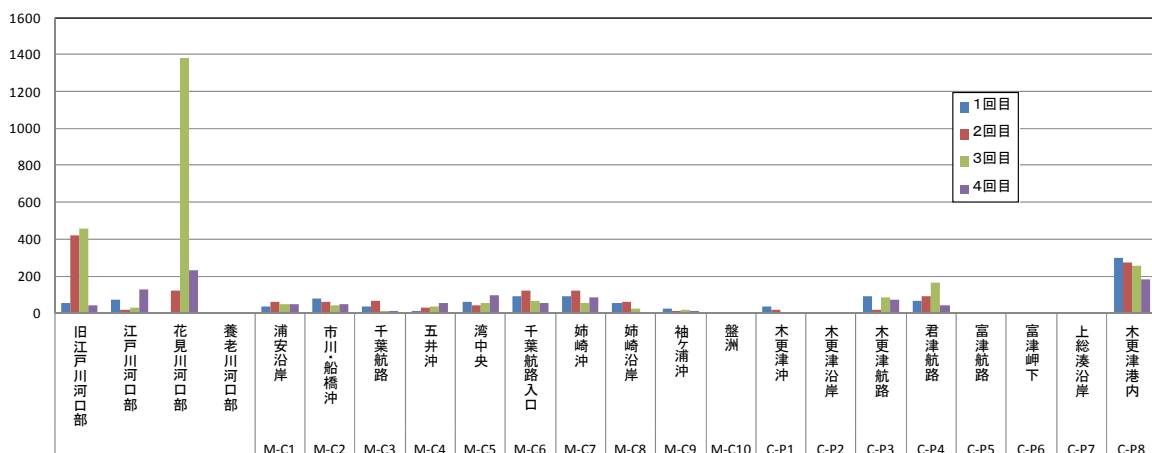
放射性セシウム (Cs-134、Cs-137) は、全地点で検出されませんでした。

#### イ 底質のモニタリング結果

東京湾の底質については下表のとおりでした。

	測定範囲	最大地点
1回目	不検出 ～ 300	木更津港内
2回目	不検出 ～ 420	旧江戸川河口部
3回目	不検出 ～ 1,380	花見川河口部
4回目	不検出 ～ 232	花見川河口部

Bq/kg 東京湾底質調査結果





## 2. 液状化－流動化のメカニズム解明に関する研究

－東京湾岸埋立地における地層断面調査の結果について－

### (1) 地層断面調査の経緯・手法

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震では、主に九十九里平野北部、利根川低地、東京湾岸埋立地北部で、人工地層(埋立や盛土といった人工的に作られた地層)を中心に液状化－流動化現象が発生しました。東京湾岸埋立地北部では全域が一様に液状化－流動化したわけではなく、幅 50m 程度・長さ 100m 程度の局所的な部分に集中して発生し、数十 cm もの沈下を伴いました(図 1)。このような沈下部分が埋立地内に斑状に発生したのは、過去の地震でもほとんど例がありません。このため、その予測や対策には、まず実際の地質環境(地下の状態)を明らかにし、液状化－流動化現象のメカニズムを明らかにしていく必要があります。このため、千葉市美浜区磯辺地区内の沈下の程度が局所的に大きく変化する部分において、25 年 12 月に行った調査結果の概要を示します。

今回の調査は、沈下の程度が水平方向に変化している部分に、特殊な地層採取サンプラーを大型重機で圧入し(写真 1)、3～5m 間隔に(写真 2)幅・厚み 20cm 程度、深さ 4.5～7.5m 程度の地層を、液状化－流動化部分も含めて乱さずそっくり採取し、人工地層を中心とした表層部の詳細な地質環境(地下の状況)の変化を明らかにしました。

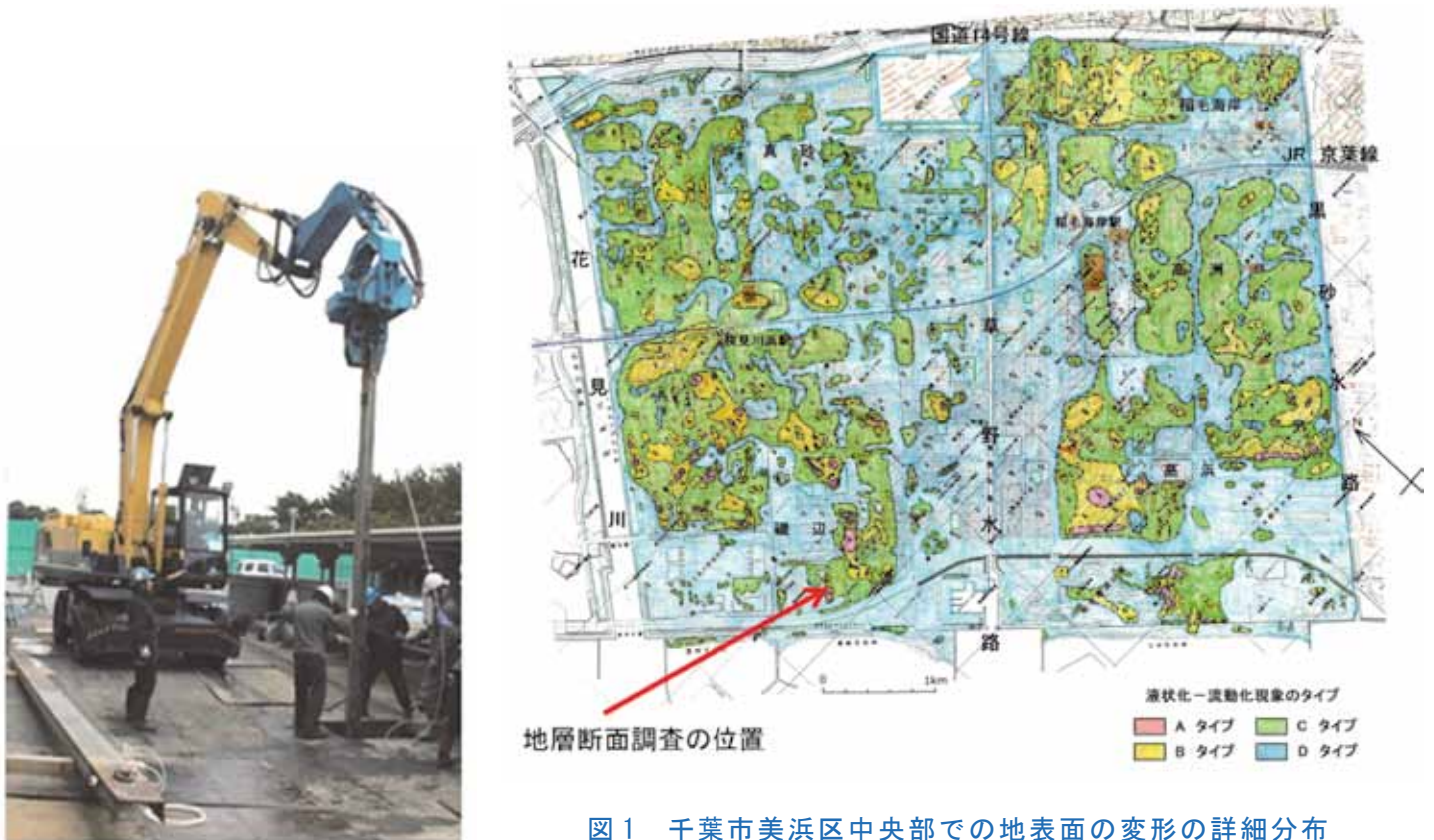


図 1 千葉市美浜区中央部での地表面の変形の詳細分布

(A タイプ：地表面に 30～50cm 程度の変形が見られる。B タイプ：同 10～20cm 程度の変形が見られる。C タイプ：同数センチ程度の変形が見られる。D タイプ：地表面の変形は見られない。出典：24 年発行 環境研究センター調査研究報告 G-8 号)

写真 1 大型重機による特殊サンプラーの地中への圧入の状況



写真2 学校内の被害と地層採取地点  
 (番号は地層採取地点で図2・図3の番号と同じ。)

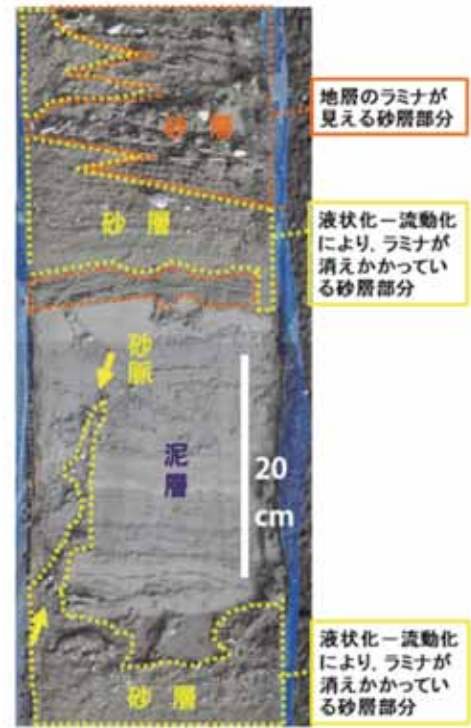


写真3 地層採取試料の例 (図3の8番)

地下の状況については、採取した試料を観察し、液状化—流動化部分と非液状化—流動化部分を区別することにより (写真3)、これを把握していきました。

(2) 調査地の埋立層の様子と液状化—流動化部分

調査によって明らかになった地質環境を図2及び図3に示します。地下水位は深度約2m、人工地層の厚さは8m以上でした。

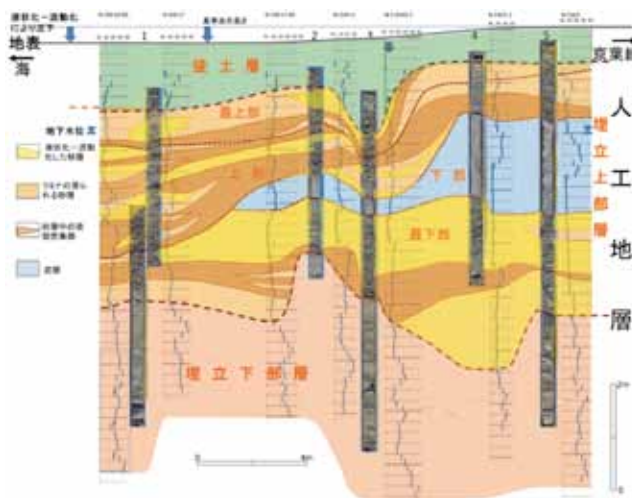


図2 調査地の地層断面  
 (数字は写真2の地層採取位置番号。)

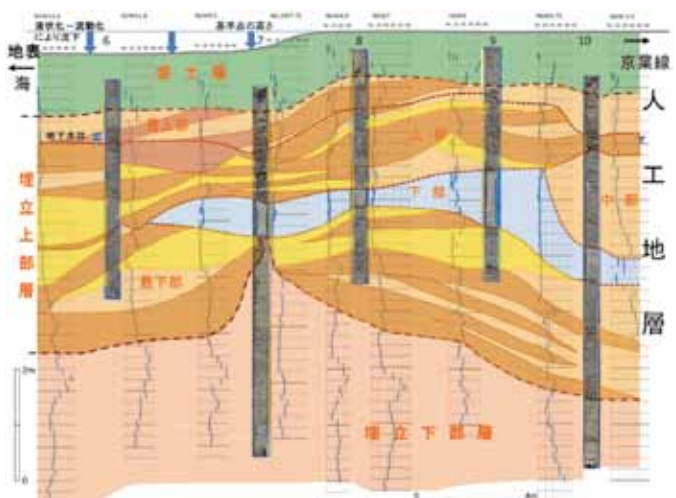


図3 調査地の地層断面  
 (数字の写真2の地層採取位置番号。)



人工地層は地表付近の重機によって盛土されてできた盛土層と、この下位のサンドポンプ工法\*<sup>1</sup>（写真 4）により 2 期に分けて埋立てられてできた埋立上部層・埋立下部層から構成されます。今回の地震は揺れが強く長かったため、深部までの液状化－流動化が予想されましたが、実際には人工地層全体に見られるのではなく、埋立上部層に集中して見られました。



写真 4 サンドポンプによる埋立の例

（水面下の底の土砂を水と共に吸い込み、パイプを通して埋め立てたい場所に流入させて埋め立てる。  
地質環境研究室撮影）

埋立層は、主に砂層・貝殻層・泥層から構成され、地層は鉛直方向や水平方向へ規則的な変化（粒径が大きい部分から次第に小さい部分へと変化）が見られます。

このうち、液状化－流動化は主に砂層部分の一部で見られています。

写真 3 に示すように、非液状化－流動化部分は、地層堆積時に形成されるラミナ（地層断面中に見られる筋模様）\*<sup>2</sup>が明瞭に見えるのに対し、液状化－流動化部分は、ラミナ\*<sup>2</sup>が消えたりぼやけたりしています。

また、液状化－流動化部分の多くは、地層がゆる詰まり状態となっており、再液状化しやすいことが推定されます。

各人工地層の特徴と液状化－流動化部分は以下のとおりです。

- （ア）盛土層：厚さ 1.5～2.2m で、主にシルト礫や硬質礫を含む砂混じりシルト層～シルト質細粒砂層から構成されます。全体に泥が多く混じるため、透水性が悪く液状化－流動化部分は見られません。亀裂だけでなく埋立上部層からと思われる噴出した砂の脈が一部で見つかっています。
- （イ）埋立上部層：厚さ 2.6～5.8m で、細粒砂～中粒砂層、貝殻片密集層、泥層から構成されます。

埋立上部層は更に 5 つの層に区分され、それぞれの特徴と液状化－流動化部分は次の表のとおりです。

表 埋立上部層の特徴と液状化－流動化部分

	区分	地層の特徴	液状化－流動化部分の状況
埋立上部層	最上部	主として黄褐色の細粒砂～中粒砂層	ラミナが良く見られ、液状化－流動化部分が一部に認められる。
	上部	貝殻片密集層を頻繁に挟む、ゆる詰まりの灰色の中粒砂層	ラミナの消失が見られ、液状化－流動化部分が多く認められる。
	中部	主として比較的しめ固まった灰色の中粒砂層	ラミナが良く見られ、液状化－流動化部分はほとんど認められない。
	下部	極軟弱な灰色のシルト層（泥層）	液状化－流動化部分は認められない。
	最下部	主として多量の貝殻片が混じる灰色の中粒砂層	ラミナの消失が見られ、液状化－流動化部分が広く認められる。

液状化－流動化部分は、主に上部と最下部に見られ、中でも砂層中に多く見られるものの貝殻片密集部には見られません。また、下部の泥層中に、最下部の液状化－流動化部分から貫入した砂の脈が見られます（写真3）。これは、地震により下部の泥層が大きく揺すられ、亀裂が生じた部分に最下部の液状化した砂が流入したものと考えられます。

（ウ）埋立下部層：厚さ5m以上で、黄褐色の細粒砂～中粒砂層からなり、泥を含まず、粒径がそろい、ラミナ\*2がよく見え、締め固まっています。一部に液状化－流動化部分が見られますが、埋立上部層が堆積する際に削り取られた痕跡があることから、これは埋立上部層を埋立てる前に液状化－流動化したものと考えられます。

### （3）液状化－流動化と沈下に関するメカニズム

今回の調査で明らかになってきた液状化－流動化やこれに伴う沈下に関するメカニズムについて以下に示します。

（ア）液状化－流動化のメカニズム：サンドポンプ工法による埋立層の中でも、今回の調査で確認された、「泥層の下位に接する砂層中に広く液状化－流動化が見られる」という現象は、千葉県東方沖地震時においても、別の地点で見られました。これは、①泥層は軟らかく、地震時には大きく動くのに対して、砂層はやや硬く、あまり動かないため、泥層と砂層の境界に歪みが起こりやすいこと、②泥層は水を透しにくく、泥層に接する砂層の水圧が高まりやすいこと、この2つの影響により、液状化－流動化が発生したものと考えられます。なお、今回の東北地方太平洋沖地震では、泥層が特に大きく動いたことから、泥層の一部に亀裂が生じ、下位の砂層から液状化した砂が流入したと考えられる砂脈（写真3）が見られます。

（イ）斑状の沈下のメカニズム：地表の沈下部分は、埋立上部層最下部の液状化－流動化の分布とは異なり、埋立上部層上部（深度2-4m）の液状化－流動化の分布とほぼ一致します。このことから、埋立上部層上部の砂層の一部が液状化し、引き続く流動化によって、この砂層が地表に噴砂となって噴出したため、地盤が沈下したものと



と推定されます。

(ウ) **液状化予防のヒント**：液状化－流動化が見られる埋立上部層の中では、貝殻片密集層部分は液状化－流動化現象はほとんど見られません。これは、この層は隙間が多く、透水性が極めて良いことから、地震時に高まる水圧が周囲へ発散しやすいためと推定され、今後の液状化－流動化の予測や対策を考える上で重要な点といえます。

(エ) **泥層による被害抑制の可能性**：埋立上部層下部の厚い泥層の下位の砂層では広く液状化しているものの、泥層はほとんど変形しておらず、地表では地盤沈下もわずかです。この泥層は粒子同士を結合させる粘土鉱物を含んでいるため液状化していません。この泥層は水を通しにくく、直下の液状化した部分が流動できず、そこにとどまったため、地盤沈下があまり起こらず、軽微な被害で済んだ可能性があります。

#### (4) 調査地における地質環境特性と液状化－流動化の予防に関する考察

(ア) 埋立層内には、収縮しやすい軟弱な泥層が部分的に挟まれており、地下水位を低下させる際には、地盤の沈下に十分注意する必要があります。

(イ) 透水性が極めて良い貝殻層が複数挟まれているので、不透水性の構造物でこの層を遮断すると、地下水の流れの上流側では地下水位の上昇をまねき液状化しやすくなることが推定されます。

(ウ) 砂層部分に液状化－流動化が見られるので、この部分での地震時の水圧の上昇を消散させる方法を考えれば、液状化を予防できると推測されます。

(エ) 今回の調査地の地質環境条件では、液状化－流動化を防止するには、平常時の地下水面をあまり変化させず、透水層の構造を遮断することがなく、地震時に砂層内で上昇する水圧を消散させる方法が適当と考えられます。

\*1：水底の地層を水と共に吸い取り、パイプを通して埋立てたい場所に圧送し、土砂を沈積させて埋立を行う工法。1900年代初期より、大規模な埋立を行う際、世界中で一般的に行われている埋立方法。パイプからの土砂の吐き出し部分では、水流の勢いが強いいため、その落ち口では地層は浸食され、流速が衰えるにつれ、礫や貝殻などの大きな重い粒子が沈積し、その先では砂が沈積する。泥は沈殿速度が遅いので、遠くまで運ばれ沈積することとなる。今回の調査地は、埋立上部層が下位の埋立下部層を大きく削ること、埋立上部層はレキや貝殻を多く含むことから、ちょうど土砂の吐き出し口部分であったと推定される。

\*2：地層に見られる筋模様（成層構造）の一種。単層（一枚の地層）の内部で粒径の異なる粒子が植物の葉程度のごく薄い層をなして重なり、断面において筋状に配列する構造。地層粒子が水底に沈積する際、その粒径や水流の速さによって様々な形態の筋模様ができる。

（環境研究センター26年3月18日公表「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 一第6報平成25年度地層断面調査結果速報」より抜粋。参考図書：25年3月環境研究センター発行「液状化－流動化現象について 2011年東北地方太平洋沖地震での被害状況と分かってきたメカニズム」。）