

南海・東南海地震にそなえて、
構造設計者はいかに対応するか
— 2011. 3. 11東日本大震災の教訓を生かして—

(4) 液状化

地盤系分科会
佐分利和宏

2012年5月30日(水) 15:00~

液状化とは？

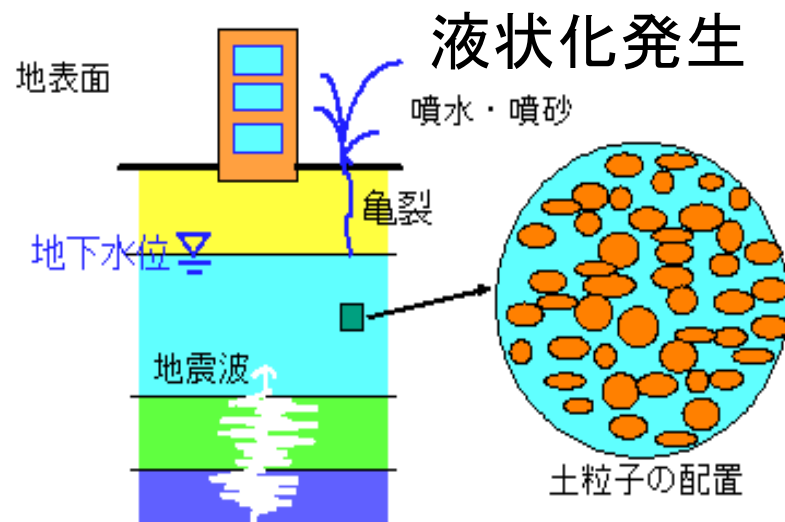
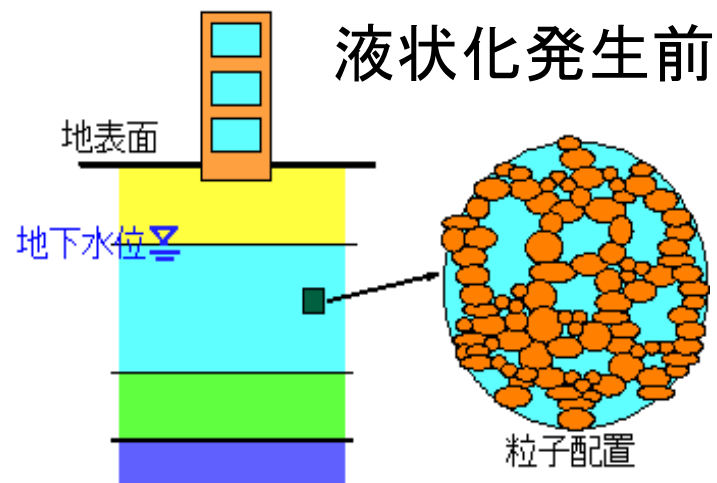
緩い砂地盤が地震によって水のように軟化する現象。地表に砂と水が噴き出すことがあります。

発生しやすい地盤

- ・地盤：砂地盤（埋立、沖積）、シルト（埋立）
- ・N値：15程度以下
- ・地下水位：3mより浅い
- ・深さ：20mより浅い



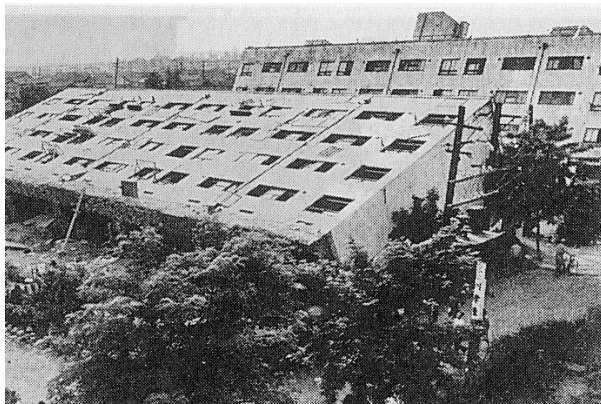
液状化による噴砂現象(2004年新潟中越地震)



液状化のメカニズム

(埼玉大学建設工学科HPより)

- ・地盤の支持能力の喪失.
- ・建物の浮き上がり.



1964 新潟地震



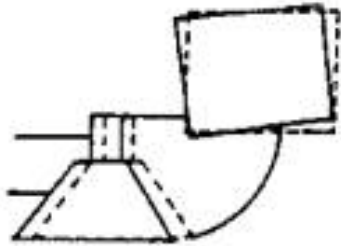
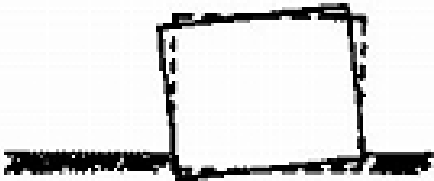
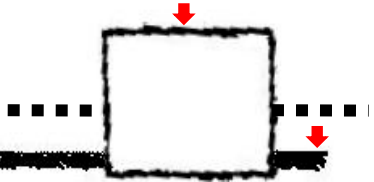
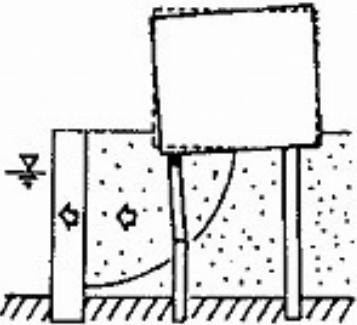
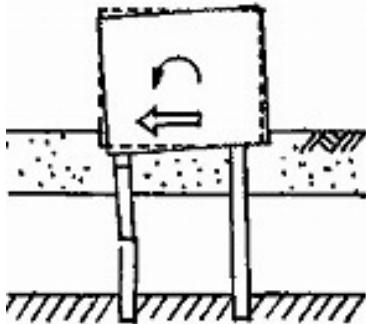
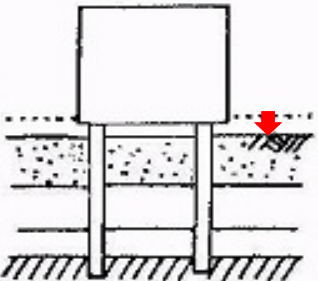
1994 北海道南西沖地震



1993 釧路沖地震



1995 阪神淡路地震

立地	<護岸近傍>		<水平地盤>	
地盤	側方流動		液状化	
直接基礎				
	護岸の移動による 建物の傾斜・沈下		液状化に伴う支持 力不足による不同沈下	液状化に伴う周辺地 盤・建物一体の沈下
杭基礎				
	杭頭付近、杭体中間 部の破損		水平力・転倒モーメント による杭頭付近・杭 中間部の破損	液状化に伴う周辺地盤 の沈下。杭頭の突出・破 損。

立地	<護岸近傍>	<水平地盤>
地盤	側方流動	液状化
直接基礎	 建物の傾斜・沈下	 液状化に伴う支持力不足による建物の傾斜・転倒
	 流動による地盤の流れ出し	 液状化に伴う周辺地盤の沈下。建物の拔上がり。



液状化による電柱の傾斜。道路の起伏発生(浦安市)
「覆る建築の常識」(日経アーキテクチャ編)より



液状化による不同沈下(新浦安駅)
「覆る建築の常識」(日経アーキテクチャ編)より



液状化による沈下した公園のあずまや
「覆る建築の常識」(日経アーキテクチャ編)より



マンホールの浮上り
「2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報」
(日本建築学会)より



液状化による住宅の沈下(千葉県)
「2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報」(日本建築学会)より



住宅街における大量の噴砂(千葉県)
「2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報」(日本建築学会)より



液状化による建物の傾斜(千葉県)
「2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報」(日本建築学会)より



杭基礎周辺の地盤沈下(千葉県)
「2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報」(日本建築学会)より

①自治体が作る液状化予測地図の 精度向上 大阪市の液状化予測地図

②低価格の液状化対策の開発 既存建物への適用工法

③液状化に対する判定法の普及

- FL値の妥当性
- 継続時間と液状化
- 繰返回数とマグニチュード

液状化戸建て苦悩

東日本大震災では、震源から遠い関東でも大規模な地盤の液化が起き、戸建住宅が深刻な被害を受けた。数戸以上にかけて復旧しても、次の地震で再び被害の恐れもある。液状化「予備軍」の宅地は全国に多数、個人の財産に重大な損害を及ぼす液状化への備えが課題になっている。

▼1面参照

傾き復旧に数百万円
再発防止は困難 軽減狙う

再発防止は困難 軽減狙う

津沢氏が起きた千歳市浦安
市・磯部の断面の掘削ができ
た3月21日、津沢浩生撮影

傾いた家屋の主な修復方法	ジャッキアップ	灌浆注入	コンクリートパイル工法
家の下にジャッキを据えて持ち上げる。再液状化に耐えるよう、床下・梁間の杭やコンクリートの柱を打ち基礎を支える工法もある	セメントと水ガラスなどを混ぜた薬液を建築物の地下に注入、家を持ち上げる。薬液は地盤の隙間を固まる	モルタルを地下に注入し液状化に重なり、周辺地盤を押し固めながら家を持ち上げる。注入量を増やせば、液状化対策になる	
			

■家の傾きはわずかも影響は大きい		
傾いた角度 0.17度	室内での感覚や危険判定 違和感がある	被災支援機法の適用可能
0.34度	傾きを認識	対象外
0.57度	苦痛を実感	対象外
0.86度	足元が震くなる	対象外 (半壊)
約0.97度	応急危険度判定「要注意」	東日本大震災後に新たに対象 に（大規模半壊）
2.86度	応急危険度判定「危険」	対象（全壊）

【日本建築学会造設技術委員会・千葉】の資料などから作成

**東日本大震災の
液状化被害**

地震の揺れで地中の砂粒の隙間の水が押し出されると、地盤は流動化し、家が傾くなどの被害が出る。東日本大震災では、東北から関東にかけ

て液状化が発生した。東京湾岸や河川の流域沿いを中心に、1万戸を超す戸建て住宅が沈下・傾斜した。下水道、道路も壊れた。防置壁が崩じられていた橋、高層ビルなどの被害はほとんどなかった。

作業を進められていた。建物をジャッキで持ち上げ、コンクリートブロック板を繰り返し押し込んで柱状にする。

地元の建設会社による、工費は30坪の住宅で300万、3550万坪程度。しかし、軟らかい地盤が3層以上あると便ず、鋼管の柱が必要。700万、1千1千円近くは跳ね上がる。

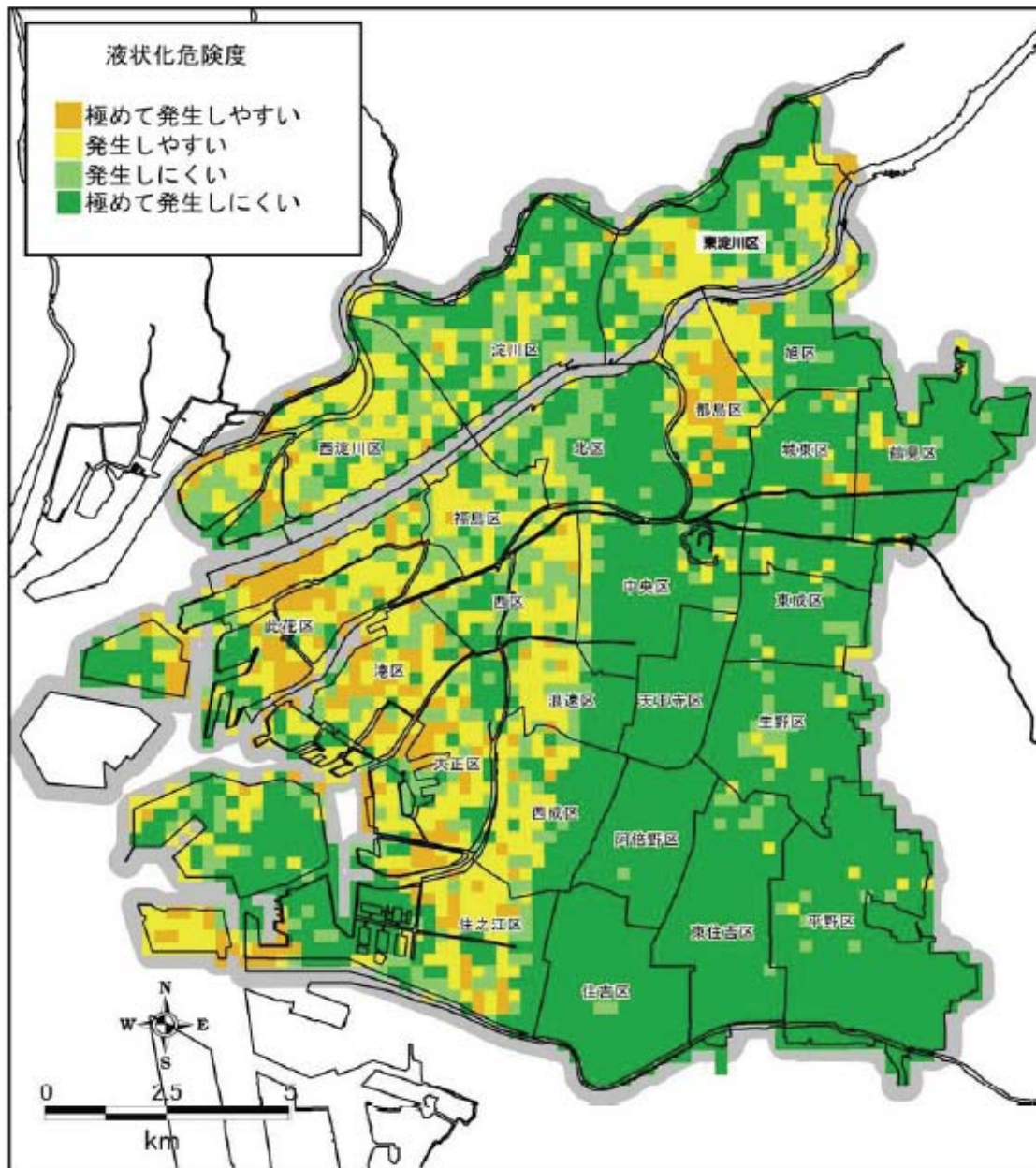
東日本大震災では、液状化で戸建て住宅が傾く被害が目立った。2層の柱が水

はほとんどなくなつた。傾く被覆はあつても、傾く破面はあつても、傾く宅地の対策は新築に比て制約があつて高く、関東地方の多数の農者による、傾いた宅地を直すのに数倍の巨額を要するの現状に據るなら、少なくとも5000万円以上費せになるが、それでも完備ではない。

傾いた家を持ち上げるシヤッチャップでは、固い地盤まで杭打して、地盤まで杭打しては、液状化しても被覆を壊さず、その可能性はるゝが、液状化

地盤情報の公開カギ 国、規制強化には慎重

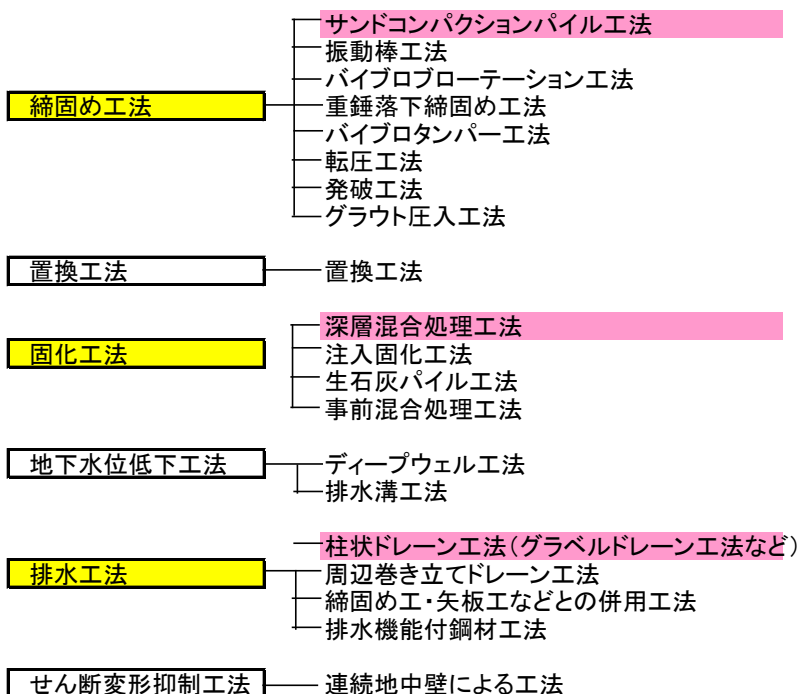
[illegible][illegible]



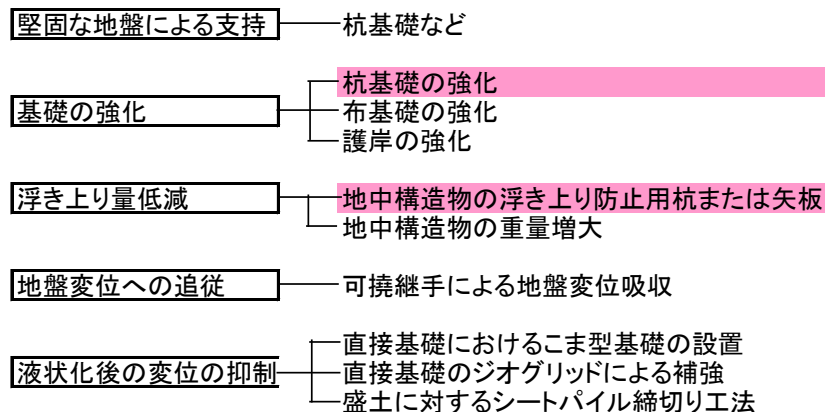
大阪市の 液状化予測地図

- ・きわめて抽象的な表現
- ・判断基準についても明示されていない。
- ・対象としている地震レベルも不明

液状化防止対策の具体的工法



構造的対策の具体的方法/工法



■ 構造物に応じた現状(無対策)で生じる被害の想定と被害度の判定

■ 以下を考慮した総合的な評価

経済性

コスト縮減

信頼性

品質, 対策効果

環境対応性

周辺環境対応(振動, 騒音, 変位など)

工法概要:

地盤に砂杭を一定間隔で打設し、
周辺地盤を締め固める。

適用範囲:

N値20程度まで。細粒分 $F_c < 30\%$ 。
深さ20m以内

メリット:

コスト安価（一般的には）

デメリット:

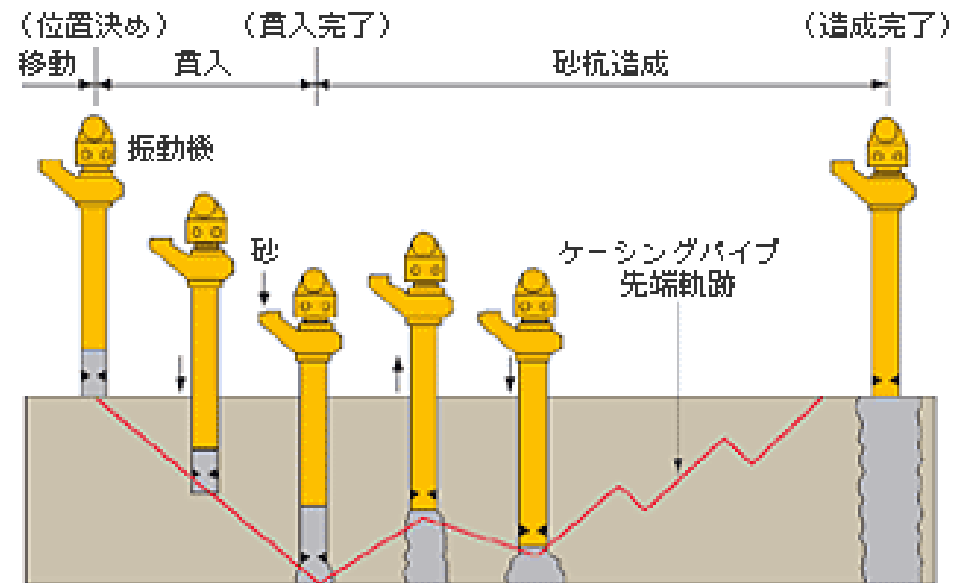
細粒土ではN値が上昇しにくい

周辺地盤を押す

騒音振動がある(市街地では困難)

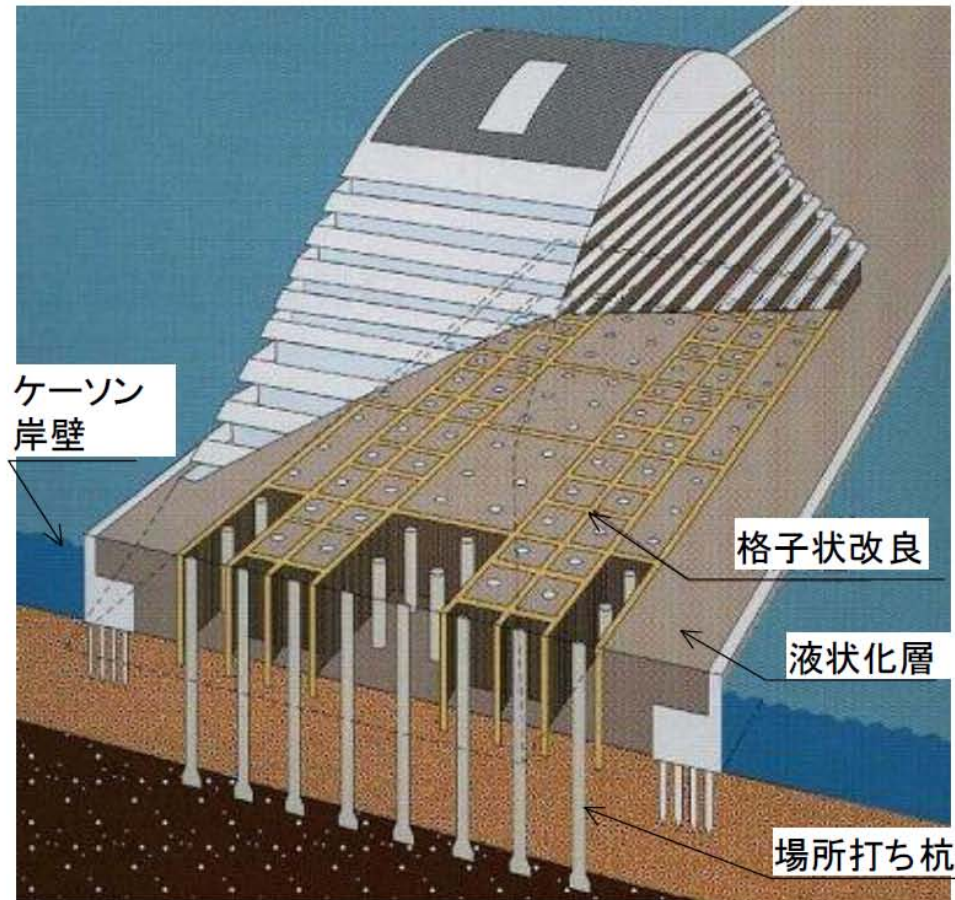


施工機械



施工手順

格子状地盤改良工法（TOFT）



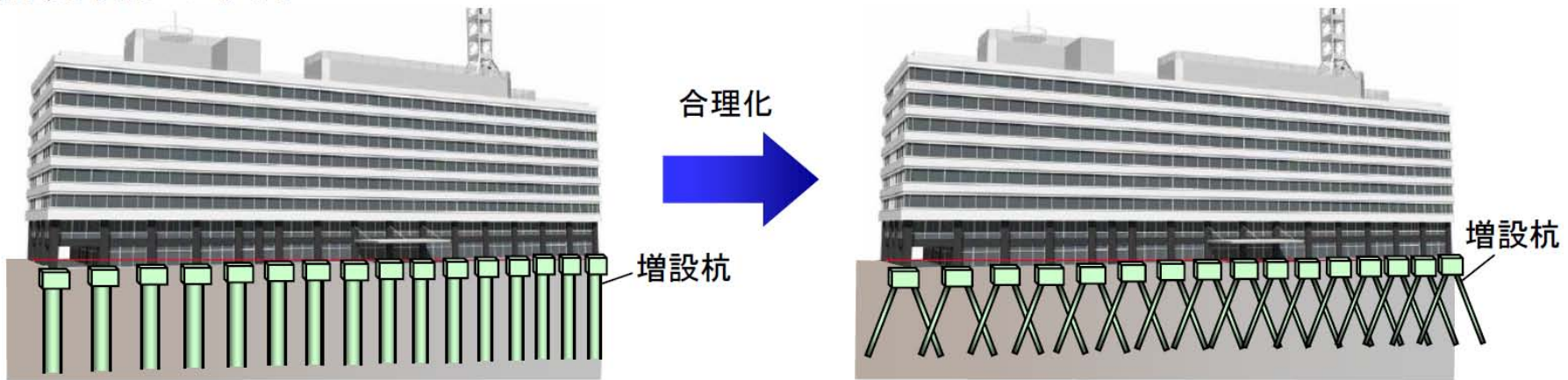
液状化対象地盤を格子状に固化改良し、改良壁に囲まれた砂地盤の大きな変形を抑止する事で、液状化の発生を防止します。阪神大震災でも液状化を防止し、信頼性の高さを証明しています。

地盤条件に応じた対策メニュー

液状化層	2～3m	5m以内		5m以上	
耐震補強方法	① 建物下に 免震装置を設置	② 建物外周部に 直杭を増設	③ 建物外周部に 斜杭を増設	④ 建物外周部に 地盤改良を施工	⑤ 建物下で 地盤改良を施工
平面					
断面					
液状化層					
非液状化層					
支持層					

地盤の液状化は基礎・地盤に大きな被害をもたらします。液状化による基礎の被害が事業継続を著しく低下させることがあるので、お客様のニーズに合わせて適切な対策を提案します。

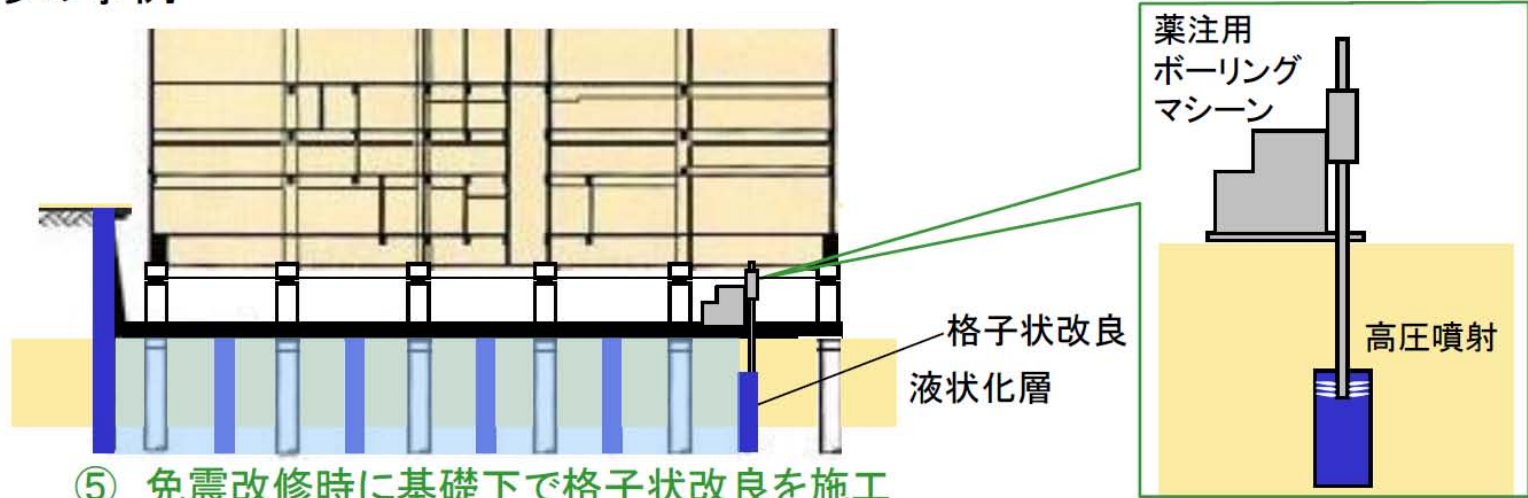
耐震改修の事例



② 外周部に直杭増設の例

③ 斜杭による補強

免震改修の事例

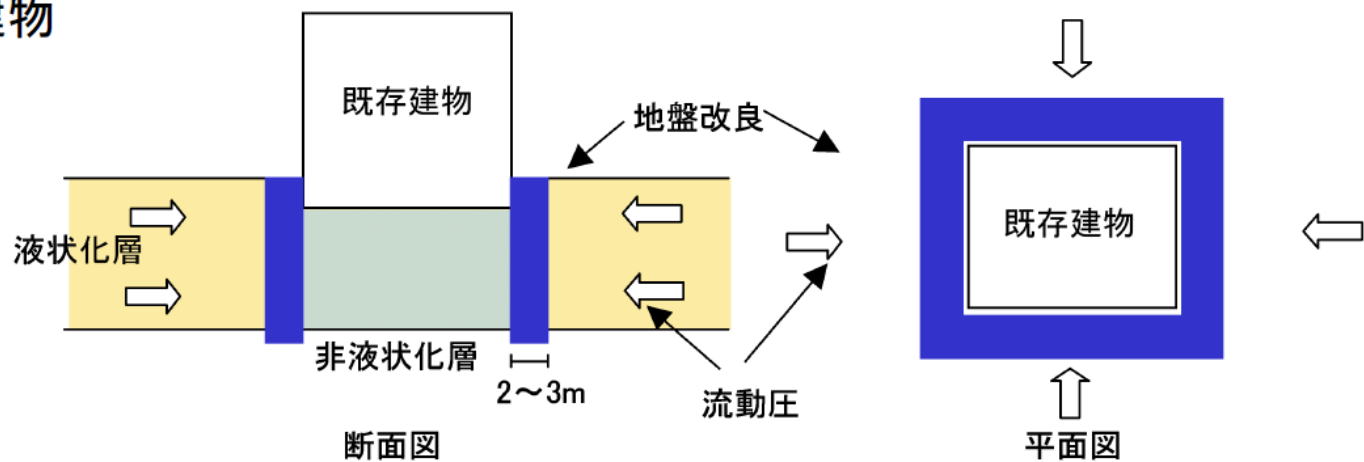


⑤ 免震改修時に基礎下で格子状改良を施工

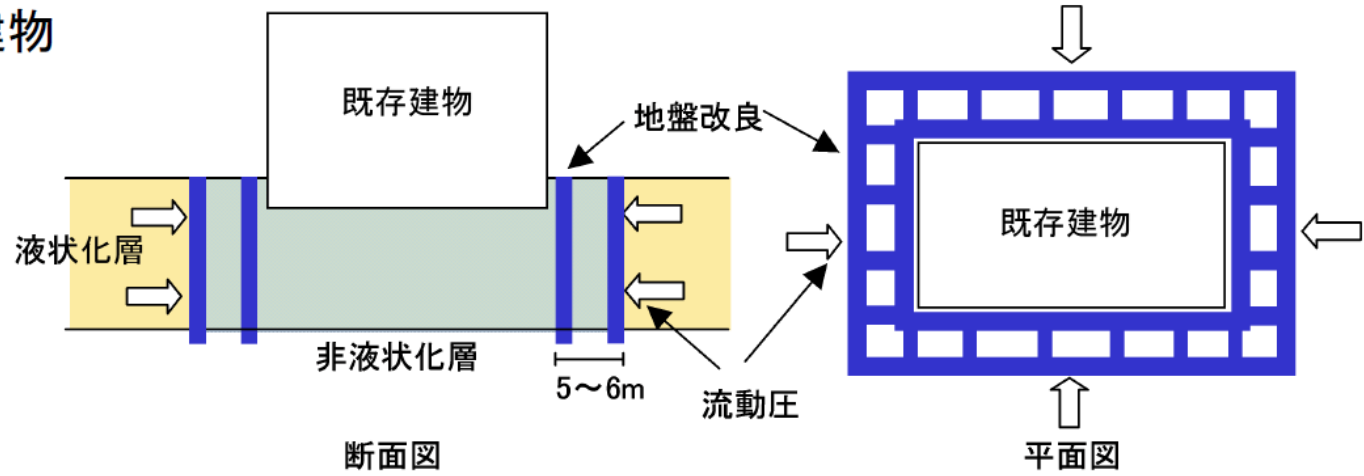
高圧噴射工法

小規模建物向けの対策（直接基礎、杭基礎）

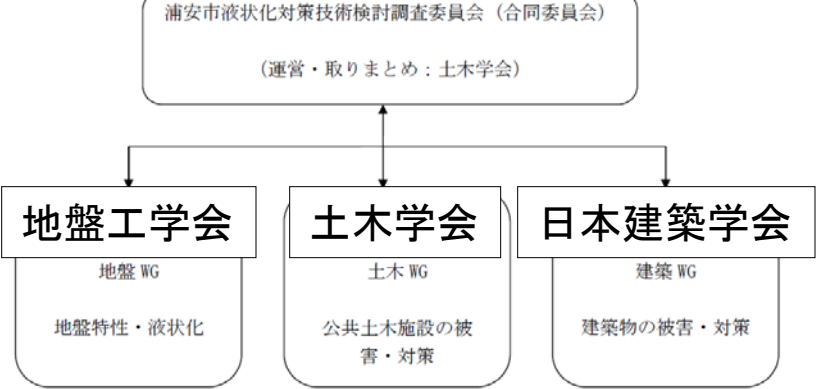
■ 30m幅クラス建物



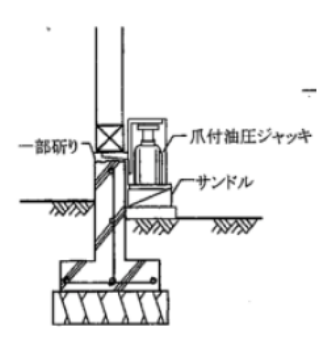
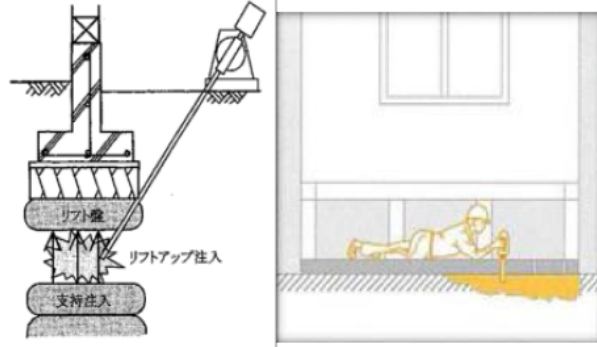
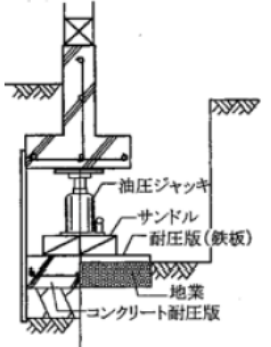
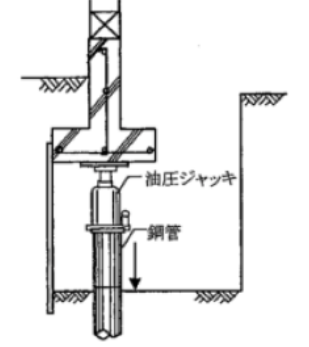
■ 50m幅クラス建物



浦安市液状化対策技術検討調査委員会



- ・液状化層下端まで改良しなければ、再液状化と再沈下の可能性がある。
- ・根本的な解決は、難しい。

			
ポイントジャッキ工法	注入工法	耐圧版工法	アンダーピニング工法
200-300	発泡ウレタン系、リフトアップ型、地盤改良型 100-300, 250-700, 300-700	500-700	600-1,000万円
基礎上から嵩上げ	基礎下から嵩上げ		

都市再生区画整理事業（市街地液状化対策事業）

事業概要

東日本大震災による地盤の液状化により著しい被害を受けた地域において、再度災害の発生を抑制するため、土地地区画整理事業で行う道路・下水道等の公共施設と隣接宅地等との一体的な液状化対策を推進する。

補助対象

○敷地境界、基準点等の混乱が著しい地域において、地籍整備と液状化対策を合わせて行う土地地区画整理事業に対する支援（被災市街地復興土地地区画整理事業の国費算定対象及び交付対象経費に液状化対策事業計画に基づき実施される事業に要する経費として液状化対策推進工事費を追加）

補助要件

- ①液状化対策事業計画の区域内で行うもの※
- ②被災市街地復興土地地区画整理事業の要件に合致するもの
- ③公共施設と宅地との一体的な液状化対策が行われていると認められるもの※

※「都市防災推進事業(市街地液状化対策事業)」の項参照

交付団体

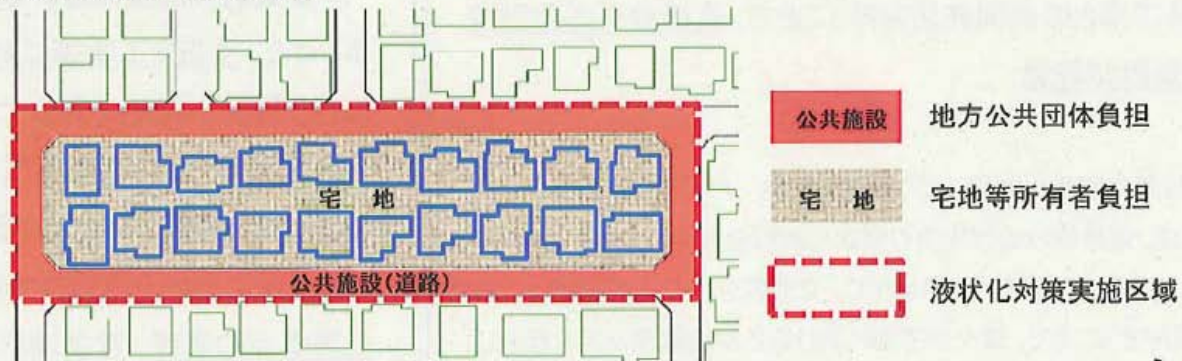
都道府県・市町村

事業実施主体

都道府県、市町村
又は土地地区画整理組合等

補助率

国:1/2,地方公共団体:1/2



公共施設と宅地との一体的な液状化対策の費用負担イメージ
ただし、民間宅地内において実施する公共施設の液状化対策費については公費で負担

地盤の液状化判定方法

- ・液状化が引き起こす問題: 支持力の喪失、沈下、杭の変形増大
- ・検討に必要な定数: N値、粒度、地下水位、地震外力

■ 検討方法

外力

地震のマグニチュード
地表面加速度

抵抗

N値
細粒分含有率

地震外力Rの設定

液状化抵抗Lの推定

$$FL = \frac{L}{R}$$

FL < 1 FL > 1

液状化可能性あり

液状化可能性なし

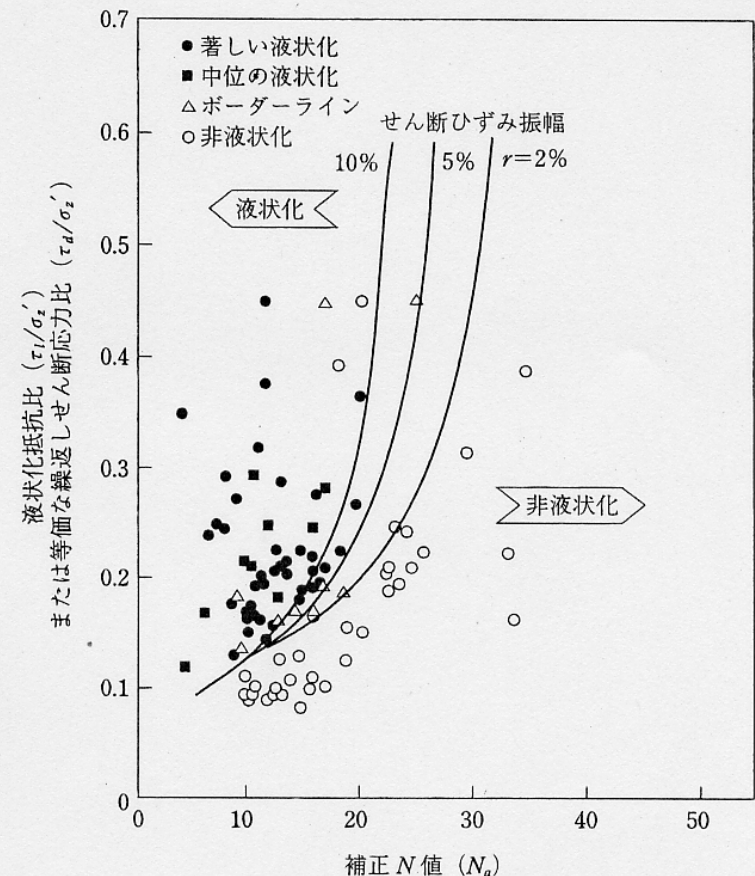
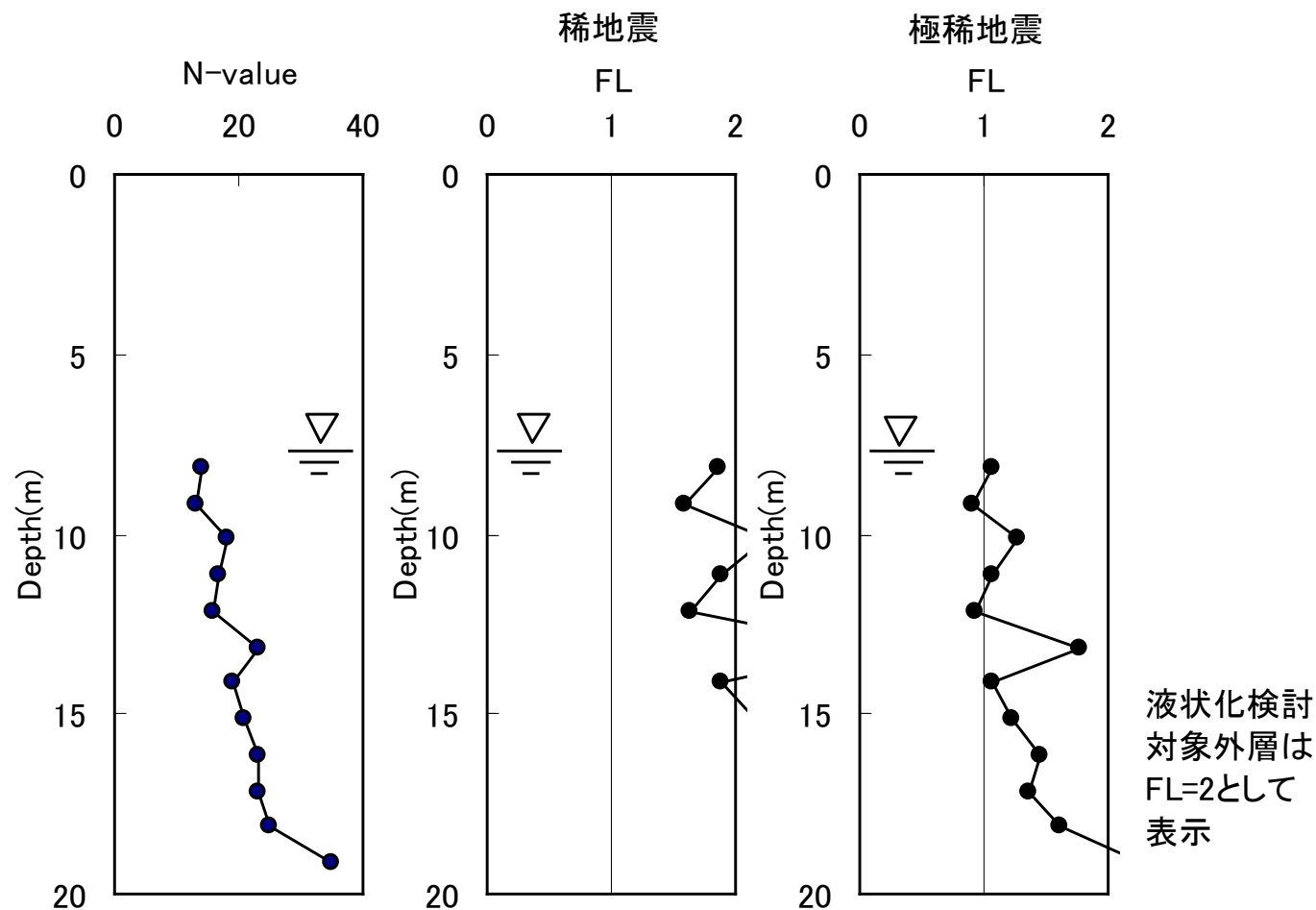


図 4.5.1 補正 N 値と液状化抵抗、動的せん断ひずみの関係^{4, 5, 3)}

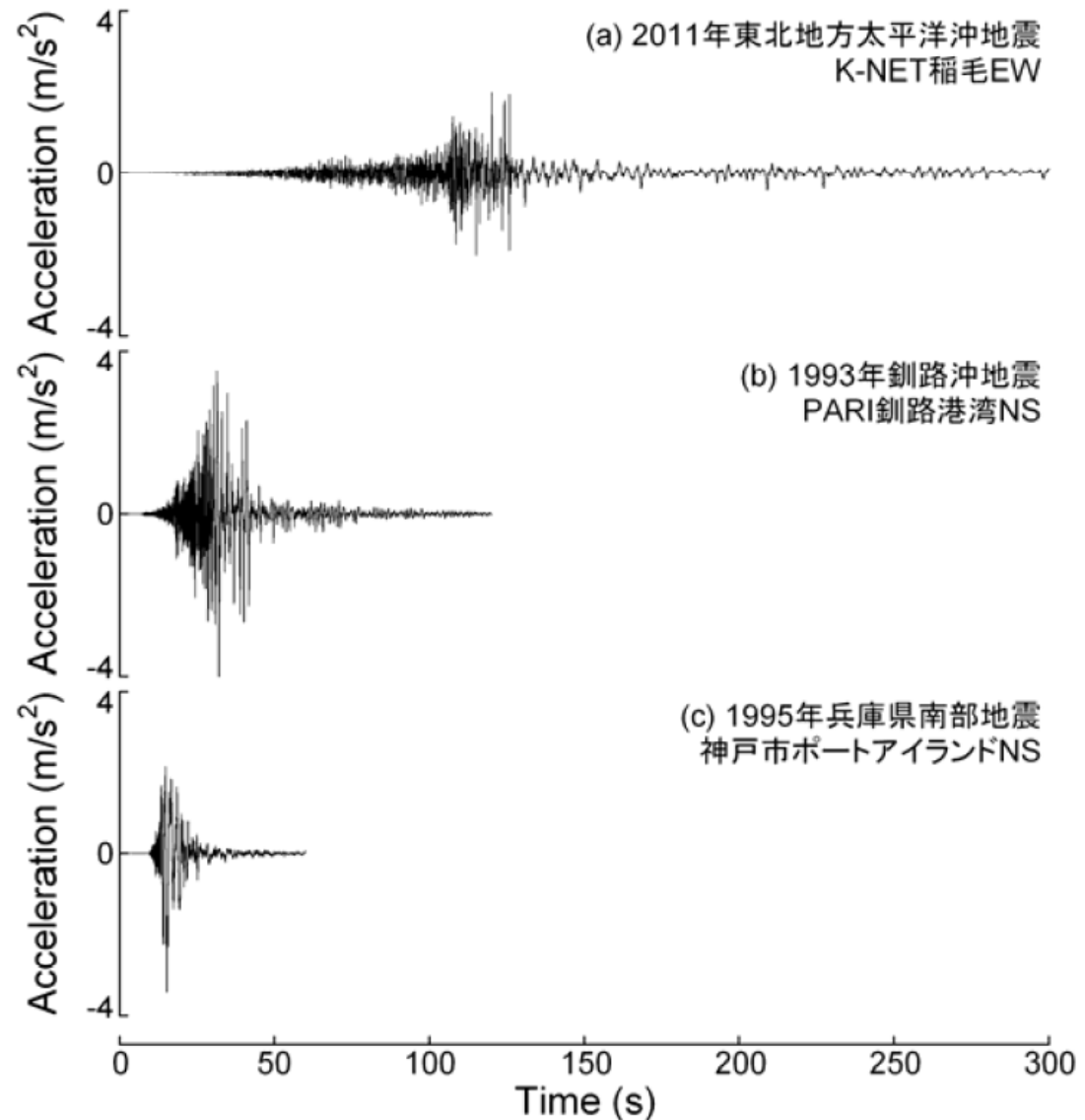


稀地震(50年期待値)－液状化しない

極稀地震(500年期待値)－一部液状化の可能性あり

その1

- ・ 浦安市では最大加速度 $150 \sim 200 \text{ cm/s}^2$ 、最大速度 30 cm/s 程度の地震動でも長い継続時間によって液状化発生した。
- ・ 130秒後液状化現象が発生
- ・ 発生に至るまでのに要した時間が他に比べ格段に長い。



その2(防犯カメラの記録から)

- ・ 本震時 10数分間にわたって液状化が発生。本震後29分後の余震時にも液状化が発生。本震時に比べ程度や範囲が拡大している。

平成23年(2011年)3月11日				
時間	地震	確認された現象		画像
		クラック	噴水・噴砂	
14:45				
14:48	本震 揺れ始め			①
14:49				
14:50				
14:52	揺れ収束		波動あり	②
14:54				
14:55				
15:00				③
15:05	15:05		沈静化	
15:10				
15:15				
15:16	余震 揺れ始め			④
15:17			波動あり	
15:20			活発	
15:25			場所によって徐々に沈静化	⑤
15:30			沈静化	

引用文献： 入船中学校及び日の出中学校 防犯カメラの画像（右画像は入船中学校）



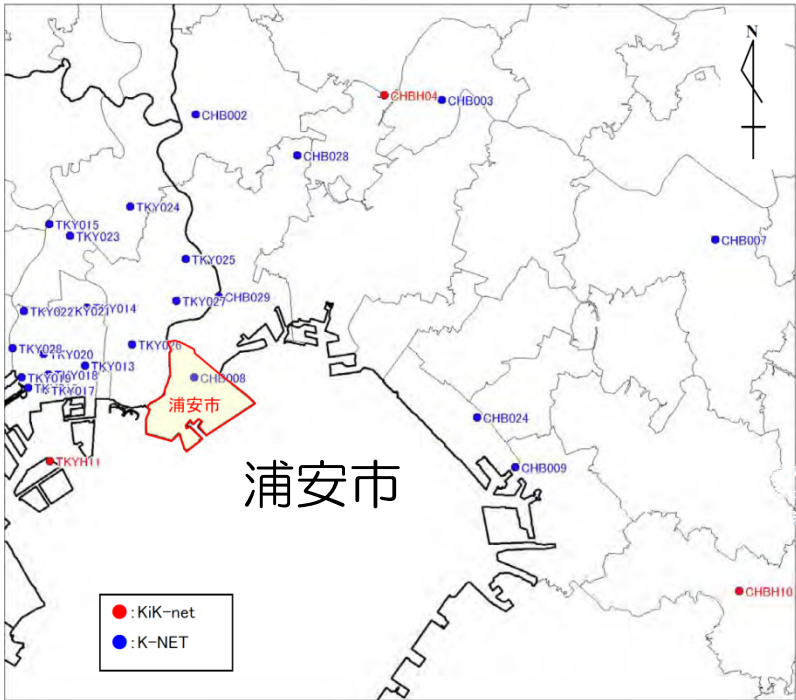
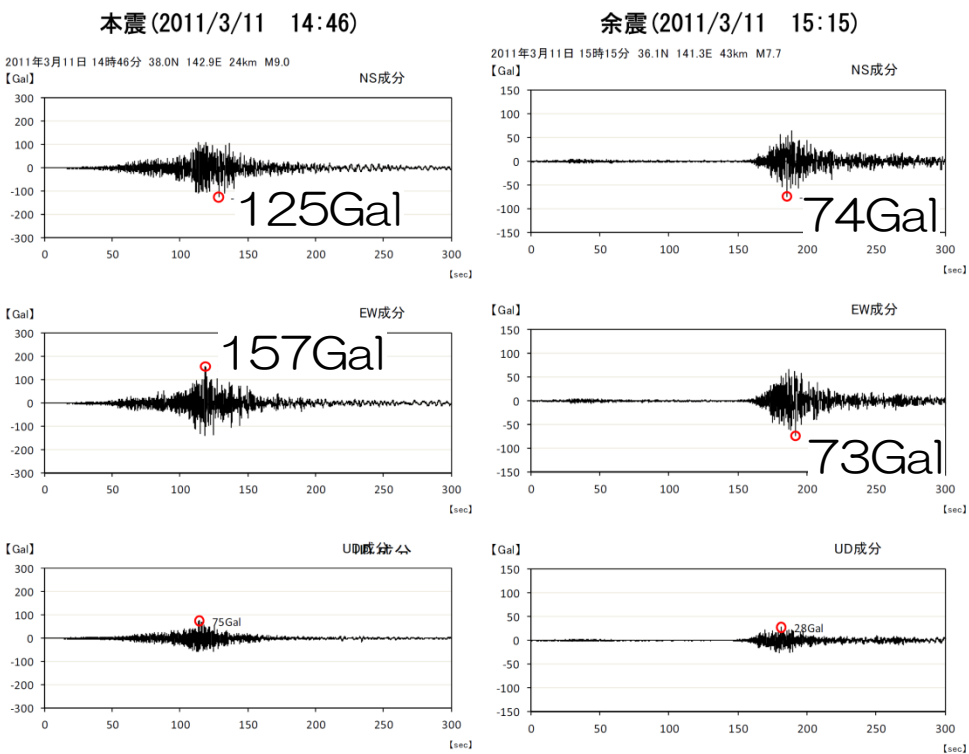


図-1 浦安市周辺における K-NET、KiK-net 観測地点の位置



課題

余震をも含めた継続時間や繰り返し回数を、液状化判定にどのように反映するか

- 液状化のメカニズム、被害事例の紹介
 - 過去の地震被害と東北地方太平洋沖地震の被害
- 3.11 東北地方太平洋沖地震を受けた問題点
 - 液状化予測地図の精度向上
 - 既存建物に対する液状化対策工法の紹介
 - 東北地方太平洋沖地震の液状化現象の特徴
 - KeyWord 『継続時間』 『繰り返し回数』
- 浦安市の取り組み