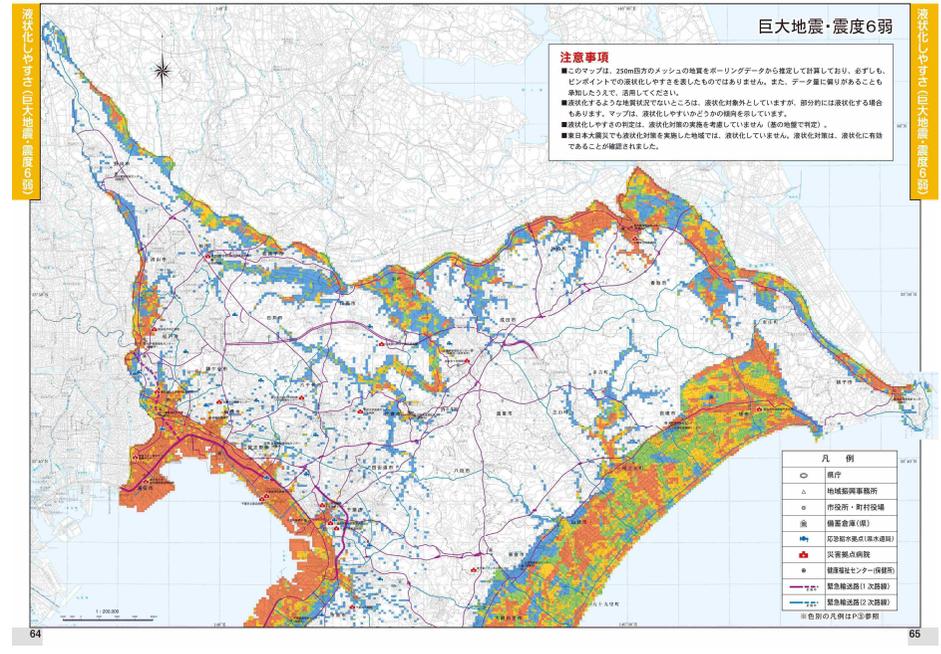
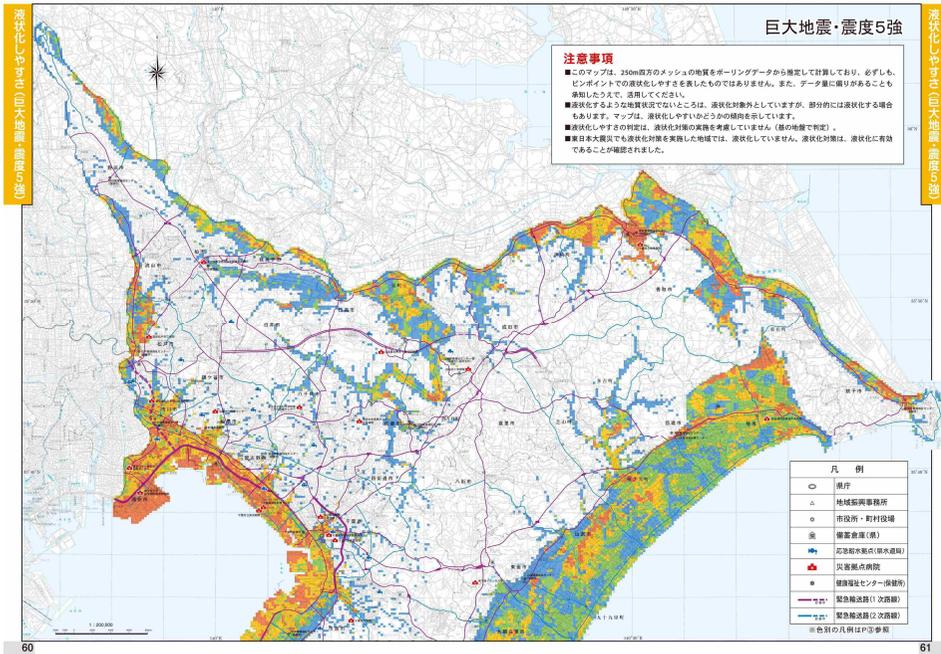


# 戸建て住宅の液状化現象への備え

一般財団法人ベターリビング  
二木幹夫

2017年12月5日

# 千葉県液状化マップ



液状化危険度		対策等の要否
高い	PL値>15	液状化に関する詳細な調査、液状化対策が必要な場合がある
やや高い	15≥PL値>5	重要な構造物に対して、詳細な調査、液状化対策が必要な場合がある
低い	5≥PL値>0	特に重要な構造物に対して、詳細な調査が必要な場合がある
極めて低い	PL値=0	液状化に関する詳細な調査は不要である
液状化対象外		山地・丘陵・台地などの地形区分や地盤モデルにより、液状化が発生する可能性の無い地域

液状化しやすさ	
赤	しやすい
黄	ややしやすい
緑	しにくい
青	きわめてしにくい
白	液状化対象外

千葉県HPから

# 住宅地の液状化による被害1



日本海中部地震(1983)



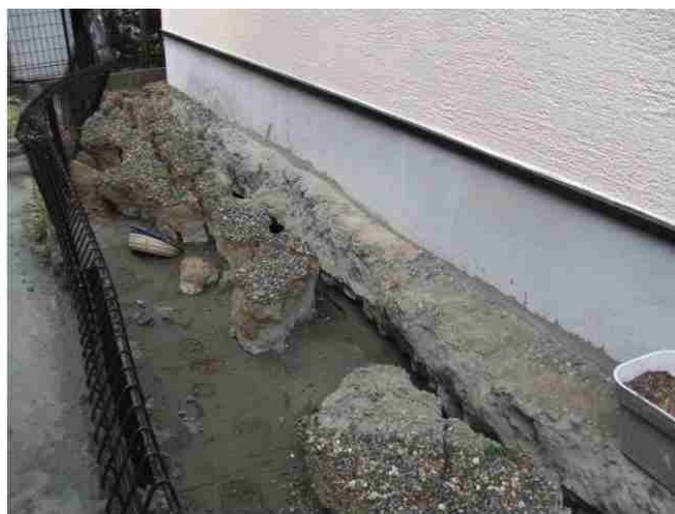
# 住宅地の液状化による被害2 L型擁壁（宅内の液状化／脆弱な擁壁）

中越沖地震（2007）



# 住宅地の液状化による被害3

東北地方太平洋沖地震(2011.3.11)



# 住宅地の液状化による被害4 緩斜面-1 (兵庫県南部地 1995)



# 住宅地の液状化 による被害4 緩斜面-1

中越沖地震(2007)

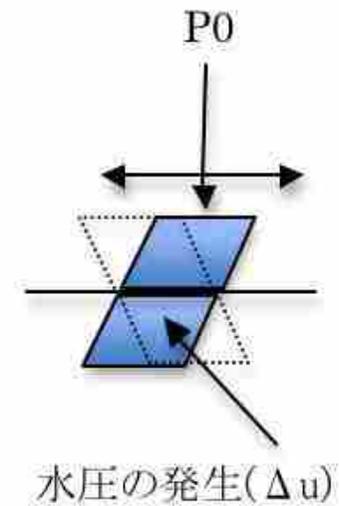
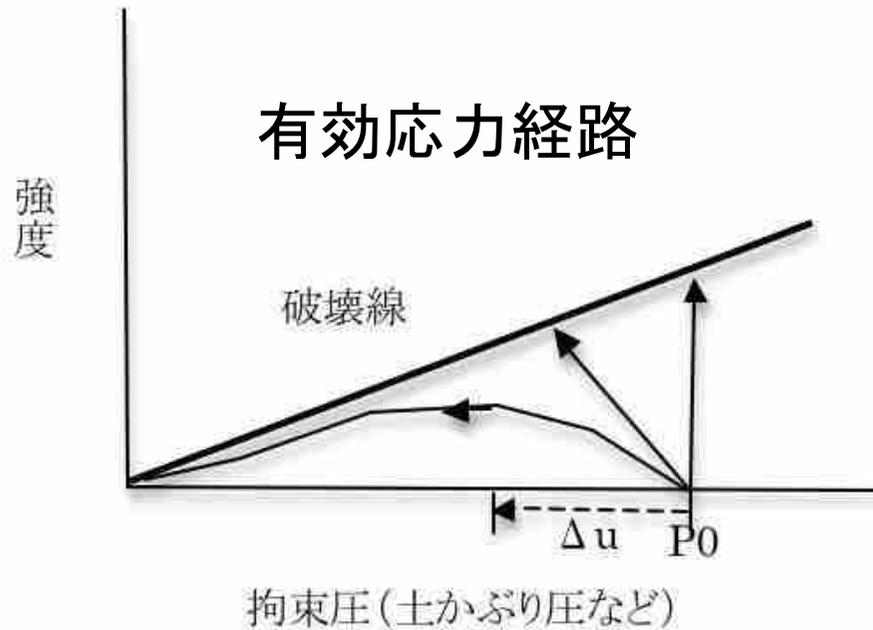
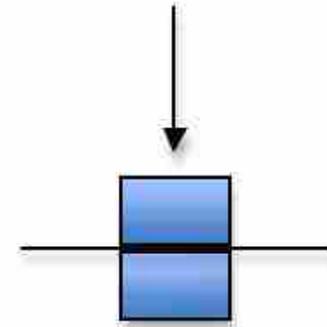
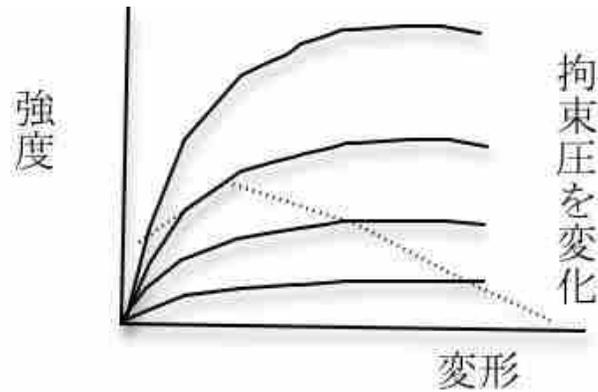


# 液状化判定—被害想定—対策

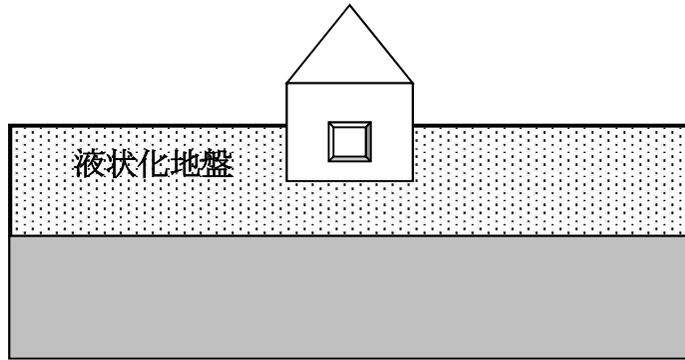
液状化対策を行う場合には、地盤の液状化が**宅地**に与える**影響**を**想定**し、その**結果**に応じて発生し得る**被害**に**適切に備える**事が大切である。

被害の形態	A	B	C、、、
支持力の低下(1次)	●		
支持力の低下(2次)			●
大きな圧縮沈下	●	●	
流動化現象(水平移動)	●		

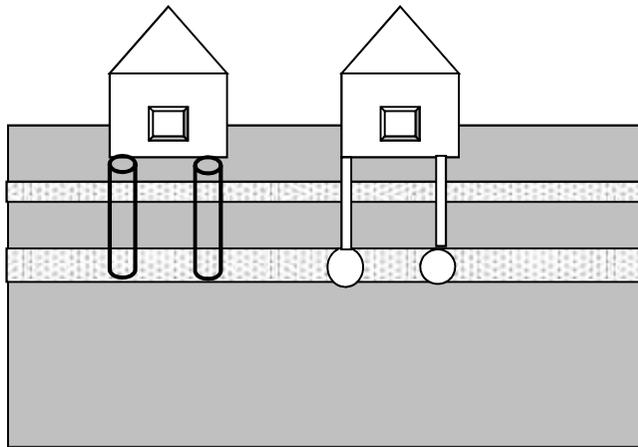
# 液状化した地盤の応力～変形関係



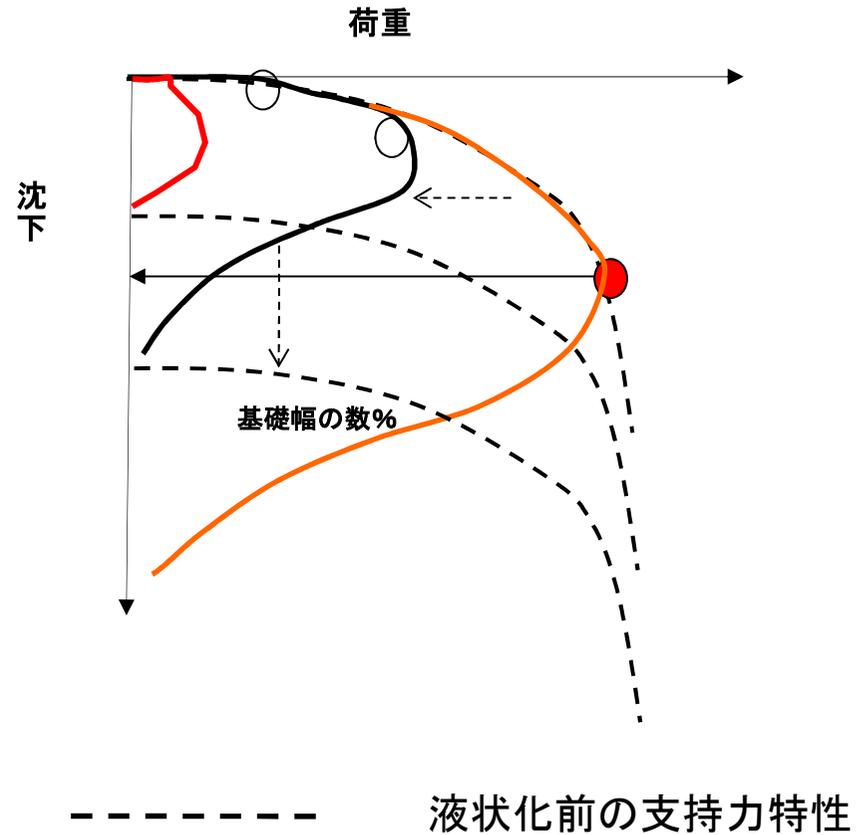
# 液状化する地盤



a) 直接基礎下部が液状化する場合

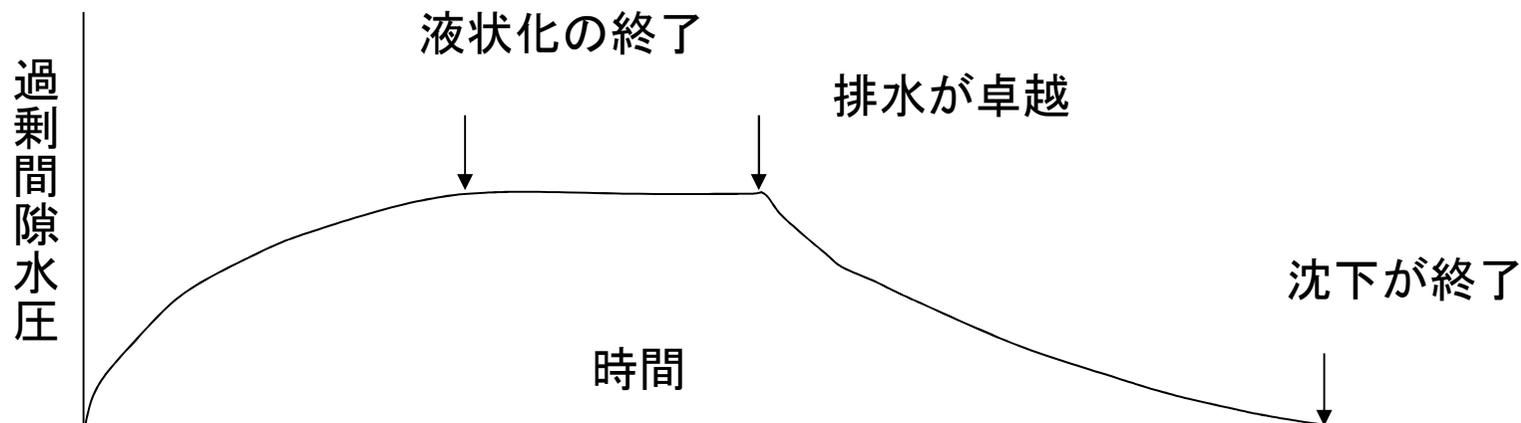


b) 中間層支持の杭基礎など(周辺あるいは支持層が液状化する場合)



# 過剰間隙水圧の発生

- 実地盤では、間隙の水がすぐに抜けないために、先ず、体積変化を起こそうとする分が過剰な水圧に変化する。その後、排水が生じ全てが排水するまでに時間がかかる。
- (沈下が徐々に進む)



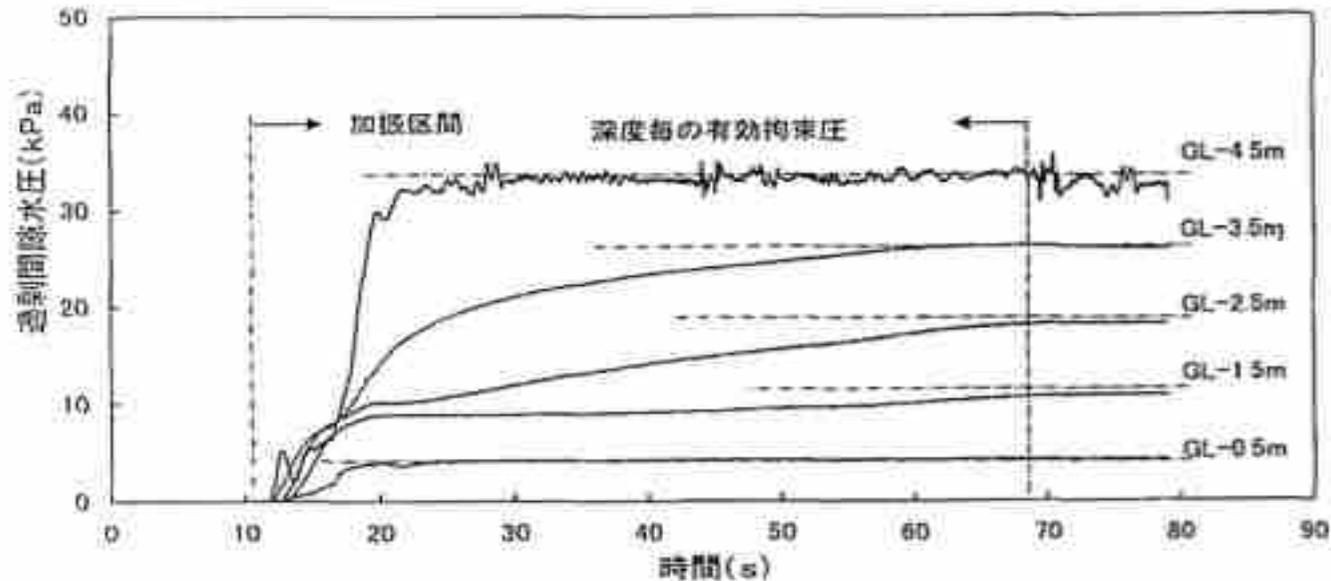
# 建築研究所大型振動台実験(つくば)



大型振動台による効果確認実験

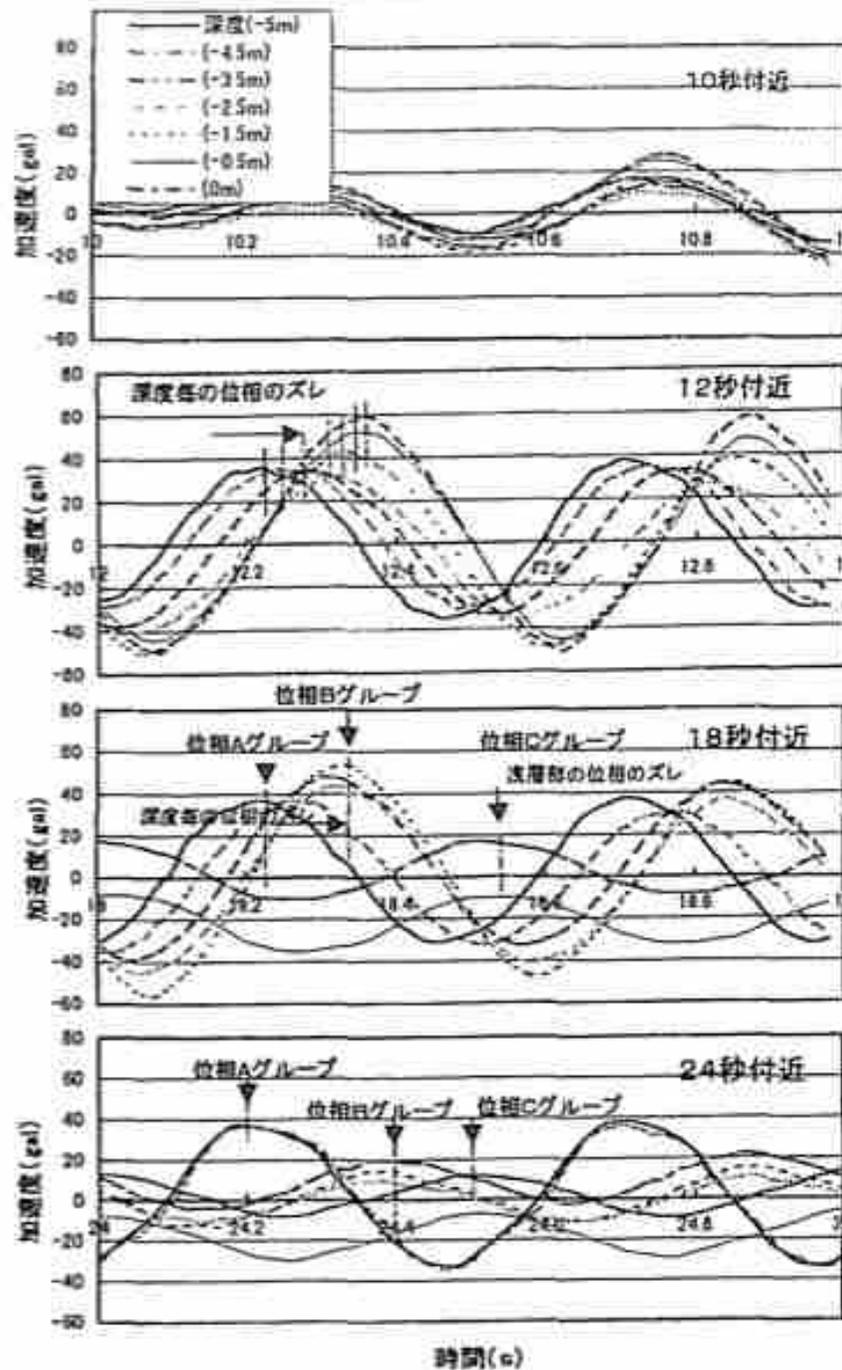
装置寸法: 深さ5m × 幅3.6m × 長さ10m, 総体積 $V=180\text{m}^3$

地盤材料: 栃木県産の日光珪砂6号

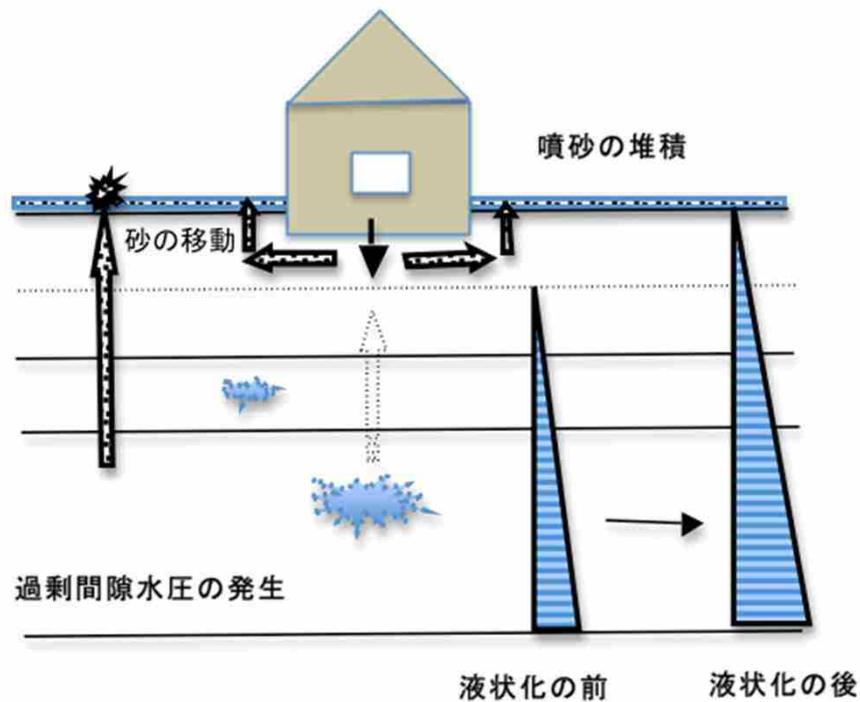


# 位相図

地盤の中で  
変形が徐々に  
にずれる。



# 平地の液状化による障害



## ①液状化層での沈下

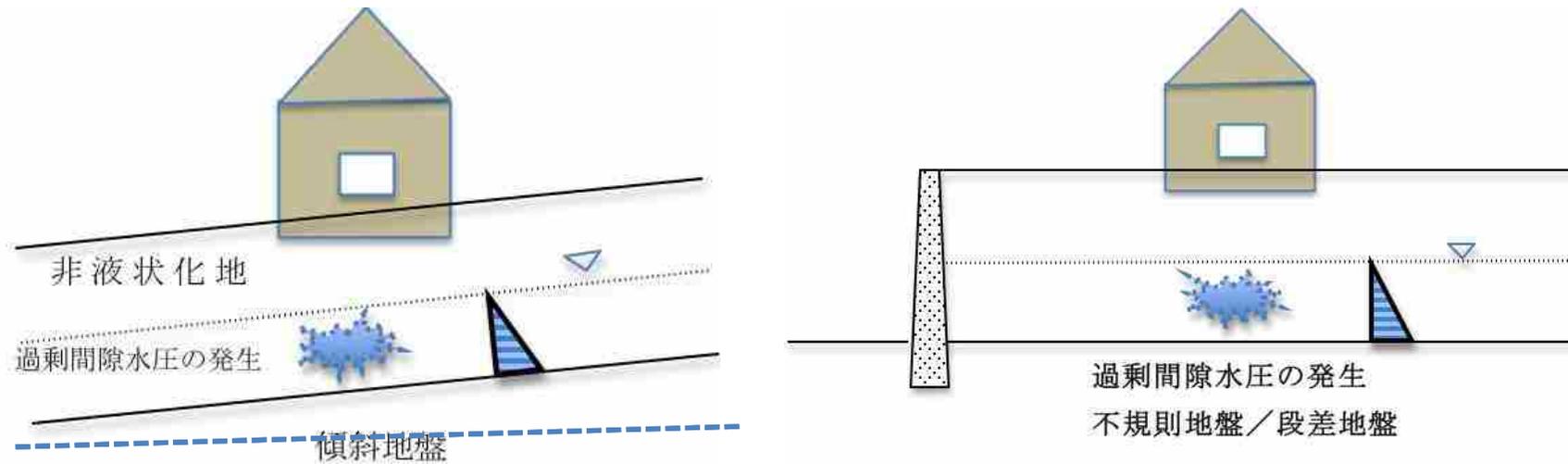
- 全域で自重による圧縮 (沈下)

## ②表層部での支持力低下、時には流動化

- 表層部の液状化
- 表層部への浸透流 (透水力) による有効応力の低下が原因

# 地形と液状化地盤

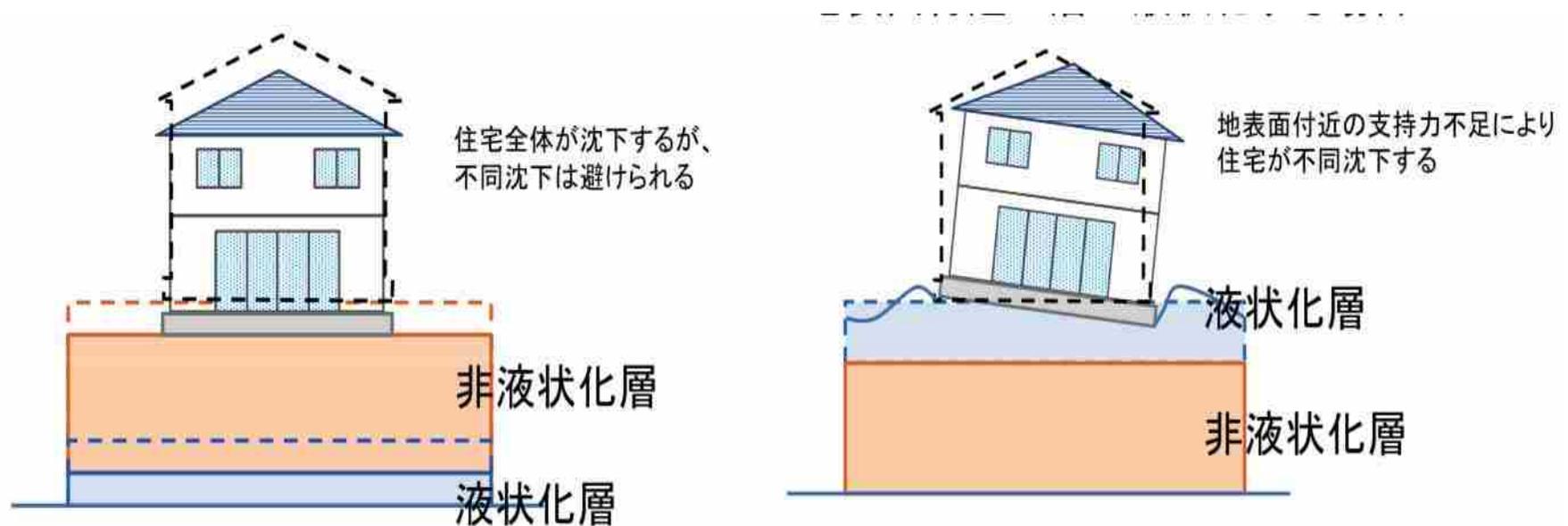
## 側方流動化の危険



傾斜地、護岸隣接地、埋め地など



# 液状化層の違いによる被害



非液状化層が砂質土であると、下部からの水圧で液状化に至ることがある(2次液状化)。地震後、暫くして生じる液状化。

# 深い位置での液状化現象

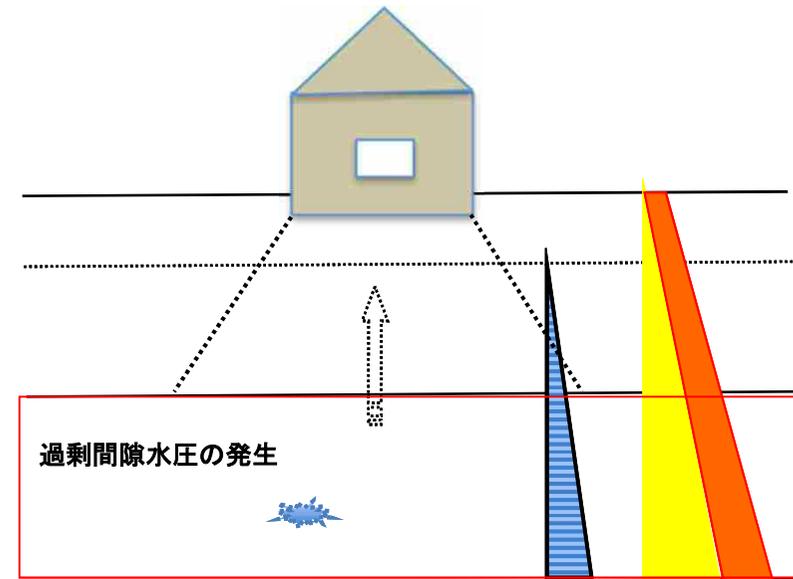
- 過剰間隙水圧の伝搬の影響が地表付近に達するかどうかの問題
- 達しなければ、見かけ上、支持力は確保

– 時間の経過とともに沈下

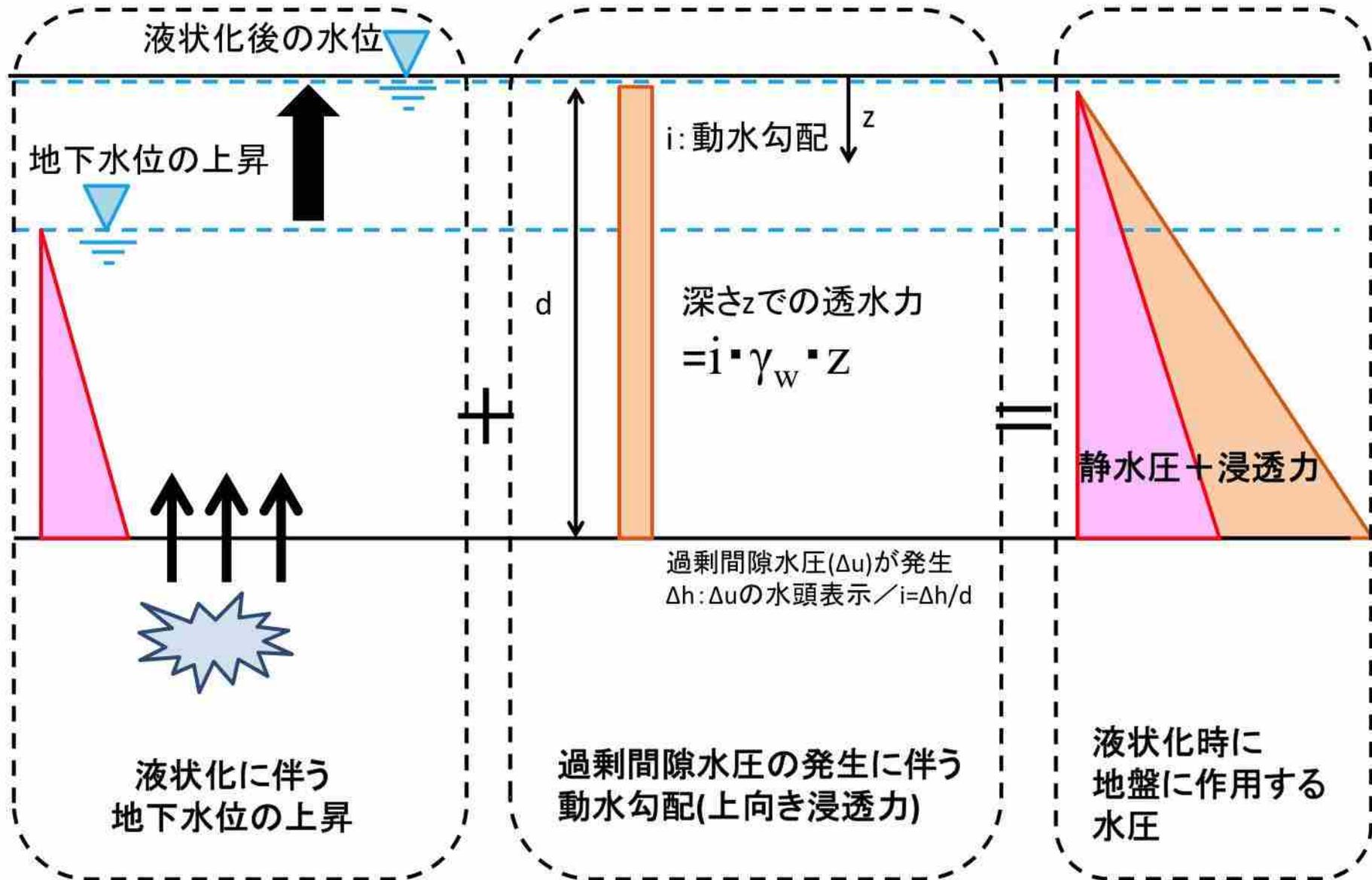
→ 問題となるか？

沈下の影響を考慮して対策を講じるのは、簡単には出来ない。

(杭基礎であれば、抜け上がりが生じることもあり、一般の建築物では、これ以上の対策はまれである。最初から、この沈下を見込んでスカートをはかす場合もある)



# 過剰間隙水圧による透水力の考え方



# 液状化への対応の評価

## 1) 大地震に人命の確保(満足)

- 液状化については、無対策でも満足と判断

## 2) 中地震時に、軽微な損傷、沈下、傾斜

- やや、実現出来ていない場合がある。

- (傾斜は、簡単に直せない！)

- 調査法、施工法(設計法を含む)を改善する方向で検討を進めることが急務。

現状、この程度のレベル(中地震)での液状化被害を抑制することを目標とする。

## 3) 常時は、支持力を確保できる地盤が多い。

# 施主としての液状化対策への備え

被害程度とその影響、経済性、振動低減効果などを考慮し、リスク管理として総合的に検討する

- (1) 住宅の沈下を許さない。(大地震、中地震)
- (2) 住宅の沈下をある程度許容し、対策の程度を調整出来るようにする。(大地震、中地震)
- (3) 液状化による被災後に再建可能(生活可能)な対応を考慮しておく。(大地震、中地震)
- (4) 技術的な対応を取らないが、しかし、
  - 1) 地震保険に加入して、経済的損失を担保
  - 2) 対応しない(現状容認／論外か?)

# 小規模建築物に適用可能な液状化対策(例)

対策の方法	特徴	工法名	技術的な評価	住宅での適用性
締め固め工法	液状化を起こさせない	サンドコンパクション、パイプロフローテーション、ロッドコンパクションなど	実績があるが、振動を伴う。広範囲な敷地に適する。	市街地では周辺環境への配慮が必要 費用が高い
構造物による支持	液状化を許容し、深い地盤で荷重を支持する	杭、壁杭	実績があるが、基礎下に隙間が生じる	適用性は高い。 やや費用が高い
固化による地盤改良	固化による非液状化地盤の構築	柱状改良 浅層改良	施工方法を工夫すれば有望。施工深さに留意が必要。	住宅に普及している工法であり、適用性が高い
排水材の利用	排水機能によって過剰間隙水圧の発生を抑制、水圧の速やかな消散	サンドドレーン、グラベルドレーン、排水パイプ	沈下を伴う可能性が高い。建築物への実績が少ない。効果の確認が少ない。	施工性や効果の面で、更なる要検討。
木杭や礫杭	砂の締め固め効果 荷重の支持	打設工法	木杭は地下水位が高いことが条件	可能性は高い 周辺への影響に留意
浮き基礎	液状化時に沈下が生じないように浮力を利用する	発泡材料による人工地盤の敷設工法	荷重のバランスに留意、浮力の評価が未知。材料の耐久性など	実績を評価すれば可能性は有り。

# (1) 建築物に沈下を許さない

## (1)-1 締め固め工法

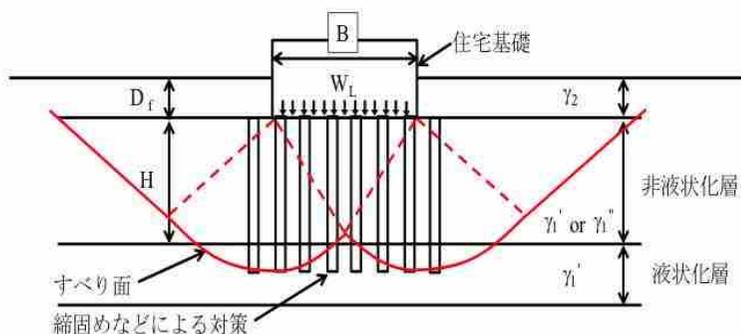
- 液状化を起こさないように液状化強度を上げる。
- 実績が多く、効果が確認されている例も多い。
- **一度施工すると将来に亘り有効**
- 液状化対象層のみの施工で可能
- 施工中の振動や地盤変位、狭隘地での施工が困難、施工単価が高い(将来性を担保)
- 改良率の設定、施工信頼性(確認が必要)

# 基本的検討方法

べた基礎、表層改良、締固め、ドレーン型改良地盤

## 地盤の許容応力度計算方法

### 局所せん断破壊



$$q_a = \frac{2}{3} (i_c \cdot \alpha \cdot C \cdot N_c + i_r \cdot \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r + i_q \cdot \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q)$$

$$\gamma_1 = \gamma_{1' liq} + \frac{z}{B} \cdot (\gamma_1' - \gamma_{1' liq})$$

$$\gamma_1' = (1 - r_u) \cdot \gamma_1''$$

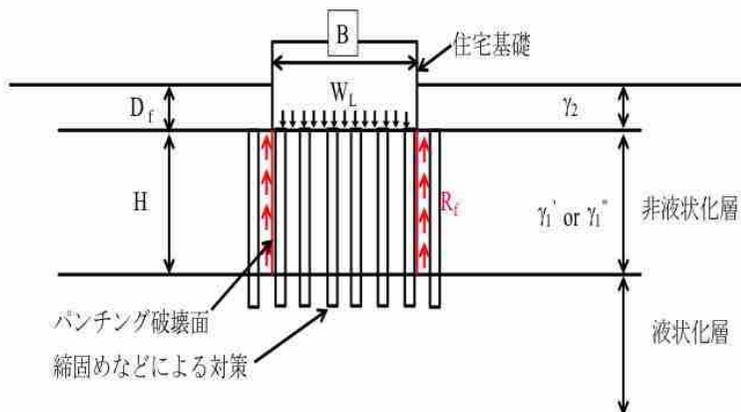
$q_a$ : 地盤の許容応力度  $\gamma_{1' liq}$ : 液状化層の地盤の単位体積重量

$\gamma_1'$ : 非液状化層の地盤の単位体積重量

$\gamma_1''$ : 震動前の地盤の単位体積重量

$r_u$ : 過剰間隙水圧比

### パンチング破壊



$$R_a = \frac{2}{3} R_f$$

$$R_f = \frac{1}{2} \cdot K_0 \cdot \gamma_1' \cdot H^2 \cdot \tan \phi \cdot (B + L) \cdot 2$$

$$\gamma_1' = (1 - r_u) \cdot \gamma_1''$$

$R_a$ : 地盤の許容応力(支持力)  $\gamma_1'$ : 非液状化層の地盤の単位体積重量

$\gamma_1''$ : 震動前の地盤の単位体積重量