

東日本大震災における液状化被害と教訓

1. 液状化発生範囲と被害の概況
2. 液状化発生地区の地盤状況
3. 本震の継続時間および余震が与えた影響
4. 戸建て住宅の被害の特徴
5. 液状化した戸建て住宅の復旧の現状と対策方法
6. 噴砂と沈下量の特徴
7. 液状化した地盤の揺動
8. 下水道管渠・マンホールの被害の特徴
9. 杭基礎のマンションの被害の特徴
10. ニュージーランドクライストチャーチの再液状事例
11. 日本における液状化からの街の復興

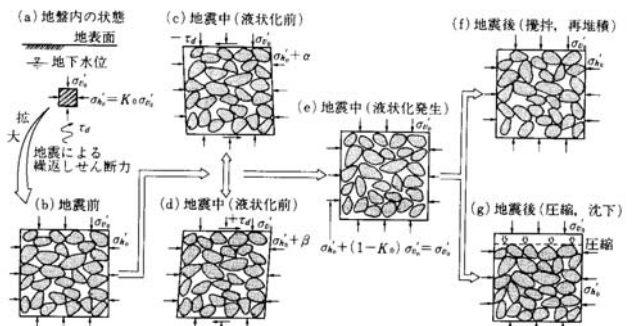
東京電機大学理工学部 安田進

1. 液状化発生範囲と被害の概況

地震の翌日の浦安の状況



液状化が発生するメカニズムの模式図



液状化が発生しやすい地盤と地震動の条件

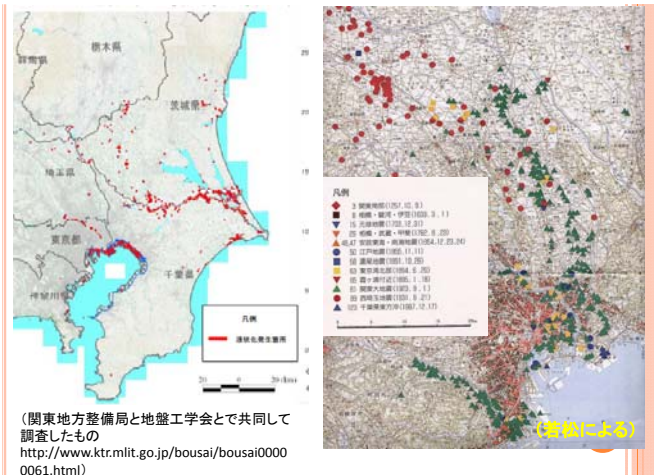
地盤の条件: ①砂質土が、②緩く堆積し、③地下水が浅い地盤（地下水位以下しか液状化しない）

地震動の条件: 地震動が大（気象庁震度階で5弱程度以上）



注:

1. この範囲内にも地盤改良を施したりして、液状化していない区域も含まれる。
2. 震央から最も近い液状化地点: 南房総市池之内、 $\Delta=440\text{km}$ (距離は若松による)



(関東地方整備局と地盤工学会とで共同して調査したもの
<http://www.ktr.mlit.go.jp/bousai/bousai00000061.html>)

(若松による)



お台場



辰巳



新木場



新木場



浦安市今川



浦安市入船



浦安市日の出



浦安市入船

40 1000



市川市塩浜



船橋市日の出



船橋市栄町



船橋市日の出



習志野市香澄



千葉市美浜区磯辺



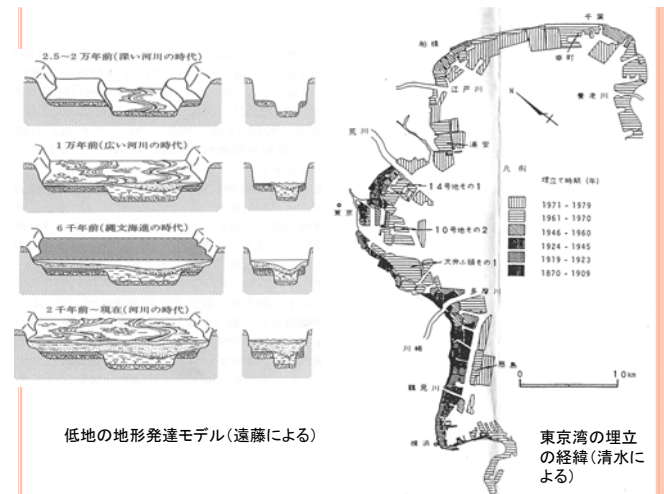
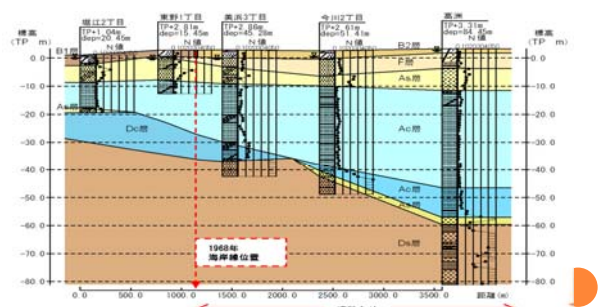
千葉市稲毛区稲毛海岸



千葉市美浜区磯辺

2. 液状化発生地区の地盤状況

ボーリングデータは千葉県地質環境インフォメーションバンクによる。断面図描画ソフトは中央開発(株)のものを使用。

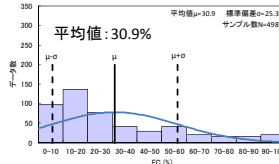
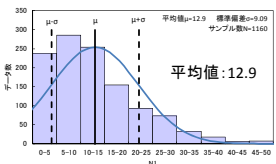
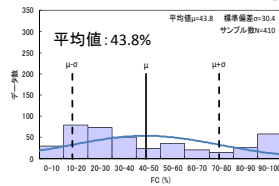
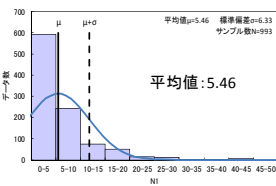


浚渫土層

沖積砂質土層

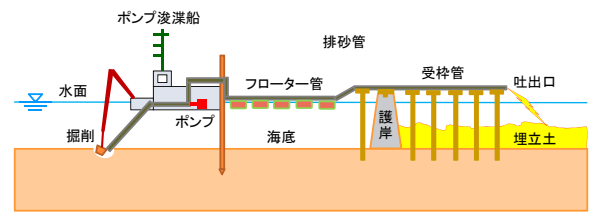
N1値

細粒分含有率 $F_c(\%)$

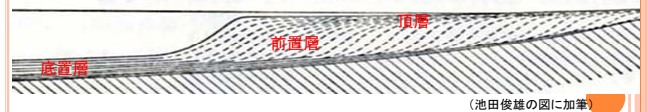


$N1=170N/(\sigma_v'+70)$ ただし、 σ_v' :有効上載圧(kN/m²) (浦安市による)

浚渫および埋立方法



三角州の構造



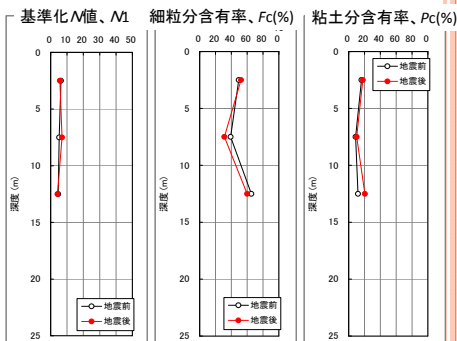
(池田俊雄の図に加筆)

地震前後での
物性値の比較
(浚渫土)

浚渫土は細かい土
粒子を多く含む

震災から半年後の
調査では地震前と
同程度のN値

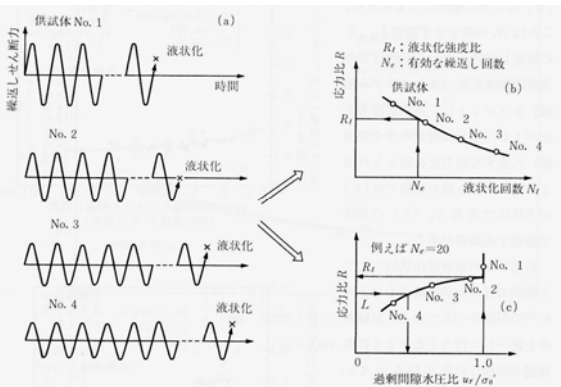
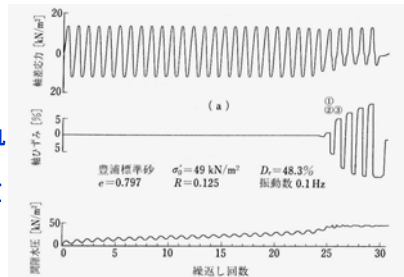
(浦安市による)



深度 (m)	平均深度 (m)	地震前			地震後		
		N1	Fc (%)	Cc (%)	N1	Fc (%)	Cc (%)
0 ~ 5	2.5	6.28	49.36	16.23	5.69	52.21	17.87
5 ~ 10	7.5	5.21	39.10	8.84	6.98	31.14	10.11
10 ~ 15	12.5	4.59	65.28	11.78	4.16	59.98	20.53
15 ~ 20	17.5						
20 ~ 25	22.5						

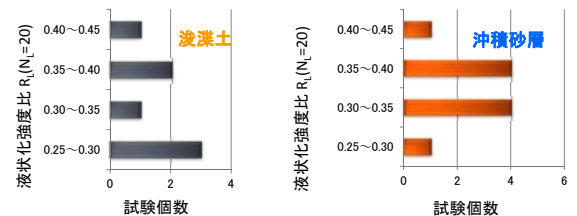
ある深さの土の液状化
強度を試験する方法

- ① サンプラーを用いた不攪乱
試料採取
- ② 室内液状化試験(繰返し
三軸試験や繰返しねじり
せん断試験にて)



繰返しせん断力の振幅が小さくても、多くの回数の繰返しせん断力を与えると液状化する。

液状化試験(繰返し三軸試験)から求めた浚渫土と沖積砂層の
液状化強度の比較



(試験結果は浦安市による)



浚渫土でサンプリングした試料の状況例

前面

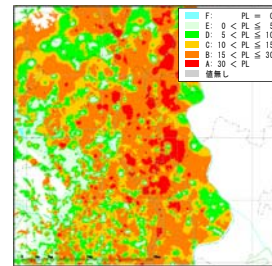
背面



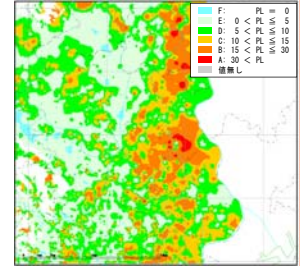
非常に不均質



大きな貝殻も含む



(a) 道路橋示方書で推定した P_L



(b) 東京ガスの方法で推定した P_L

$$R_L = 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7} \quad (N_a < 14)$$

$$N_a = c_1 N_1 + c_2$$

$$N_1 = \frac{170 N}{\sigma_v' + 70}$$

道路橋の式を修正したもの

$$N_a = N_1 + \Delta N$$

$$\Delta N = 0 (F_c < 8\%),$$

$$20.769 \times \log_{10}(F_c) - 18 (8\% \leq F_c < 40\%),$$

$$15.27 (F_c \geq 40\%)$$

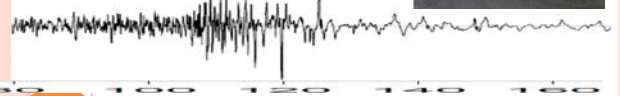
3. 本震の継続時間および余震が与えた影響



K-NETによる本震の記録

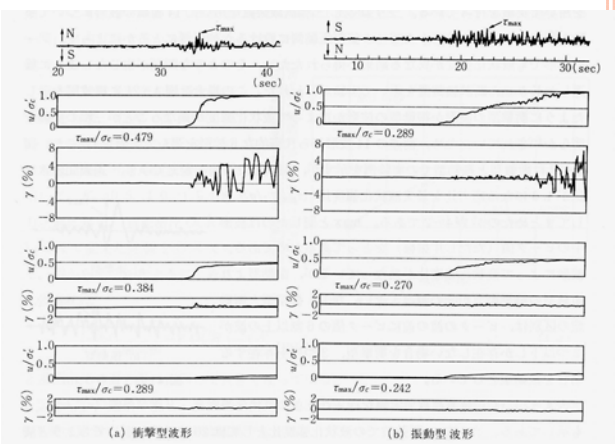
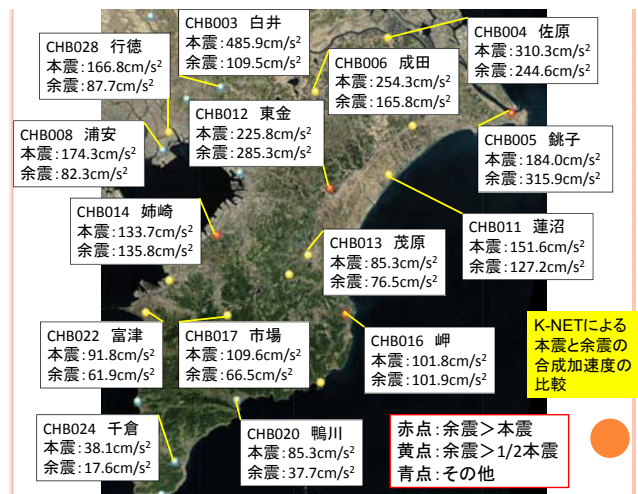
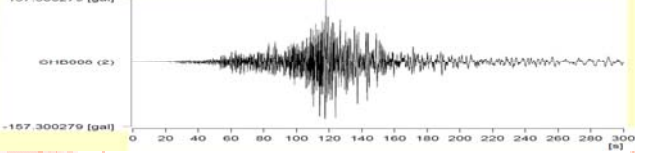
液状化が発生した稲毛の波形

CHB024(稲毛)

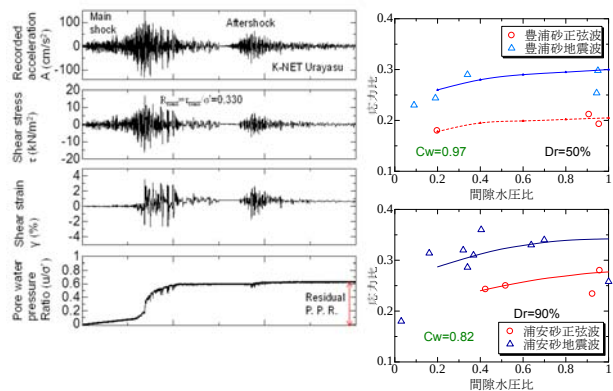


液状化が発生しなかった浦安の波形

浦安



繰返しねじりせん断試験



浦安において本震直後から29分後の余震まで連蔵して撮影された写真



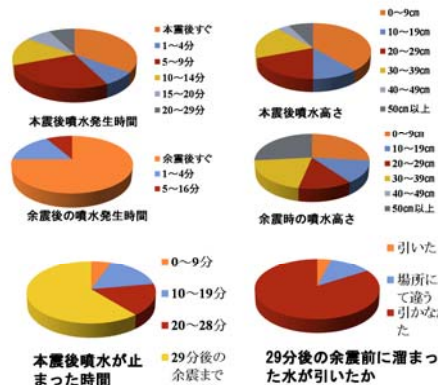
ここで揺れ始めたのは14:47

(小川勝徳氏撮影, 小川氏より借用)

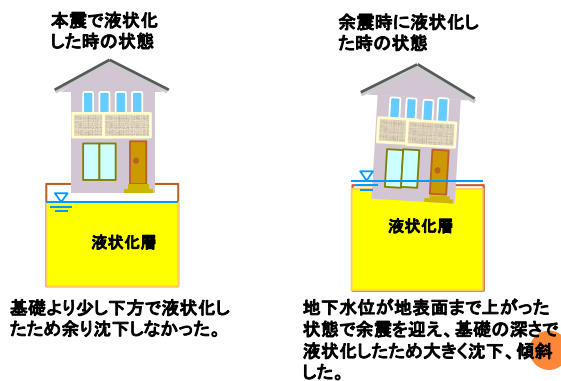


ここで余震で揺れ始めたのは15:16

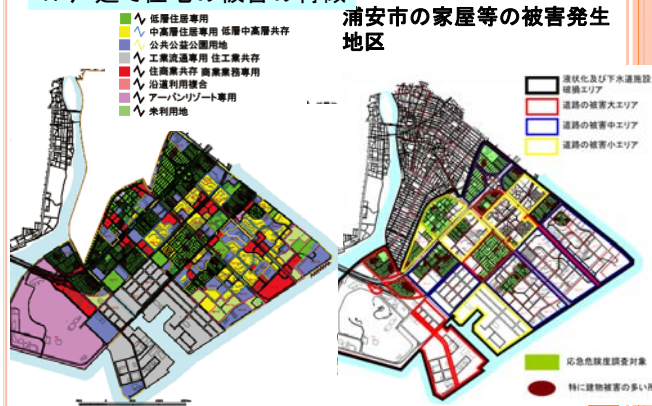
浦安市入船の住民の方々からのアンケート



戸建て住宅への影響



4. 戸建て住宅の被害の特徴

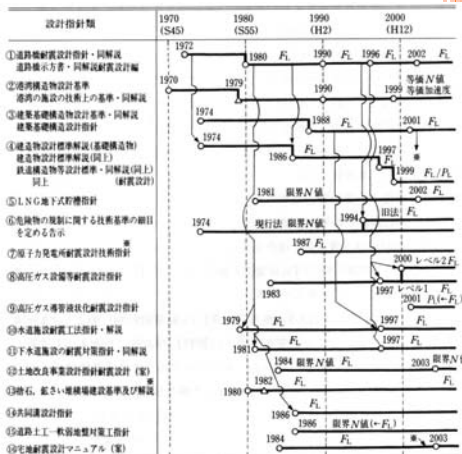


浦安市: 浦安市液状化対策技術検討調査委員会第1回委員会資料, 2011. <http://www.city.urayasu.chiba.jp/menu/11324.html>

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されており、一般に液状化を考慮されずに建てられてきている。

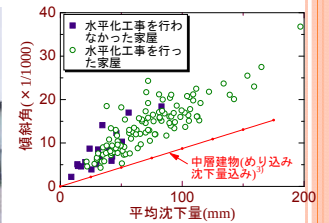
課題：法的整備や木造建築士の試験での考量は？

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)



今回の地震では傾斜角が問題なことが認識され、一歩前進！

2000年鳥取県西部地震による木造家屋の不同沈下と復旧



傾いた家の中では生活できない
・めまい
・はきけ
・頭痛

家をジャッキで持ち上げ、基礎を直した後、家を据え付け
1戸あたり180~600万円

32

沈下に関する被害認定の新判断基準と補助金額
(内閣府, 5月2日)

分類	判定基準 ¹⁾	災害救助法の住宅の応急修理制度	被災者生活再建支援法の基礎支援金+加算支援金
全壊	四隅の基礎や床の傾斜の平均が20分の1以上	52万円 ²⁾	200万円 ³⁾
	床上1mまで沈下(雨天時に床上1m浸水)		
大規模半壊	四隅の基礎や床の傾斜の平均が60分の1以上で20分の1未満	52万円 ²⁾	150万円 ³⁾
	床まで沈下(雨天時に床上浸水)		
半壊	四隅の基礎や床の傾斜の平均が100分の1以上で60分の1未満	52万円 ²⁾	なし ³⁾
	基礎の天端25cmまで沈下(雨天時に床上浸水)		

1)傾斜と沈下のどちらかの基準を満たせば支給される。
2)大規模災害の際に加算される場合がある。新たに住宅を建設・購入される場合には支給されない。
3)表の中金額は補修する場合。新たに住宅を建設・購入する場合は300万円

区分	支払い額	従来	今回の緩和策	
			傾斜角	沈下量
全損	保険金が全額支払われる	3度を超える傾き	1度を超える場合	30cmを超える場合
半損	保険金が50%支払われる		0.5度を超え1度以下	15cmを超え30cm以下

日本損害保険協会6月24日発表。3月11日に遡って適用(読売新聞にしたがって表を作成)

全国

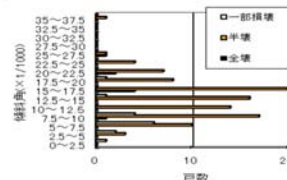
浦安市

従来基準による建物被害認定結果と新基準適用後の結果

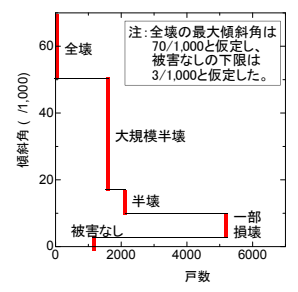
	建物被害認定結果	
	従来基準による建物被害認定結果	新基準適用後の建物被害認定結果
全壊	8	18
大規模半壊	0	1,541
半壊	33	2,121
一部損壊	7,930	5,096
被害なし	1,028	1,105
合計	8,999	9,881

新基準適用については
■平成23年7月15日現在の調査物件数
■5月2日付付被害判定の緩和後の新基準による
■緑色の背景は、第1次調査(1)や2次調査により、今後、緑色および黄色が変更になる可能性がある

(浦安市のホームページによる)

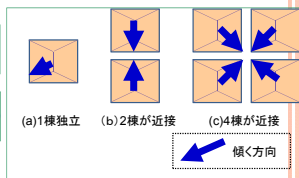
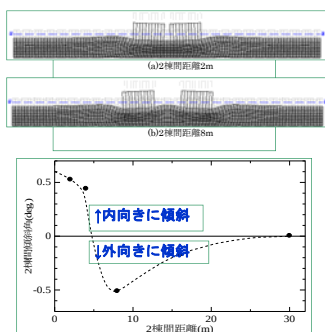


安倍彦名団地における家屋の傾斜角



浦安市の公表データから大まかに推定した傾斜角と戸数の関係

傾斜角への隣接する建物の影響



近接する家屋が傾斜する方向の
パターンの概念図



5. 液状化した戸建て住宅の復旧の現状と対策方法

復旧の現状

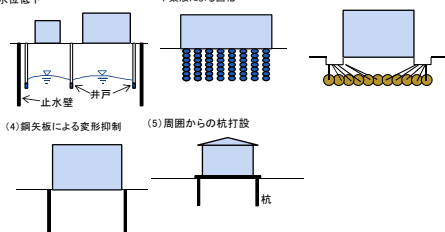
- 被災した家屋の復旧が遅れている。現在4割程度。
- ①復旧の方法がよく分からない。
- ②復旧できる業者に比べて、被災戸数が圧倒的に多い。
- ③余震や将来の地震で再液状化する可能性を有しているため、液状化対策を施すか否か迷っている。
- ほとんどが沈下修正のみ
- この際に建て替える家もあり。
- どんな液状化対策が可能か？



液状化対策に関する技術開発の経緯

- 約50年の間に多種多様な地盤液状化対策工法が開発され、多くの大型構造物に適用
- 都市内の更地に戸建て住宅を建てる場合のように、狭隘な場所に適用可能であると同時に安価である対策工法の開発にはあまり目が向けてこられなかった。
- 既設の構造物に対する対策(補強)技術も最近開発

(1) 井戸や排水溝による地下水位低下 (2) 底版に穴を穿たずからの締固め (3) 周囲からの薬液による固液や薬液による固液



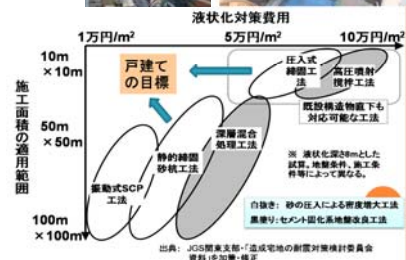
東日本大震災後の液状化対策技術開発

・個々の宅地の液状化対策方法を関係機関で急遽検討、実施。

戸建て住宅用に小型化した碎石締固め・排水工法

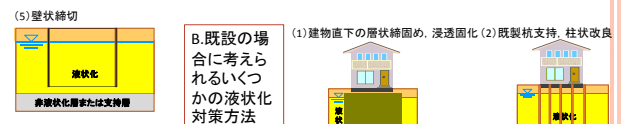
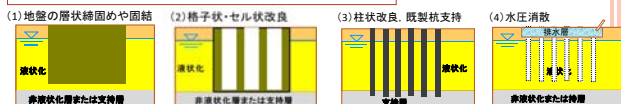


圧入式締固め工法の既設住宅への適用

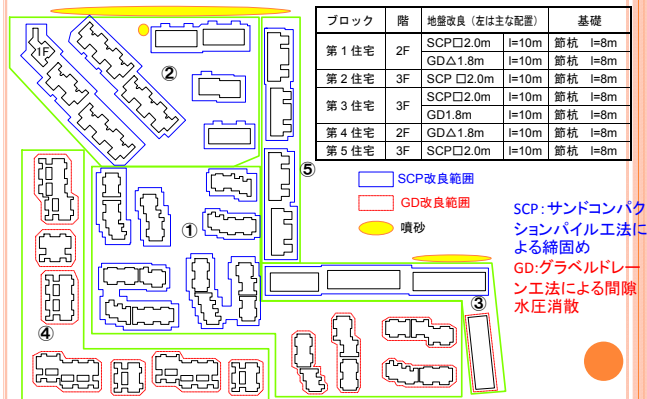


地盤工学会関東支部の委員会で現在検討中の代表的な対策方法

A. 新設の場合に考えられるいくつかの液状化対策方法

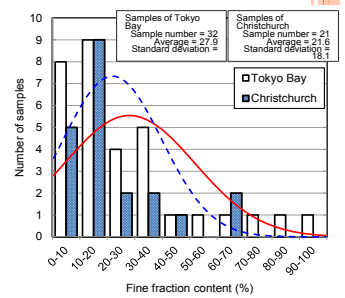
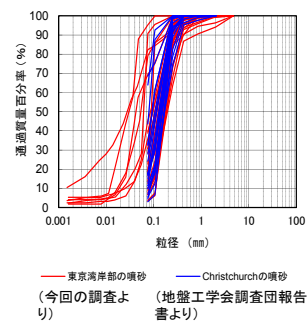


浦安市で予め液状化対策用に地盤改良が施してあった団地における液状化被害の状況





6. 噴砂と沈下量の特徴



噴砂が多かったことと地盤の沈下が大きかった理由として考えられること

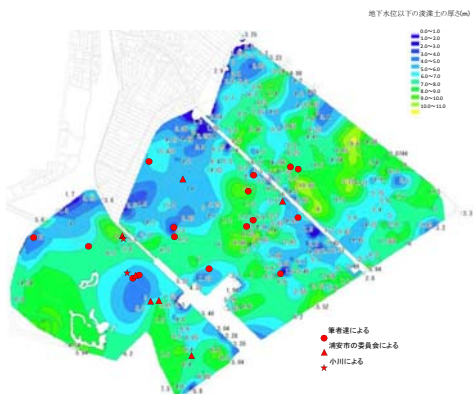
- ①細かい砂(シルト質砂や砂質シルト)が液状化して透水係数が小さく長時間噴水が続き、余震でも噴水が加速して噴砂量増大。
- ②土粒子が細かいと噴水と共に砂が地表に上がってき易い。
- ③地表に上がった多量の噴砂を取り除いたため地盤の沈下量が加算。

7. 液状化した地盤の揺動



浦安市の小川さんの撮影による





考えられる原因:
液状化が発生した後も揺すられ続け、また、液状化した状態で余震を迎えて5秒程度の周期で大きく揺動したのか？



(1) 境界部での水平方向への座屈的な現象



(2) 液状化下面が傾斜した不整形基盤上における水平方向への座屈的な現象

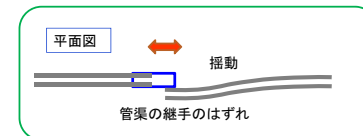
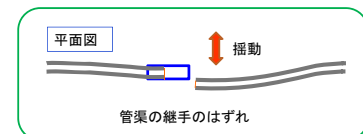
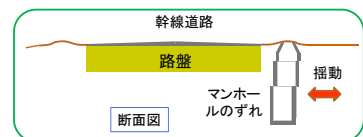
8. 下水道管渠・マンホールの被害の特徴

a) マンホールが浮き上がった率は新潟県中越地震による長岡などの被害に比べて少ない。一方、マンホールの躯体ズレが多く発生し、また、砂が多くはいりこんでいた。
b) 管渠には蛇行やたるみが生じ、継手のはずれが多く発生した。また、本管から宅地内に入る箇所被害が多く発生しているようである。



(図面は浦安市による)

管路被害(要補修箇所)
マンホール浮上
マンホール沈下
マンホール破損・ズレ
マンホール蓋のみ
※浮上・沈下は、破損・ズレ・蓋の異常を含みます。
※破損・ズレは、蓋の異常を含みます。



9. 杭基礎のマンションの被害の特徴

杭基礎の橋梁や中高層ビル、岸壁・護岸の被害はほとんどなかった。→阪神・淡路大震災と液状化による被害の姿が異なる。加速度が小さかったためか？



ただし、段差やライフラインの被害は発生して住民は不便な生活を余儀なくされた。

地盤の沈下にもなう段差による障害



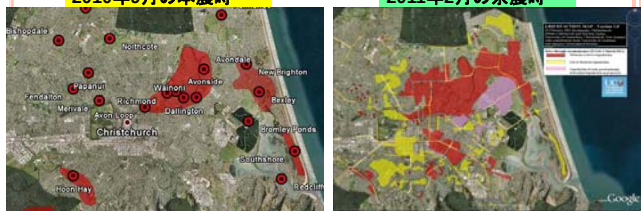
浦安消防署今川支所

10. ニュージーランドのクライストチャーチにおける再液状化事例



2010年9月の本震時

2011年2月の余震時



(Misko Cubrinovskiらによる)

カンタベリー大学と地盤工学会で調査した液状化発生地区

クライストチャーチの液状化発生範囲は2~3倍

7 × 8kmの60%の広い範囲で自然堆積地盤が液状化

クライストチャーチでの同じ家の沈下量の比較



2010年9月の本震時

20cm程度の沈下



2011年2月の余震時

50cm程度の沈下

30cm程度さらに沈下

2011年6月13日の余震による再再液状化時



細野さん撮影

ニュージーランドのクライストチャーチの液状化 Bexleyでの同じ位置での噴砂の厚さの比較

昨年9月の本震時

今年2月の余震時



噴砂の厚さ: 約40cm

噴砂の厚さ: 約50cm

今年6月13日の余震(再再液状化)



細野さん撮影

余震の時の方が地震動が大きく液状化が激しかった

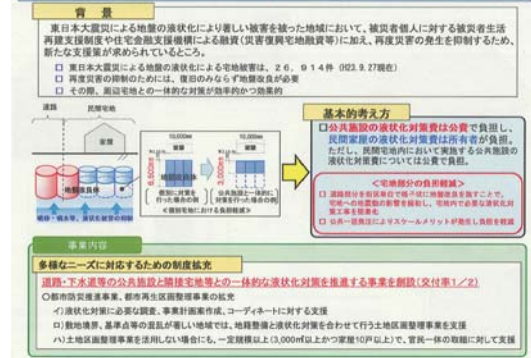
Cubrinovski准教授によると噴砂の最大厚さは、昨年9月: 50cm程度、今年: 70cm程度と東京湾岸より厚かった。





11. 日本における液状化からの街の復興

液状化対策推進事業の創設

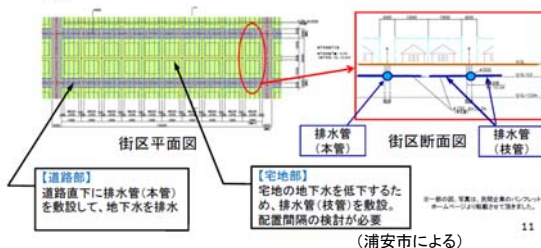


（国土省の資料による）

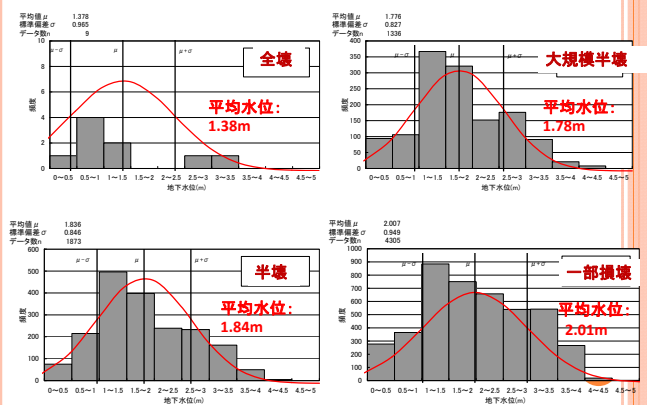
【E案】地下水位低下工法 ①

（概要）

道路直下と宅地地盤内に排水管を敷設して、地下水位を下げることで、地盤の液状化強度を増加させて被害を軽減する工法。地下水位を一定に保つため、ポンプ施設と止水壁が必要な場合がある。



被災程度ごとの地下水位の度数分布



まとめ

- 東北から関東にかけて広い範囲で液状化が発生し、約27000戸の住宅が被害を受けた。
- 東京湾岸では埋立地で激しい液状化が発生し、戸建て住宅やライフライン、道路の被害が多く発生した。
- 東京湾岸の液状化発生および被害には長い継続時間や余震が影響したと考えられる。液状化した後も揺すられたため、歩道の突き上げなどの特異な現象が発生した。
- これまで大型構造物を対象に液状化対策工法が開発されてきたが、今回の地震を契機に戸建て住宅でも適用できるように鋭意努力が行われている。
- 道路・下水などの公共施設と宅地を一体化して液状化対策する「液状化対策推進事業」も現在検討されている。