

## 液状化による市街地の戸建て住宅などの 液状化被害と予防

1. 市街地で生じる種々の液状化被害と避難時のリスク
2. 液状化が発生するメカニズムと液状化し易い地盤
3. 埼玉県における過去の地震時の液状化被害
4. 液状化による戸建て住宅のめり込み沈下や傾斜のメカニズム
5. 液状化により生じる戸建て住宅の沈下量と傾斜角の推定方法
6. 戸建て住宅の液状化対策方法
7. 地区内の住宅・ライフライン・道路の全体を対策する方法

1

東京電機大学 名誉教授  
安田 進



### 1. 市街地で生じる種々の液状化被害と避難時のリスク

#### (1) 振動台を用いた液状化の実験例



2


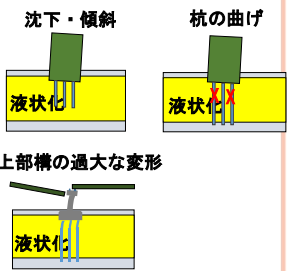
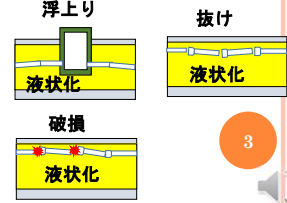


## (2) 液状化により生じる被害

**直接基礎の構造物**：地表に建てられた建物やタンクなど種々の構造物は**自重により沈下**する。

**杭基礎の構造物**：杭先端地盤が液状化すると沈下する。また、先端は液状化しなくても表層が液状化すると**水平方向の地盤反力が減少**し、水平方向に大きく変形し、杭が破損したり、上部の橋桁が落橋する。

**地中構造物**：地中に埋まっているマンホールや防火水槽、下水道管など軽い構造物は**浮き上がる**。“ドロ水”の単位体積重量は水より重く、 $17\sim 19\text{kN/m}^3$ もあるため、コンクリート製の構造物でも中に空洞があれば浮き上がる。

構造物	被害形態
直接基礎構造物	沈下・傾斜 
杭基礎構造物	沈下・傾斜 杭の曲げ 上部構の過大な変形 
地中構造物	浮上り 抜け 破損 

## 被害事例



## 杭基礎構造物の水平方向変位・変形

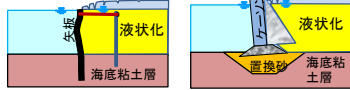
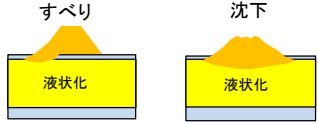
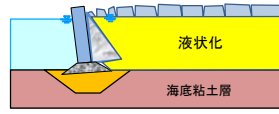
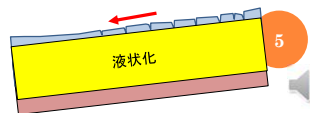
1964年新潟地震



## 下水道管の浮上りと抜け

2004年新潟県中越地震



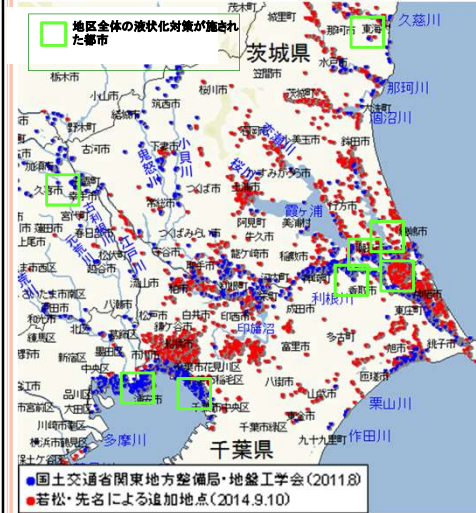
<p><b>岸壁や護岸および背後地盤：</b>背後の地盤が液状化すると岸壁や護岸に加わる<b>土圧が増える</b>。また基礎下の地盤が液状化すると支持力がなくなる。これらにより岸壁や護岸が海や川に向かって孕みだす。</p> <p><b>土構造物：</b>河川堤防やアースダム、鉱さい集積場といった土構造物では<b>地盤の強度やせん断剛性が減少</b>するため、滑ったり沈下する。</p> <p><b>岸壁や護岸および背後地盤：</b>岸壁や護岸の孕み出しにより液状化した地盤が<b>水平方向に流動し</b>、直接基礎の構造物の基礎は引き裂かれ、杭基礎の変形、埋設管の引っ張られて被害が生じる。</p> <p><b>緩やかな傾斜地盤：</b>岸壁・護岸背後地盤の流動と同様に各種構造物の被害を甚大にする。</p>	<p>構造物</p> <p>被害形態</p>	<p>矢板の孕み出し ケーソンの前傾・沈下</p> 
	<p>土構造物</p>	<p>すべり 沈下</p> 
	<p>地盤全体の流動</p>	<p>岸壁・護岸背後地盤</p>  <p>緩やかな傾斜地盤</p> 





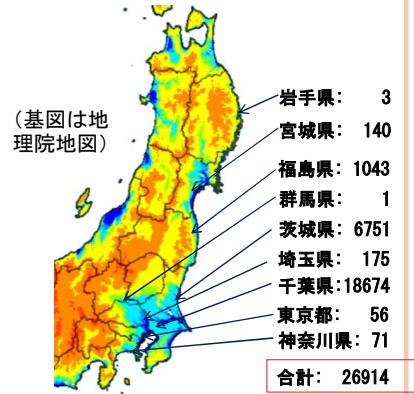
### (3) 2011年東日本大震災での液状化による市街地の被害

#### 関東地方の液状化発生地点



(若松・先名による)

#### 東日本大震災での液状化による戸建て住宅の被害数



\* 国土交通省都市局調べ(平成23年9月27日調査時点)

\* 津波により家屋が流出した場合等については、上記被害件数に計上されていない。

#### 東京湾岸の戸建て住宅の被害状況



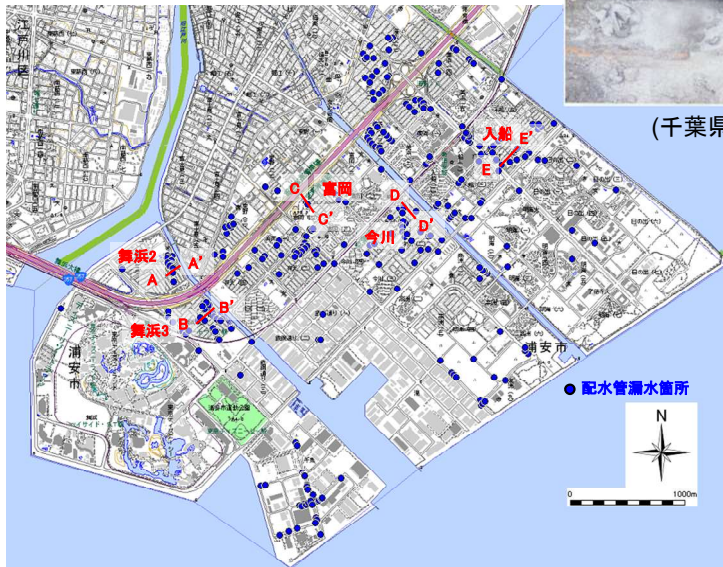
8

東京湾岸の市街地の平面道路の被害状況

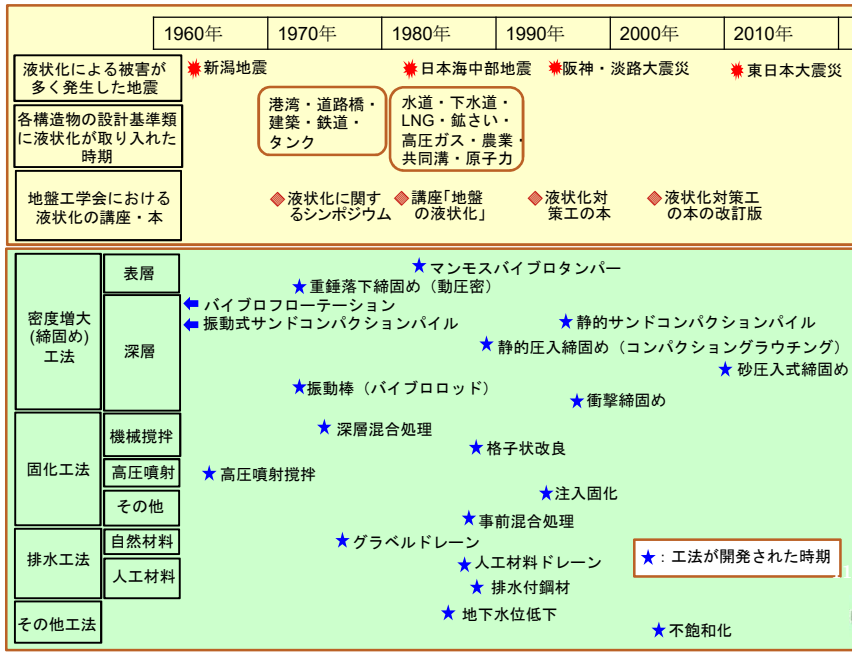


東京湾岸の上下水道、ガス、通信の地中埋設管の被害例（浦安での配水管被害箇所）

浦安市内の配水管漏水箇所



#### (4) 液状化を設計に取り入れた時期と対策工法の開発経緯



#### (5) 市街地で認識が必要な液状化によるリスク

##### 戸建て住宅の被害

☆橋などの大型構造物は液状化対策が施されるようになっているが、戸建て住宅は液状化対策を施してきていなく、現在も対策が施されない状況が続いている。

☆液状化により少し傾くだけで生活できなくなり、被災後に持ち上げて水平化する沈下修正が必要(復旧に300万円~400万円程度必要)

##### 生活道路の被害

☆生活道路は液状化対策が施されていないので種々の被害が発生する。

☆噴砂や突上げなどにより地震直後に車や人の通行でき難くなり、火災などからの避難も困難になる。

☆電柱の傾斜やマンホールの浮上りなども生じると、地震直後に緊急車両も通行出来なくなる。

##### 上下水道・ガス・電力の被害

☆液状化に対する対策はまだあまり施されていないので、液状化が発生するとライフラインが供給停止になる可能性が高い。

☆液状化していない地区に比べて被害の程度が甚大になる。そして、マンションでは建物自体は無被災でも中での生活が困難になる。

☆電力は数日で復旧できる可能性があるが、水道やガスの復旧は1ヶ月、下水道の復旧は数か月程度かかる場合も生じる。



(6)液状化により平面道路で生じる通行障害のタイミング

1) 液状化発生と同時に平面道路で生じる通行障害  
波打ち（鉛直方向） 蛇行（水平方向）



電柱の傾斜・電線の垂れ下り



波打ちや蛇行は液状化して軟らかくなったところに表面波が襲ったため？

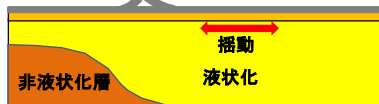
電柱の傾斜は液状化で水平・鉛直支持力が失われ、電線の荷重によるため？

13

突き上げ（横断方向、縦断方向）



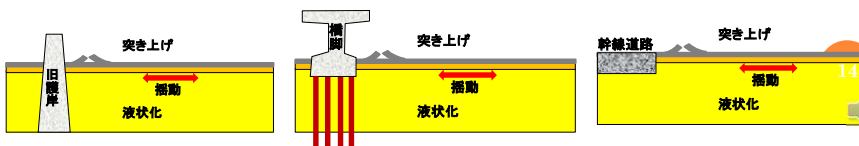
突き上げ



液状化発生後も揺すられ続けた“揺動”により、何かの境界の場所で発生



突き上げ

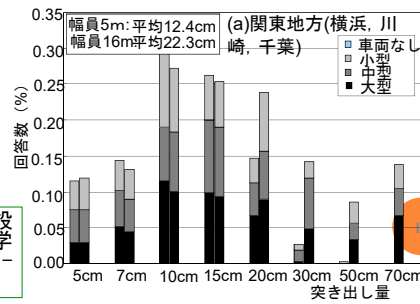


14

## 下水道マンホールの突出や埋戻し部の陥没



下水のマンホールが道路路面から飛び出した場合に消防車が通行できる限界に関するアンケート結果



本田中・中瀬仁・末広俊夫・安田進：地中埋設  
構造物の浮き上がり許容量に関する検討, 土木学  
会第57回年次学術講演会講演概要集, I -  
720, pp. 1439-1440, 2002.

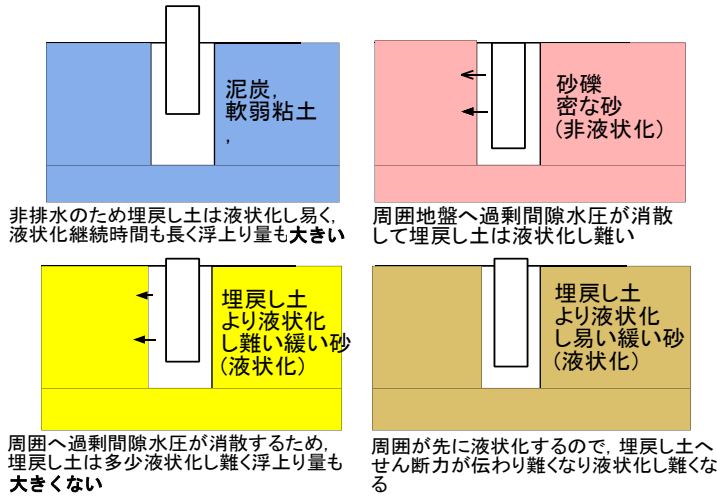
## マンホールの浮上りに関する振動台実験例





(補足)埋戻し土の液状化によるマンホールの突出に対してはハザードマップ  
が使えない理由

過去の被災事例によると、液状化が発生しない軟弱粘性土地盤で大きく  
浮き上がっている！



2) 液状化発生から数分後に平面道路で生じる通行障害

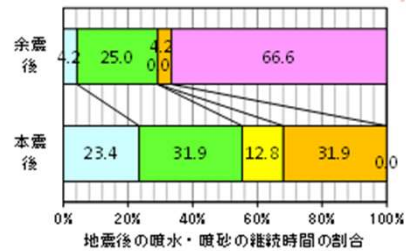
噴砂・噴水



☆液状化した層が圧縮するときに出た水が地表へ噴出する。さらにその噴出の時に砂も一緒に排出して噴砂となる。

☆液状化層が圧縮して地盤が沈下する。  
☆噴水・噴砂はしばらくの間路面に残る。

浦安での噴水・噴砂の継続時間に関する住民へのアンケート結果



〈有効回答数〉本震後=47/余震後=24

道路の沈下による建物や橋梁との段差



都市部の住宅密集地では地震によって発生する火災から、海岸部での津波から、の避難に液状化が通行障害を起こす。

一般の自治体では、液状化ハザードマップに関係なく、避難路・避難場所の設定が別個に行われている。

→自治体で定める避難計画に液状化による通行障害を考慮する必要あり

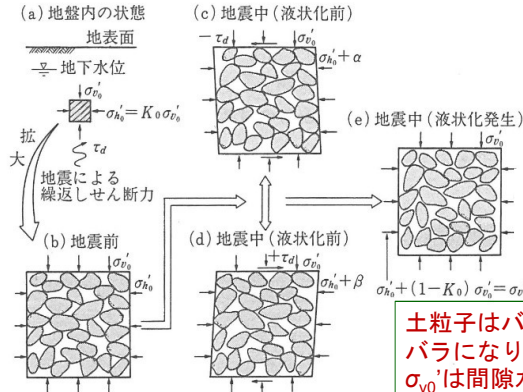
東京下町で1923年関東地震の際に液状化した地区の例



19

## 2. 液状化が発生するメカニズムと液状化しやすい地盤

### (1) 液状化発生メカニズム



$\sigma_{v0}'$ は土粒子間力で支え、間隙水圧は静水圧

土粒子の噛み合わせが徐々にはずれ、 $\sigma_{v0}'$ は土粒子間力と間隙水圧で分担

土粒子はバラバラになり、 $\sigma_{v0}'$ は間隙水圧だけで支えて過剰になる→地表に砂とともに噴出→圧縮により地盤が沈下

#### 液状化が発生する条件

- ① 地下水位以下の、
- ② 緩く堆積した、
- ③ 砂層に、
- ④ 震度5弱程度以上の地震が襲った場合

地下水位が深いと液状化する層が薄くなったり、深い層が液状化しても地表まで過剰間隙水圧が伝播してこなくて構造物が被害を受け難い。

#### 液状化による被害が発生しやすい条件

- ① 地下水位が浅く、
- ② 緩く堆積した、
- ③ 砂地盤に、
- ④ 震度5弱程度以上の地震が襲った場合

### (2) 国土交通省で2021年2月に公表された「リスクコミュニケーションを取るための液状化ハザードマップ作成の手引き」における液状化しやすい微地形

[https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi\\_tobou\\_tk\\_000044.html](https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_tk_000044.html)

#### 手引きが作成された背景

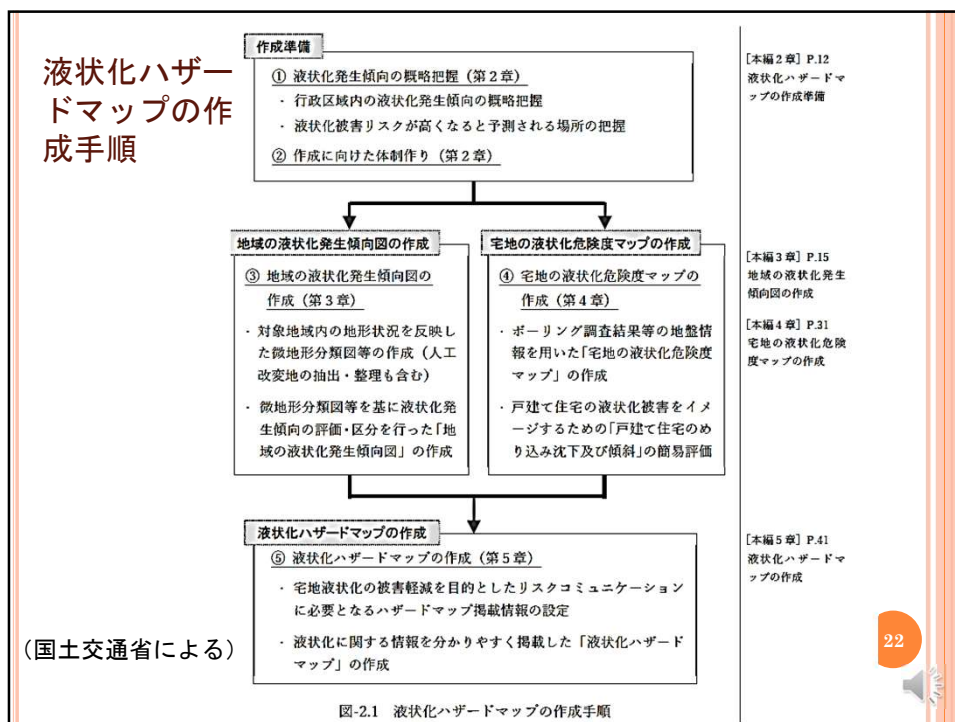
##### 戸建て住宅の液状化対策の現状

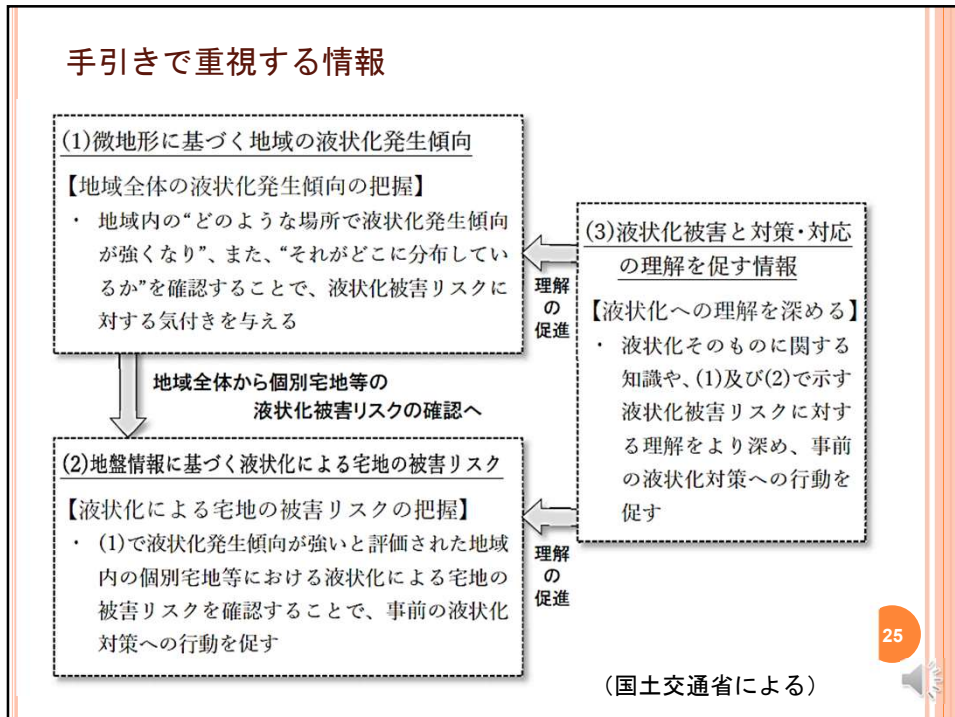
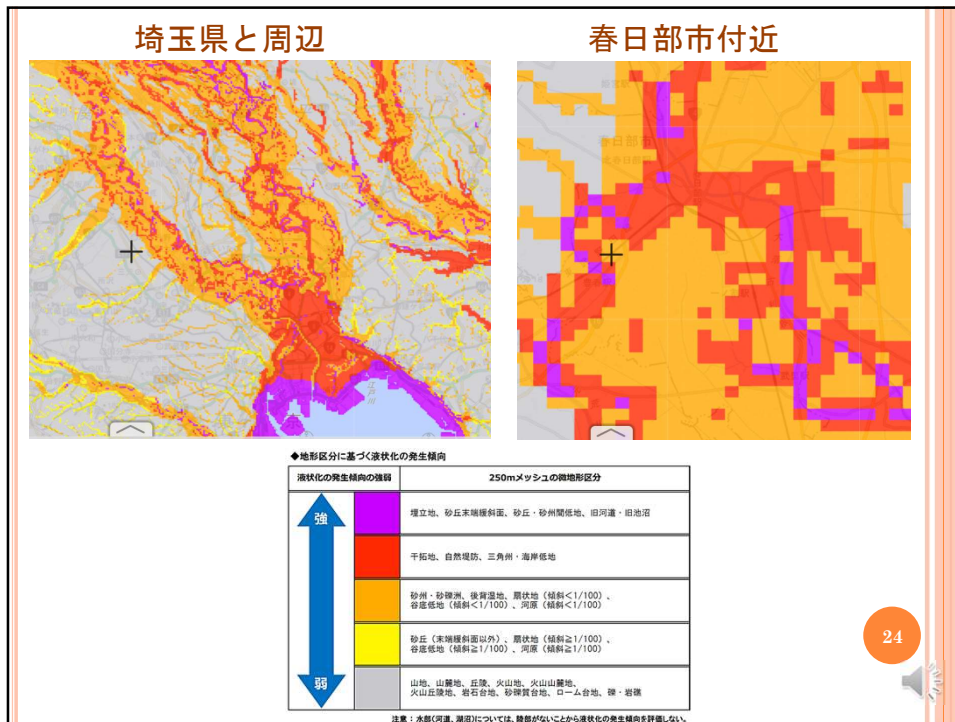
- ☆ 東日本大震災で約27000棟の被害が生じたにもかかわらず、その後建てられている戸建て住宅でもほとんど液状化を考慮した対策が施されていない。
- ☆ 既設はもとより新築の戸建て住宅に対する安価で有効な液状化対策工法の開発が遅れている。

##### 戸建て住宅の液状化対策が進まない理由

- ☆ 液状化による被害（少しでも傾斜するとめまいや吐き気がして生活できないや、避難路が通れないなど）が認識されていない。
- ☆ 現行の液状化ハザードマップではどんな被害が発生するか実感がわからない。戸建て住宅に特化した液状化ハザードマップが必要である。
- ☆ 液状化に対する行政、住宅メーカー、住民間のリスクコミュニケーションがとれていない。







## 微地形に基づく地域の液状化発生傾向図の作成方法

表-3.4 手引きで標準とする微地形の「液状化発生傾向の評価区分」

液状化発生傾向の評価区分	微地形（自然地形）及び人工改変地	
強	微地形(自然地形)	旧河道、砂丘縁辺部、砂丘間低地・砂州間低地
	人工改変地	埋立地※1、砂利(砂鉄)採取後の埋戻し地、低地(湿地)上の盛土造成地※2
	微地形(自然地形)	三角州・海岸低地、自然堤防、砂州上・砂丘上の凹地
	人工改変地	干拓地※3、浅い谷や凹地の盛土地、谷埋め盛土造成地
弱	微地形(自然地形)	砂州・砂礫洲、氾濫低地、後背低地
	微地形(自然地形)	砂丘(砂丘縁辺部、砂丘間低地を除く)、扇状地※4、谷底低地
	微地形(自然地形)	山地・丘陵、山麓堆積地形、台地※5

※1 微地形分類（自然地形）における「旧水部（埋立地）」を含む。  
 ※2 谷底低地を除く、後背低地や氾濫低地、三角州・海岸低地、砂丘間低地の低地面や干拓地上に盛土した造成地。  
 ※3 微地形分類（自然地形）における「旧水部（干拓地）」を含む。  
 ※4 盛土造成されていない「扇状地上の旧河道」を含む。  
 ※5 盛土造成されていない「台地上の浅い谷・凹地」を含む。

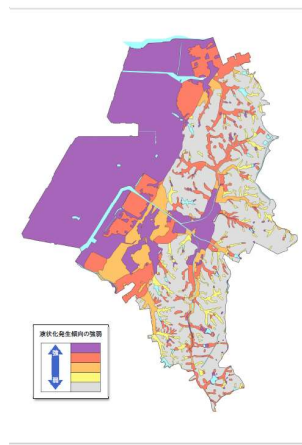


図-4.3.26 液状化発生傾向図（B市）

（国土交通省による）

<過去の地震で液状化による被害が多く発生している場所の代表例>

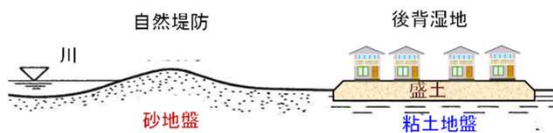
- 臨海部
  - 大河川沿いの沿岸地
  - 海岸砂丘の裾、砂丘間の低地
  - 埋立地
  - 低地（湿地）上の盛土造成地
  - 砂利（砂鉄）等採取後の埋戻し地
  - 丘陵地や台地の谷埋め盛土造成地
- } 人工改変地

（国土交通省による）

### (3) 人工改変地における被害事例と課題

#### 低地（湿地）上の造成地の被害例

2004年新潟県中越地震で被災した家屋



（久喜市南栗橋の事例は後述します）

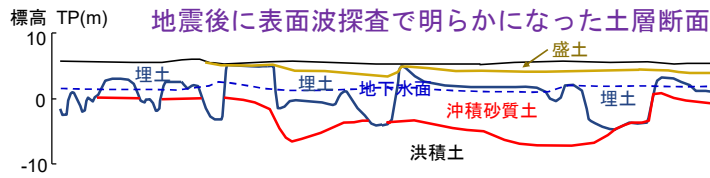




砂利（砂鉄）等採掘後の埋戻し地の被害例



2011年東日本大震災により神栖市で被災した家屋



狛江市の多摩川沿いの砂利の掘削跡地

今昔マップでの新旧地形図の比較



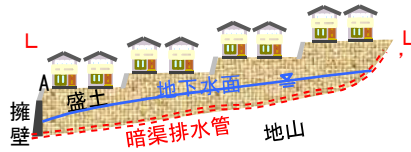
狛江市市史での砂利掘削跡の表示 液状化のハザードマップ（東京都）

砂利掘削跡の池  
（昭和28年「東京都多摩郡狛江町全図」に加筆）グレー網掛け部分は砂利掘削跡の池（砂利穴）



液状化ハザードマップには記載されていない

丘陵地や台地の谷埋め盛土造成地の被害例



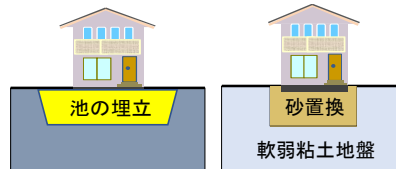
2011年東日本大震災により東海村で被災した家屋



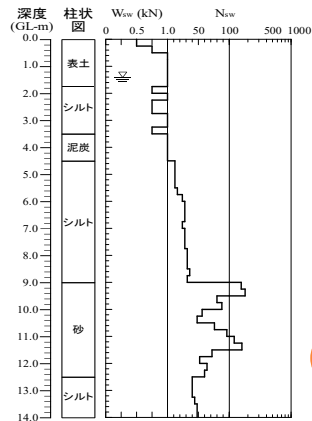
局所的な埋立土で置換え土の被害例

☆池や水路の埋立地といった狭い人工改変地

☆軟弱粘性土地盤の宅地部分を掘削して砂で置き換えた宅地



2003年十勝沖地震で置き換えた砂が液状化して被災した住宅



### 人工改変地の大きな課題

地震時に液状化被害を受け易い宅地の大半は人工改変地

- ☆低地の埋立地や田んぼ上の盛土地など
- ☆丘陵地や台地の谷埋め盛土地

ところが人工改変地は造成後に地盤調査が行われない

- ☆造成完了検査で地盤調査が行われない。
- ☆戸建て住宅建設時には表層の支持力の確認のためにSWSが行われる程度。
- ☆杭基礎の中層建物建設にあたってはボーリング調査が行われるが、地盤データは公開されず、管理組合に保存されている程度。

したがって、人工改変で造成された宅地ではハザードマップに利用できる既往ボーリングデータがない！！

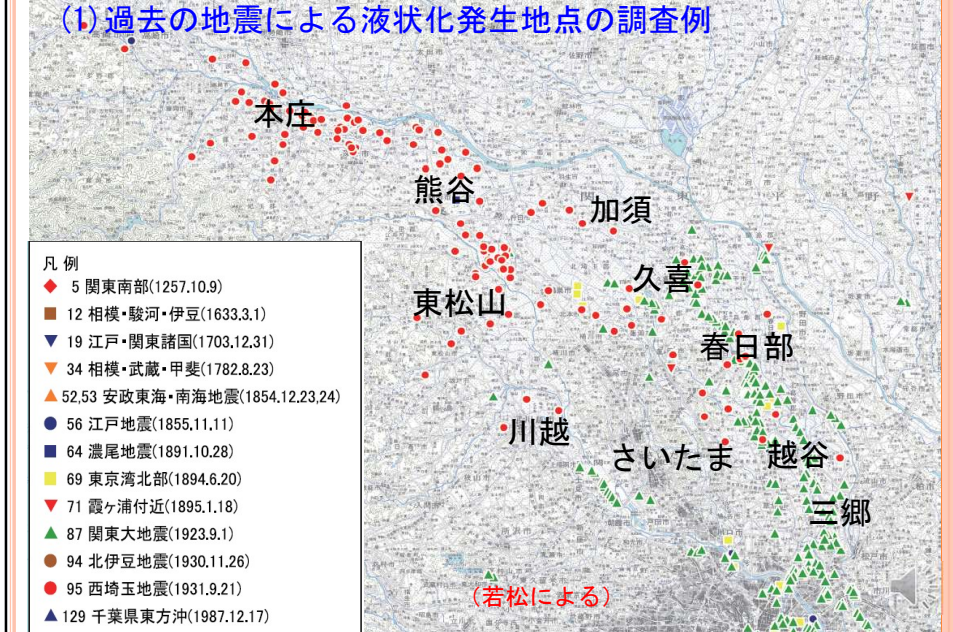
→よく見てみると液状化ハザードマップに肝心の宅地の危険性は表示されていない。



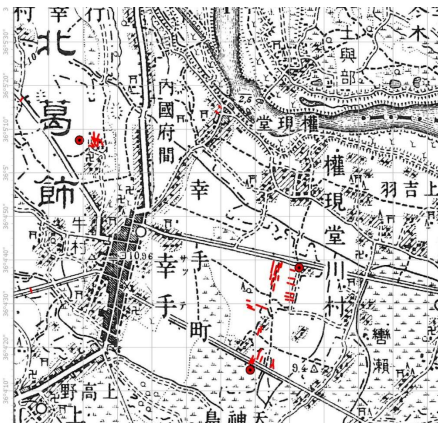


### 3. 埼玉県における過去の地震時の液状化被害

#### (1) 過去の地震による液状化発生日点の調査例



#### (2) 1923年関東大震災における埼玉県の液状化被害

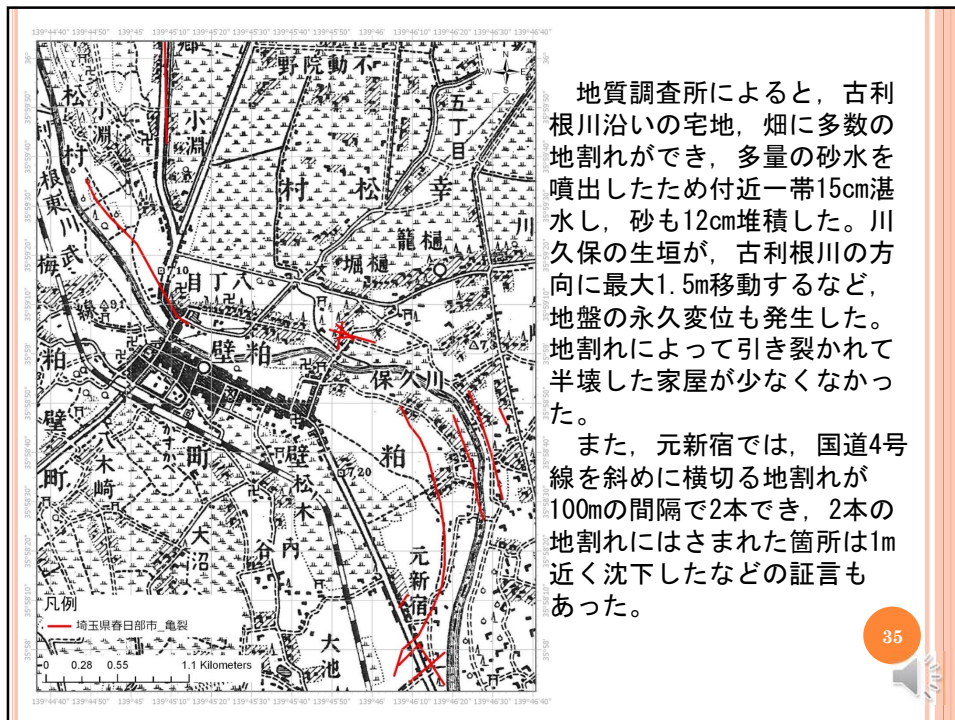


地質調査所によると、幸手の旧市街を取り巻く宅地や田畑に多数の地割れや噴砂孔を生じ、多量の砂水を噴出。

中川や古利根川沿いにも地割れが発生との証言もあった。

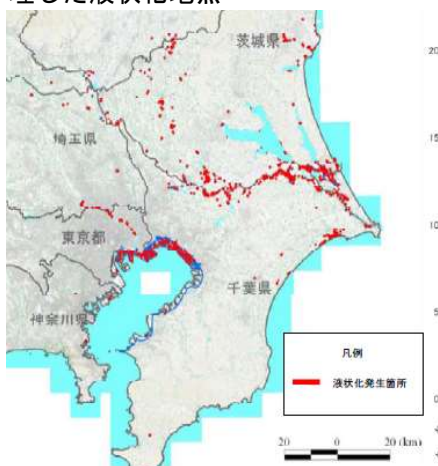


地質調査所によると、古利根川の北岸の畑、宅地、道路で川に並行な地割れ群ができた。その中でも杉戸小学校から杉戸駅にかけて大きな地割れや陥落地帯ができ、校舎などが傾斜・倒壊した。地割れや陥落地帯の幅は、最大5.4mもあり、多量の水、砂、浮石を噴出し、校庭が傾斜・倒壊した。



### (3) 2011年東日本大震災で液状化した箇所の概要

国交省関東地整と地盤工学会の共同で地震の4か月後に整理した液状化地点

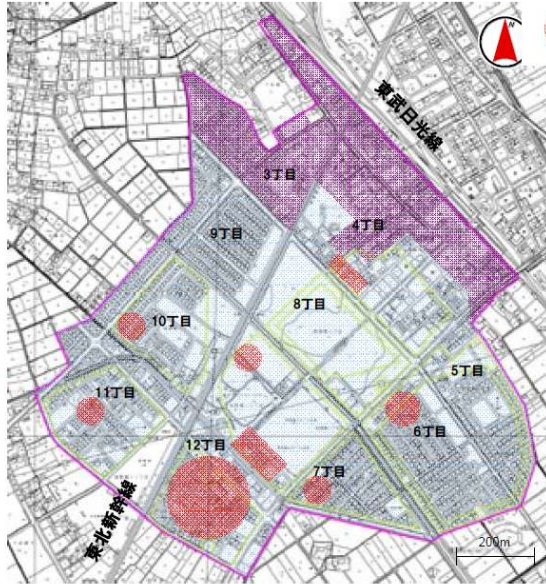


埼玉県でまとめられた液状化が発生した市町村





久喜市南栗橋の平野における盛土造成宅地で発生した液状化被害



● 2011年東北地方太平洋沖地震で液状化被害が生じた地区

ハイライト  
注釈を並

(地盤工学会による)

土地造成に用いた盛土材(現存資料に基づく推定結果)

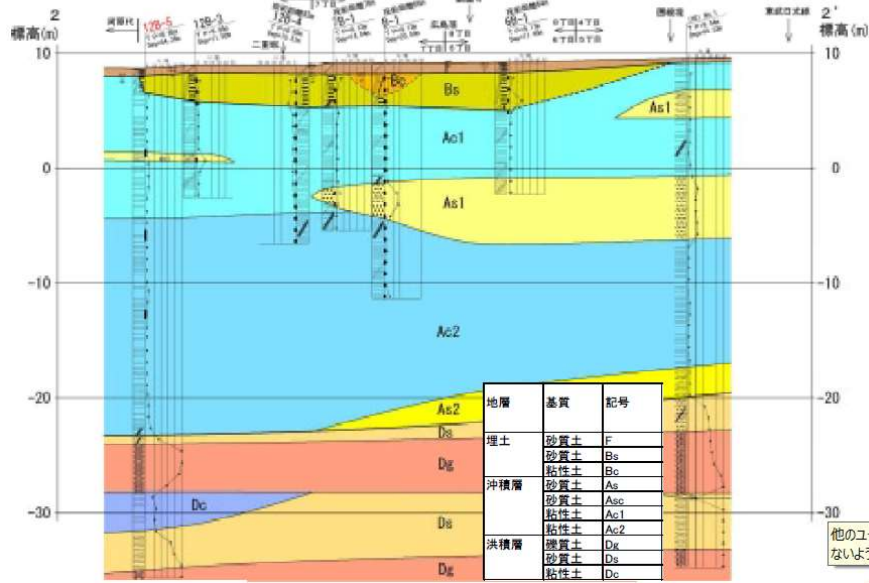
- 建設残土
- 浚渫川砂



(1か月後に撮影)



### 推定地盤断面図



他のユーザ  
ないようにも