

戸建て住宅の液状化対策と 平成28年熊本地震における液状化

1. 液状化発生のメカニズムと予測
2. 液状化による構造物の被害
3. 液状化対策方法
4. 東日本大震災で液状化した都市における復旧・復興
5. 熊本地震における液状化被害
6. いくつかの地震による液状化被害の比較

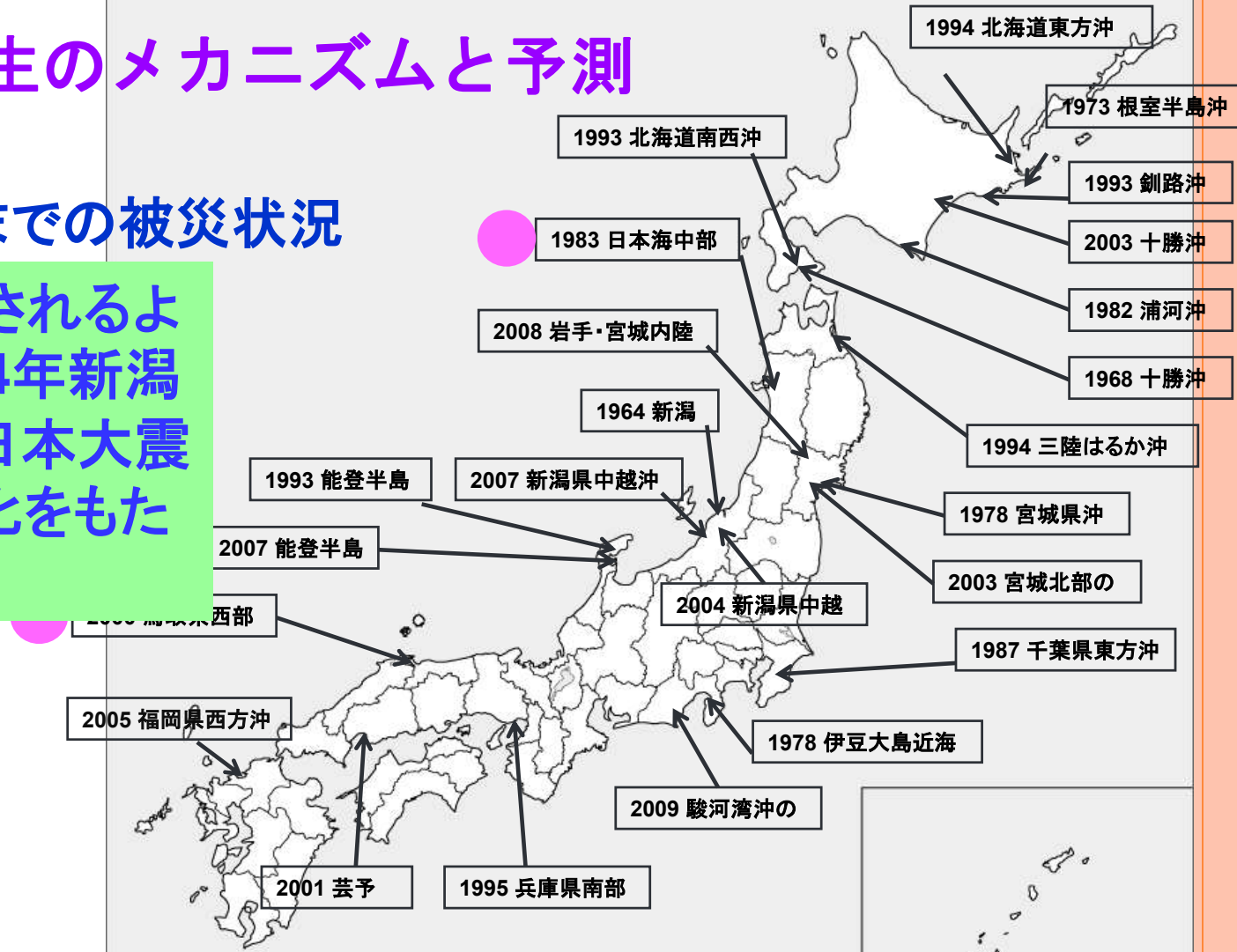
1

東京電機大学 副学長 工学部教授
安田 進

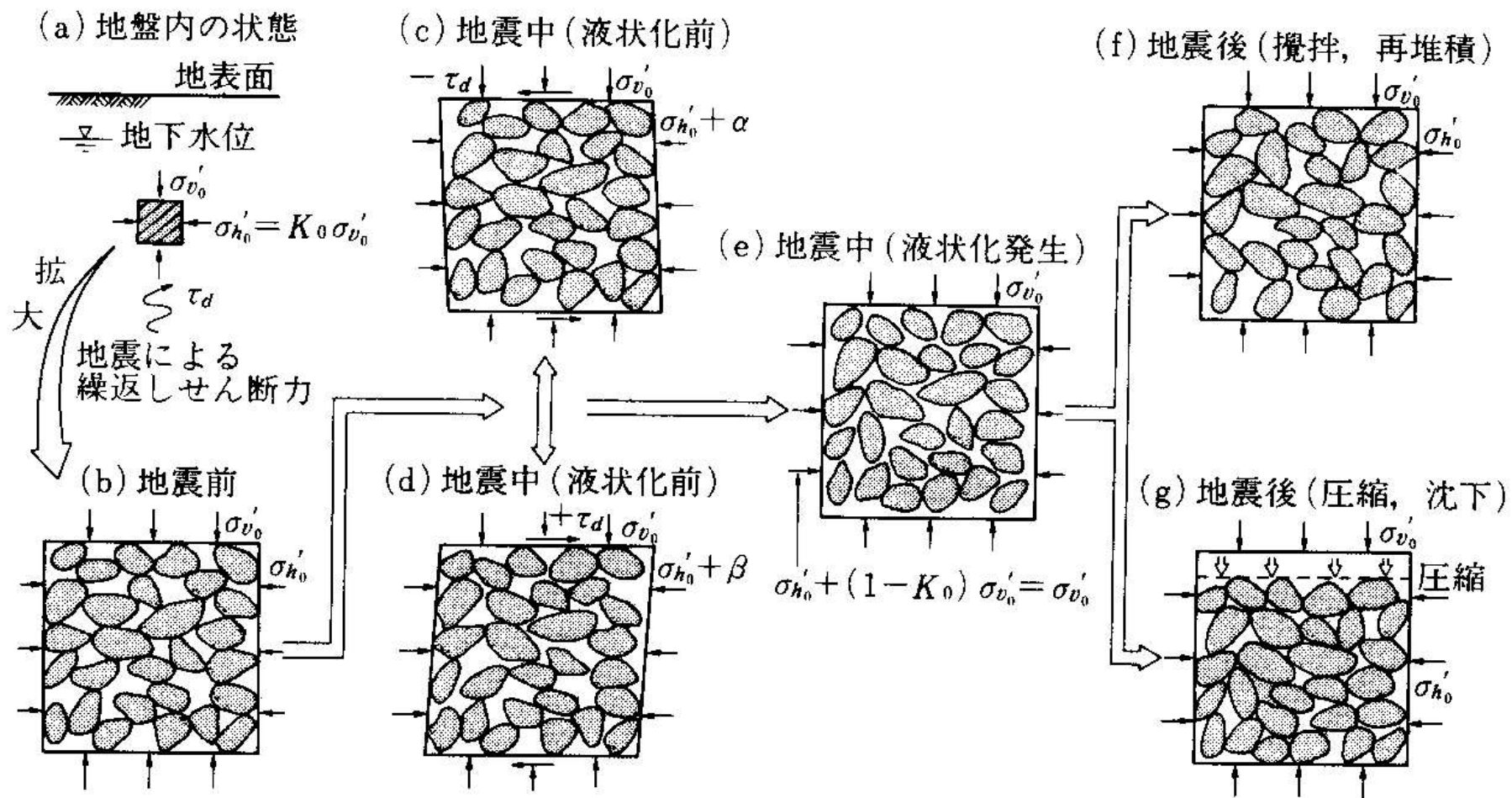
1. 液状化発生のメカニズムと予測

東日本大震災までの被災状況

液状化が認識されるようになった1964年新潟地震以来、東日本大震災までに液状化をもたらした地震



液状化による被害は、橋、港、堤防などの大型構造物に主に焦点があてられ、戸建て住宅は注目されてこなかった。
→復旧の記録が残っていない。



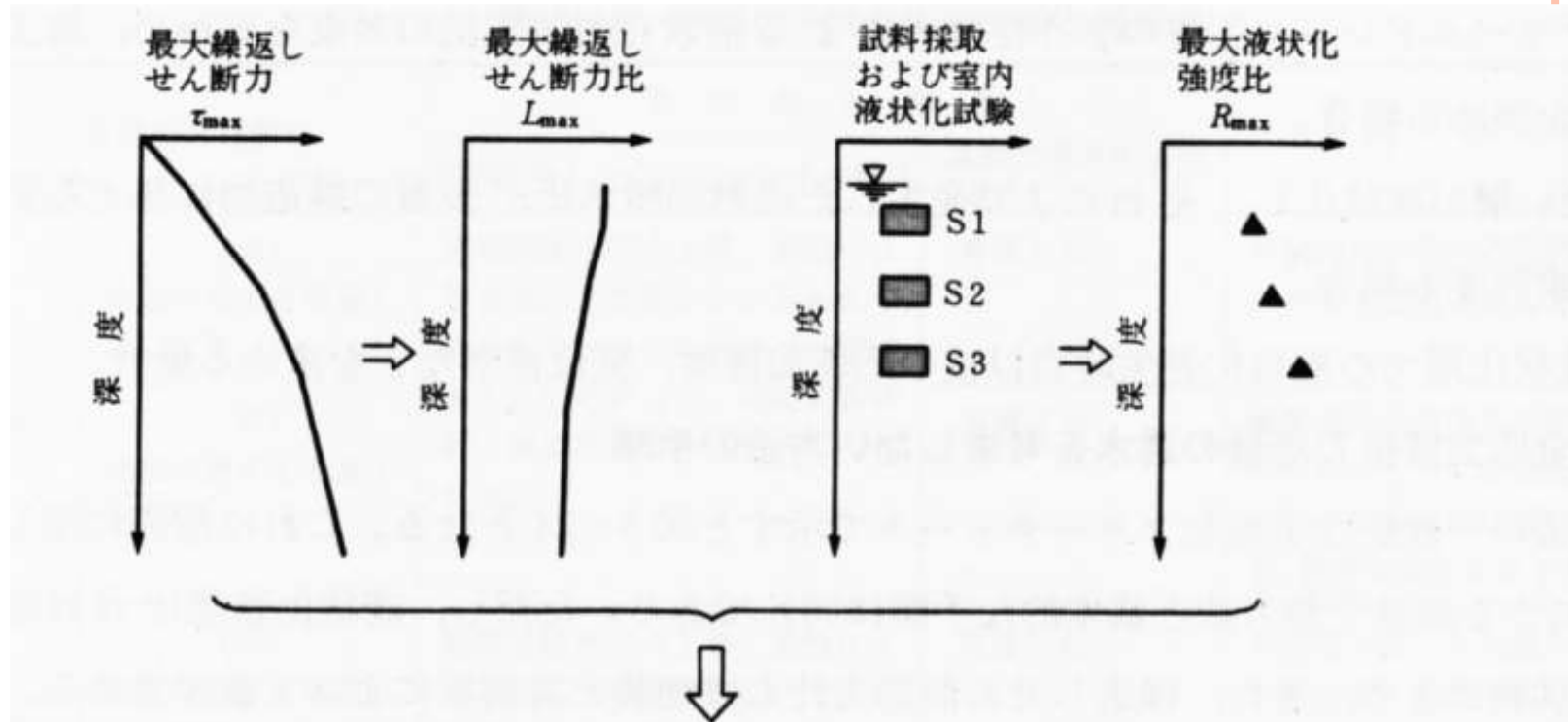
液状化が発生しやすい土層と地震動の条件

地盤の条件：①地下水位以下で、
 ②緩く堆積した、③砂の層

地震動の条件：地震動が大（気象庁震度階で5弱程度以上）

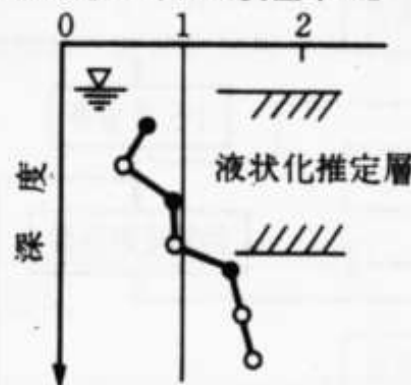
地震応答解析や室内液状化試験に基づく詳細な判定方法

(全応力法による判定方法)



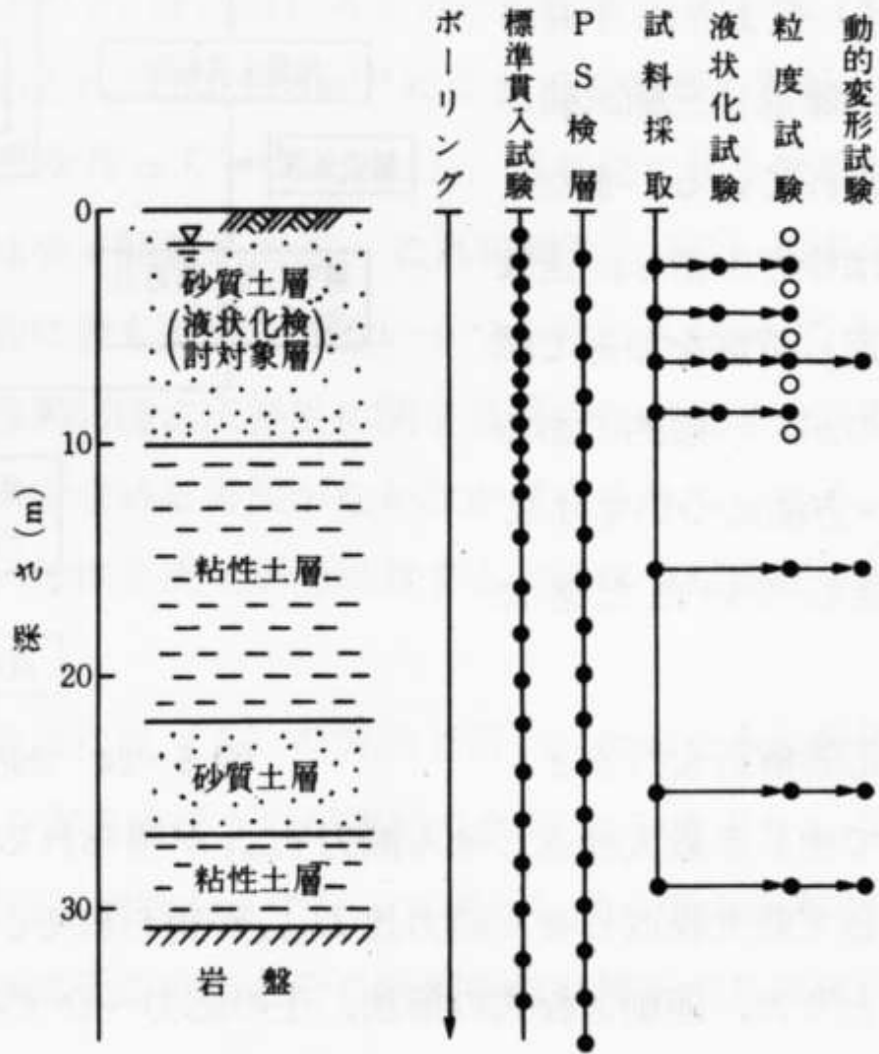
(注) 室内液状化試験結果をもとに液状化強度比とN値等との簡易式を作成しておくと、○印のように試験を行っていない深度の F_L も推定可能となる。

液状化に対する安全率 F_L



$$F_L = \frac{R_{max}}{L_{max}}$$

- : 試験結果から求めた F_L
- : N値による簡易式で予測した F_L



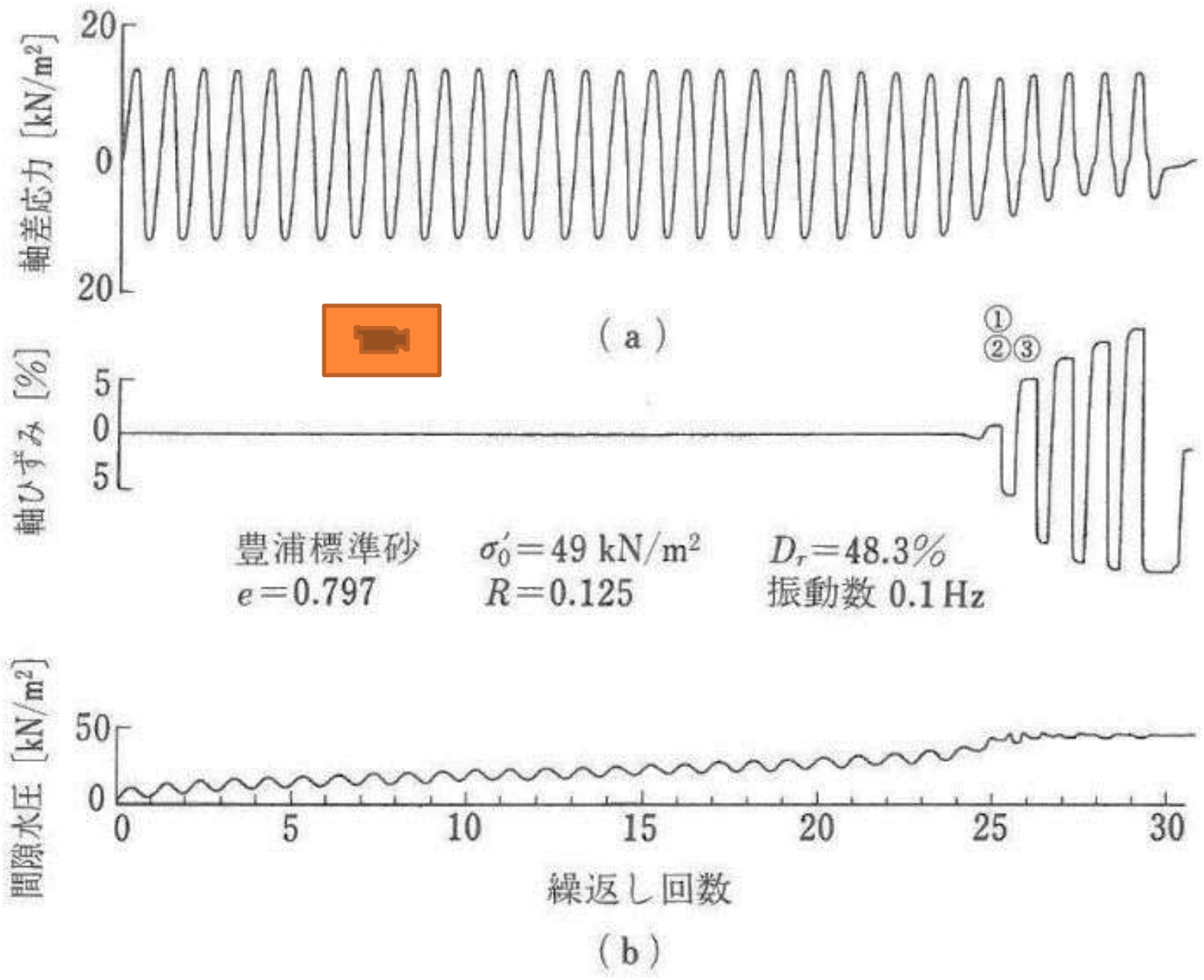
(注) 粒度試験のうち○印のものは標準貫入試験用のサンプラーから採取したものについて行う。



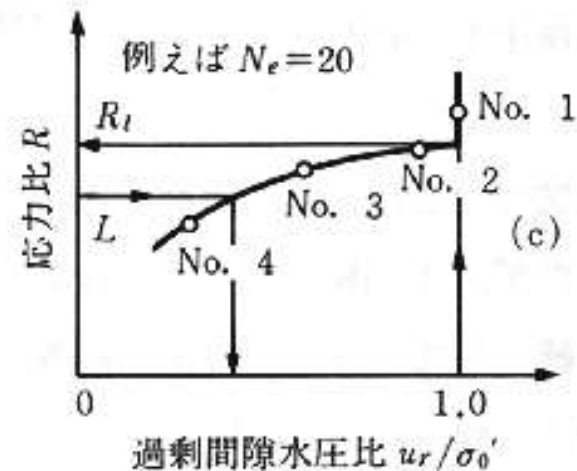
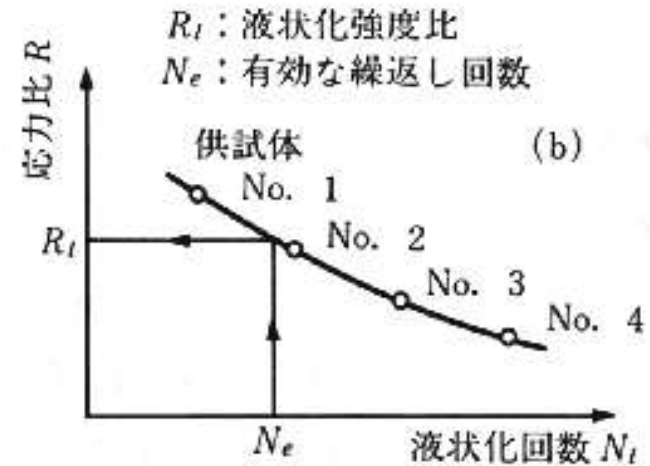
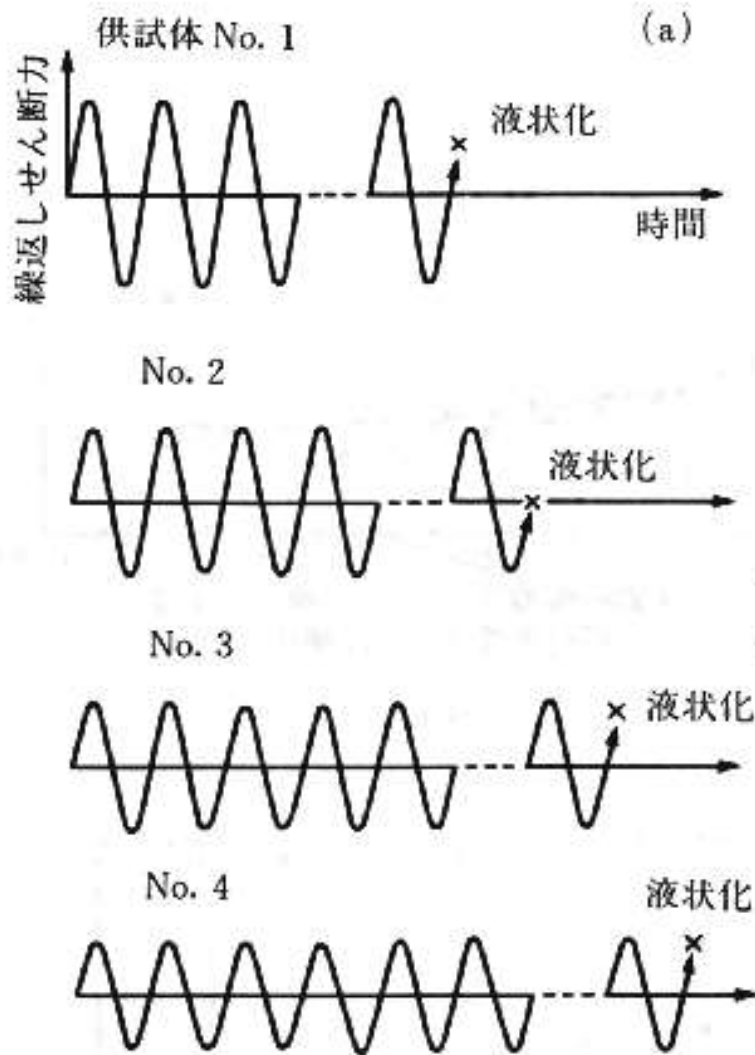
不攪乱試料採取

採取した試料の液状化試験





液状化強度繰返し三軸試験から液状化強度を求める方法



一般の地盤調査、試験結果をもとにした簡易な予測方法

1) N値を用いる理由

液状化し易い土の条件

- ・ 砂質土：標準貫入試験用サンプラーで採取した土の粒度試験より
- ・ 緩く堆積：N値より
- ・ 地下水位が浅い：ボーリングより



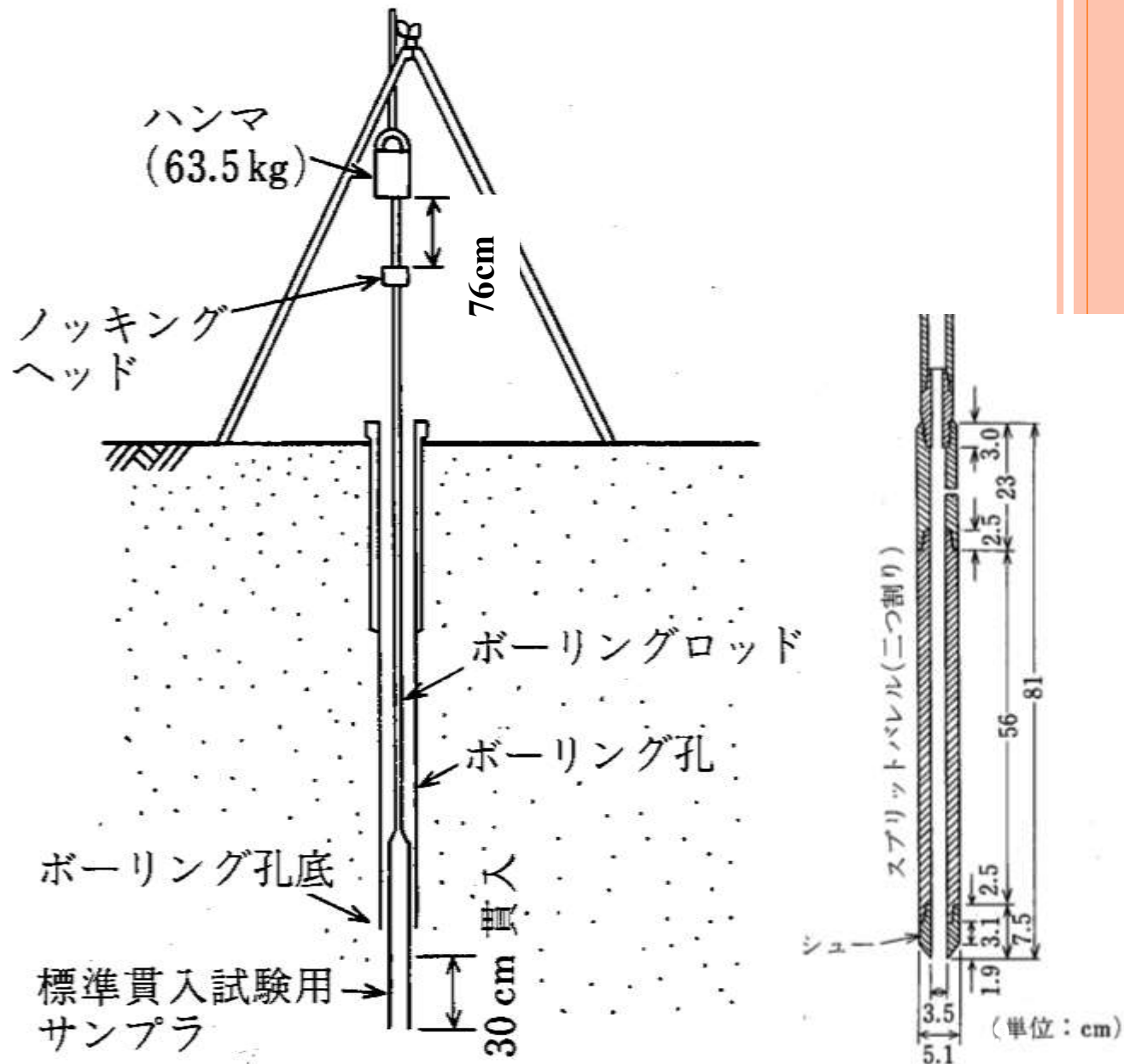
標準貫入試験とは

63.5kgのハンマを
ノッキングヘッドに
76cmの落下高で落下
させて、サンプルを
地盤内にたたき込む。
そして30cmたたき込
むまでに要した回数
をN値とする。

砂質土での目安

$N < 10$: 緩くて液状化
し易い

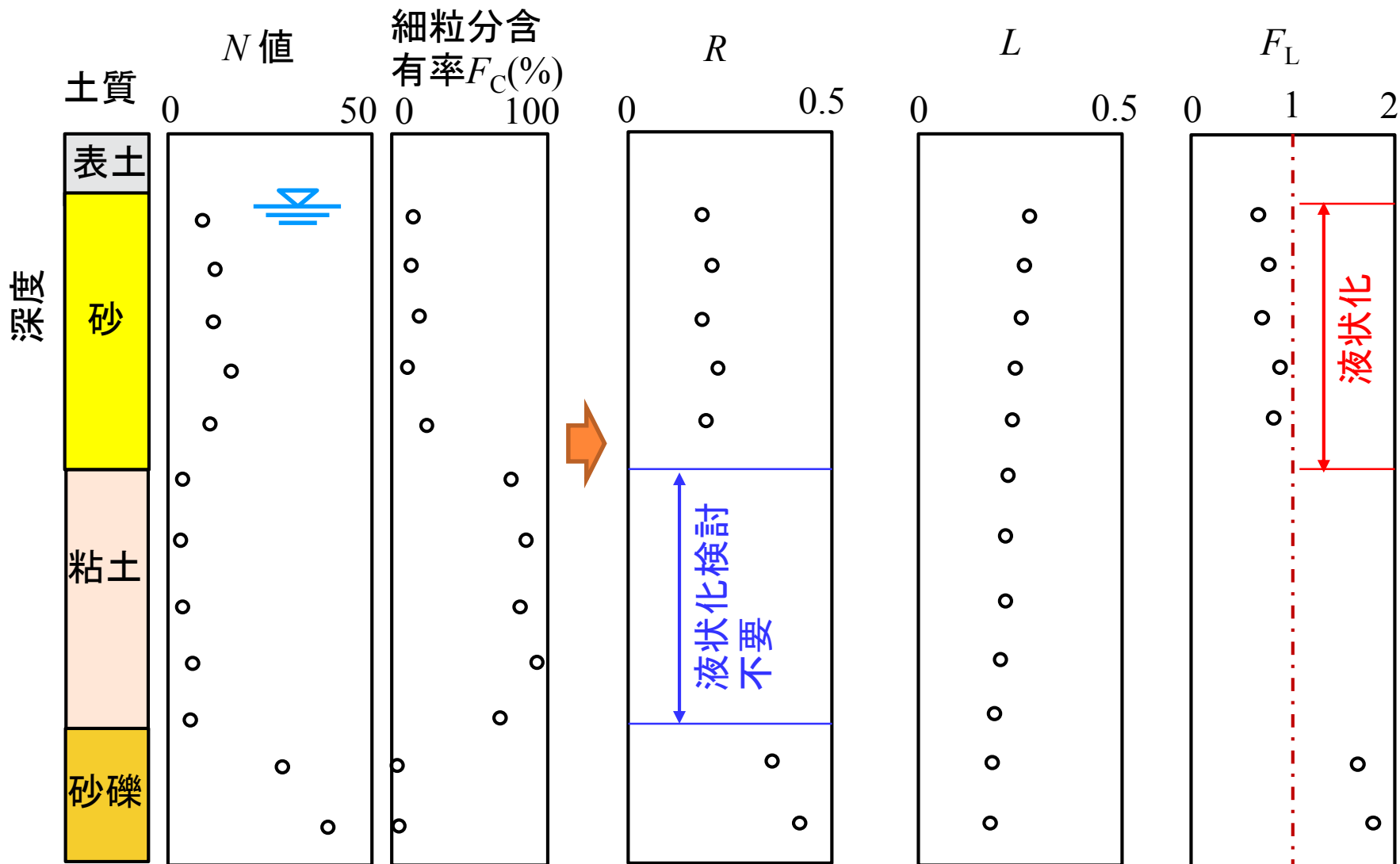
$N > 30 \sim 50$: 良く締
まって支持層になる



(a) 試験方法

(b) 標準貫入試験用
サンプル

3) N値と細粒分含有率をもとにした液状化簡易判定方法



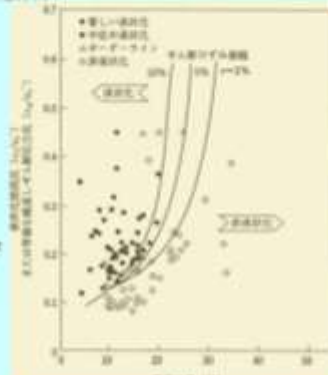


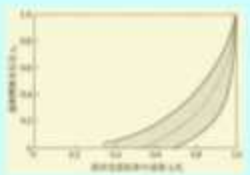
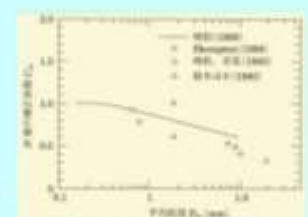
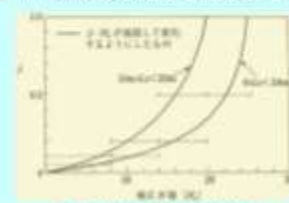
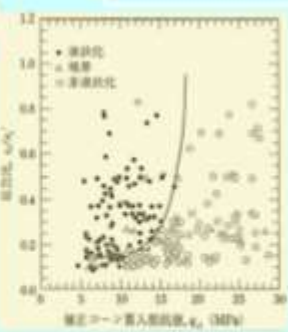
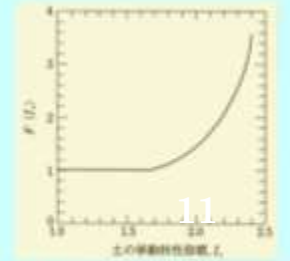
F_L : 繰返しせん断抵抗率(液状化に対する安全率) $= R/L$

R : 繰返しせん断強さ比(液状化強度比)

L : 地震によって発生する繰返しせん断応力比

現在の建築基礎構造設計指針

表-1 液状化判定手法一覧表

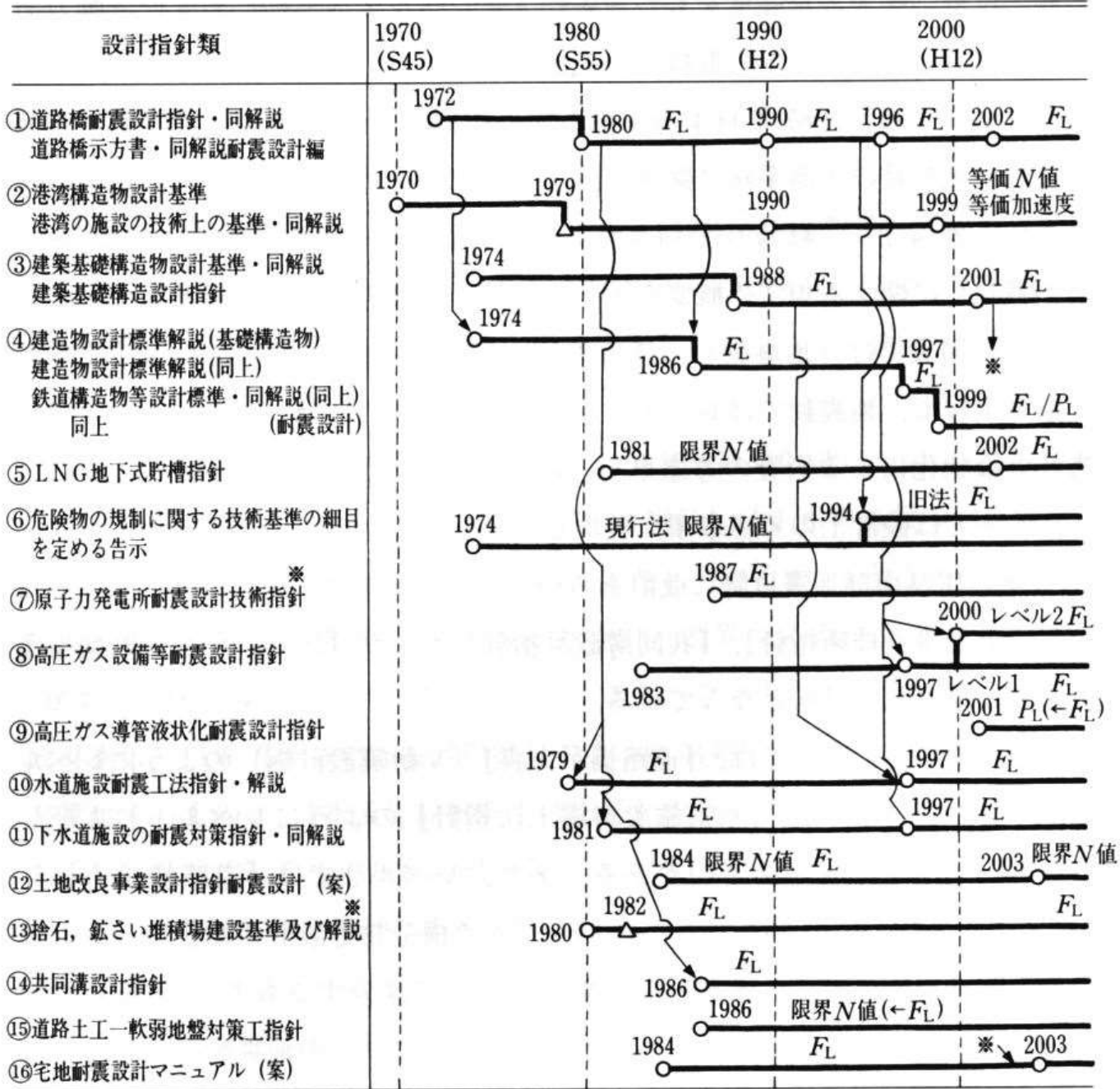
指針・基準名	液状化判定の対象とすべき土層	液状化の判定方法	液状化強度の求め方	地震外力の求め方	構造物への影響の評価
建築基礎構造設計指針 日本建築学会 2001	・20m程度以下の沖積地と土層 ・細粒分含有率FCが25%以下の土層 ・ただし埋立あるいは強土地盤については、細粒分含有率が10%以下または塑性指数が1%以下の土層についても液状化判定を行う。 ・以下に該当する土層についても液状化判定を行う。 ・細粒土を含む埋立透水性の悪い土層に露まれた後	下式を用いて液状化判定を行う。 $F_1 > 1$: 液状化する可能性はない $F_1 \leq 1$: 液状化する可能性がある $F_1 = \frac{N_c}{N} \cdot \frac{\sigma'_v}{\sigma'_d}$ ここで N_c : 液状化抵抗 N : 標準貫入値 σ'_v : 埋立土層における全土被り圧(埋立土層全土被り圧) σ'_d : 等価な繰返しせん断応力比	液状化強度は図-1の $\gamma=5\%$ の曲線を用いて求める。図-1の修正N値(N_c)は次式を用いて計算を行う。 $N_c = N_1 + \Delta N_1$ $N_1 = C_N \cdot N$ $C_N = \sqrt{98/\sigma'_d}$ ここで N_1 : 修正N値 ΔN_1 : 細粒分含有率FCに応じた修正N値増分(図-2) C_N : 拘束圧に関する修正係数 N : トン法または自動落下法による標準貫入値 σ'_d : 深さ z mにおける全土被り圧(94%)	地震外力 τ_d/σ'_d は次式によって求める。 $\frac{\tau_d}{\sigma'_d} = F_0 \frac{\alpha_{max} \cdot \sigma'_d}{g \cdot \sigma'_d} r_d$ ここで F_0 : 水平面に対する等価な一定繰返しせん断応力係数(94%) σ'_d : 検討深さにおける有効土被り圧(埋立土層全土被り圧) r_d : 等価な繰返し割増に関する修正係数で、 $r_d = 0.01M-1$ 。ただし、Mは地震動のマグニチュード α_{max} : 地震動における設計用水平加速度(cm/s^2) g : 重力加速度($980 cm/s^2$) σ'_d : 検討深さにおける全土被り圧(埋立土層全土被り圧) r_d : 地盤が液体でないことによる減衰係数で(1-0.01 z)。zはメートル単位で表した地震動からの検討深さ α_{max} は以下の図を参照する。 ・細粒土液状化用レベル1: 150~200 cm/s^2 ・粗粒土液状化用レベル2: 300 cm/s^2 程度	(1) 地盤剛性の低下 液状化した水平地盤での直接基礎の次下層予測や等価形成係数による地盤変形予測に必要な地盤剛性は以下の方法によることができる。 ① 図-6の剛性低下率とひずみの関係から各層のひずみに適合した等価剛性を推定する。 ② 液状化抵抗率が1以上で、有効応力の低下を評価したい場合、図-7(または $r_u - F_1^{-2}$)から逆算同等水圧比 u を求め、剛性が有効応力の平方根に比例するとして等価剛性を推定する。 (2) 水平地盤反力係数の算定 水平地盤反力係数 k_{sp} および塑性水平地盤反力 p_{sp} を次式により算定する。 $k_{sp} = \beta \cdot k_{sp0} \cdot \gamma_r^{-0.7}$ $p_{sp} = \alpha \cdot p_{p0}$ ここで β : 修正係数(図-8) k_{sp0} : 水平地盤反力係数 γ_r : 液状化を考慮した軟土と地盤の相対変位 α : 塑性水平地盤反力の減衰係数(算定時に $\alpha = \beta$ とする)
			 <p>図-1 修正N値と液状化抵抗 実測のせん断ひずみの関係</p>		 <p>図-6 修正N値と剛性低下率の関係</p>
			 <p>図-2 細粒分含有率とN値の修正係数</p>		 <p>図-7 安全率と水圧上昇の関係</p>
			 <p>図-3 砂質地盤のN値修正係数</p>		 <p>図-8 地盤反力係数の修正率</p>
			 <p>図-4 コーン貫入試験と液状化強度の関係</p>		 <p>図-5 細粒分含有率とコーン貫入試験修正係数</p>

(基礎地盤コンサルタンツ(株)のホームページより)

一般の木造2階建ての住宅が該当する4号建築物では、認定を受けた型式に適合する建築材料を用いる建築物と建築士の設計した建築物については、建築確認申請の審査を簡略化して構わないとなっており、一般に液状化を考慮されずに建てられている。

課題：法的整備や木造建築士の試験での考量は？

各設計基準類で液状化考慮されるようになった年(地盤工学会)



液状化指数 P_L により構造物の被害の程度を評価する方法の意味と留意点

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L) (10 - 0.5 Z) dZ \quad (12.1)$$

ただし $F_L > 1$ の場合は $(1 - F_L)$ は 0 とする。

P_L 値を用いた構造物の被害の判断:

$P_L < 5$: 液状化による被害は受けないと判断

$P_L > 15$: 液状化による甚大な被害を受けると判断

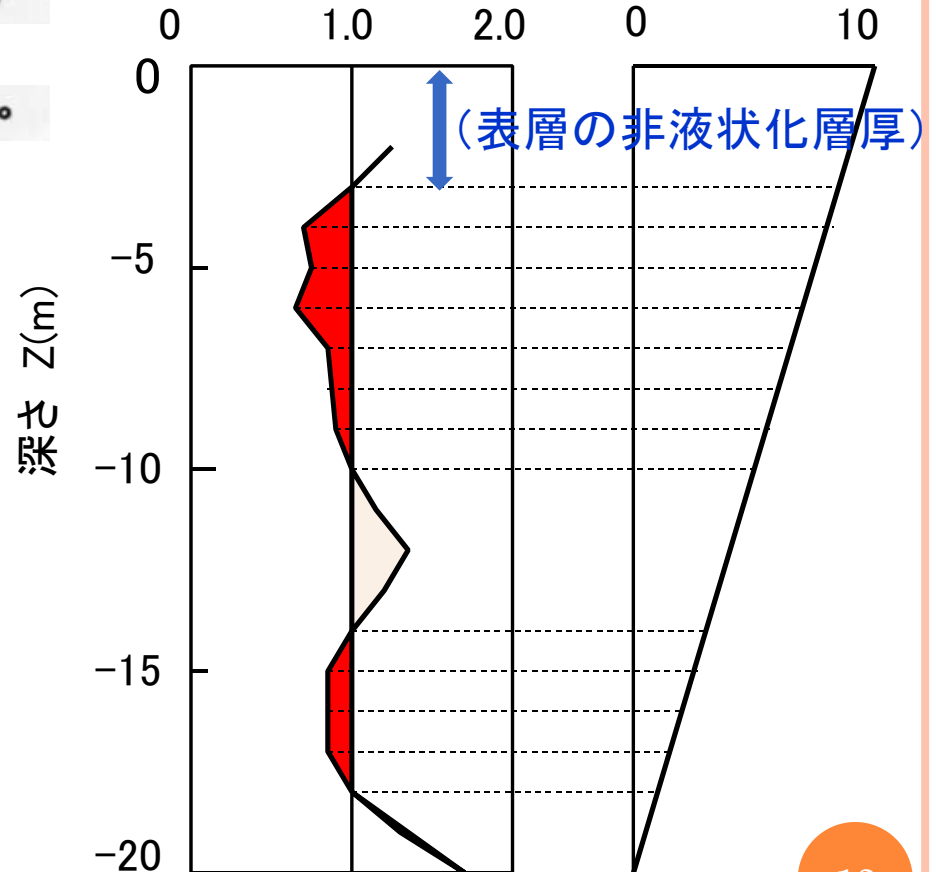
留意点:

① 家屋の沈下・傾斜角を直接推定できるものではない。

② 浅い層だけが液状化して P_L が小さかったのに戸建て住宅が被災した例が東日本大震災で続出

液状化に対する安全率
(抵抗率), F_L

深さ方向の重み
係数 $w(z)$



2. 液状化による建造物の被害

(1) 直接基礎の建造物の沈下

1964年新潟地震によるアパートの沈下



東日本大震災での被害

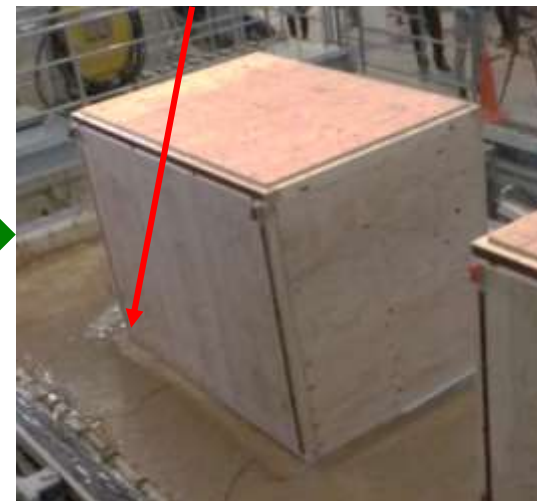


建築研究所で
行われた大型
振動台実験



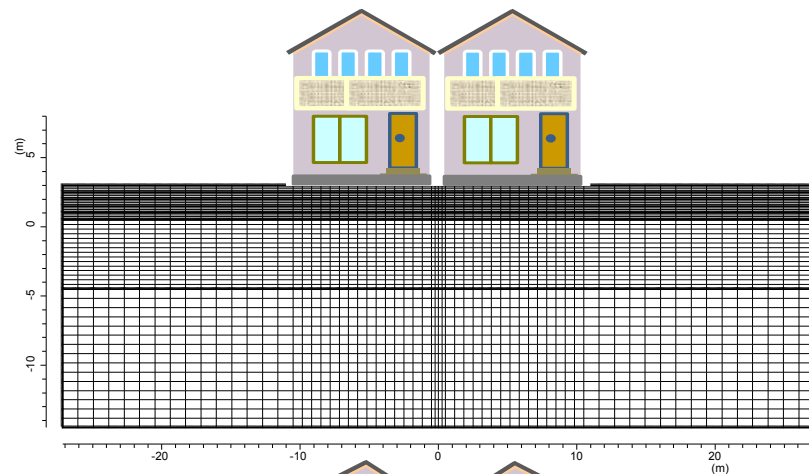
沈下し始めた

噴水が出始めた

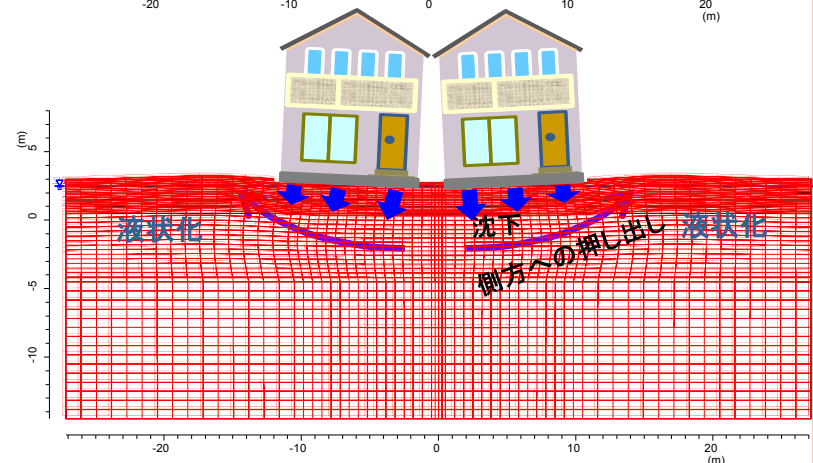


液状化により戸建て住宅に被害が発生するメカニズムの考え方(案)

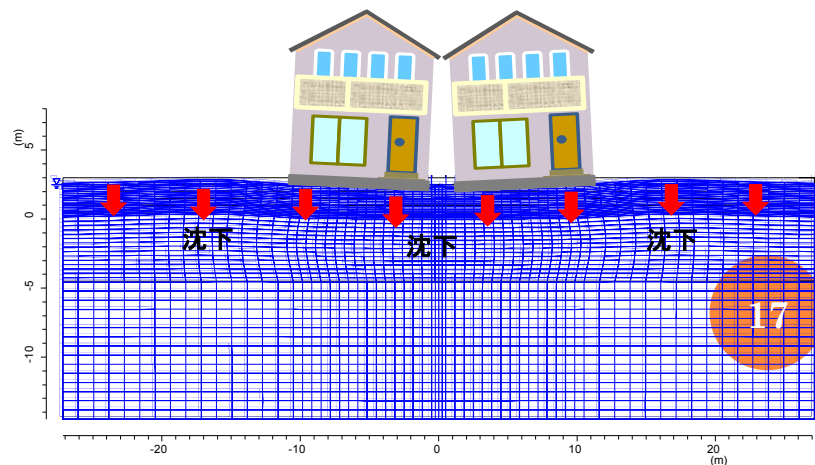
①地震前の状態



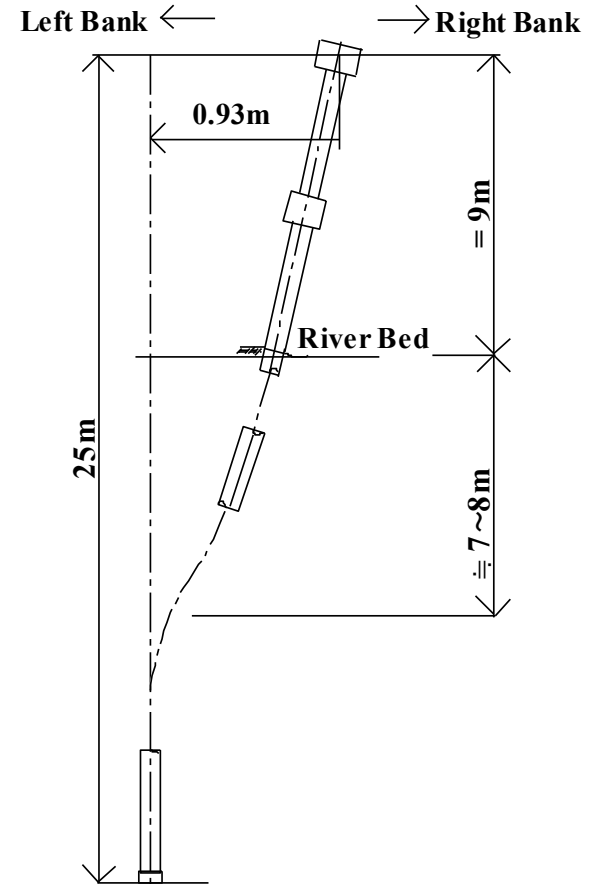
②液状化で軟弱化した地盤への家屋のめり込み沈下



③地下水の噴出に伴う地盤の圧縮沈下の追加



(2) 杭基礎構造物の過大な変形

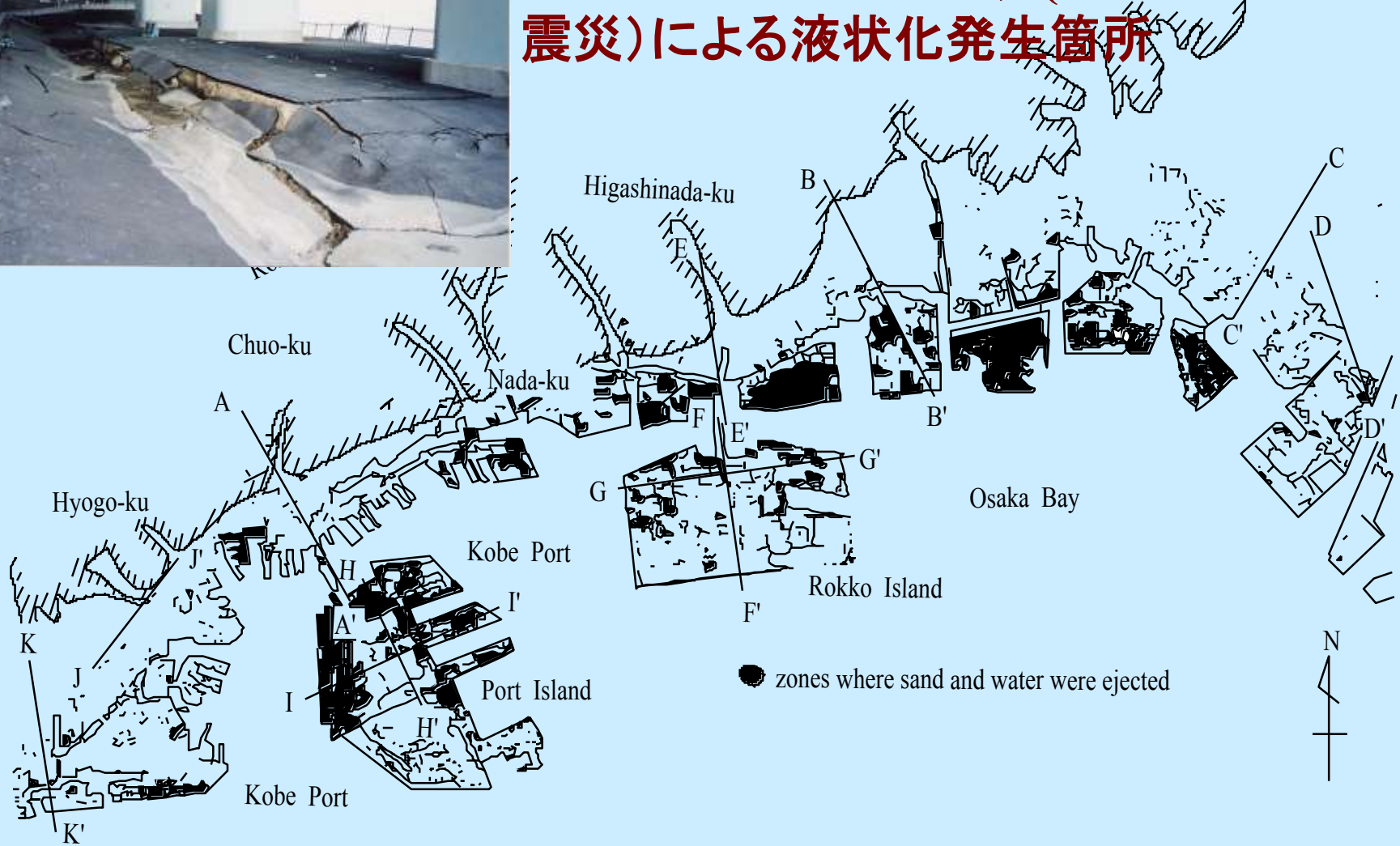


1964年新潟地震による昭和大橋の被害

Damage to steel piles of pier P4 of Showa Bridge (PWK1)



1995年兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)による液状化発生箇所



Liquefied sites in Kobe and surrounding cities during the 1995 Hyogoken-nambu earthquake

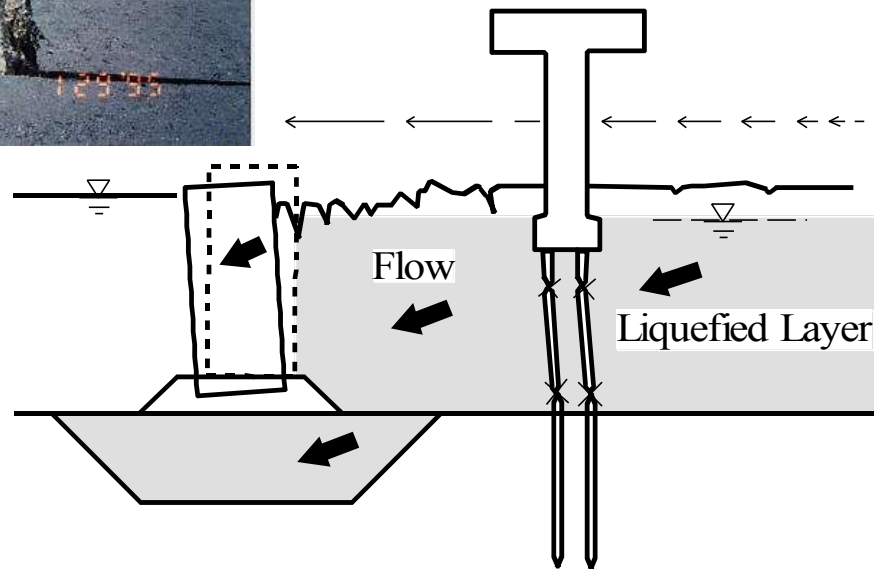
(3) 岸壁・護岸のはらみだしや移動

1983年日本海中部地震による秋田港岸壁のはらみだし





1995年兵庫県南部地震による六甲アイランドの岸壁の水平移動と背後地盤の流動



Outline of the ground flow behind a quay wall

(4) 土構造物の沈下やすべり

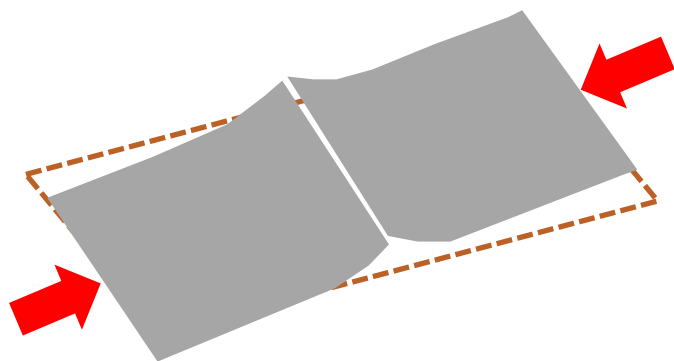


1983年日本海中部地震による八郎
潟干拓堤防とその周辺盛土の沈下

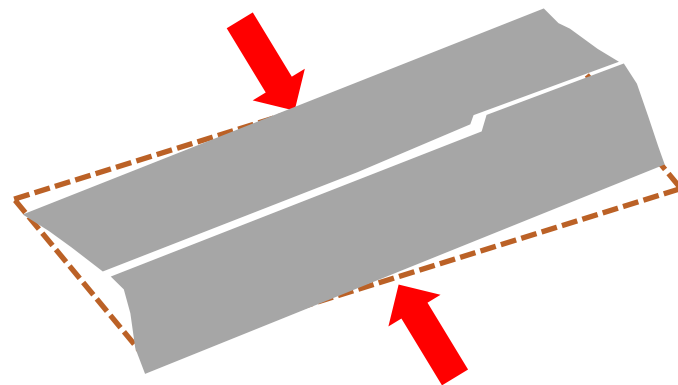
2003年十勝沖地震による十勝川
堤防の被害



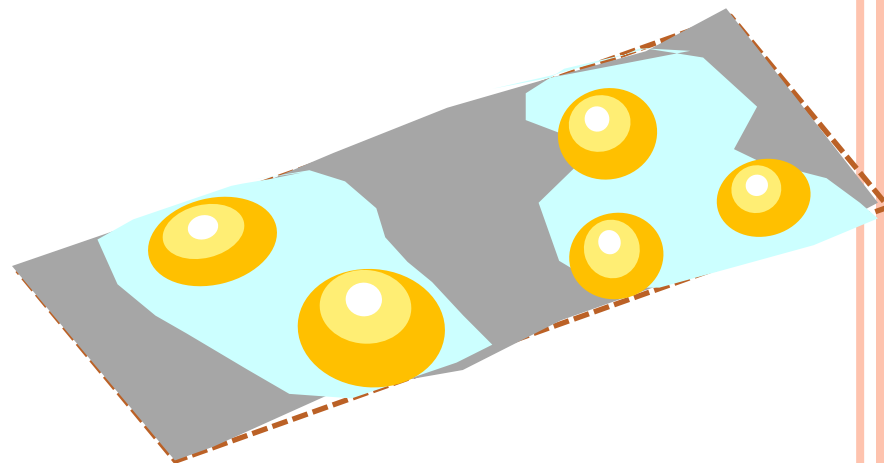
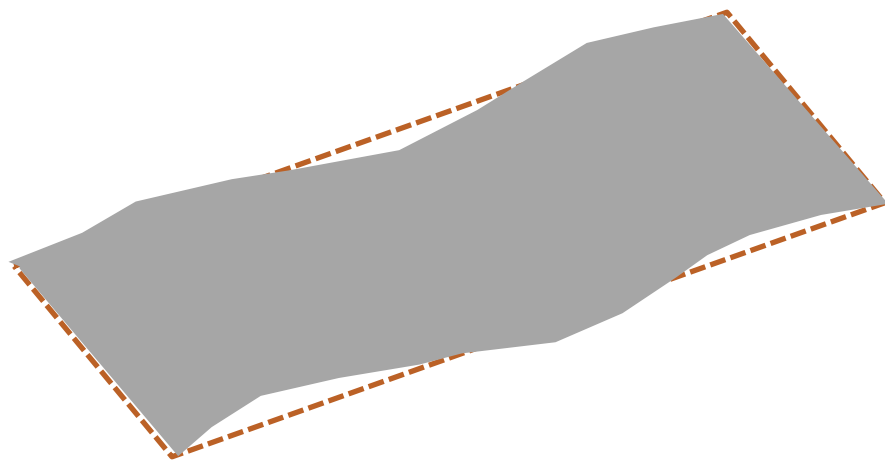
(5) 平面道路の被害



横断方向の突き上げ



縦断方向の突き上げ



地盤の沈下にもなう段差

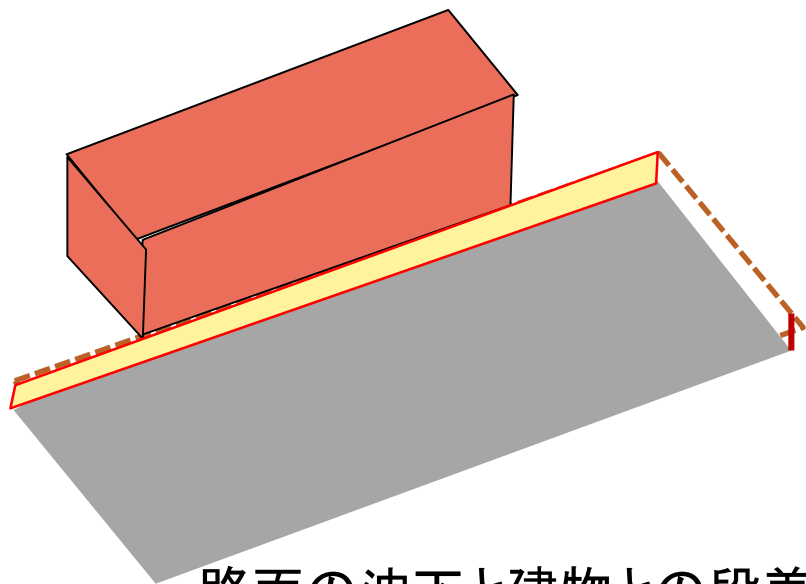


浦安消防署今川支所

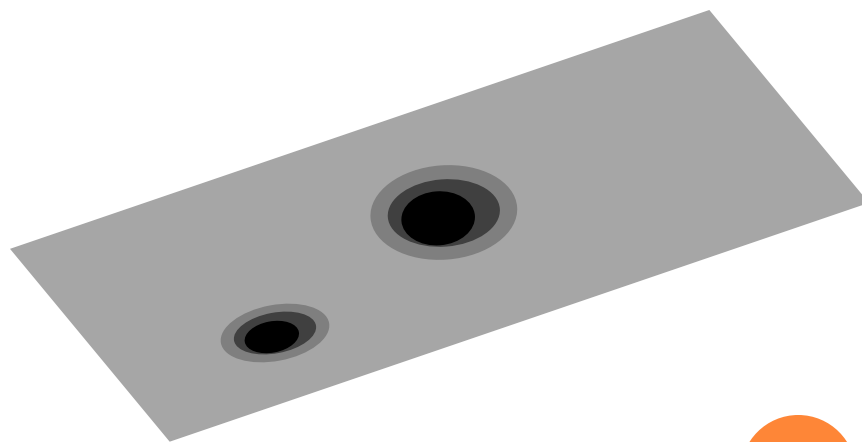
路面下の地盤の空洞化



浦安

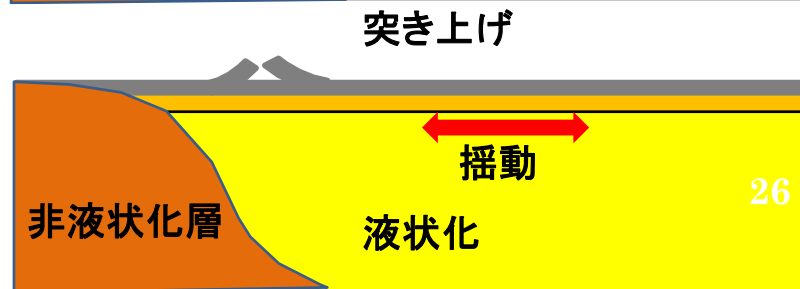
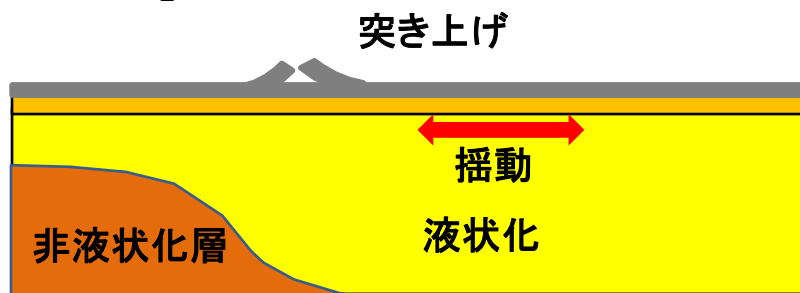
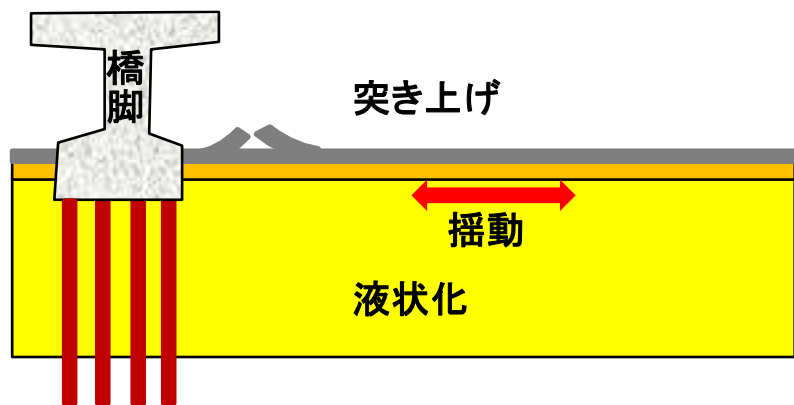
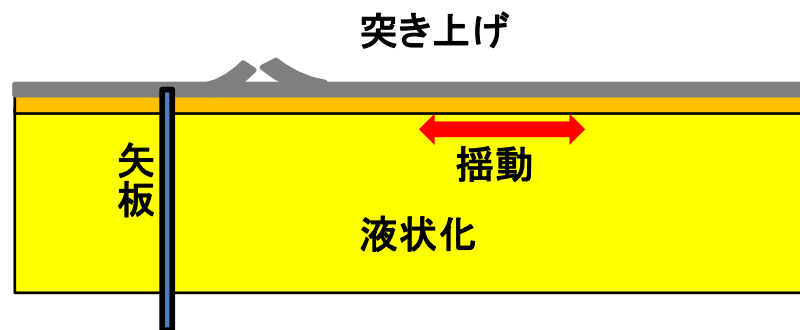
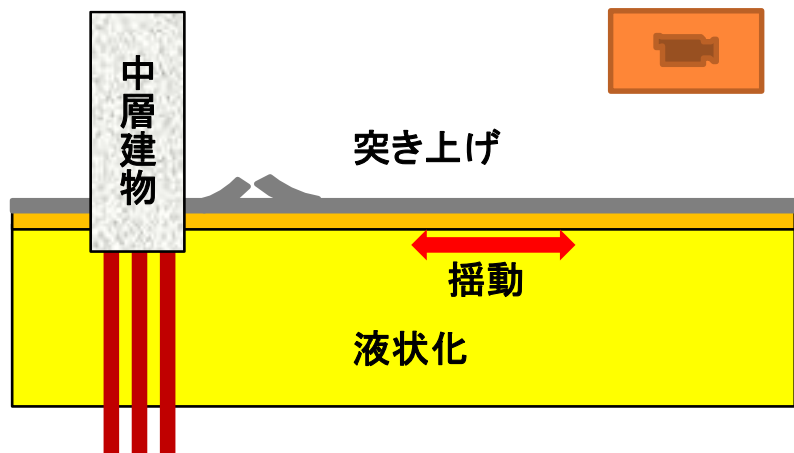
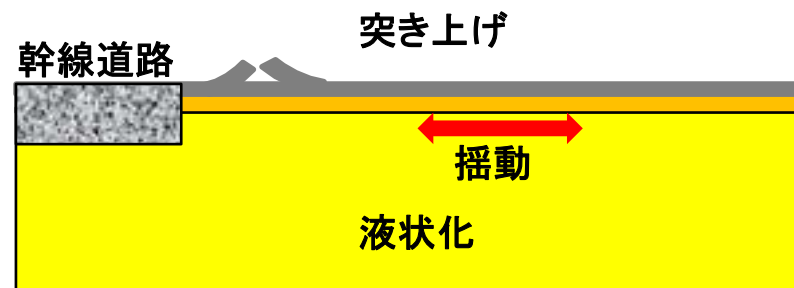
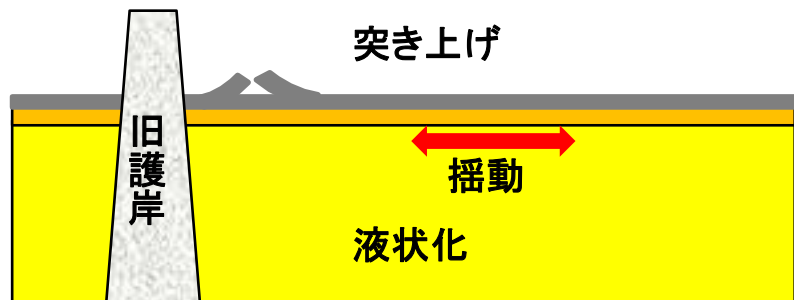


路面の沈下と建物との段差



陥没

揺動によって突き上げが生じたと考えられる境界条件のパターン



(6)地中構造物の浮上り や変形



通信用マンホールの浮上がり
(1983年日本海中部地震)

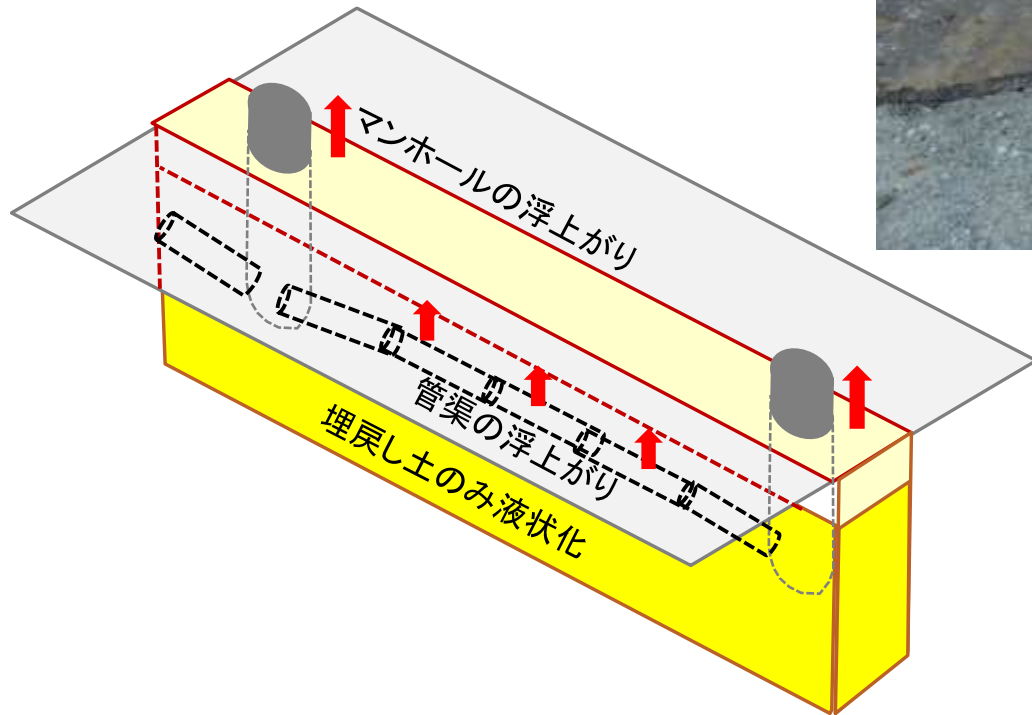


ガソリンスタンドのタンクの浮き上
がり(1983年日本海中部地震)



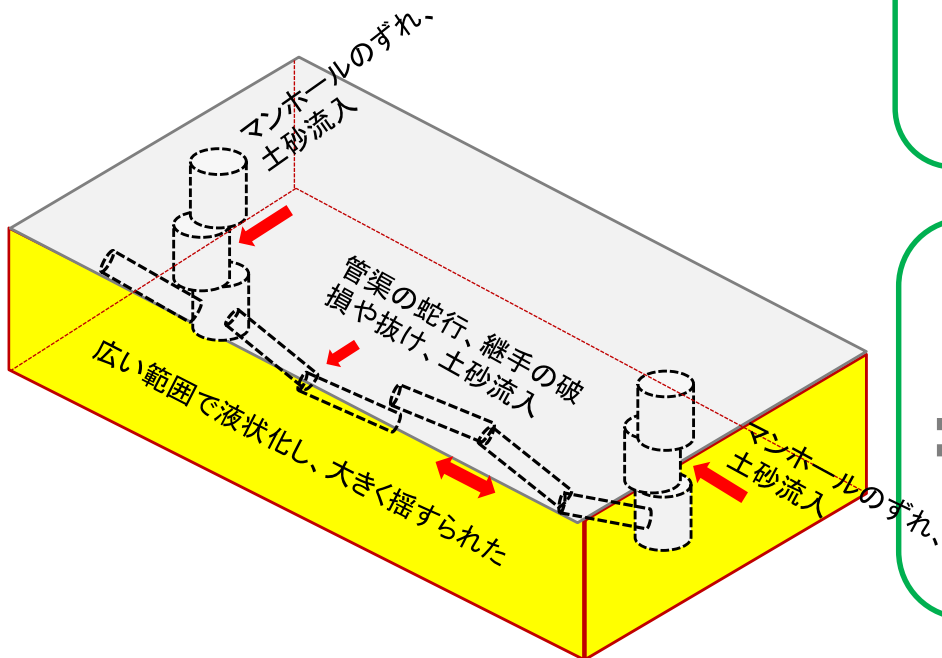
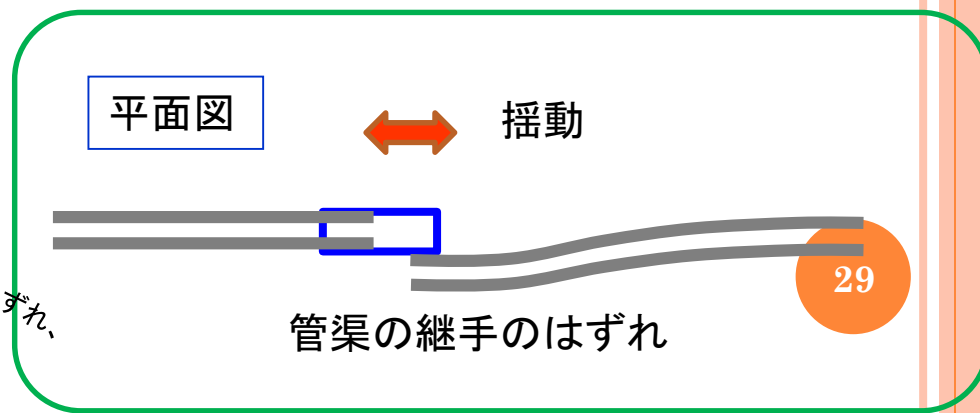
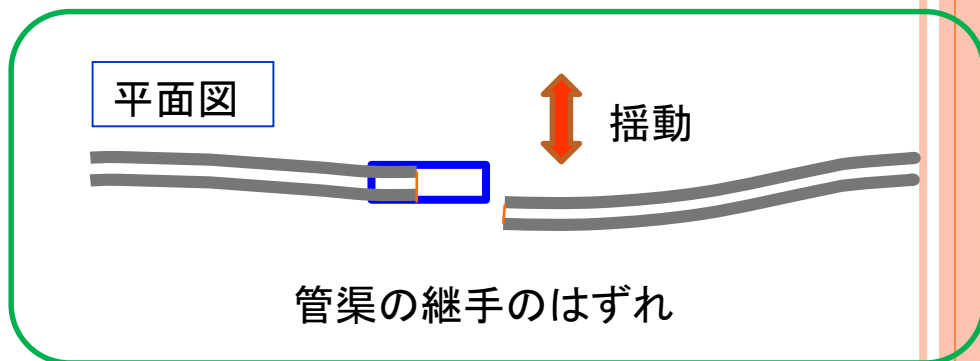
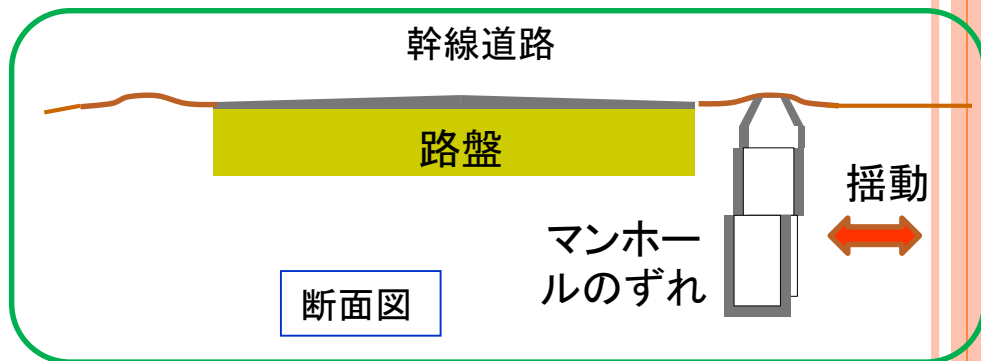
下水マンホールの浮上り(1993
年釧路沖地震)

東日本大震災で埋戻し土の液状化で被災した例

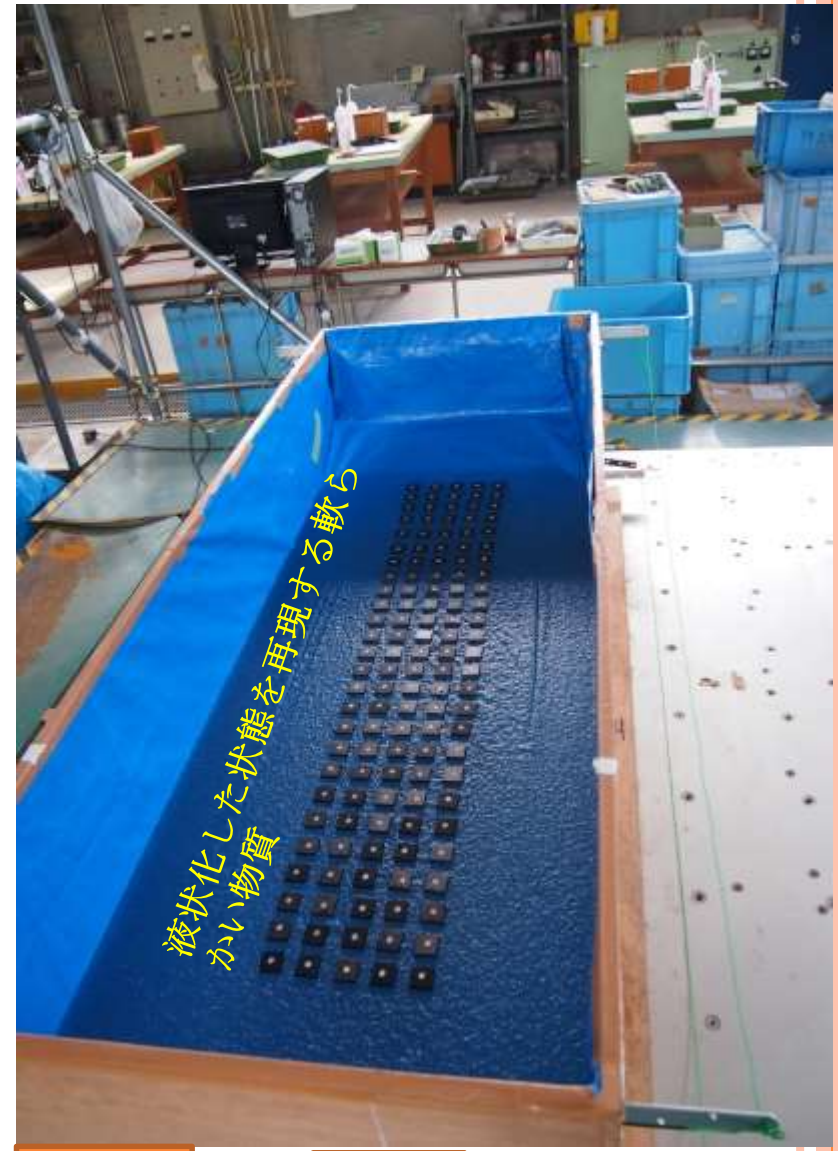


(福島県内)

液状化した地盤が揺れ続けた揺動が被害に与えた影響



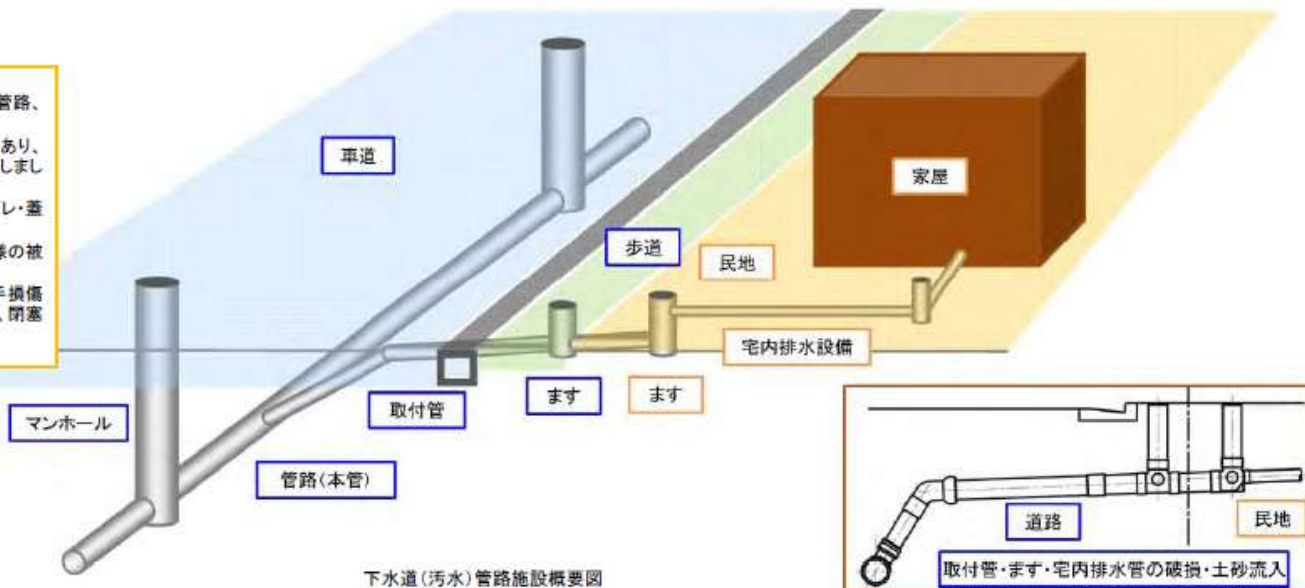
液状化した地盤の揺動による埋設管継手の抜けに関する模型実験



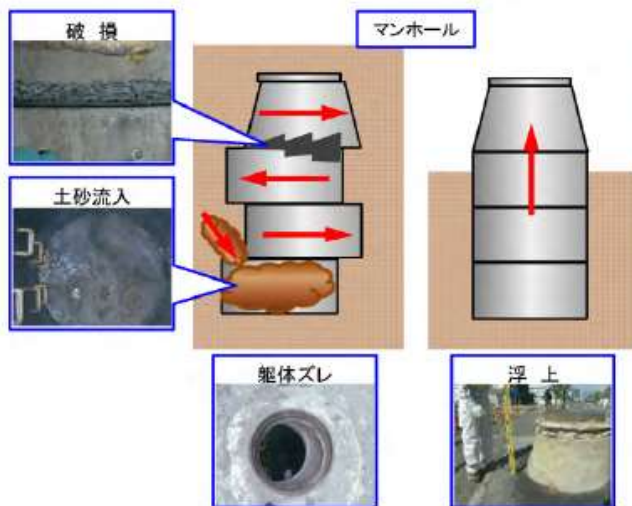
(4) 損傷状況一覧

コメント

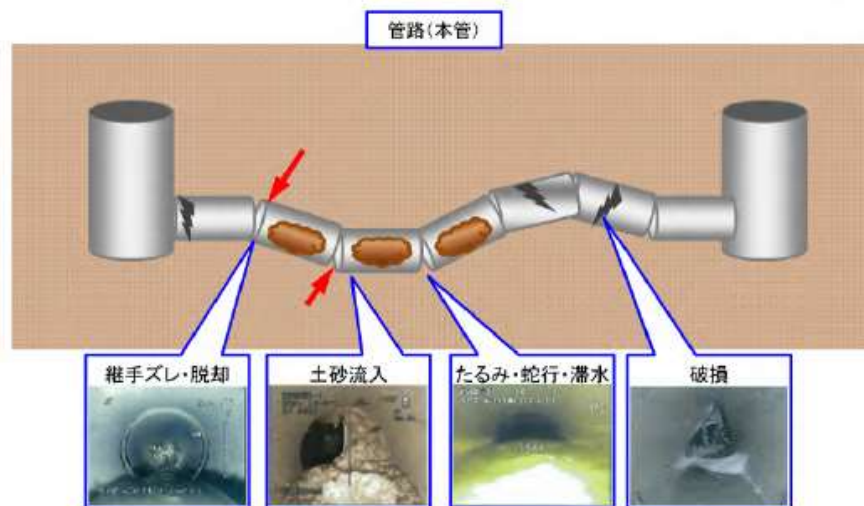
- ・液状化に伴い下水施設周辺の土砂がマンホール、管路、ます、取付管、宅内排水管が損傷を受けました。
- ・管路の損傷は、大半が管路のたるみ(上下方向)であり、たるみに伴い破損・変形や継手ズレ・侵入水が発生しました。
- ・マンホールの損傷は、主にブロック継手部の破損・ズレ・蓋の異常です。一部では、浮上や沈下が発生しました。
- ・ます、取付管、宅内排水管もマンホール、管路と同様の被害が発生しています。
- ・土砂流入は、管路・マンホール・ます・取付管の継手損傷部からの流入に加え、宅内排水設備からも流入し、閉塞を引き起こしました。



下水道(汚水)管路施設概要図



マンホール被害イメージ図



管路被害イメージ図

(浦安市による)

(7) 護岸の崩壊による背後地盤の流動



32

液状化に伴う流動で傾いた八千代橋の橋台(渡辺隆博士提供)

3. 液状化対策方法

(1) 東日本大震災までに開発されてきていた対策方法

① 液状化を防止する工法

改良原理	工法
密度の増大	サンドコンパクションパイル工法（動的締固め、静的締固め）、振動棒工法（通常型、吸水型）、重錘落下方法、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)、バイブロタンパー工法、転圧工法、発破工法、群杭工法、生石灰工法、プレローディング工法
固結	深層混合処理工法、薬液注入工法、事前混合処理工法、高圧噴射攪拌工法
粒度の改良	置換工法
飽和度低下（地下水水位低下）	ディープウェル工法、排水溝工法
間隙水圧抑制・消散	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、排水機能付き鋼材
せん断変形抑制	地中連続壁

② 構造的な工法（液状化は許すが被害は受けない）

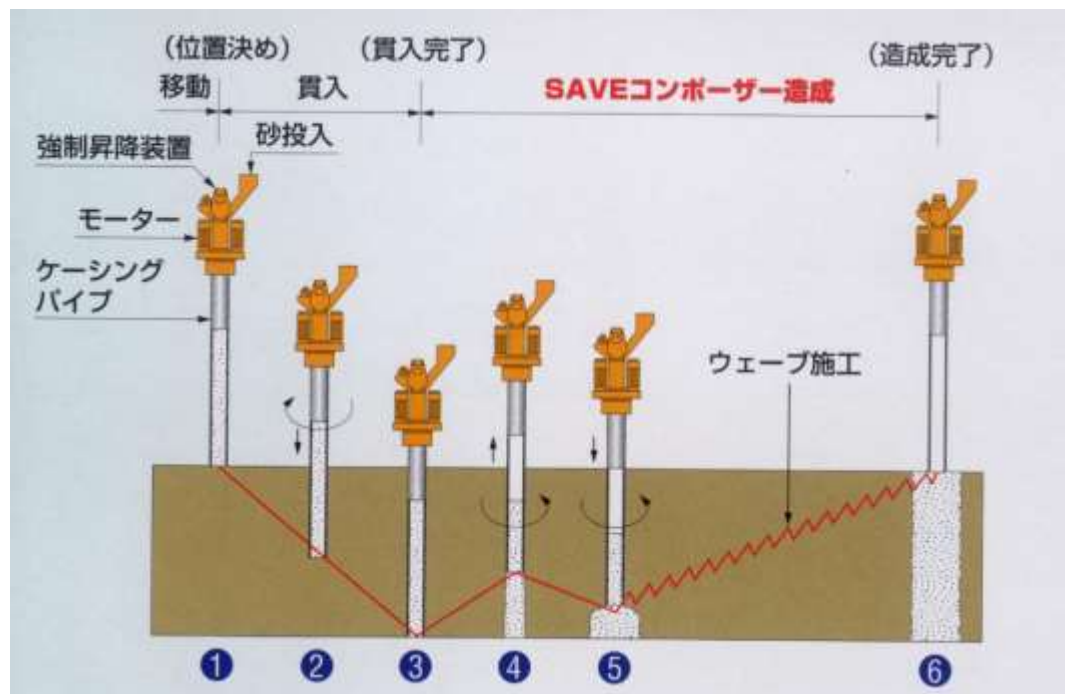
地盤を締め固める工法

大型の機械で最も多く用いられている方法例
静的締め固め砂杭工法

(大林による)



施工状況



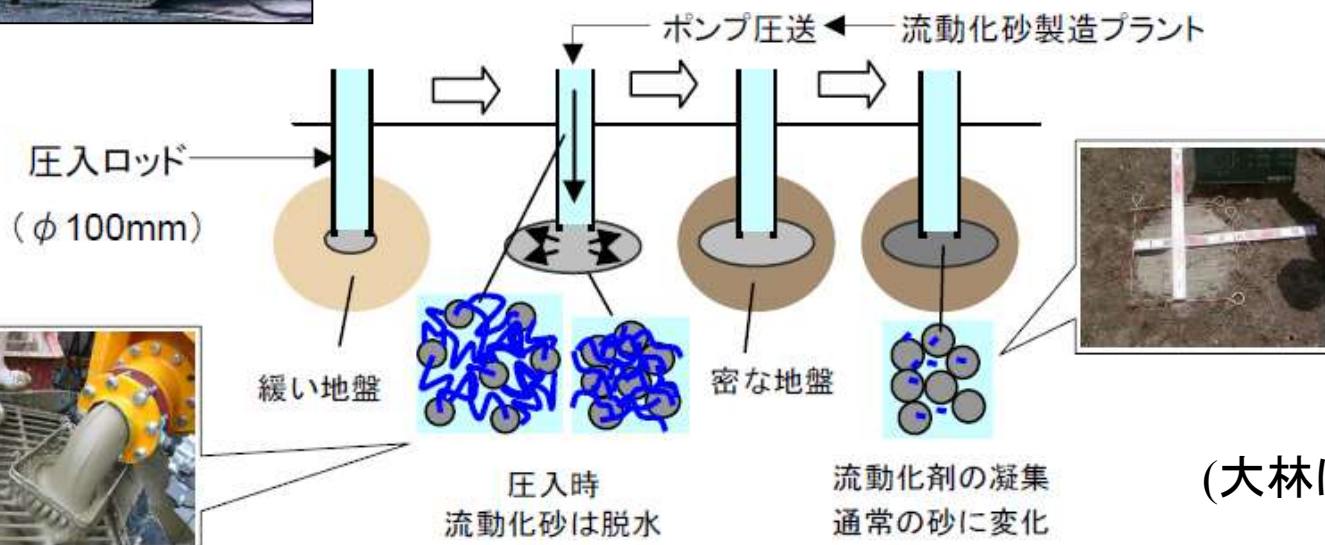
施工手順

特殊な小型機械で狭い場所でも使える方法例

静的圧入締固め工法

小型機械で圧入

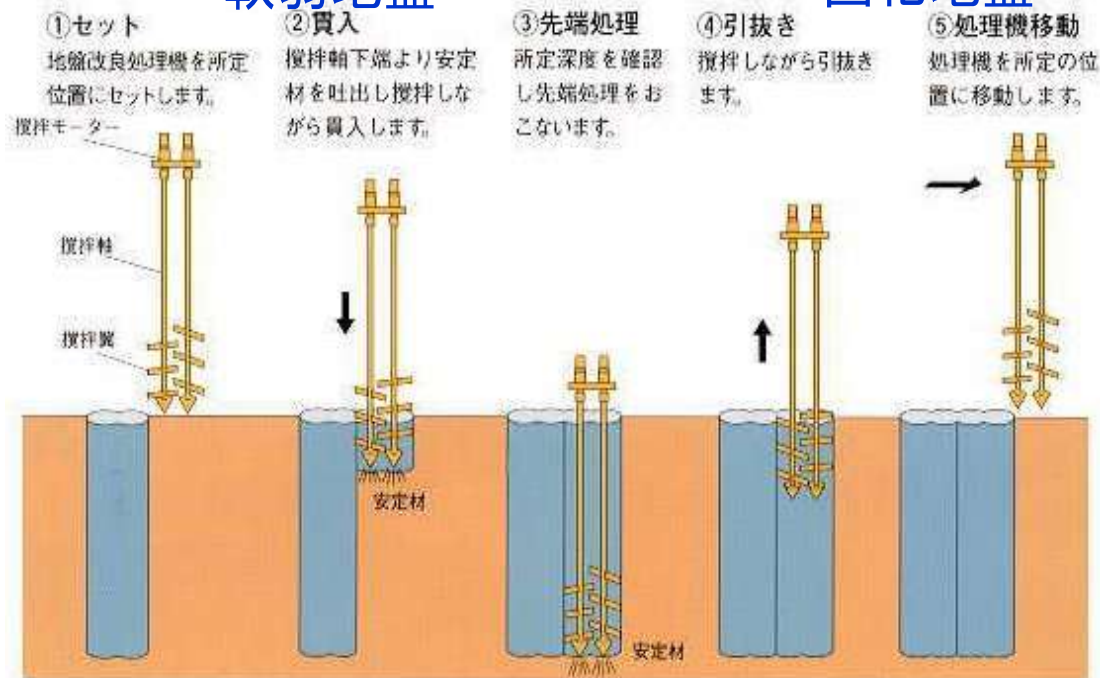
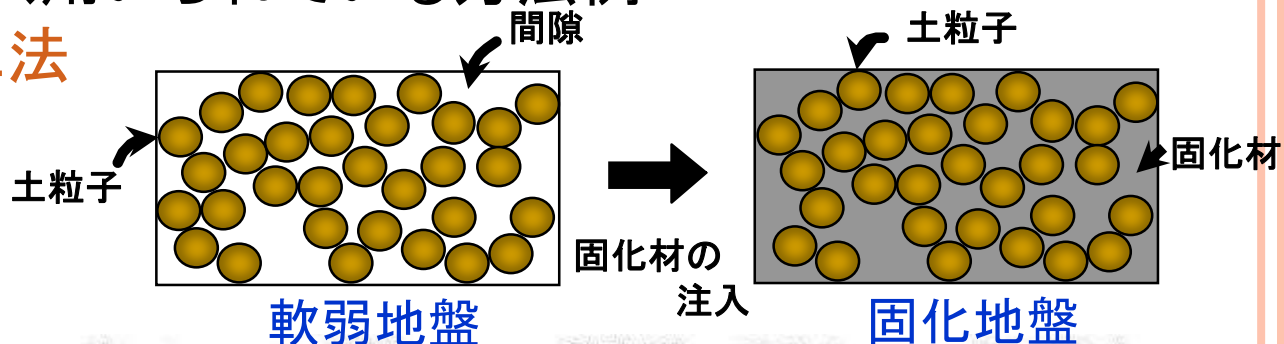
狭隘地や既設構造物直下の対策が可能



(大林による)

セメントを混ぜて固める工法

大型の機械で多く用いられている方法例 深層混合処理工法



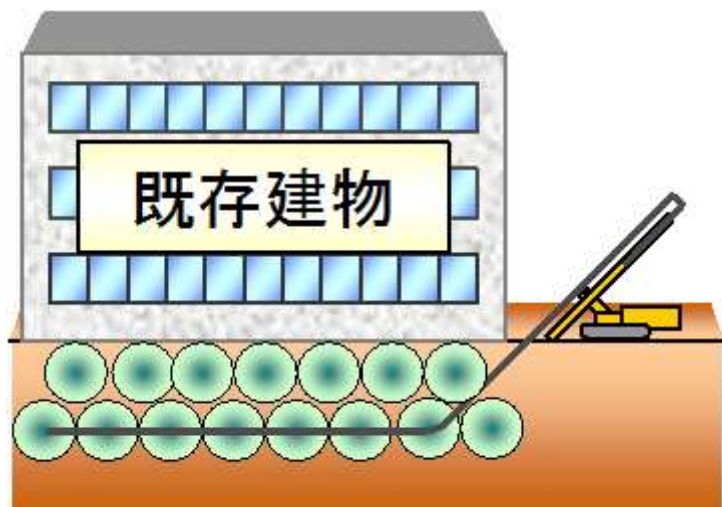
(大林による)

パワーブレンダー工法

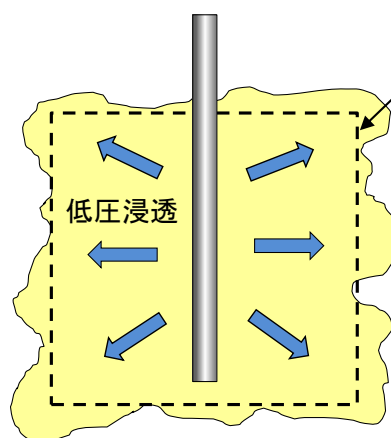


特殊な小型機械で狭い場所でも使える方法例

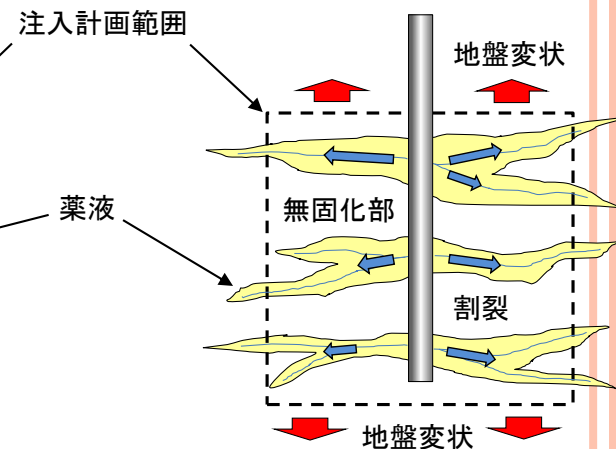
浸透固化処理工法



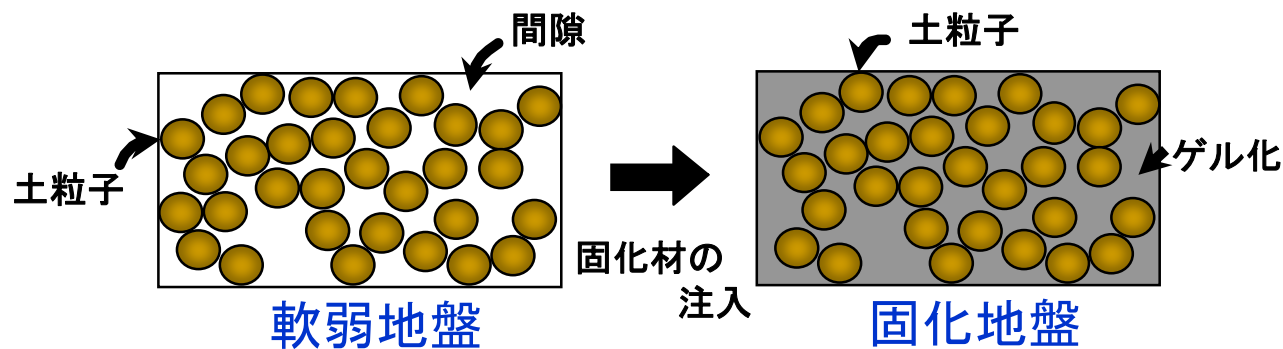
液状化対策用



沈下修正用



これは液状化対策にならない(後述)

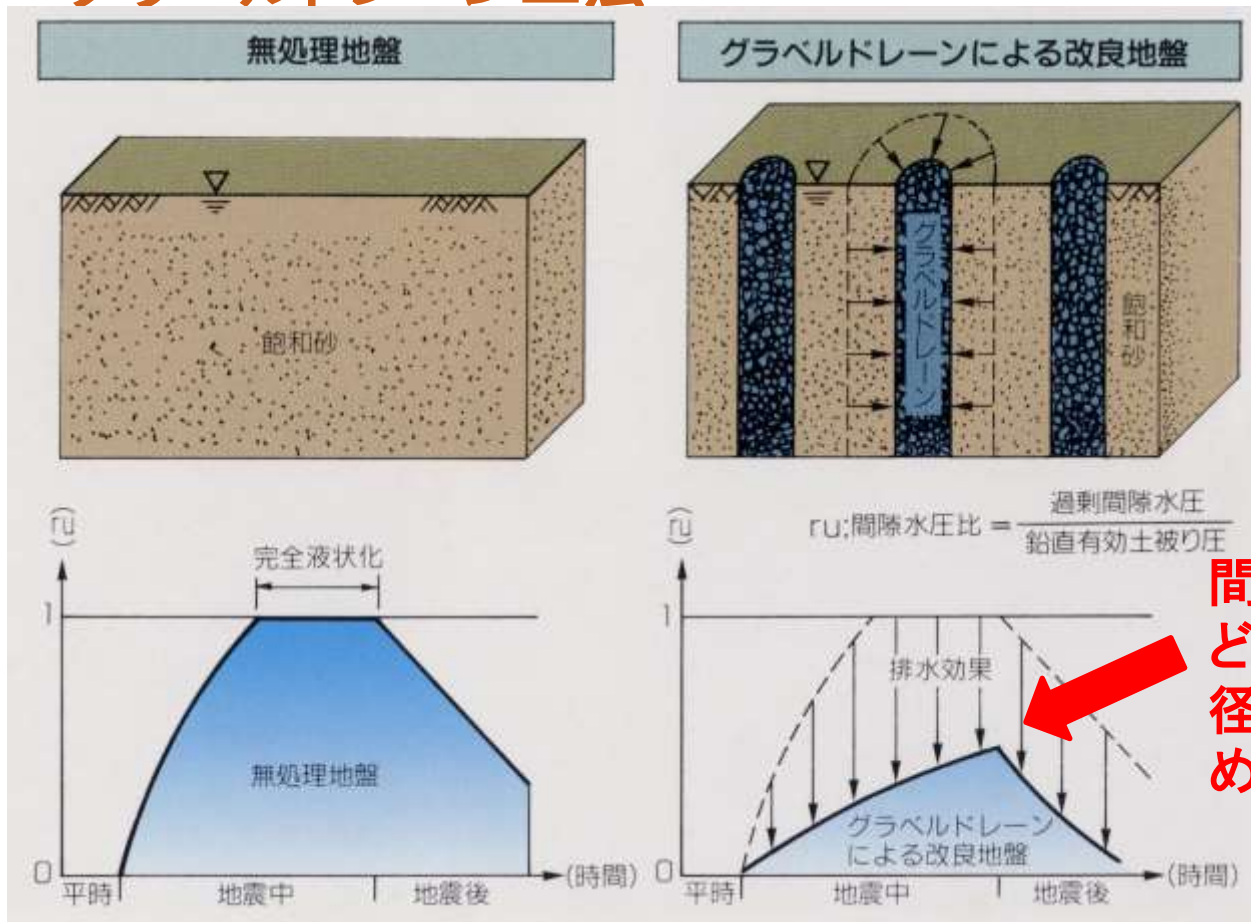


(大林による)

発生する過剰な間隙水圧を早く消散させる工法

大型の機械で多く用いられている方法例

グラベルドレーン工法



間隙水圧を一定値にとどめるため、ドレーン直径、間隔を計算して決める必要がある

(大林による)

(2) 東日本大震災前に「日本建築学会：小規模建築物基礎設計の手引き（1988）に示されていた対策方法）

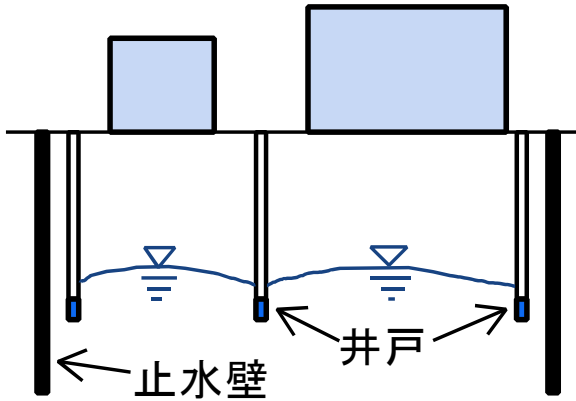
- (a) 杭状地盤補強または杭基礎
- (b) 矢板壁
- (c) べた基礎
- (d) 浅層混合処理



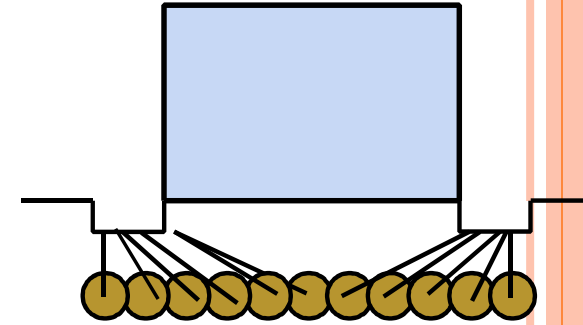
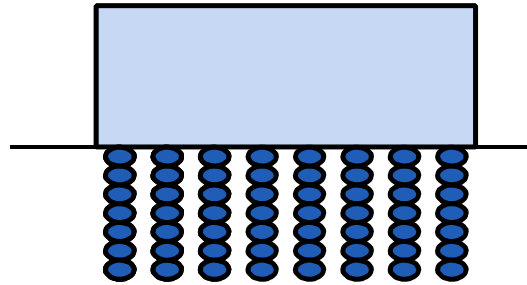
注：東日本大震災ではべた基礎の建物で液状化により沈下したものがあつたので、べた基礎は液状化対策として十分ではないと考えられる。

(3) 既設の直接基礎構造物の液状化対策実施例

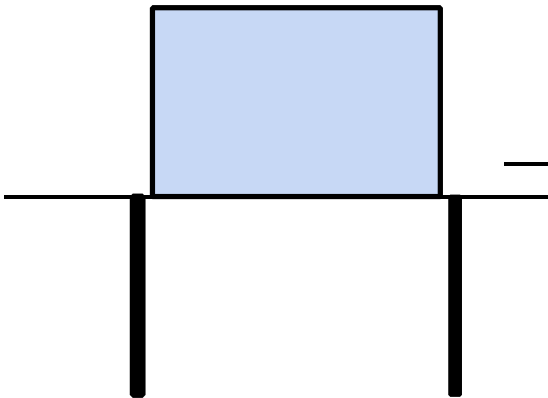
(1) 井戸や排水溝による地下水位低下



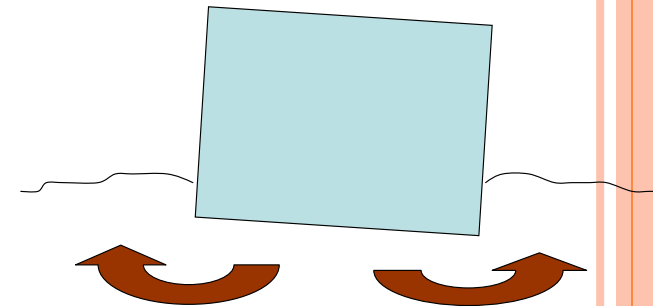
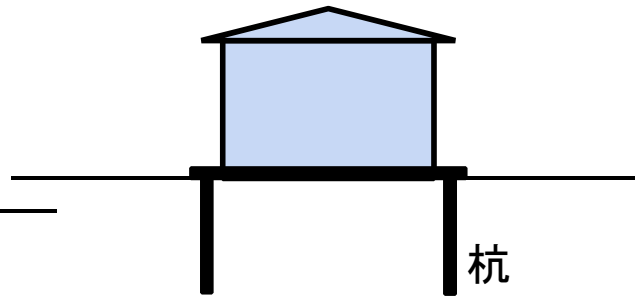
(2) 底版にあけた孔からの締固め (3) 周囲からの薬液による固化や薬液による固化



(4) 鋼矢板による変形抑制

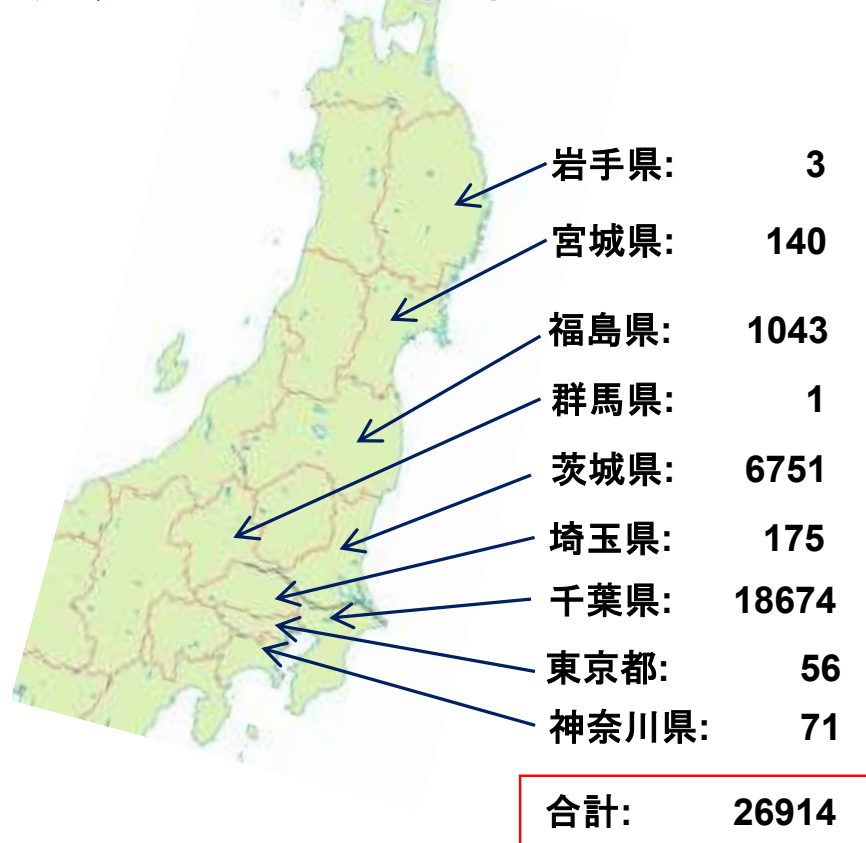


(5) 周囲からの杭打設



4. 東日本大震災で液状化した都市における復旧・復興

戸建て住宅の被害状況






* 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。



東日本大震災の約2か月後に内閣府から出された新被害判定基準

分類		全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊
判定基準	傾斜角	$> 50/1000$ 	$16.7/1000 \sim 50/1000$ 	$10/1000 \sim 16.7/1000$ 	$< 10/1000$
	沈下量	床上1mまで	床まで	基礎の天端 25cmまで	

傾いた家の中で生活するとめまいや吐き気などの障害が生じる。

2010、2011年の地震の後のChristchurchでは



対策を施した復旧・復興方法の種類

被災した家の取り壊し



液状化対策のための地盤対策

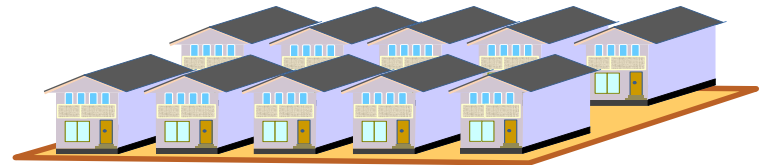


家の再建

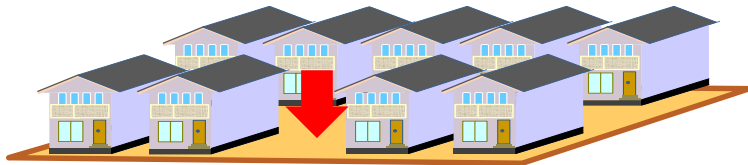
地区全体



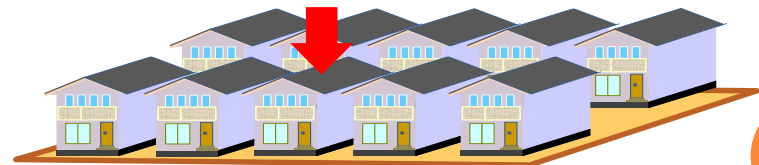
地区全体



個々の家

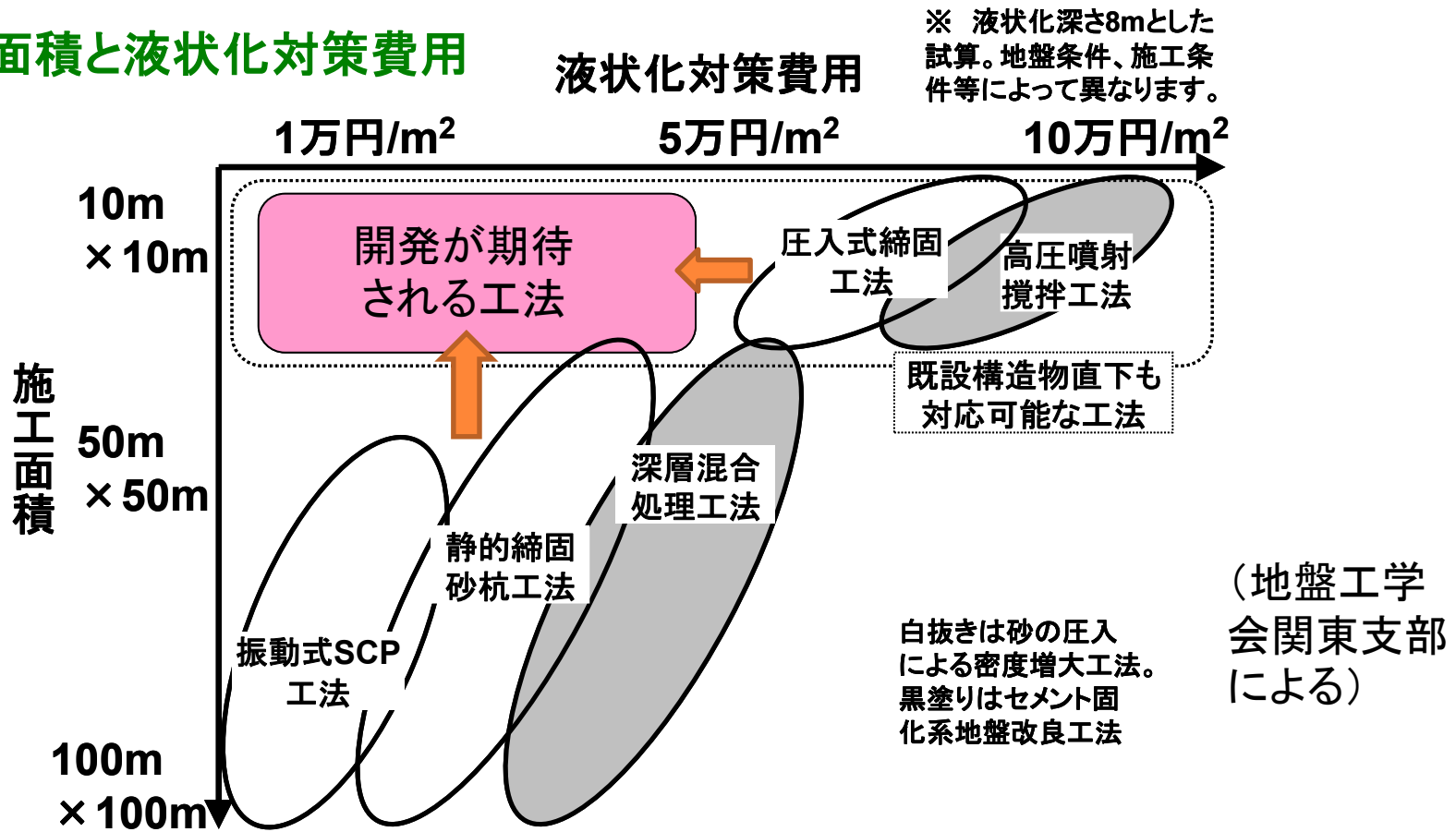


個々の家



既に開発された地盤改良方法の戸建て住宅への適用性

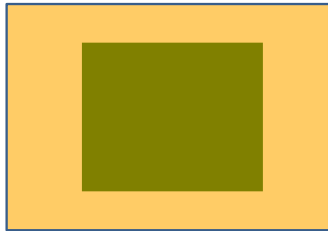
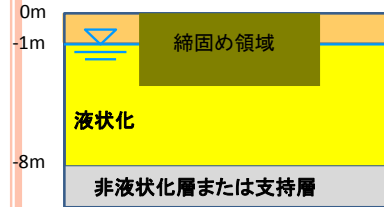
施工面積と液状化対策費用



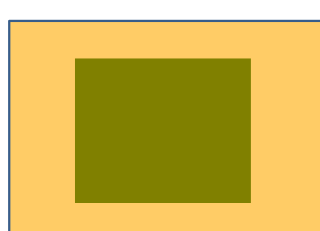
- ・施工面積と対策工費の関係は、大型の施工機械で大量施工が可能になるほどコストは低い
- ・施工面積が小さいと施工機械が小型化して施工能率が低下したり運搬費用などの間接的な費用がコストに占める割合が大きくなりコストは高くなる

狭い土地に個々の家屋を新設する場合の対策案

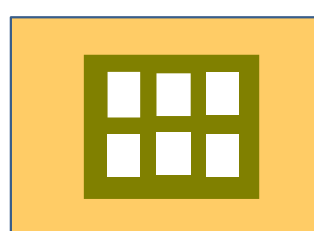
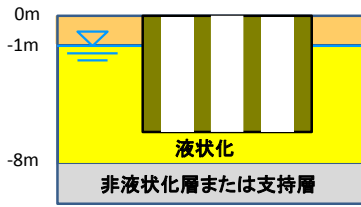
(1) 地盤の層状締め



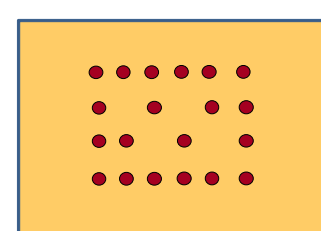
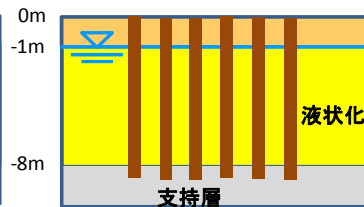
(2) 地盤の層状固化



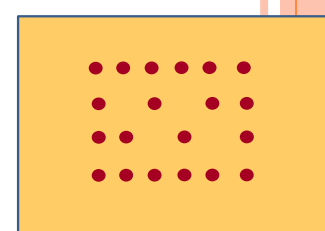
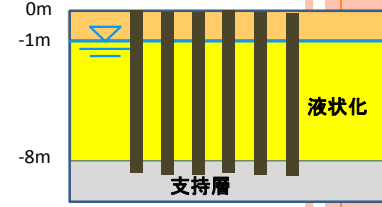
(3) 格子状・セル状改良



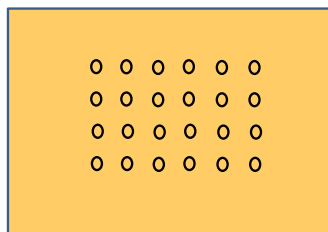
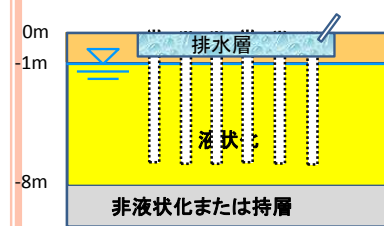
(4) 既製杭支持



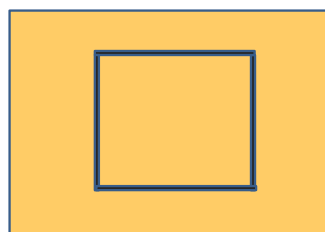
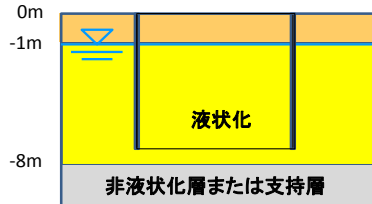
(5) 地盤の柱状改良



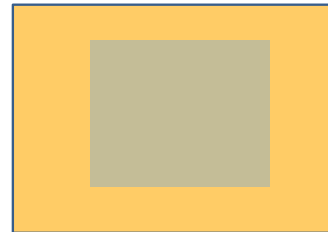
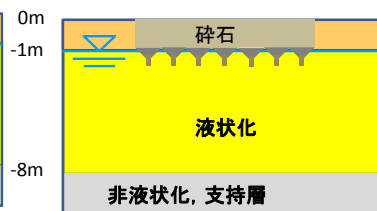
(6) 水圧消散



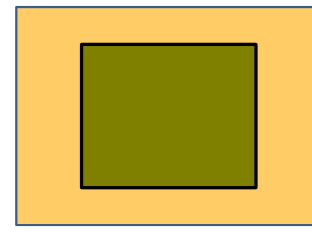
(7) 壁状締め



(8) こま型基礎



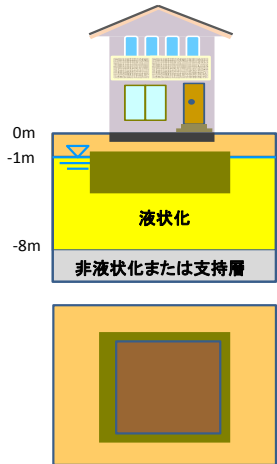
(9) かさ上げ盛土



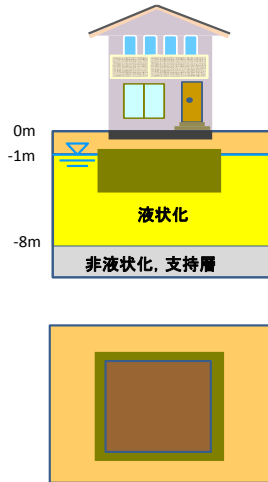
(地盤工学会
関東支部による)
(注) アイデア
だけのもの
も含む

狭い土地にある既設の住宅での対策案

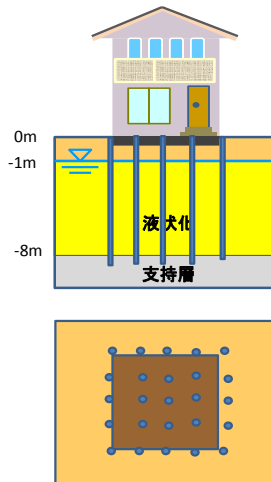
(1) 建物直下の層状締め



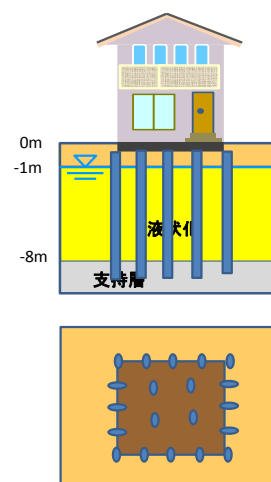
(2) 建物直下の浸透固化



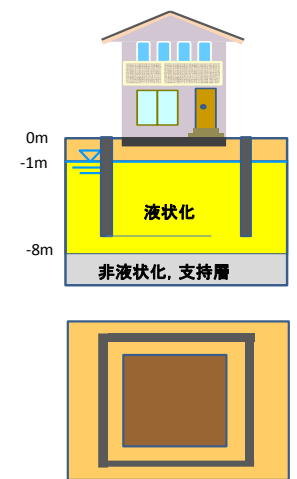
(3) 既製杭支持



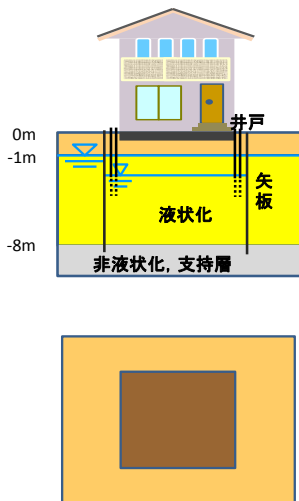
(4) 柱状改良



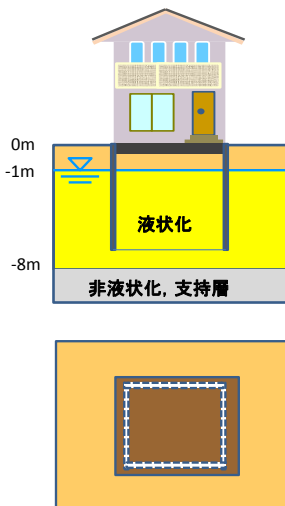
(5) 家の周囲の格子状改良



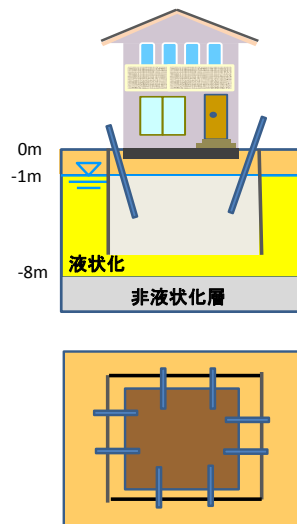
(6) 地下水位低下



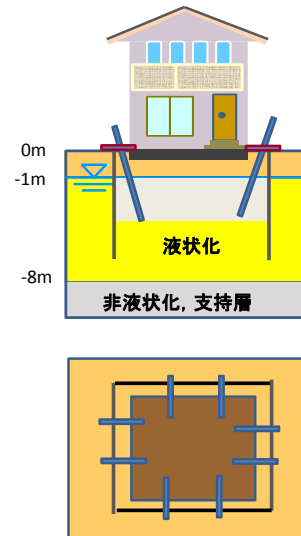
(7) 壁状締め切り



(8) 不飽和化



(9) 過圧密

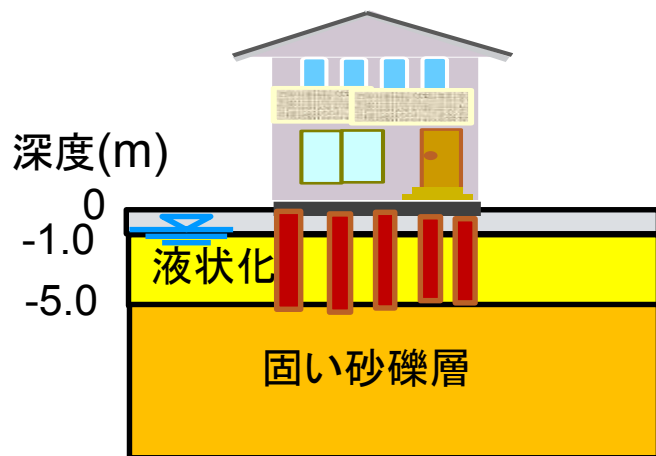


(地盤工学会
関東支部に
よる)

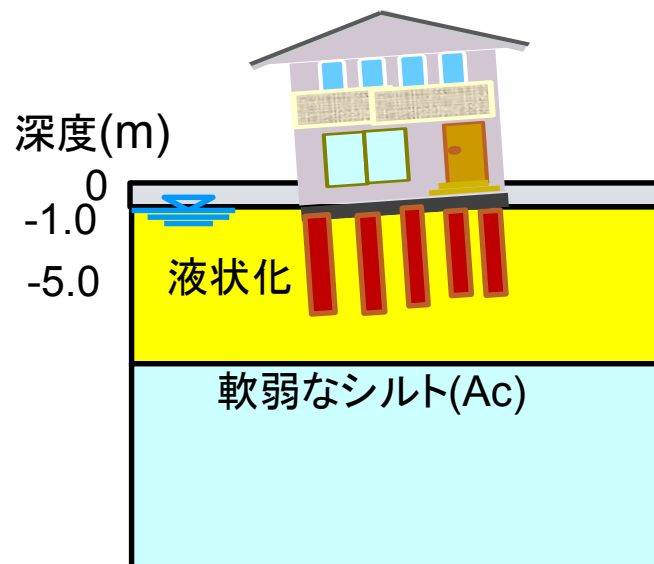
(注) アイデア
だけのもの
も含む

柱状改良における留意点

柱状改良の先端が液状化層下端より深い固い層まで達している場合は、柱状改良間の地盤は液状化しても杭で支えていることと同じなので建物は沈下しない



柱状改良の先端が液状化層下端より浅く固い層まで達していない場合は、柱状改良間の地盤を改良してわけがないので、液状化は発生し建物は沈下する



東日本大震災後急遽開発された個々の宅地の液状化対策方法例

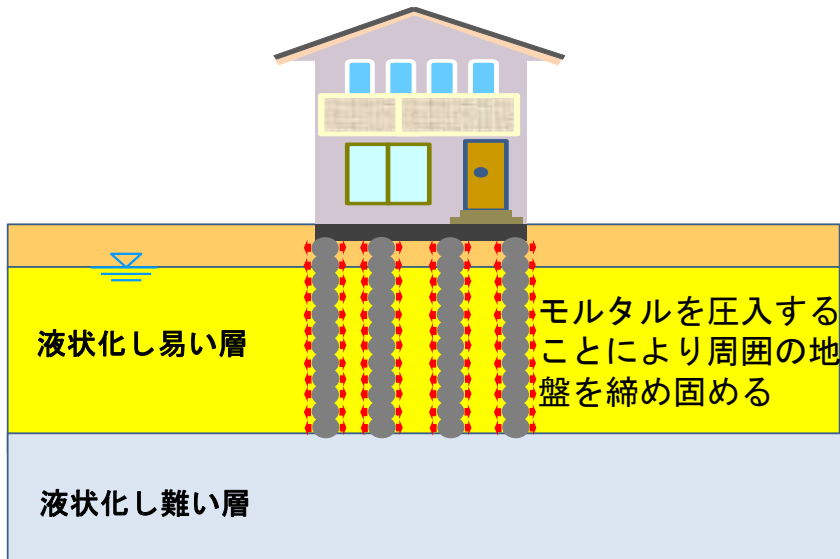
① 圧入式締固め工法の既設住宅への適用

三信建設工業(株)

既設の建物の床に孔をあけて施工



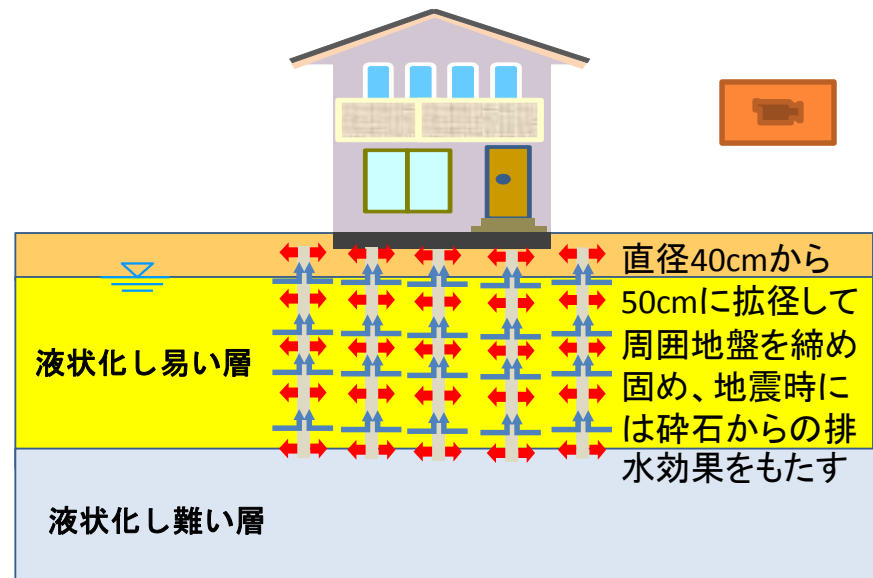
既設の建物の外側から斜めに施工



②新設の戸建て住宅用に小型化した碎石締固め・排水工法

(株)不動テトラ

新設の住宅に適用した事例



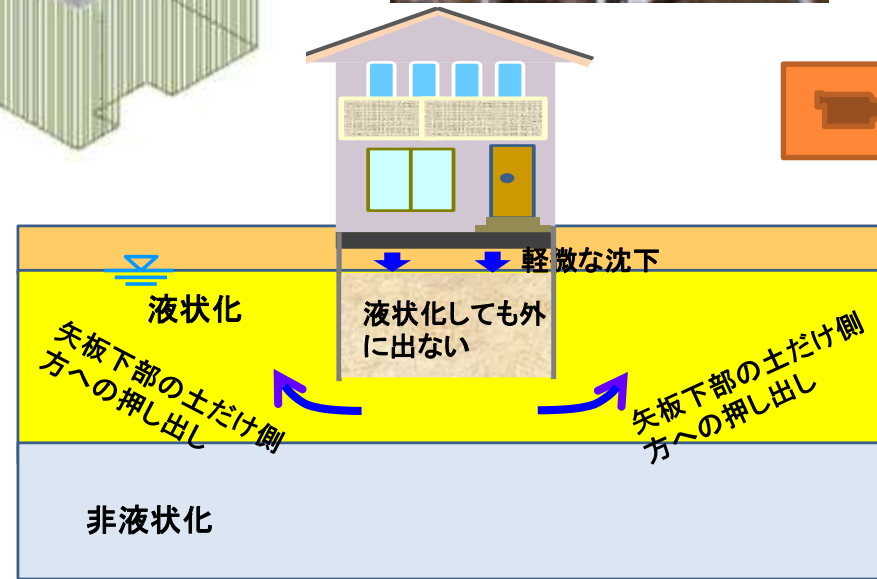
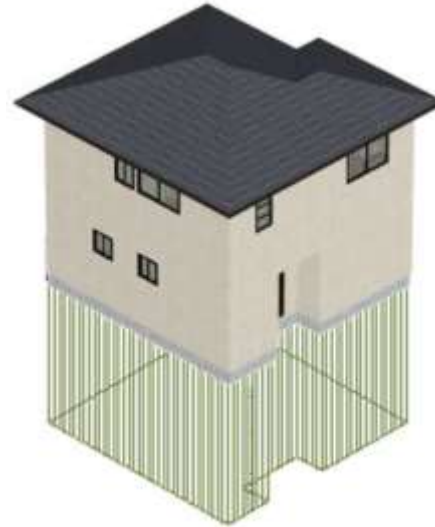
③新設・既設の戸建て住宅での矢板締切工法

住友林業(株)

新設の住宅に適用した事例



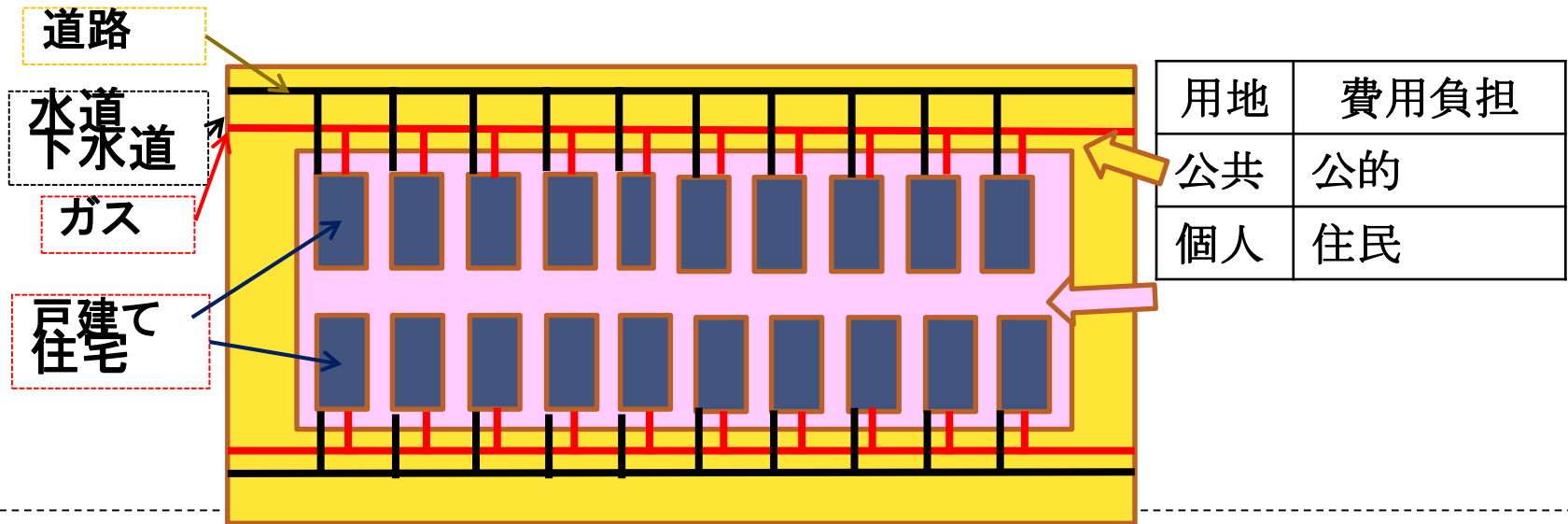
既設の建物に適用した事例



A15：施工機械が大きくて宅地には入れないとか、特殊な方法は費用が高いため、そのまま適用するのが困難です。ただし、東日本大震災後に急遽、いくつかの方法は適用できるように改良されました。

既設の住宅がある地区全体の液状化対策

創設された市街地液状化対策事業



(1) 技術的な課題

- ・ 設定する地震動レベルと性能目標
- ・ 可能な工法の選定と設計
- ・ 道路・ライフラインの復旧とのタイミング
- ・ 維持管理方法

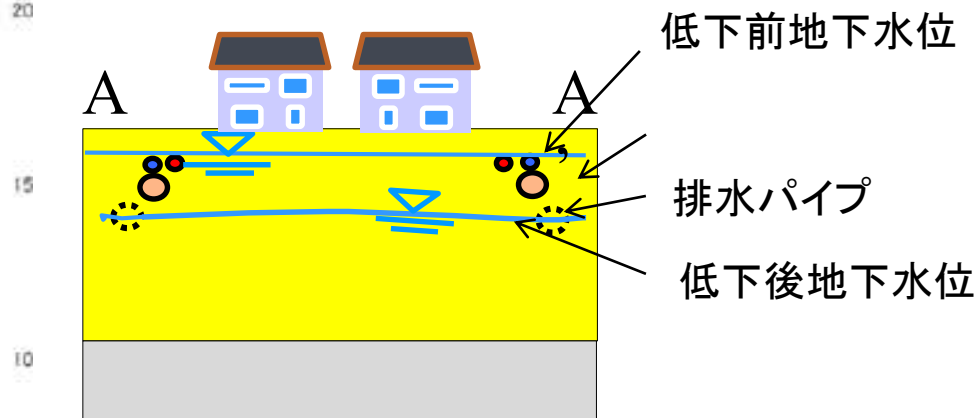
(2) 社会的な課題

- ・ 住民からの要望や合意形成
- ・ 個々の建物の沈下修正や液状化対策と液状化対策推進事業のタイミング
- ・ 住民の費用負担， 分担割合



(液状化地点図は国交省と地盤工学会による)

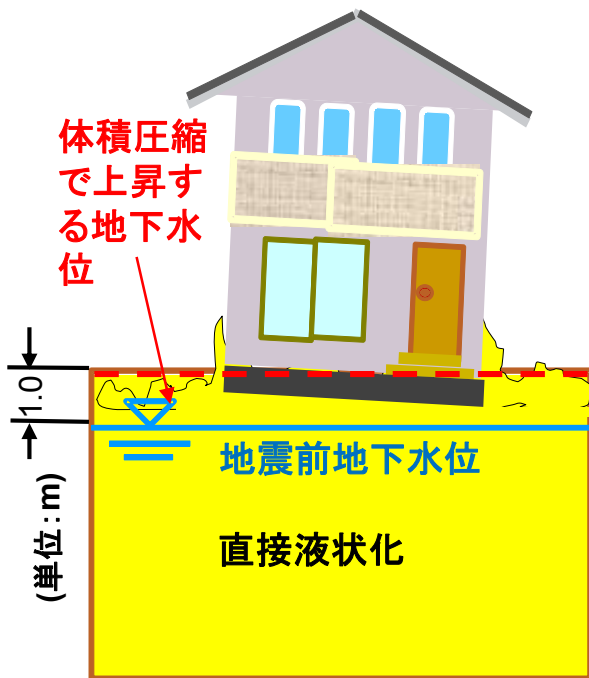
- : 市街地液状化対策事業および造成宅地滑動崩落緊急対策事業で液状化対策の適用が検討されてきた都市
- : 地下水位低下による対策が行われてたあるいは実施中の都市



事業を適用するにあたって実証実験などで検討されてきた事項

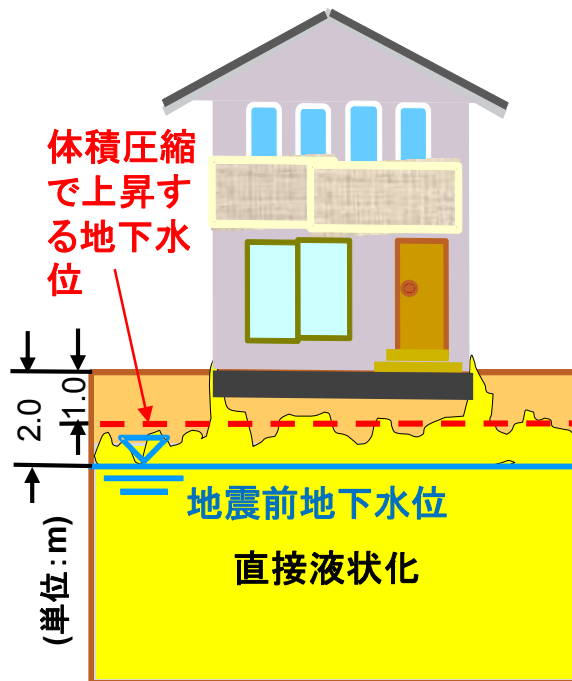
1. 地下水位の低下量の設定方法
2. 地下水位の低下方法
3. 水位低下のための排水管や浅井戸の設置間隔
4. 地下水位低下に伴う地盤の沈下量の推定方法
5. 稼働中の排水量と維持管理方法

地下水位がGL-1mの場合



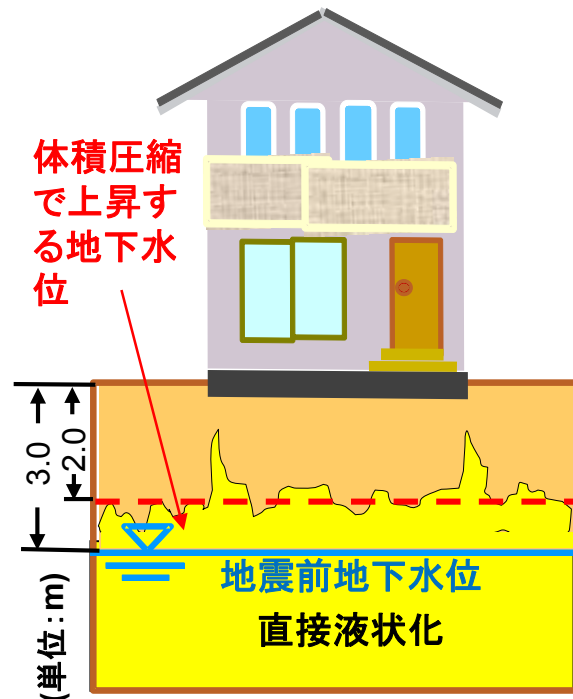
基礎下の非液状化層が薄いので支持力不足ですぐ沈下するか、液状化層から絞り出された間隙水が上昇し支持力不足になって沈下する。

地下水位がGL-2mの場合



液状化層から絞り出された間隙水の上昇と、地割れからの噴水が基礎下に達することにより、支持力不足になって沈下するか、しないか分かれる。

地下水位がGL-3mの場合



液状化層から絞り出された間隙水の上昇と地割れからの噴水とも基礎下付近まで達せず、支持力は残ったままで沈下しない。噴水も地表に達しない。

国土交通省で平成26年 3月に出された市街地液 状化対策推進ガイダンス

(国土交通省都市局
都市安全課による)

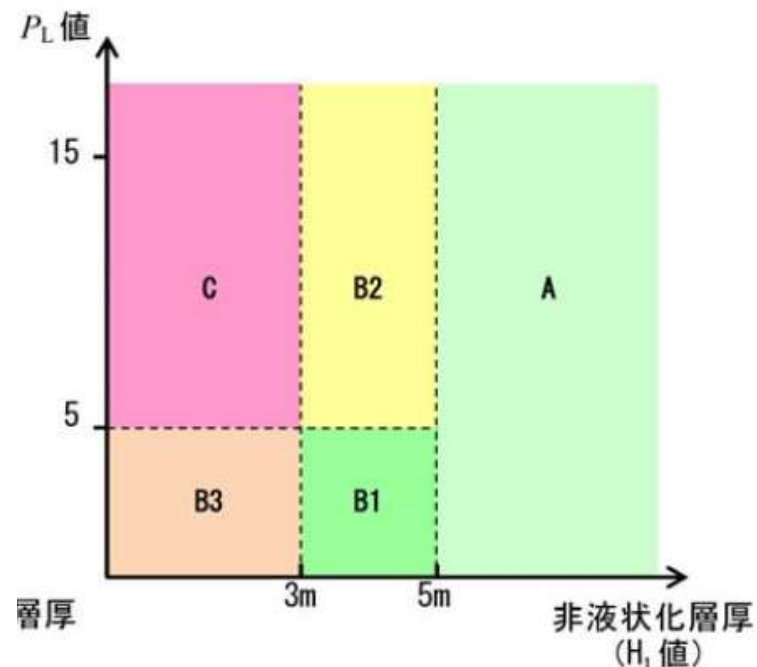
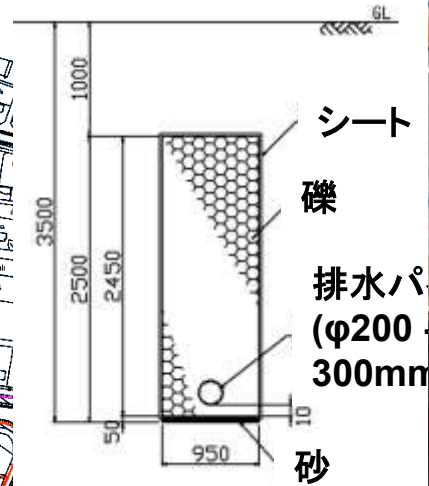
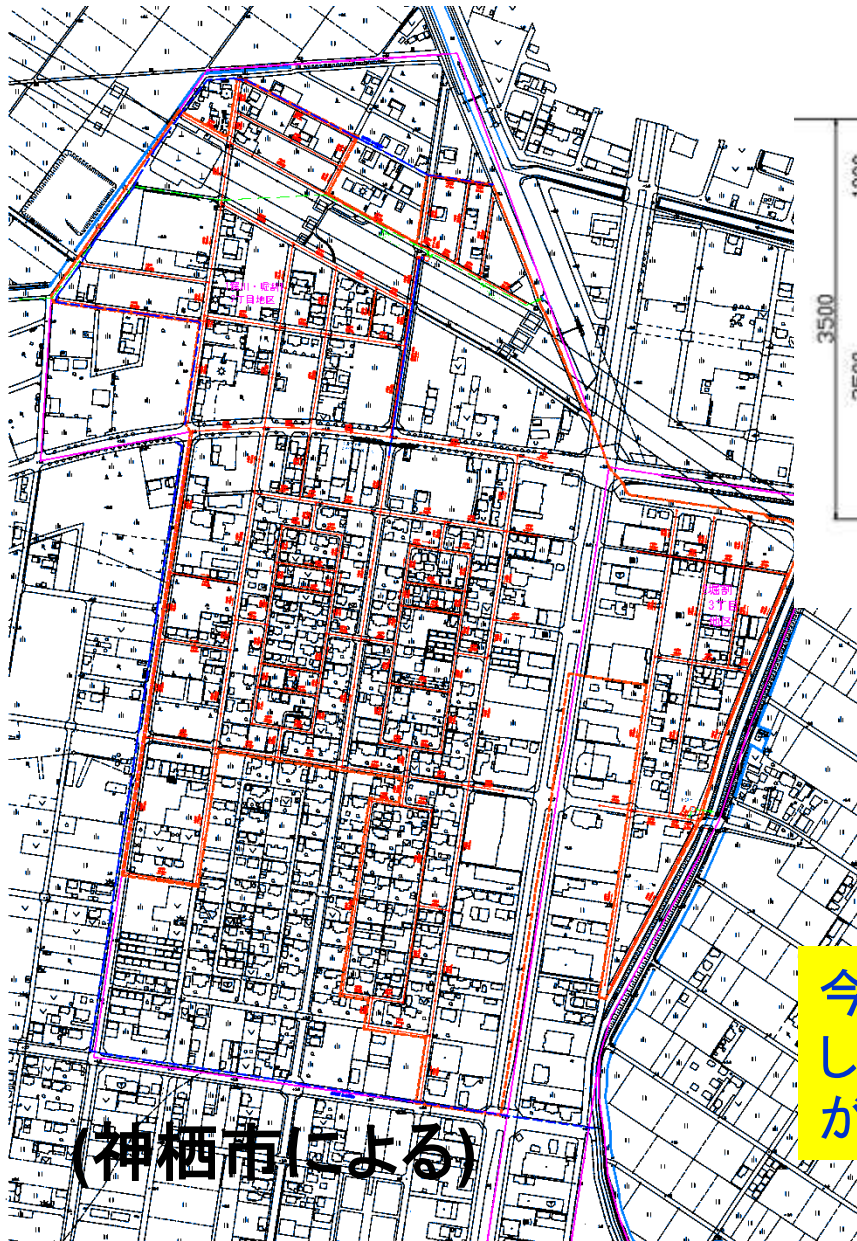


表 4-8 公共施設・宅地一体型液状化対策工法における効果の目標値の設定

判定結果	H ₁ の範囲	Dcyの範囲	P _L 値の範囲	地下水位低下工法	格子状地中壁工法
C	3m 未満	5cm 以上	5 以上	不可	不可
B3		5cm 未満	5 未満	不可 (※)	不可
B2	3m 以上 5m 未満	5cm 以上	5 以上	液状化被害軽減の 目標として可	不可
B1	5m 以上	5cm 未満	5 未満	液状化被害抑制の目標として可	
A		—	—		

(※) 原則不可であるが、専門家からなる委員会等で詳細、且つ、高度な検討を行った結果の判断についてはこの限りではない。

神栖市掘割地区の排水パイプ設置状況

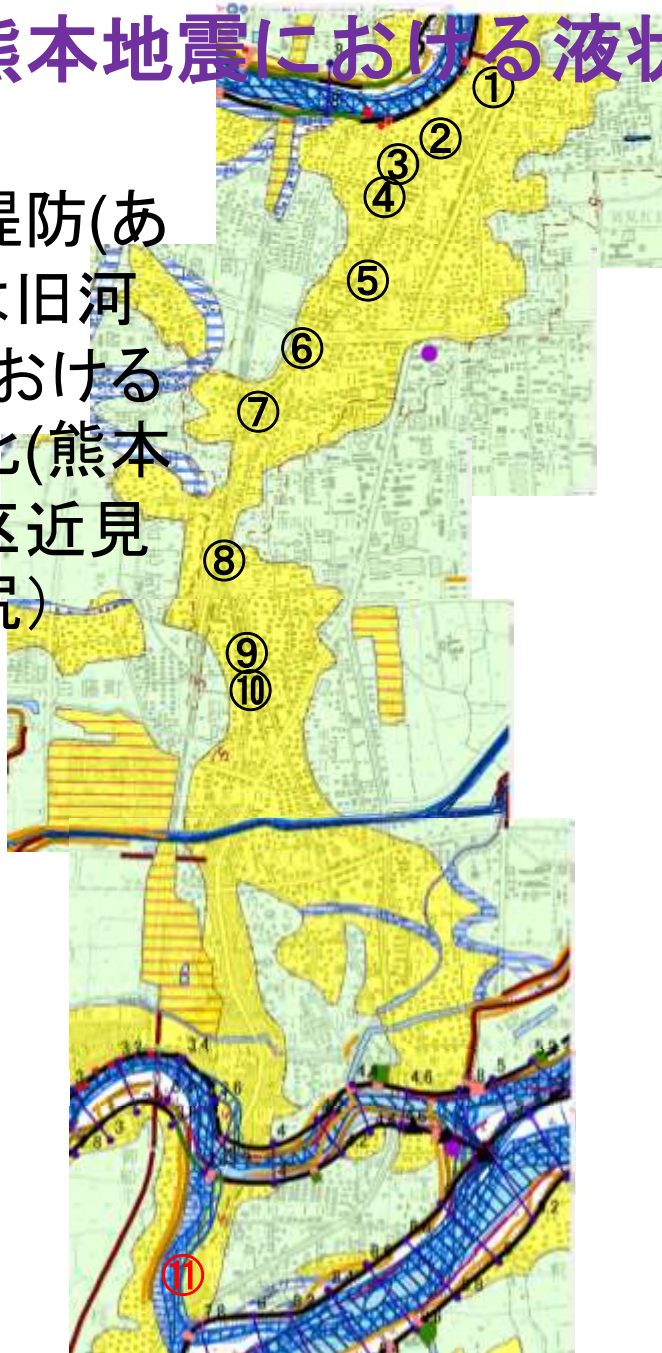


今後全国に予防として展開されることが期待される。

5. 熊本地震における液状化被害

凡例

自然堤防(あるいは旧河道)における液状化(熊本市南区近見～川尻)



大分類	中分類	小分類	細分類	記号	
山地					
台地・段丘		段丘面			
		崖(段丘崖)			
		浅い谷			
低地	山麓堆積地形				
	扇状地				
	氾濫平野				
	氾濫平野	後背湿地			
	扇状地, 氾濫平野	微高地(自然堤防)			
		旧河道	旧河道(明瞭)		
	旧河道(不明瞭)				
落堀					
砂州・砂丘					
人工改変地形		干拓地			
		盛土地・埋立地			
		切土地			
		連続盛土			

近見～川尻にかけての治水地形分類図と写真撮影箇所

④ 近見1丁目10



近見1丁目における液状化被害（その2）

⑦ 刈草1丁目5

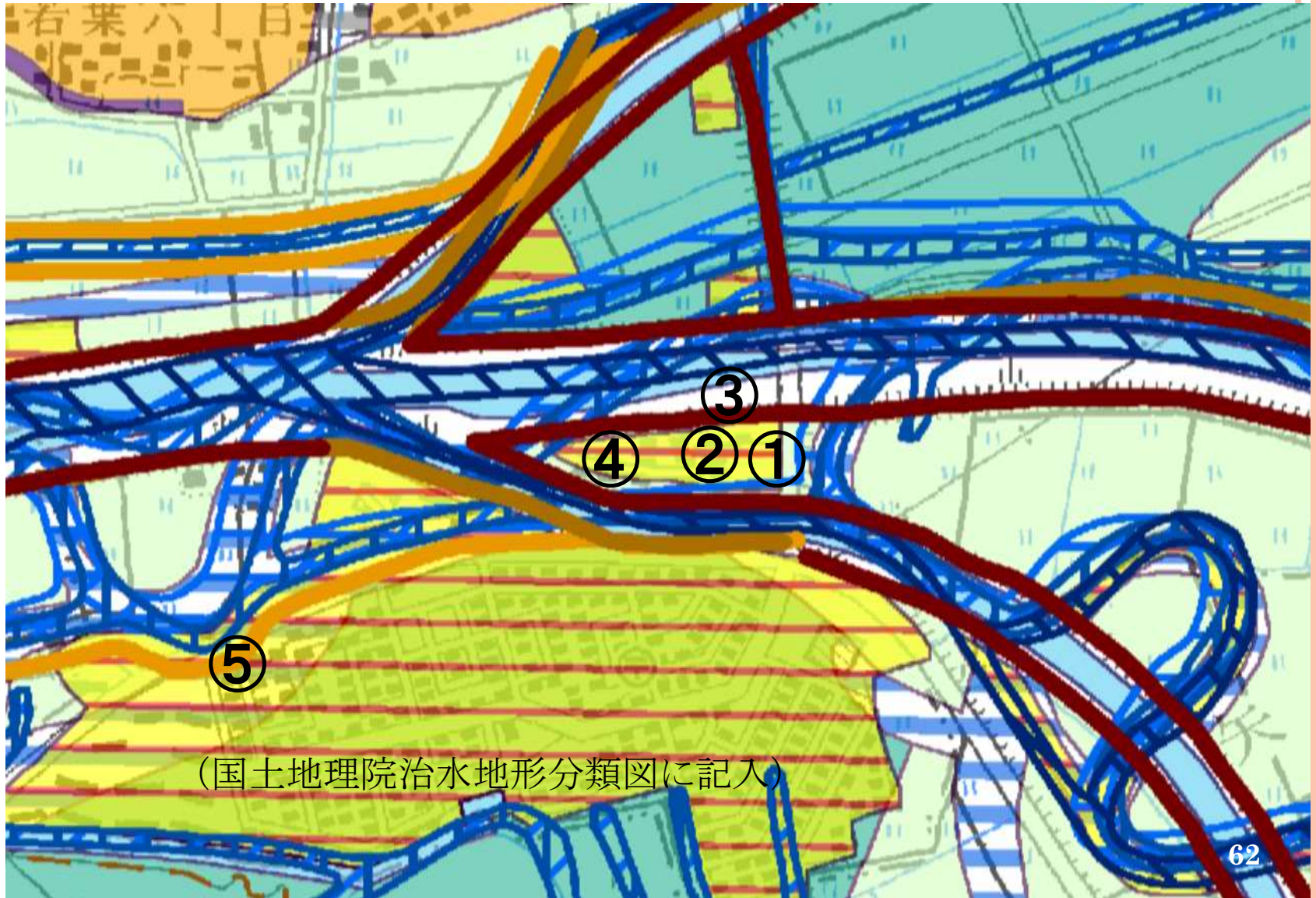


刈草1丁目における液状化被害

田んぼに最近造成した 地区の液状化による被害 (甲佐町芝原)



川岸の盛土地における液状化(熊本市東区秋津町)



秋津町の治水地形分類図と写真撮影箇所

③ 間島団地



2016.04.16

③ 間島団地



6. いくつかの地震による液状化被害の比較

(1)熊本地震と東日本大震災による液状化発生箇所の微地形との比較

東日本大震災による液状化発生箇所の微地形

分類	主な地区
海岸や浦・潟の埋立地	東京湾岸, 神栖, 潮来
平野の川・池などの埋立地	香取, 我孫子
河川堤防の基礎地盤や提体	利根川, 小貝川, 霞ヶ浦
砂利や砂鉄を掘削して埋め戻した土	神栖, 旭
水田などの盛土地	佐倉
台地・丘陵の沢部の盛土地	鹿嶋

液状化のハザードマップでは表せないケースもあることに留意する必要がある。

(2) 東日本大震災と関東大震災での液状化発生地点の比較

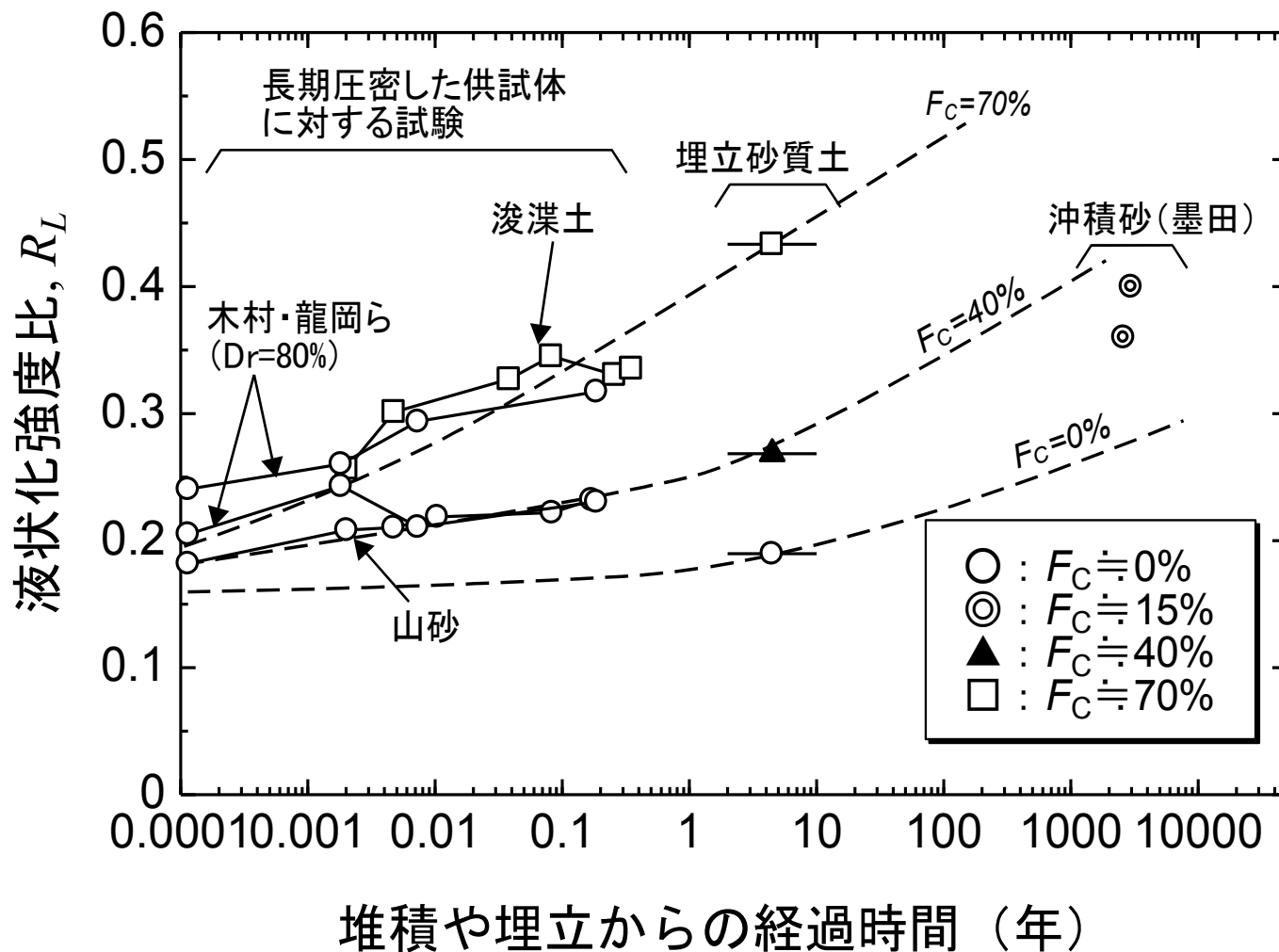
埼玉県の中川沿いの低地や東京都の古隅田川沿いでは1923年関東大震災で液状化したが、2011年東日本大震災では液状化しなかった。

考えられる理由

その1：地震動の違い

その2：エイジング効果

考えられる理由その2：堆積後の経年変化により液状化強度が増加した効果（エイジング効果）



定量的な評価をし、将来の地震に対する予測に役立たせることが必要⁶⁷

(3)阪神・淡路大震災では液状化により大きな被害が生じたが東日本大震災ではほとんど被災しなかった構造物

杭基礎構造物



東日本大震災では高架橋, ビルなどの杭基礎にほとんど被害は生じなかった。



阪神・淡路大震災ではタンク, 橋脚, ビル等の杭基礎が甚大な被害を受けた。

岸壁・護岸

船橋市栄町



東日本大震災では一部の護岸で被害があった程度である。



阪神・淡路大震災では数多くの岸壁・護岸が甚大な被害を受けた。

将来の首都直下地震時の安全性の評価が必要

ご清聴有難うございました