

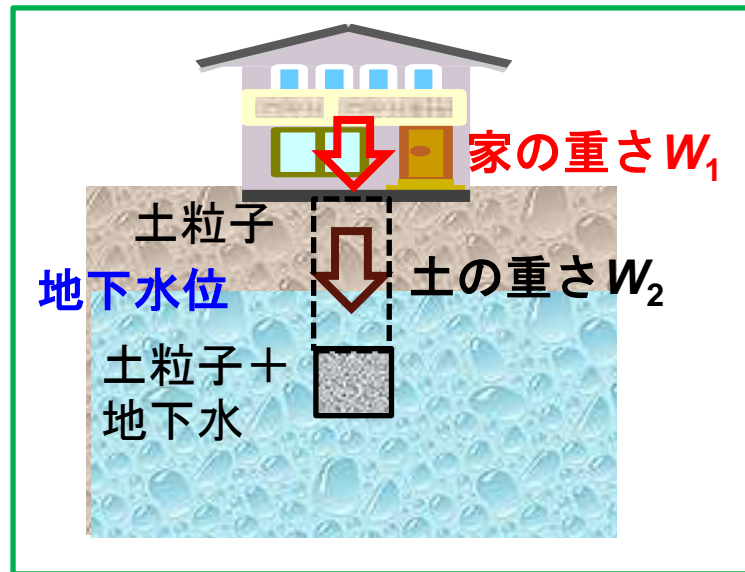
液状化調査・対策の動向

1. 液状化現象および戸建て住宅の被害のメカニズム
2. 戸建て住宅の液状化対策
3. 能登半島地震による液状化被害と対策の現状
4. 液状化ハザードマップの作成とその限界
5. 戸建て住宅の液状化対策を進めるために

東京電機大学 名誉教授 客員教授
安田 進

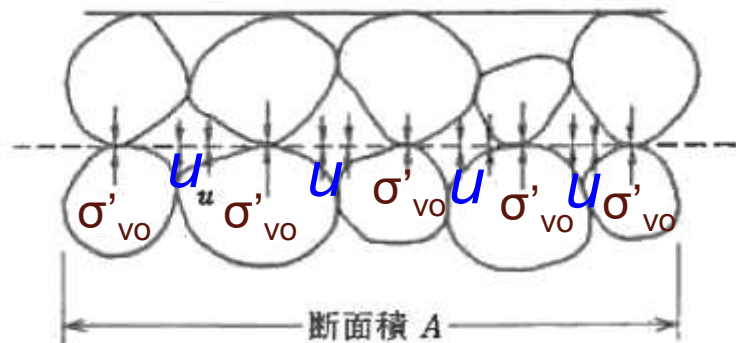
1. 液状化現象および戸建て住宅の被害のメカニズム

地震の揺れにより地盤が液状化するメカニズム

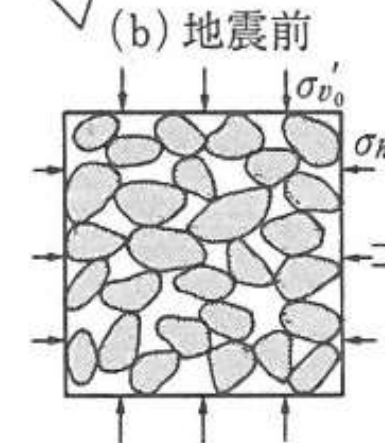
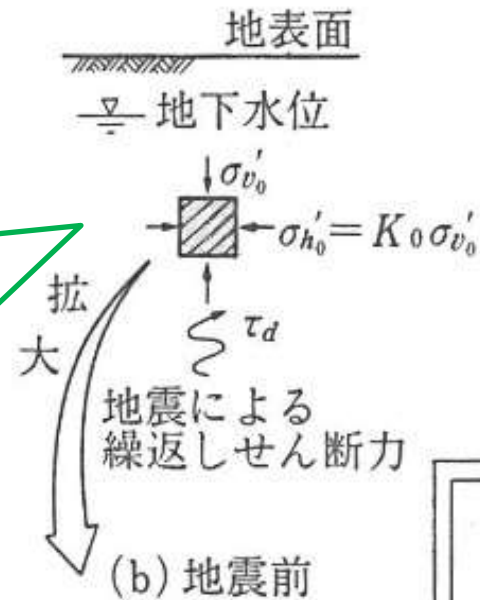


$$W = W_1 + W_2$$

$$W = \sigma'_{v0} \times A + u \times A$$

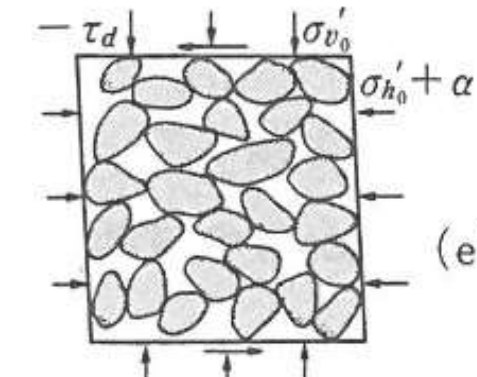


(a) 地盤内の状態

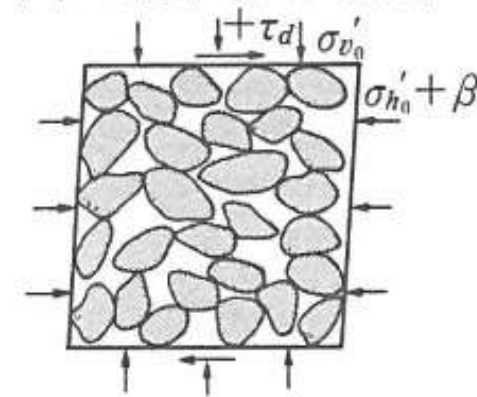


σ'_{v0} は土粒子間力で支え、間隙水圧は静水圧

(c) 地震中 (液状化前)

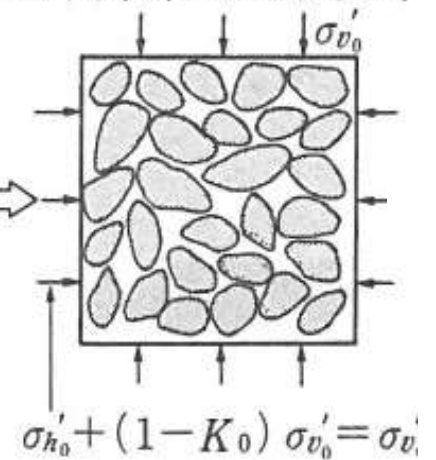


(d) 地震中 (液状化前)



土粒子の噛み合わせが徐々にはずれ、 σ'_{v0} は土粒子間力と間隙水圧で分担

(e) 地震中 (液状化発生)



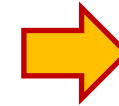
土粒子はバラバラになり σ'_{v0} は間隙水圧だけで支えて過剰になる
→ 地表に砂とともに噴出
→ 圧縮により地盤が沈下

液状化が発生する条件

- ①地下水位以下の、
- ②緩く堆積した、
- ③砂層に、
- ④震度5弱程度以上の地震が襲った場合



地下水位が深いと液状化する層が薄くなったり、深い層が液状化しても地表まで過剰間隙水圧が伝播してこなくて構造物が被害を受け難い。

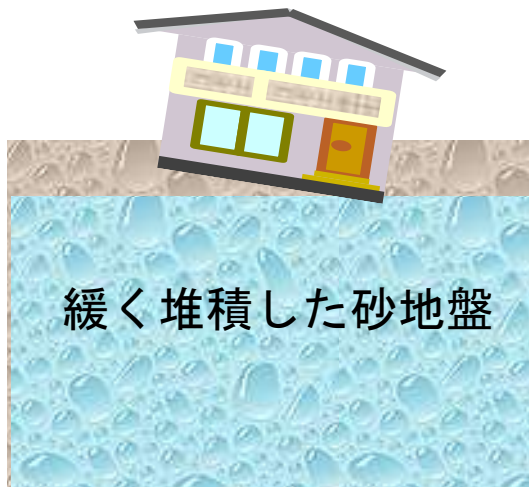


液状化による被害が発生し易い条件

- ①地下水位が浅く、
- ②緩く堆積した、
- ③砂地盤に、
- ④震度5弱程度以上の地震が襲った場合

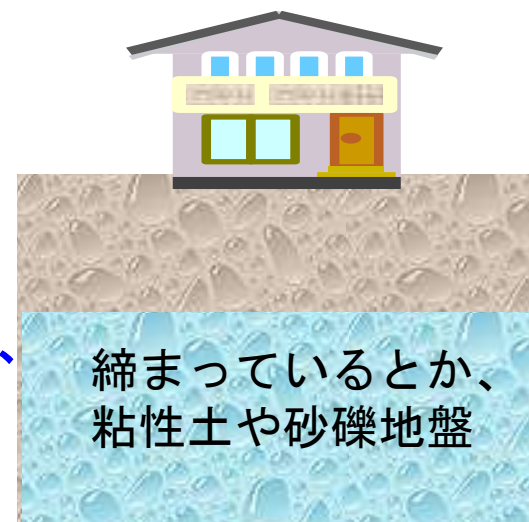
液状化して被害が発生

地下水位が浅く



液状化しないとか、地下水位以下の薄い層が液状化しても被害は発生しない

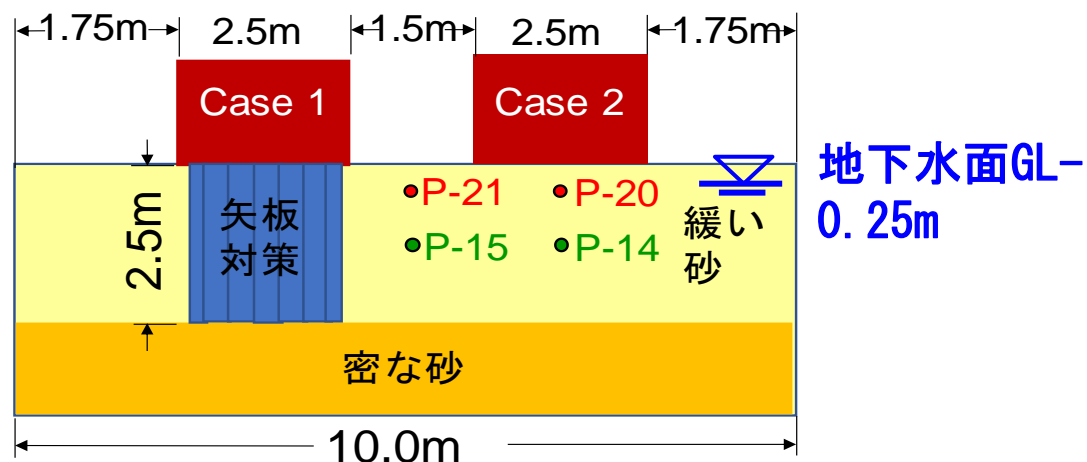
地下水位が深いとか、



模型地盤内の間隙水圧の上昇と噴砂の発生タイミング

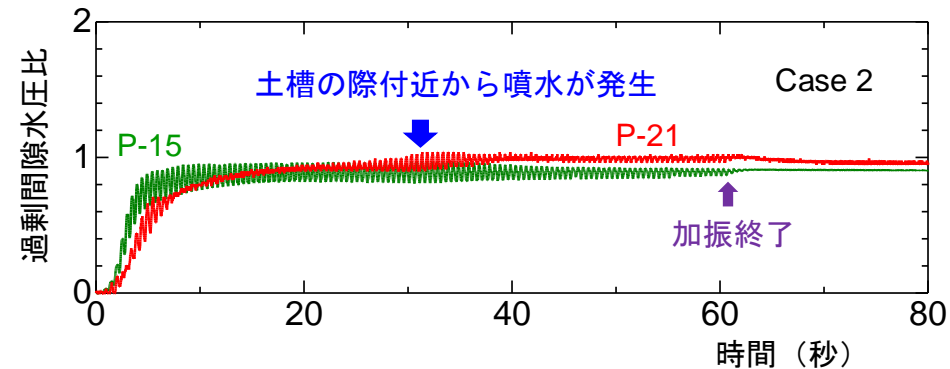
最終めり込み沈下量 = -4.1 cm

最終めり込み沈下量 = 14.1 cm

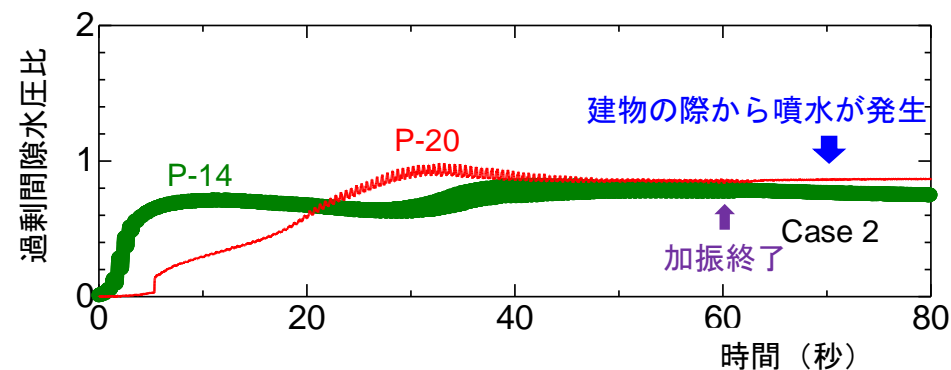


- 加振開始5秒後に建物間と建物直下深部で液状化。
- 30秒には建物直下浅部も液状化。

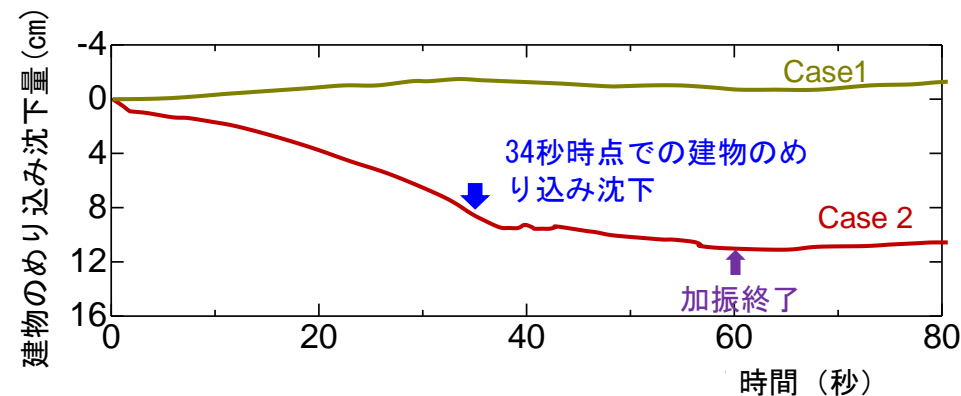
安田進・平出務・金子雅文・三上和久・尾澤知憲：薄鋼矢板を用いた液状化被害軽減工法の開発—1／4スケール振動台実験—、第14回日本地震工学シンポジウム講演集，pp. 540-549，2014.



(1) 建物から離れた地盤での過剰間隙水圧比



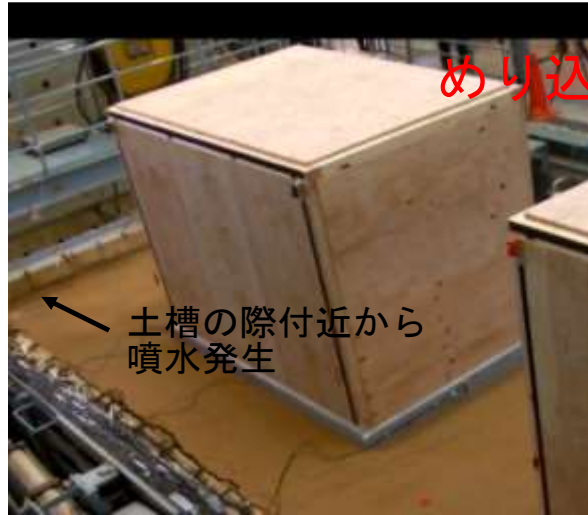
(2) 建物直下の地盤での過剰間隙水圧比



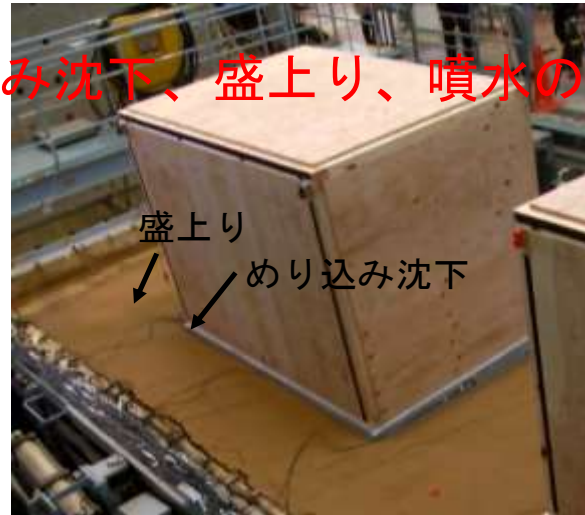
(3) 建物のめり込み沈下量

建物のめり込み沈下と地表面の沈下の時間経過

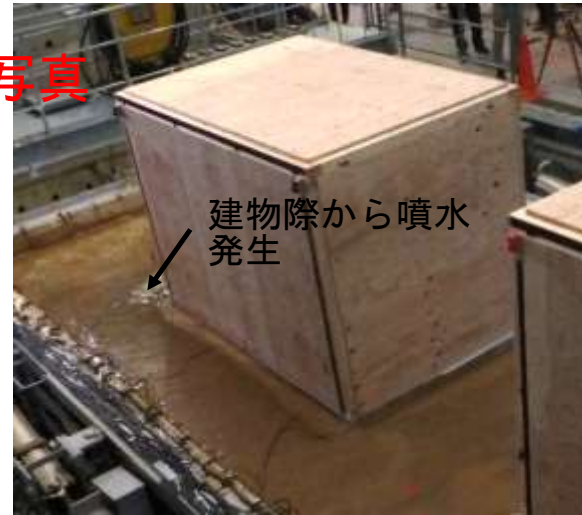
めり込み沈下、盛上り、噴水の写真



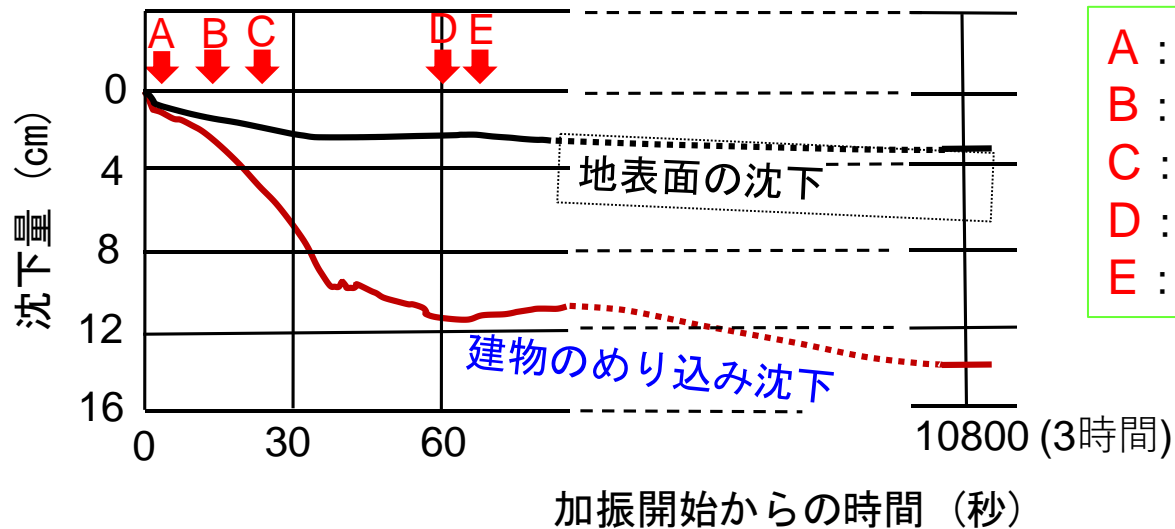
(1) 26秒後に土槽の際付近から噴水発生



(2) 34秒後でのめり込み沈下状況



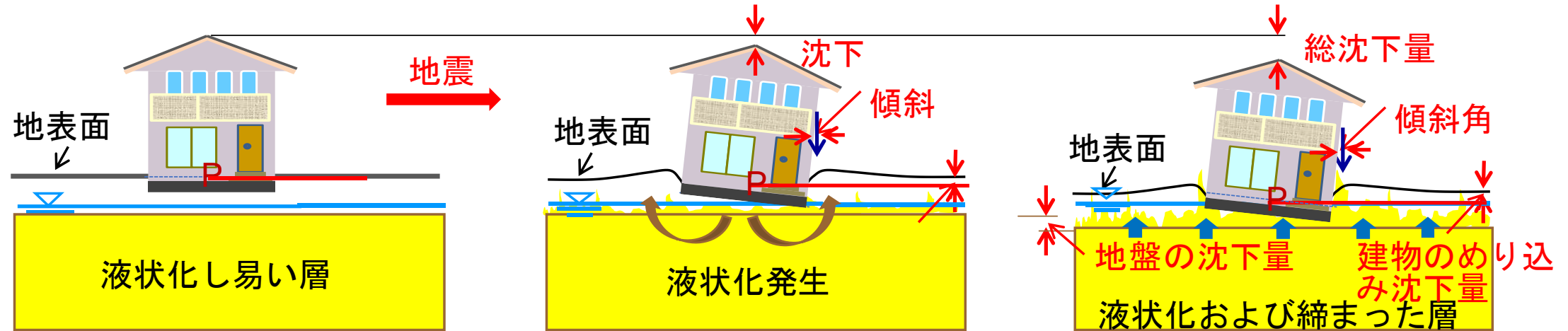
(3) 70秒後に建物際から噴水発生



- A : 5秒後あたりから建物の地盤へのめり込み沈下開始。
- B : 10秒あたりでめり込み沈下加速。
- C : 26秒あたりで土槽の際から噴水発生開始。
- D : 加振終了
- E : 建物際から噴水発生開始。

- 地表面の最終沈下量は約3cm。
- 建物の地盤へのめり込み最終沈下量は約14cm。

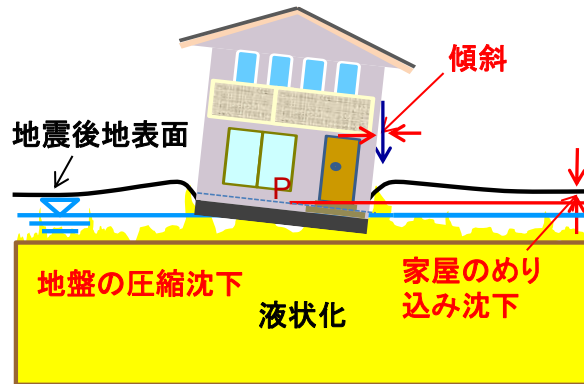
振動台実験や地震時の動画などから考察される液状化による建物のめり込み沈下や傾斜発生のメカニズム



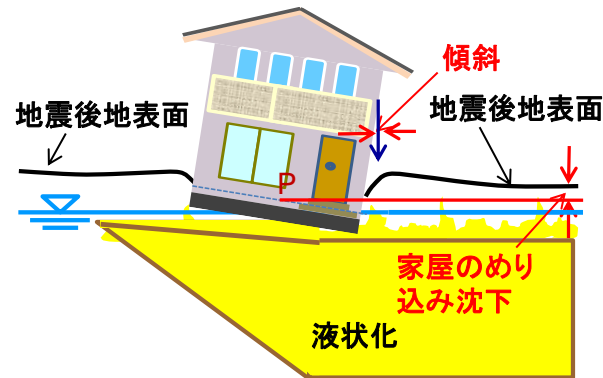
- 噴水や噴砂が発生してできた穴に落ち込んで建物がめり込み沈下するのではなく、液状化によって軟化（せん断剛性が急減）した地盤に建物の荷重によりめり込んで沈下する。その際建物下の地盤を横方向に押しのけるため、建物周囲の地表面が少し盛り上がる。
- 液状化層からの間隙水の絞りだしおよびそれに伴う体積圧縮はゆっくりと生じるため、地表面の沈下もゆっくり生じる。

液状化層の条件と戸建て住宅のめり込み沈下の関係

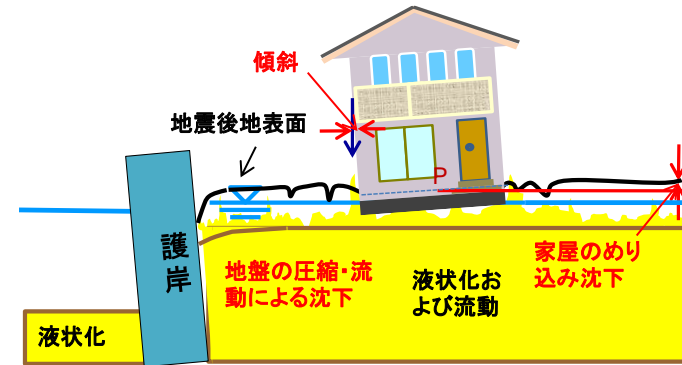
タイプA-1(地下水位浅い)



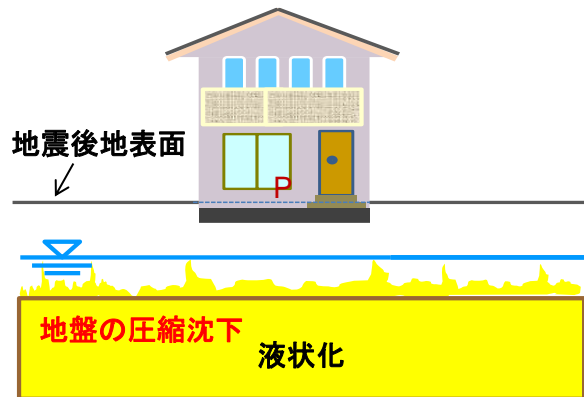
タイプB-1(地下水位浅い)



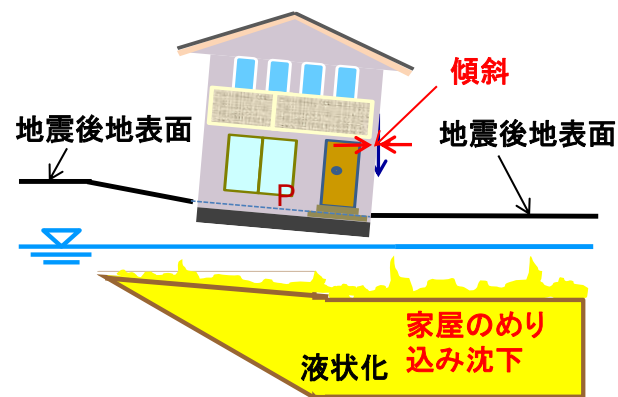
タイプC-1(護岸背後地盤の側方流動)



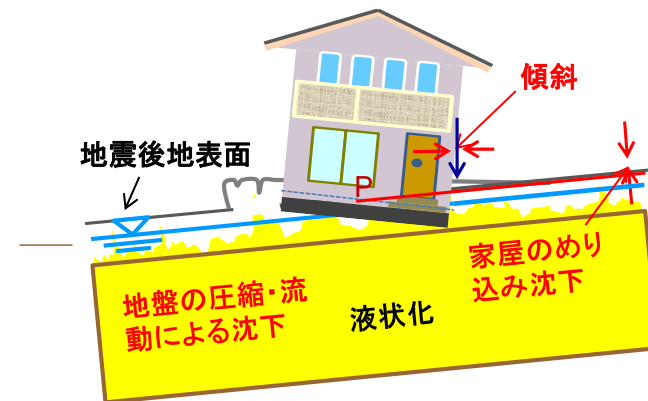
タイプA-2(地下水位深い)



タイプB-2(地下水位深い)

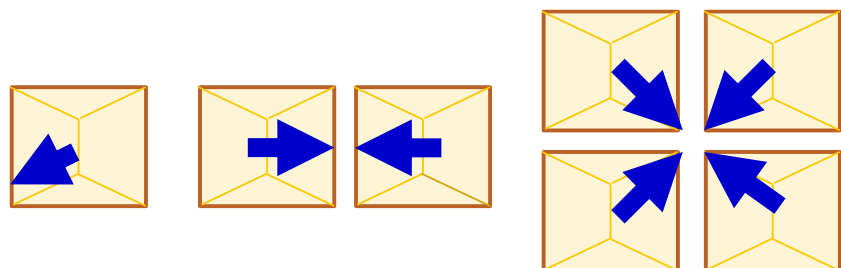


タイプC-2(緩やかな傾斜地盤の流動)



建物の傾斜に与える隣接建物の影響

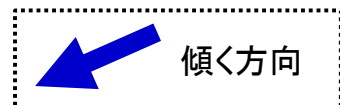
近接している住宅同士が傾斜に与えた影響の事例



(a)1棟独立

(b)2棟が近接

(c)4棟が近接



- 2棟が近接しているとお互いに内側に傾斜。
- 4棟が近接しているとき中心に向かって傾斜。

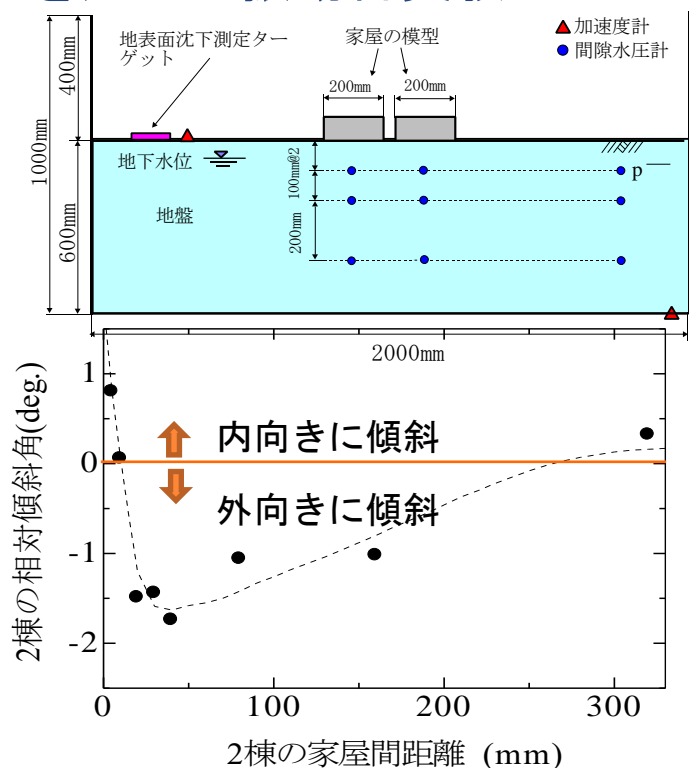


4棟の傾斜例
(浦安)

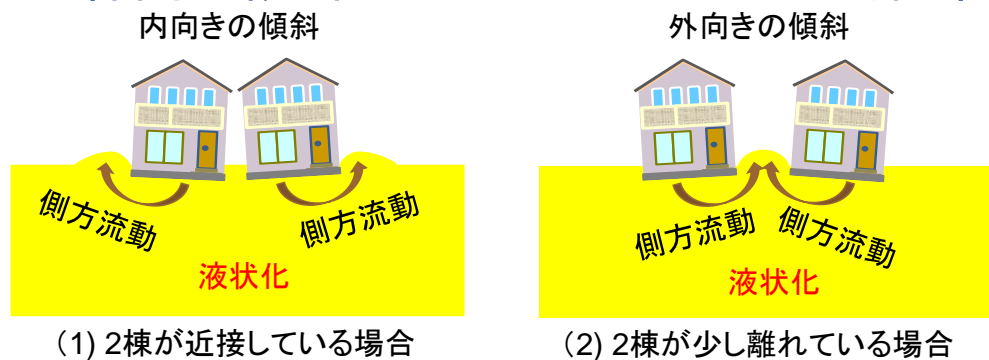


近接する建物の影響で傾斜するメカニズムに関する実験と解析

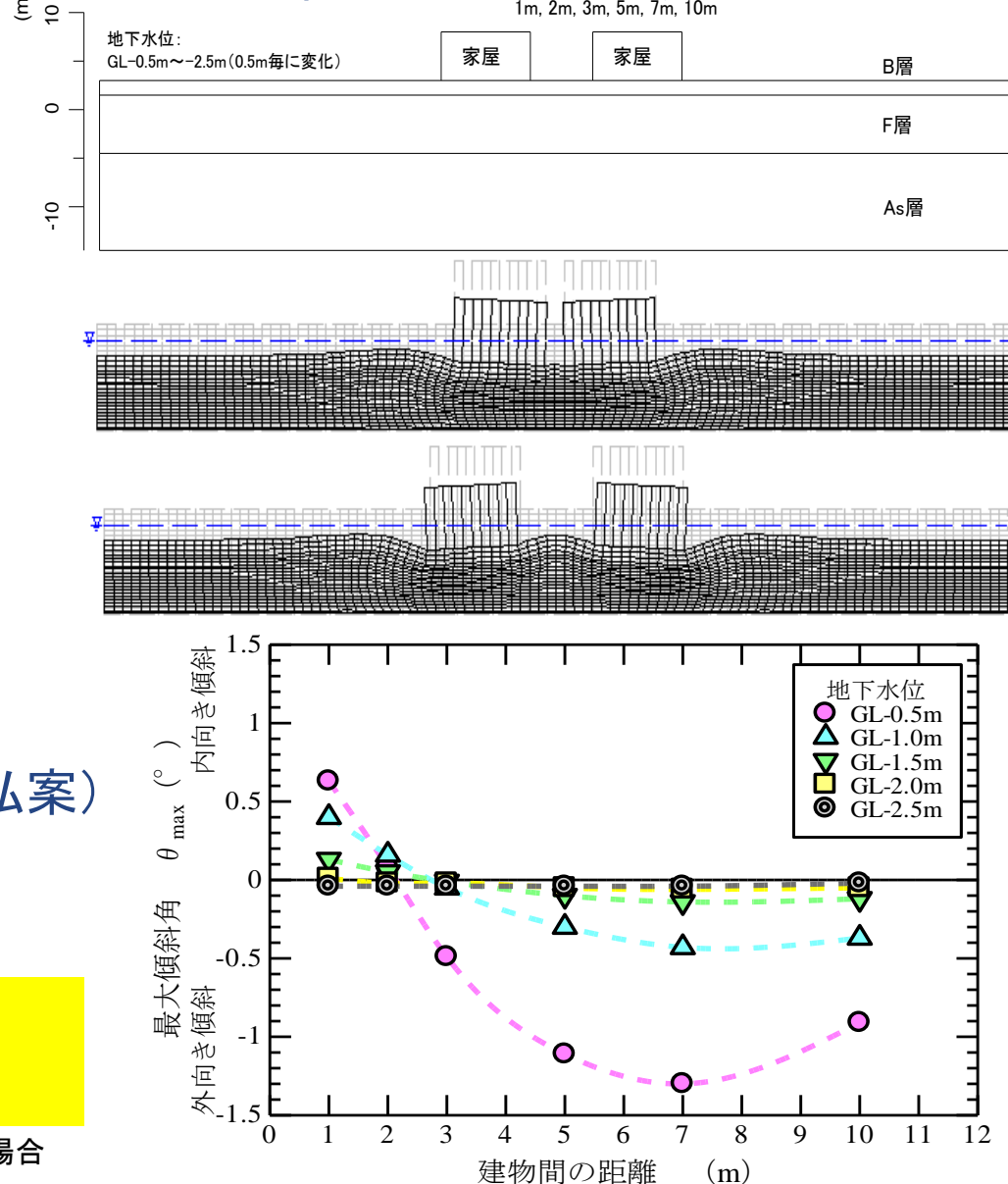
模型を用いた振動台実験



2棟間で傾斜が生じるメカニズム (私案)



地下水位の影響に関する残留変形解析 “ALID” での解析例

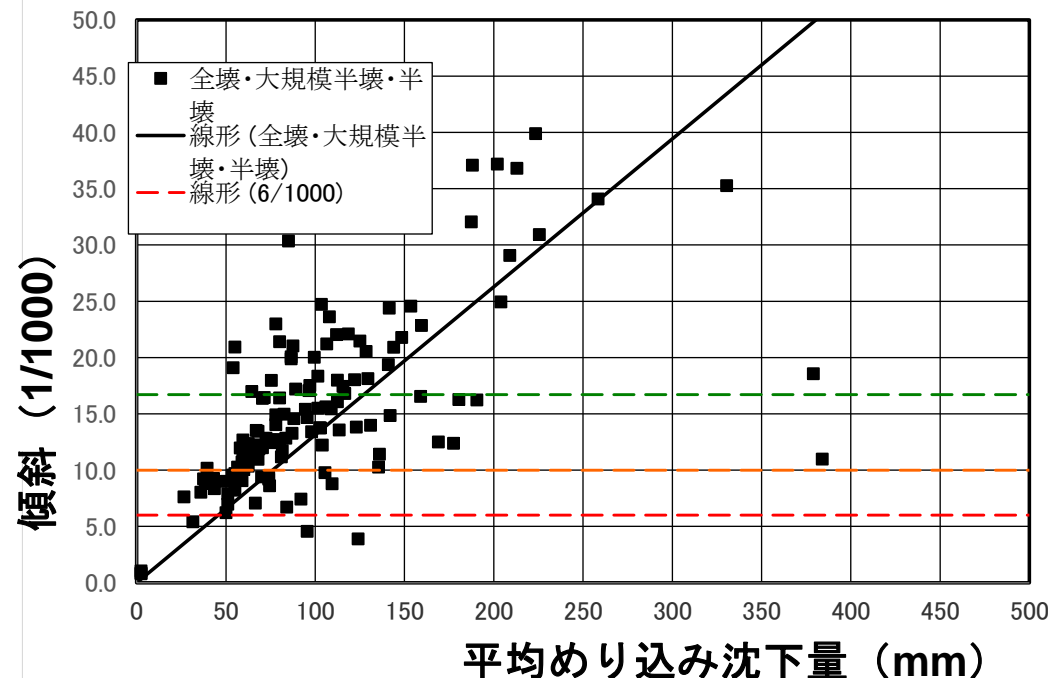


➤ 近接していると内向きの傾きが大きい。

➤ 地下水位が深くなると傾かなくなる。

安田進・石川敬祐：
地下水位低下が戸建て住宅の液状化対策に与える効果，日本地震工学会論文集，第15巻，第7号（特集号），pp.205－219，2015.

東日本大震災で被災した都市における平均めり込み沈下量と傾斜角の関係の調査結果



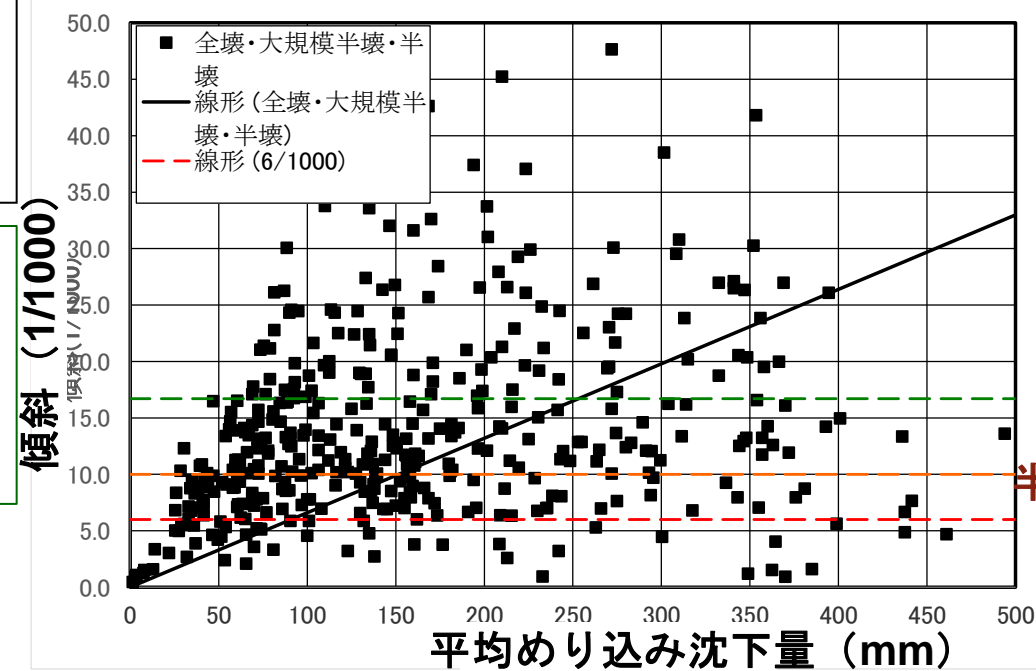
千葉市と習志野市(住宅が密集している地区)のデータのみ

半壊

めり込み沈下量が10cm程度より大きくなると半壊以上の被害

(「造成宅地の耐震対策に関する研究委員会報告書—液状化から戸建て住宅を守るための手引き—(公社)地盤工学会関東支部」より)

橋本隆雄・安田進・山口亮：東北地方太平洋沖地震による液状化被災地区における住宅の傾斜とめり込み沈下量の関係、第47回地盤工学研究発表, pp.1487-1488, 2012.



神栖市と潮来市(住宅があまり密集していない地区)のデータのみ

半壊

東日本大震災後に出された液状化による被害の新判断基準（内閣府，2011年5月2日）

分類	判定基準
全壊	四隅の基礎や床の傾斜の平均が20分の1以上
	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
	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
	基礎の天端25cmまで沈下（雨天時に床下浸水）



浦安市における認定結果の推移

	建物被害認定調査	
	従来の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	10
大規模半壊	0	1,509
半壊	33	2,102
一部損壊	7,930	4,848
被害なし	1,028	963
合計	8,999	9,432

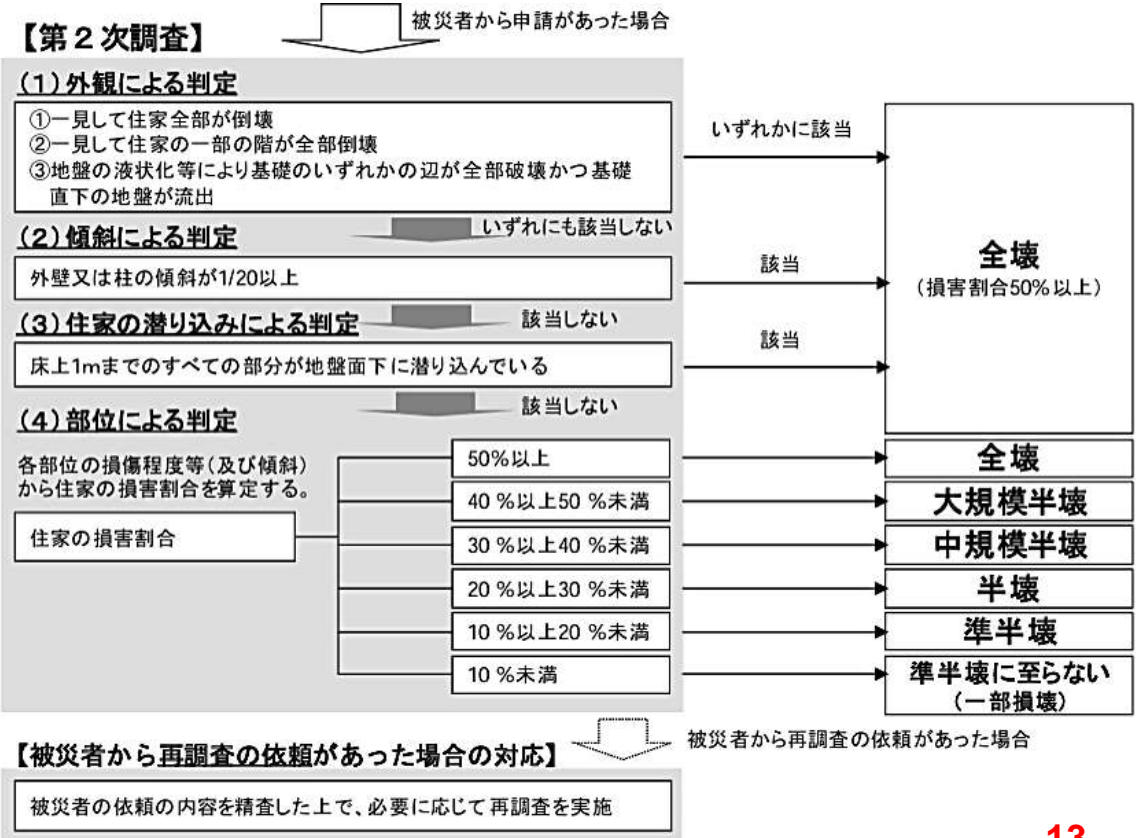
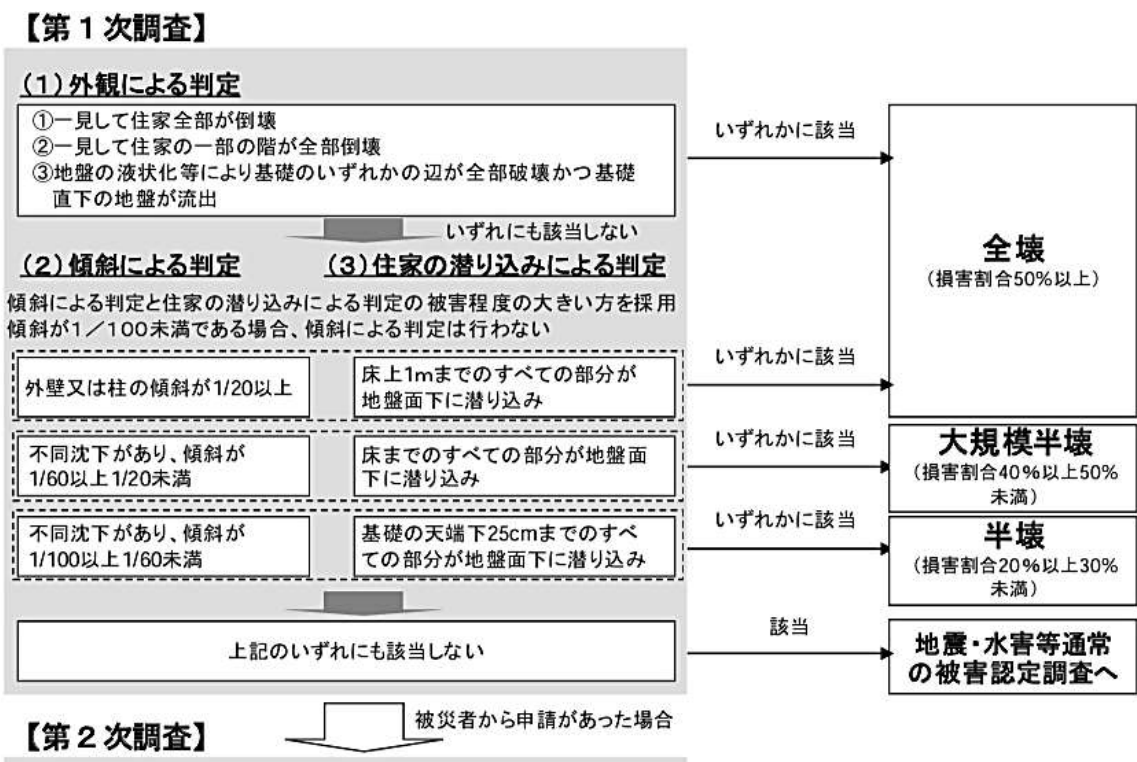
浦安市による（2011年9月3日時点）

- 傾斜と沈下量による液状化による被害の判断基準が示されたため、液状化による被害が明確になった。
- 液状化により少し傾くだけで生活できなくなり、持ち上げて水平化する沈下修正が必要が広く認識されるようになった。
- **沈下修正だけ**（液状化対策なし）でも**300万円～500万円**程度必要、他に外構などと修復費も必要。

現在の内閣府の災害に係る住家の被害認定基準運用指針

令和7年7月内閣府（防災担当）

<第4編 液状化等の地盤被害による被害>



東日本大震災時の液状化による東京湾岸の市街地の平面道路の被害



東日本大震災の際に液状化が自動車の走行に影響を与えた例

- ①東京湾岸埋立地で多くの自動車が動けなくなった。



- ②太平洋岸の埋立地で、構内道路が液状化で突上げて車両通行困難になった火力発電所もあった。

- ③宮城県の亶理町で津波からの避難に影響を与えた。



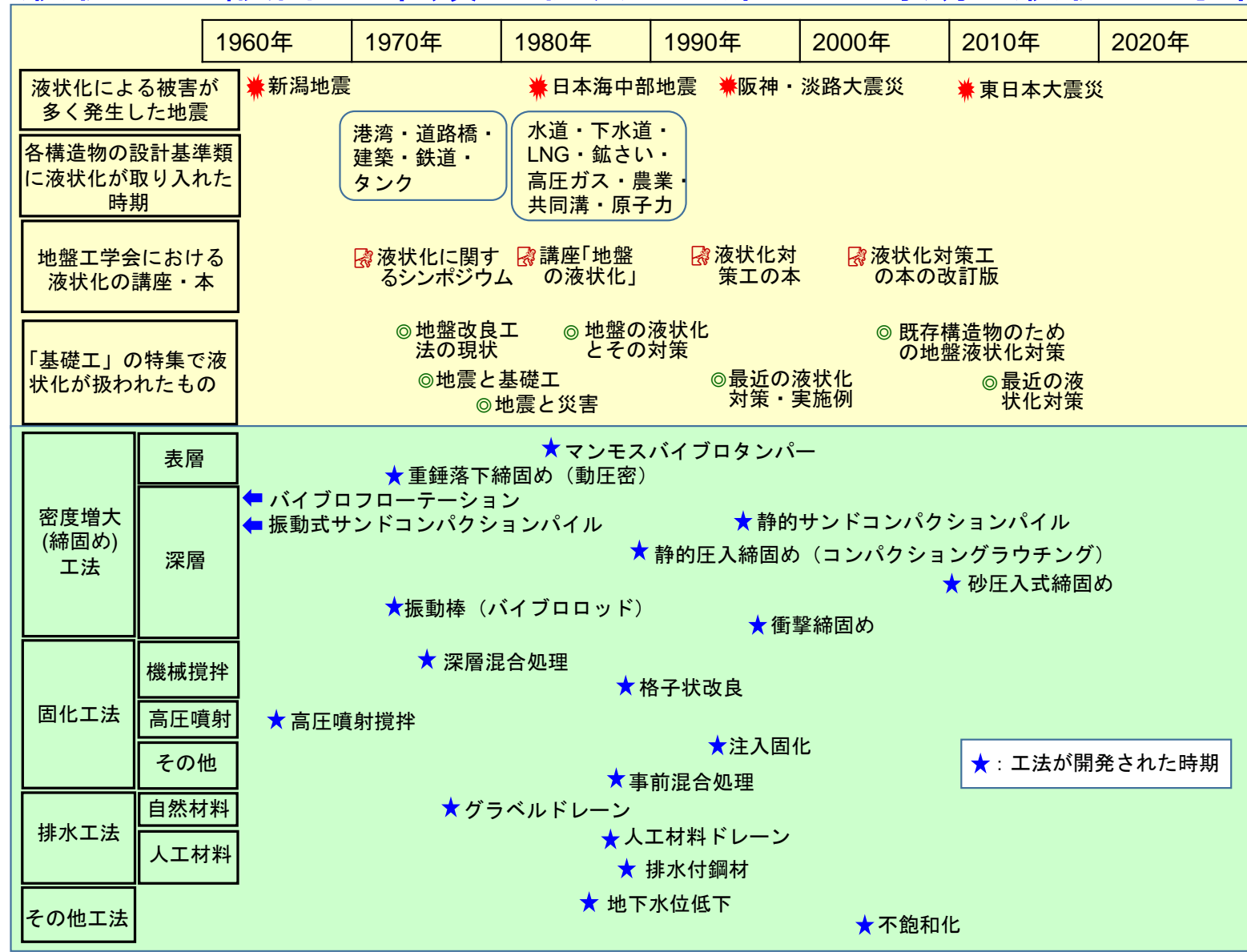
<http://www.youtube.com/watch?v=Baw7Pe6uEdg>



動画を撮られた人の証言
避難場所まで
通常:10分
液状化のため:45分
直後に津波来襲

2. 戸建て住宅の液状化対策

液状化が設計基準類に取り入れ始めた時期と液状化対策技術の開発経緯



- 1980年代にほとんどの構造物の設計基準類で液状化が考慮されるようになった。
- 建築物のうち中・高層ビルは1970年代から液状化を考慮するようになったが、**戸建て住宅は未だ考慮して建てられていない。**
- 液状化を発生させない対策工法も1980年代頃までに多く開発されてきた。

安田進：液状化対策技術の現状と展望、基礎工、Vol.49、No.5、pp.2-5、2021. 16

これまで開発・適用されてきた液状化対策工法

(1) 液状化の発生そのものを防止する対策

大別した工法名	対策の考え方	具体的な工法例
密度増大工法	締め固めることにより液状化抵抗を増加	サンドコンパクション工法、重錘落下締固め工法、転圧工法、コンパクショングラウティング工法
固結工法	セメントなどの安定剤を添加、混合あるいは注入して液状化抵抗を増加	深層混合処理工法、中層混合処理工法、事前混合処理工法、浸透固化処理工法
置換工法	液状化の危険性がある層を掘削除去し危険性のない砕石などで置換	置換工法
地下水位低下工法	地下水位上の非液状化層を厚くし、地下水位以下の有効応力を増加させて液状化液状化抵抗を増加	排水溝工法、揚水工法
間隙水圧消散工法	地盤の透水性を高め過剰間隙水圧の上昇を抑制	柱状ドレーン工法、巻き立てドレーン工法、排水機能付き鋼材工法
せん断変形抑制工法	地中壁などで地盤を囲み地震時のせん断変形を抑制	連続地中壁工法、格子状深層混合処理工法、シートパイル工法

(2) 液状化の発生は許すが施設の被害を軽減する対策（構造的対策）

大別した工法名	具体的な工法例
堅固な地盤による支持	杭基礎
基礎の強化	直接基礎の強化
浮上り量の低減	浮上り防止矢板、地中構造物の重量化
地盤変位への追従	埋設管の可撓継手
液状化後の変形の抑制	盛土に対するシートパイル締切工法

広い範囲の地盤を液状化させない代表的な対策工法

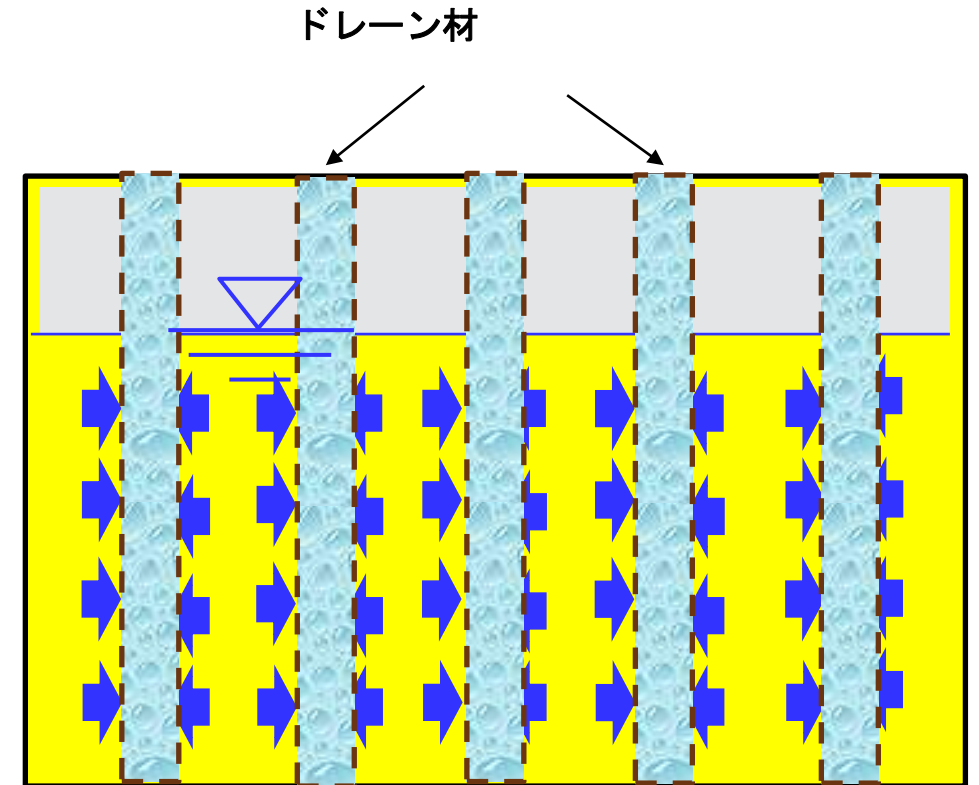
地盤を締め固めるサンドコンパクションパイル工法



地盤にセメントを混ぜて固める深層混合処理工法



過剰間隙水圧を逃がす柱状ドレーン工法



狭い範囲の地盤を液状化させない代表的な対策工法

圧入式締固め工法



高圧噴射攪拌工法



浸透固化処理工法



東日本大震災後に地盤工学会関東支部で開いた委員会で作成した手引き

目次

- 本手引きの目的と検討項目
- 液状化の発生および液状化による戸建て住宅の被害メカニズム
- 液状化による戸建て住宅の被害に対する軽減方法の考え方
- 東日本大震災による戸建て住宅の被災状況
- 戸建て住宅の液状化判定方法および調査
- 液状化による戸建て住宅の沈下量・傾斜量および地盤の沈下量・流動量の推定方法
- 戸建て住宅の液状化被害の軽減方法
- 新設戸建て住宅の液状化被害の軽減方法
- 既設戸建て住宅の液状化対応方法
- 今後の課題と将来に向けて

地盤工学会関東支部：造成宅地の耐震対策に関する研究委員会報告書―液状化から戸建て住宅を守るための手引き―、209p、2013.



造成宅地の耐震対策に関する研究委員会報告書

―液状化から戸建て住宅を守るための手引き―



平成25年5月

公益社団法人 地盤工学会 関東支部
造成宅地の耐震対策に関する研究委員会

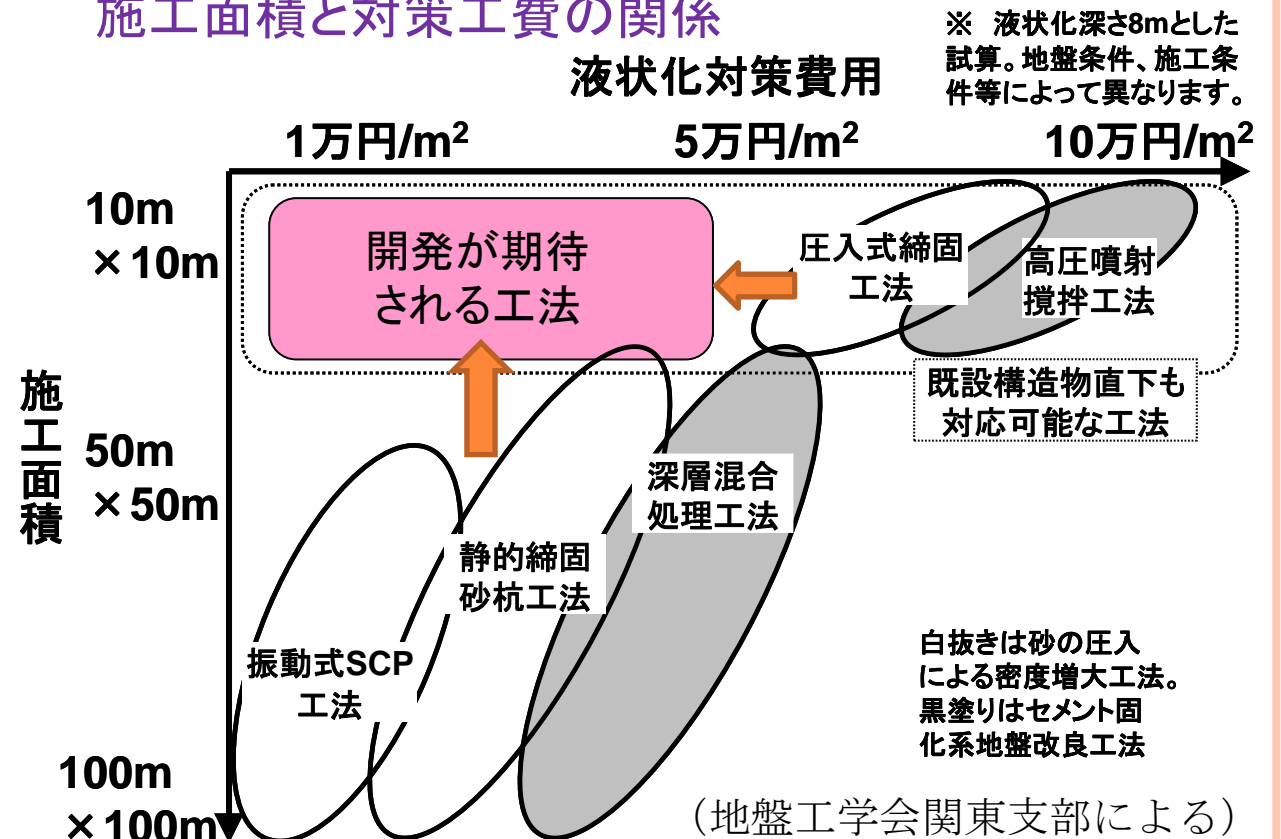
戸建て住宅への既往の地盤改良方法の適用性の考え方

新設・既設の戸建て住宅に液状化対策を 施す場合に制約を受ける特有な条件

- 個々の宅地のスペースが狭いので、狭隘な場所で施工ができる小型の施工機械が必要。
- 家屋が隣接していると隣家に悪影響を与えないように注意する必要がある。
- 個々の財産なので公共構造物に比べて多大な費用をかけにくく、安価な対策しか実施し難い。
- 新設の場合と既設の場合で対策に必要な費用が大幅に異なる。

地盤工学会関東支部造成宅地の耐震対策に関する研究委員会：液状化から戸建て住宅を守るための手引き，209p.，2013.

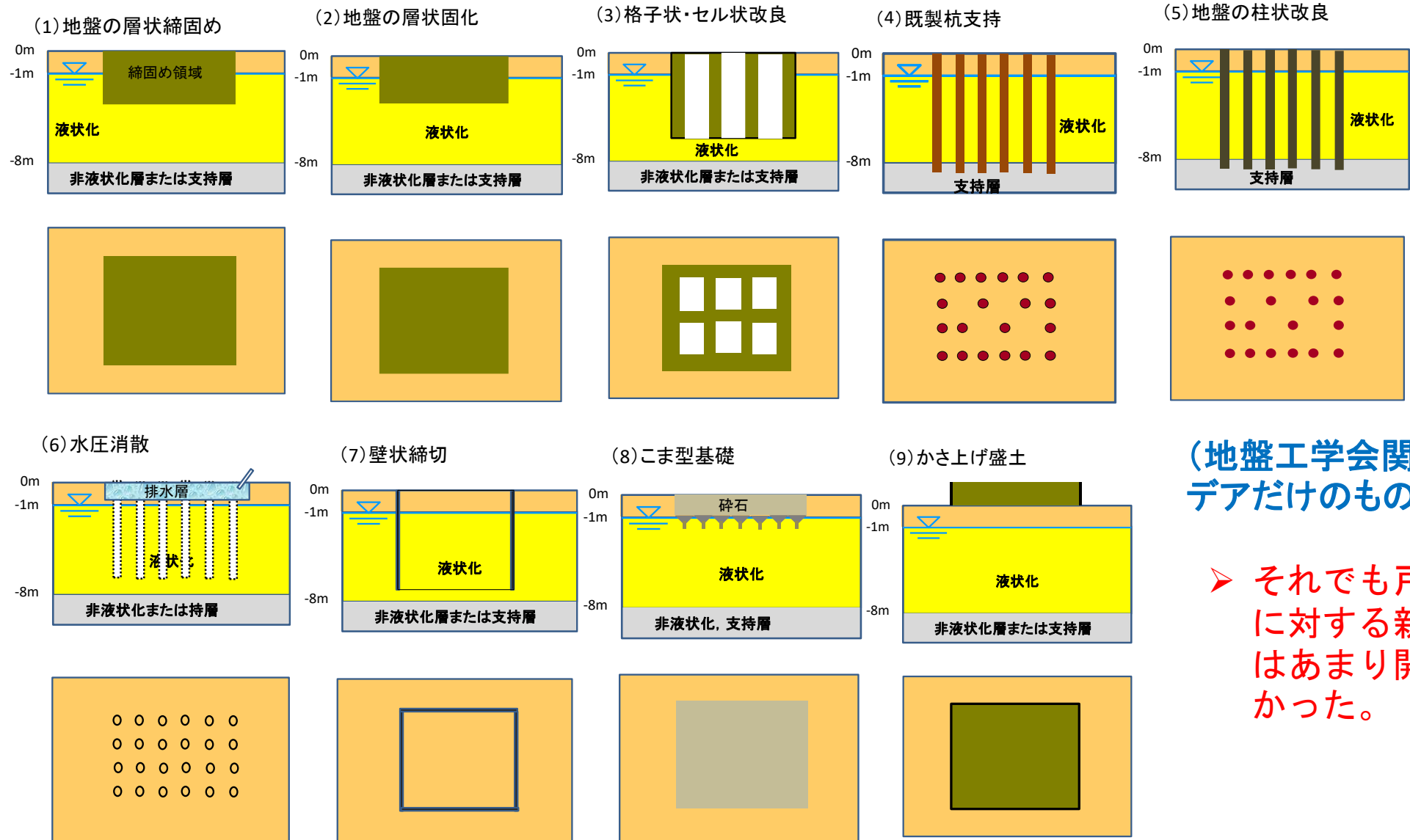
施工面積と対策工費の関係



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

手引きに示した個々の対策案

狭い土地に住宅を新設する場合

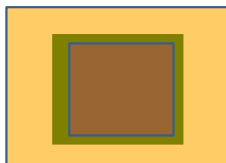
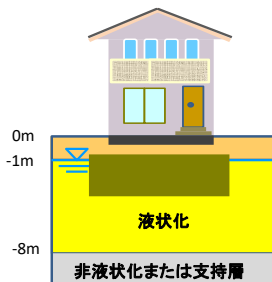


(地盤工学会関東支部, アイデアだけのものも含む)

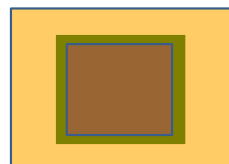
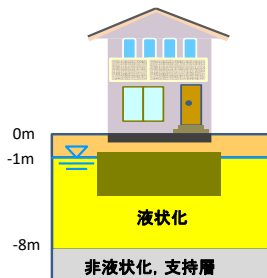
➤ それでも戸建て住宅
に対する新しい工法
はあまり開発されな
かった。

狭い土地にある既設の住宅に対策を施す場合

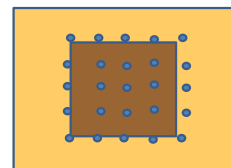
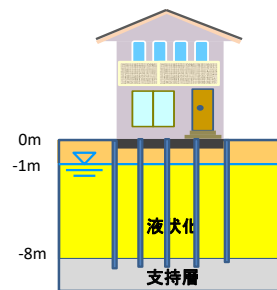
(1) 建物直下の層状締め



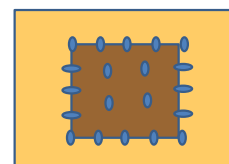
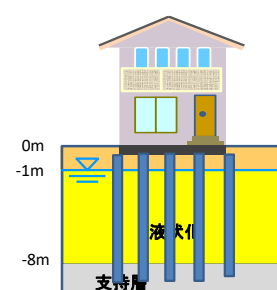
(2) 建物直下の浸透固化



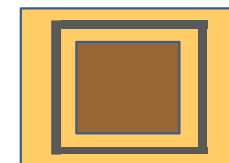
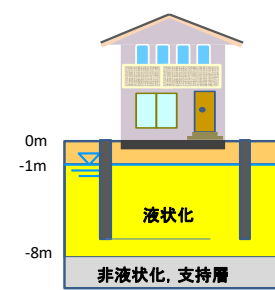
(3) 既製杭支持



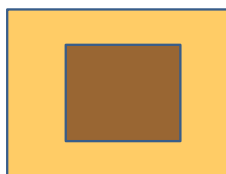
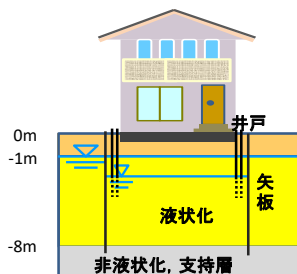
(4) 柱状改良



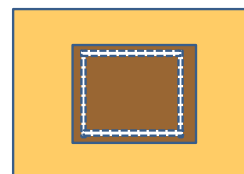
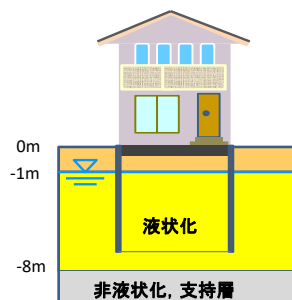
(5) 家の周囲の格子状改良



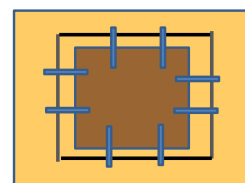
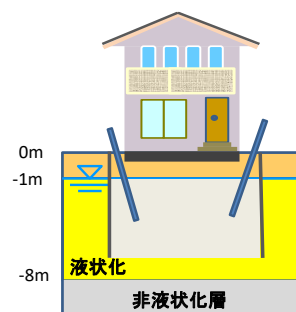
(6) 地下水位低下



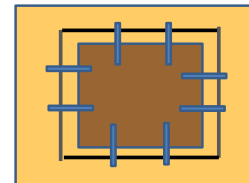
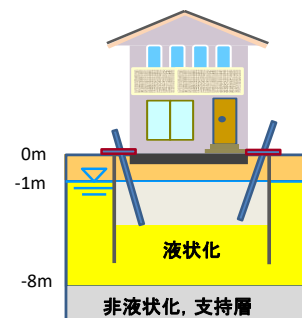
(7) 壁状締め切り



(8) 不飽和化



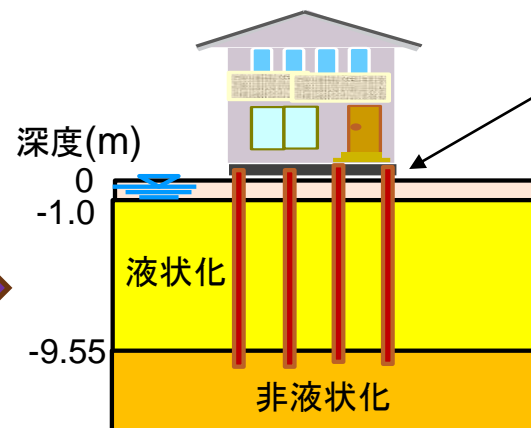
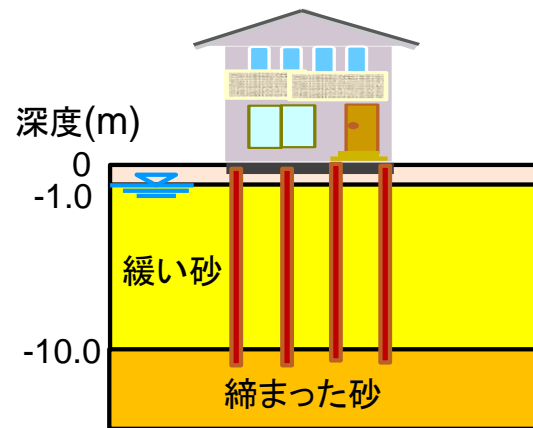
(9) 過圧密



(注) アイデアだけのもの
も含む

杭基礎と柱状改良における留意事項

杭基礎で非液状化層により支持されている場合

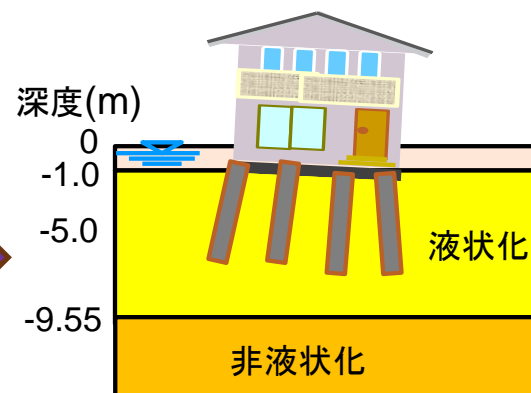
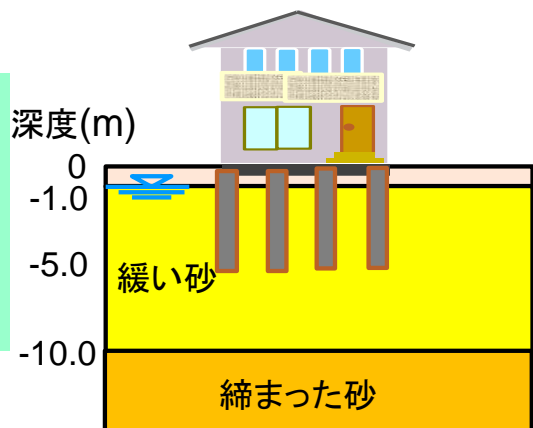


建物は沈下しなくても地盤全体は液状化後圧縮沈下するので、液状化層厚の5%程度杭は抜け上がる。

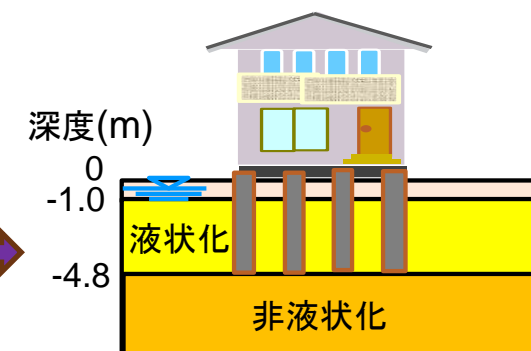
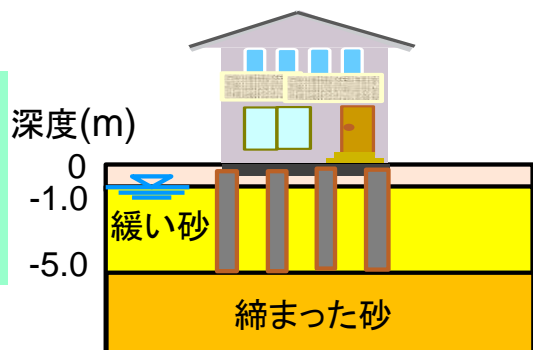


支持力はなくなるので建物は沈下・傾斜する。

柱状改良で建物の支持力を確保しているだけの場合



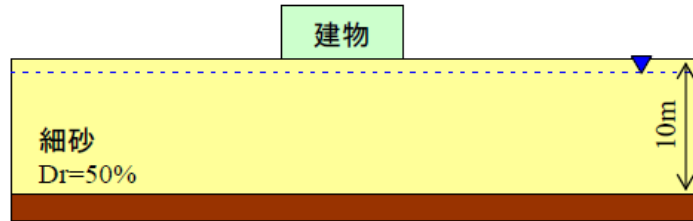
柱状改良で非液状化層まで施工されている場合



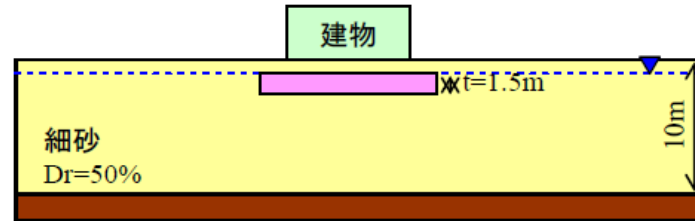
建物は沈下しないが少し抜け上がる。

地盤工学会浅層盤状改良対策研究委員会の研究成果

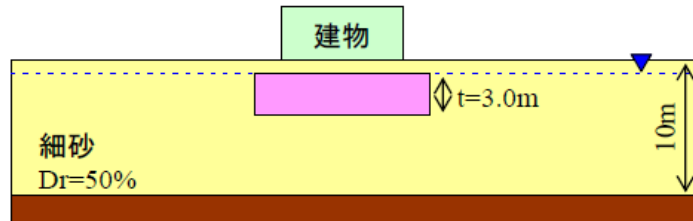
遠心載荷実験



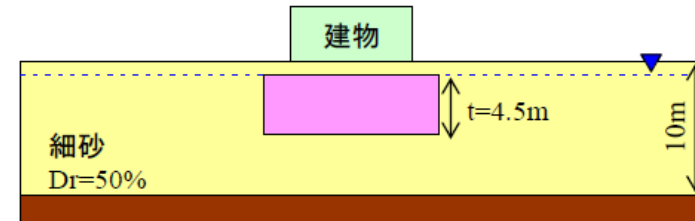
ケース 1 無改良



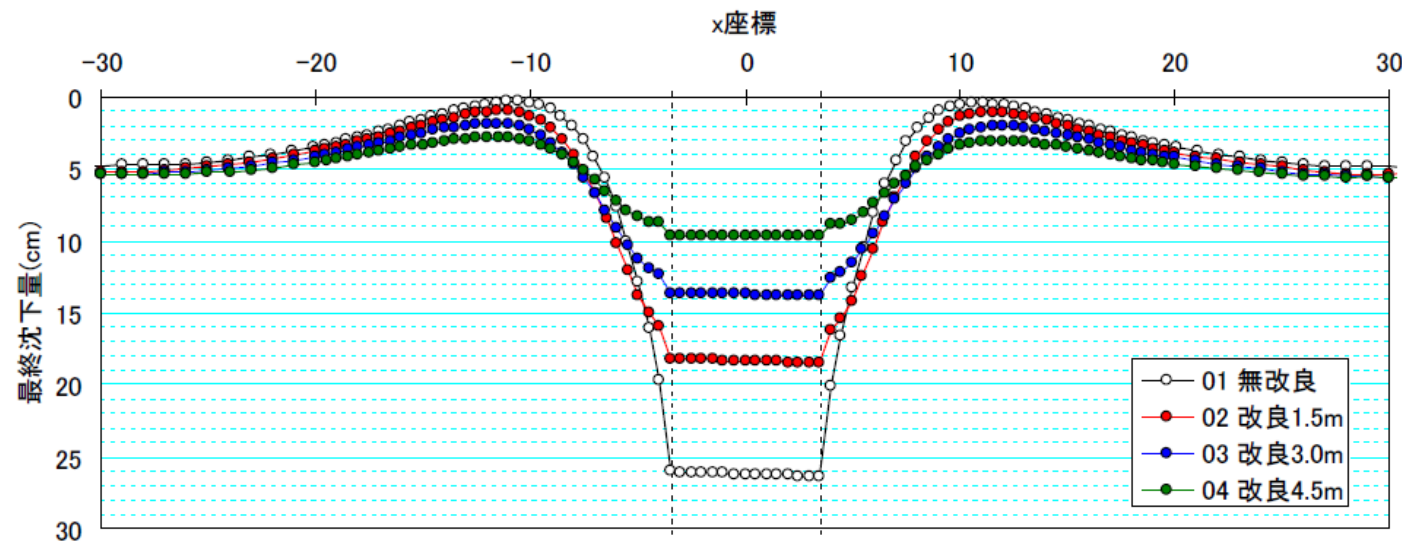
ケース 2 改良厚 $t=1.5\text{m}$



ケース 3 改良厚 $t=3.0\text{m}$



ケース 4 改良厚 $t=4.5\text{m}$

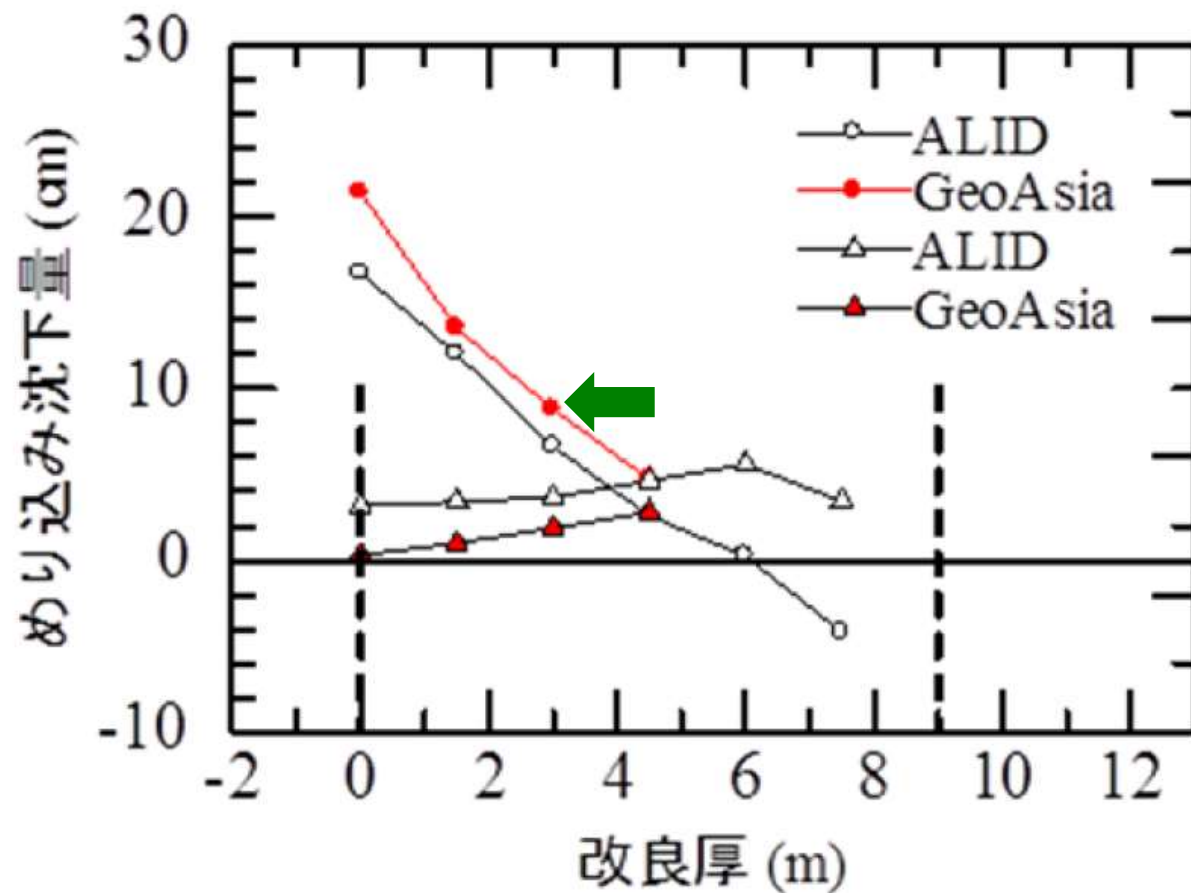


地盤工学会浅層盤状改良による宅地の液状化対策研究委員会：浅層盤状改良による宅地の液状化対策の合理的な設計方法の研究報告書，2012.

https://www.jiban.or.jp/?page_id=424

- 改良厚さが3mの場合はめり込み沈下量は約8cm。
- 改良厚さが4.5mの場合はめり込み沈下量は約5cm。

改良厚とめり込み沈下量関係に関するGeoAsiaとALIDによる解析



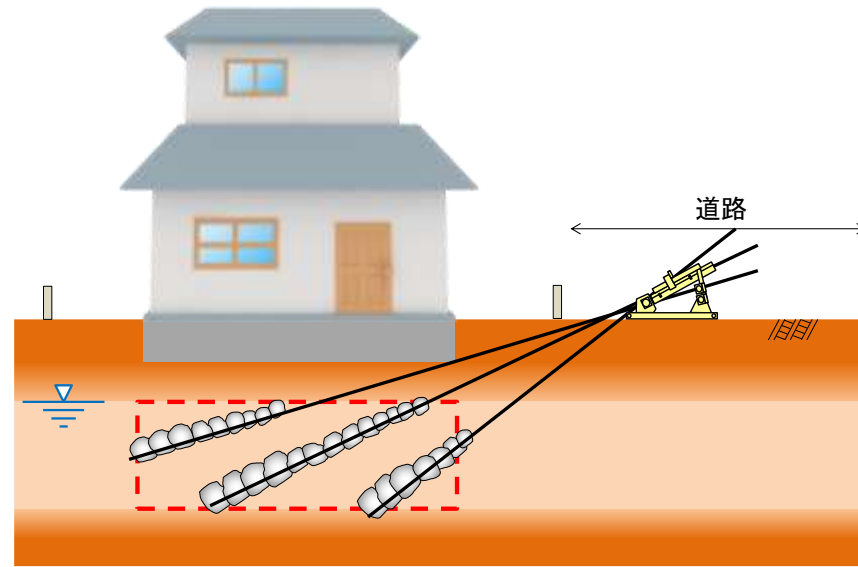
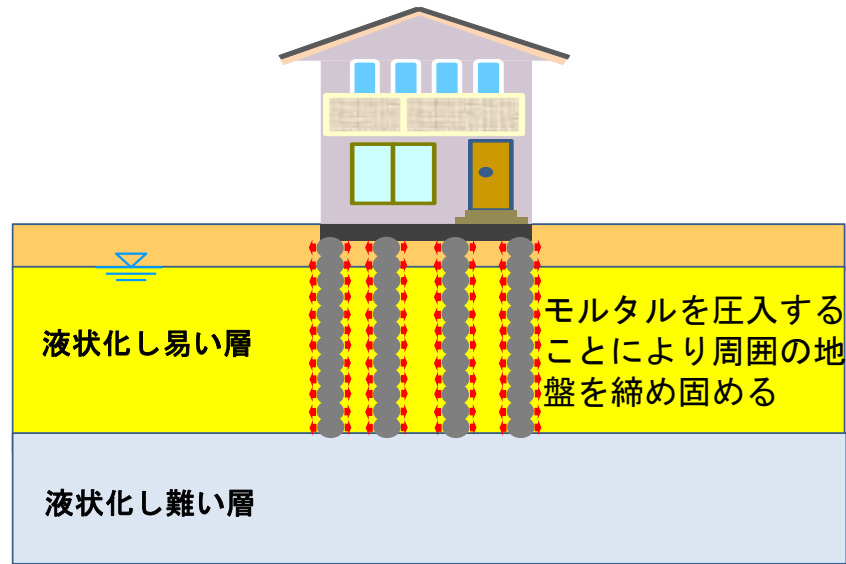
➤ 建物下に3～4mの厚さ盤状に地盤改良すれば被害は防げる。

← 半壊まで至らない軽微な被害で留まる
限界のめり込み沈下量

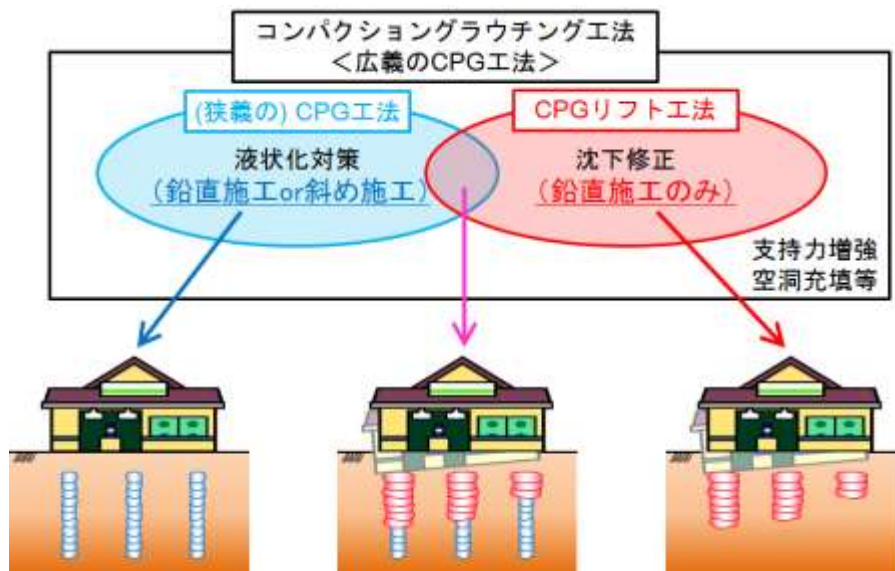
東日本大震災後に検討、開発された個々の宅地の対策方法例

①斜め施工による既設住宅への圧入式締固め工法

三信建設工業(株)

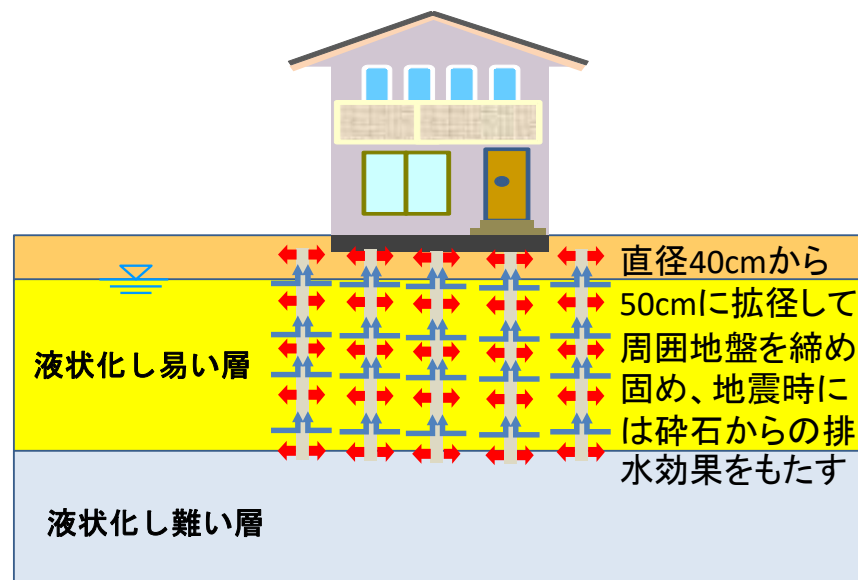


河野聡平・足立雅樹・岡見強・新坂孝志：静的圧入締固め工法（CPG工法）による戸建て住宅の液状化対策実証実験，第48回地盤工学研究発表会，pp.935-940，2013.

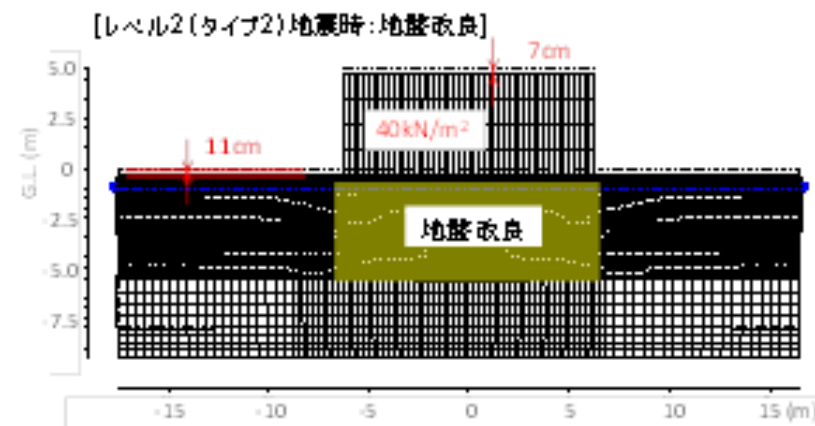
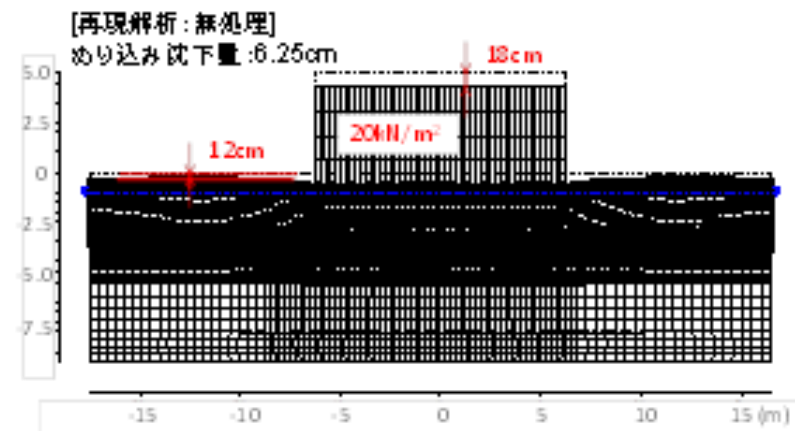


②新築の戸建て住宅用に小型化した碎石締固め・排水工法

新設の住宅に適用した事例



(株)不動テトラ



戸建て住宅の液状化による変形解析例

原田健二・大林淳・吉富宏紀：宅地地盤の液状化対策工法の開発と適用—小型締固め式グラベルドレン工法—、地盤工学学会誌、Vol.61、No.4、pp.22～25、2013.

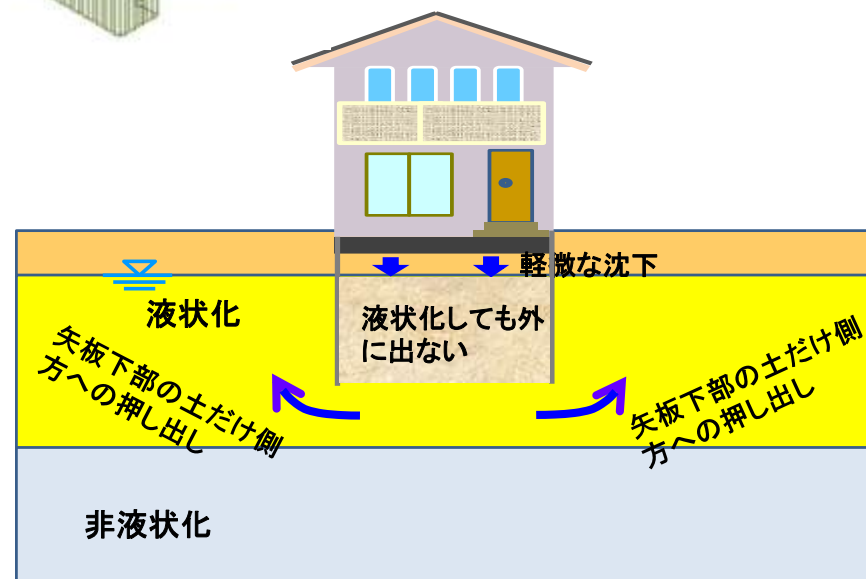
③新築・既設の戸建て住宅への矢板締切工法

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



平出務・安田進・藤野一・金子雅文・佐々木修平・三上和久・尾澤知憲：薄鋼矢板を用いた液状化被害軽減工法の開発、地盤工学会特別シンポジウムー東日本大震災を乗り越えてー，pp. 454-462，2014.

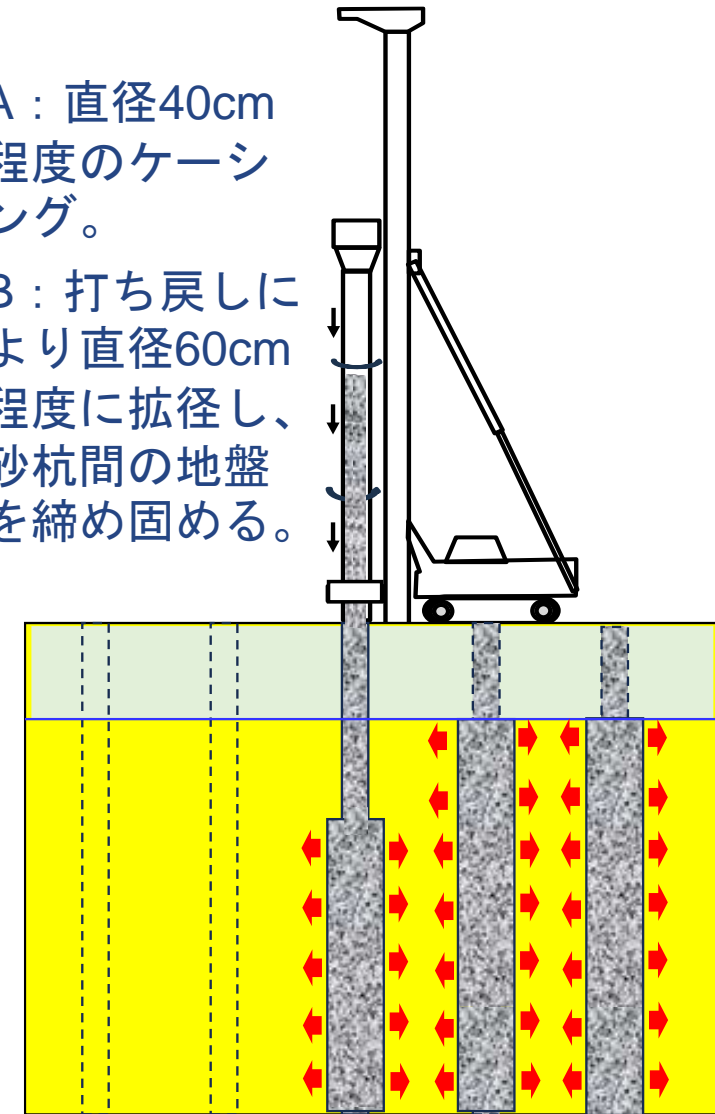
能登半島地震を受けて開発されたばかりの小型締固め機

(株)不動テトラで開発された施工機



A : 直径40cm
程度のケーシ
ング。

B : 打ち戻しに
より直径60cm
程度に拡張し、
砂杭間の地盤
を締め固める。



- 宅地でも施工可能。
- 構造物から2mの離隔まで施工可能。

東日本大震災で被災した住宅地全体の液状化対策

市街地液状化対策事業

- 東日本大震災の8か月後に国土交通省により「市街地液状化対策事業」が創設。ある**地区内の道路や下水道などの公共施設と民間の宅地とを**、一体化して液状化対策を施そうとするもの。
- この事業を適用できる条件としては、i) **面積が3,000m²以上でありかつ区域内の家屋が10戸以上のもの**、ii) 土地所有者・借地権者それぞれの2/3以上の同意が得られるもの、iii) 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ものと認められるもの、とされた。
- この事業では二つの大きな課題があった。**一つめは技術的な課題で、既存の住宅地を家が建ったままでどんな方法で対策を施せるか**であり、二つ目の課題は住民の合意形成をいかにとるかである。

国土交通省都市局都市安全課「市街地液状化対策推進ガイダンス」
http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_fr_000005.html

地下水位低下工法



(国土交通省による)

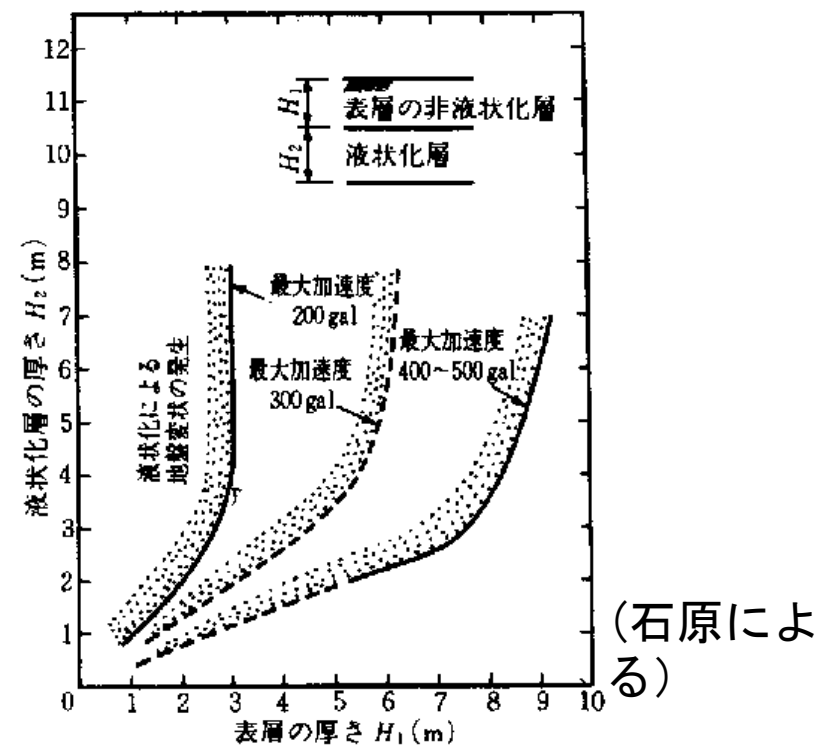
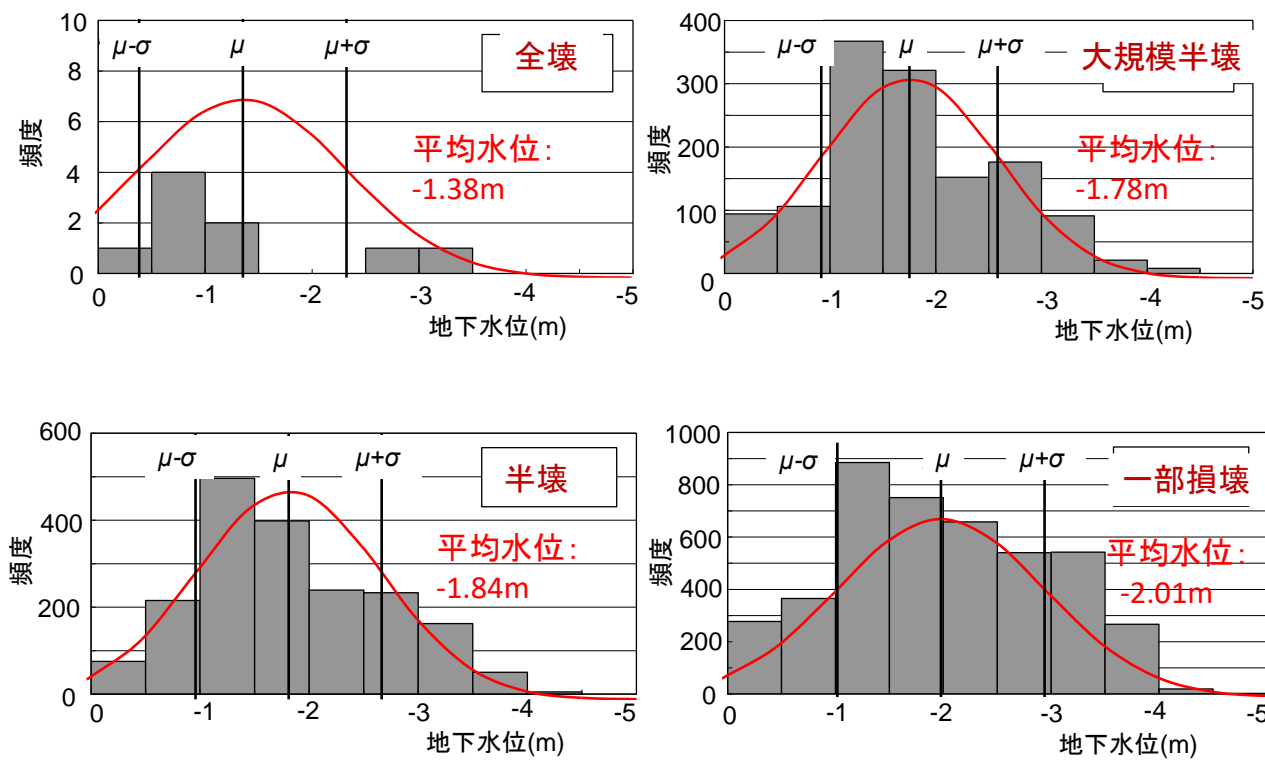
格子状地中壁工法



地下水位低下工法を実施するために実証実験などで検討された事項

1) 地下水位の低下量の設定方法

地震後に調べられた浦安市の被災程度と地下水位 (浦安市による)

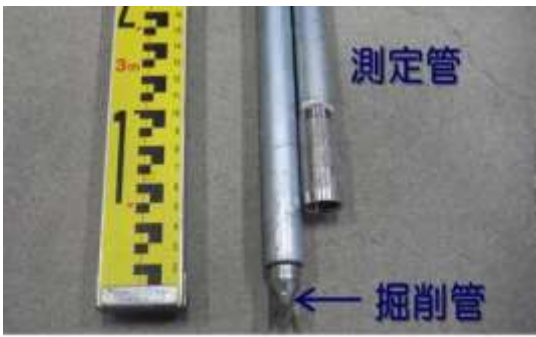


(石原による)

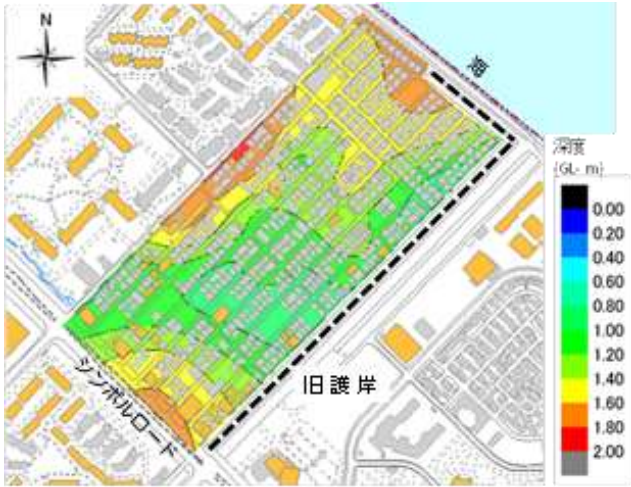
3つの地震で被害を生じた地下水位の境界

地震	住宅地	被害と無被害の境の地下水位
1983年日本海中部地震	秋田市新屋松美町	地震動の推定値によって異なるが、GL-1.5m~-2.5m
2000年鳥取県西部地震	米子市安倍彦名団地	地下水位が深いと傾きが小さくなり、10/1,000の傾きで判断するとGL-1.6m程度
2007年新潟県中越沖地震	柏崎市橋場町	地下水位が深いと被害程度が軽くなる

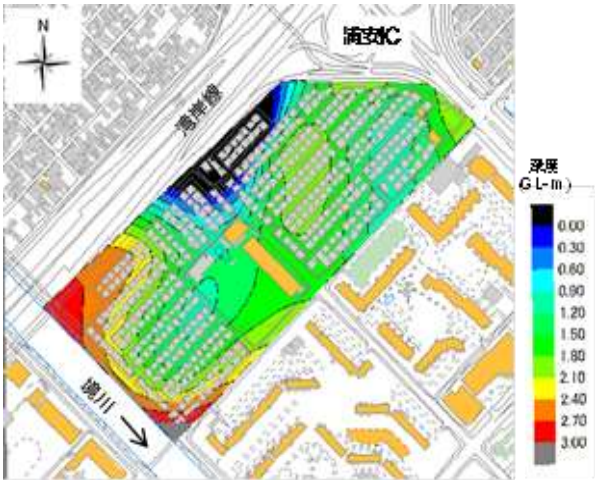
東日本大震災で被災した浦安の2地区の宅地における地下水位の調査例



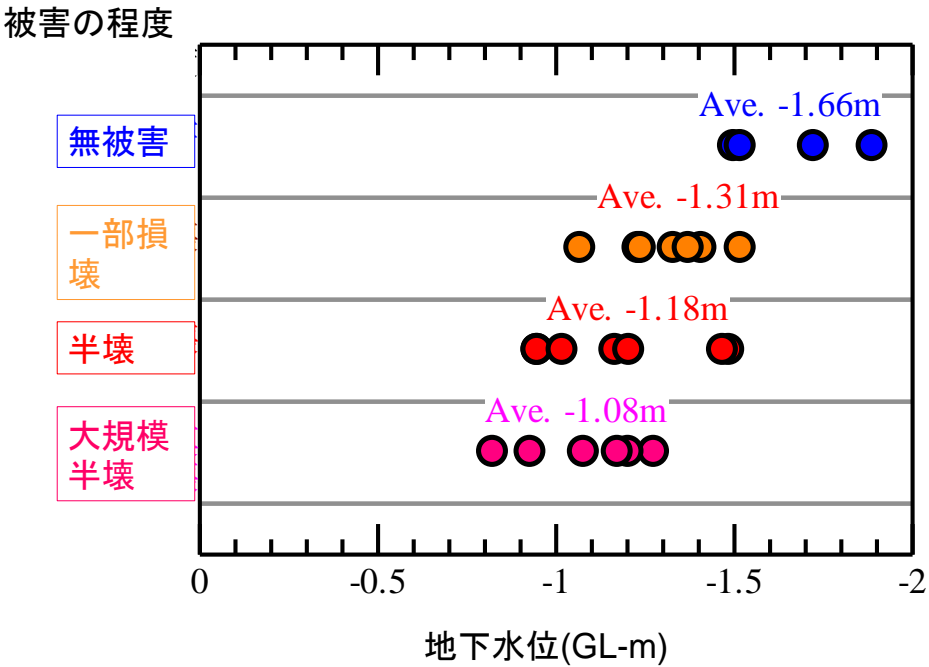
入船4丁目の地下水位分布



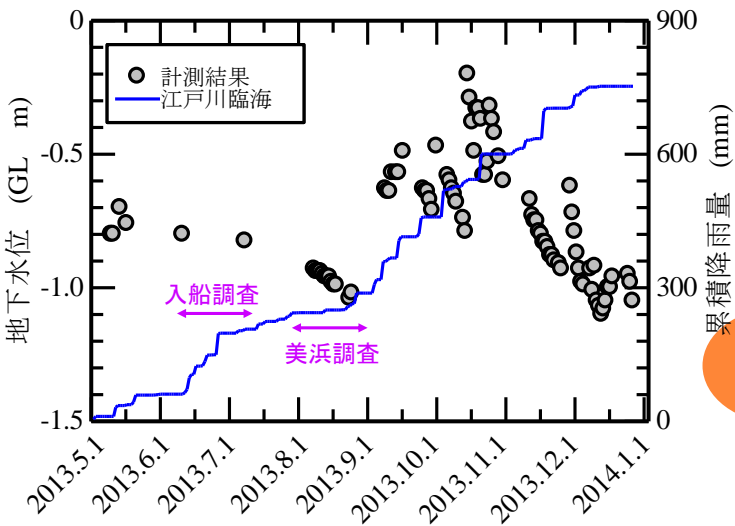
美浜3丁目の地下水位分布



地下水位と住宅被害の関係



地下水位の時間変化と累積降雨量



安田進・石川敬祐：地下水位低下が戸建て住宅の液状化対策に与える効果，日本地震工学会論文集，第15巻，第7号（特集号），pp.205－219，2015.

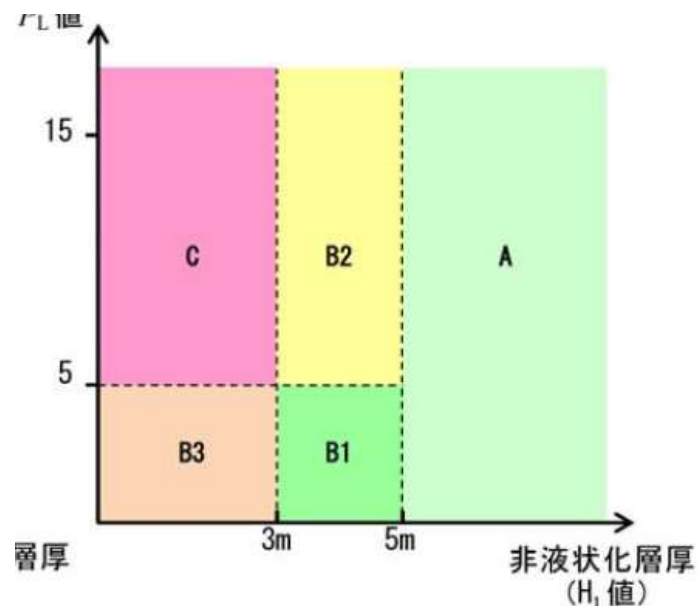
国土交通省で平成26年3月に出された市街地液状化対策推進ガイドンス

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	5cm 以上	5 以上	液状化被害軽減の 目標として可	不可
B1	5m 未満	5cm 未満	5 未満		
A	5m 以上	—	—	液状化被害抑制の目標として可	

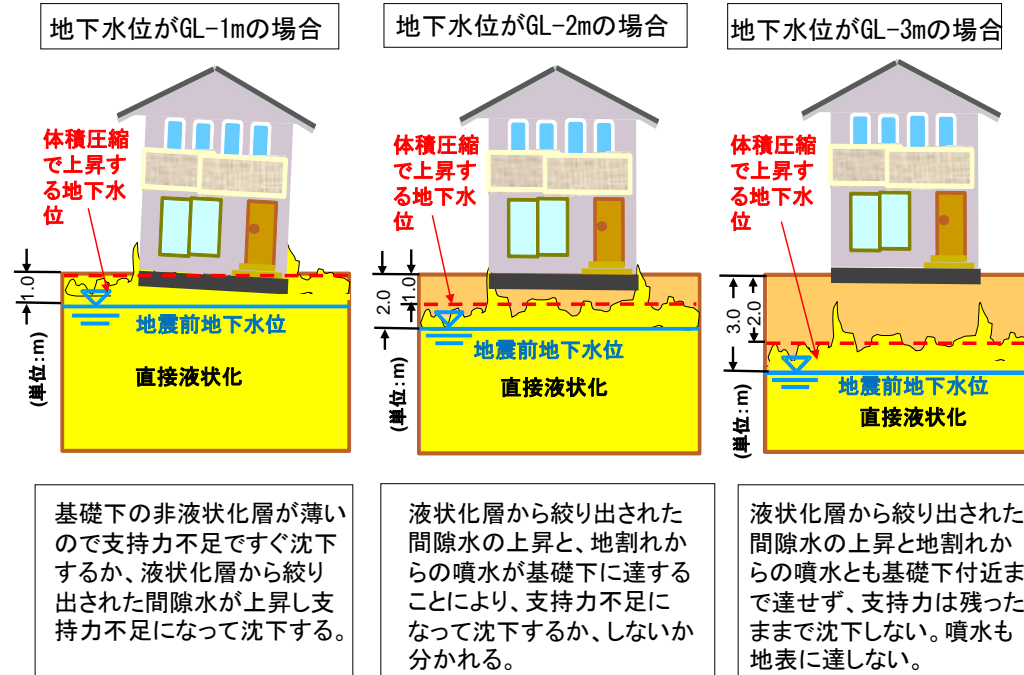
(※) 原則不可であるが、専門家からなる委員会等で詳細、且つ、高度な検討を行った結果の

判断についてはこの限りではない。



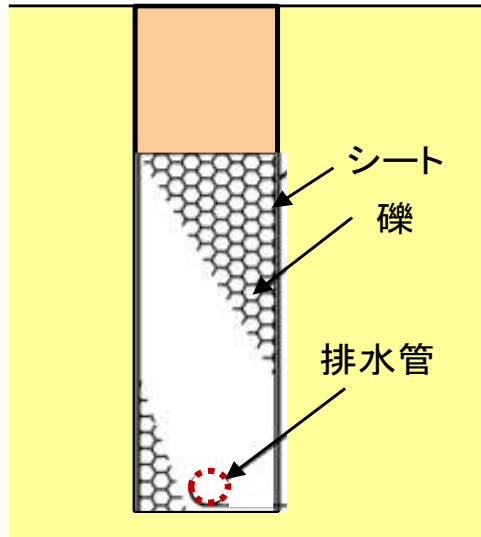
(b) $H_1 \sim P_L$ 判定図

地下水位を3m程度の深さまで下げておくためり込み沈下し難いメカニズムとして考えられる私案



2) 地下水位の低下方法

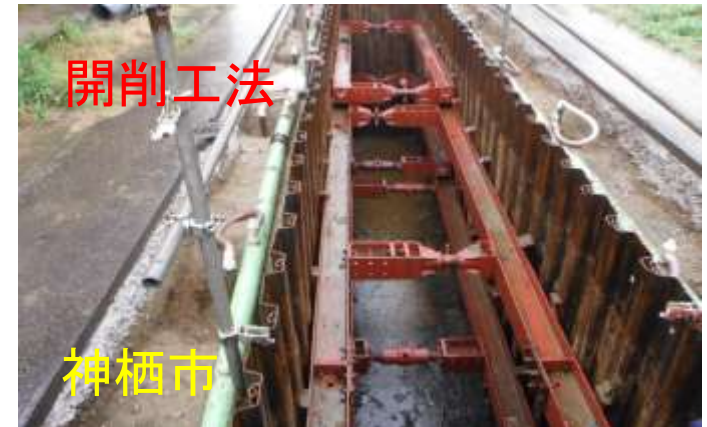
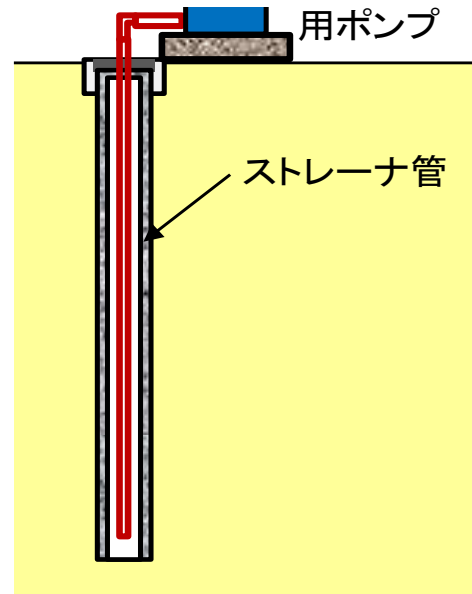
① 開削工法で排水
管設置



② 推進工法で
排水管設置

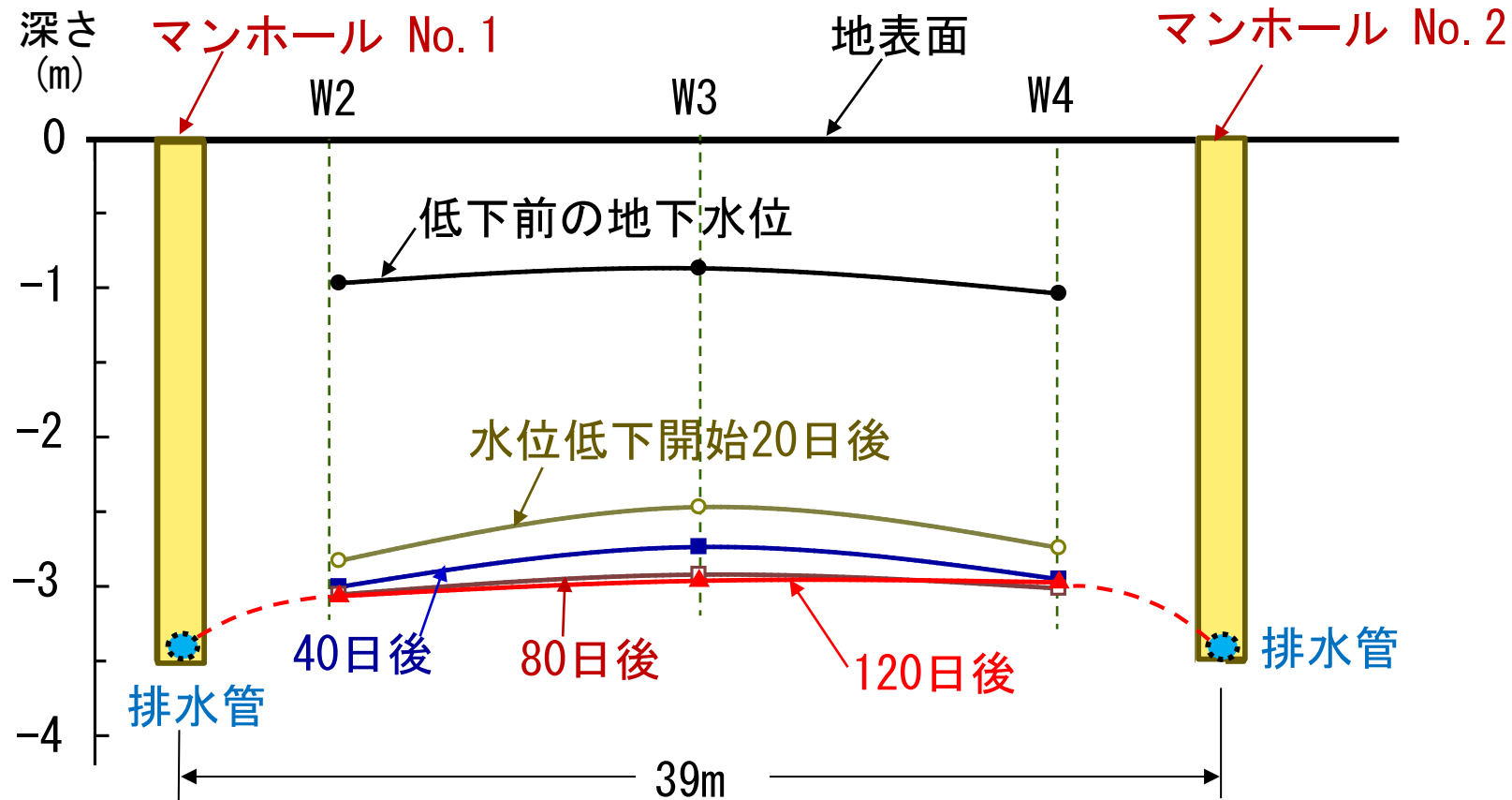


③ 浅井戸の設置



3) 水位低下のための排水管や浅井戸の設置間隔

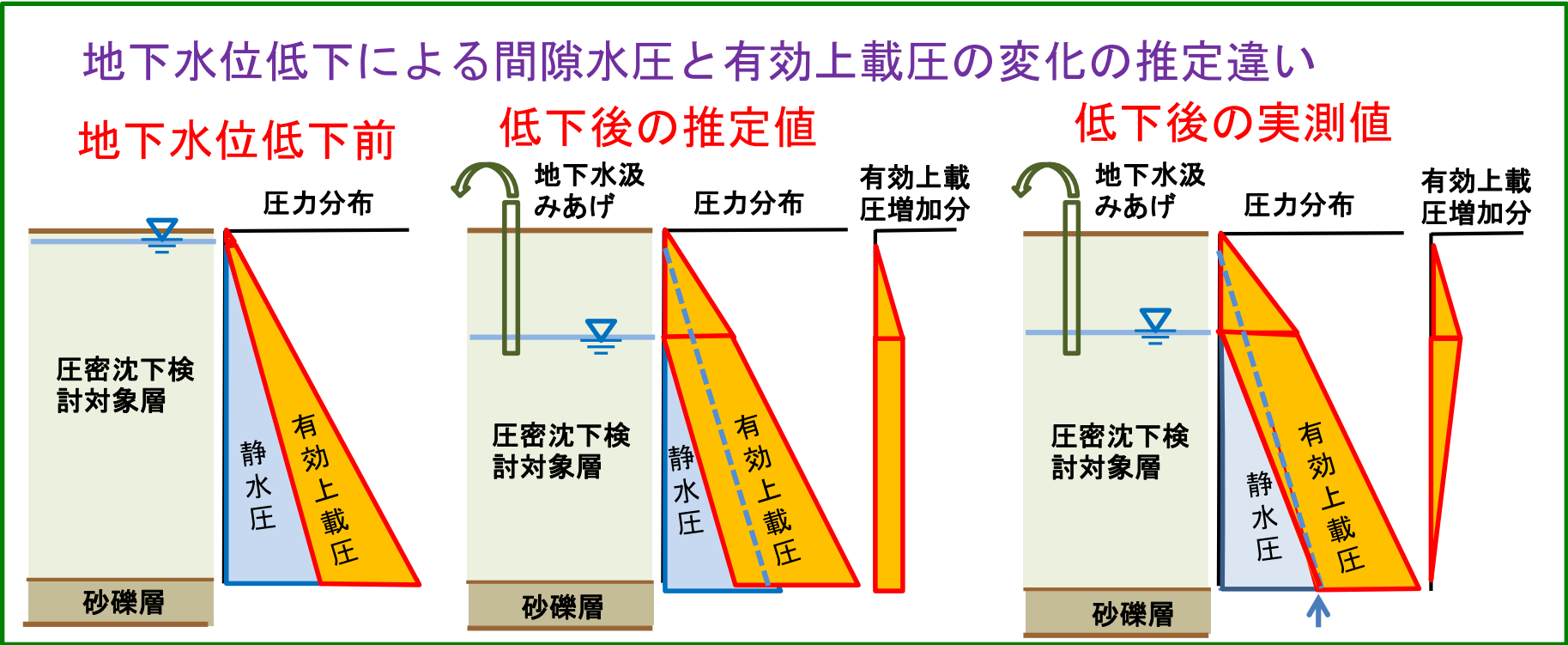
- ①当初は宅地内へも排水管を設置することを想定
- ②実証実験結果によると、40m程度離れた道路だけに設置する配置で宅地内の地下水位も下がった。→宅地内への設置は不要になった。



4) 地下水位低下に伴う地盤の沈下量の推定方法

- ①従来の方法：大きな沈下量
- ②実証実験や詳細な地盤によって得られた知見：沈下量は少ない
 - <理由1> 間隙水圧の低下分布が仮定と異なる
 - <理由2> 表層が過圧密になっていることが多い

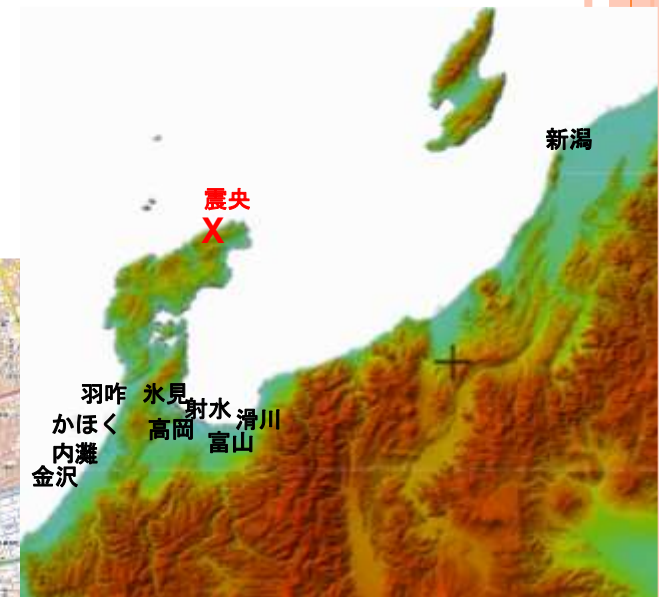
都市名	実験結果	
	期間	地表面沈下量 (cm)
神栖市	60 日後	0.1 ~ 0.5
我孫子市	最終	約 5
久喜市	30 年後	7.8



対策後（2020年6月13日時点）

3. 能登半島地震震による液状化被害と対策の現状

能登半島地震により市街地で広く液状化が発生した地区



□: 市街地で広く
液状化が発生
した地区
(地理院地図⁴⁾に
加筆)

安田進：能登半島地震で被災した都市で進められている宅地液状化防止事業，日本地震工学会・大会-2024梗概集，2025.（投稿中）

能登半島地震による宅地の液状化被害の特徴

(1) 液状化した微地形

微地形	液状化した都市
砂丘内陸側縁辺部・砂丘間低地	内灘町、かほく市、金沢市、羽咋市、新潟市
旧河道	新潟市、羽咋市、富山市
砂州	氷見市、射水市
埋立地	高岡市
水田上の盛土地	高岡市

- 詳細に調べていくと、後述するように砂丘内陸側縁辺部でも砂丘を人工的に切った範囲が液状化し、氾濫平野と分類されていても実際には江戸時代に埋め立てられた土地であることが判明した箇所もあった。

(2) 再液状化の発生

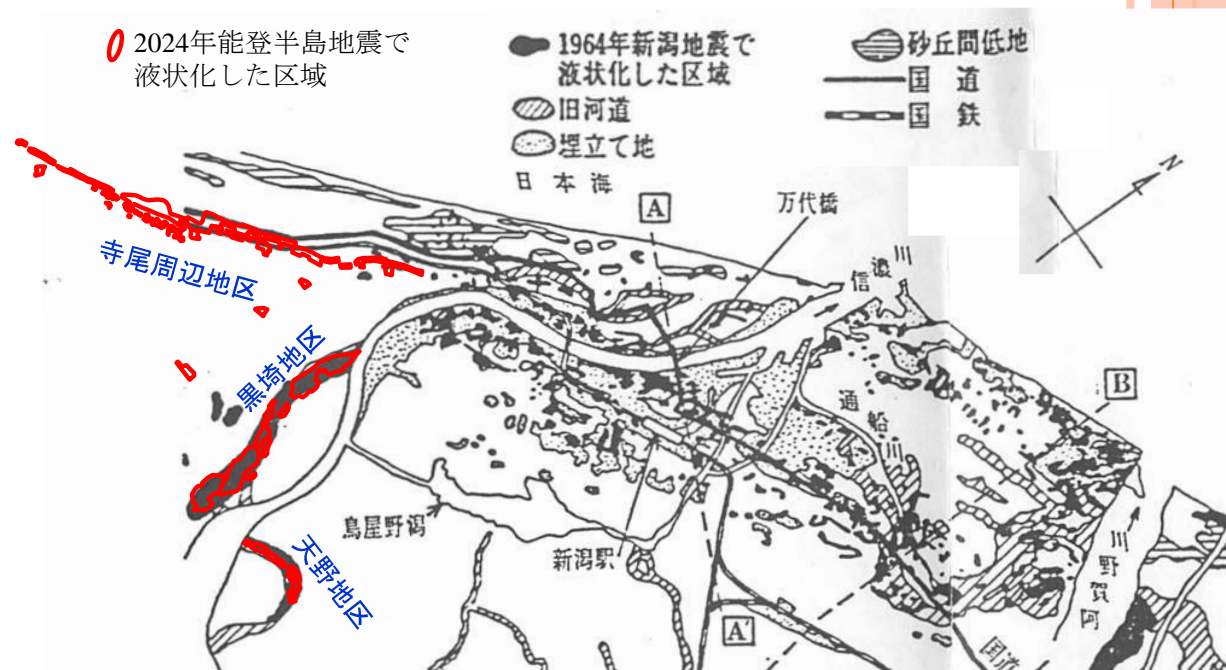
かほく市における1891年濃尾地震で液状化した箇所の再液状化



岐阜大学：郷土資料(10) 濃尾地震のアンケート調査報告 石川県の部、昭和54年.

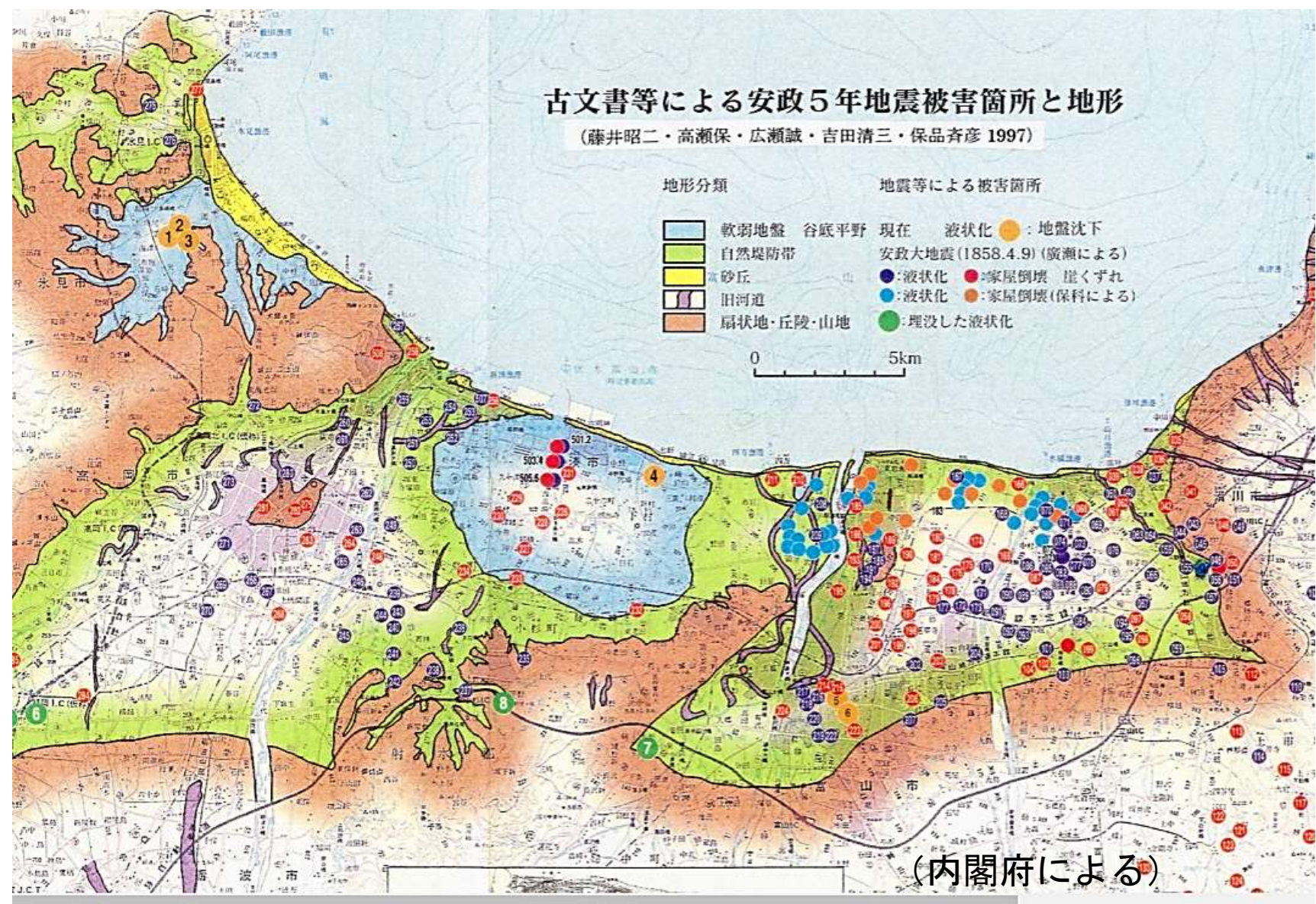
- 同じ箇所でも133年前に液状化していた。

新潟市における1964年新潟地震で液状化した地区の再液状化



- 善久、小針、天野とも60年前の1964年新潟地震の際に液状化が発生していた。
- 他地区でも再液状化した箇所あり。

富山県における1858年飛越地震による液状化地区

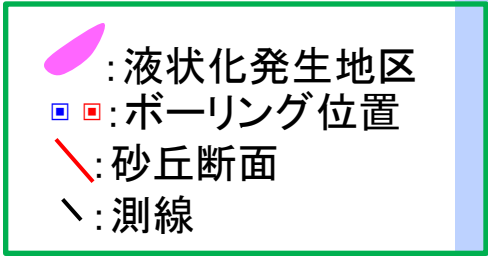


- 高岡市伏木ではほぼ同じ地点と判断される箇所でも再液状化。
- 飛越地震の例からみると166年程度ではまだ再液状化する可能性があると言えよう。
- 関東では例えば1923年関東地震で液状化した箇所は再液状化の可能性があるのでは。

地名	被害状況
257 伏木	町中地割れ、水吹き出し浸水、地盤破れ、水砂噴出
258 伏木台場東	4箇所地割れ

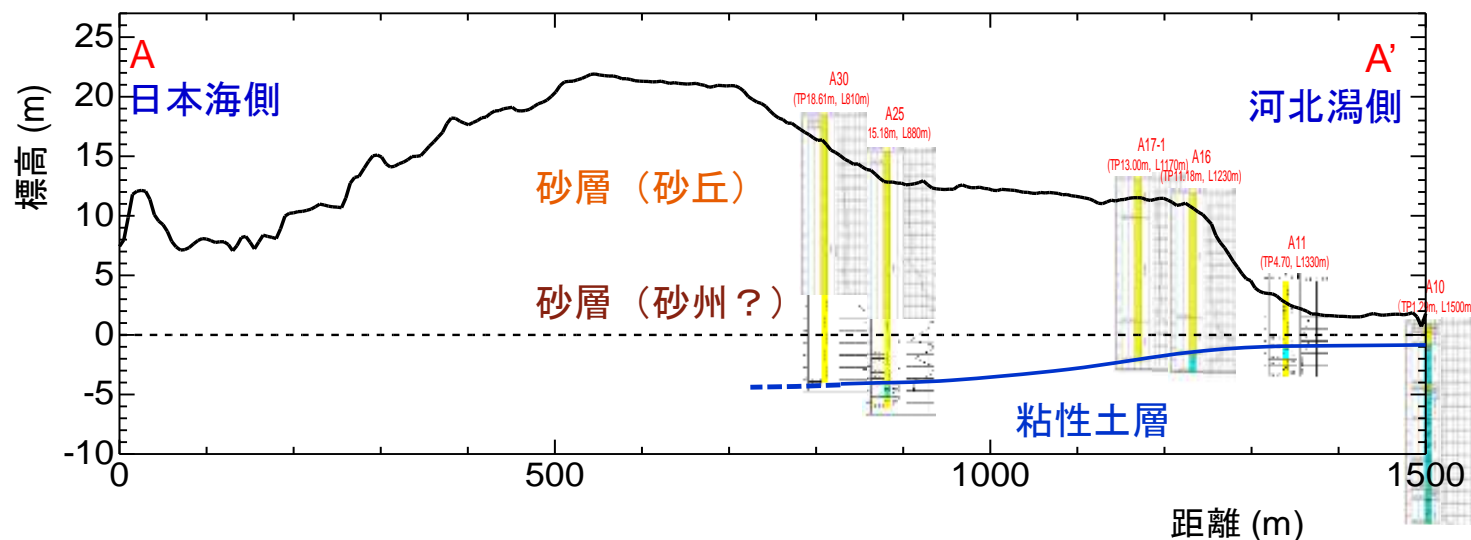
(3) 砂丘内陸側縁辺部の緩やかな傾斜地盤における液状化および地盤の流動

内灘砂丘の土質および地下水位の特性
内灘砂丘から承水路、干拓地をのぞむ

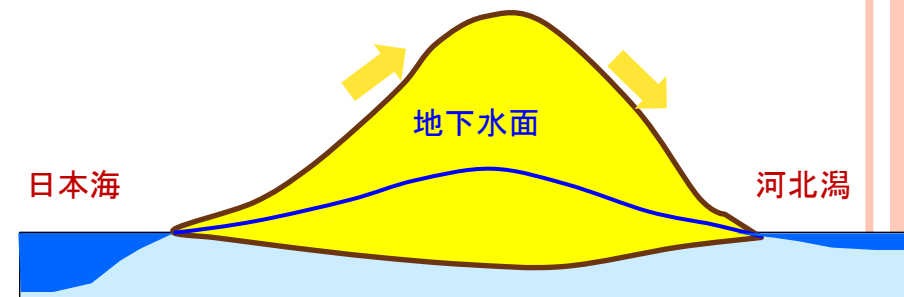


(国土地盤
情報データ
ベースに加
筆)

粟崎地区の砂丘の横断面

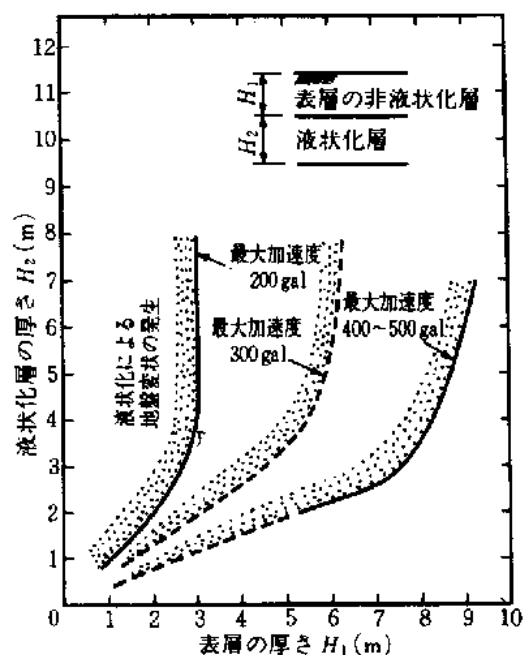


推定される地下水面分布



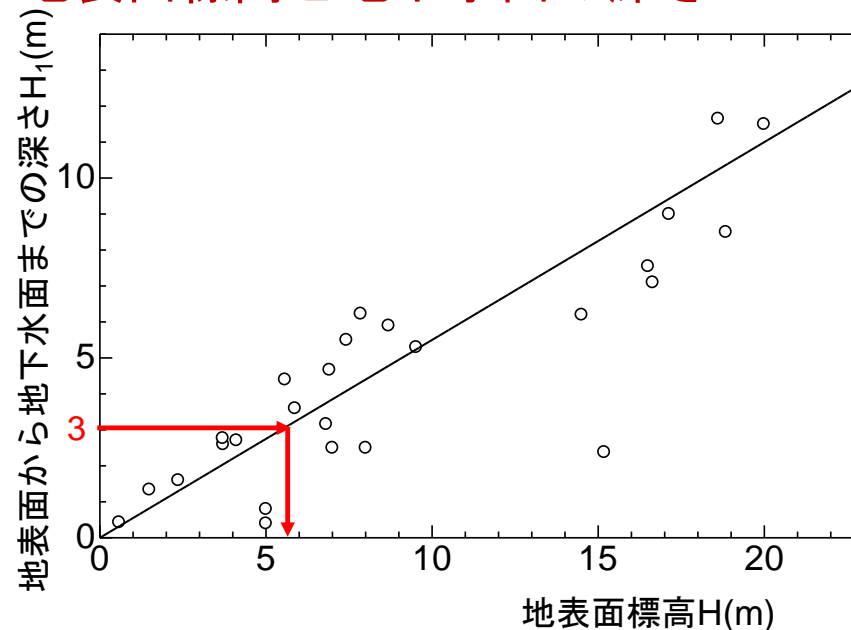
➤砂層は N 値が5~10程度の緩い上部の層と、10以上の少し締まった下部の層に分けられるようである

➤一般に地下水位3mより深いと地表面で液状化被害が発生しないので、標高が3~6mより高い所では、液状化被害が発生しないことになる。



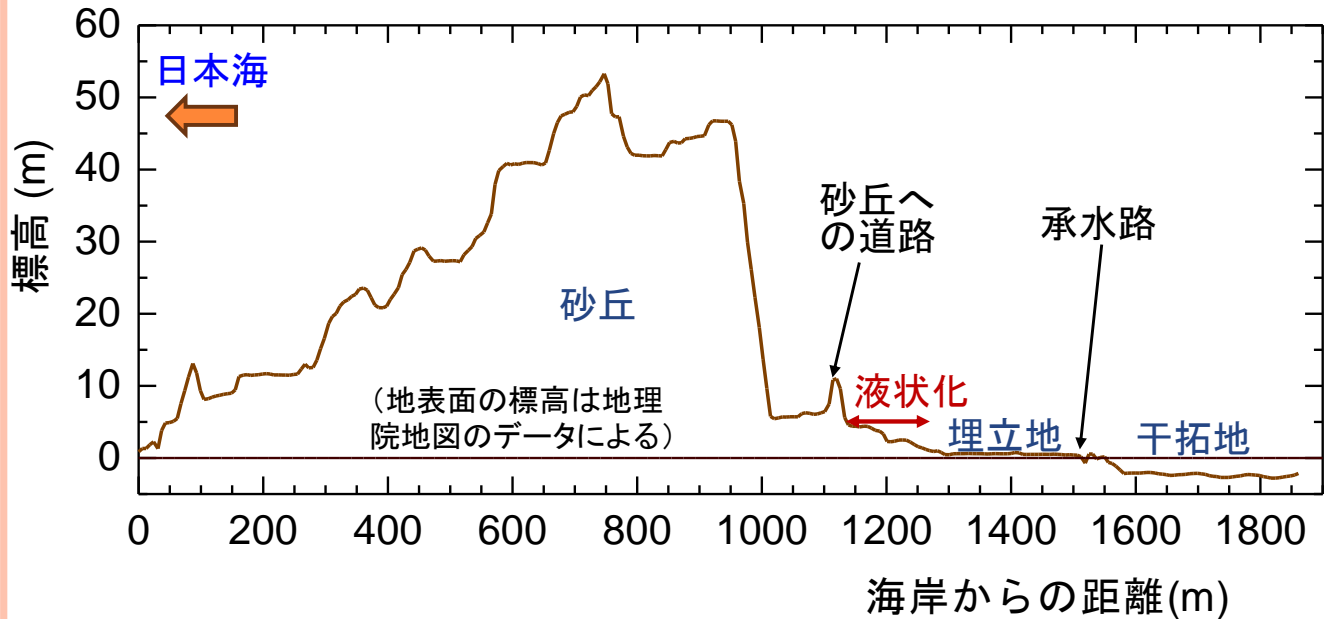
(石原による)

地表面標高と地下水面の深さ



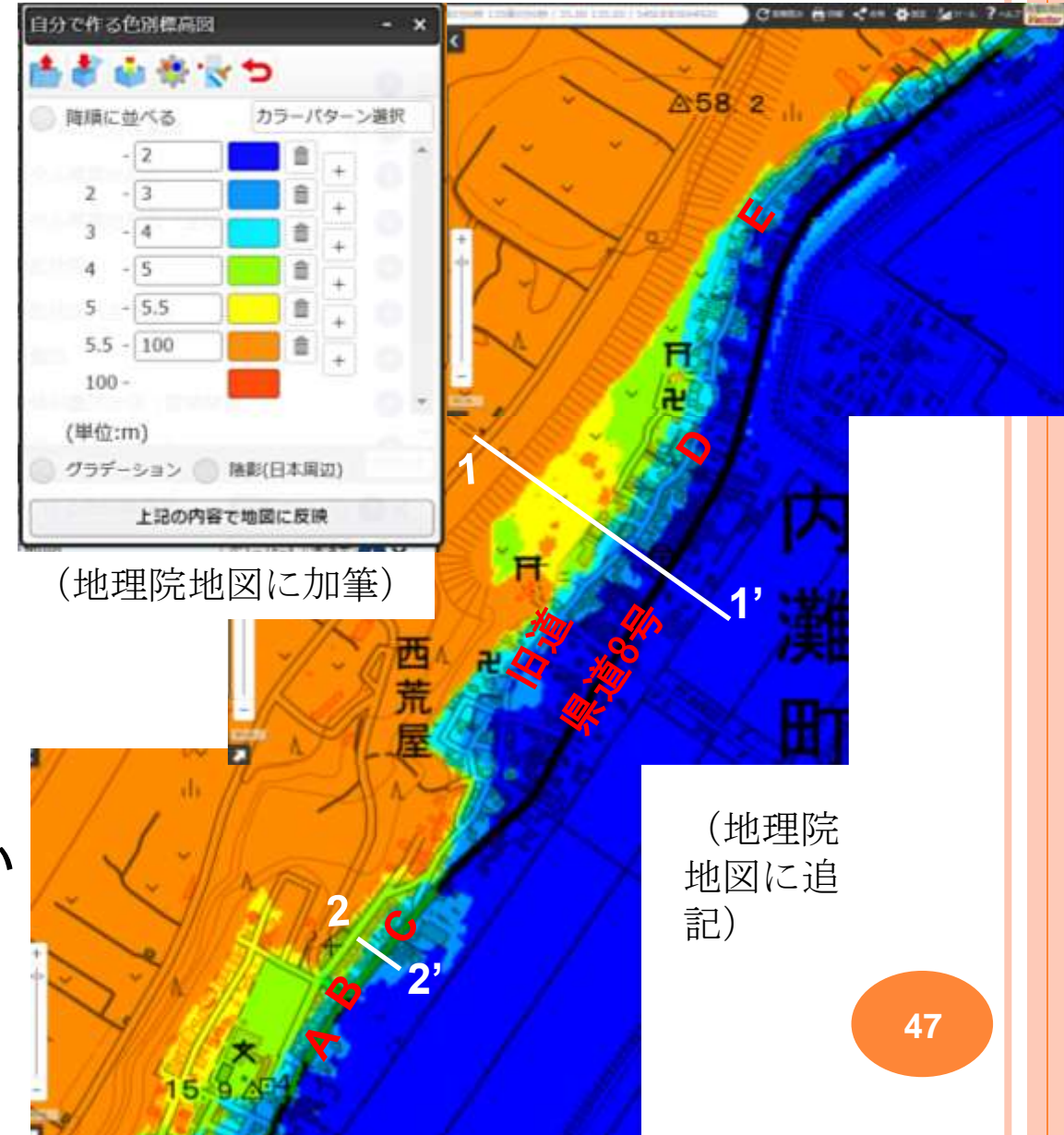
特に側方流動による被害が甚大であった西荒屋地区の被害状況

X-X'断面



- 液状化した緩やかな傾斜地盤が潟に向かって流動していた。
- 標高約2~5.5mの範囲でこれらの被害が発生していると考えられた。

安田進・石川敬祐・笠原誠矢：内灘砂丘の特性と能登半島地震での液状化による流動との関係、第59回地盤工学研究発表会、23-12-3-05、2024。

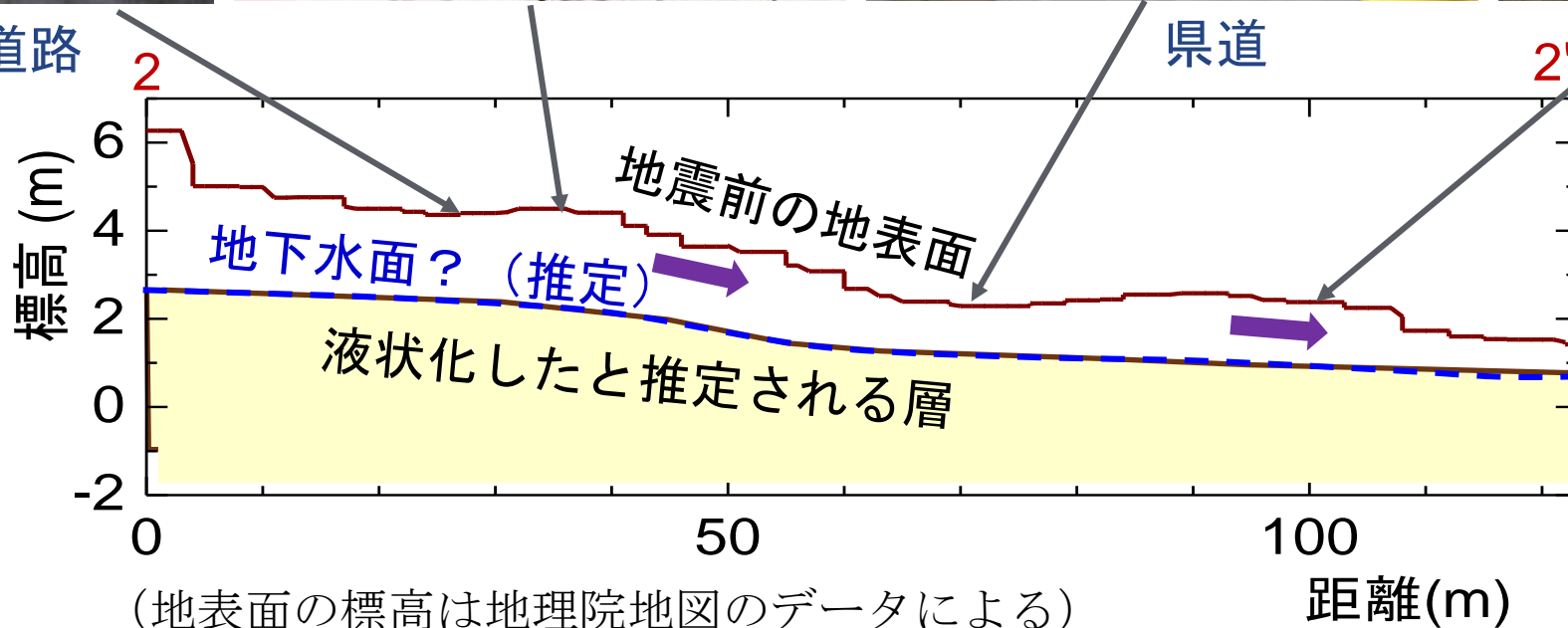


内灘町西荒屋地区の2-2'測線に沿った断面

a) 流動による引張りと沈下 b) 流動による引張り亀裂 c) 流動による圧縮と押上げ d) 流動による引張り亀裂



一つ砂丘側の道路



➤ この間の水平距離は約120 m, 標高差は約3.5 mで平均勾配は1.7°とほんの少し傾斜した地盤

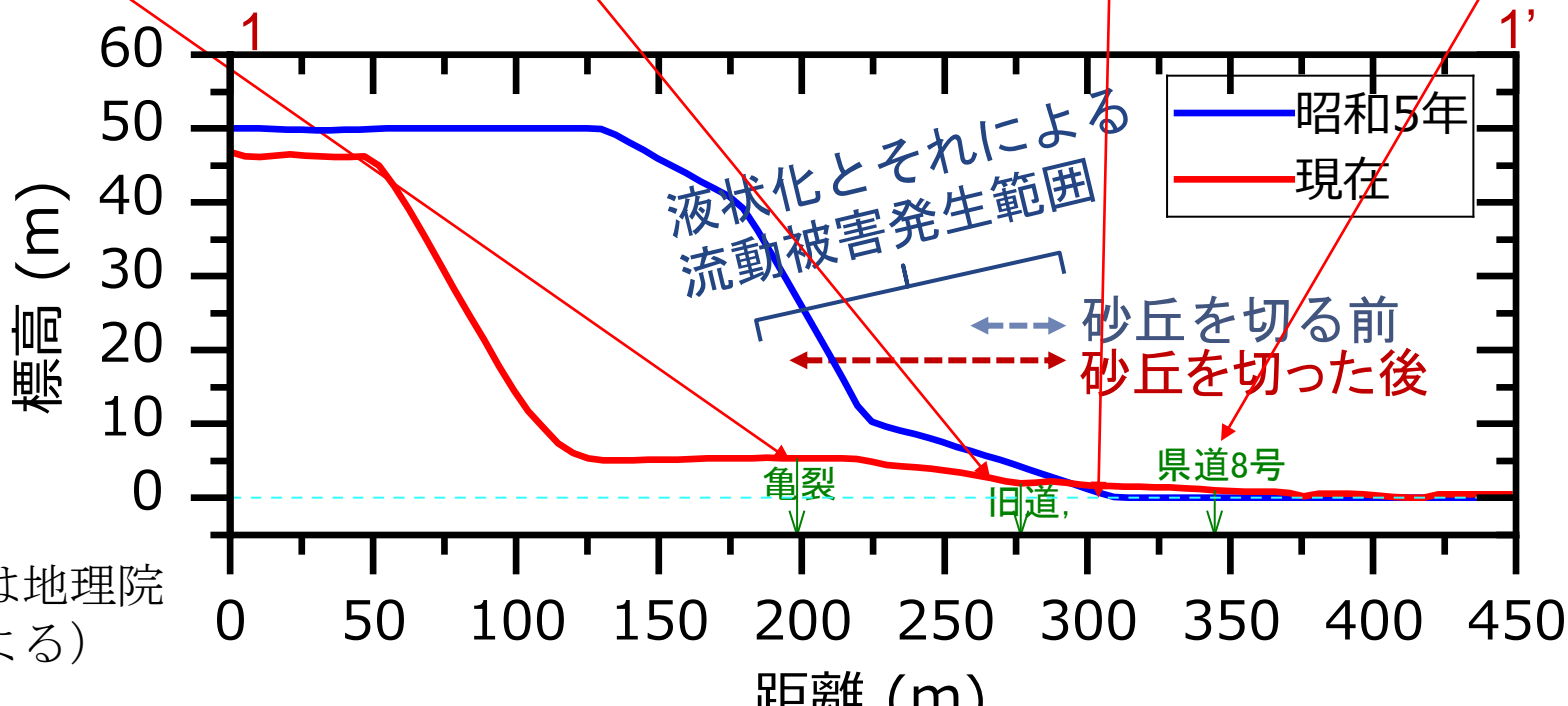
内灘町西荒屋地区の1-1'測線に沿った断面

e) 段差を伴う引張り亀裂 f) 旧道への宅地の流れ出し g) 被災と無被災の境付近 f) 無被害の県道8号



➤ 引張り亀裂が
はいつて流動
が始まった標
高は約5.5 mで
あり、流動が
止まったのは
標高約2 m程度

(地表面の標高は地理院
地図のデータによる)



➤ 砂丘を切らな
ければ流動し
た変位も狭
かったのでは
ないか推測さ
れる。