

【第2部】 液状化—流動化現象に伴う 地盤の沈下

千葉県環境研究センター地質環境研究室 風岡 修

内容

1. 液状化－流動化の実際：2011年東北地方太平洋沖地震時の埋立地で見られた実際の現象
2. 県内での被害状況
3. 地面の中での様子
4. 埋立地の作られ方
5. 液状化の基本原理と防ぎ方
6. 東京湾岸埋立地での被害の帯の謎
7. 震度6強以上の地震が来た時

1.

液状化－流動化の実態 千葉市稲毛海浜公園芝生広場での例



本震前の14時40分頃の稲毛海浜公園の芝生広場



本震中14時51分30秒すぎ頃に同じ場所で約5秒周期の最大波高数十cmの波打ちが発生し、噴砂・噴水が始まる。砂まじりの黒い噴水は高さ50cm程度。



本震中14時50分頃 東方沖地震の際噴砂のあったところで噴砂・噴水が14時49分30秒過ぎ頃から始まっていた。14時54分頃までは、約5秒周期で砂まじりの噴水が出たり、水が吸い込まれたりを繰り返した。

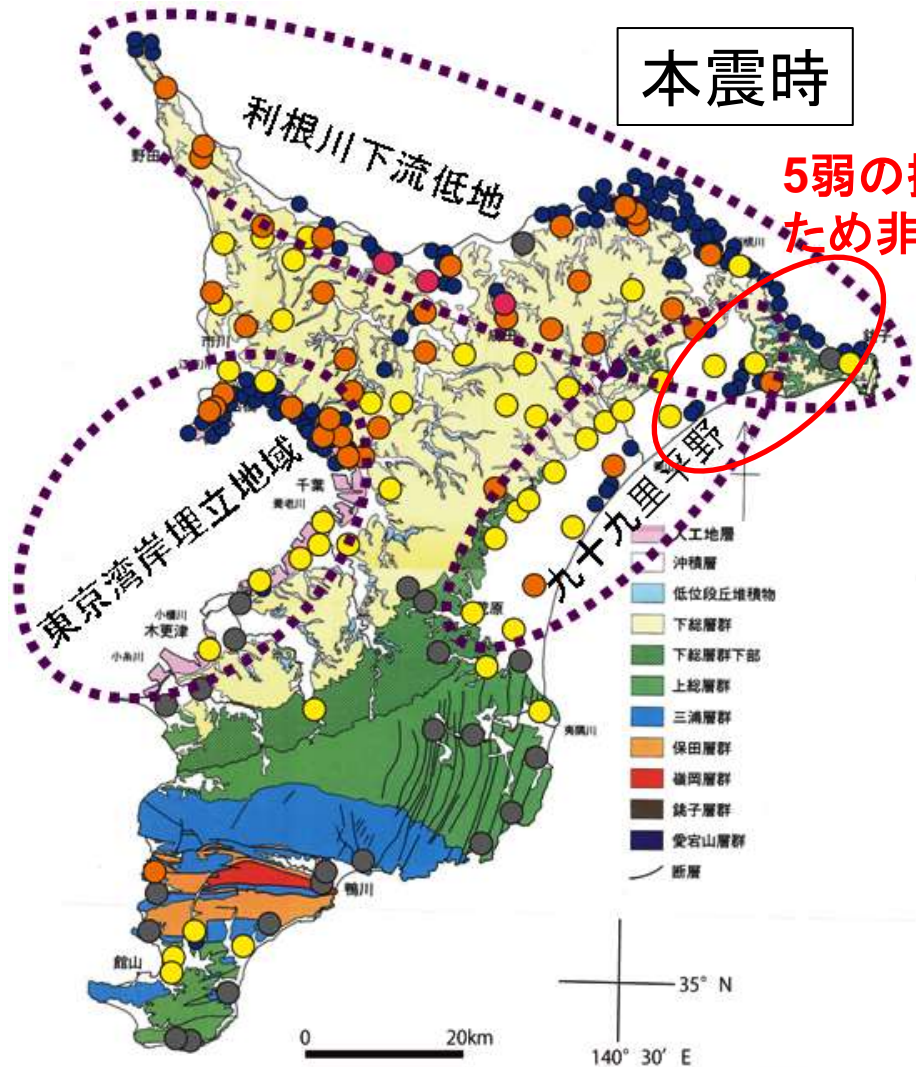


本震後 14時55分頃 連続的に噴水が出始め、芝生が膨らみ、一部がはち切れ、大量の砂まじりの噴水が始まり、その後じわじわと沈下していった。

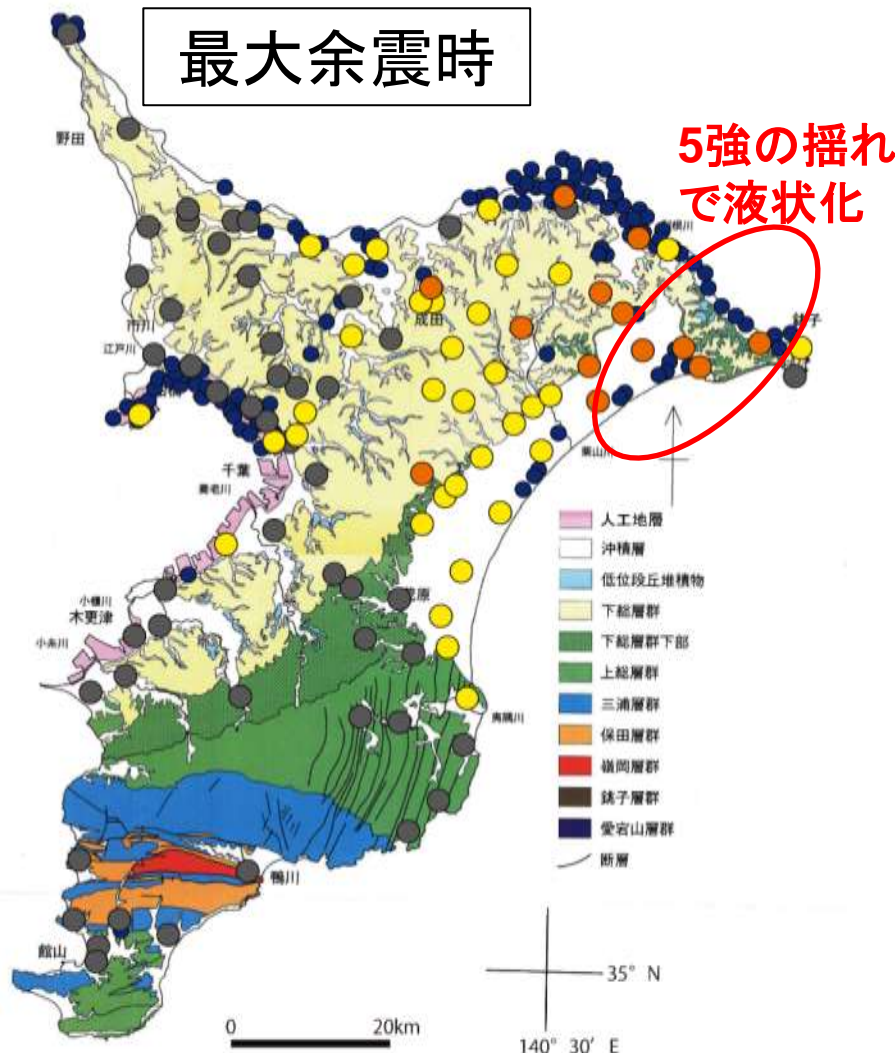


2. 2011年東北地方太平洋沖地震の本震と最大余震時の液状化—流動化現象の分布

本震時



最大余震時



5弱の揺れのため非液状化

5強の揺れで液状化

千葉県地質図 (楡井ほか, 1989) を簡略化

計測震度観測点の震度階
 ● 6弱 ● 5強 ● 5弱 ● 4
 ● 液状化—流動化現象発地点

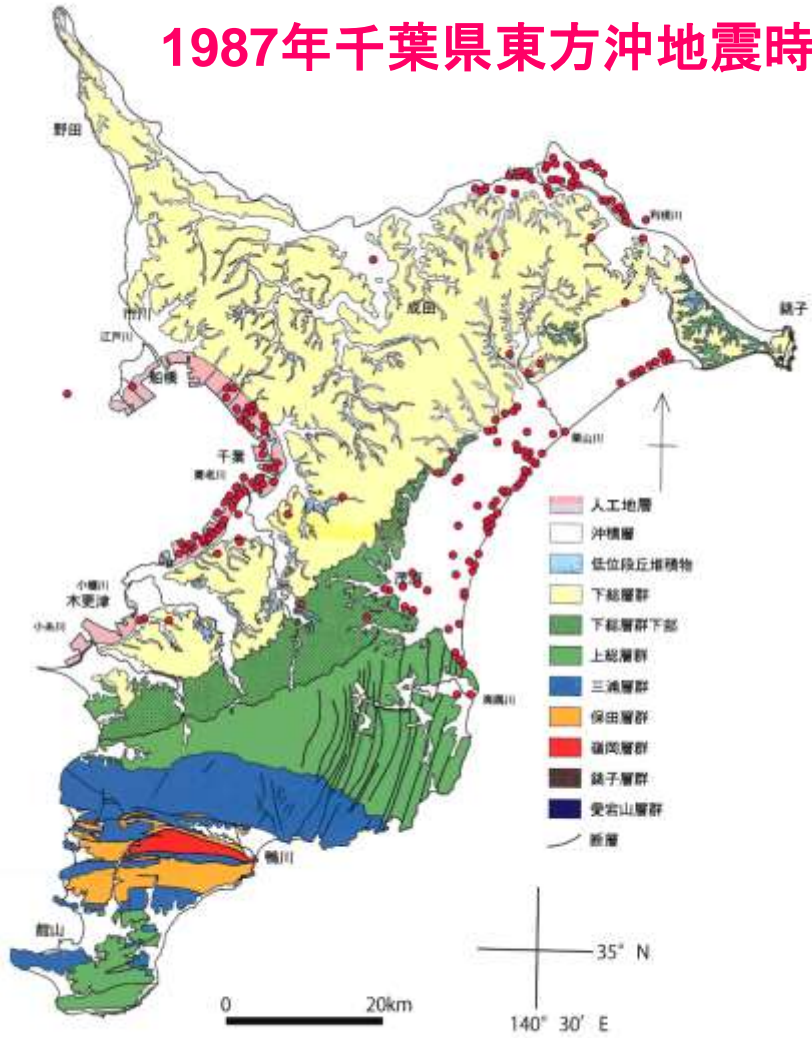
千葉県地質図 (楡井ほか, 1989) を簡略化

計測震度観測点の震度階
 ● 5強 ● 5弱 ● 4
 ● 液状化—流動化現象発地点

(「第4報 千葉県内の液状化-流動化現象と詳細分布調査結果(千葉県環境研究センター, 2011)」より)

広域に再液状化－流動化：災害は同じ場所で繰り返す 2011年の方が個々の範囲は広い

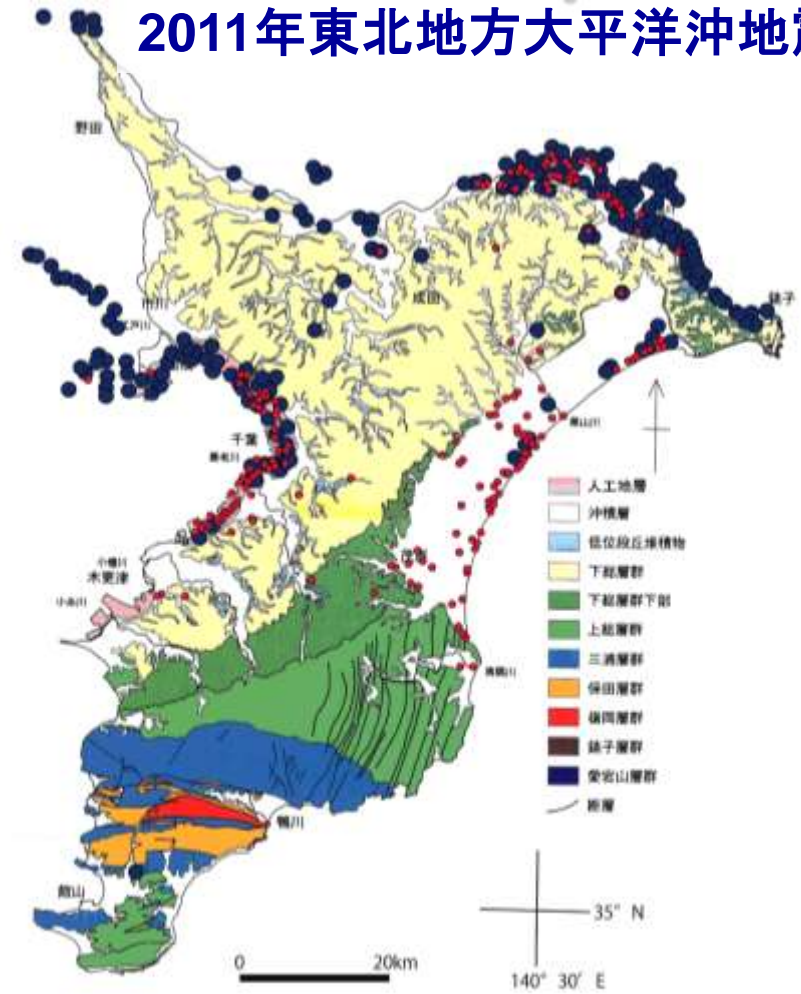
1987年千葉県東方沖地震時



千葉県地質図（楡井ほか，1989）
を簡略化

● 液状化－流動化現象発生地点（2011年）
● 液状化－流動化現象発生地点（1987年）

2011年東北地方大平洋沖地震時



千葉県地質図（楡井ほか，1989）
を簡略化

● 液状化－流動化現象発生地点（2011年）
● 液状化－流動化現象発生地点（1987年）

〔第4報 千葉県内の液状化-流動化現象と詳細分布調査結果（千葉県環境研究センター，2011）〕より

利根川下流低地での被害状況



旧河道部分の噴砂・噴水と沈下



建物の地下への沈降

九十九里平野での被害状況



埋立部分の沈下



地波(地面の波打ち)による道路・建物の被害

東京湾岸埋立地での被害状況



(「液状化—流動化現象について(千葉県環境研究センター, 2013)」より)

東京湾岸埋立地での被害状況



埋立地の護岸では、揺れの卓越方向に移動し、護岸の内側には大きな陥没が見られた



A type

地表変形 > 30cm



A type



B type

地表変形 = 10-20cm

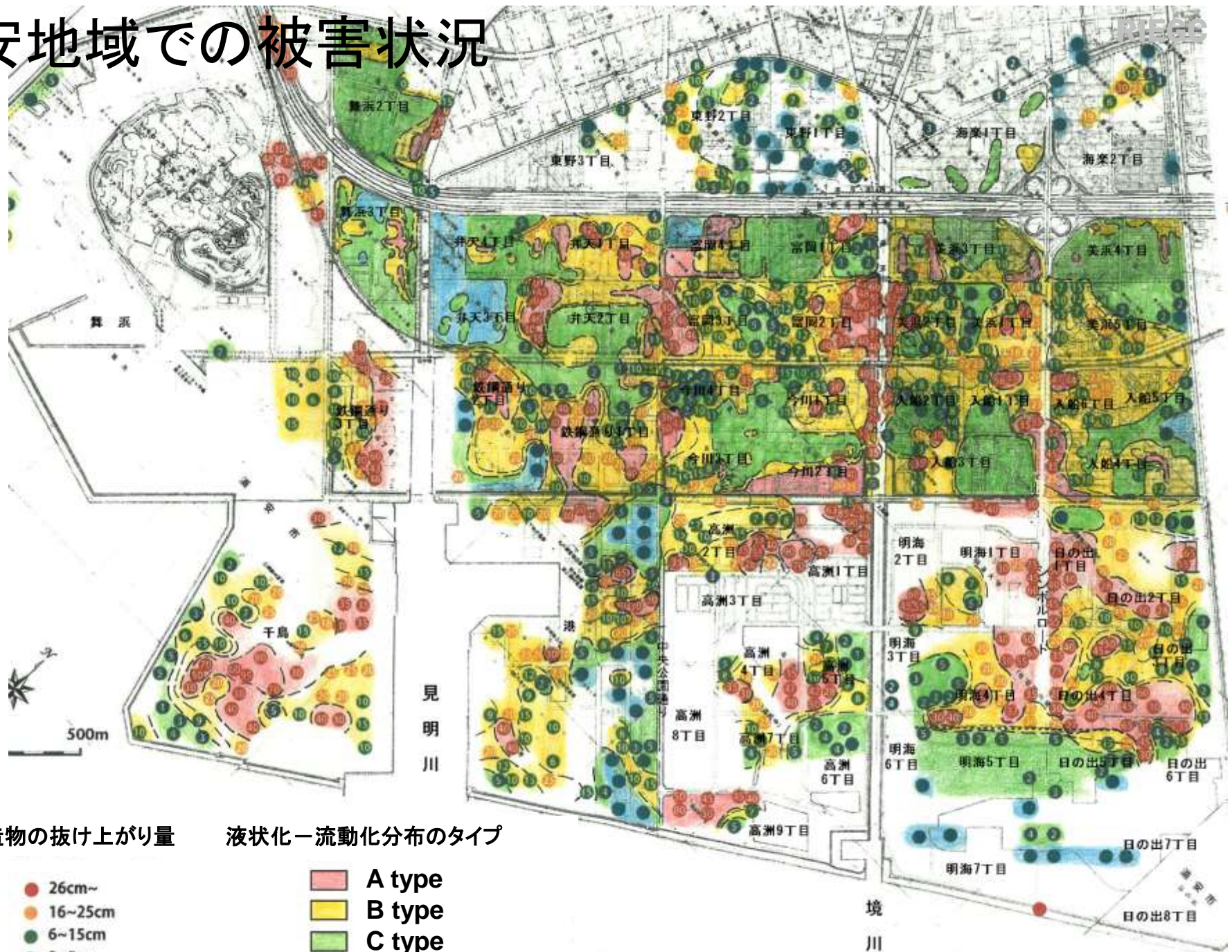


C type

地表変形 = 数cm



浦安地域での被害状況



構造物の抜け上がり量

液状化—流動化分布のタイプ

- 26cm~
- 16~25cm
- 6~15cm
- 0~5cm

- A type
- B type
- C type
- D type

(「第4報 千葉県内の液状化-流動化現象と詳細分布調査結果(千葉県環境研究センター, 2011)」より)

千葉市美浜区南東部での被害状況

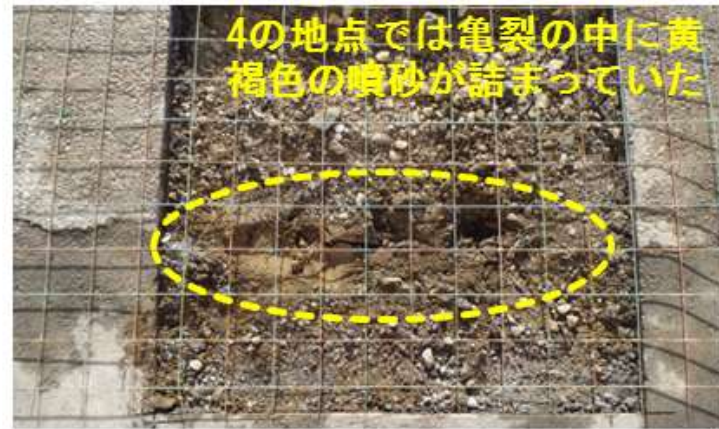


地層断面
調査位置

- 液状化-流動化現象のタイプ
- | | |
|---|---|
| A タイプ | C タイプ |
| B タイプ | D タイプ |

(「第5報 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(千葉県環境研究センター, 2012)」より)




3. 液状化—流動化に伴う局所的沈下の原因究明のための地層断面調査



(「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—第6報平成25年度地層断面調査結果速報(千葉県環境研究センター, 2014)」より)

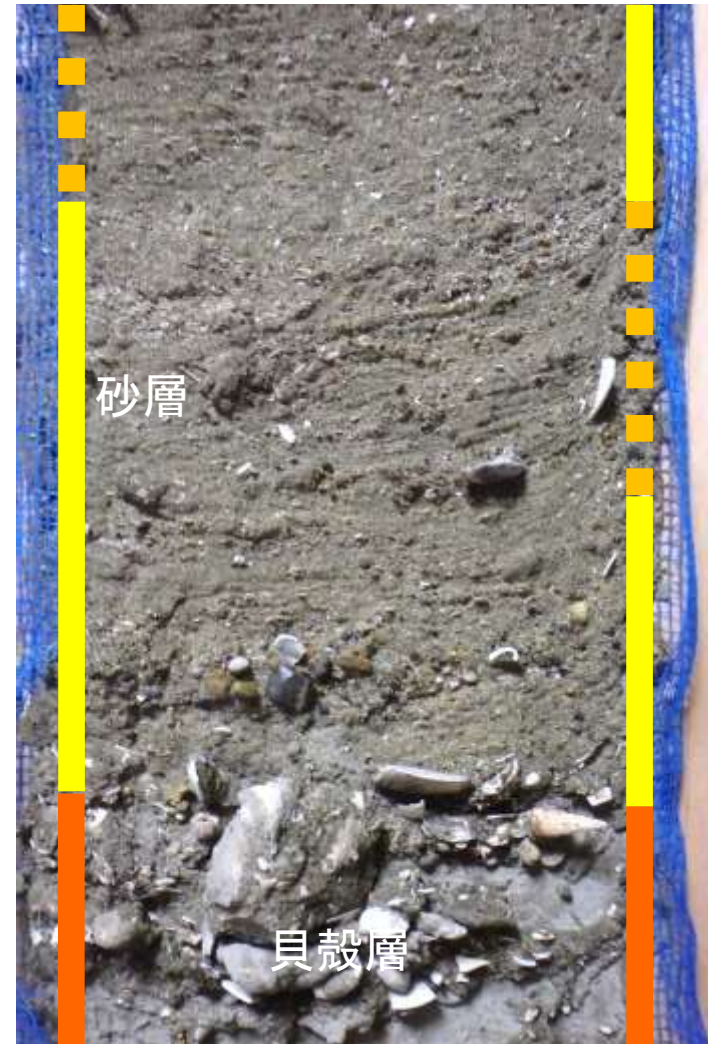
剥ぎ取り面上では、液状化—流動化部分が認定しやすい。

No.1

-  液状化—流動化部分 (初生的な堆積構造が流動によって消えた部分)
-  液状化部分 (初生的な堆積構造がぼやけている部分)
-  非液状化部分 (初生的堆積構造が明瞭に見える部分)



埋立上部
As



(「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—第6報平成25年度地層断面調査結果速報(千葉県環境研究センター, 2014)」より)

地点6～10の地質断面： 深度8mまでは人工地層. 人工地層は表層1mまでは盛土層(うす緑色), この下位は東京湾の浚渫砂をサンドポンプ工法で埋立てた埋立層から構成される. 埋立層は, 貝殻密集層(茶色)・砂層(肌色・黄色)・シルト層(水色)から構成. 液状化—流動化部分は, 埋立層の中の砂層の一部(黄色)である.

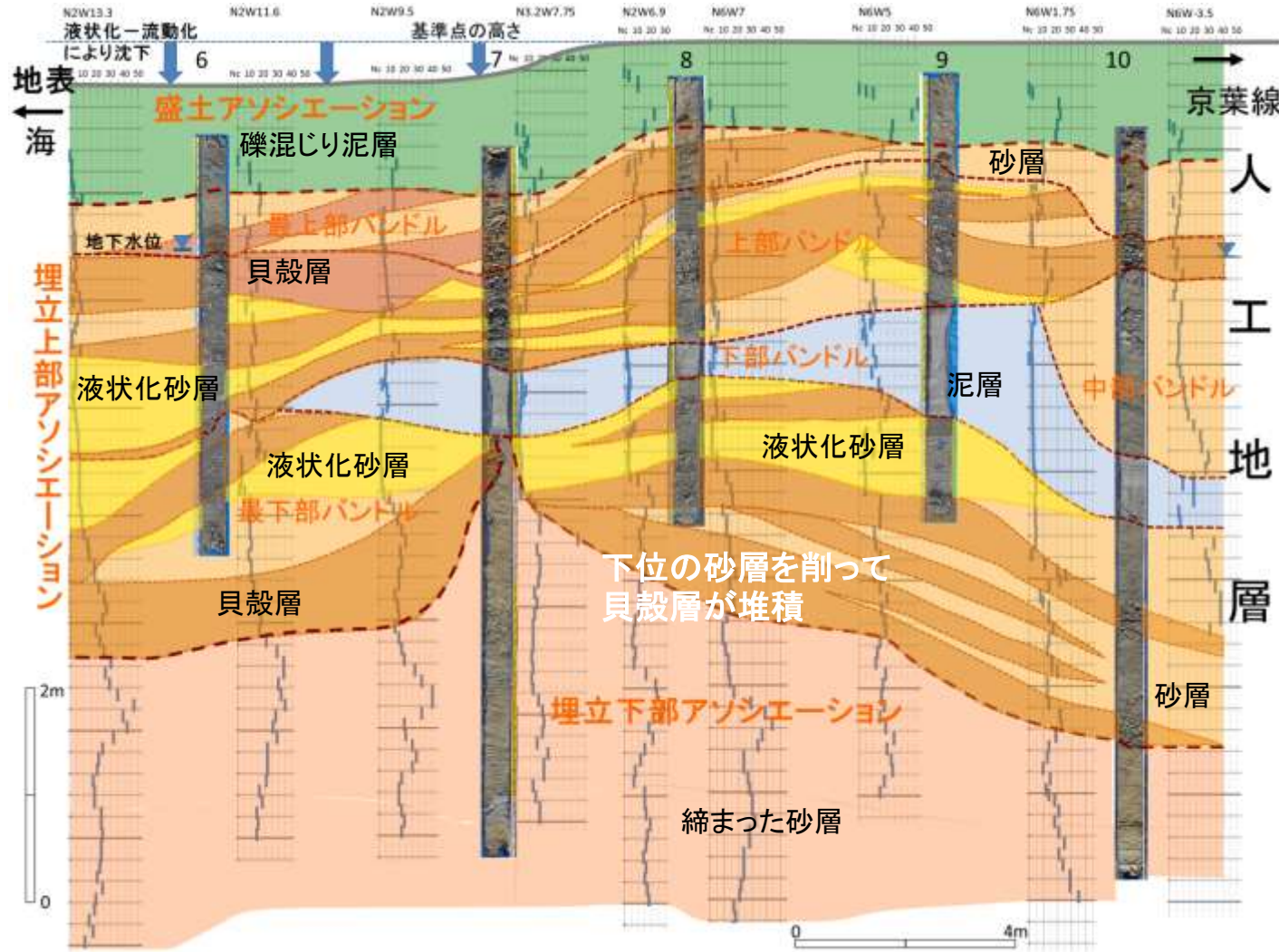


図8 地層断面調査結果 2. 数字は地層採取位置番号(図3-4参照) 埋立上部層中の色彩の違いは図7を参照

(「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—第6報平成25年度地層断面調査結果速報(千葉県環境研究センター, 2014)」より)

地点1～5の地質断面

液状化した砂層の一部が流動化し地表へ噴き出した部分は、沈下が生じた。厚い泥層で上を覆われている部分では、液状化した砂が地表へ噴出することができず、沈下しなかった。



盛土層内にみられる噴砂脈

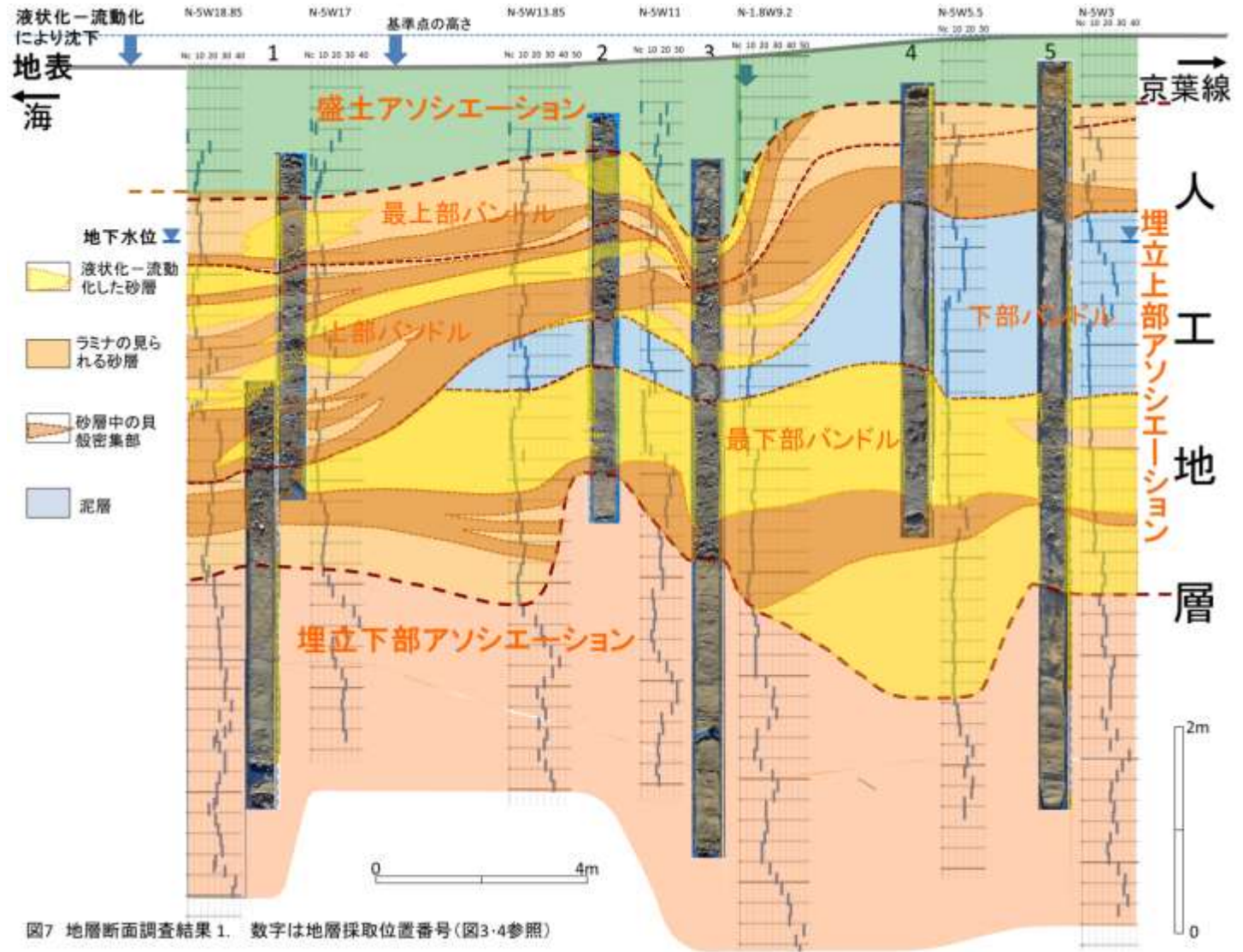


図7 地層断面調査結果1. 数字は地層採取位置番号(図3・4参照)

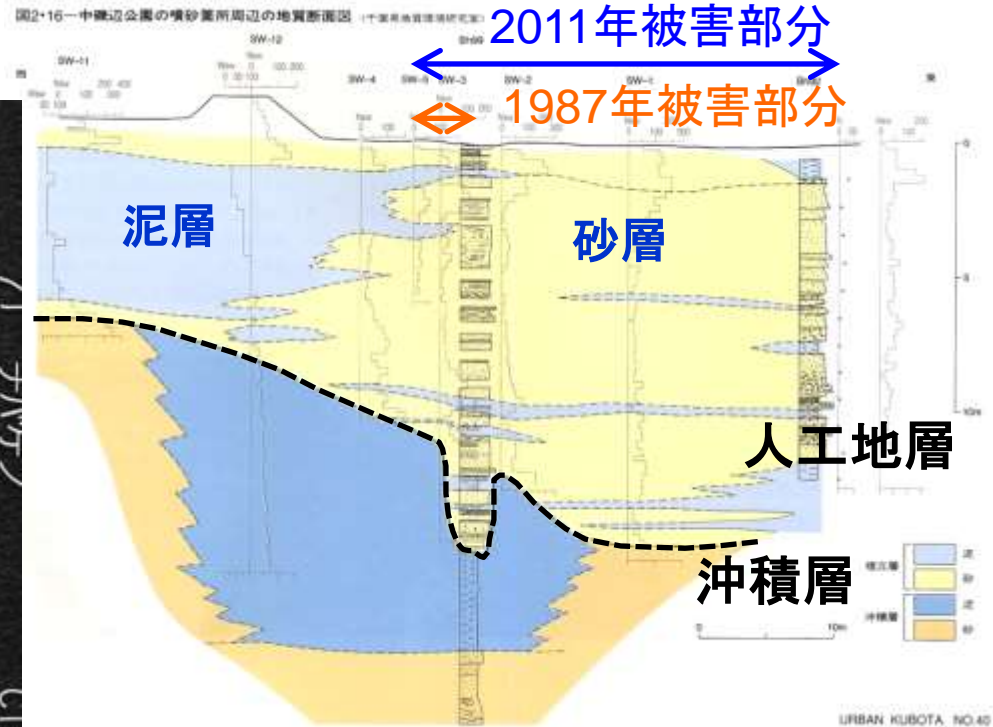
(「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による液状化-流動化現象と詳細分布調査結果—第6報平成25年度地層断面調査結果速報(千葉県環境研究センター, 2014)」より)

4.

埋立地の砂層部と泥層部の形成過程

東京湾岸埋立地千葉市中磯部公園内での被害状況と地質断面

東京湾岸地域の埋立中の空中写真



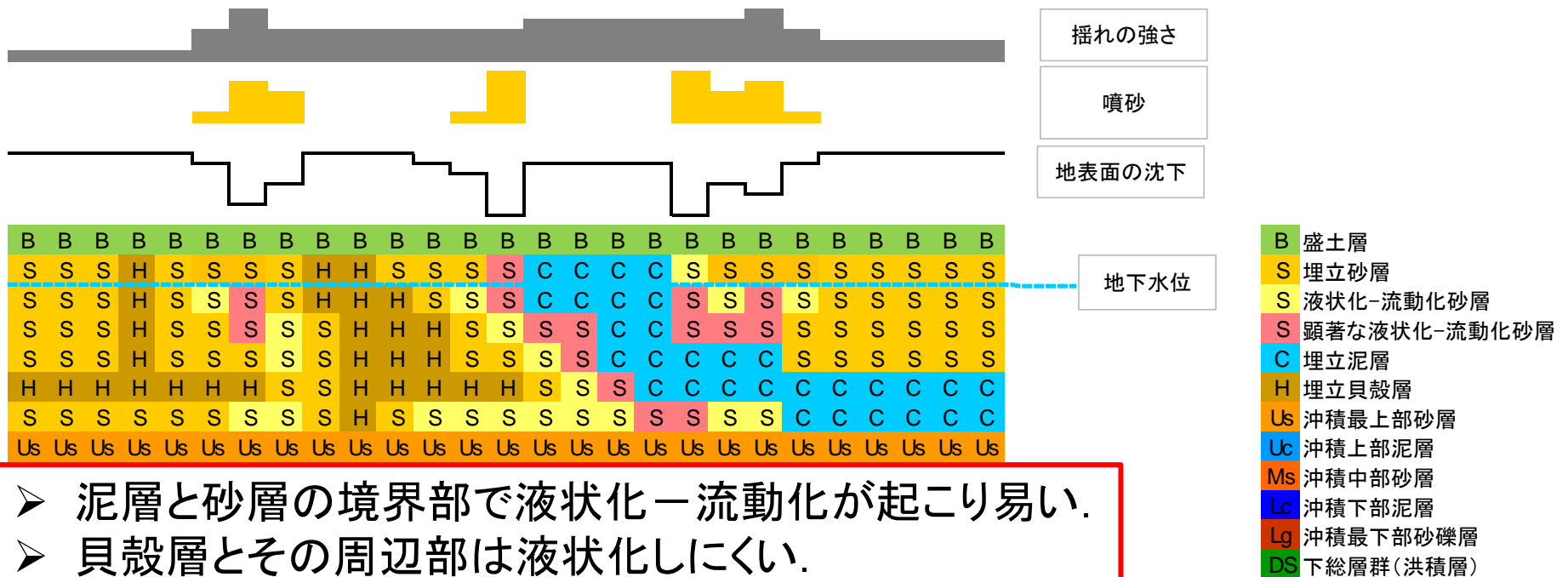
1987年千葉県東方沖地震時の中磯部公園



2011年東北地方太平洋沖地震時の中磯部公園

(「液状化—流動化現象について(千葉県環境研究センター, 2013)」より)

東京湾岸埋立地での人工地層の地質構造と 液状化－流動化しやすい部分



- 泥層と砂層の境界部で液状化－流動化が起こり易い.
- 貝殻層とその周辺部は液状化しにくい.
- 泥層は液状化しない.
- 人工地層だけの構造からは, 説明できない揺れの強さや液状化の程度の違いがある.

5.

液状化の3条件と予防方法

(最上・久保, 1953英; Seed&Lee, 1966)

- 軟らかい緩詰め砂層→ 締め固める, 粒子同士を接着, 礫などに置き換え
(自然征服的対策) * 周囲と異なる揺れ方となる可能性大
- 地下水位が浅い→地下水位上昇を防ぐ→静的ドレーン(水抜き)
(自然共存的対策) 動的ドレーン(水位低下)
* 動的ドレーンでは地盤沈下に注意
- 強い揺れ→受け入れるしかない

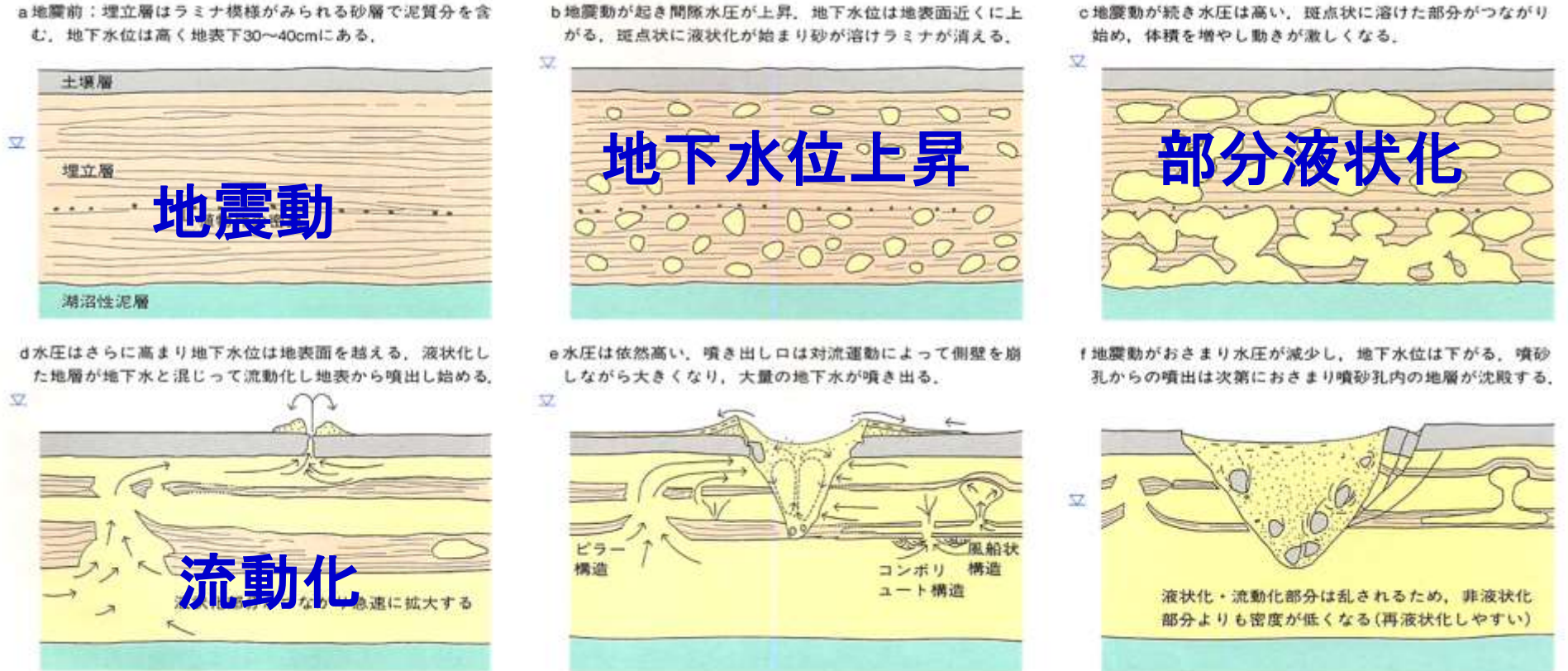
メカニズム解明→肝所を押さえた計画的な対策
予防対策の適正配置・組合せ
副作用の検討



液状化－流動化のメカニズム

図2・6－液状化・流動化発生から終了までの地層断面模式図

〈風岡ほか, 1994〉

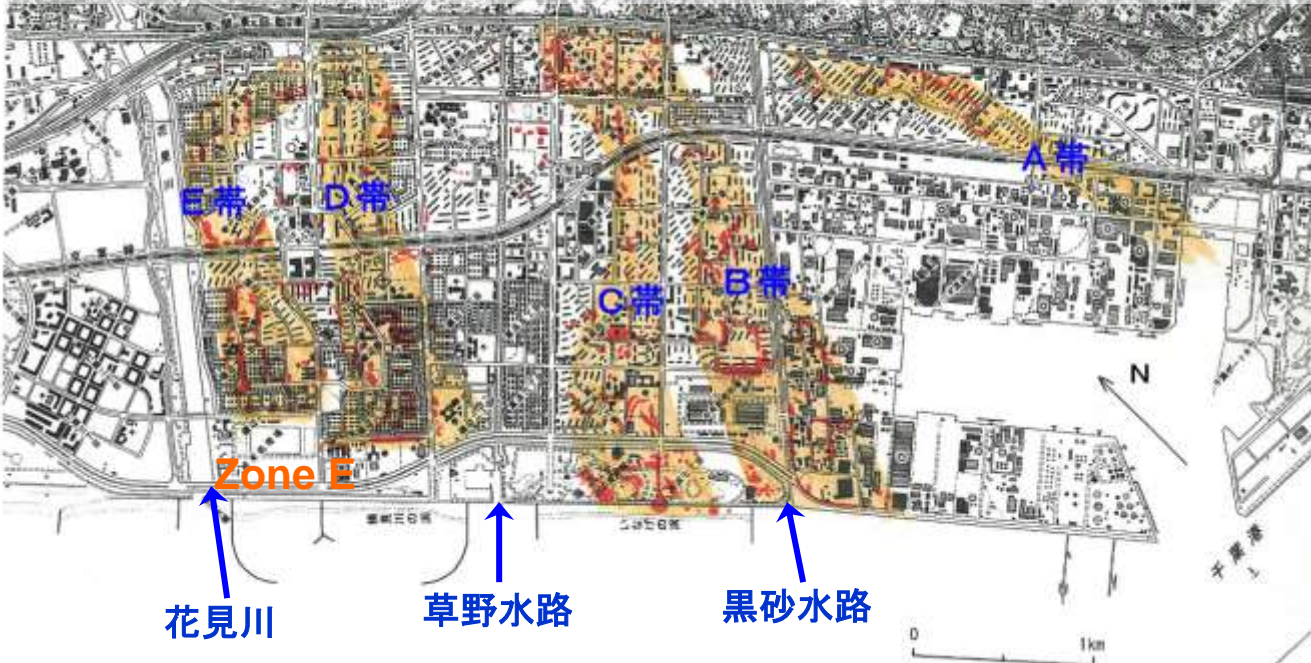


(アーバンクボタ40号より: 風岡ほか(2003); 風岡(2011))

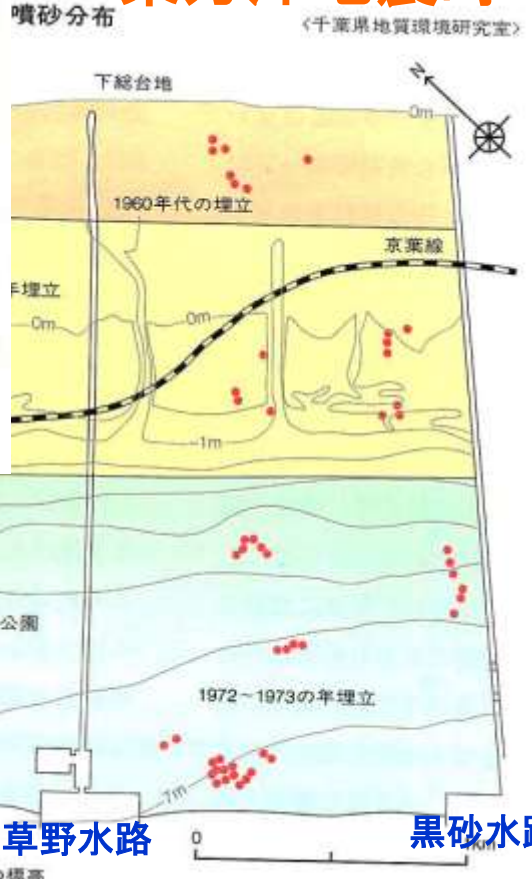
従来、液状化後は締め固まると考えられてきた。→本研究室の千葉県東方沖地震での地層断面調査→液状化したところは流動化するため、ほとんどはゆる詰まりとなり締め固まらないことが明らかとなってきた。このため、今回もほとんどの場所で再液状化－流動化が発生。

6. 液状化—流動化現象は、帯状に分布している

2011年東北地方太平洋沖地震



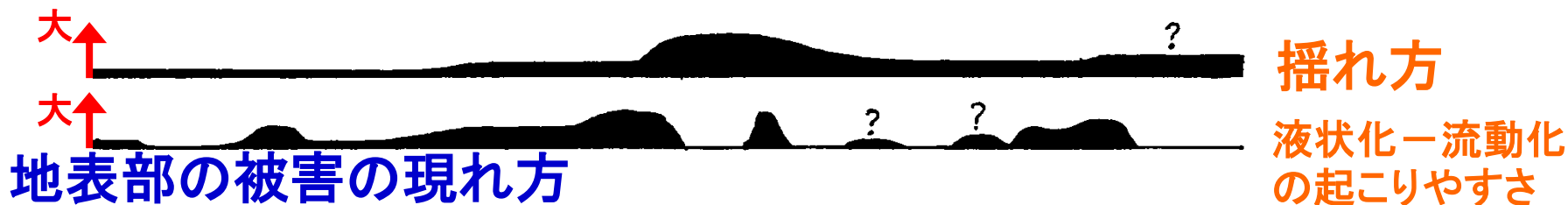
1987年 千葉県 東方沖地震時



2011年東北地方太平洋沖地震時にみられた液状化—流動化現象の帯状分布のうち、B帯とC帯は、1987年千葉県東方沖地震時にもみられていた。
(再現性のある現象)

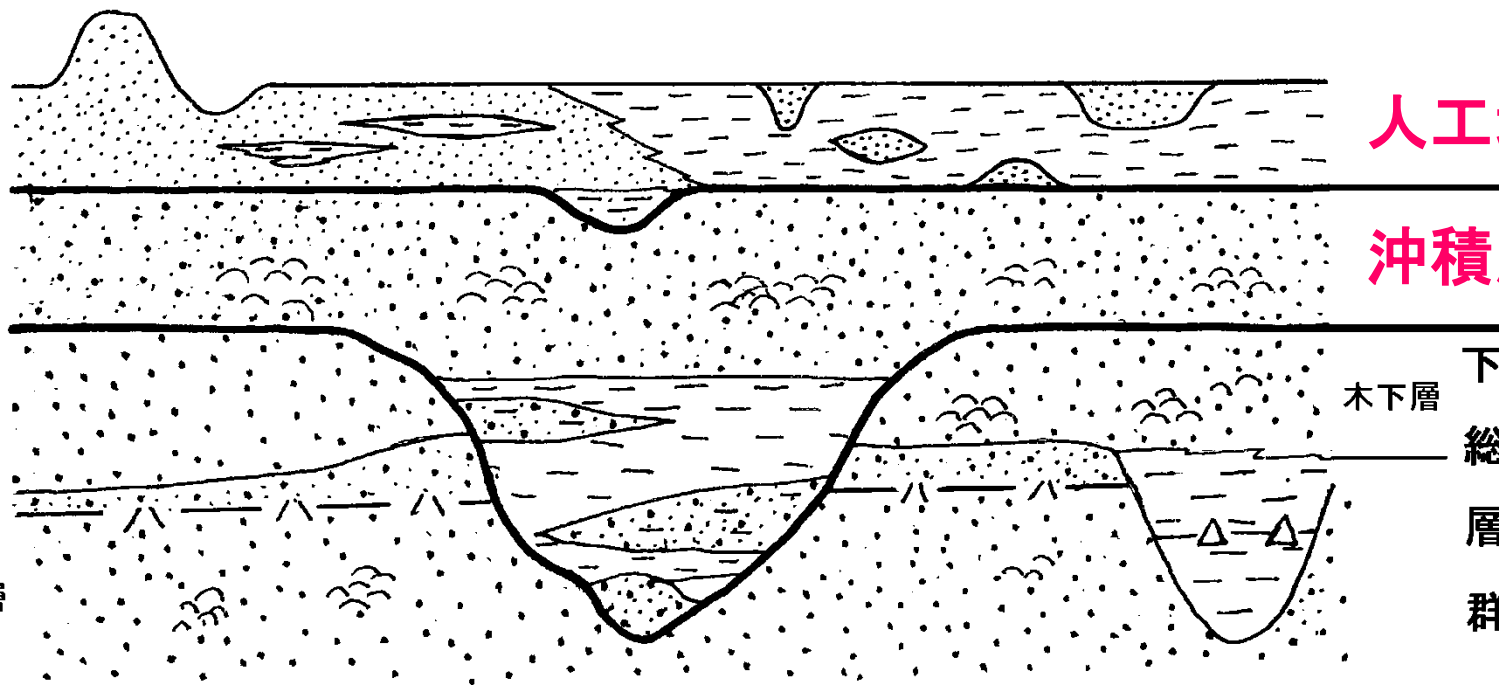
(「第3報 千葉県内の液状化-流動化現象とその被害の概要及び詳細分布調査結果—浦安地区(1)—(千葉県環境研究センター, 2011)」より)

帯状分布のメカニズム(仮説)の概念図

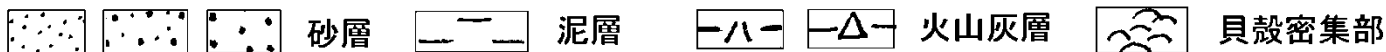


斑状分布
に影響

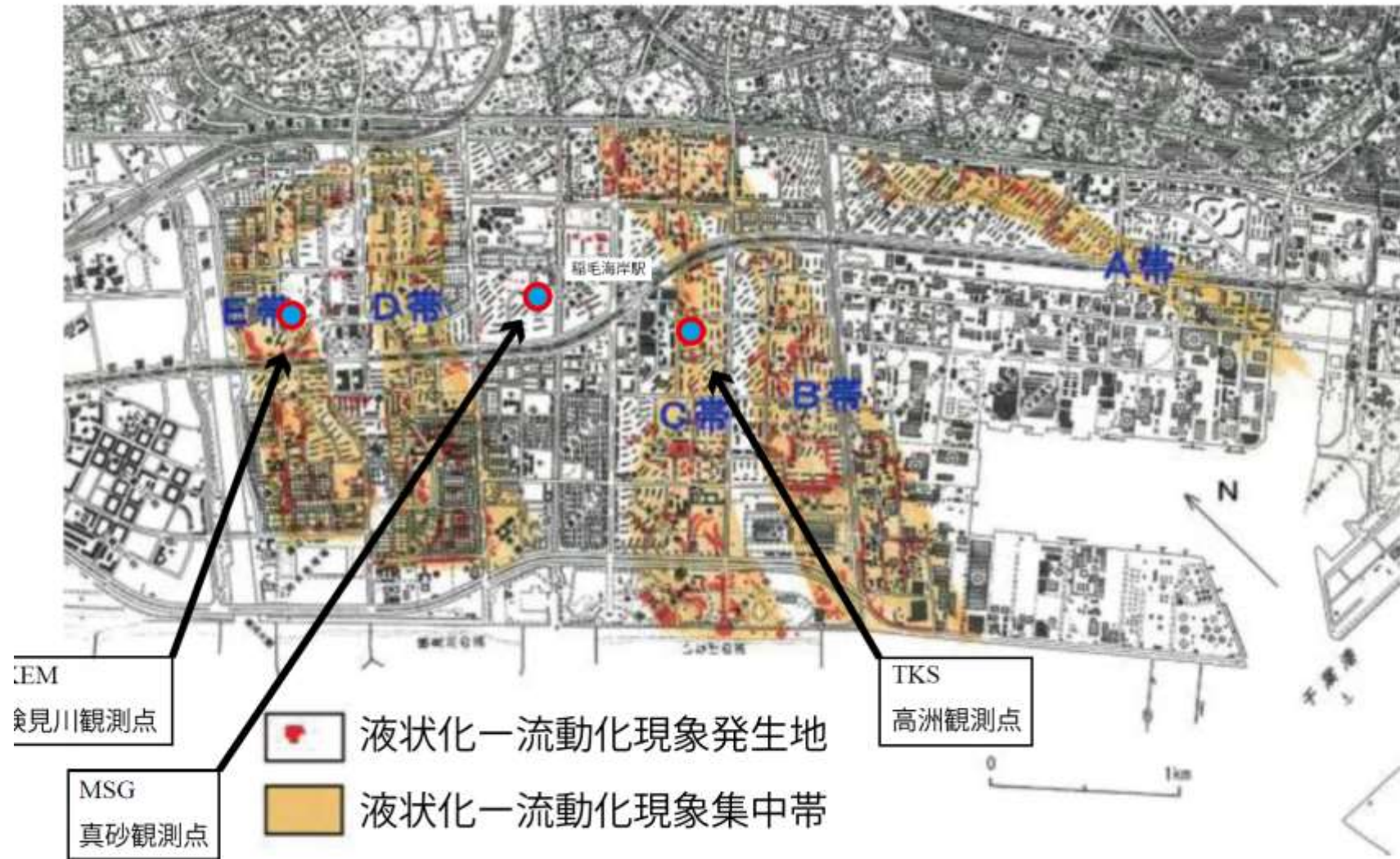
帯状分布
に影響



硬い地層



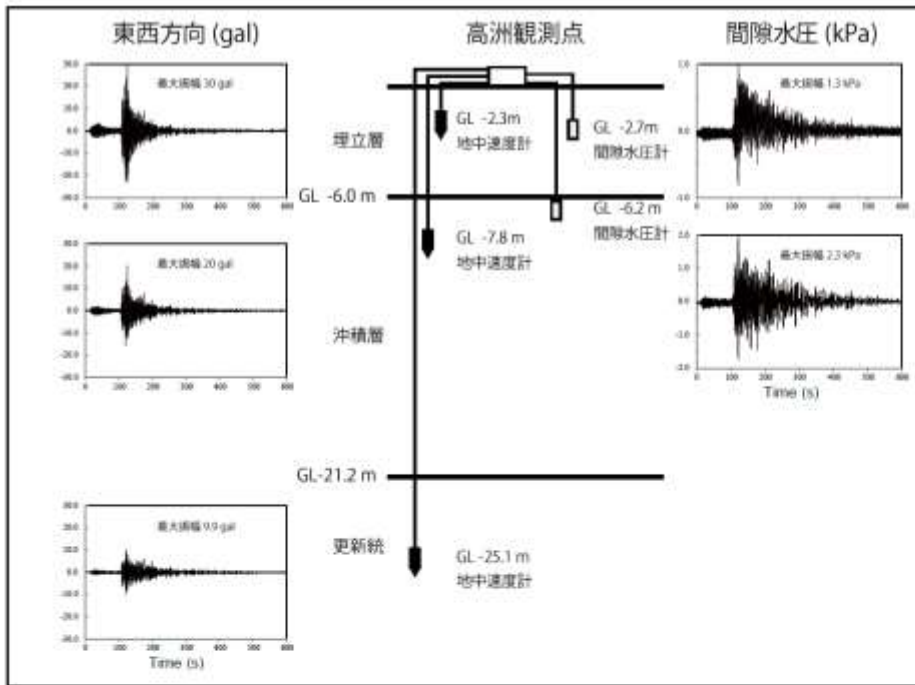
観測地点



2011年東北地方太平洋沖地震時の噴砂の分布とその集中帯
(千葉県環境研究センター, 2011) に加筆

(「液状化-流動化について 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Ⅱ (千葉県環境研究センター, 2016)」より)

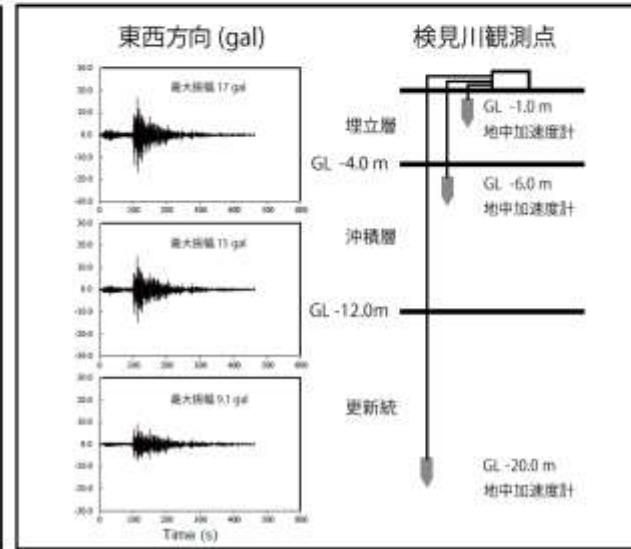
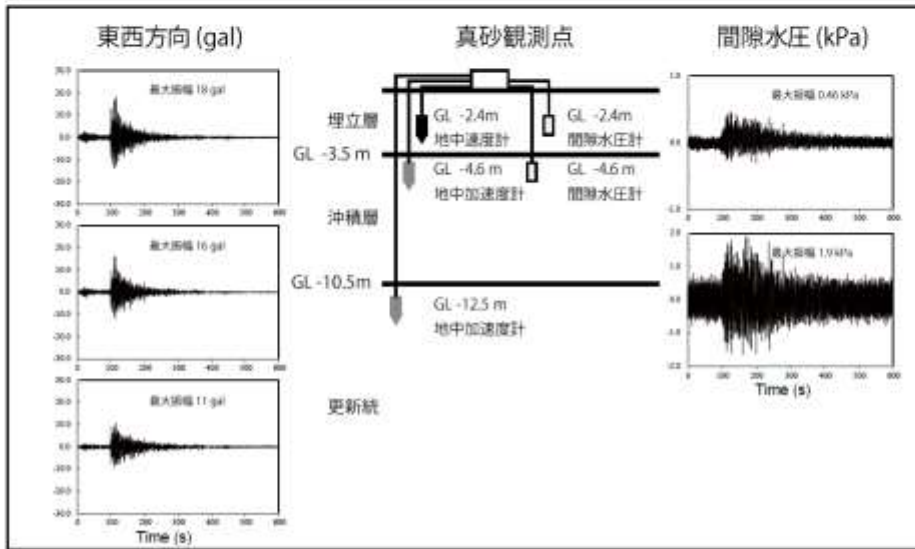
沖積層が厚い埋立地



各観測点の装置概要並びに
加速度波形（東西方向）及び間隙水圧

更新統の地層中での揺れの強さはほぼ
同じであるが、沖積層や人工地層が厚く
なると揺れが大きくなる。

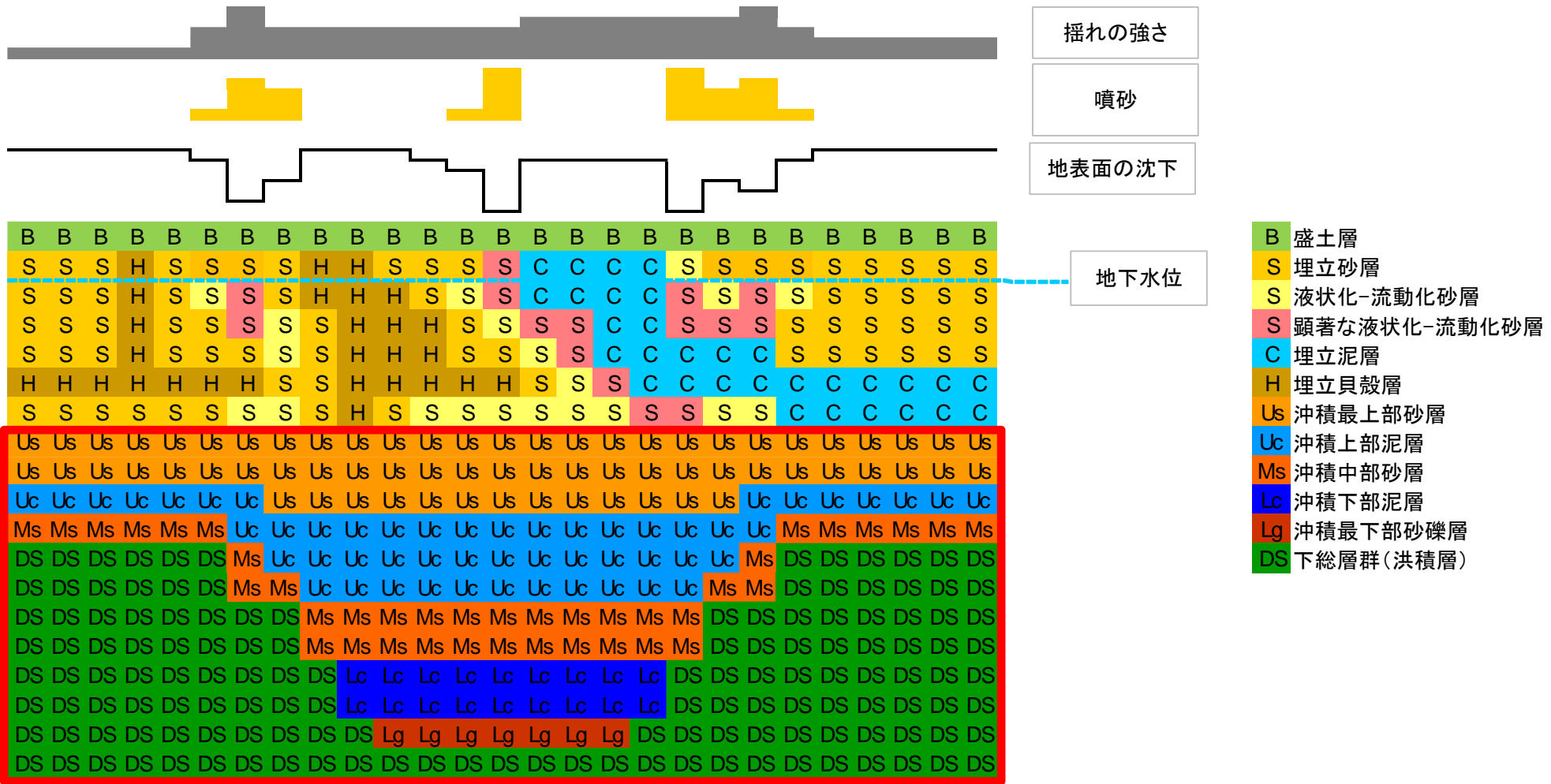
沖積層が薄い埋立地



2015 年小笠原諸島西方沖地震時の地中地震・間隙水圧観測結果

（「液状化・流動化について 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Ⅱ（千葉県環境研究センター，2016）」より）

液状化－流動化履歴→沖積層の地質構造と人工地層の地質構造を考慮 →より精度の高い予測

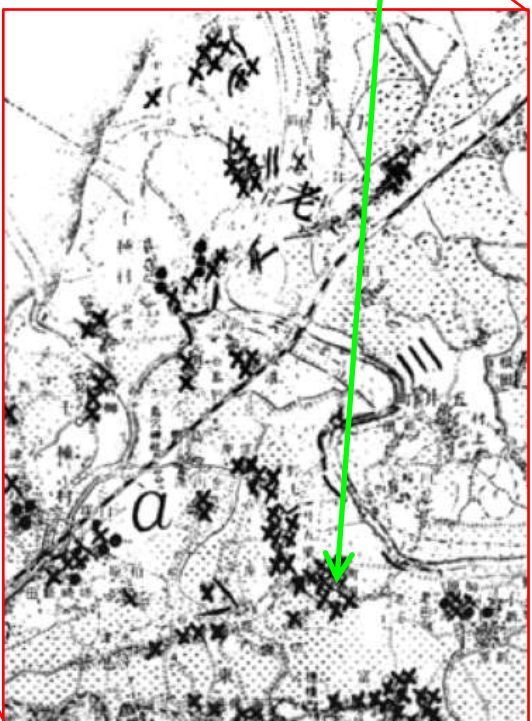
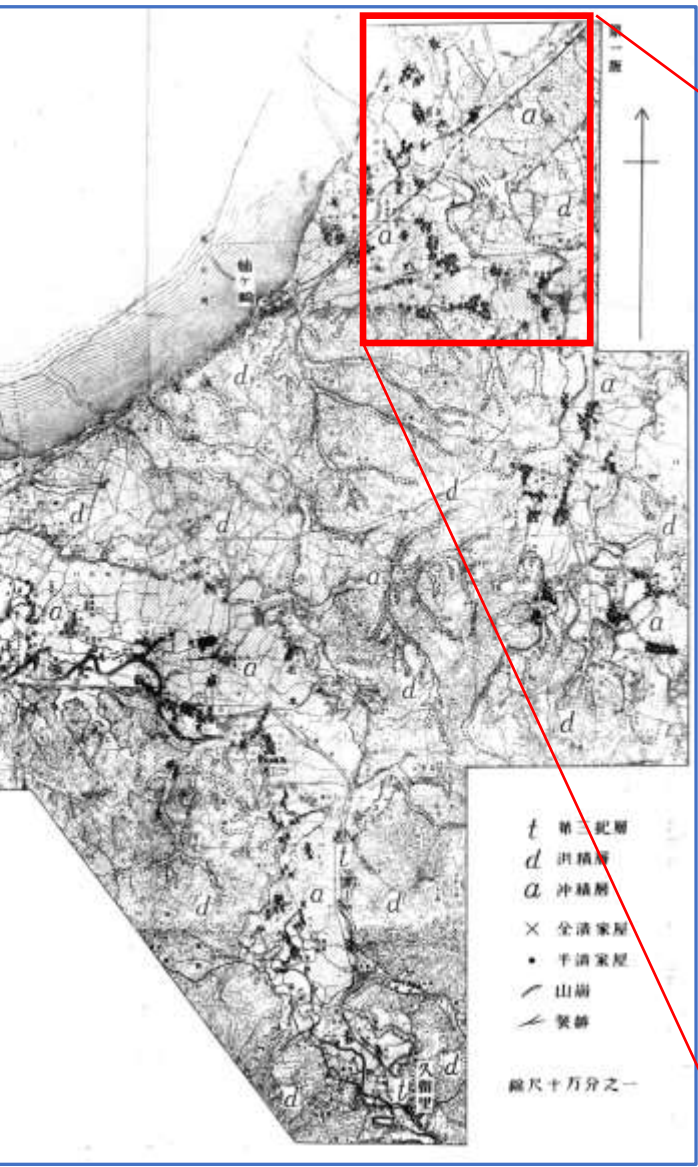
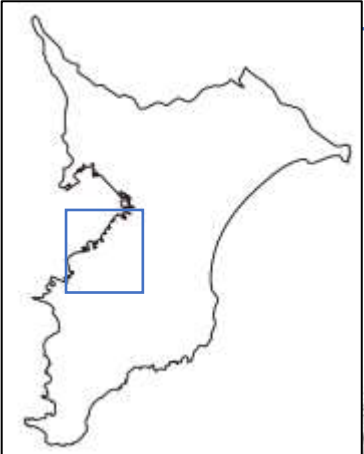


(「東京湾岸埋立地北部の沖積層の岩相と人工地層中の液状化－流動化部分(風岡ほか, 2017)」より)

2011年東北地方太平洋沖地震での 液状化－流動化被害の特徴

- 太平洋沖地震では、**サンドポンプ工法を中心とした人工地層分布域(埋立地)を中心に、発生。** →人工地層の形成過程が被害に影響
- 液状化－流動化現象は、**斑状分布・帯状分布**をなす。人工地層・沖積層の厚さや人工地層の**砂層・泥層の分布**が影響。
- **人工地層や沖積層の地質構造の影響が、揺れや被害に影響**
- 昭和62(1987)年千葉県東方沖地震(東方沖地震)よりも北部に被害が集中。**再液状化－流動化が広く確認。**
- 液状化－流動化の発生した埋立地内で、揺れが少ないところが存在。
- 液状化－流動化の発生した埋立地内で、2024年現在でも地盤の沈下が続いている場所が存在。

7. 1923年関東地震時に震度6強～7と強く揺れた沖積層内の液状化-流動化現象の実態解明が必要



「関東地震調査報告 第二（地質調査所，1925）」より