

主催：総合土木研究所

## 第8回「これからの戸建て住宅基礎・地盤」 技術講習会

—液状化対策の選定と設計・施工上の留意点—  
(新築住宅を対象に)

2014年10月15日

株式会社設計室ソイル  
真島 正人

## 目 次

### 1. 液状化対策の分類

- 1.1 抜本的な液状化対策
- 1.2 液状化を許容した簡易な対策
- 1.3 液状化対策の一覧表
- 1.4 液状化に対する有効性をPRしている工法

### 2. 抜本的な液状化対策の設計・施工と留意点

- 2.1 締固め工法
- 2.2 排水促進工法
- 2.3 変形抑止工法

### 3. 液状化を許容した簡易対策の設計・施工と留意点

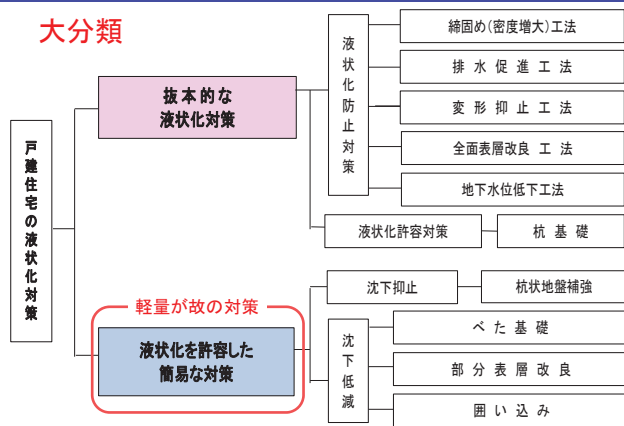
- 3.1 杭状地盤補強工法
- 3.2 浅層混合処理工法
- 3.3 砕石層を使用した工法

### 4. まとめ

- 4.1 液状化対策の必要性の判断
- 4.2 今後の対応

## 1. 液状化対策の分類

### 大分類



## 1.1 抜本的液状化対策(1)

1. 液状化対策の分類

### 1) 液状化防止対策

建物の下部地盤を液状化させない対策

- ① 締固め工法  
液状化強度の増加
- ② 排水促進工法  
過剰間隙水圧上昇の抑制
- ③ 変形抑止工法  
地盤せん断変形の抑制
- ④ 地下水低下工法  
地盤の不飽和化

### 2) 杭基礎

建物の下部地盤が液状化することを想定した杭基礎としての耐震設計

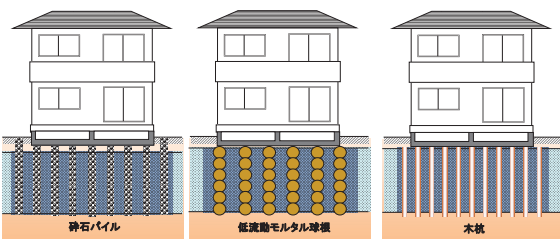
## 1.1 抜本的液状化対策(2)

1. 液状化対策の分類

### 1) 液状化防止対策

#### ① 締固め工法

砂・砕石・モルタル・木材などのパイルで緩い砂地盤を締め固め、液状化強度を高める。

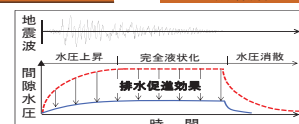


## 1.1 抜本的液状化対策(3)

1. 液状化対策の分類

### ② 排水促進工法

砕石パイルや有孔パイプなど、高透水性ドレーン材の排水促進効果により、間隙水圧の上昇を抑える。

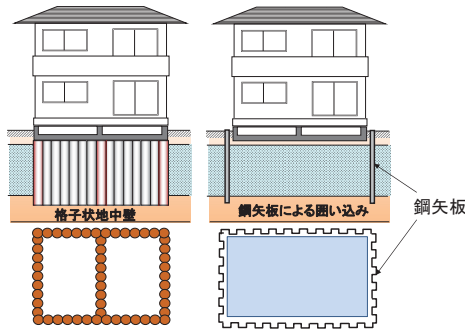


## 1.1 抜本的液状化対策(4)

1. 液状化対策の分類

### ③変形抑止工法

格子状地中連続壁や鋼矢板の剛性効果により、地震時における地盤のせん断変形を抑制する。

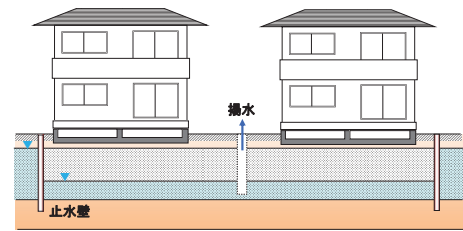


## 1.1 抜本的液状化対策(5)

1. 液状化対策の分類

### ④地下水低下工法

地下水を汲み上げて、常時地下水位を低下させ、地盤を**不飽和**にする。  
地下水位以下の地盤は液状化強度を高める。



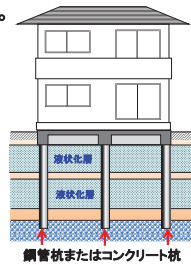
## 1.1 抜本的液状化対策(6)

1. 液状化対策の分類

### 2) 杭基礎

建物の下部地盤が液状化することを想定した杭基礎の耐震設計(鉛直支持力、水平抵抗、杭頭接合部)を行う。

- ①液状化層より上部の摩擦抵抗を考慮しない。
- ②杭先端地盤(支持層)は液状化しない。
- ③液状化層の水平地盤反力を低減(または無視)する
- ④基礎スラブ-杭頭間では水平力を確実に伝達できる。



## 1.2 液状化を許容した簡易な対策(1)

1. 液状化対策の分類

### 液状化を許容した簡易な対策(被害軽減対策)

液状化を考慮した厳密な設計は難しいが、以下の項目を条件に適用可能な対策

- 3階建て以下の軽量建物であること
- 過大な地盤変状を起こさないこと(側方流動、法面・擁壁崩壊)

#### 1) 沈下抑止対策(地盤が液状化しても建物を沈下させない)

- 杭状地盤補強

#### 2) 沈下低減対策(液状化による建物沈下をある程度許容)

- ①べた基礎
- ②部分表層処理
- ③囲い込み

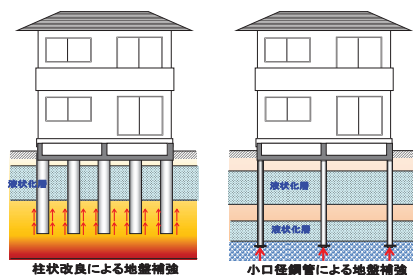
## 1.2 液状化を許容した簡易な対策(2)

1. 液状化対策の分類

### 1) 沈下抑止対策

建物の下部地盤が液状化しても建物の沈下を抑制できる**杭状地盤補強**

柱状改良、小径鋼管、木杭、コンクリート杭を液状化層下部の非液状化層まで設け、非液状化層の摩擦抵抗や先端支持力により建物を支持する。



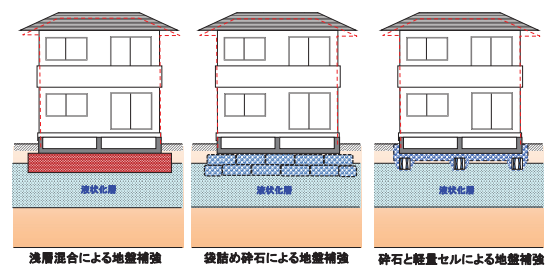
## 1.2 液状化を許容した簡易な対策(3)

1. 液状化対策の分類

### 2) 沈下低減対策(部分表層処理)

建物の下部地盤が液状化しても建物の(不同)沈下量を、無修復または簡単に修復可能な程度に低減できる対策

- ①浅層混合処理
- ②袋詰め碎石マット
- ③碎石+軽量セル

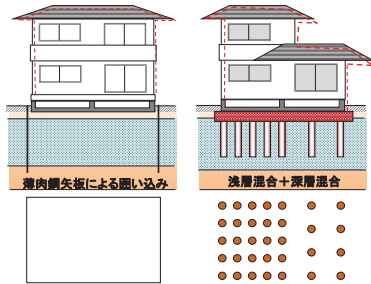


## 1.2 液状化を許容した簡易な対策(4) 1. 液状化対策の分類

### 2) 沈下軽減対策(囲い込み等)

建物の下部地盤が液状化しても建物の(不同)沈下量を、**無修復または簡単に修復可能な程度に低減できる対策**

- ① 薄肉鋼矢板による囲い込み
- ② 浅層混合+深層混合



## 1.3 液状化対策の一覧(抜本的) 1. 液状化対策の分類

対策工法	設計法	適用・制約条件		
		4号建物以外	液状化層厚の違い 敷地内外の高低差	採用・設計上の目安
締固め	砂・砕石パイル	○	○	液状化層厚が6~8m以内 既存構造物や隣地に影響しない
	低流動モルタル杭	○	○	液状化層厚が8m以内 既存構造物や隣地に影響しない
排水促進	砕石ドレーン	○	△	液状化層厚が6~8m以内 液状化層の透水性が高い( $F_c \leq 10\%$ ) 建物外周部の改良が可能
	プラスチックドレーン	○	△	同上
変形抑止	格子状地中壁	○	○	液状化層厚が6~8m以内
	高剛性鋼矢板	△	△	鋼矢板の施工スペースを確保できる
全面固化(表層改良)	○	○	○	改良層厚が2m以内
地下水位低下	○	○	△	過大な圧密沈下を生じない 用水設備の長期間維持管理が可能
杭基礎	○	○	○	一般建築物と同様な設計が可能

## 1.3 液状化対策の一覧(簡易対策) 1. 液状化対策の選定

対策工法	設計法	適用・制約条件		
		4号建物以外	液状化層厚の違い 敷地内外の高低差	採用・設計上の目安
ベタ基礎	△	△	×	基礎下2m以内に液状化層がない $PL \leq 5, D_{90} \leq 5$ , 地表面への影響小
表層処理	浅層混合処理	△	△	改良厚さ2m以内
	袋詰め砕石マット	△	△	改良後の $PL \leq 5, D_{90} \leq 5$ , 地表面への影響小
	特殊ブロック+砕石	△	△	同上
杭状地盤補強	深層混合処理	△	△	液状化層厚が5~10m以内
	無筋モルタル杭	×	×	杭状体の先端地盤が液状化しない
	PCコンクリート杭	△	△	液状化層より上部の摩擦抵抗を無視 しても必要鉛直支持力を確保できる
	木杭	△	△	杭状体-基礎スラブ間で水平力の 伝達ができる
浅層混合+深層混合	△	△	×	液状化層厚が5~8m以内
矢板囲い込み	△	△	×	$PL \leq 5, D_{90} \leq 5$ , 地表面への影響小

## 1.4 住宅に対する有効性をPRしている工法(1)

対策効果の大小、設計・施工基準の完成度、適用実績などの違いはあるが、**25工法**が液状化に有効な対策として公開されている。

- ① 液状化防止工法 **18工法**
- ② 液状化を許容した被害軽減工法 **7工法**

内、

- 1. 液状化対策や振動低減に関連した審査証明を取得している工法 **5工法**
- 2. 鉛直支持力や施工品質に関する審査証明を取得している工法 **10工法**  
(液状化とは直接関係のない審査証明)

## 1.4 液状化に対する有効性をPRしている工法(2)

(液状化防止対策: 密度増大、排水促進工法)

No	工法名称	材料	原理?	審査証明	
				機関	内容
1	HvSPEED	砕石パイル	排水促進	GBRC	鉛直支持力
2	エコジオ	砕石パイル	密度増大、排水促進	GBRC	鉛直支持力
3	ACPD	砕石パイル	密度増大、排水促進	GBRC	鉛直支持力
4	スクリュープレス	砕石パイル	密度増大、排水促進	JCMA	施工品質
5	NUPグラベルドレーン	砕石パイル	密度増大、排水促進		
6	フレコンサンドパイル	砂パイル	密度増大		
7	LP-LiC	木杭	密度増大	ACTEC GBRC	液状化対策 密度増大
8	グラベルウッドパイル	木杭+砕石	密度増大、排水促進	BL	液状化対策 密度増大
9	CSV	ドライモルタルパイル	密度増大	BL	鉛直支持力
10	CPG	ソイルモルタル	密度増大		
11	+NBZ	鋼管+砕石	排水促進	GBRC	鉛直支持力
12	アースドレーン	プラスチックドレーン	排水促進	JIWET	マホール浮上抑制

## 1.4 液状化に対する有効性をPRしている工法(3)

(液状化防止対策: 固化による変形抑止)

No	工法名称	材料	原理?	審査証明	
				機関	内容
13	WIB	深層混合	変形抑止	ACTEC	振動低減
14	GRID-WALL	深層混合	変形抑止	GBRC	施工品質
15	SHEAD	深層混合	変形抑止		
16	エコタイト	高圧ジェット噴射	変形抑止		
17	超小型マルチジェット	高圧ジェット噴射	変形抑止		
18	Minyマルチ	高圧ジェット噴射	変形抑止		

記号	審査機関名
ACTEC	先端建設技術センター
GBRC	日本建築総合試験所
BCJ	日本建築センター
JCMA	日本建設機械施工協会
JIWET	下水道新技術推進機構

## 1.4 液状化に対する効果をPRしている工法(4)

(被害軽減対策: 不同沈下低減)

No	工法名称	材 料	原理?	審査証明	
				機関	内容
19	ベースバランス	表層混合+深層混合	剛性増加 改良仕様の調整		
20	K-GEN	薄肉鋼矢板	囲い込み		
21	スーパージオ	プラスチックBOX+砕石	荷重軽減、排水促進		
22	D-BOX	砕石+土嚢(合成繊維)	剛性増加、排水促進	?	振動低減
23	Hyperエコマット	砕石+ジオクリッド	剛性増加、排水促進	BCJ	施工品質
24	トップベース	コンクリートブロック	剛性増加	BCJ	施工品質
25	MS(基礎)	浅層混合(格子状)	剛性増加、変形拘束	GBRC	鉛直支持力

## 2. 抜本的液状化対策の設計・施工と留意点

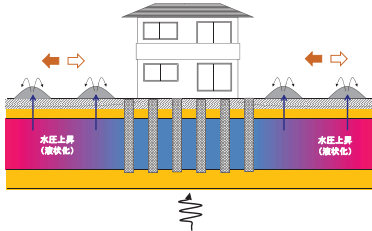
- 2.1 締固め工法
- 2.2 排水促進工法
- 2.3 変形抑止工法

### 2.1 締固め工法(1)

砂・砕石・モルタル・木杭などを緩い砂地盤中に圧入し、締固め(密度増加)により、液状化強度を高める。

#### ●特長

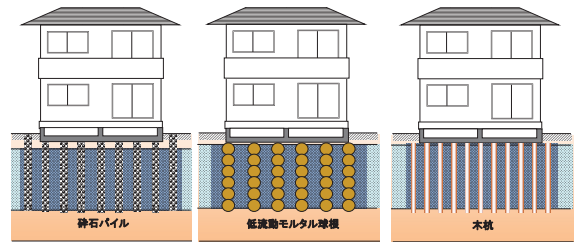
- ・一般建築物や土木構造物での実績大。
- ・設計法が確立されている。
- ・密度増加により地耐力増加も期待できる。



### 2.1 締固め工法(2)

#### ●課題

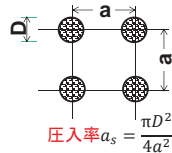
- ・敷地境界、擁壁近傍で地盤変状を生じる。
- ・締固め材の圧入に大きなパワーが必要。  
⇒比較的大きな施工機械が必要。  
⇒戸建住宅での過去の実績は少ない



### 2.1 締固め工法(設計法)

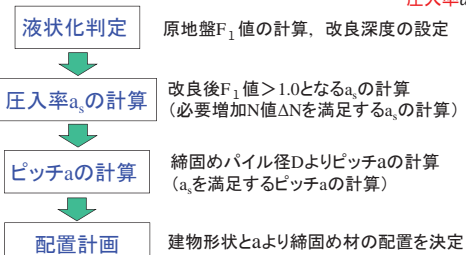
#### 1. 設計に必要な地盤パラメータ

実測: (単位体積重量  $\gamma_s$ ), N値,  
細粒分含有率  $F_c$ , 地下水位  
推定: 間隙比 ( $e_0, e_{min}, e_{max}$ ), 相対密度  $D_r$



$$\text{圧入率 } a_s = \frac{\pi D^2}{4a^2}$$

#### 2. 設計手順



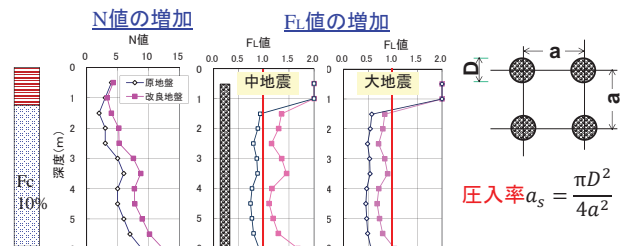
### 2.1 締固め工法(計算例)

AII-建築基礎のための地盤改良設計指針案

パイル径  $D=400\text{mm}$   
ピッチ  $a=1.8\text{m}$   
圧入率  $a_s=4\%$

地震レベル	地震力	無対策			対策1		
		Dcy	PL	危険度	Dcy	PL	危険度
中地震	M=7.5 $\alpha_{max}=200\text{gal}$	7	7	中	0	0	無
大地震	M=8.0 $\alpha_{max}=300\text{gal}$	11	20	大	6	8	中

大地震でも、「中」程度の被害に抑えたい……



## 2.1 締固め工法 (計算例)

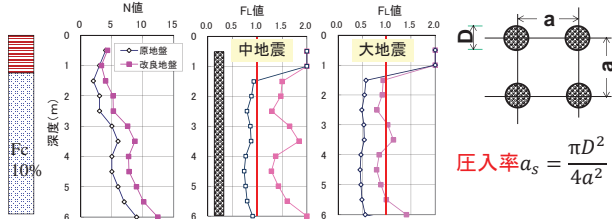
AII:建築基礎のための地盤改良設計指針案

パイル径D=400mm  
ピッチ a=1.5m  
圧入率 a<sub>s</sub>=5.6%

地震レベル	地震力	無対策			対策2		
		D <sub>cy</sub>	PL	危険度	D <sub>cy</sub>	PL	危険度
中地震	M=7.5 α <sub>max</sub> =200gal	7	7	中	0	0	無
大地震	M=8.0 α <sub>max</sub> =300gal	11	20	大	3	3	小

N値の増加

FL値の増加



## 2.1 締固め工法 (計算例)

AII:建築基礎のための地盤改良設計指針案

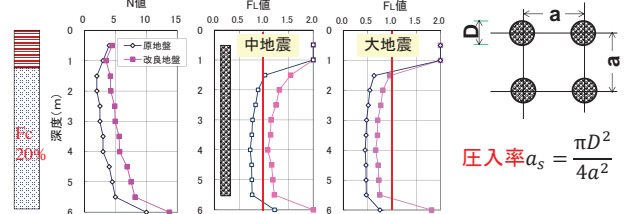
パイル径D=400mm  
ピッチ a=1.45m  
圧入率 a<sub>s</sub>=6%

地震レベル	地震力	無対策			対策1		
		D <sub>cy</sub>	PL	危険度	D <sub>cy</sub>	PL	危険度
中地震	M=7.5 α <sub>max</sub> =200gal	6	7	中	0	0	無
大地震	M=8.0 α <sub>max</sub> =300gal	11	19	大	5	9	中

細粒分(F<sub>c</sub>)が多いと、締固め効率が下がり、ピッチは狭くなる

N値の増加

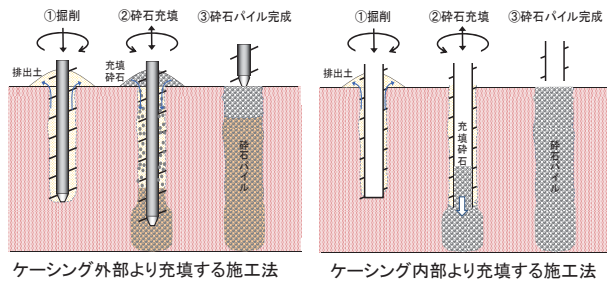
FL値の増加



## 2.1 締固め工法 (留意点)

掘削時に排土を伴う工法では、排出土量を考慮して  
砕石充填量を決定する必要がある。

$$\text{砕石充填量} = \text{必要圧入量} + \text{排出土量}$$

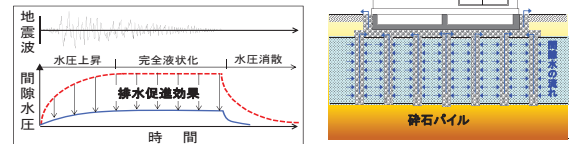


## 2.2 排水促進工法 (鉛直ドレーン系) (1)

砕石パイルや有孔パイプなど、高透水性のドレーン材  
の排水促進効果により、過剰間隙水圧の上昇を抑える

●特長

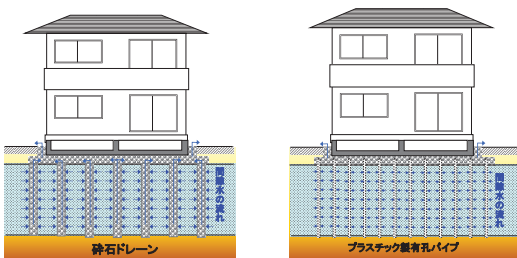
- ・施工時における地盤変状が小さい。
- ・締固め工法より施工機械のパワーを必要としない。
- ・砕石パイルと地盤の複合効果で地耐力増加も期待できる。



## 2.2 排水促進工法 (鉛直ドレーン系) (2)

●課題

- ・戸建住宅など改良範囲が狭いと効果が低い。
- ・設計用地盤パラメータの設定が難しい。
- ・材料や施工法によっては長期的排水性能の維持が難しい。



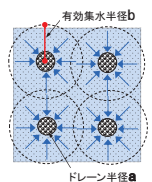
## 2.2 排水促進工法 (設計法)

### 1. 設計に必要な地盤パラメータ

実測:(単位体積重量  $\gamma_s$ ), N値, 細粒分含有率  $F_c$ , 地下水位  
推定: 体積圧縮係数  $m_v$ , 透水係数  $k_s$

### 2. 設計手順

- 液状化判定  $F_1$  値の計算, 改良深度の設定
- 設計水圧比の設定 ( $u_{max}/\sigma'_v$ ) 0.5に設定
- 地震動条件の設定 有効継続時間  $t_d$ , 等価繰返回数  $N_{eq}$ , 液状化に至る繰返し回数  $N_f$  など設定
- 時間係数  $T_f$  の計算  $T_f = k_s \times t_d / (m_v \times \gamma_w \times a^2)$
- 有効集水半径  $b$  決定 グラフより設計水圧比を満足する  $a/b$  を読み取り
- ドレーンピッチ計算  $a/b$  よりドレーンピッチ  $S$  の計算
- 配置計画 建物形状と  $S$  よりドレーンの配置を決定





## 2.2 排水促進工法 (計算例)

液状化対策工法設計・施工マニュアル (案)

### 1. 地盤パラメータ

透水係数  $k_s = 5 \times 10^{-5} \text{m/sec}$  ( $D_{20}=0.16\text{mm}$  対応, かなり透水性が高い)  
 体積圧縮係数  $m_v = 7.5 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{kN}$  (緩い砂)

### 2. 地震動パラメータ

マグニチュード  $M=7.5$  有効継続時間  $t_d=9.0\text{sec}$   
 等価繰返し回数  $N_{eq}=15$  回  
 液状化安全率  $F_L = 0.7$  (仮定)

液状化に至る繰返し回数  $N_l = 20 \times (1/F_L)^{1/0.17} = 2.45$

### 3. 時間係数 $T_l$

ドレーン半径  $a = 20\text{cm}$   $t_l = N_l \times t_d / N_{eq} = 1.5$

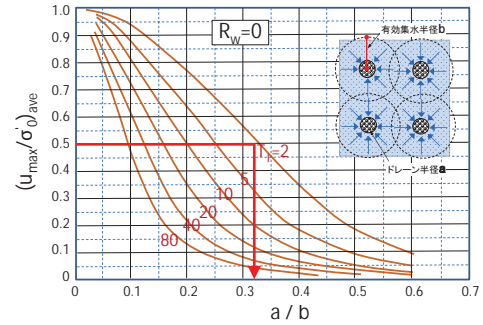
$$T_l = k_s \times t_l / (m_v \times \gamma_w \times a^2) = 2.5$$

## 2.2 排水促進工法 (計算例)

液状化対策工法設計・施工マニュアル (案)

### 4. ドレーンピッチ $S$ の計算

下図より,  $a/b=0.31$  (有効集水半径)  $b=a/0.32=62.5\text{cm}$   
 ドレーンピッチ (正方形配置)  $S=2b/1.13=111\text{cm}$



## 2.2 排水促進工法 (計算例)

### 5. $F_L=0.5 \sim 0.9$ に対応するドレーンピッチ $S$

マグニチュード $M$	7.5				
地表面最大加速度 $\alpha_{max}$	200				
液状化安全率 $F_L$	0.90	0.8	0.7	0.6	0.5
許容水圧比 $u_{max}/(\sigma'_v)_{ave}$	0.5				
$N_l$	10.76	5.38	2.45	0.99	0.34
$t_l$	6.46	3.23	1.47	0.59	0.20
時間係数 $T_l$	10.8	5.4	2.5	1.0	0.3
ドレーン半径 $a$ / 有効集水半径 $b$	0.19	0.24	0.32	0.4	設計不能
有効集水半径 $b$ (cm)	105	83	63	50	
ドレーン間隔 $S$ (cm) 正方形	186	147	111	88	

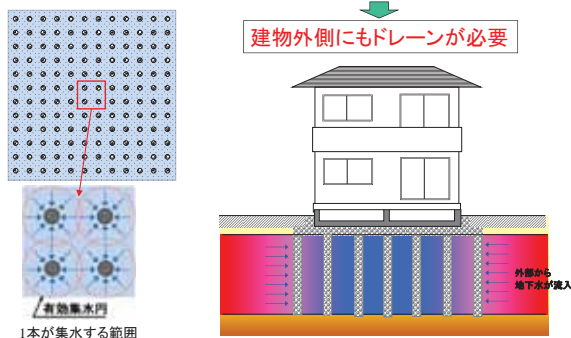
$M=7.5, \alpha_{max}=200\text{gal}$  で  $F_L=0.7$        $M=7.5, \alpha_{max}=280\text{gal}$  で  $F_L=0.5$

## 2.2 排水促進工法 (設計上の留意点) (1)

- 設計に必要な地盤パラメータの精度が低い
- 地盤パラメータ、地震動パラメータピッチの僅かな違いで水圧が大きく変化する
- 大地震での効果は低い ( $F_L < 0.7$ ) には不適
- 透水性の低いシルト混じり砂では効果が低い
- 水圧消散後に地盤沈下を生じる
- 改良範囲が狭いと効果が低い  
 ⇒ 十分余裕を持った設計を行うこと  
 ⇒ 直接基礎では、締固め工法との併用が望ましい  
 ⇒ 建物外周地盤の改良も必要

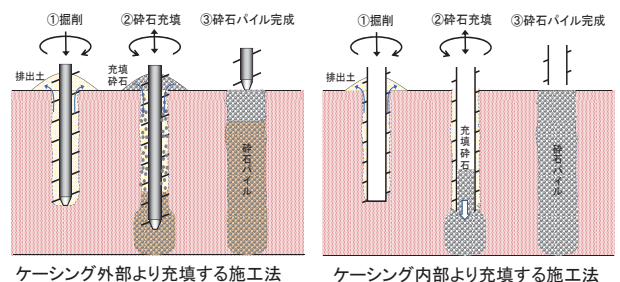
## 2.2 排水促進工法 (設計上の留意点) (2)

- ピッチの設計はドレーンが平面的に連続していることが条件  
 有効集水円の外からの過剰間隙水の流入がない。  
 外側に近いドレーン近傍地盤では、設計値以上に水圧が上昇



## 2.2 排水促進工法 (施工上の留意点)

- ケーシング外部より碎石を充填する方法では、碎石と土砂が混じり合い、ドレーンの高透水性が確保できない。
- ケーシング内部より充填する方法でも、 $\phi 5 \sim 15\text{mm}$  の碎石を使用しないと、長期的透水性の確保は難しい。



## 2.2 排水促進工法(材料選定上の留意点)



× 4~5号碎石(13~30mm) ○ 6~7号碎石(2.5~13mm)



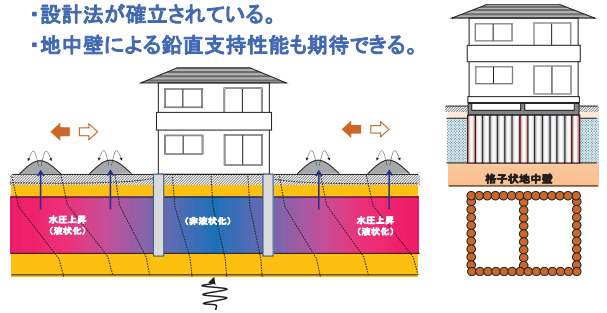
写真-2) 単軸砕石による排水グラベルドレーン杭

## 2.3 変形抑止工法

格子状ソイルセメント地中壁や鋼矢板の剛性効果により、地震時における地盤のせん断変形を抑制する。

### ●特長(ソイルセメント地中壁)

- ・一般建築物や土木構造物での実績大。
- ・設計法が確立されている。
- ・地中壁による鉛直支持性能も期待できる。



## 2.3 変形抑止工法

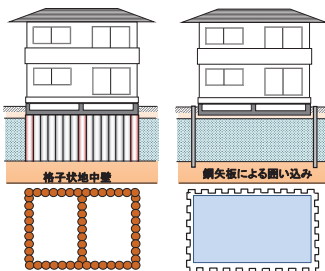
### ●課題

#### <ソイルセメント地中壁>

- ・残土処分量が多い。⇒工事費が高い
- ・施工数量が多い。
- ・単軸機では確実なラップ施工が難しい。⇒戸建住宅での実績は小

#### <鋼矢板>

- ・外周のみでは改良効果低い
- ・工事費(材料費)が高い
- ⇒戸建住宅での実績は小

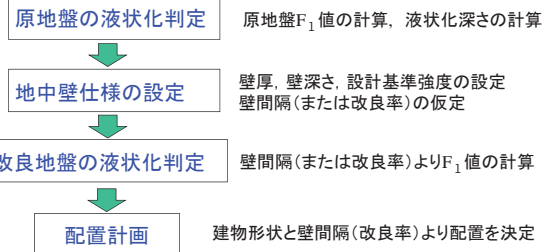


## 2.3 深層混合処理による変形抑止工法(設計法)

### 1. 設計に必要な地盤パラメータ

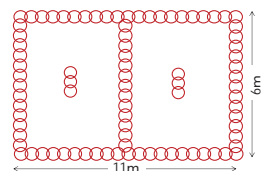
実測:(単位体積重量  $\gamma_t$ ),  $N$ 値, 細粒分含有率  $F_c$ , 地下水位

### 2. 設計手順



## 2.3 変形抑止工法(計算例)

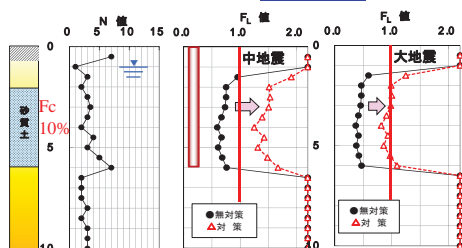
AU-建築基礎のための地盤改良設計指針



$F_c=800\text{kN/m}^2$ ,  $B=45\text{cm}$ ,  $L=6\text{m}$

地震レベル	地震力 $M=7.5$ $\sigma_{max}=200\text{gal}$	無対策			対策1		
		$D_{cy}$	$P_L$	危険度	$D_{cy}$	$P_L$	危険度
中地震		12	11	中大	0	0	無
大地震	$M=8.0$ $\sigma_{max}=300\text{gal}$	15	22	極大	5	2	小

$F_L$ 値の増加



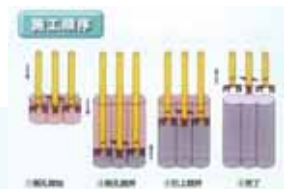
液状化層の下部に明確な支持層が無い場合の対策として有効

## 住宅用格子状地盤改良(施工法)

鉛直支持力対策  
兼  
液状化対策



施工機械(小型三軸機)

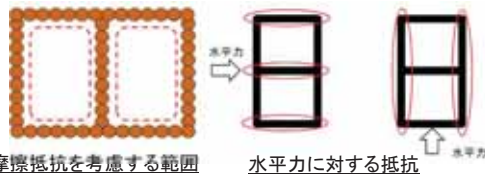


施工イメージ

## 2.3 深層混合処理による変形抑止工法(留意点)

### ■設計上の留意点

- ・地中壁外面の摩擦抵抗を考慮しない。
- ・水平力には、地中壁のせん断強度で抵抗する。
- ・格子間隔を極端に広くしない(最大6m程度、最低でも日の字配置)



### ■施工上の留意点

- ・擁壁近傍での施工(地盤変位)。
- ・多量の残土処分。

## 3. 液状化を許容した簡易な対策の設計・施工と留意点

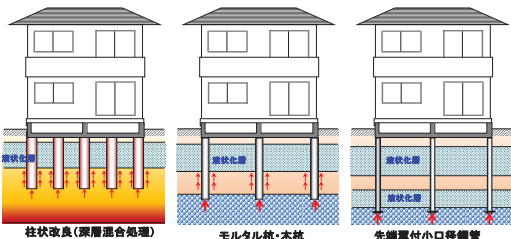
1. 杭状地盤補強工法
2. 浅層混合処理工法
3. 碎石層を使用した工法

## 3.1 杭状地盤補強(1)

杭状体を液状化層下部の非液状化層まで設け、非液状化層の摩擦抵抗や先端支持力により建物を支持する。

### ●特長

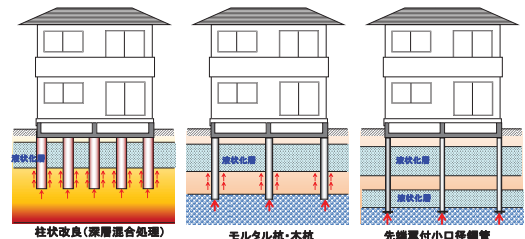
- ・過去の地震で被害軽減効果が確認されている。
- ・地耐力増加対策との併用が可能。 ➡ 実用性が高い
- ・液状化防止対策より安価(工法により異なる)。



## 3.1 杭状地盤補強(2)

### ●課題

- ・4号建物以外では、構造計算書の提出が求められる。
- ・液状化により大きな地盤変位を生じると、杭体の破損、杭体と基礎のスレが生じる危険性がある。
- ・地震後、地盤沈下により基礎下に空隙が生じる。 ➡ 実用性は高いが、慎重な設計と材料選定が必要

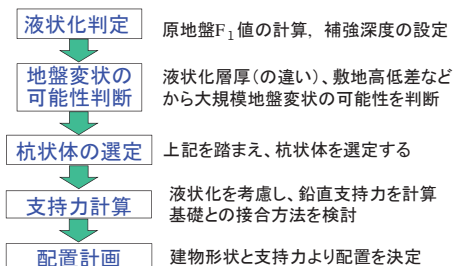


## 3.1 杭状地盤補強(液状化を考慮した設計法)

### 1. 設計に必要な地盤パラメータ

実測: SWS試験データ( $W_{sw}$ ,  $N_{sw}$ )  
または、N値  
細粒含有率  $F_c$ 、地下水位

### 2. 設計手順



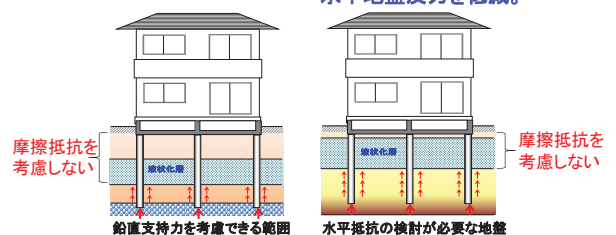
## 3.1 杭状地盤補強(液状化を考慮した設計法)

・液状化層の摩擦抵抗、先端支持力が喪失する。

- ① 液状化層より上部の摩擦抵抗を考慮しない。
- ② 液状化層を杭状体の支持層としない。

・水平地盤反力が喪失(低下)する。

- ① 杭状体の水平抵抗の検討
- ② 杭頭部付近から液状化するようであれば、水平地盤反力を低減。

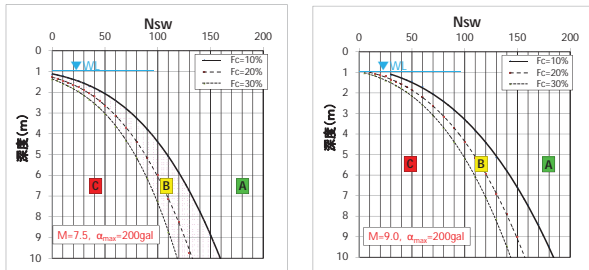




### 3.1 杭状地盤補強 (杭状体の支持層の目安) 1

杭状体の先端を下記条件の地盤に定着させる

- ① 中地震対応 **A**ゾーン
- ② 大地震対応 **B**ゾーン

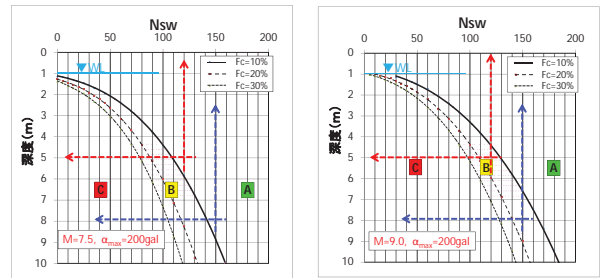


**A**: 液状化の可能性小  
**B**:  $F_c$ 等により判断が異なる  
**C**: 液状化の可能性大

液状化に対する限界 $N_{sw}$  (目安)

### 3.1 杭状地盤補強 (杭状体の支持層の目安) 2

例えば、深さ5mであれば $N_{sw}$  120  
 深さ8mであれば $N_{sw}$  150



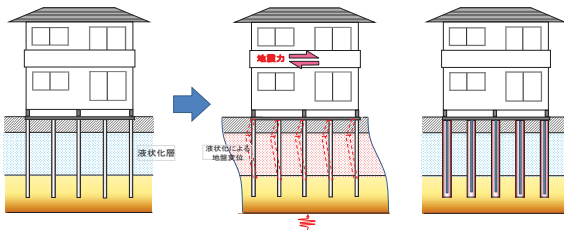
**A**: 液状化の可能性小  
**B**:  $F_c$ 等により判断が異なる  
**C**: 液状化の可能性大

液状化に対する限界 $N_{sw}$  (目安)

### 3.1 杭状地盤補強 (設計及び適用上の留意点) 3

#### 1. 地盤の水平変位

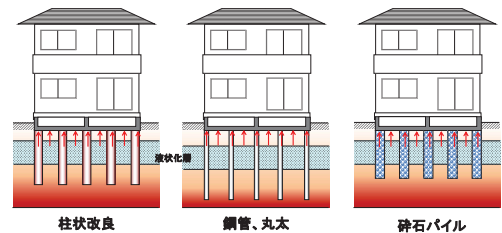
- ・液状化により大きな水平地盤変位を生じる。
  - ・靱性に乏しい(曲げ強度が低い)杭状体は破損し鉛直支持性能を喪失する危険性がある。
- ⇒ 細い無筋のモルタル、コンクリート杭は使用しない  
 ⇒ 長尺のソイルセメントコラムも避ける  
 (採用する場合は芯材として鋼管を挿入)



### 3.1 杭状地盤補強 (設計及び適用上の留意点) 4

#### 2. 複合地盤補強工法: 杭状体と原地盤支持力を併用

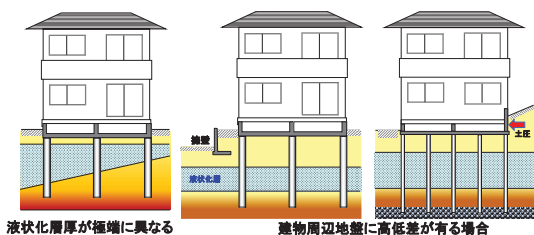
- ・原地盤が液状化すると、支持力式が成立しない
- ⇒ 原地盤の液状化を防止できない限り
- ① 短期許容支持力は杭状補強として設計
  - ② 採用しない



### 3.1 杭状地盤補強 (設計及び適用上の留意点) 5

#### 3. 特に大変形が予想される地盤

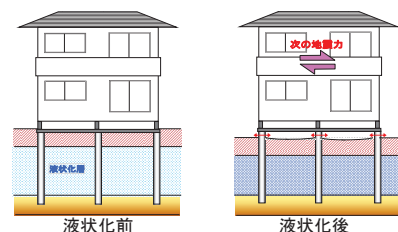
- ・液状化層厚が極端に異なる地盤
  - ・建物周辺に高低差がある地盤
- ⇒ 液状化により側方流動など大きな地盤変位を生じる
- ① 杭状体の破損、過大な変形
  - ② 杭状体の頭部と基礎のズレ



### 3.1 杭状地盤補強 (設計及び適用上の留意点) 6

#### 4. 基礎下の空隙 (地盤沈下により基礎下に空隙が生じる)

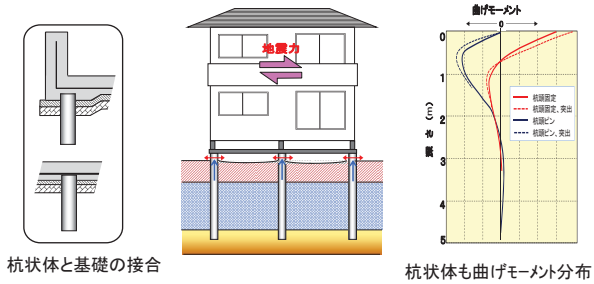
- ① 設備配管の破断 ⇒ 継手のフレキシブル化
  - ② 基礎根入れ抵抗の喪失
- ⇒ 次の地震では杭体頭部に水平力が作用する  
 再液状化の可能性もある
- ⇒ 空隙を充填するとしても、水平力に対する杭体の検討が必要



### 3.1 杭状地盤補強(基礎下空隙)6-2

＜水平力に対する接合部と杭状体の検討＞

- ①基礎-杭頭間で水平力を伝達できる接合法
  - ・鉄筋で定着するか、杭を基礎に呑み込ませる
- ②杭状体の曲げ強度、せん断強度の照査



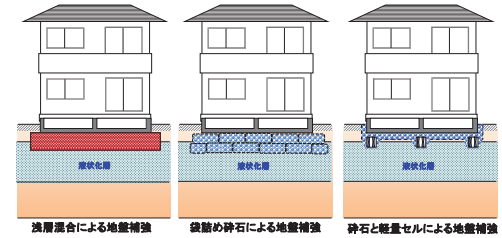
### 3.2 表層地盤改良

浅層混合改良、袋詰め砕石、特殊軽量体を基礎下に設け、

- ①改良体の剛性、②液状化層厚の削減、③排水効果、④荷重軽減効果により、建物の(不同)沈下を軽減する。

●特長

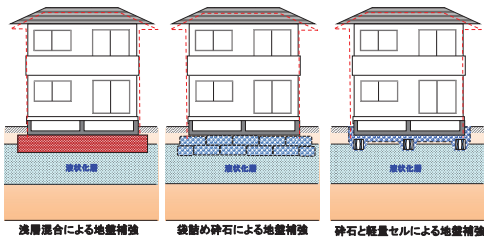
- ・地耐力増加対策との併用が可能。 → 実用的
- ・最も安価な対策。



### 3.2 表層地盤補強

●課題

- ・液状化に伴い地盤(建物)沈下が発生する。
  - ⇒地震後に沈下修正が必要となる場合もある。
- ・改良効果の予測や数値的の評価が難しい。
- ・液状化に対する設計法が確立されているか？
  - ⇒最も慎重な計画・対策(沈下修正含む)が必要

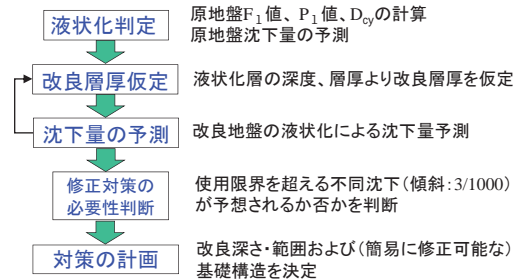


### 3.2 浅層混合処理工法(設計法)

1. 設計に必要な地盤パラメータ

実測: SWS試験データ( $W_{sw}$ ,  $N_{sw}$ )  
または、 $N$ 値  
細粒分含有率  $F_c$ 、地下水位

2. 設計手順



### 3.2 浅層混合処理工法(沈下量の試算例)

1. 沈下量の考え方(①と②の合計)

- ①液状化判定の際に求められる $D_{cy}$
- ②建物荷重による液状化層の沈下量 $S_L$

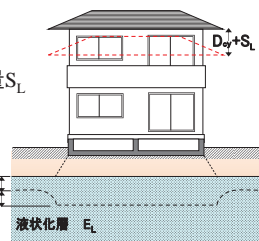
液状化層のヤング率 $E_L$

$D_{cy}$ を求める際に得られる繰返しせん断ひずみ $\gamma_{cy}$ を体積ひずみ $\varepsilon_v$ と読み換え、下式より求める。

$$E_L = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \cdot \frac{\sigma'_z}{\varepsilon_v} = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \cdot \frac{\sigma'_z}{\frac{2}{3} \gamma_{cy}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma'_z}{\gamma_{cy}}$$

$\nu$ : 液状化層のポアソン比( 1/3)

$\sigma'_z$ :  $\gamma_{cy}$ を求めた深度の有効鉛直応力(kN/m<sup>2</sup>)



### 3.2 浅層混合処理工法(沈下量の試算例)

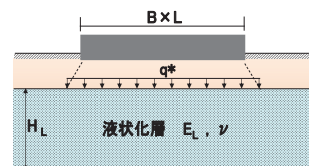
建物荷重による液状化層の沈下量 $S_L$

$$S_L = \mu_H(H, \nu) \times \frac{q^* \times \sqrt{A}}{E_L}$$

$\mu_H(H, \nu)$ : 影響係数

$q^*$ : 液状化層上端の平均荷重度(kN/m<sup>2</sup>)

$A$ : 液状化層上端の荷重面積(m<sup>2</sup>)



### 3.2 浅層混合処理工法(沈下量の試算例)

検討地盤

		M=7.5, $\alpha_{max}=200gal$			M=8.0, $\alpha_{max}=350gal$		
Nsw 100 200	0.0~0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	0.5~1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	1.0~1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	1.5~2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	2.0~2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	2.5~3.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	3.0~3.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	3.5~4.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	4.0~4.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	4.5~5.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

### 3.2 浅層混合処理工法(沈下量の試算例)

$$E_L = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \cdot \frac{\sigma'_z}{\epsilon_\nu} = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \cdot \frac{\sigma'_z}{\gamma_{cy}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma'_z}{\gamma_{cy}}$$

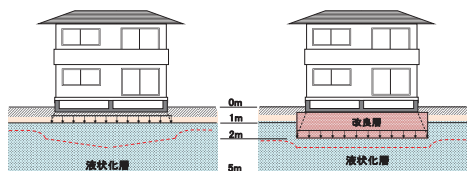
Z	$\sigma'_z$	M=7.5 $\alpha_{max}=200gal$		M=8.0 $\alpha_{max}=350gal$	
		$\gamma_{cy}$	$E_L$	$\gamma_{cy}$	$E_L$
1.0~1.5	20.1	1.00	1340	3.00	447
1.5~2.0	24.2	2.00	807	3.00	538
2.0~2.5	28.3	2.00	943	3.00	629
2.5~3.0	32.4	1.50	1440	2.00	1080
3.0~3.5	36.5	2.00	1217	2.00	1217
3.5~4.0	40.6	2.00	1353	3.00	902
4.0~4.5	44.7	2.50	1192	3.00	993
4.5~5.0	48.8	2.50	1301	3.00	1084
平均値	34.5	1.94	1185	2.75	835

### 3.2 浅層混合処理工法(設計上の留意点)

改良層の剛性で不同沈下は低減できるが、液状化層が残ると、かなりの沈下が予想される。

簡易な沈下修正方法と併用すべき

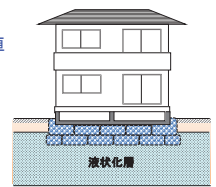
改良有無	M=7.5, $\alpha_{max}=200gal$			M=8.0, $\alpha_{max}=350gal$		
	SL (cm)	D <sub>cy</sub> (cm)	S <sub>max</sub> (cm)	SL (cm)	D <sub>cy</sub> (cm)	S <sub>max</sub> (cm)
無改良	3.2	8.5	11.7	4.6	12.5	17.1
改良2.0m	2.1	7.0	9.1	3.0	9.5	12.5
改良効果	22%			27%		



### 3.3 碎石層を利用した工法(設計法)

#### 1. 設計に必要な地盤パラメータ

実測: SWS試験データ( $W_{sw}$ ,  $N_{sw}$ )または、 $N$ 値  
細粒分含有率  $F_c$ 、地下水位  
推定: 体積圧縮係数  $m_v$ 、透水係数  $k_s$

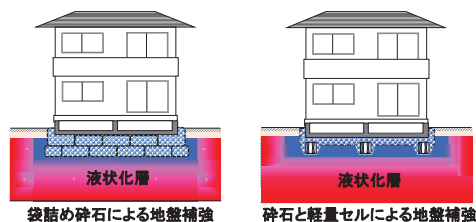


#### 2. 設計手順

- 液状化判定: 原地盤  $F_1$  値、 $P_1$  値、 $D_{cy}$  原地盤沈下量の予測
- 改良層厚仮定: 液状化層の深度、層厚より改良層厚を仮定
- 排水促進効果の予測: 過剰間隙水圧の低減範囲を予測
- 沈下量の予測: 排水促進効果を考慮した沈下量の予測
- 対策の計画: 改良深さ・範囲および(簡易に修正可能な)基礎構造を決定

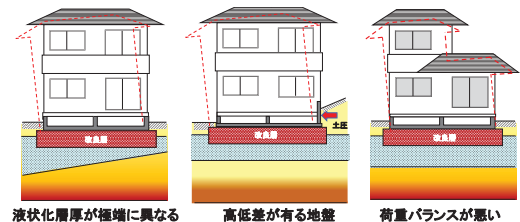
### 3.3 碎石層を利用した工法(設計法)

- ・碎石層の排水促進効果を期待できるが、  
⇒地震中の水圧低減効果が及ぶ範囲は狭くない。  
⇒液状化(地震)後に水が速く抜けても、対策効果は低い。
- ・(不同)沈下低減効果を得るためには  
⇒碎石マットの剛性を期待する。  
⇒特殊軽量体の荷重軽減効果を期待する。



### 3.3 表層地盤補強(適用上の留意点)

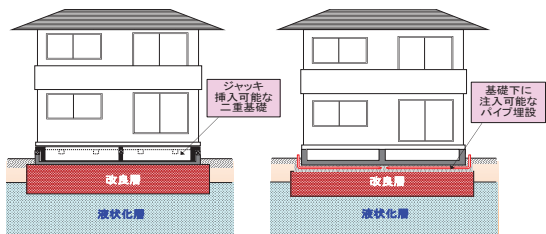
1. 液状化層全てを改良した場合を除き、  
建物沈下は避けられない。  
・不同沈下や水平変位が予想される場合は適用しない
  - ①液状化層厚が極端に異なる地盤
  - ②敷地に高低差がある地盤
  - ③荷重バランスの悪い建物



### 3.3 表層地盤補強 (適用上の留意点)

・大きな沈下が予想される場合

- ①改良層厚を可能な限り厚くする。
- ②改良幅を可能な限り広くする。
- ③簡易な沈下修復方法の採用
  - ・改良層を反力として、簡単に修正可能な二重基礎
  - ・基礎下に注入可能なパイプ埋設

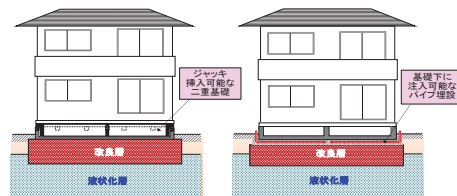


### 3.3 表層地盤補強 (沈下修復を前提とした基礎対策)

抜本的対策を行うと莫大な工事費を要する場合の対応策  
杭状地盤補強も適用できないような地盤

- 中地震までは沈下修正不要の対策
- 大地震により不同沈下が生じた場合は、下部地盤を掘削せず、安価に沈下修復可能な方法を採用

- ①ジャッキやボルト等で簡単に修復できる基礎構造
- ②基礎下に注入管を埋設して置き、注入により沈下修復

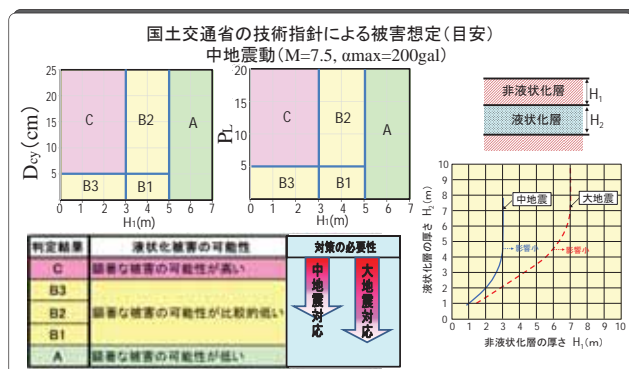


## 4. まとめ

- 1. 液状化対策の必要性の判断
- 2. 今後(2015.4以降)の対応

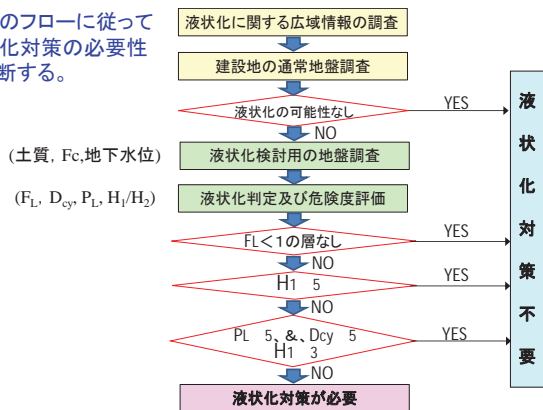
### 4.1 液状化対策の必要性の判断(目安)1

下図を参考にし、居住者の希望にも配慮して、対策の必要性や対策方法を選定・計画する



### 4.1 液状化対策の必要性の判断(検討手順)

左図のフローに従って液状化対策の必要性を判断する。



### 4.1 対策工法の選定・設計に必要な諸条件

対策工法の選定と設計においては、下記条件と各工法の留意事項と経済性に十分配慮する。

- 地盤・土質**
  - ・無対策とした場合の被害想定ランクは？
  - ・液状化層の深さ、厚さは？
  - ・液状化層の透水性は高いか、低い
  - ・液状化層厚に極端な違いはないか
  - ・地耐力増加用の地盤補強が必要か、補強工法は？
  - ・液状化層の直下は良好か、軟弱か
- 建物・基礎**
  - ・べた基礎か布基礎か
  - ・建物荷重はほぼ均等か
  - ・不同沈下しても、簡易に修正可能な基礎を採用可能か
- 敷地**
  - ・敷地周辺地盤は平坦か
  - ・建物と敷地境界までの離間距離は十分か

## 4.2 今後(2015年4月以降)の対応

### ■ 住宅性能表示における液状化の取り扱い

2015年4月以降、液状化に関する情報開示が追加される。

↑  
広域情報  
↓

- ① 建設予定地域の液状化マップ
- ② 過去の地震による液状化履歴
- ③ 土地条件図などの地形情報
- ④ 土地利用履歴の情報
- ⑤ 建設地の地盤・地下水位調査結果

建設地の液状化の可能性(危険性)や液状化判定結果を表示する義務がある

## 4.2 住宅性能表示における液状化の取り扱い2

建設地の地盤が液状化の可能性や危険性が有る場合



検討書・計算書の提出が必要か否かは不明だが

液状化対策としての基礎工事の情報を開示する義務がある。

- ① 工法の分類
- ② 工法の名称
- ③ 工期
- ④ 工事内容

## 4.2 住宅性能表示における液状化の取り扱い3

液状化に関する情報提供の記載内容と記載例

資料提供: 旭化成ホームズ(株) 伊集院 博 殿

### (イ) 液状化に関する広域の情報

液状化マップ	<input checked="" type="checkbox"/> あり <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> 不明	【液状化に関する表記】 (表記: 液状化の可能性が高い) 【備考・出典】 (東京都 液状化予測:平成24年度改訂版)
液状化履歴に関する情報	<input checked="" type="checkbox"/> あり <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> 不明	【住宅敷地周辺の液状化履歴】 <input checked="" type="checkbox"/> あり <input type="checkbox"/> なし 【備考・出典】 (関東大震災時 液状化発生したという情報有り)
地形分類	<input checked="" type="checkbox"/> あり <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> 不明	【該当する地形名称】 (三角州) 【備考・出典】 (国土交通省発行 土地条件図)
その他土地利用履歴に関する資料	<input checked="" type="checkbox"/> あり <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> 不明	【旧土地利用】 (種別: 農水田 <input type="checkbox"/> 池沼・川 <input type="checkbox"/> 海 <input type="checkbox"/> その他 ( )) 【備考・出典】 (旧版地形図 国土地理院:昭和6年6月30日発行)

### (ロ) 液状化に関する個別の住宅敷地の情報

敷地の地盤調査の結果	<input checked="" type="checkbox"/> あり <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> 不明	【地盤調査】 (方法: 標準コンクリート試体サンプリング試験 直接せん断試験 <input type="checkbox"/> その他 ( )) (仕様: 数量 4ポイント / 深層 4~10m ) 【資料出典】 <input checked="" type="checkbox"/> あり <input type="checkbox"/> なし 【備考】 ( スウェーデン調査結果を参照し、JIS A 5022 にて採択 )
地下水位の情報	<input checked="" type="checkbox"/> あり <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> 不明	【地下水位】 ( 敷地内から10m以内 ) (測定方法: スウェーデン調査結果を参照し、測定 ) 【備考】 ( 液状化危険度判定に活用 )
敷地調査から得た液状化に関する情報	<input checked="" type="checkbox"/> あり <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> 不明	【指標・備考】 Soil Type: SC ( スウェーデンコンクリート試体サンプリング試験結果から、20kPa ( 4 ) を用いて、液状化危険度判定結果により算出 )
宅地造成工事の記録	<input type="checkbox"/> あり <input checked="" type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> 不明	【造成記録】 <input type="checkbox"/> あり <input checked="" type="checkbox"/> なし 【備考】 ( )
液状化に関連する地盤に関する工事の記録・計画	<input checked="" type="checkbox"/> あり <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> 不明	【土法分類】 ( 埋込土法 ) 【土法名称】 ( 埋込土法 ) 【施工時期】 ( 令和2年12月 ) 【工事内容】 ( 杭径100mm / 杭長10m / フェンダー工 ) 【工事報告書】 <input checked="" type="checkbox"/> あり <input type="checkbox"/> なし 【備考】 ( )
その他敷地に関する工事の記録・計画	<input checked="" type="checkbox"/> あり <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> 不明	【土法分類】 ( 埋込土法 ) 【土法名称】 ( フロート工法 ) 【施工時期】 ( 令和2年12月 ) 【工事報告書】 <input type="checkbox"/> あり <input checked="" type="checkbox"/> なし 【備考】 ( )

### (ハ) 液状化に関する当該住宅基礎等における工事の情報

液状化に関連して行う住宅基礎等に関する工事の記録・計画	<input checked="" type="checkbox"/> あり <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> 不明	【工法分類】 ( 建築物基礎で対応する工法 ) 【工法名称】 ( 杭地盤補強工法 ) 【施工時期】 ( 平成25年12月12日~16日 ) 【工事内容】 ( 杭径165.2mm 杭長12m 鋼管 ) 【備考】 ( )
-----------------------------	--	--

## おわりに

2項目の明示義務は、当面「性能表示住宅」のみに適用されるが、将来は一般住宅に拡大されると予想される。



**これへの備えが必要!**

- ・液状化検討用地盤調査(土質、Fc,地下水位)
- ・液状化判定・危険度評価( $F_L$ ,  $D_{cy}$ ,  $P_L$ ,  $H_L/H_2$ )

