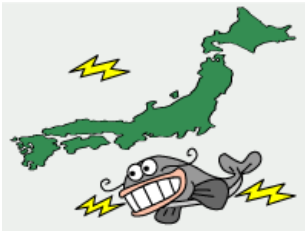




# 液状化被害とこれからの対策

～何が起って、何に備えるか～

2014.2.18 稲沢市にて



関東学院大学  
理工学部 土木学系  
規矩 大義



KANTO GAKUIN UNIVERSITY 関東学院大学 理工学部 土木学系 土木・都市防災コース



## 今日、お伝えしたいこと



液状化とはどんな現象か、どういう条件で起こるのか？

具体的にどんなことが起こるのか、起こったのか？

何を調べて、住民に何を、どのように伝えるか？

どのような対策があるのか、どのくらい効果があるのか、

費用対効果と実現可能性は？

行政の範囲、市民の心構え(どの程度の準備が必要か？)

特に 、 、 を中心に

KANTO GAKUIN UNIVERSITY 関東学院大学 理工学部 土木学系 土木・都市防災コース



## 東日本大震災の液状化被害の特徴



1. 東京湾臨海部で大規模な液状化災害  
世界最大級という形容詞がついた
2. おびただしい噴砂と住宅の沈下・傾斜  
激しい液状化が起こったのか？
3. 地域としての液状化対策は必要か、そもそも可能か  
液状化対策は公共？ 民間？



## 稲沢市周辺の地盤は



### 濃尾平野

木曾川とその支流河川に囲まれた低平地

木曾川が運んだ豊富な砂が堆積

祖父江地区の河川砂丘

市街のほぼ全域が液状化する可能性

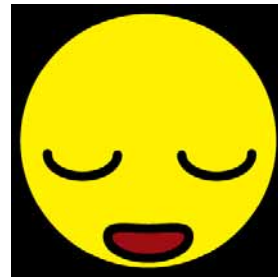


# 液状化の話の前に

## 「土」の成り立ちと性質について



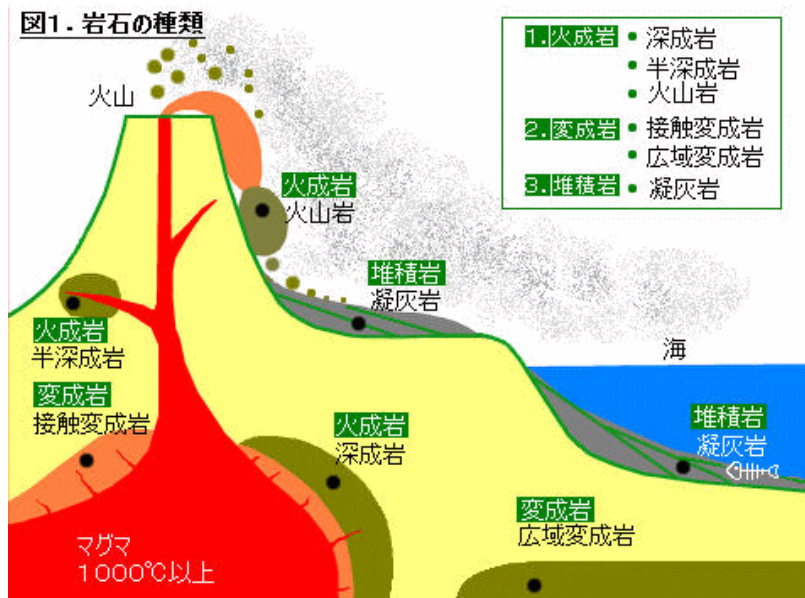
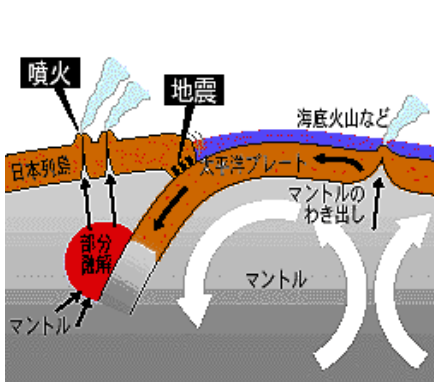
顔つき？  
性格？  
記憶力？



# 地盤が出来るまで

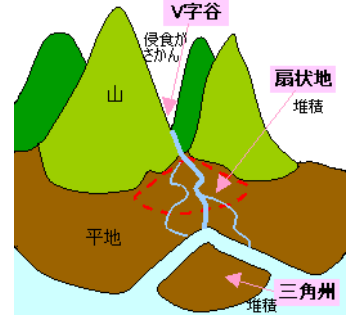
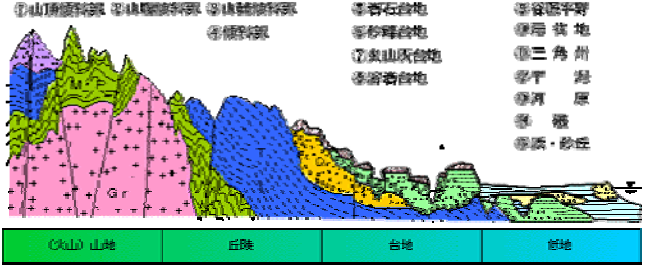


## ②模式図





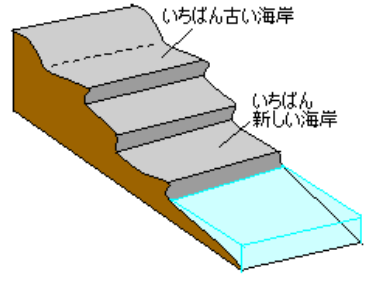
# 土の堆積環境



扇状地、三角州

粒径	6 μm		75 μm		425 μm		2mm		4.25mm		19mm		75mm		900mm	
粒径区分	粘土		シルト		細砂		粗砂		細礫		中礫		粗礫		粗石	
構成成分	粘土		シルト		砂		砂分		礫		礫分		粗石		石分	
	← 細かいで割合				← ふいこで割合											

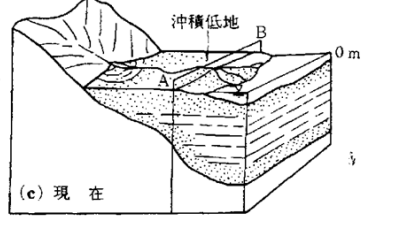
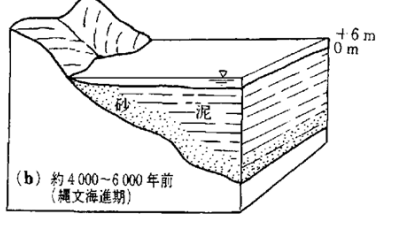
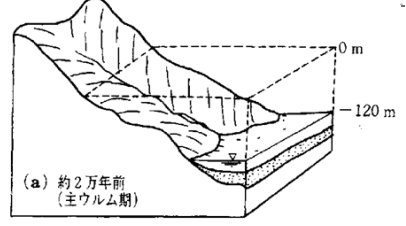
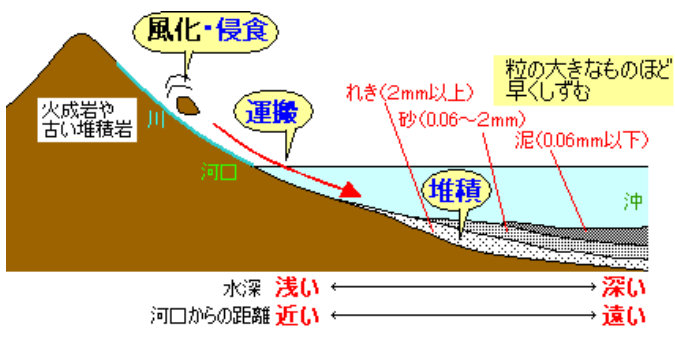
- ・粒の大きさ(粒径)で分類
- ・粒径で特徴が決まる



海岸段丘、河岸段丘



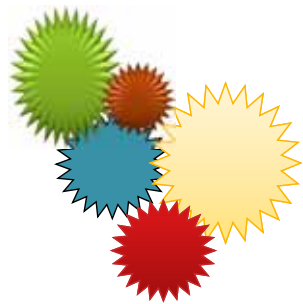
# 特徴的な地盤の堆積(河成・海成堆積)



・砂山の形を保てるのは、湿っているときだけ 粘り気がないから

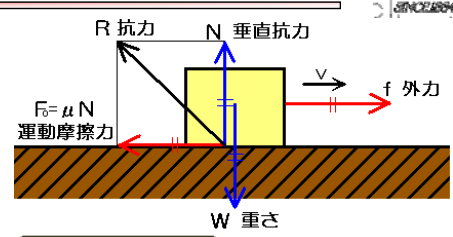


# 砂か粘土か？

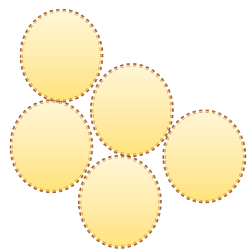


摩擦性材料

砂：  
摩擦がある  
透水性(水はけ)が高い  
粘り気は一切ない



すべり出す直前の力の釣り合い

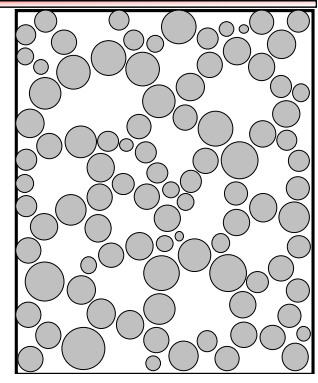
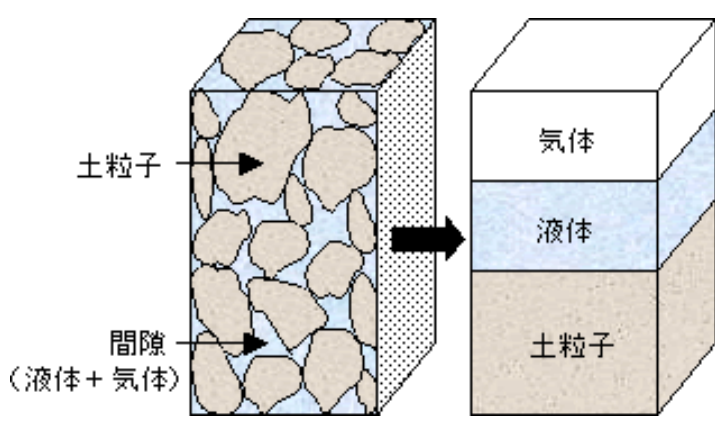


記憶性材料

粘土：  
粘着力を有する  
透水性が低い  
吸着水を溜めこむ  
(電気化学的結合)



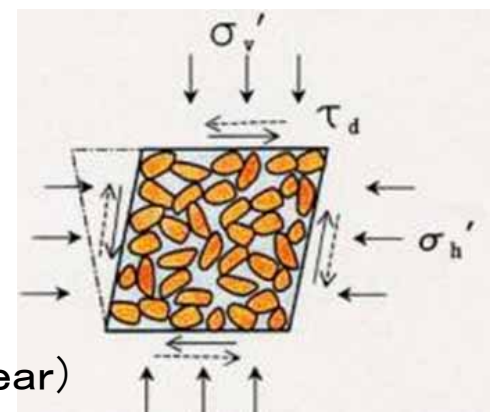
# 地盤を構成している土の構造



地震が発生すると

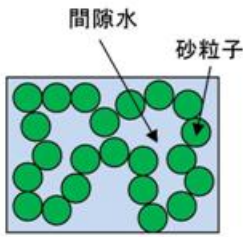
隙間の多い、粒の集合体に  
「せん断力」が働く

せん断 (shear)

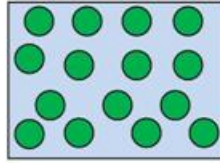




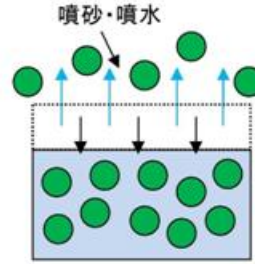
# 液状化のイメージ



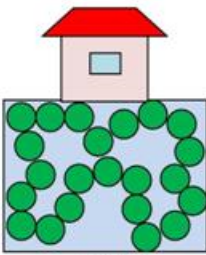
地震前  
砂粒子がかみあい  
安定している状態



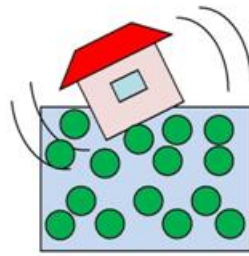
地震中(液状化)  
砂粒子のかみ合いが  
はずれ泥水化した状態



地震後  
砂粒子が再堆積し  
地盤が沈下した状態



地震前



地震中(液状化)

地面がどろどろ  
水のようになる  
構造物が傾く・沈む  
マンホールが浮き上がる  
港湾や空港に大被害



# 液状化にまつわる話





## 液状化現象とは？



美浜地区

砂に沈んだ自家用車(浦安)

**東日本大震災の液状化被害**

(浦安市・醍醐室長の講演で詳しく)

傾いてしまったアパート(浦安)



入船地区



## 液状化によって傾いた集合住宅



建物が横倒しに

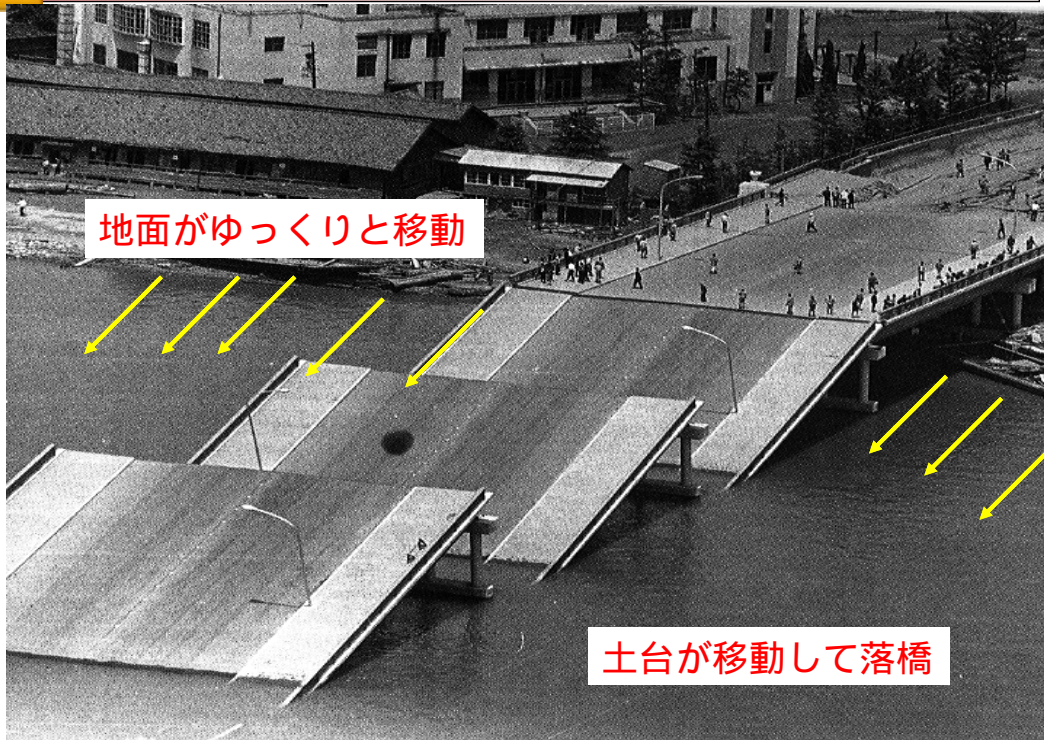
建物を支える力を失う

液状化によって「ゆっくりと」転倒した

川岸町の県営アパート(1964年・新潟地震)



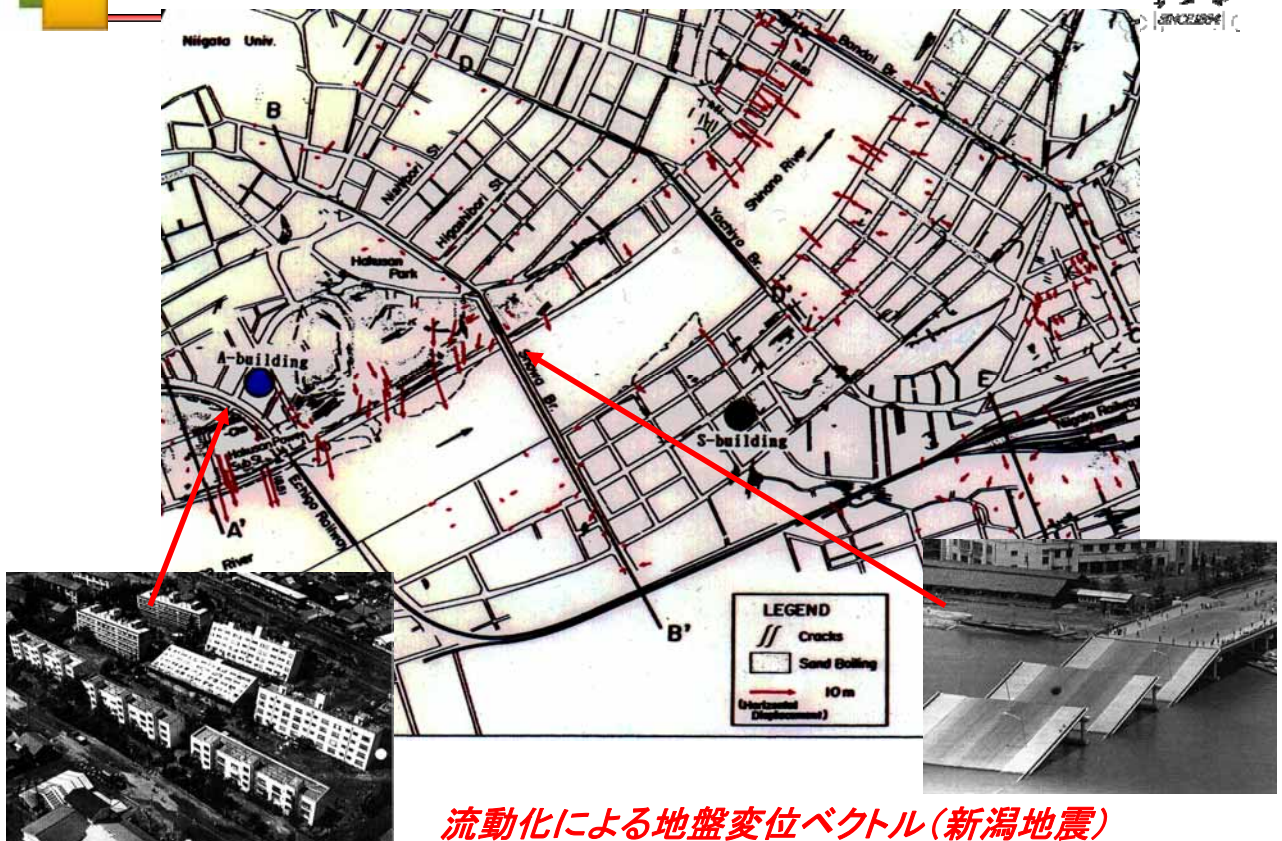
# 液状化によって地盤が流れ出した



流動化によって落橋した昭和大橋 (1964年・新潟地震)



# 地盤の流動化(側方流動)



流動化による地盤変位ベクトル(新潟地震)





## 河川堤防の被害



【1995年阪神淡路大震災】淀川河川堤防



## 液状化被害の事例



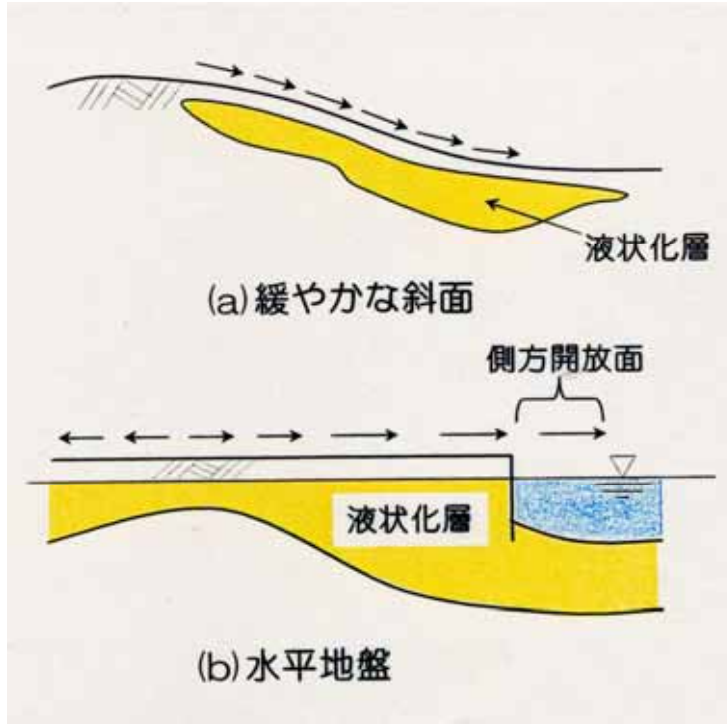
ケートン護岸の前傾, 沈下

背後地盤の流れ込み

ケートン岸壁の倒壊と背後地盤の側方流動 (阪神淡路大震災)



# 地盤の流動化



(a) 緩やかな斜面  
能代、新潟駅前

(b) 側方に開放面  
神戸、川岸町

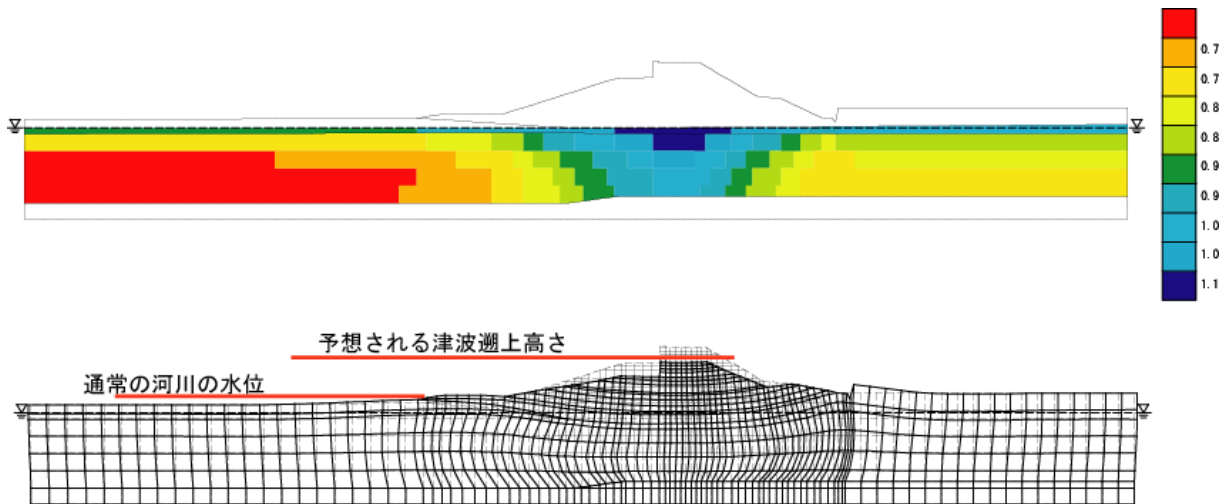
### 流動の発生要因

- ・より激しい液状化
- ・非常に緩い地盤
- ・原因となるせん断力が必要

## 流動化が生じやすい地盤のパターン



# 液状化による河川堤防の沈下と津波の遡上 (ALIDによる流動解析)



津波遡上高との比較

稲沢には海拔10m以上の地点はない  
氷室では海拔0m



# 1999 Kocaeli Deprem , Turkiye



## 液状化地盤での建物被害

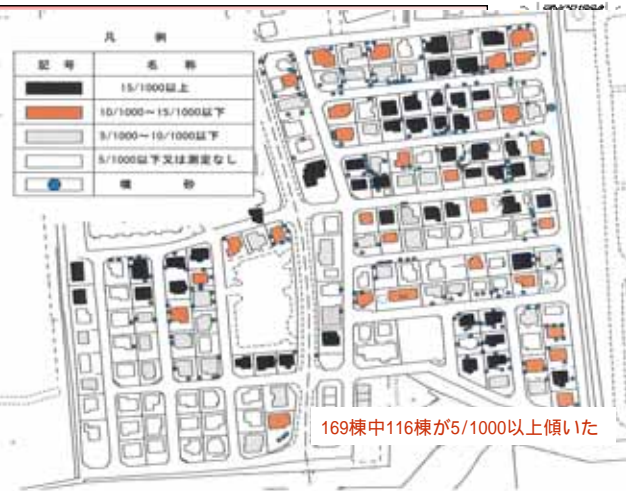
- ・サカリヤ川の氾濫平野  
Adapazarı =  
Ada(島) + Pazarı(市場)



# 液状化によって沈下し、傾いた家屋 (鳥取県西部地震)



米子市彦名新田



## 2000年鳥取県西部地震 (米子市・安部彦名団地)

- ・5/1000以上の傾き 生活不能
- ・ジャッキアップ 500万円以上の費用
- ・住民からの働きかけと自治体の理解で全壊家屋と認定



## 広域地盤沈下



KANTO GAKUIN UNIVERSITY 関東学院大学 理工学部 土木学系 土木・都市防災コース



## マンホールやタンクの浮き上がり



実は軽い!!!



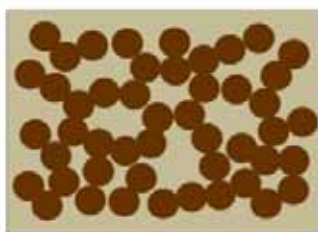
KANTO GAKUIN UNIVERSITY 関東学院大学 理工学部 土木学系 土木・都市防災コース



# 液状化のメカニズム

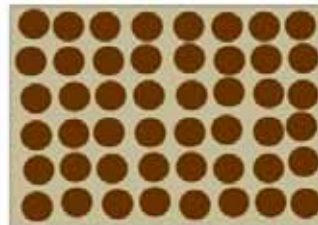


## 液状化で土粒子には何が起こる？



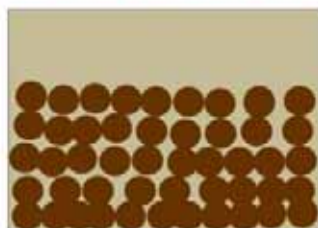
通常の地盤

砂がお互にくっついている



地震発生

揺さぶられて砂の粒同士がバラバラになる



液状化発生

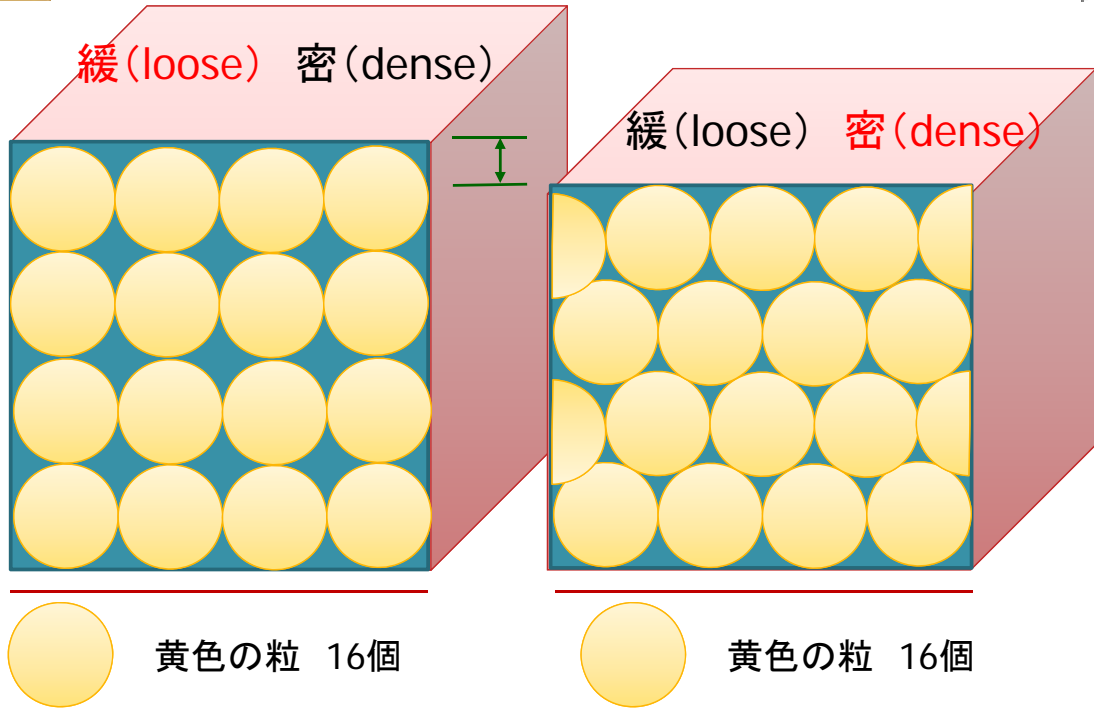
バラバラになった砂の粒が下に沈んで  
水が地面に噴き出る

土粒子がバラバラになる  
水が噴き出す  
砂が噴き出す  
水圧が発生する

沈下や変形が生じる



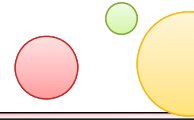
# どっちが密に詰まっていますか？



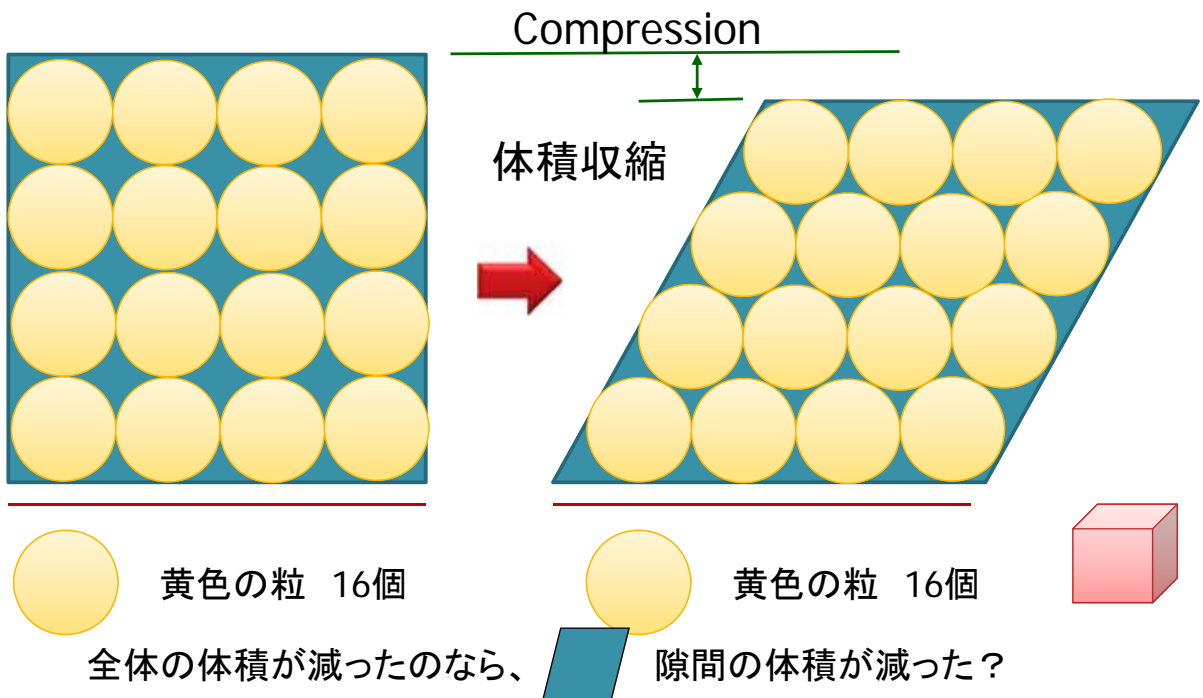
土の緩い、密の区別は、「土粒子」の詰まり具合のことを意味しています。



# せん断による(負の)ダイランシー

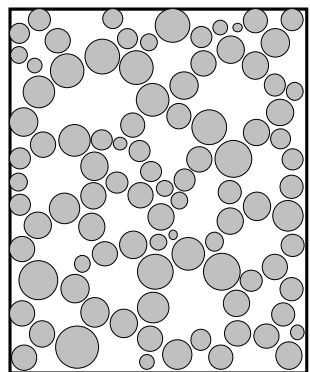


Dilatancy (dilation: 体積膨張) 特性

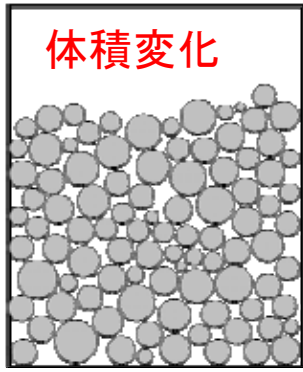




# ふわっと入れたクリープの瓶、トンカチで叩くと？



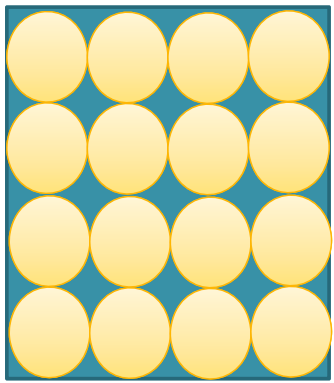
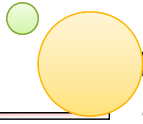
水がなければ瞬間



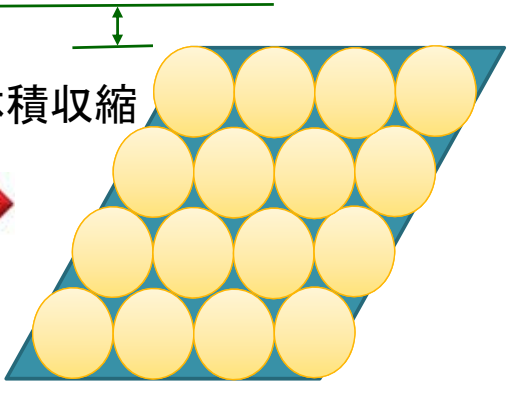
ダイランシーは粒状体特有の性質



# 水で満たされた地盤のダイランシー



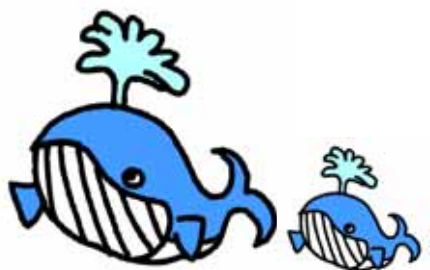
体積収縮



隙間の体積が減ったのなら、そこにあった水はどうなる？

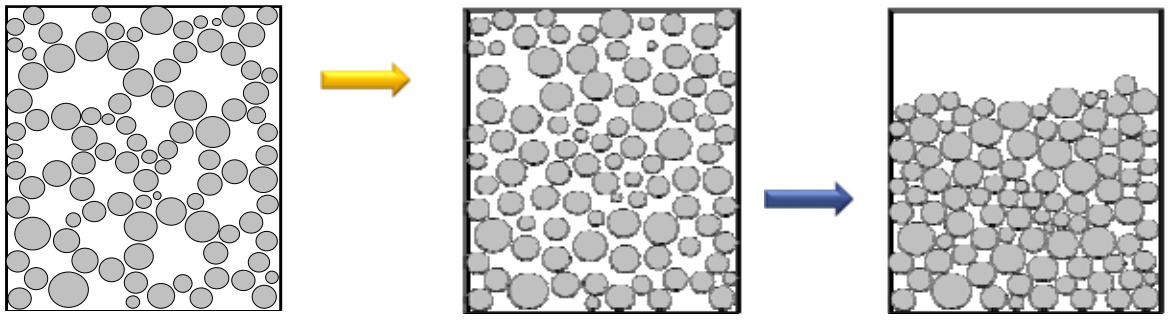
水をどんどん押し出そうとします。

でも、すぐに水を吐き出せなかったら？

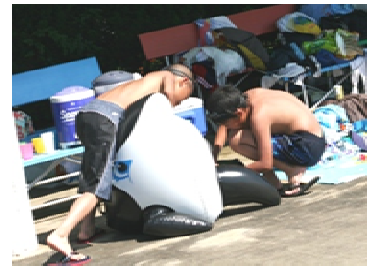




# ダイランシーに伴って水圧が発生するメカニズム



水は直ぐには排出されず、余計な水圧が発生し、粒が浮いたまま



空気(水)が瞬間に排出されるのなら、「しゃち」はすぐに「ぺちゃんこ」。  
空気(水)の孔が小さければ、結構時間がかかります。



# 液状化はどこで、なぜ起こるのか

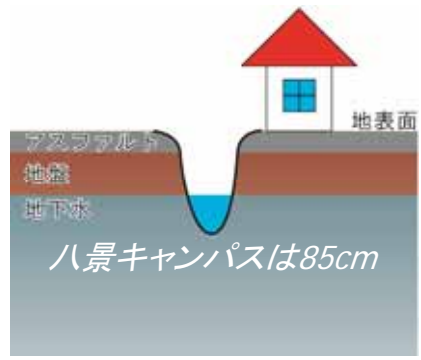


土の粒同志は摩擦と粘りで支えあっている。(砂は粘りが無い)  
・摩擦力は押さえつける力に比例

土粒子の噛み合わせが外れる 大きな地震力、緩い地盤  
・圧力(水圧)が発生することで、砂粒を押さえつけている力が消失

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

大地の下は水で満たされている  
地面を少し掘れば、水が出てくる。  
川の近く、海の近くはどこでも……



## 液状化の発生条件(従来の液状化発生条件)

- ① 大きな地震力
- ② 緩い(軟らかい)砂地盤
- ③ 高い地下水位

地形的要因が大きい





# どんな地形で液状化が発生するのか



## 液状化の好発地

- ・沖積平野
- ・現、旧河道
- ・湖沼、海岸の埋立地
- ・埋立地は典型

特に若い地盤

新潟1950年代、

神戸1970年代、

浦安1970～1980年代



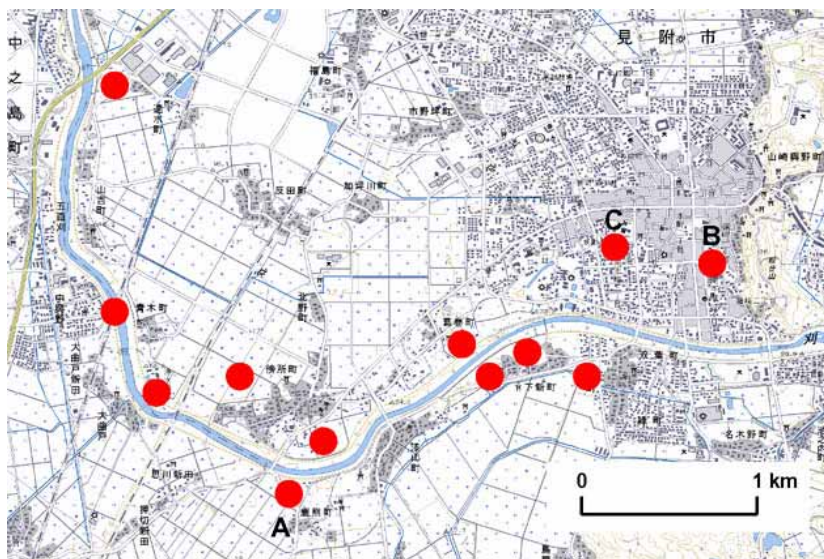
埋立地は決して海岸近くだけではない:

古い川の埋立、下水管の工事、

ため池の埋立、水田の宅地化 も立派な埋め立て



# 2004年新潟県中越地震(液状化被害)



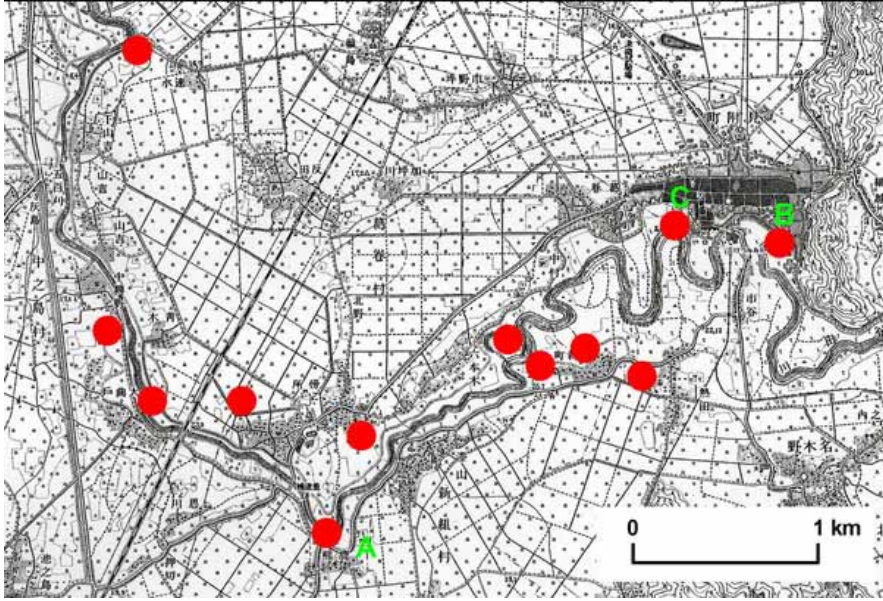
(国土地理院1/2.5万地形図「見附」)

見附市内の液状化被害地点





## 2004年新潟県中越地震(液状化被害)



標尺 (m)	土質名	N値	
		20	40
0-2	粘土	10	15
2-4	砂質シルト	10	15
4-6		10	15
6-8	粗砂	10	15
8-10		10	15
10-12	砂質粘土	10	15
12-14		10	15
14-16	粘土	10	15
16-18		10	15
18-20	10	15	

見附市・刈谷田川の旧河道と液状化地点の対応



# 東日本大震災における液状化



### <率直な感想>

「あれほど激しい液状化が生じるとは予想もしなかった」

- ・揺れを体験した人(自分自身も含め)の感想
- ・実は、液状化地点の揺れを過去に経験した人は少数

計測震度、体感ともに、  
南関東では、少なくとも「巨大地震」という揺れではない。

決して揺れが小さいという意味ではないが・・・。



## 今回の液状化の疑問点



### 1. 地震動と被害の関係

連動した地震動は初めての体験

### 2. 被害のあった地域と被害の無かった地域の違い

地形学的な歴史だけでは説明できない

### 3. これまでの予測が正しかったのか？

液状化は予想通り起こった。

被害は予想通りではなかった



# 地盤の成立過程に起因するもの



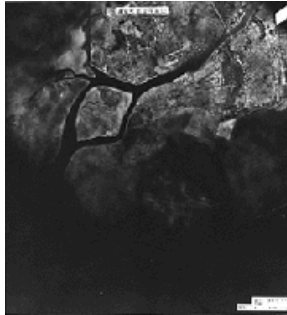
埋立地の各地区 (A~F) の位置図



第1期埋立(A, B, C地区)は昭和40年から、第2期埋立(D, E, F地区)は昭和47年より埋立開始

市域面積 : 約400ha

現在1,700ha



昭和23年



昭和46年



昭和54年

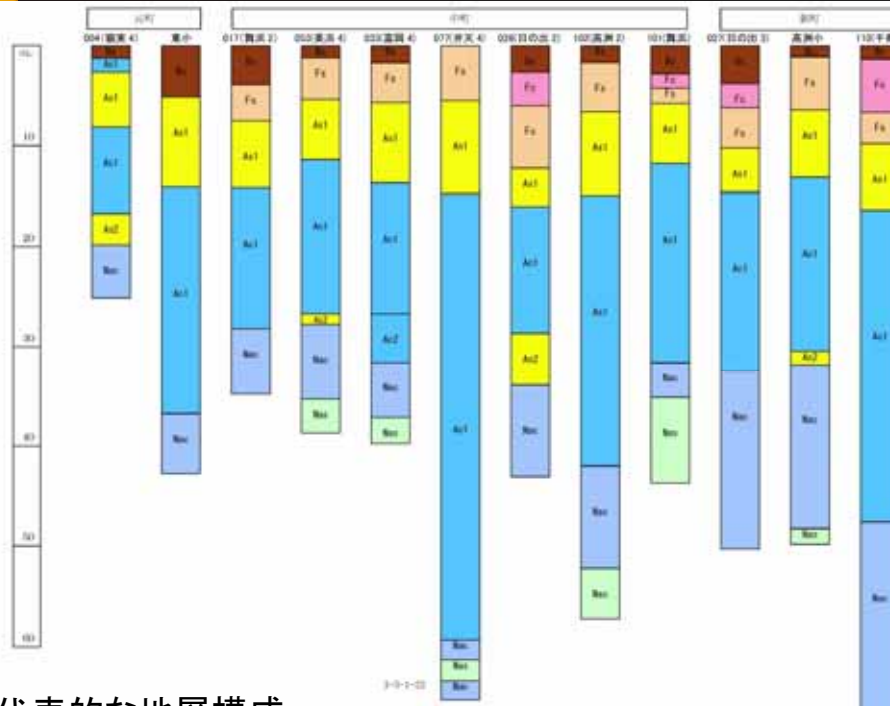


平成21年



# 地盤の堆積構造による

FS層厚と被害 AS層は液状化していない

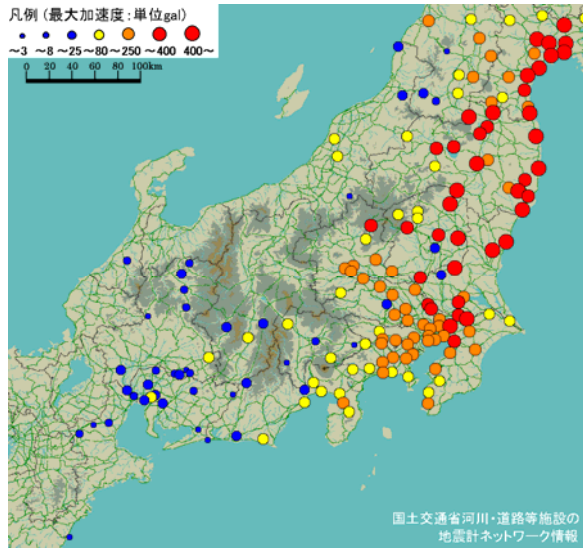


代表的な地層構成

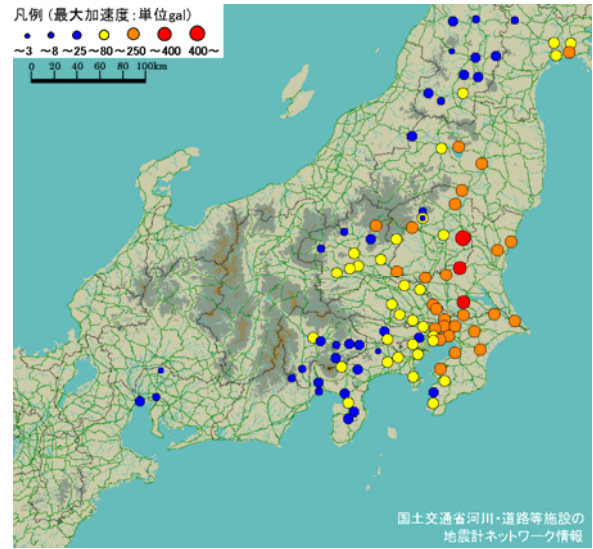
浦安市液状化対策技術検討調査委員会資料より



# 最大余震（本震が大きいと余震も大きい）



本震における最大加速度



30分後の地震における最大加速度



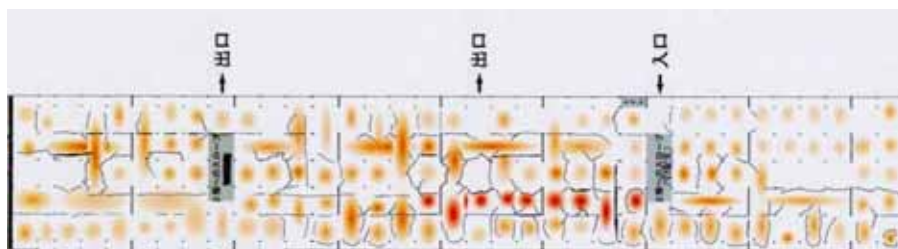
# 二度の大きな揺れが発生した(横浜市・金沢区)



本震で噴水が生じ

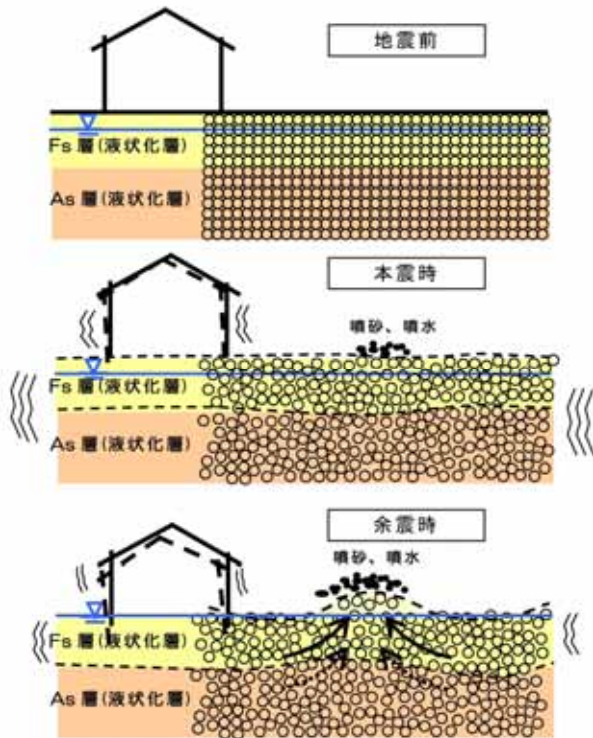


30分後の地震で床盤が一斉に沈下した





## 液状化の発生状況



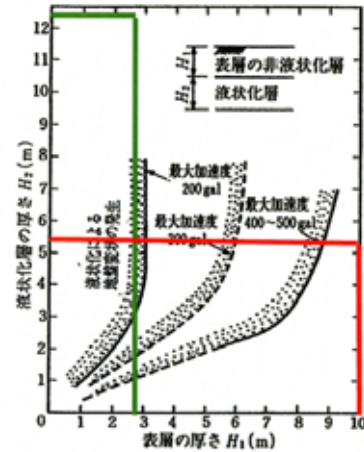
### <液状化の発生>

本震による液状化と、その後の余震による液状化は分けて考える必要がある。

### <被害>

余震を含めての被害であること

→ 今後の対策にどのような地震を想定するか



浦安市液状化対策技術検討調査委員会資料より



## 今回の液状化に対する行政の意識



1. 液状化は何故起ったのか
2. 今までの対応ではいけなかったのか？
  - 基準の見直し (繰り返し回数の効果のみ)
  - マップの見直し (地震動の見直しに直結するので..)
3. 今回の地震が、特殊なのか、次も同じ想定をすべきなのか



## 今回の液状化に対する住民の意識



1. 自分の土地は液状化しないと思っていた。
2. 液状化したのなら、それは何故？

自分の土地だけが液状化した

自治体、販売主の責任は？

← 宅地の保証（支持力が主）

3. 住宅の被害と宅地の被害の違いを許容できない

戸建て住宅なら、マンションなら……

公共構造物が被害を受けなかった場合……



**液状化の予測**  
**(液状化マップを含む)**



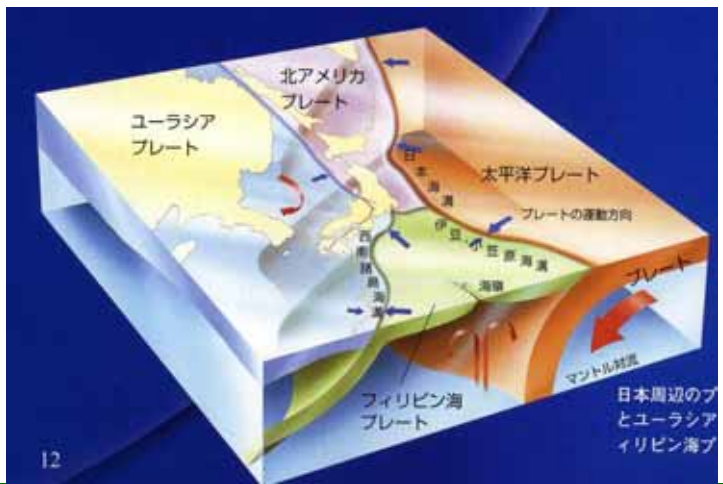
## ～巨大地震は必ずやってくる～



- 1703 元禄地震(M7.9-8.2) → 海溝型
- 1855 安政江戸地震(M6.9) → 直下型
- 1894 明治東京地震(M7) → 直下型
- 1923 関東大震災(M7.9) → 海溝型

海溝型(海洋型)地震  
50-100年単位のサイクル

活断層に起因した直下型  
1,000年単位のサイクル



## 東海・東南海・南海地震は連動するのか



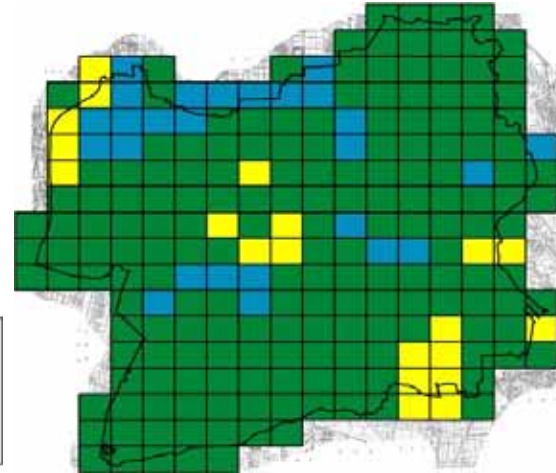
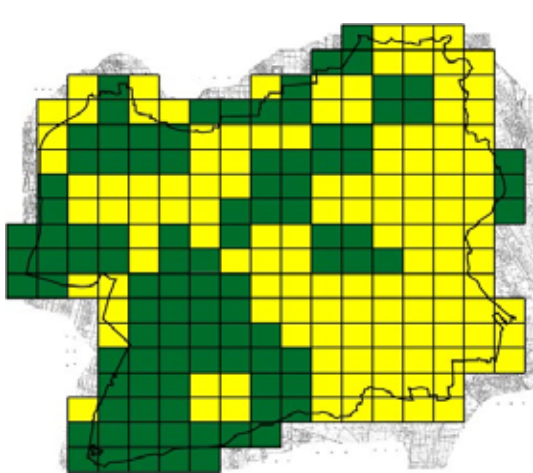
- 1) 東海地震
  - ・過去の地震の空白域
- 2) 南海地震, 東南海地震(単発・連動)
  - ・過去の記録から, 連続して or 同時に 発生することが多い
  - ・連動すれば高知沖から伊豆半島にかけて, 全エリアでエネルギーが蓄積







# 稲沢市の被害予測 (想定東海地震)



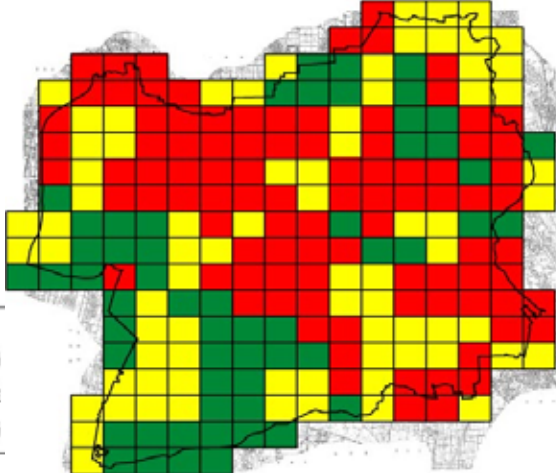
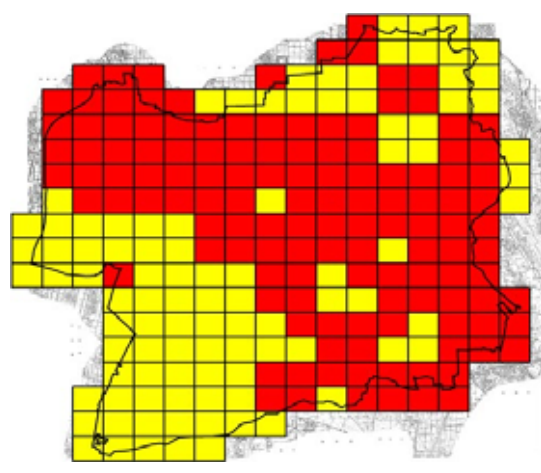
危険性が高い 5%  
危険性が極めて高い 0%

震度分布

液状化危険度



# 稲沢市の被害予測 (想定東南海地震)



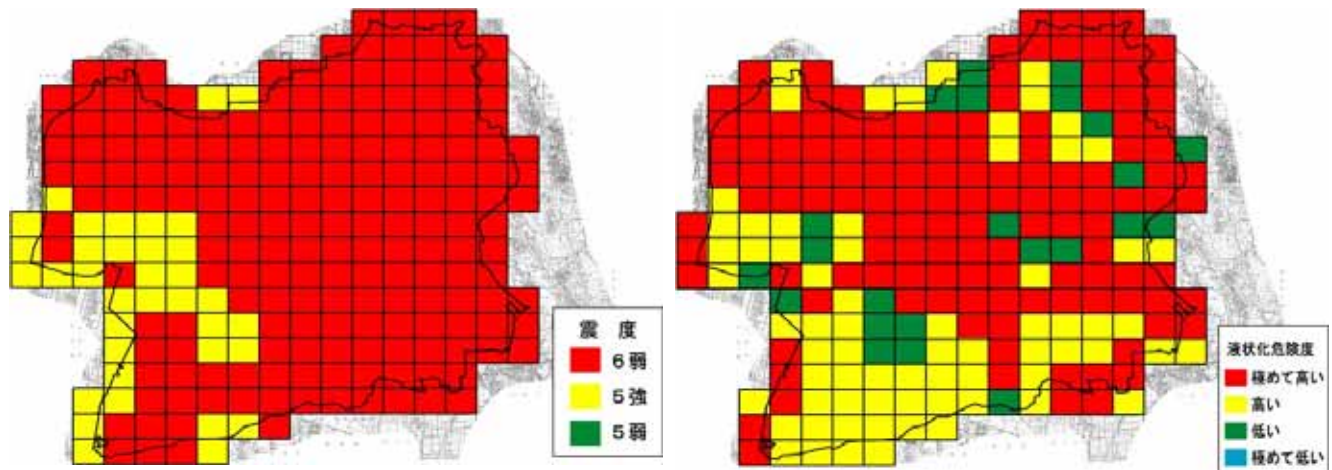
危険性が高い 43%  
危険性が極めて高い 24%

震度分布

液状化危険度



# 稲沢市の被害予測 (想定東南海地震・連動)



危険性が高い 41%  
危険性が極めて高い 52%

震度分布

液状化危険度



# 稲沢市の被害想定



## \* 建物被害

	建物被害		火災(18時)	
	全壊棟数(棟)	半壊棟数(棟)	出火件数(件)	焼失棟数(棟)
想定東海地震	約200	約1,510	若干	約10
想定東南海地震	約2,020	約6,910	約30	約30
想定東海・東南海地震連動	約3,320	約8,680	約40	約1,720

## \* ライフライン機能支障

	上水道(戸)	都市ガス(戸)	LPガス(戸)	電力(口)	電話(件)	下水道(人)
想定東海地震	約15,400	0	約610	0	0	約160
想定東南海地震	約41,200	約2,210	約3,110	約12,690	約4,390	約850
想定東海・東南海地震連動	約44,200	約25,680	約4,300	約14,000	約5,910	約1,080



# もし下水道が一箇所でも被害を受けたら



下水道に水を流せない  
ということとは？

食事も、お風呂も、  
トイレも……。  
いつまで…？



# 復旧に要する期間



(2) 復旧状況



下水道(汚水)復旧の進捗

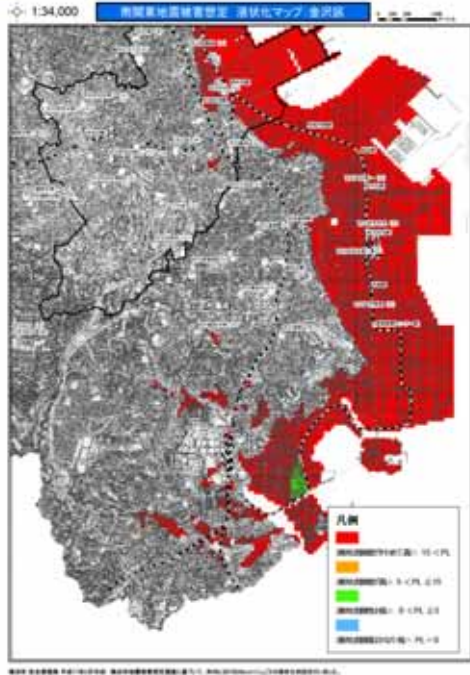
日付	片側	復旧範囲 敷設区画	復旧率	検知	管線調査 区画数	調査済 区画数
3月12日	---	---	---	---	0	0
3月13日	---	7,200区画	0.0%	---	0	0
3月14日	---	---	---	---	0	0
3月15日	---	---	---	---	0	0
3月16日	---	---	---	---	0	0
3月17日	---	8,881区画	0.0%	---	0	0
3月18日	---	---	---	---	0	0
3月19日	---	---	---	---	0	0
3月20日	---	11,908区画	0.0%	---	0	0
3月21日	---	---	---	---	0	0
3月22日	---	---	---	---	0	0
3月23日	---	---	---	---	0	0
3月24日	---	8,172区画	31.4%	---	0	0
3月25日	---	8,172区画	31.4%	実施済	0	0
3月26日	---	8,172区画	31.4%	4区	27	14
3月27日	---	---	---	4区	41	14
3月28日	---	---	---	4区	27	13
3月29日	---	---	---	12区	81	86
3月30日	---	7,476区画	27.2%	12区	100	83
3月31日	---	---	---	12区	122	106
4月1日	---	---	---	20区	100	103
4月2日	---	---	---	19区	163	95
4月3日	---	6,001区画	49.8%	20区	175	152
4月4日	---	5,719区画	51.5%	20区	136	152
4月5日	---	---	---	20区	121	152
4月6日	---	4,588区画	61.6%	17区	140	176
4月7日	---	4,588区画	61.6%	11区	27	83
4月8日	---	---	---	11区	27	42
4月9日	---	---	---	10区	27	27
4月10日	---	---	---	2区	14	28
4月11日	---	494区画	66.2%	---	0	0
4月12日	---	---	---	---	0	0
4月13日	---	---	---	---	0	0
4月14日	---	---	---	---	0	0
4月15日	---	0区画	100.0%	---	0	0
計	---	---	---	199区	1253	1281

※検知・清掃調査の区画数は中野地区のみであり、新町の区画数も含みません。

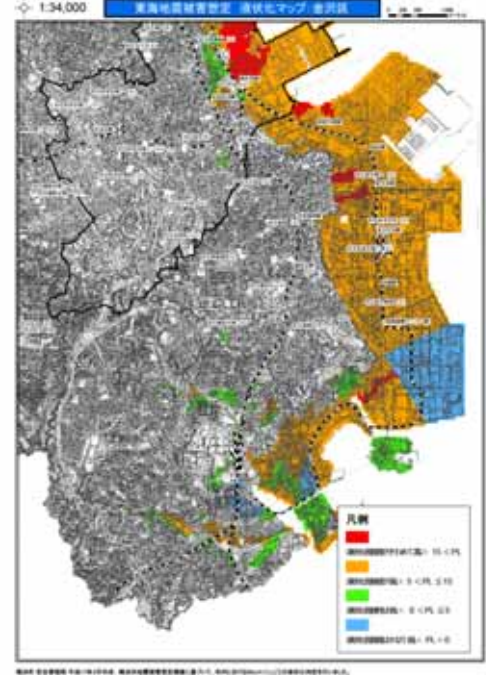
電気・水道・下水道・ガスは応援体制が確立されているが……



# 液状化マップと実際の液状化



南関東地震を想定した液状化マップ



東海地震を想定した液状化マップ



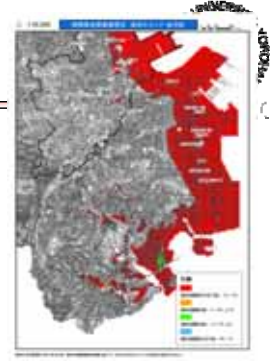
# 液状化危険度(PL)について

## 液状化マップの評価方法

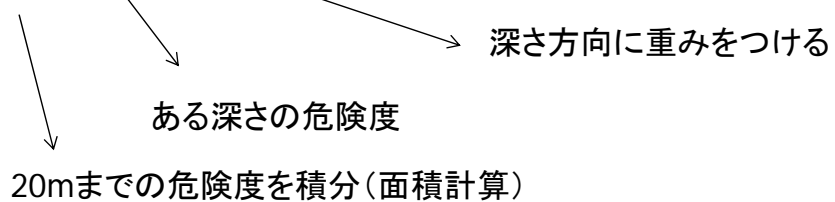
危険度の評価: PL値を用いる

- ・FL 液状化に対する安全率 (1を切れば液状化)
- ・積分値
- ・深さ20mまでの1次元情報

- 15 < PL 液状化の危険度がきわめて高い
- 5 < PL ≤ 15 液状化の危険度が高い
- 0 < PL ≤ 5 液状化の危険性は低い
- PL = 0 液状化の危険度はかなり低い (横浜市の表現)



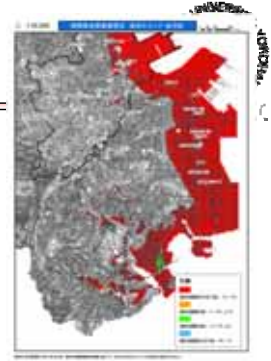
$$P_2 = \int_0^{20} (1 - F_2)(10 - 0.5x) dx$$



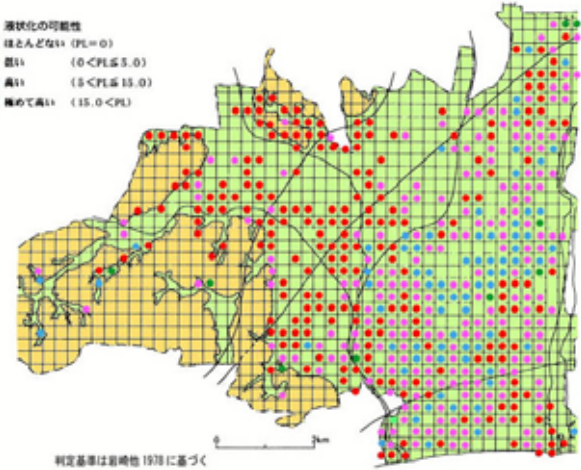


# 液状化マップを正しく理解しよう

- 15 < PL 液状化の危険度がきわめて高い
  - 5 < PL 15 液状化の危険度が高い
  - 0 < PL 5 液状化の危険性は低い
  - PL = 0 液状化の危険度はかなり低い
- (横浜市の表現)



- 液状化の可能性
- PL = 0 ほとんどない
  - 0 < PL 5 低い
  - 5 < PL 15 高い
  - 15 < PL 極めて高い
- (平塚市の表現)



どう感じられますか？



# 液状化マップ(1)

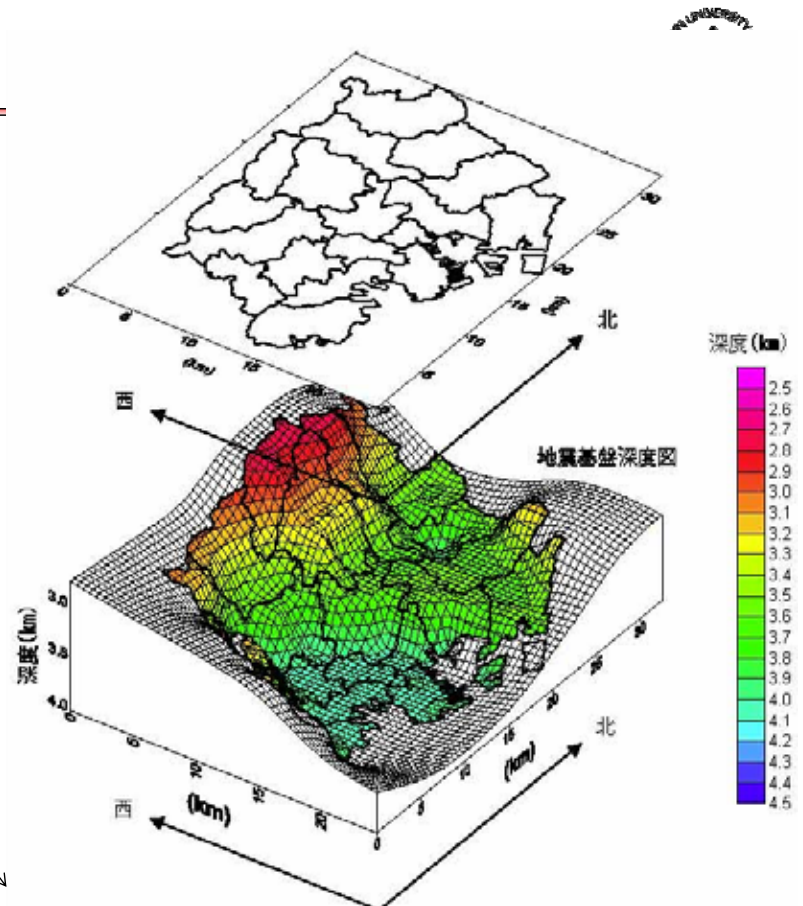
横浜市の地下構造を調べる

どのくらいの深さから地震動が伝わってくるかを定める。

どちらかといえば、地震動と地質学の専門家が担当することが多い。

それより上部の地層の特徴で、どの程度、地震動が増幅するかを決める。

統計的処理がなされる。



かなり深いボーリングなので土質試験等はあまり実施されていない。



## 液状化マップ(2)

地盤の種類や地盤構造によって、どのくらいの揺れが発生するかを予想する。

どちらかといえば、地震動の専門家が担当している。

地震のタイプを決めなければならない

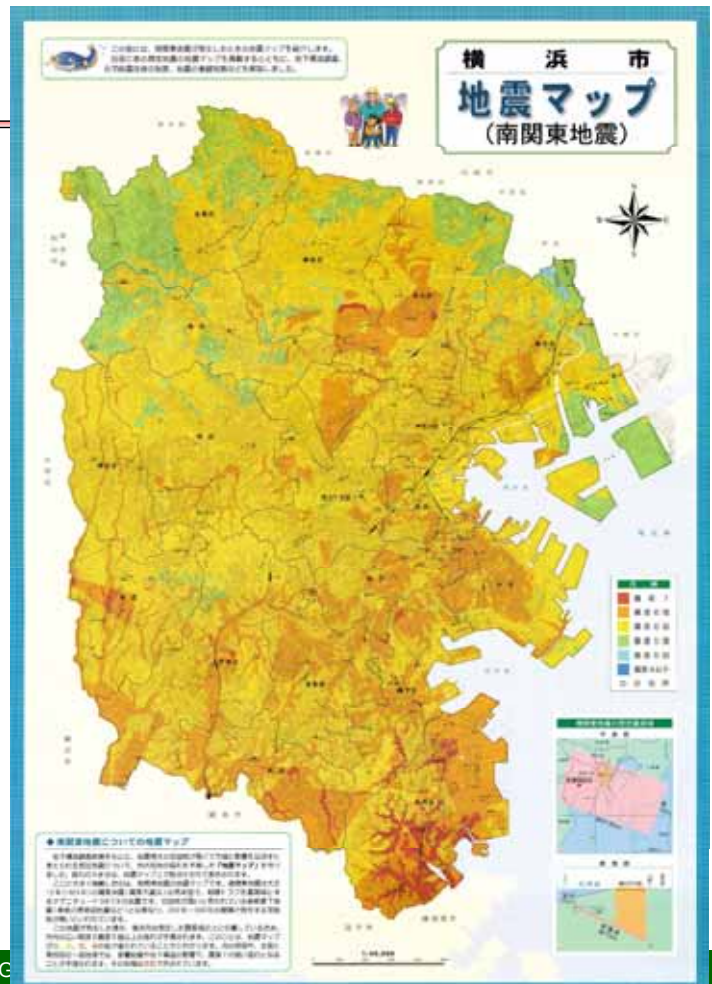
このマップでは、揺れの予測値を

震度でおおまかに分類

横浜は50mメッシュで評価

アレイ観測等で推定して、土質条件を見ていない箇所も？

KANTO G



## 液状化マップ(3)



地表面の揺れ具合を決めてから、液状化の危険性を判定する。

浅い地盤のボーリング調査など

どちらかといえば、地盤の専門家が担当する。

N値  
物理試験  
室内液状化試験

予算によって調査・試験のグレードは異なる

液状化の判断は、地震動(外力)と、液状化に対する強度(抵抗力)の比で判断する。

場所で違う。  
深さごとに違う。

$$FL = R/L$$

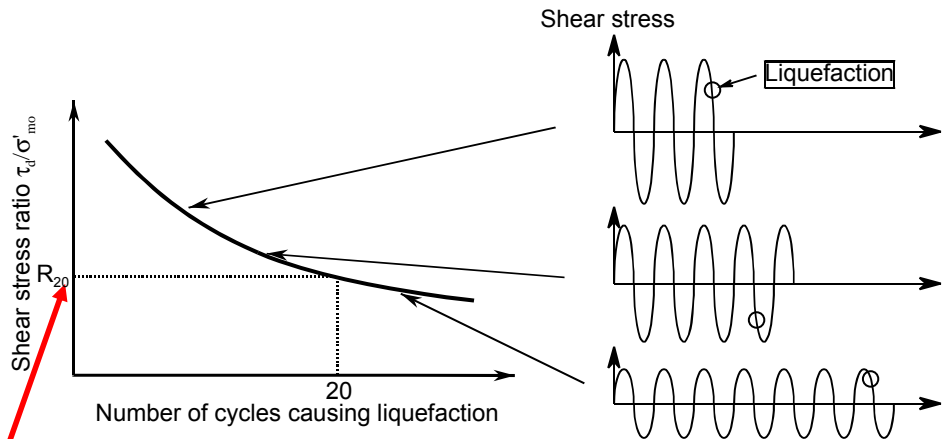
$$R \propto (N, \sigma_v', D_{50})$$

$$L = \gamma_d \cdot k_s \cdot (\sigma_v / \sigma_v')$$

$$k_s \propto (v_1, v_2, v_3, k_{s0})$$



# 液状化に対する強度を指標化するには



$$R = \left( \frac{\tau_d}{\sigma'_0} \right) = C1 \cdot C2 \cdot C3 \cdot C4 \cdot C5 \cdot RL \approx RL$$

繰返し回数 **20回** の载荷  
で液状化する応力比

基準類では、*N*値から求める

- R* : 原位置における液状化強度
- RL* : 振動三軸試験における液状化強度
- C1* : 異方性の影響
- C2* : 地震波の不規則性の影響
- C3* : サンプリングによる乱れの補正
- C4* : サンプリング, 試験時の密実化の補正
- C5* : 多方向せん断, 地盤の飽和度の補正



# 被害想定メッシュ



祖父江地区



平和地区



## 液状化マップ(4)



**地盤の揺れ具合に,**

地盤の細かな構造の違いは反映されている？

地盤の履歴は反映されている？

**ボーリングデータがないところは？**

**ボーリングが50m四方の地盤を代表している？**

浅いところで少し液状化, 深いところで激しく液状化,

どっちが危険？

**地震動が2割増なら危険度は2割増？**

液状化抵抗ってどうやって決めたの？



## 液状化危険度マップについて



**作成する側**

前提条件をもう少しわかりやすく明示したほうがよい

決して責任回避とは受け取られません。

**一般の市民**

液状化が起こらないという保証マップではないことを理解

どのような条件が付されているかを知る

**利用する側**

2次利用するときに, 最後のメッシュの結果のみを利用する

のはアンフェアです。





## 液状化の被害



KANTO GAKUIN UNIVERSITY 関東学院大学 理工学部 土木学系 土木・都市防災コース



## 住民の被害に対する認識



### 住民の方の認識

地面が下がった = 大被害

- ・構造物は杭で支持されていたので  
地盤との段差が生じたとは容易に納得できない
- ・液状化の対策が施されていないと理解

設計段階で、

- ・液状化発生を予測 杭基礎で対処

なのに被害発生 (と感じてしまう)

当初は、

- ・液状化が予見できたのに、対応しなかった
- ・液状化に対して見込みが甘かった  
(と感じてしまう)



KANTO GAKUIN UNIVERSITY 関東学院大学 理工学部 土木学系 土木・都市防災コース



## 駐車場の浮き上がり

マンホールが浮き上がることは知られていたのに...

- ・基準があった。  
共同溝, 地下駐車場, ...
  - ・時期
  - ・対策
- ・駐車場が浮いたから地盤が沈下したのでは？  
・重さが足らなかったのでは...



「設計者は予見して, 対策をすべき」との厳しい意見もきかれた。



建物の直下は地盤改良されていた



これは被害あり or なし？

建物は杭で支持されていた





# 小机駅の周辺の液状化被害



S29に県が、水田に盛土して造成

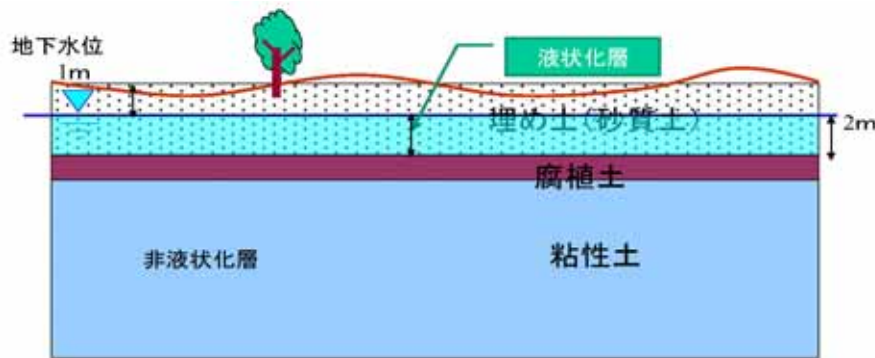


# 地震後も沈下が継続



極めて薄い砂質土層が液状化 → 砂層の下は厚い粘性土層

## 湿地を非常に薄く埋め立てた宅地



地震後も沈下が進行しているため復旧に着手できない  
→ 再圧密が少し生じた？

次に同程度の地震が来れば、液状化は起こるかもしれない。  
ただし、被害の程度も同程度と思われるので、大掛かりな対策を必要とするか

→ 住民感情としては、同じ被害を受忍できない。

## 戸建住宅の液状化に関する現状課題



### 法的には

戸建て住宅で実施しなければならない検討事項は？

### 調査・対策工の限界

- ・個人が負担できる費用で、傾斜角3/1000以下を狙った調査・設計・対策が可能か？

### 修復方法

- ・建物構造や、基礎の構造強度を踏まえないで修正工事が行われているケースが散見される。



## 戸建住宅の液状化に関する問題点



### 四号建築物

#### 通常の木造2階建て

建築士が設計・工事監理を行った場合は、  
建築確認等において構造関係規定の審査を省略できる。

審査を省略できるだけであって、

建築士は構造安全性に関して確認する義務はある……。

液状化による沈下傾斜(躯体損傷はない)は、  
「構造安全性の確認が不十分だった」に該当するのか？



## 戸建住宅の液状化に関する問題点



### 新耐震設計基準

#### 中地震

100～150gal 震度5弱程度

→ 建築物の機能を保持する

(地震後も生活できる)

#### 大地震

300～400gal 震度6強～7程度

→ 建築物の架構に部分的なひび割れ等の損傷が  
生じても、最終的に崩壊からの人命の保護を図る

(人命だけは必ず守る)



## これからの液状化の予測と対策



### 1. どの程度細かく, 正確に予測するのか

予測の信頼度, 空振りはアウトか?

調査手法(従来型:SPT, CPT, SWなど)

新しい手法:PDC、SDSなど)

### 2. どういった地震を想定するのか?

液状化から守るべき地震とは

程度に合わせた対策

### 3. 合意形成が取れるのか?

戸建て住宅の対策

地域全体の対策





## 液状化対策に対する基本理念



### ① 完全に液状化を抑止する

地域で、敷地で、構造物直下で

コストに比例  
環境への影響

### ② 液状化の程度を抑えて、構造物に影響がない程度にする

予測が重要になってくる  
予測がはずれたときに許容できるか

### ③ 液状化を完全に許して、構造物側で対処する

どこまでを被害ととらえるか  
被害の受忍  
生命, 財産, 生活, 不便, 時間

行政で決める部分と個人で決める部分



## 地盤の液状化とマンション被害(周辺地盤)



〈液状化の発生が予測されていた〉

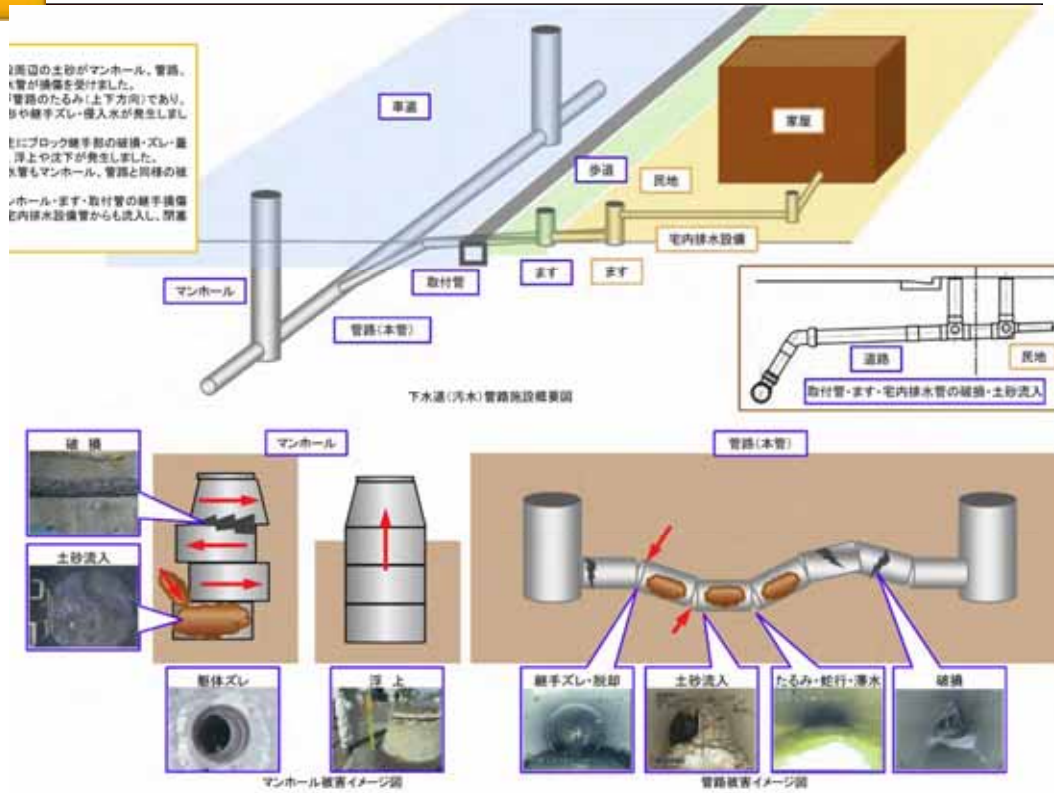
→ 液状化対策は通常、実施しない

地盤の沈下(最大で5%程度)  
それによる大きな段差

マンホール(敷地内)や浄化槽、地下式駐車場  
に対して、別途対策を行っているか？  
リーズナブルか？



# 敷地内のますからの土砂流入(下水道施設)



全体で協調が取れないとなかなか難しい!

# 液状化対策工法の実例



原理	方法	工法	特徴
<b>密度の増大</b> 密度増大工法	サンドコンパクションパイル工法 振動棒工法 重水落下締固め工法 バイブロフローテーション工法 圧入締固め工法(コンパクショングラウチング工法等) バイブロタンバー工法 転圧工法 発破工法 群杭工法 生石灰杭工法 プレローディング工法	動的締固め 静的締固め	地中に締固められた砂状を形成、粘性土地盤にも適用可 振動・騒音を大幅に低減し、市街地での砂状造成が可能 ロッドの振動圧入による直接的な締固め、良質な補給土不要 重錘の自由落下による衝撃力での締固め、液状改良向き 先端にバイブレータを内蔵した鋼管で締固め、振動・騒音比較的小 球状の固結体を連続的に造成し、周辺地盤を圧縮強化する 強力な振動タンバによる締固め、表面改良向き 20~30cmのまき出し層ごとに転圧、硬土地盤向き ダイナマイト等を爆発、その衝撃力で密度増、振動・騒音非常に大 群打設による締固め効果とせん断変形抑制効果、沈下抑制も 生石灰の吸水脱水・硬化・膨張による、粉塵と発熱に注意 盛土等により上載圧を作用させ、地盤を過圧密状態にして強化 固化材と原地盤を攪拌混合、改良部は堅固だが施工費は高い ホーリング孔を利用しクワ等注入、既設設備での機動性高い 埋立土に固化材を事前添加して運搬・搬入、新規埋立のみ可 クォータリティーで地盤切削と固化材の混合攪拌を行い固結体造成 液状化にくい材料(砕石等)で置換、もしくは固化造粒等の改良 止水壁で囲み、ディーブウェル等で地下水位低下、沈下に留意 トンネル架による地下水の自然流下、補助工法の必要性大 マイクロパイル等の消泡しにくいエアを地盤に注入して不飽和化 砕石パイルを造成して水圧の上昇抑制、他工法との併用多い 人工ドレーン材による排水、ドレーンの目詰り防止がカギ 地中構造物の周辺埋戻しに砕石・砕石を利用、浮上り防止策 杭・板側面に排水部材を設けて水圧上昇を抑制、変形抑制も 剛性の高い連続壁を構築してせん断変形を抑制、確実だが高い 地盤の流動を抑制して変状を防止、既設物周辺の改良に適用 液状化しても構造物が安定するよう杭の本数や断面を増強 液状化を前提とした杭・掘削・布基礎等の設計と補強工の実施 堅固な地盤に支持された杭・基礎等でも引き上げ抵抗力を付与 液状化による地盤変状に追従させる埋設管の保護方法 コマ形基礎の連続・シオグリッドの層状敷設等による変位抑制
<b>剛性の改良</b> 飽和度低下	置換工法 地下水位低下工法 空気注入工法	ディープウェル工法 排水溝工法 不飽和化工法	液状化にくい材料(砕石等)で置換、もしくは固化造粒等の改良
<b>間隙水圧抑制・消散</b>	間隙水圧消散工法	柱状ドレーン工法 グラベルドレーン工法 人工材料系ドレーン工法 周辺巻立てドレーン工法 排水機能付き鋼材 連続地中壁 シートパイル締切工法	砕石パイルを造成して水圧の上昇抑制、他工法との併用多い 人工ドレーン材による排水、ドレーンの目詰り防止がカギ 地中構造物の周辺埋戻しに砕石・砕石を利用、浮上り防止策 杭・板側面に排水部材を設けて水圧上昇を抑制、変形抑制も 剛性の高い連続壁を構築してせん断変形を抑制、確実だが高い 地盤の流動を抑制して変状を防止、既設物周辺の改良に適用 液状化しても構造物が安定するよう杭の本数や断面を増強 液状化を前提とした杭・掘削・布基礎等の設計と補強工の実施 堅固な地盤に支持された杭・基礎等でも引き上げ抵抗力を付与 液状化による地盤変状に追従させる埋設管の保護方法 コマ形基礎の連続・シオグリッドの層状敷設等による変位抑制
<b>せん断変形抑制・過剰間隙水圧消散</b>	せん断変形抑制工法	連続地中壁 シートパイル締切工法	砕石パイルを造成して水圧の上昇抑制、他工法との併用多い 人工ドレーン材による排水、ドレーンの目詰り防止がカギ 地中構造物の周辺埋戻しに砕石・砕石を利用、浮上り防止策 杭・板側面に排水部材を設けて水圧上昇を抑制、変形抑制も 剛性の高い連続壁を構築してせん断変形を抑制、確実だが高い 地盤の流動を抑制して変状を防止、既設物周辺の改良に適用 液状化しても構造物が安定するよう杭の本数や断面を増強 液状化を前提とした杭・掘削・布基礎等の設計と補強工の実施 堅固な地盤に支持された杭・基礎等でも引き上げ抵抗力を付与 液状化による地盤変状に追従させる埋設管の保護方法 コマ形基礎の連続・シオグリッドの層状敷設等による変位抑制
<b>構造的要害</b>	堅固な地盤による支持 基礎の強化 浮き上り量低減 地盤変位への追従 液状化後の変位抑制	杭基礎 杭基礎・布基礎・掘削の強化 浮上り防止用杭または矢板、周辺肉束による変形低減 可撓継手による地盤変位追従 直接基礎におけるコマ型基礎の設置、ジオグリッドによる補強	液状化しても構造物が安定するよう杭の本数や断面を増強 液状化を前提とした杭・掘削・布基礎等の設計と補強工の実施 堅固な地盤に支持された杭・基礎等でも引き上げ抵抗力を付与 液状化による地盤変状に追従させる埋設管の保護方法 コマ形基礎の連続・シオグリッドの層状敷設等による変位抑制

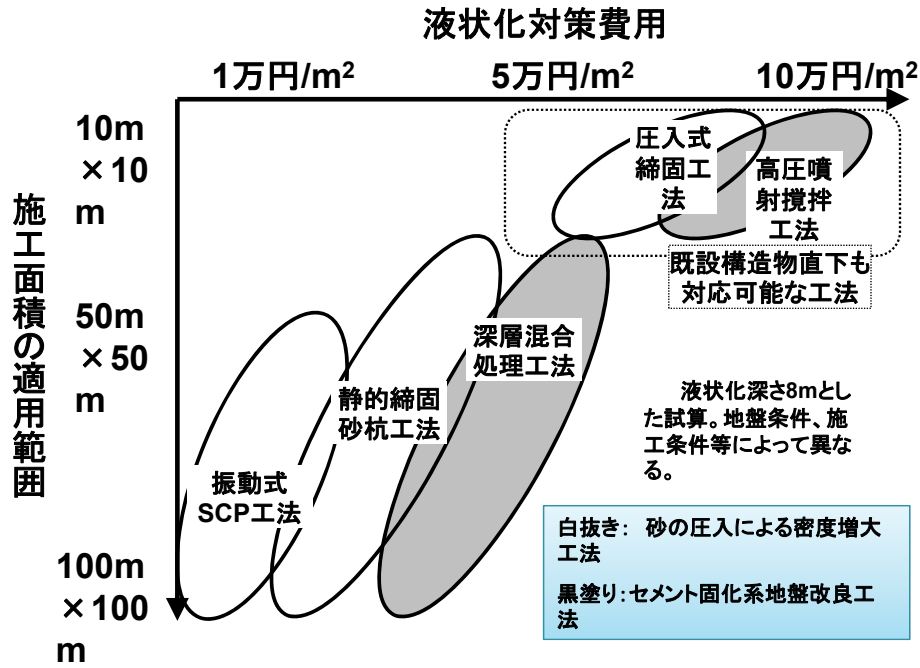
※JGS関東「造成宅地の耐震対策に関する研究会」メディア懇話会資料、液状化対策工法設計・施工マニュアル(案)、TF4メンバーからの意見に基づき再構成

原理, 方法





# 液状化対策のコスト比較の前提条件



出典: JGS関東支部・「造成宅地の耐震対策検討委員会資料」を加筆・修正



# 埋立地全体を対策したほうがリーズナブル？



例えば、  
南北500m × 東西500mの  
埋め立てエリア(25万平米)

元の海底面まで15mとすると、  
改良深度は20mとすると  
改良部の体積は、  
500万立方メートル

改良率を40%とすると、  
単価5万円/m<sup>3</sup>でも、1000億円

面積応分で負担すると、  
1m<sup>2</sup>あたりで40万円  
坪単価で 約120万円増加

この金額がリーズナブルかは、私には判断できません。

## 前提条件が異なる(道路施設の被害)



道路名称一覧	
U1 : 幹線1号	U2 : 幹線2号
U3 : 幹線3号	U4 : 幹線4号
U5 : 幹線5号	U6 : 幹線6号
U7 : 幹線7号	U8 : 幹線8-1号
U9 : 幹線8-2号	U10 : 幹線8-3号
U11 : 幹線8-4号	U12 : 幹線9号
U13 : 幹線10号	U14 : 幹線11号
C1 : 県道6号	C2 : 県道10号
C3 : 県道242号	C4 : 県道276号
S1 : 首都圏海岸線	K1 : 国道357号

凡例	
	市道
	県道
	市道の幹線道路
	河川周辺となる幹線道路
	河川市道の幹線道路となる幹線道路
	緊急輸送道路

舗装構造	敷設率 (%)
	0
	10
	20
	30
	40
	50
	60
	70
	80
	90
	100

幹線道路かどうかで舗装構造も異なる

敷地内の考えも同じ

## 周囲の被害状況が異なれば(道路施設の被害)

【土砂噴出】



1 幹線9号



2 幹線9号



3 11-1号線(高洲)

【路面状況】



4 幹線9号



5 幹線9号



6 幹線9号

【路上がり】  
【電線】



7 12-2号線(平島)



8 5-43号線(入船)



9 幹線9号

【低下】



10 30-1号線(目の出)



11 7-7号線(東野)



12 12-2号線(平島)

周囲の被害状況によっては、復旧に要する期間をどの程度に見込めばよいかが変わってきます。

全てが最速で復旧する必要はありません。

それに応じた対策を考える余裕が出てきます。



	人命	怪我	建物	設備	施設使用	事業継続
グレードA		○	▲	×	×	×
グレードB		○	△	▲	▲	▲
グレードC		○	△	△	△	△
グレードD		○	○	△	△	△
グレードE		○		○	○	○

**事業主自身で決定していただく部分がどうしても生じる**

**周辺の公共施設の重要度にも関わる**

**復旧期間を見込んだ対策も必要**

**復旧に要する期間・費用 > 対策の費用**



- 河川堤防(崩壊、流動)
- 道路(国道、県道、市道、私道)
- 鉄道(盛土、軌道)
- 橋梁(基礎、取り付け部)
- 下水道(管路、マンホール)
- 上水、ガス
- インフラ(浄水場、ポンプ場、公共施設)
- 敷地(民地、公有地)



## 性能設計という概念を個人として許容できるか



		標準貫入試験のN値		
		10程度以下 (緩い地盤)	10~25程度 (中密な地盤)	25程度以上 (密な地盤)
レベル1地震動 (0.15G~0.2G 程度)	液状化の発生	発生する	発生しない	発生しない
	構造部への被害	甚大	無被害	無被害
レベル2地震動 (0.35G~0.6G 程度)	液状化の発生	発生する	発生する	発生しない
	構造物への被害	甚大	発生するが 軽微	発生しない



## 結論を出せないところが申し訳ないのですが



- 民地の場合、どこまでの被害を許容するかは個人
- 行政の許容値も知って(知らせて)おく必要がある
- それ以上でも、以下でも効率の悪い対策となる
- 掛けるコストと掛かるコストの比較
- 実際に被災すれば、命が無くなるのと同じだけのダメージかどうか
- いつまでにすればよいのか



## 幸福の最大公約数という考え方

個人個人の満足ではなく、そこに暮らしている  
大多数の人(社会や地域)が幸福になるには、  
「私たちはどうすればよいのか」を考える、  
より実学に近い工学です。



# ありがとうございました