

西荒屋地区の他の箇所における被災状況

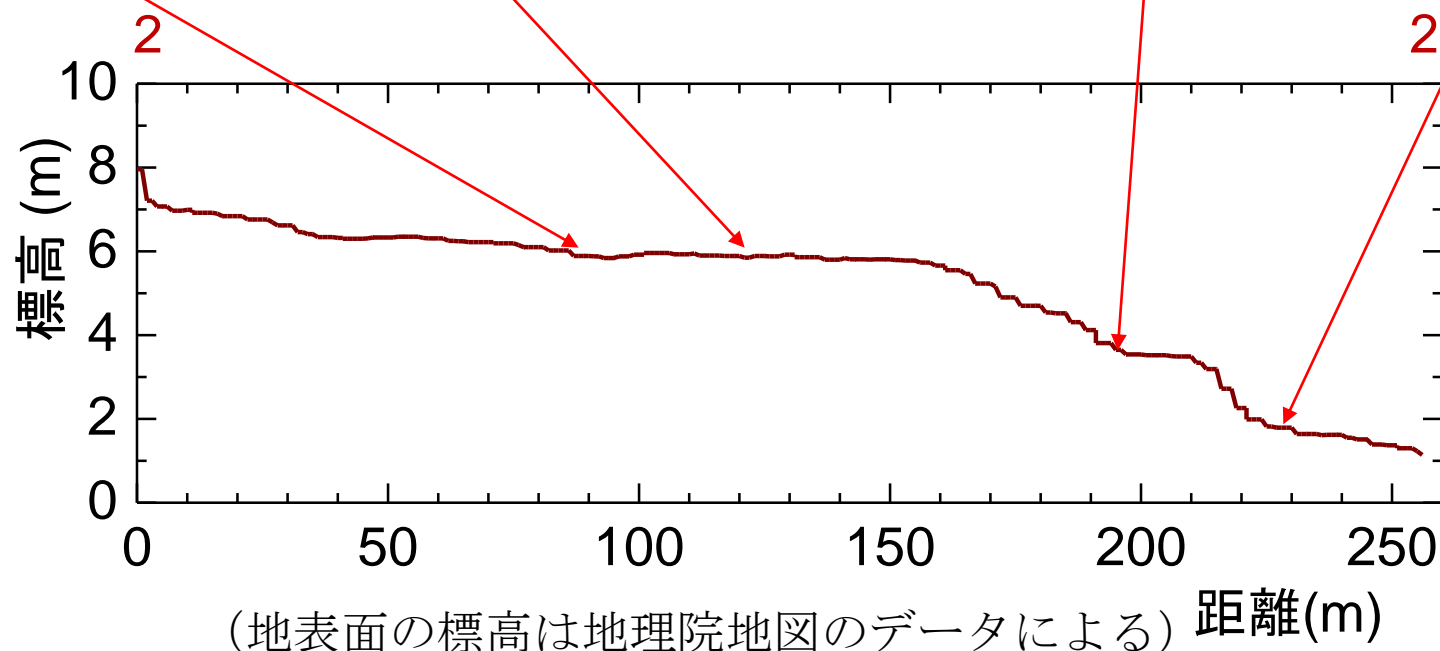


- B地点：流れ出した地盤が県道8号の手前で止まって盛り上がり、通行を遮断した。
- C地点：流動で道路が大きく盛り上がって傾き、電柱も大きく傾いた
- D地点：家屋が電柱にぶつかり激しくゆがんでいた。
- E地点：地盤の流動により旧道に向かって敷地と住宅がせり出した。

他地区での被害状況

かほく市大崎地区の2-2'測線に沿った断面

安田進・石川敬祐・笠原誠矢：2024年能登半島地震により内灘砂丘で発生した液状化被害、日本地震工学会・大会-2024梗概集，B-24-4，2024.



- 標高TP+6 m付近の道路付近から潟側にかけて大きな地割れと噴砂が発生し、大きく流動
- 榊原神社の擁壁にも大きなクラックや段差が発生

- 神社の入口の県道潟側に孕み出し大きく盛り上がり傾斜
- 県道より潟側の建物も地盤の流動によって傾斜.

大崎地区でスクリーウエイト貫入試験によって推定した土層断面と地下水位分布

貫入状況



地下水位測定

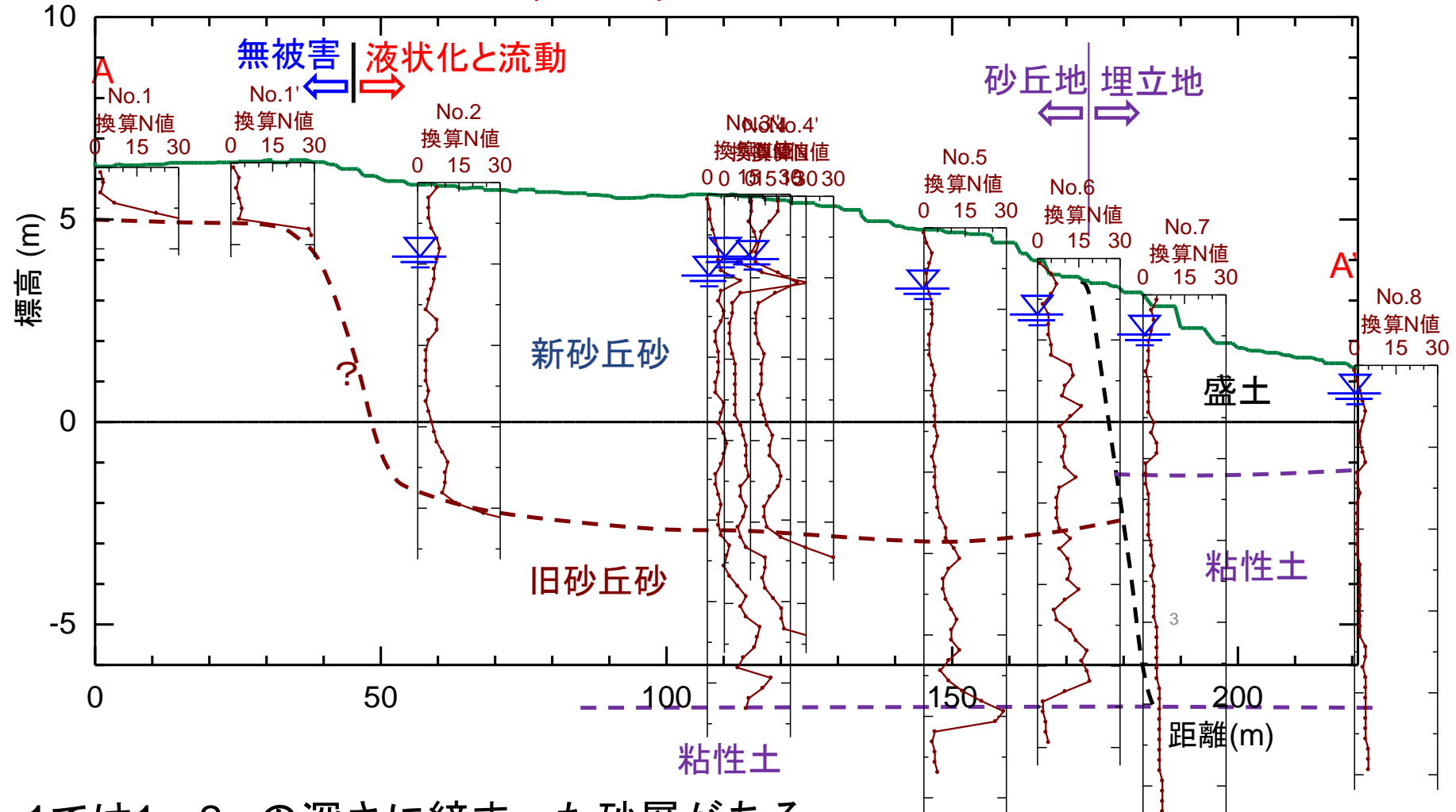


試料採取



- 通常の試験に地下水位測定と土の試料採取を加えて実施
- 2日で10か所調査

大崎地区でスクリーウェイト貫入試験(SWS)によって推定した土層断面と地下水位分布

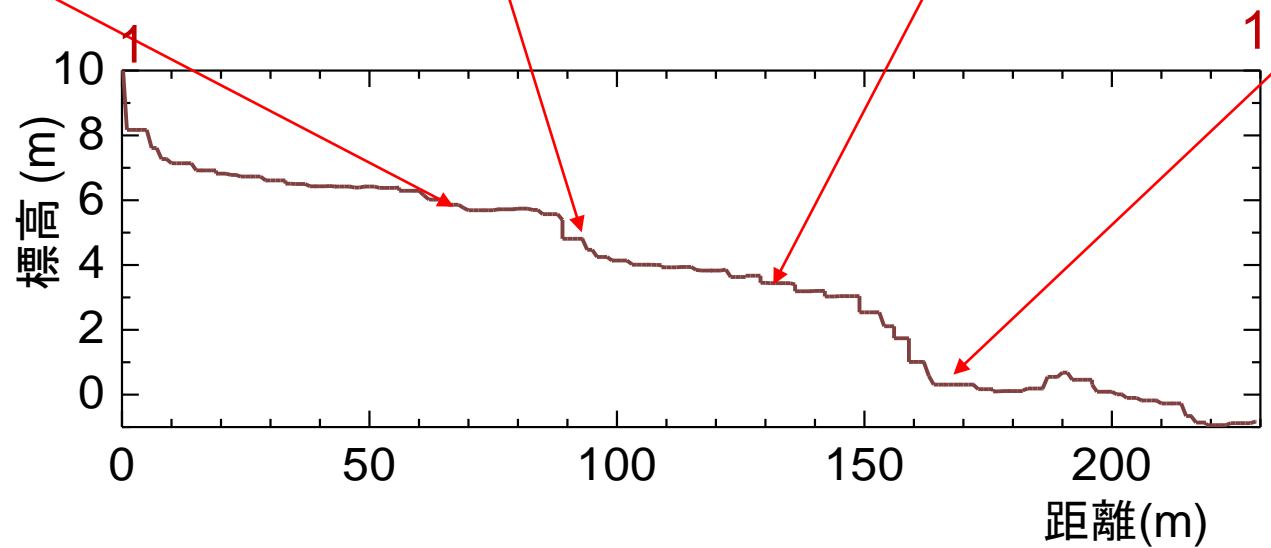


- 無被災のNo.1では1～2mの深さに締まった砂層がある。
- 液状化や流動が発生した範囲では換算N値が5前後の非常に緩い砂丘性の砂層が堆積。
- この範囲では地下水位も深さ1～2m程度と非常に浅く、下流側ほど浅い。

内灘町室地区の1-1'測線に沿った断面



- 標高約4~5 mの県道から潟側の地盤が液状化し、室橋付近から南西側に延長約100 mにわたって承水路の護岸の崩れとともに大きく流れた.
- 建物は潟側に引っ張られて傾斜.



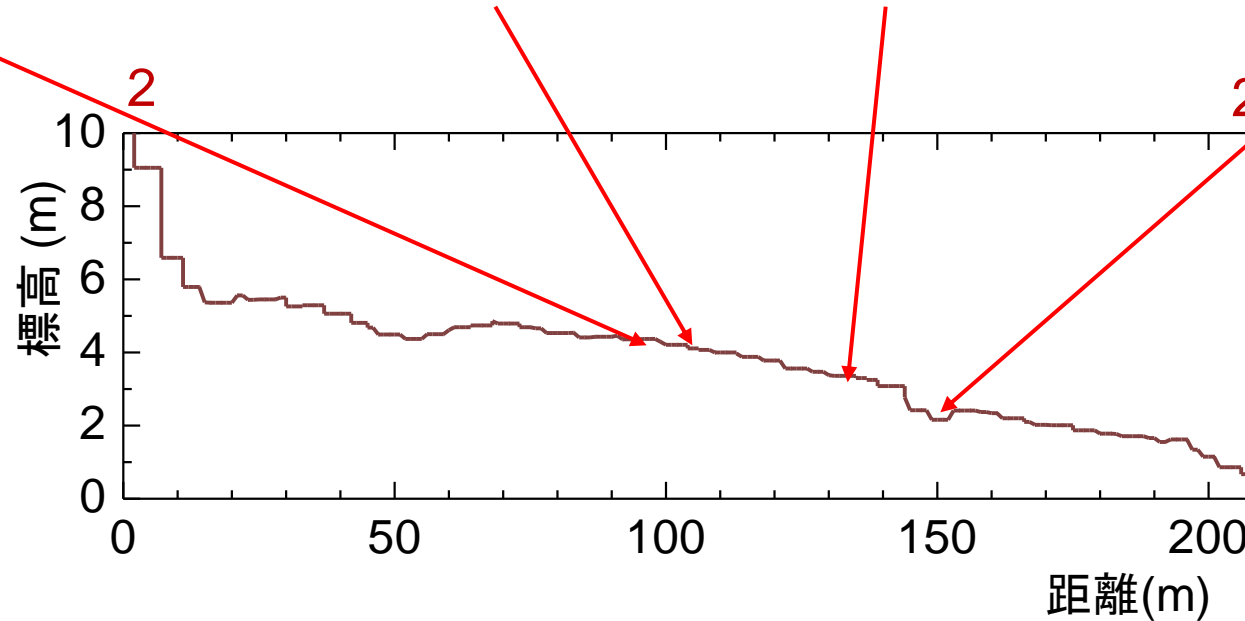
(地表面の標高は地理院地図のデータによる)

- 承水路との中間の建物は甚大な被害を受けた.
- 柱状改良（深度6mを施してあった住宅では目立った被害がなく、液状化した土はすり抜けて流れていったのではなかろうか.

内灘町宮坂地区の2-2'測線に沿った断面



- 標高約2 mの旧道から砂丘側の標高約5 mまでの範囲で、延長約1 kmに渡って液状化と流動による甚大な被害が発生.
- 標高5m付近で大きな引張クラックが発生し、その下流の建物は基礎が引っ張られて変形していた.



(地表面の標高は
地理院地図のデータによる)

宮坂のその他の地点における被害状況



砂丘内陸側縁辺部の液状化および緩やかな傾斜地盤の流動による被害のパターン

引張りで割れた基礎



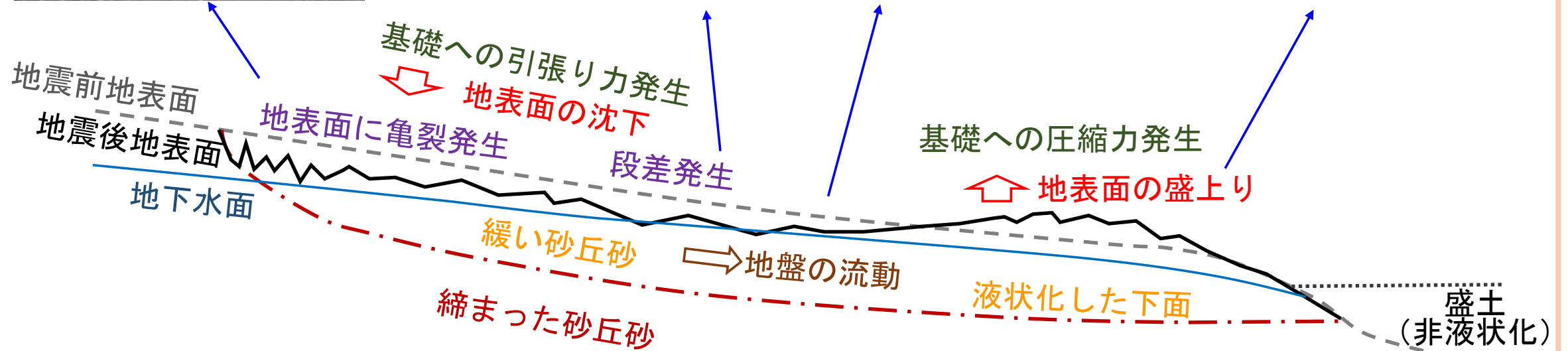
段差で変形した建物



電柱に衝突し歪んだ建物

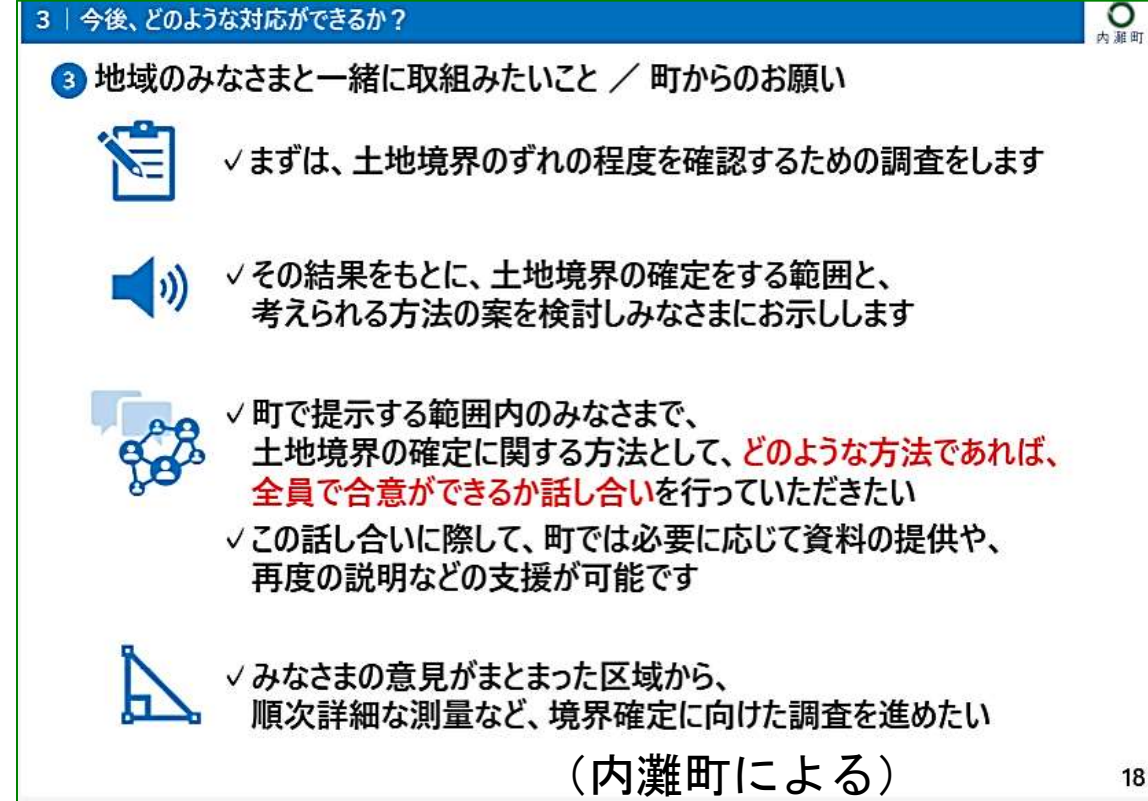
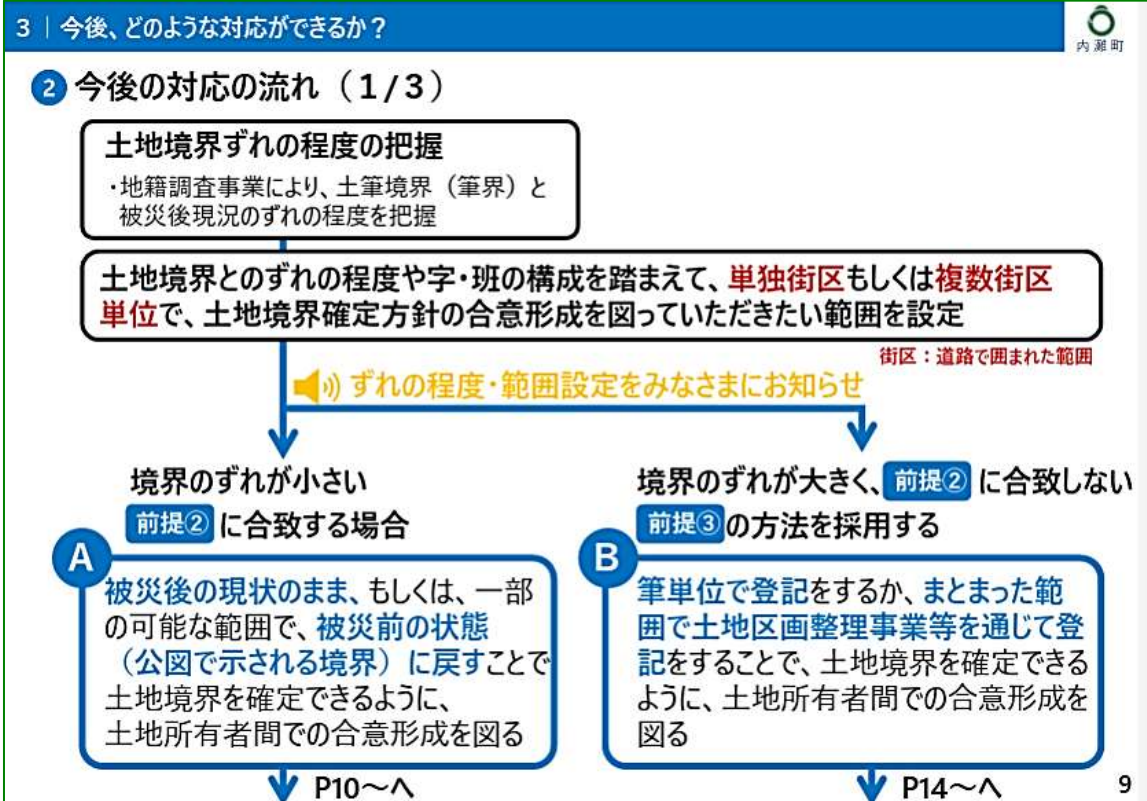


盛り上がった建物



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）

内灘町で令和7年9月に住民の方々に行われた地籍調査事業に関する勉強会



現状：公費解体で多くの宅地が更地になっている。



埼玉県には砂丘はないが。。。

盛土造成宅地の緩やかな傾斜地盤の液状化に伴う流動には留意が必要

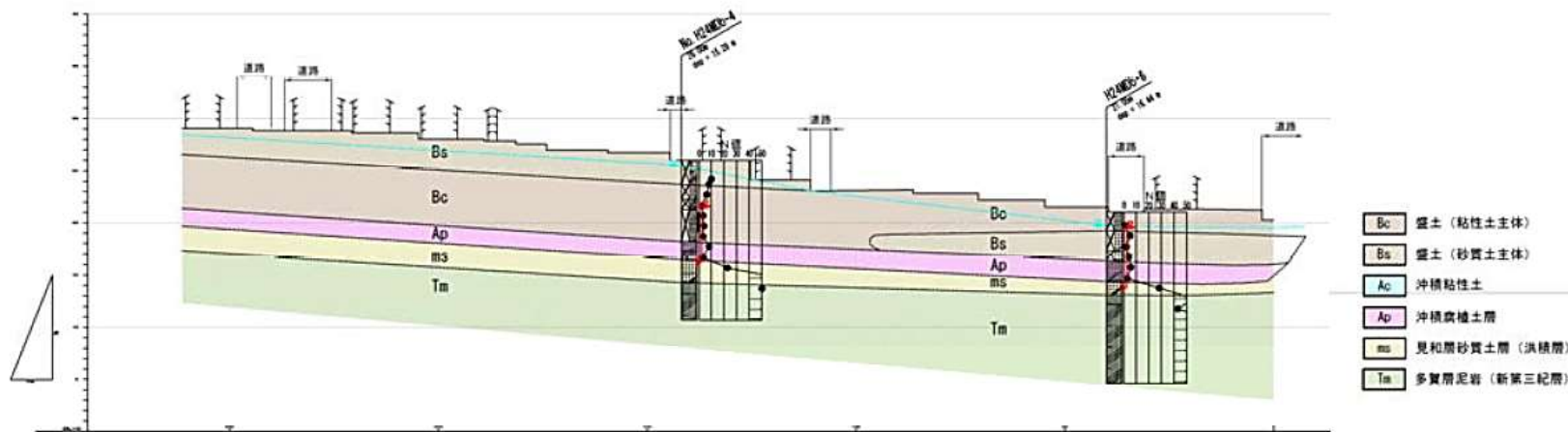
東日本大震災時の東海村緑ヶ丘団地（谷埋め盛土造成地）での液状化による流動と住宅被害



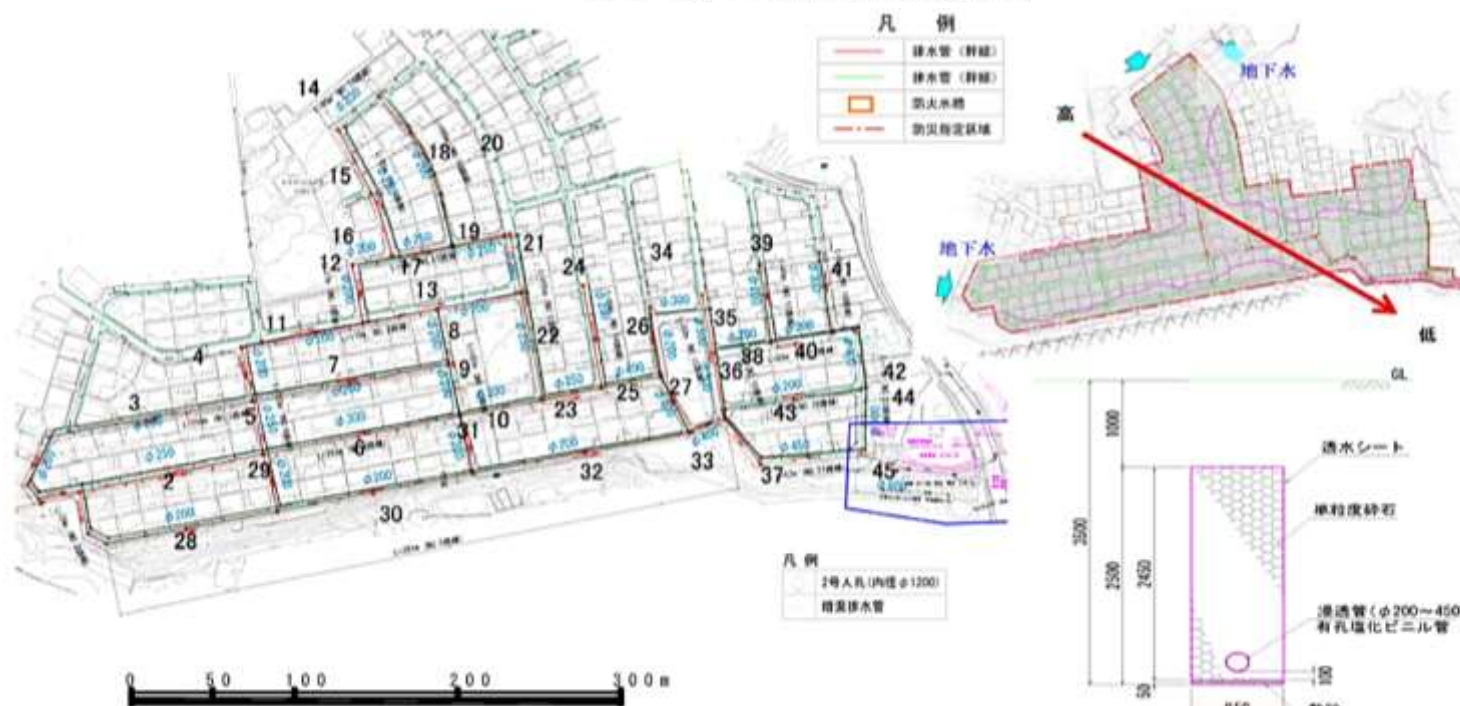
(東海村による)



- 台地の谷埋め盛土で液状化が発生し、緩やかな傾斜のひな壇状の住宅地で流動も発生した。これらのため、住宅が被害を受けた。



➤ 暗渠排水管を設置して地下水位を低下させ、液状化および流動に対する対策が施されて復旧した。



橋本隆雄・大山丈吉・安田進：東日本大震災による東海村南台団地・緑ヶ丘団地の被害分析及び復旧対策について，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. 366-374，2014.

クライストチャーチで複数回液状化で被災した住宅地では集団移転

2010年9月8日撮影 前震後



2011年3月2日撮影 本震後



2011年6月13日撮影 余震後



(細野氏撮影)

2013年12月4日撮影

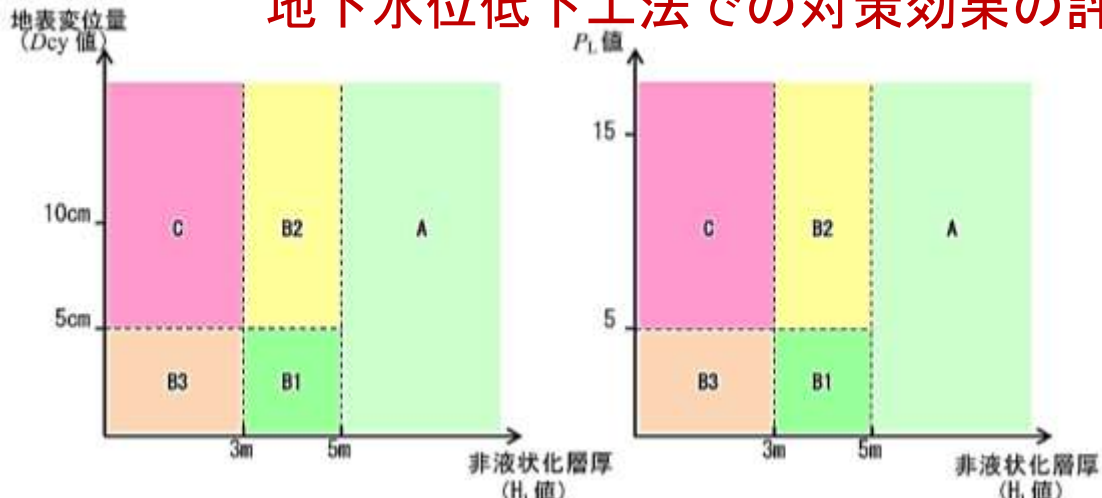


(集団移転後)

日本では道路・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
市街地液状化対策推進ガイドンスに従って現在検討が進められている

- (1) 被災情報の収集・連絡
- (2) 被災概要の把握
- (3) 対策工法の検討
- (4) 一体的液状化対策検討地区の選定
- (5) 一体的液状化対策事業の計画
- (6) 一体的液状化対策工事の実施

地下水位低下工法での対策効果の評価方法



判定結果	地下水位低下工法
C	不可
B3	不可 (※)
B2	液状化被害軽減の目標として可
B1	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。

金沢市栗崎地区における検討状況

被災状況



金沢市：金沢市被災地区復旧技術検討会議

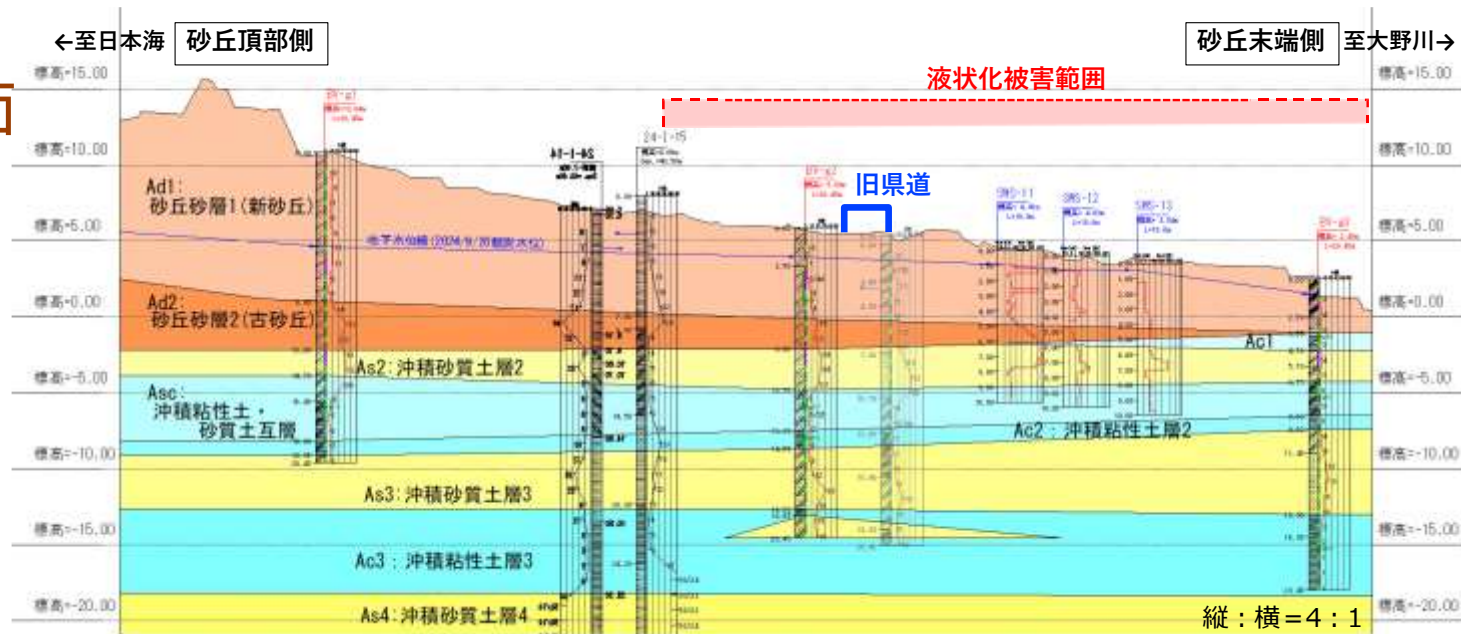
地盤調査



地点	
ボーリング 15箇所	● 2箇所
	● 8箇所
	● 5箇所
SWS 18箇所	● 18箇所

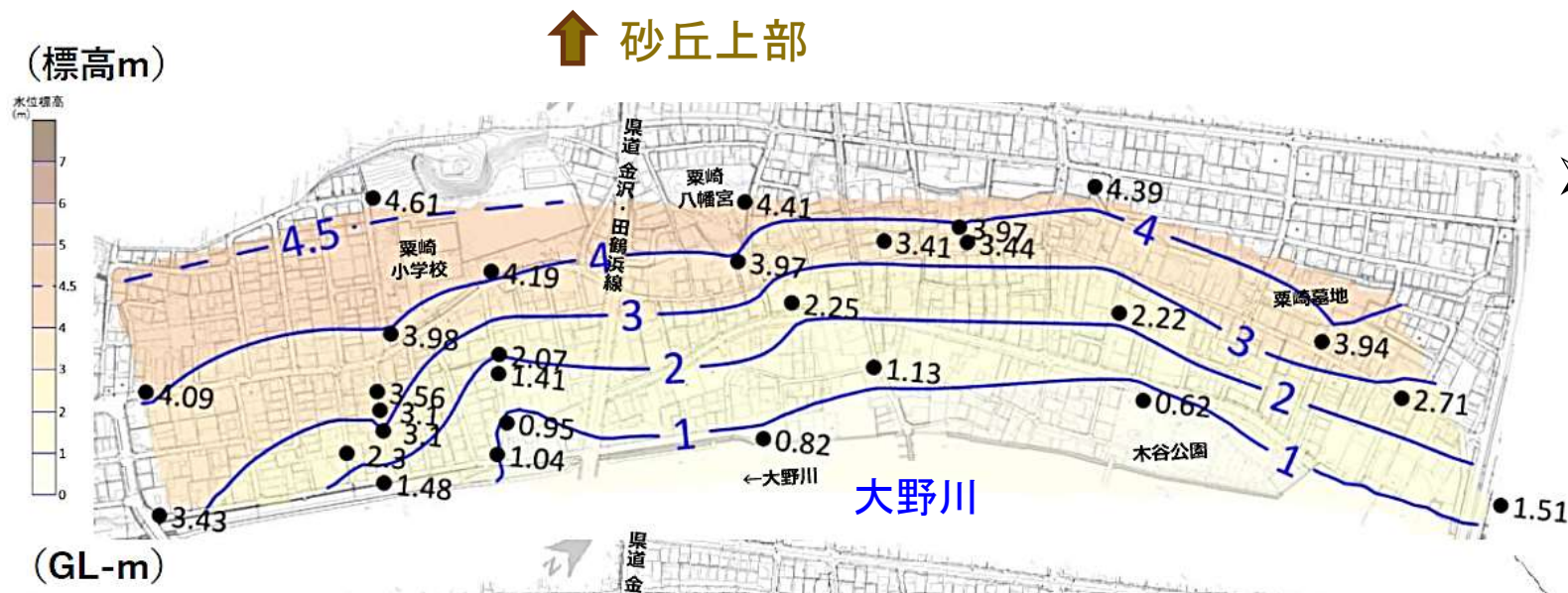
➤ 18箇所でSWSの孔をあけておいて、一斉に地下水位を測定

推定断面



(金沢市による)

地下水位 の分布推 定結果

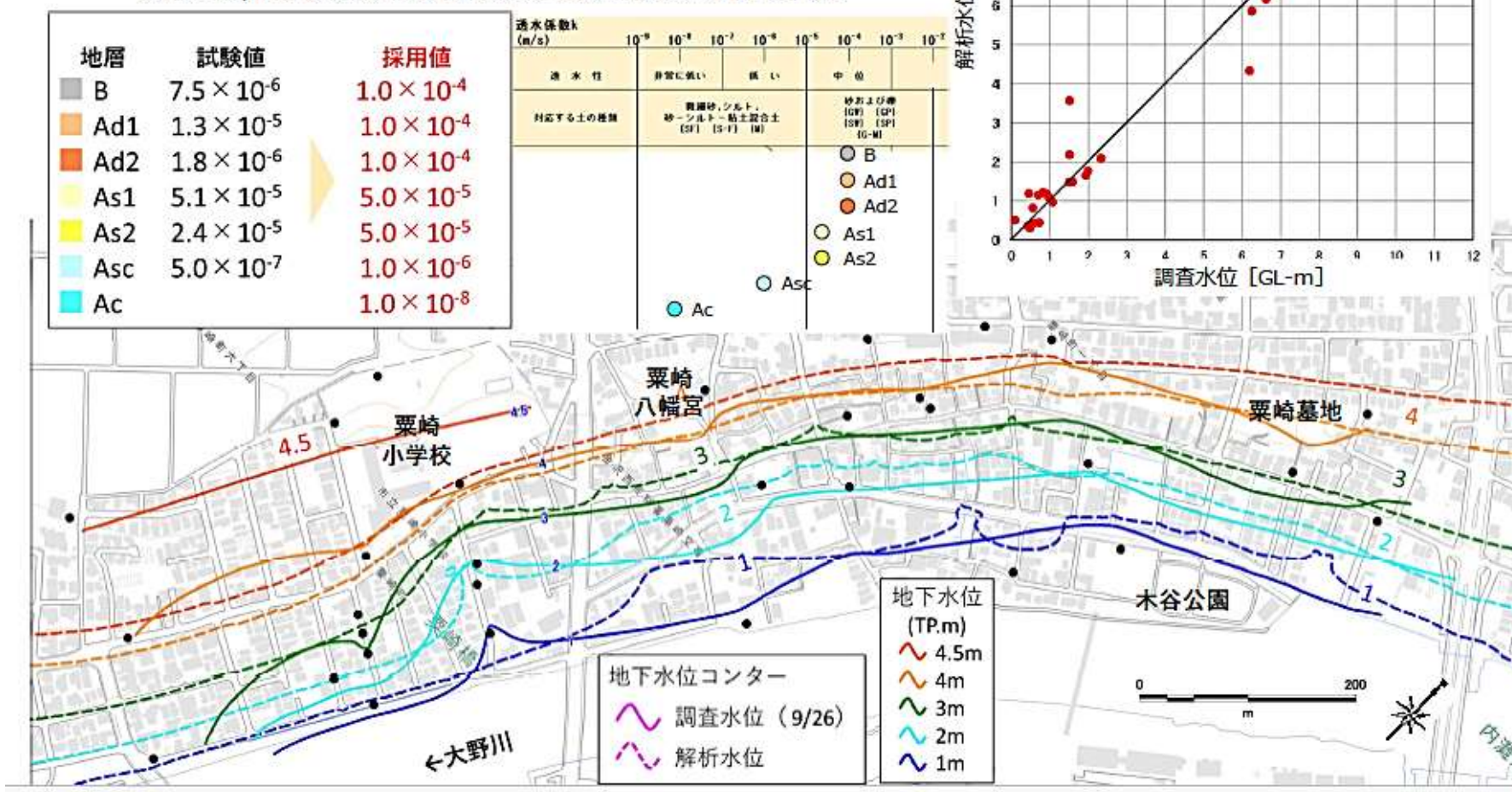


➤ 地下水が砂丘上部から大野川に向かって流れていることを確認

三次元浸透流解析における透水係数の調整

【現況の再現解析の結果】

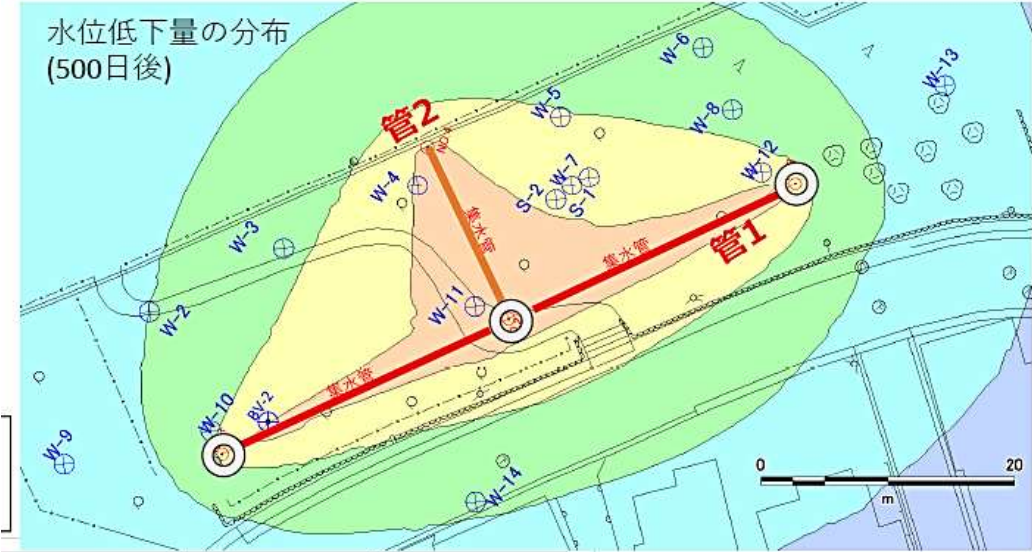
- ・透水係数の組み合わせを微調整し、トライ&エラーを繰り返す再現計算を実施
- ・調査水位と解析水位の関係が、概ね一致する以下の透水係数を採用
- ・今後、実証実験の結果を踏まえ、透水係数を精査予定



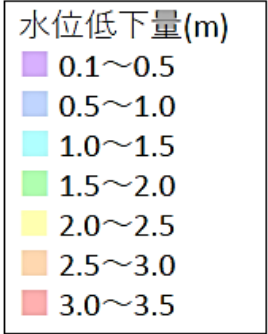
➤ 現場透水試験で得られた透水係数より1桁大きい透水係数（水平・鉛直方向同じ）を用いると現状の地下水位分布と整合。

第4回金沢市被災地区
復旧技術検討会議資料
(2025年2月14日)

地下水位低下の実証実験と三次元浸透流解析による地下水位低下の予測結果



第4回金沢市被災地区
復旧技術検討会議資料
(2025年2月14日)



第5回金沢市被災地区
復旧技術検討会議資料
(2025年8月22日)

➤ 栗崎小学校
の校庭の隅
で実施。

2025年5月24日に行われた実証実験の住民見学会

家族みんなで行こう！

無料
小冊子付

栗崎地区 液状化対策見学会

～安全・安心な栗崎を共に創ろう～

栗崎地区の液状化対策に向け今年3月31日から開始した実証実験（地下水位低下工法）の状況や様子を使った液状化実験、住宅模型による耐震実験、防災グッズの展示など、地震や防災について、家族みんなで学べます。

開催日 **5月24日** 土 11:00～14:00

場 所 **栗崎小学校 緑地・体育館**
※駐車場がないため車での来場は出来ません。

更に！
先着**100**名に
防災食セットを
プレゼント！

実証実験見学・模型実験



※数回と美味しい！

非常食の試食



ドリンク付き

クイズラリー

防災グッズ等が当たる！

相談窓口

被災宅地復旧に係る補助制度や
復旧工事等についての相談

防災学習

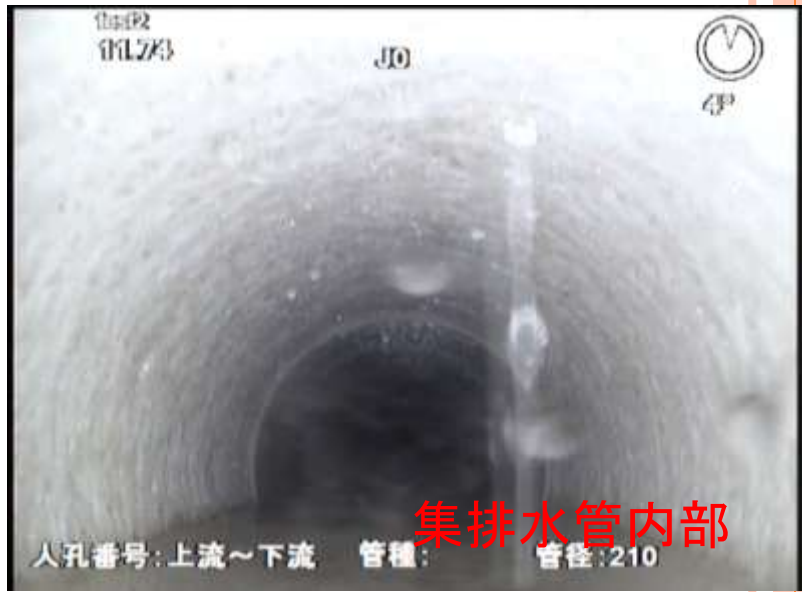
- ・防災グッズの展示と組み立て体験（簡易テント・トイレ、持ち出し袋等）
- ・映像機器による災害体験
- ・住宅模型による耐震実験
- ・液状化実験など

主催：金沢市 危機管理課 被災地区復旧推進室（☎076-220-2362）
協力：栗崎校下町会連合会・金沢市立栗崎小学校ほか

**こども限定！
体験者に景品を
プレゼント！**



立坑内



集排水管内

（金沢市による）

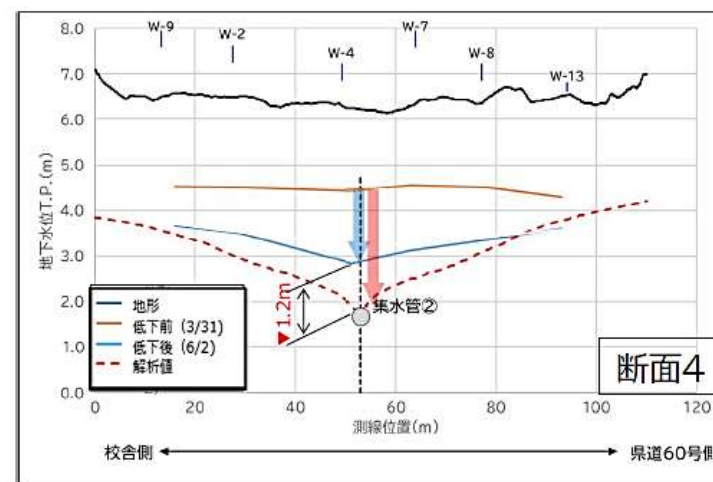
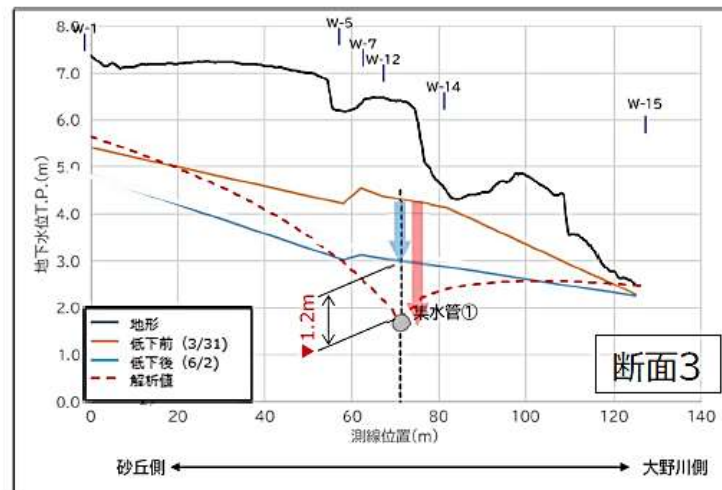
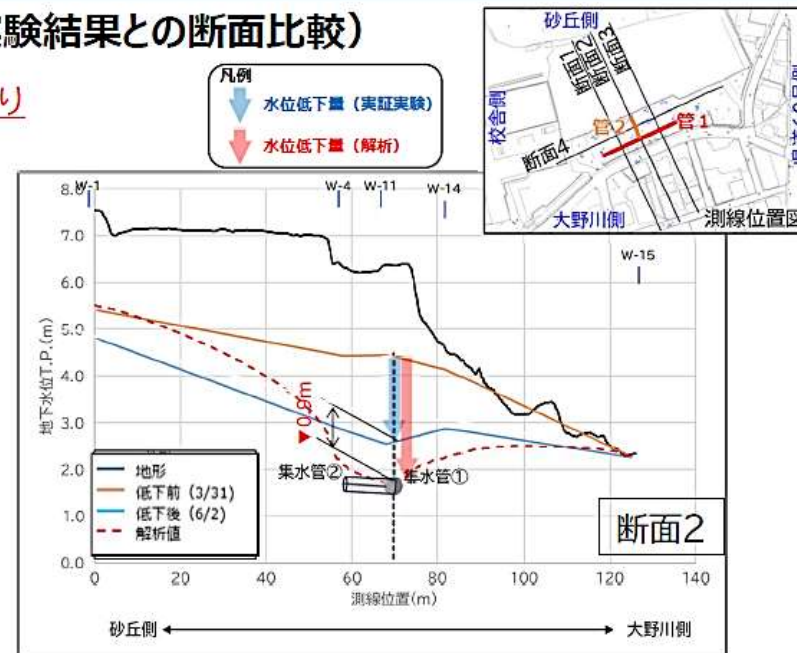
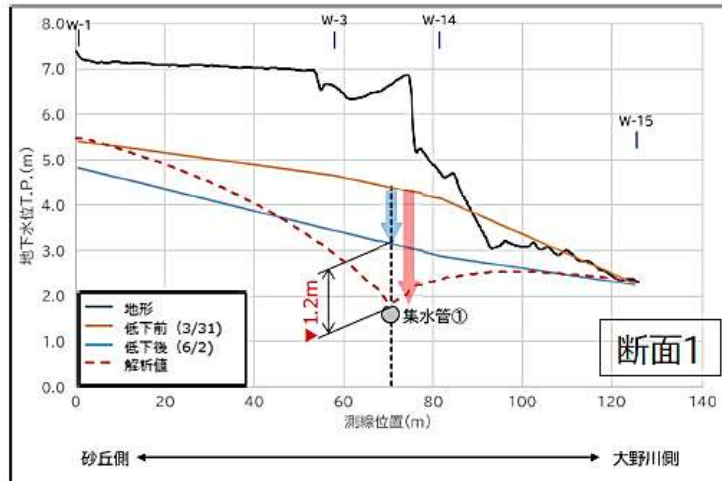
実証実験箇所における三次元浸透流解析結果と実験結果の比較

1. 実証実験の経過報告

6

① 地下水位計測（三次元浸透流解析の値と実験結果との断面比較）

- 実験値は、解析値と比較し、最大1.2m程度高止まり



➤ 予備解析結果より最大1.2m高止まりした。

第5回金沢市被災地区
復旧技術検討会議資料
(2025年8月22日)

鉛直方向透水係数を調整した三次元浸透流解析透水係数の再解析

2.1 三次元浸透流解析による再解析

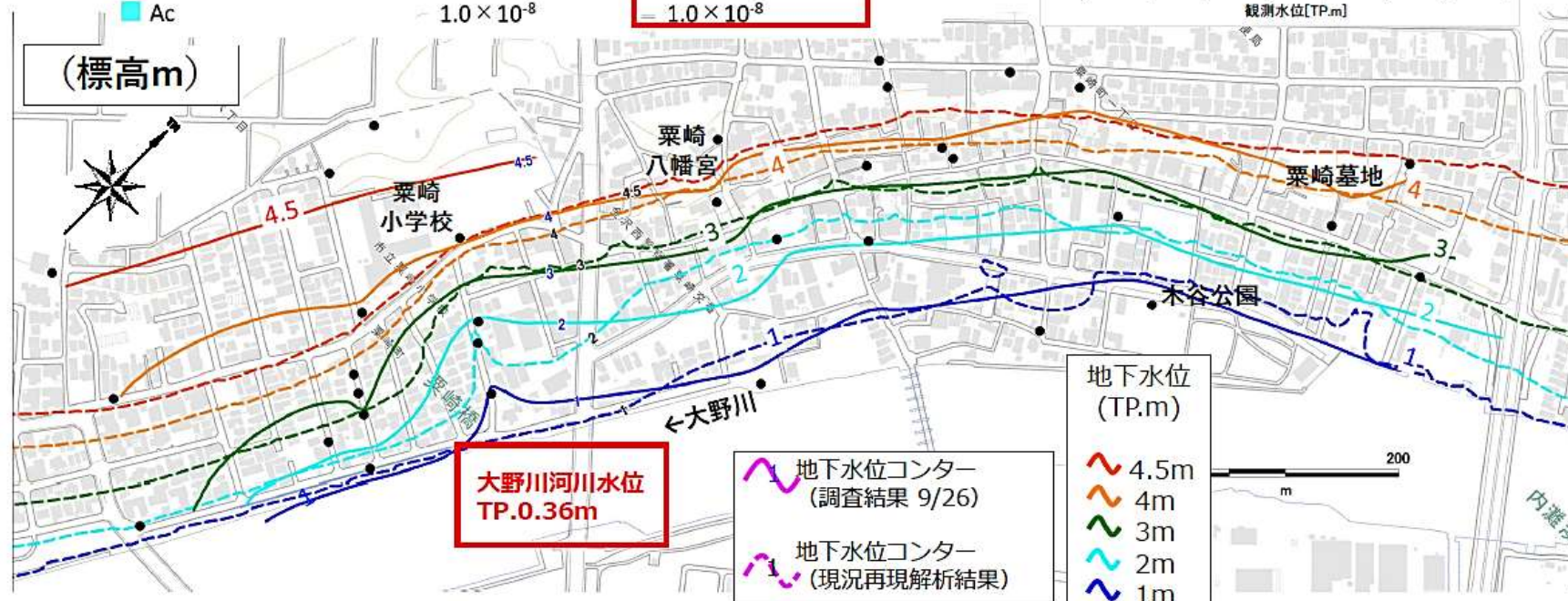
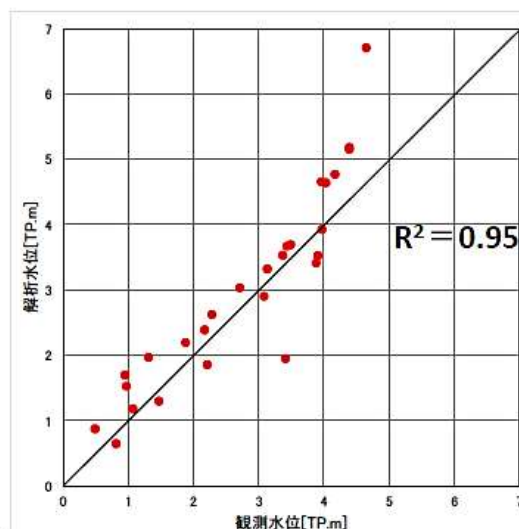
- ・ 再設定値により解析した結果、現況の地下水位と概ね近似

⇒ **再設定した透水係数は妥当**

地層	試験値	前回
B	1.3×10^{-5}	1.0×10^{-4}
Ad1	1.8×10^{-6}	1.0×10^{-4}
Ad2	5.1×10^{-5}	1.0×10^{-4}
As1	2.4×10^{-5}	5.0×10^{-5}
As2	2.4×10^{-5}	5.0×10^{-5}
Asc	5.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Ac		1.0×10^{-8}

今回（再設定値）

1.0×10^{-4}
水平 1.0×10^{-4}
鉛直 3.0×10^{-6}
水平 1.0×10^{-4}
鉛直 3.0×10^{-6}
 5.0×10^{-5}
 5.0×10^{-5}
 1.0×10^{-6}
 1.0×10^{-8}



- 鉛直方向の透水係数を2桁下げると、実証実験の結果と合った。

第5回金沢市被災地区
復旧技術検討会議資料
(2025年8月22日)

地下水位低下後の対策効果の確認

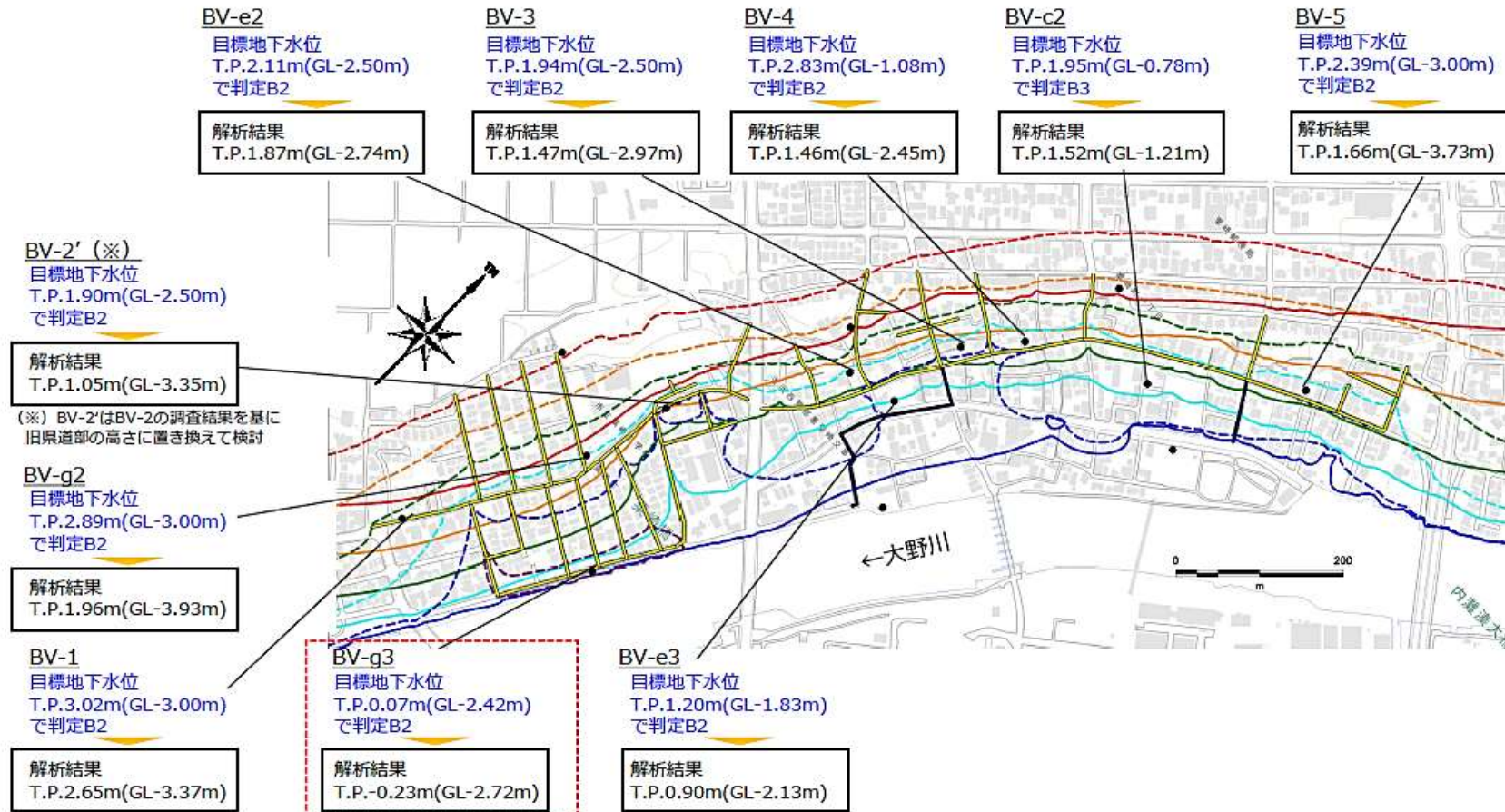
3.1 集排水管配置計画の液状化判定

① 地下水位低下量

- 全ての箇所で目標地下水位以下を達成（平均で30%程度深い値）

※g3については、ポンプによる排水を行うことで、地下水位が目標地下水位以下となる

T.P.0.15 → -0.23（目標地下水位：0.07）



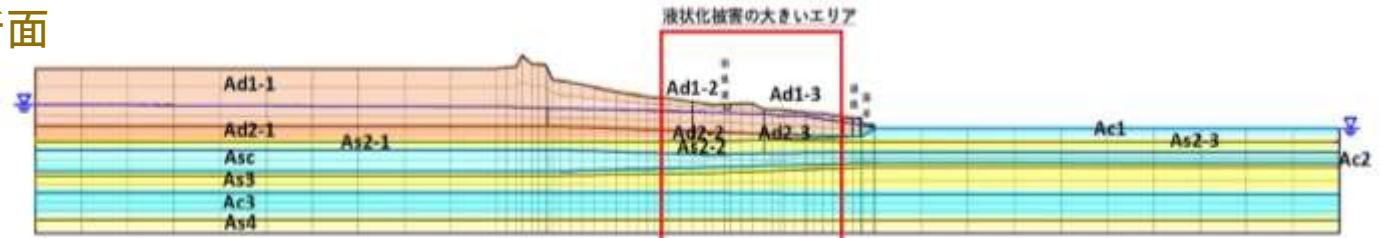
- 当初計画より集排水管の深度を少し下げ、少し集排水管を増やすように配置計画を見直した。
- その配置で全ての箇所でC判定でなくなった。

第5回金沢市被災地区
復旧技術検討会議資料
(2025年8月22日)

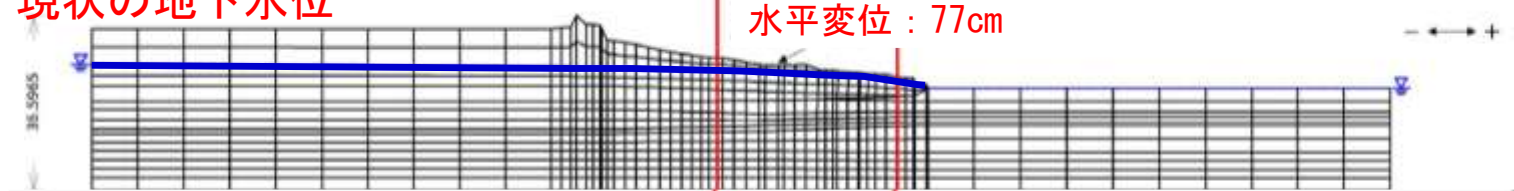
暗渠集水管で地下水位を下げた場合の流動対策効果の評価

- 残留変形解析法のALIDによる解析で地下水位低下により水平変位が軽減することを確認

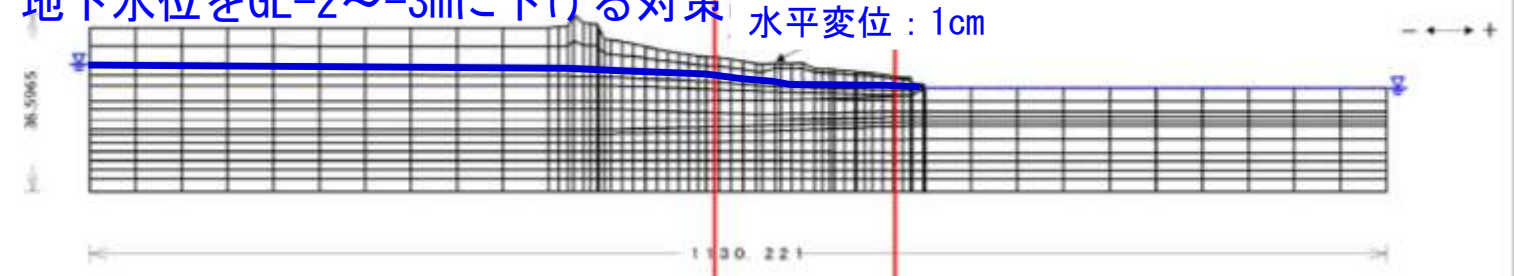
(1) 断面



(2) 現状の地下水位



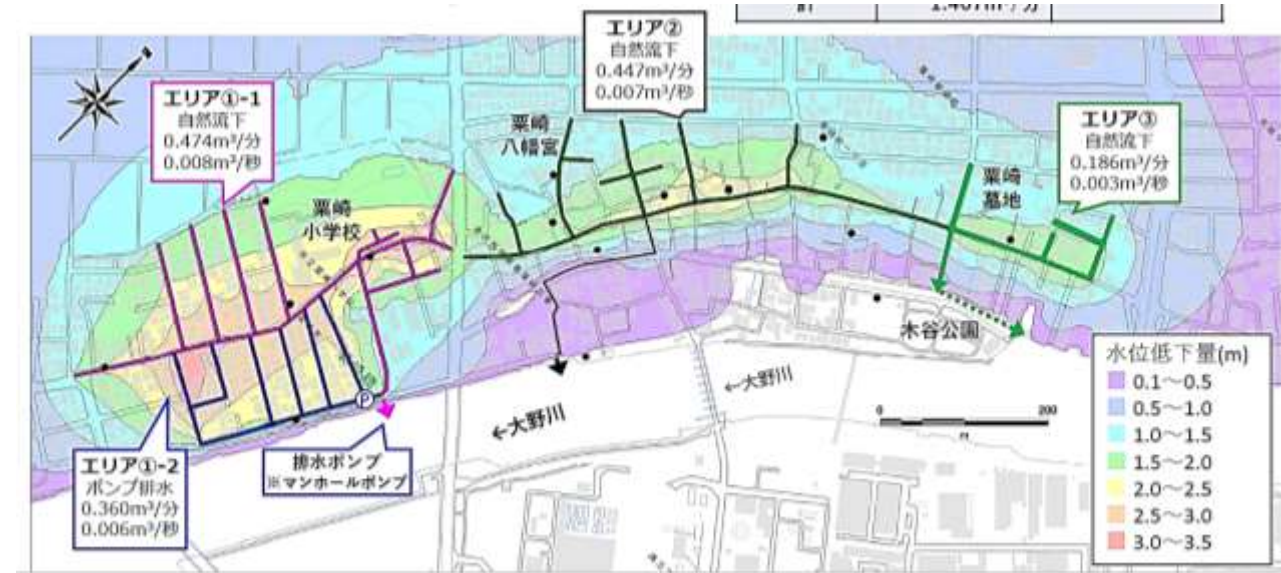
(3) 地下水位をGL-2~-3mに下げる対策



集排水管配置計画

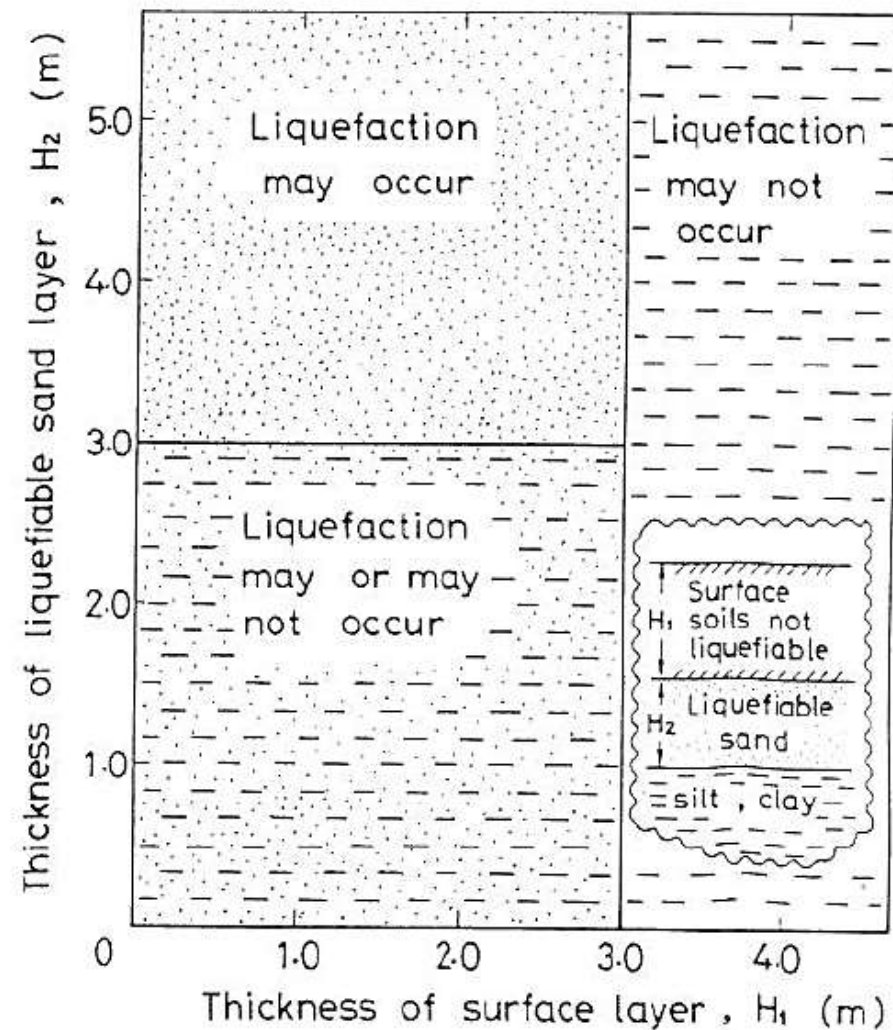
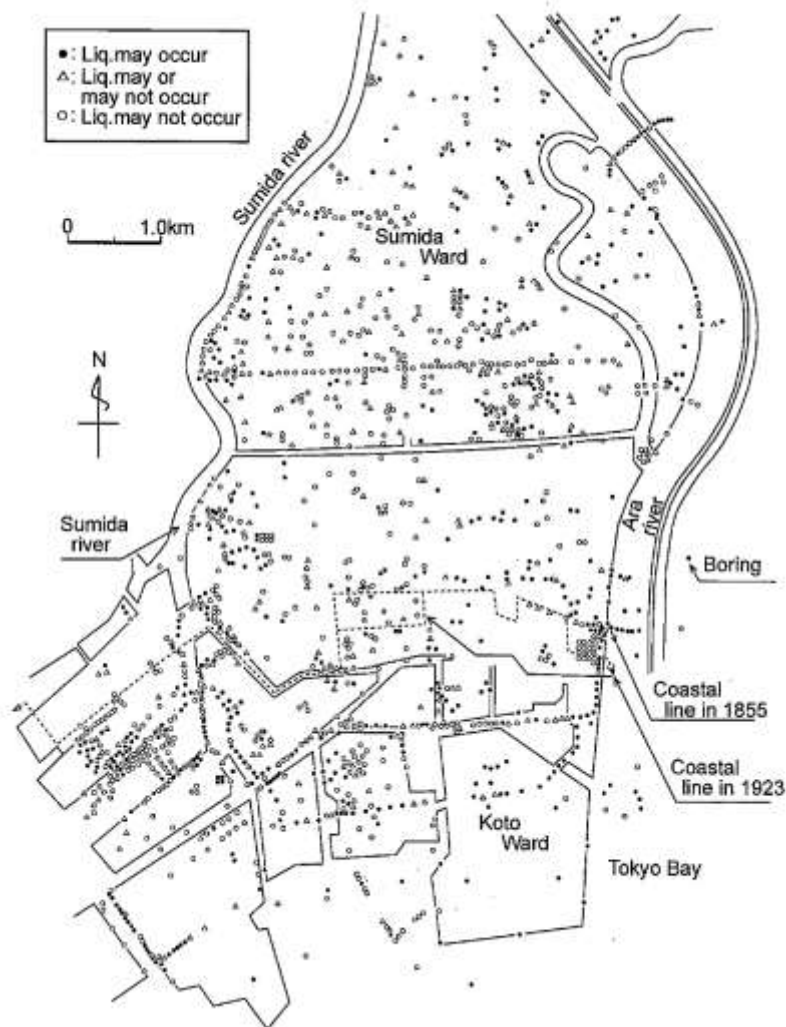
- 三次元浸透流解析で地下水位が所定の深さに下がることを確認

(金沢市による)



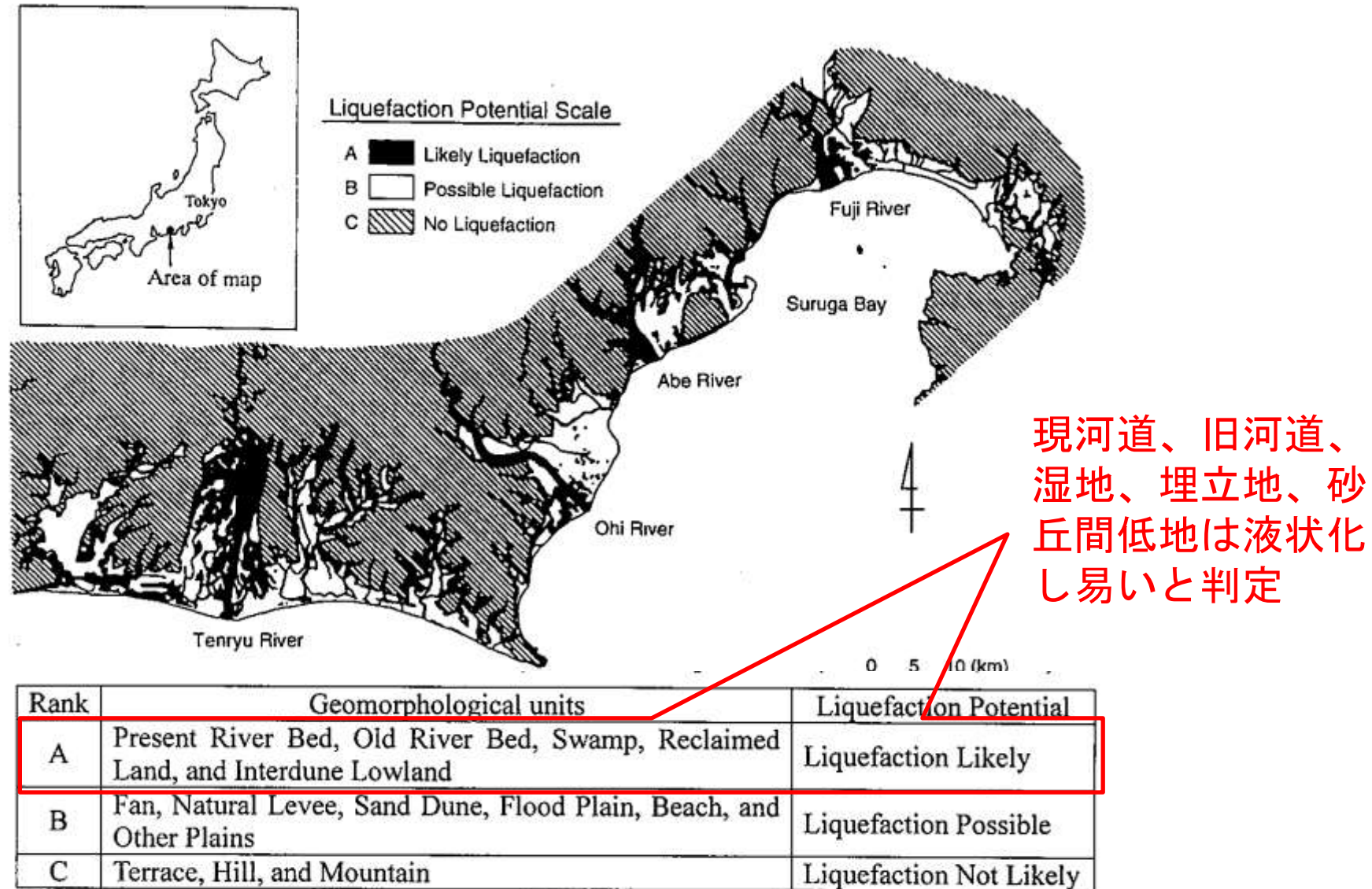
4. 液状化ハザードマップの作成とその限界

我が国でボーリングデータに基づいて最初に作成された液状化ハザードマップ



(石原・小川, 1978による)

我が国における微地形に基づいて全国的に作成された最初のハザードマップ



(Iwasaki, Tokida, Tatsuoka, Watanabe, Yasuda and Sato, 1982).

F_L 法による液状化判定をもとに、その地点の液状化指数 P_L を算出してハザードマップを作成する方法の開発

F_L はある深さでの液状化の発生を判定するだけなので、その地点で液状化が構造物に与える影響を評価する指標が必要

液状化指数 P_L （1878年に提案）

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L)(10 - 0.5z) dz$$

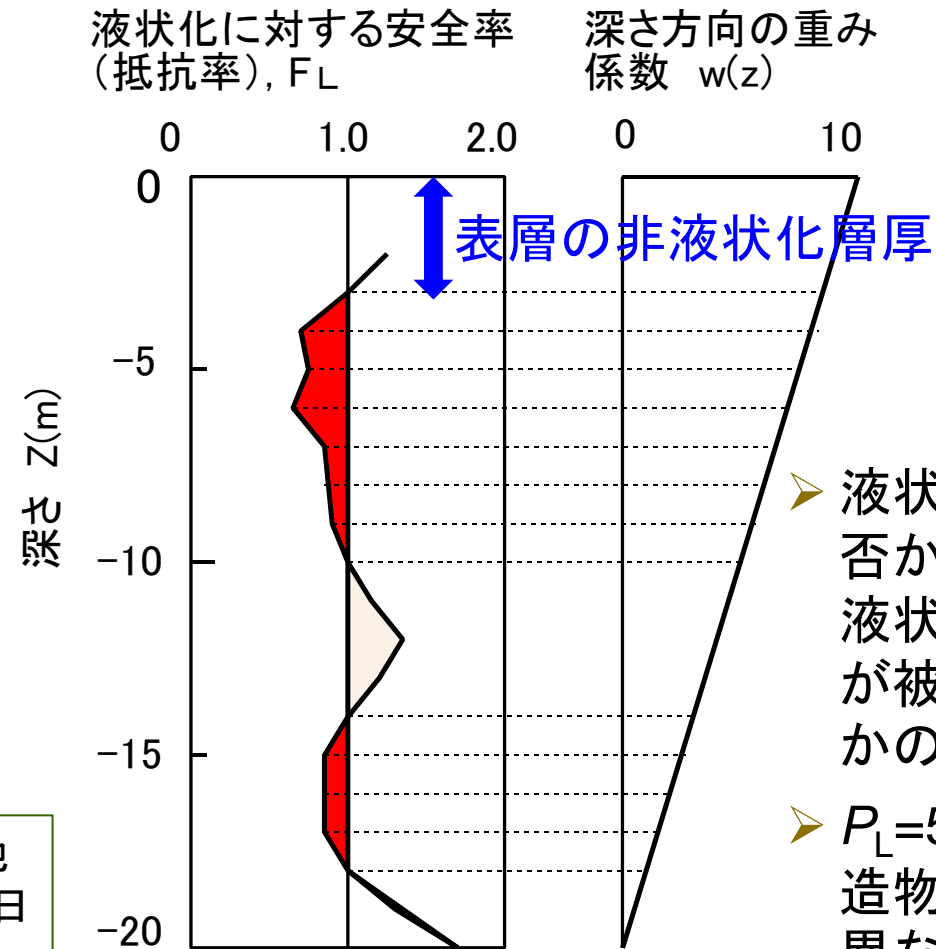
ただし $F_L > 1$ の場合は $(1 - F_L)$ は0

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

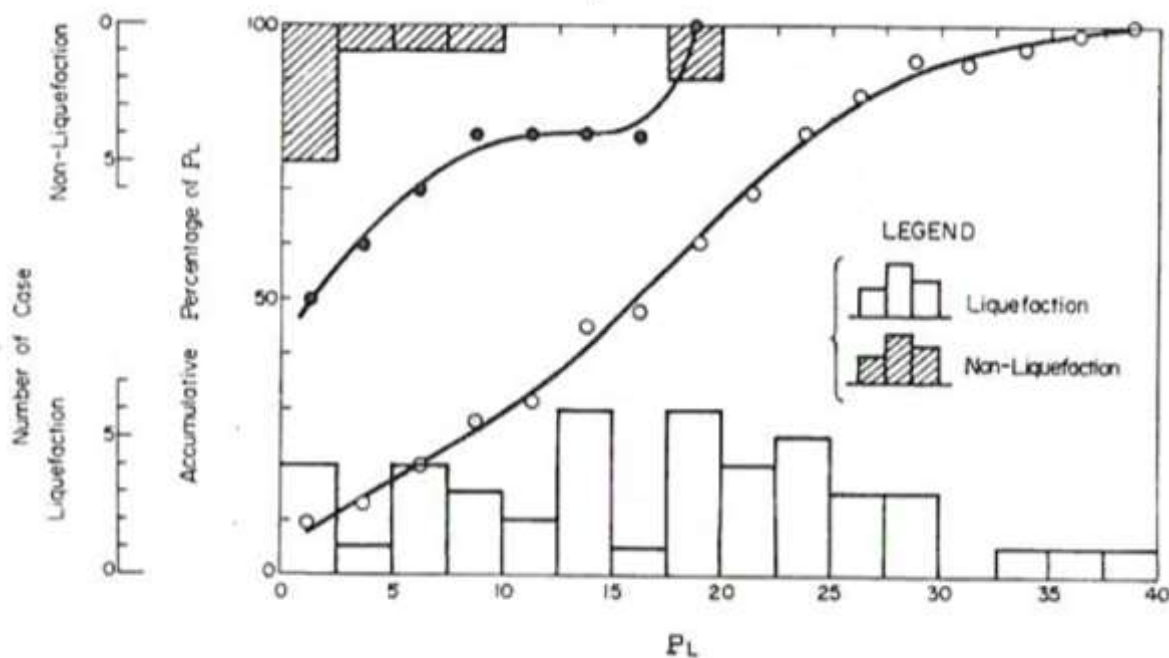
岩崎敏男・龍岡文夫・常田賢一・安田進：砂質地盤の地震時流動化の簡易判定法と適用例、第5回日本地震工学シンポジウム、pp. 120-126、1978.



- 液状化が発生するか否かの判定ではなく、液状化により構造物が被害を受けるか否かの評価手法。
- $P_L=5$ や15の閾値は構造物の種類によって異なるはずである。

液状化指数 P_L を最初に提案した1978年の原論文での考え

- P_L が5とか15で被害がきれいに分かれるわけではない。
- どんな構造物に適用できるかは特定していない。



Site	Earthquake	Soil Data	Depth of Water Table, m	Soil	Major Soil Type	σ'_{max} (gals)	P_L	P_L^*	Field Behavior	Ref.
Jindo ji	Niigata, 1964, $M=7.5$	A	2.3	E	Fine Sand	170 ⁽¹⁾	0.0	0.0	X	
Kogane Cho		A	5.2	E	Medium Sand		0.0	0.0	X	
Shinano River Railroad Bridge		A	2.0	M	Fine to Med. Sand		9.0	5.7	0	(13)
		A	2.5	M	"		249	16.4	0	
Higashi-Kosen Bridge		A	0.5	E/M	Fine to Coarse Sand		5.8	5.6	0(16)	
		B	2.5	M	"		1.3	1.0	0(18)	
		B	2.5	M	"		0.6	0.4	0(15)	
		B	2.5	M	"		0.0	0.0	X	
Bandai Bridge		A	0.0	M	Medium Sand		202	19.8	0(19)	
		B	0.0	E/M	Fine to Med Sand		18.3	12.7	0(11)	
Yachiyo Bridge		B	0.0	E/M	"		39.5	29.8	0(11)	
		B	0.0	E/M	"		26.2	17.2	0(11)	
Shin-Matsumoto Bridge		A	1.2	M	Med to Coarse Sand		18.6	11.7	X	
		A	0.0	M	"		24.0	20.8	0(11)	
Taihei Bridge		A	1.56	M	Coarse Sand		32.9	23.5	0(11)	
		A	0.0	M	"		19.6	11.7	0(15)	
Niigata city Ōmy		A	0.0	M	Fine Sand		8.2	4.6	X	
		A	0.0	E	Coarse Sand		28.2	17.8	0(0.25)	
		A	0.0	M	Med to Coarse Sand		16.5	11.2	0(0.25)	
		A	0.0	M	"		14.3	10.2	0(0.25)	
		A	0.0	E	Medium Sand		4.6	2.5	X	(13)
		B	0.0	E	Med to Coarse Sand		22.7	14.1	0(0.25)	
		B	0.0	E	"		23.2	17.9	0(0.25)	
Nishi Oh-Hata Cho		A	3.5	E	Fine to Med Sand		0.4	1.3	X	
Niigata Airport		U	0.8	E	Med to Coarse Sand		13.1	11.2	0(10)	
Sakiya		A	0.6	M	Coarse Sand		28.6	22.5	0	(19)
		B	1.4	M	Fine Sand		20.1	14.7	0(0.4)	(11)
Niigata Railroad Hospital		B	1.3	M	Fine to Med. Sand		5.8	4.0	0(0.4)	
		A	0.63	M	Fine Sand		13.5	10.3	0(0.4)	
		A	1.18	M	Fine Sand		10.5	10.0	0(0.4)	
Kawagishi Cho		A	1.25	M	Coarse Sand		18.9	15.6	0	(12)
		A	1.25	M	Coarse Sand		20.1	15.1	0	
		A	1.25	M	Coarse Sand		18.9	16.7	0	
		A	1.25	M	Coarse Sand		14.5	12.3	0	
		B	1.2	E	Medium Sand		5.1	3.9	0	
		B	1.2	E	Medium Sand		9.7	8.0	0	(1)
		A	1.2	E	Medium Sand		14.2	13.6	0	
		A	1.35	E	Fine to Med. Sand		4.4	4.2	0	
Getendo Bridge		A	0.10	M	Fine to Silty Sand		5.3	3.3	X	
		A	4.3	M	Fine Sand to Silt		0.0	0.0	X	
Nanase Beach, Hokkaido		A	0.95	M	Fine Sand	200 ⁽²⁾	0.0	0.0	0	(14)
		A	0.95	M	Fine Sand		0.0	0.0	0	
		A	1.1	M	Fine Sand		5.8	3.6	0	
Hachinohe		A	0.57	E	Fine Sand	235 ⁽³⁾	26.7	16.8	0	(16)
Gifu		A	0.9	M	Med. Sand	255 ⁽³⁾	36.1	16.8	0	
Unuma		A	0.75	M	Gravelly Sand	20 ⁽³⁾	13.0	9.4	0	(12)
Ogawase		A	2.10	M	Gravelly Sand	20 ⁽³⁾	8.8	7.2	0	
Mangoku, Ohgaki		A	1.20	M	Sand to Grav. Sand	270 ⁽³⁾	28.7	27.3	0	
Meikodori		A	0.6	M	Med. Sand	200 ⁽³⁾	19.5	11.5	0	
Kohmei		A	0.9	M	Coarse Sand		26.3	16.6	0	
Inoel		A	0.23	M	Silty to Fine Sand		17.7	13.9	0	
Tokyo 45		A	4.2	M	Med. to Coarse Sand	325 ⁽³⁾	22.7	29.0	0	
Maruoka No. 1		A	1.8	M	Silt to Med. Sand	295 ⁽³⁾	18.7	19.2	X	
Maruoka No. 2		A	1.8	M	Med. Sand to Gravel	315 ⁽³⁾	24.9	22.5	0	
Tokyo 2-16B,		A	4.2	M	Sandy Silt to Med. Sand	325 ⁽³⁾	11.4	14.4	0	

1978年に出したこの論文では下記のように記述していた

- 新潟地震、十勝沖地震、濃尾地震、東南海地震、福井地震で流動化（液状化）した45箇所としなかった10箇所のボーリング結果から F_L 、 P_L を判定。
- ある深度での流動化の可能性は、 F_L を計算することにより判定出来る。しかし、地盤が流動化することによって**構造物が受ける被害は、流動化層や各深度での流動化程度などが総合されたものに左右される**と考えられる。そこで、これらを考慮した流動化指数 P_L を定義してみる。
- 非流動化地点では $P_L \leq 20$ となっており、その70%は $P_L \leq 5$ となっている。逆に流動化地点の80%は $P_L \geq 5$ となっており、50%は $P_L \geq 15$ となっている、従って、 $P_L \leq 5$ の地盤では流動化の可能性が低く、 $P_L \geq 15$ の地盤では流動化の可能性が高いといえよう。ただし、**対象としている構造物の種類や重要度などによってこの判断は多少異なってくることに留意しておく必要がある。**

戸建て住宅での P_L 値だけのハザードマップの留意点：

- ① P_L 値で家屋の沈下・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した。

液状化下端が浅くても住宅は被害を受けた事例

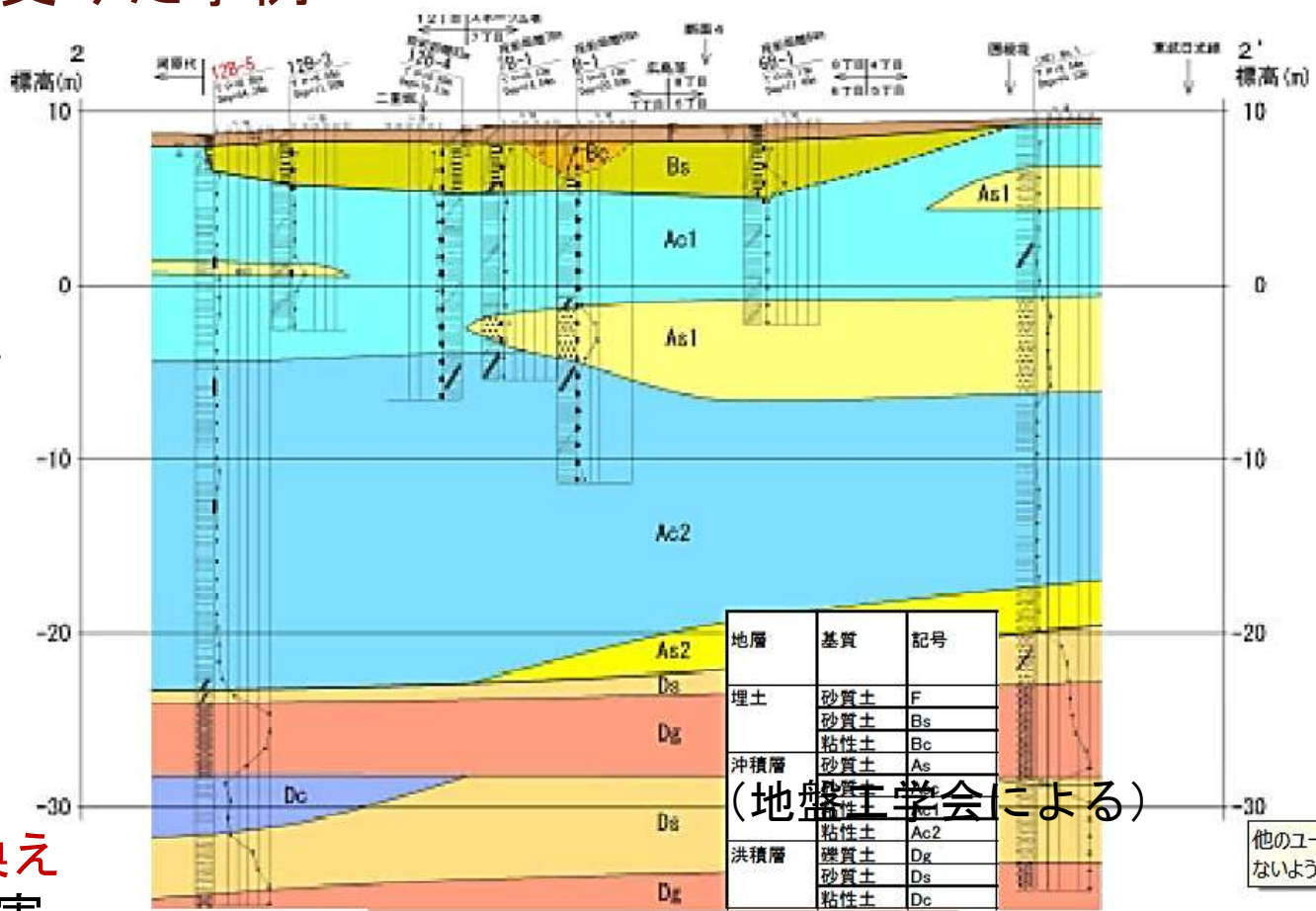
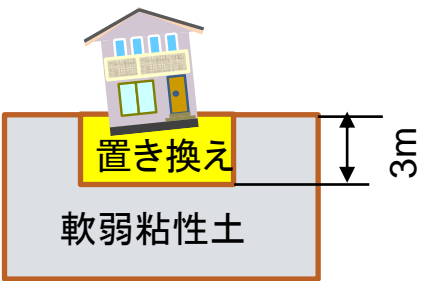
(1) 水田などの軟弱地盤上の盛土



2011年東日本大震災による久喜市の被害



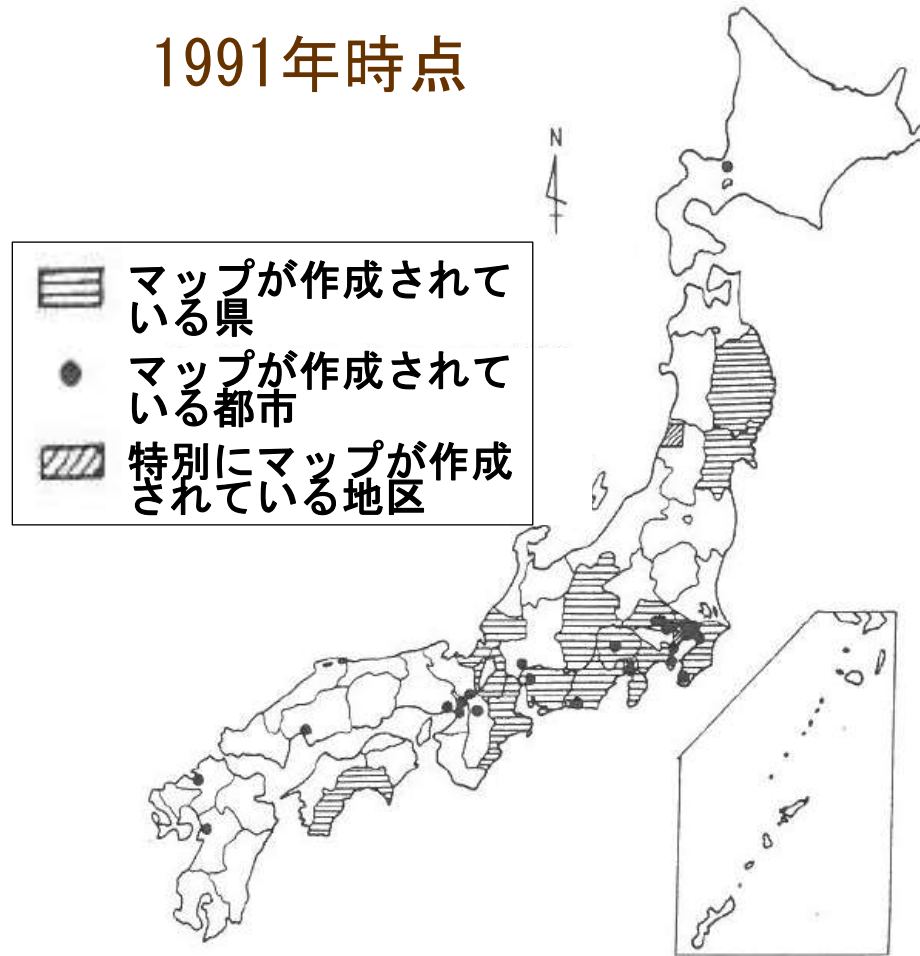
(2) 軟弱地盤での砂による浅層置き換え 2003年十勝沖地震による豊頃町の被害



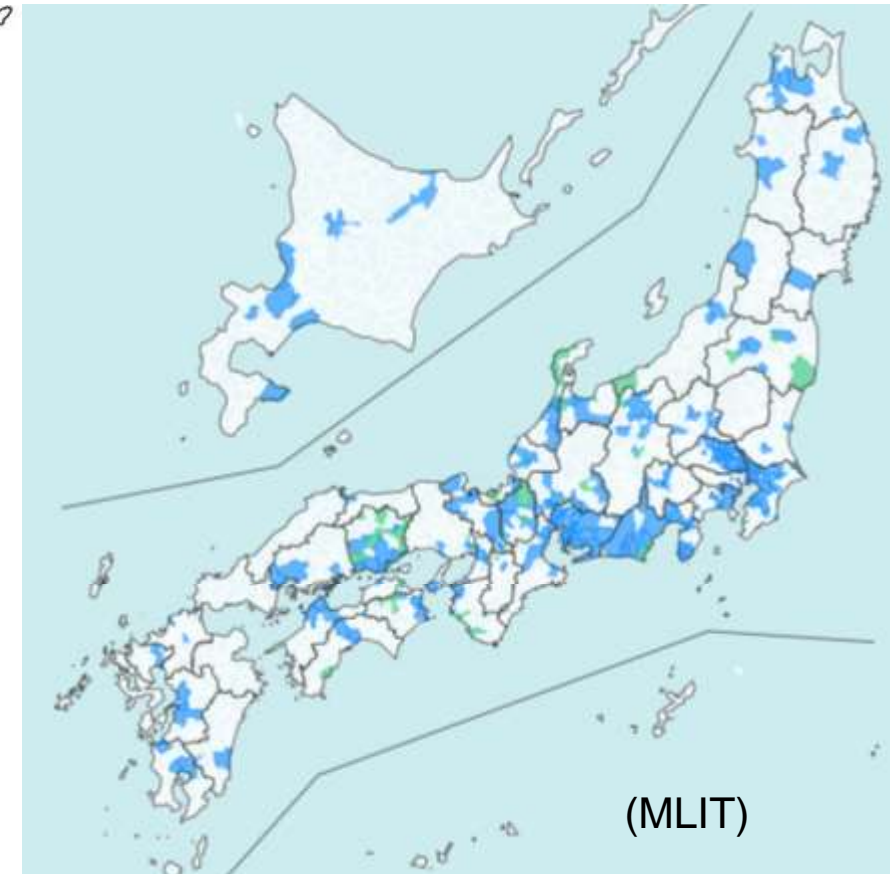
浅層だけの液状化だと P_L 値は大きくないが、戸建て住宅は被害を受ける。

その後液状化ハザードマップが作成されてきた自治体

1991年時点



2018年時点



- 多くの自治体で P_L 法により液状化ハザードマップが作成されてきた。

- Webで公開
- Webでは公開されていない

国土交通省で2021年2月に出された「リスクコミュニケーションを取るための液状化ハザードマップ作成の手引き」

https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_tk_000044.html

国土交通省では、『宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針・同解説（案）、国土交通省都市局都市安全課、平成25年4月』や『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、令和元年6月』を公表し、**宅地における液状化対策の啓発と推進に努めてきた。**

宅地における液状化被害を軽減するためには、**行政が主導する事前の対策事業にあわせ、住民や事業者が自ら行う日頃からの備え**や、行政による発災時の速やかな対応も重要。

住民・事業者と行政との間で、また行政職員間で地域の液状化発生傾向や液状化による宅地の被害リスクについて共通認識を持ち、事前の備えを共に考え、充実させる必要がある（液状化災害に関するリスクコミュニケーション）。

リスクコミュニケーションを図るための**ツールとして液状化ハザードマップ**を位置づけ、「どのような場所で液状化の発生傾向が強くなるのか」や「液状化による宅地地盤の被害や戸建て住宅被害の推定方法」、また、「液状化への備えや液状化が発生した場合の対応に必要な知識や情報」について整理し、その結果を盛り込んだ。

（国土交通省による）

検討委員会（2018年度～2020年度）の構成と検討の概要

リスクコミュニケーションを取るための液状化ハザードマップ作成手法検討委員会

（国土交通省による）

（五十音順）

【委員】

委員長 安田 進

（東京電機大学 名誉教授）

委 員 古関 潤一

（東京大学 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授）

須貝 俊彦

（東京大学大学院 新領域創成科学研究科 自然環境学専攻 教授）

先名 重樹

（防災科学技術研究所 マルチハザードリスク評価研究部門 主幹研究員）

竹内 裕希子

（熊本大学大学院 先端科学研究部 社会基盤計画分野 准教授）

田村 修次

（東京工業大学 環境・社会理工学院 建築学系 教授）

三村 衛

（京都大学大学院 工学研究科 都市社会工学専攻 教授）

若松 加寿江

（関東学院大学 工学総合研究所・研究員 （元 理工学部 教授））

【オブザーバー】

熊本県 熊本市

国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部

【事務局】

国土交通省 都市局 都市安全課

国土交通省 国土技術政策総合研究所 都市研究部

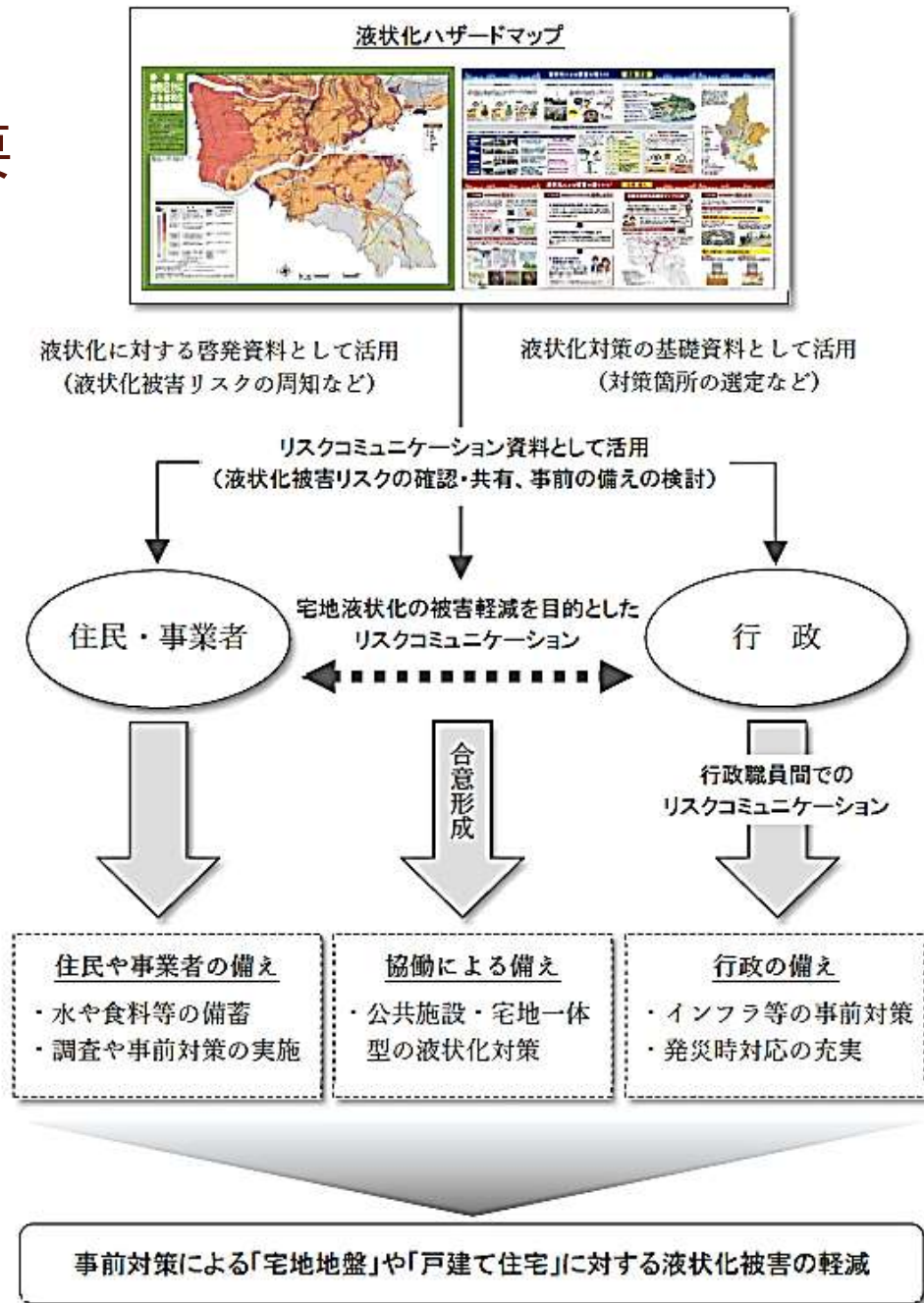
国土交通省 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター

国土交通省 国土地理院 地理地殻活動研究センター

復建調査設計株式会社

- 地区ごとに液状化による被害の程度（半壊や全壊など）が示されるマップの作成を目指したかったが無理だった。
- 微地形での判定→ボーリング資料からの液状化判定→マップ作成の流れでは、ボーリングがない地点はどうするか？との指摘もあり、両者を並列で扱う方式となり、「地域の液状化発生傾向図」、「宅地の液状化危険度マップ」と呼ぶことにした。
- その代わりに、個々の宅地でSWSなどから住宅の被害の程度を推定する方法を提案。

手引きの概要 および目的



(国土交通省による)

図-1.1 液状化ハザードマップを活用した宅地液状化の事前対策の推進

表-1.1 液状化による代表的な被害と地震後の生活に及ぼす影響例^{※2}

代表的な被害	地震後の生活に及ぼす影響例と影響期間の目安			
	1日	3日	1週間	1ヵ月
噴水・噴砂の発生	自転車の埋没による緊急避難の遅れ			
	土砂の堆積に伴う通行障害			
	宅地や生活道路内に堆積した土砂の撤去			
	乾いた土砂の飛散による粉塵被害			
宅地地盤や住宅の沈下・傾斜	宅地地盤の沈下による上下水道管などの損傷			
	生活場所の喪失による避難所・仮設住宅等への移転			
	住宅の機能障害（戸の開け閉めの不具合など）や傾いた家に住み続けることによる人体への健康障害（めまいや吐き気など）			
道路の段差・陥没等や噴砂の堆積	道路の損傷に伴う緊急避難の遅れ、救助活動の遅れ			
	帰宅困難者の大量発生			
	通行障害に伴う物流の停止（食料や支援物資の不足）			
	道路の損傷による転倒や事故の発生（応急復旧までは約1ヵ月程度）			
ライフライン施設の損傷	停電			
	ガスの供給停止			
	上水（飲料水、洗濯水、トイレ水、風呂水等）の送水停止			
	下水管の破損に伴う排水不可（トイレ等の使用不可）			

液状化ハザードマップの作成手順

(国土交通省による)

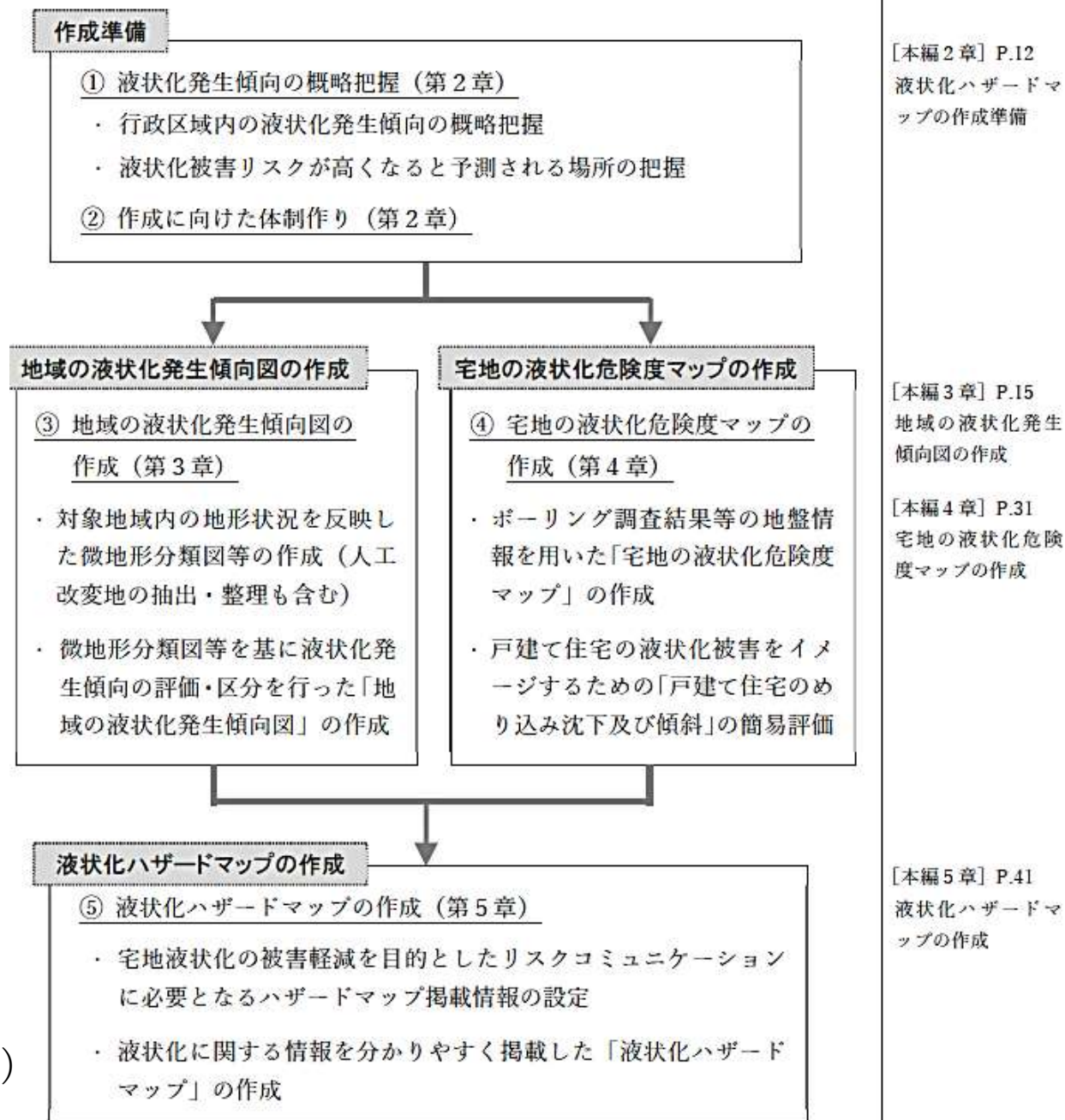


図-2.1 液状化ハザードマップの作成手順

地域の液状化発生傾向図の作成方法

表-3.4 手引きで標準とする微地形の「液状化発生傾向の評価区分」

液状化発生傾向 の評価区分		微地形（自然地形）及び人工改変地	
		微地形(自然地形)	旧河道、砂丘縁辺部、砂丘間低地・砂州間低地
		人工改変地	埋立地 ^{※1} 、砂利(砂鉄)採取後の埋戻し地、低地(湿地)上の盛土造成地 ^{※2}
		微地形(自然地形)	三角州・海岸低地、自然堤防、砂州上・砂丘上の凹地
		人工改変地	干拓地 ^{※3} 、浅い谷や凹地の盛土地、谷埋め盛土造成地
		微地形(自然地形)	砂州・砂礫洲、氾濫低地、後背低地
		微地形(自然地形)	砂丘(砂丘縁辺部、砂丘間低地を除く)、扇状地 ^{※4} 、谷底低地
		微地形(自然地形)	山地・丘陵、山麓堆積地形、台地 ^{※5}

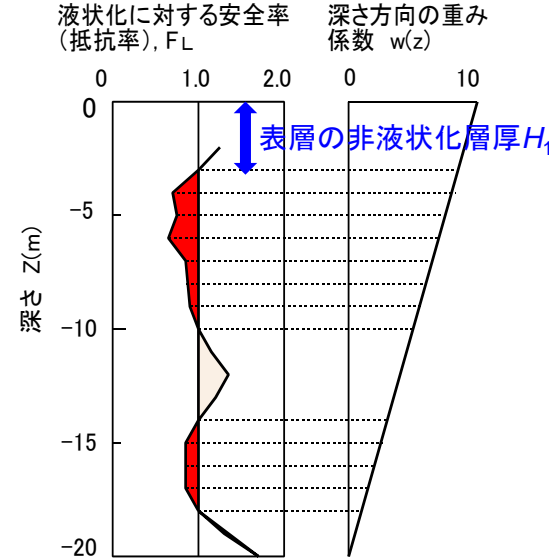
※1 微地形分類（自然地形）における「旧水部（埋立地）」を含む。
 ※2 谷底低地を除く、後背低地や氾濫低地、三角州・海岸低地、砂丘間低地・砂州間低地の低地面や干拓地上に盛土した造成地。
 ※3 微地形分類（自然地形）における「旧水部（干拓地）」を含む。
 ※4 盛土造成されていない「扇状地上の旧河道」を含む。
 ※5 盛土造成されていない「台地上の浅い谷・凹地」を含む。

➤ 扇状地や自然堤防を細分化できないか検討したができなかった。

(国土交通省による)

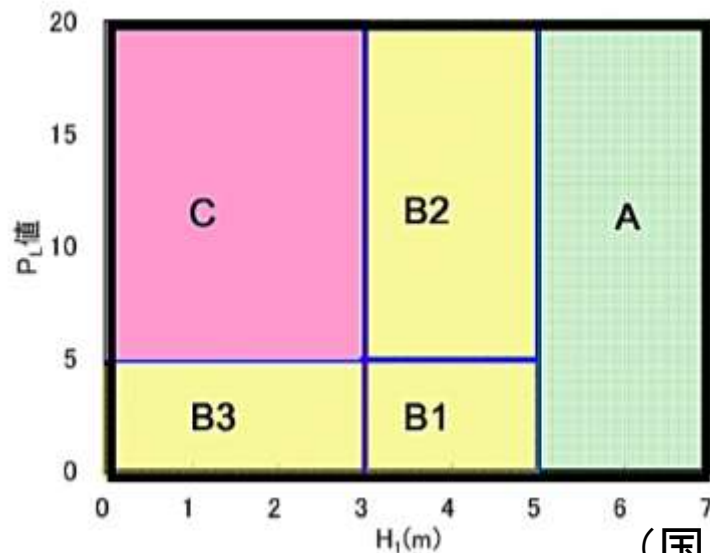
宅地の液状化危険度マップの作成方法

判定結果	液状化被害の可能性
C	顕著な被害の可能性が高い
B3	顕著な被害の可能性が比較的低い
B2	
B1	
A	顕著な被害の可能性が低い

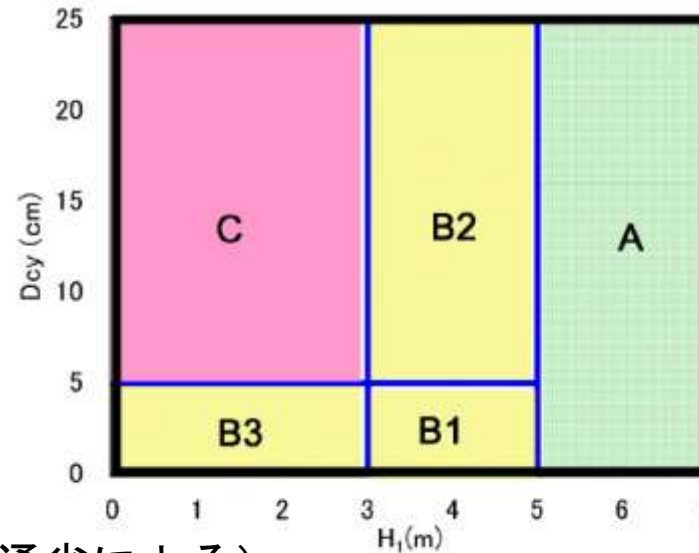


- 戸建て住宅を対象にして P_L または D_{cy} に表層の非液状化層厚 H_1 を考慮する方法とした。
- これが従来の液状化ハザードマップと違う点である。

国土交通省都市局都市安全課：宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針・同解説（案）（平成25年4月）を使用



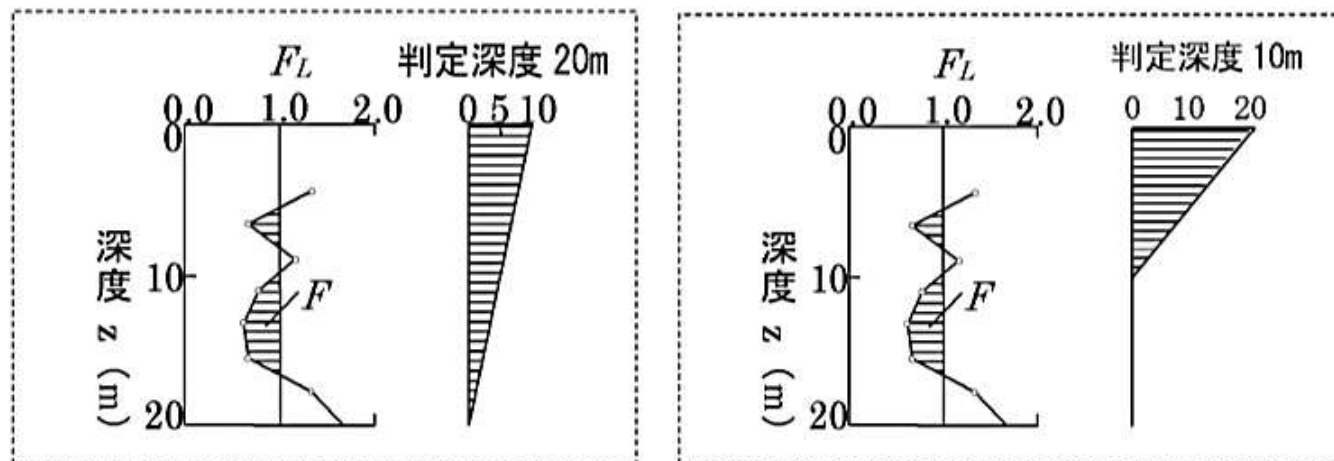
（国土交通省による）



<https://www.mlit.go.jp/common/000993757.pdf>

Towhata, I., Yasuda, S., Yoshida, K., Motohashi, A., Sato S. and Arai, M.: Qualification of residential land from the viewpoint of liquefaction vulnerability, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 91, pp.260-271, 2016.

10m程度の浅いボーリング資料でも P_L 値が計算できるように工夫



(国土交通省による)

図-2.1.12 判定深度と重み関数の関係 (左側：判定深度 20m、右側：判定深度 10m)

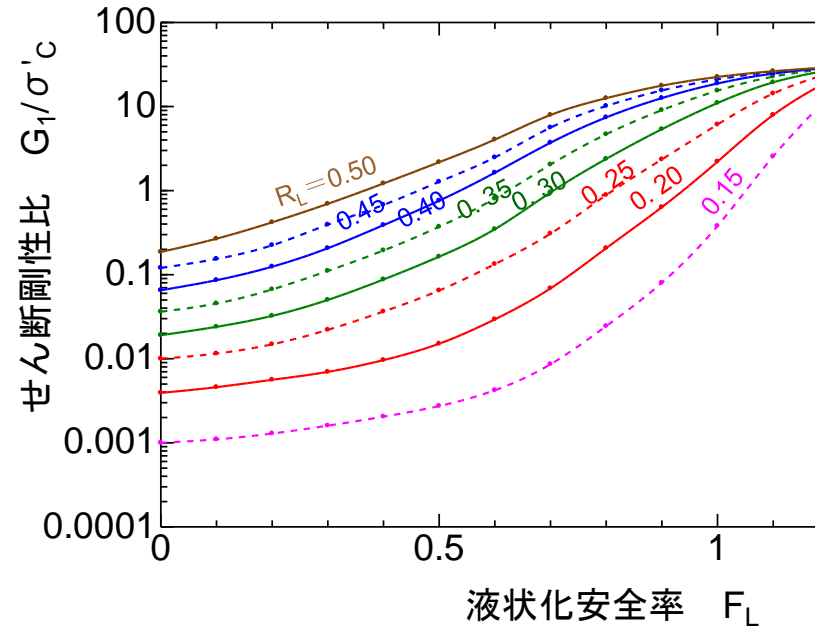
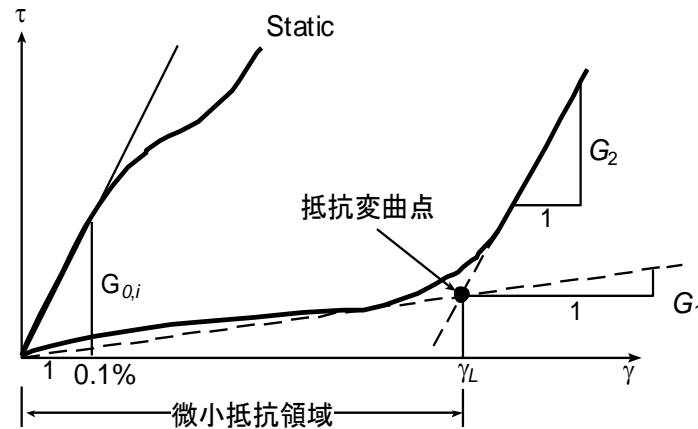
- 下水道や建築確認申請などで20mの深度まで達していない地盤調査結果も利用できるようにした。
- D_{cy} には対応していない。

液状化判定結果から液状化による戸建て住宅のめり込み沈下量や傾斜角を簡易評価する方法も提示

手順 1 : 液状化する層のせん断剛性の低下率を求める。

液状化後地盤のせん断剛性低下率の設定

個々の住宅の被害の程度を推定する方法を提案



ALIDで用いている方法を利用

安田進、吉田望、安達健司、規矩大義、石川敬祐：液状化に伴う残留変形の静的評価法、日本地震工学会論文集，第16巻，第10号，pp.31－50，2016.

せん断剛性低下率の下限值の設定

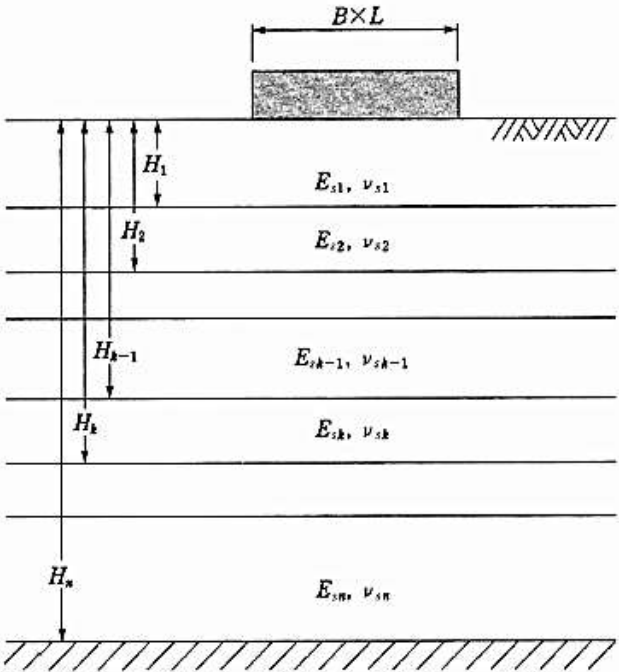
σ'_c : 有効平均主応力

住民や事業者の宅地液状化に対する危機意識を高めるためにも、本手引きでは、沈下量がやや大きく算定される『せん断剛性低下率の下限值：1/300』により、戸建て住宅のめり込み沈下量を算定することを標準とする。

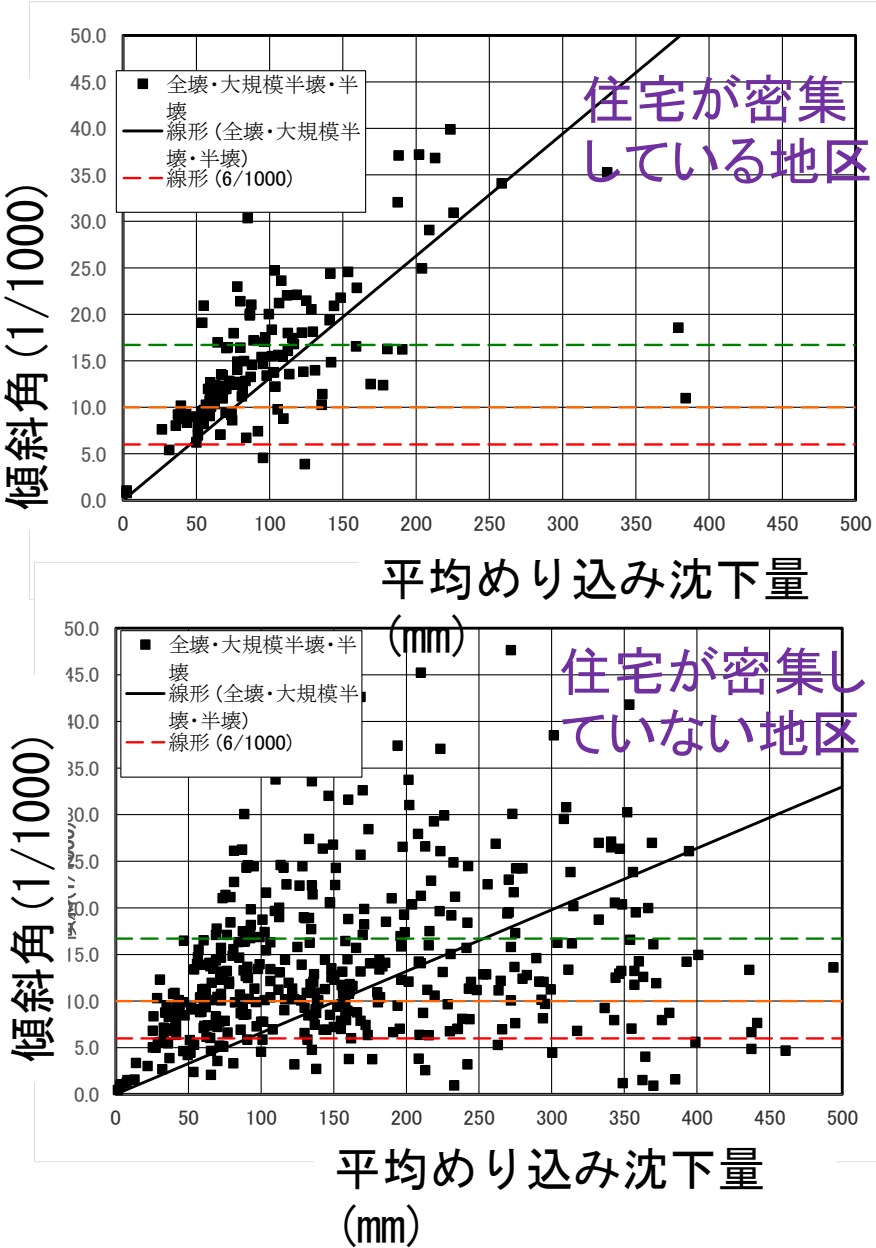
手順2：多層地盤の弾性沈下量の算定式を利用して
めり込み沈下量を推定

$$S_E = \left\{ \frac{I_s(H_1, \nu_{s1})}{E_{s1}} + \sum_{k=2}^n \frac{I_s(H_k, \nu_{sk}) - I_s(H_{k-1}, \nu_{sk-1})}{E_{sk}} \right\} qB$$
$$I_s = (1 - \nu_s^2)F_1 + (1 - \nu_s - 2\nu_s^2)F_2$$
$$F_1 = \frac{1}{\pi} \left[l \cdot \log_e \frac{\left(1 + \sqrt{l^2 + 1}\right) \sqrt{l^2 + d^2}}{l \left(1 + \sqrt{l^2 + d^2 + 1}\right)} + \log_e \frac{\left(l + \sqrt{l^2 + 1}\right) \sqrt{1 + d^2}}{l + \sqrt{l^2 + d^2 + 1}} \right]$$
$$F_2 = \frac{d}{2\pi} \tan^{-1} \frac{l}{d \sqrt{l^2 + d^2 + 1}}$$

- ここで、
- S_E : 弾性沈下量 (m)
 - I_s : 係数
 - q : 基礎に作用する荷重度 (kN/m²)
 - B : 基礎の短辺長さ (m)
 - L : 基礎の長辺長さ (m)
 - l : L/B
 - d : H/B
 - H : 地表面から対象層下端までの距離 (m)
 - ν_s : 地盤のポアソン比
 - E_s : 地盤の弾性係数 (kN/m²)



手順3: 東日本大震災におけるめり込み
沈下量と傾斜角関係から傾斜角を推定



手順4：傾斜角やめり込み沈下量によって家屋の被災程度を判断

<被害認定フロー（液状化等の地盤被害による被害）>

【第1次調査】

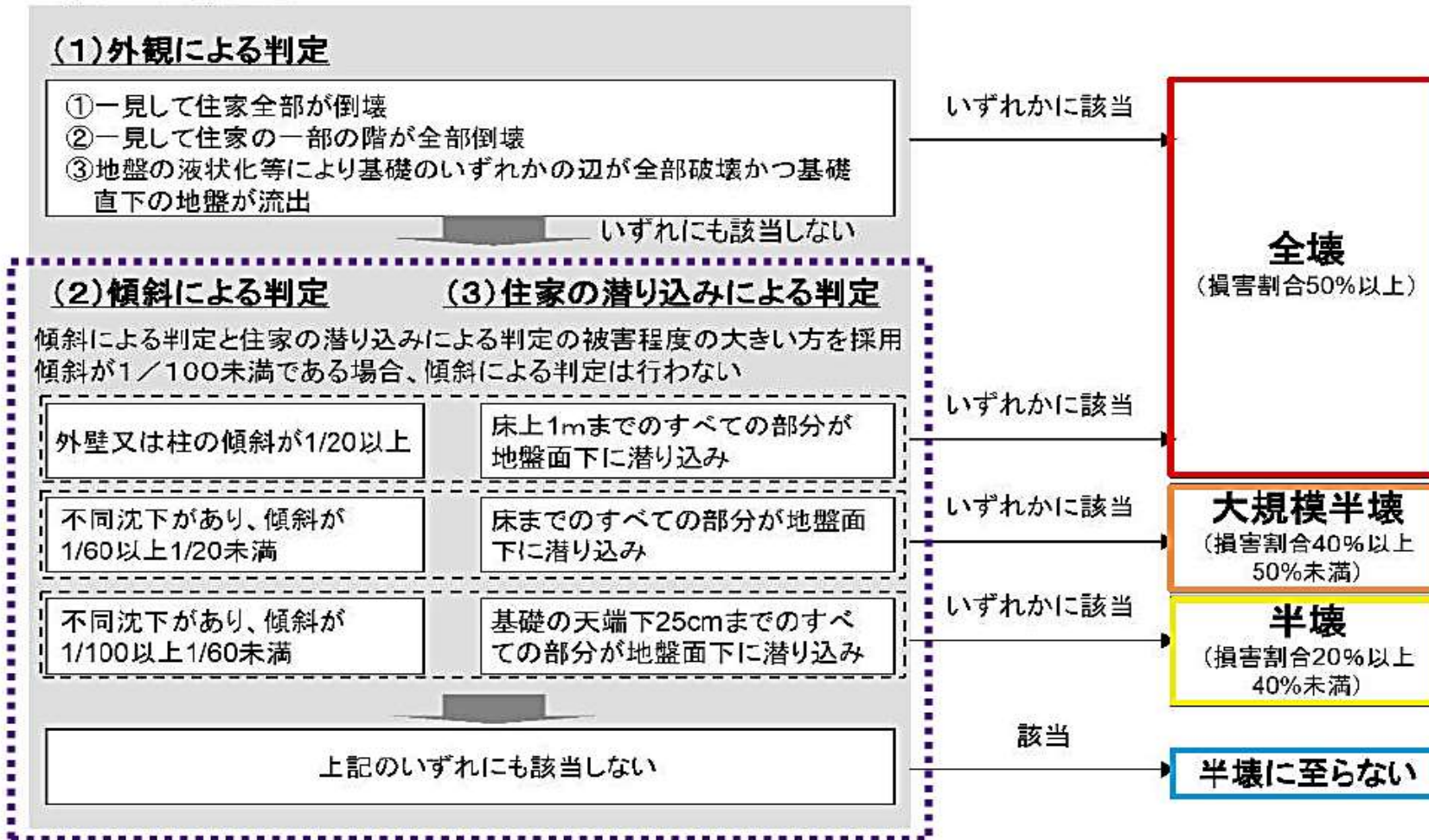


図-4.5 液状化等の地盤災害による被害認定フロー

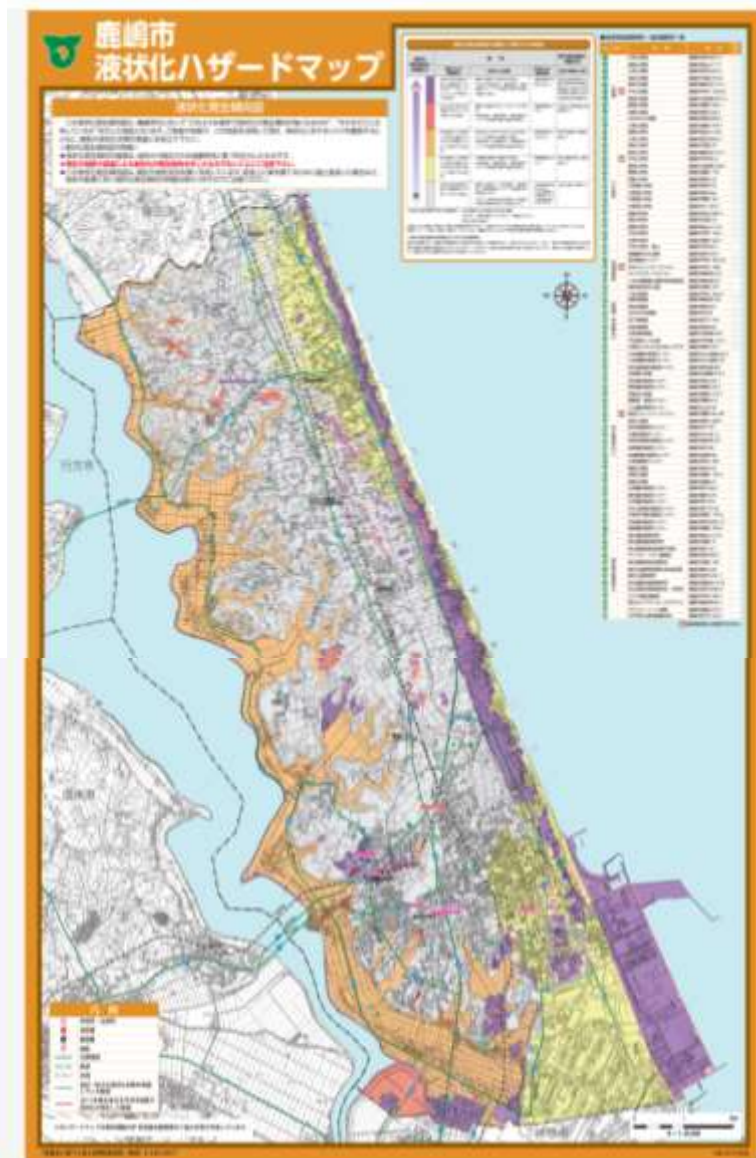
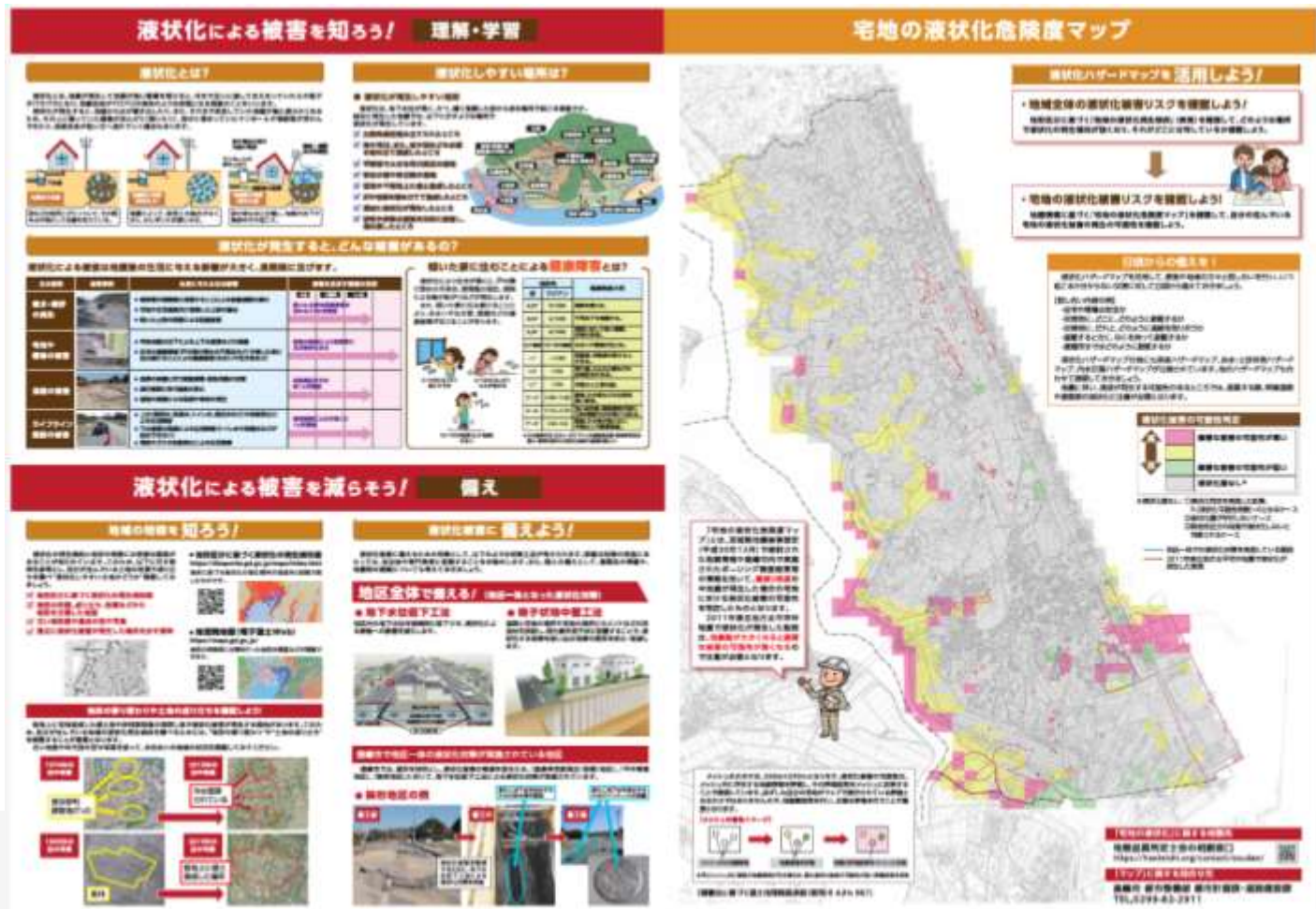
(国土交通省による)

(「内閣府（防災担当）：災害に係る住家の被害認定基準運用指針（平成30年3月）」に一部加筆)

手引きを適用して液状化ハザードマップが作成された地方公共団体

鹿嶋市の液状化ハザードマップ

<https://city.kashima.ibaraki.jp/soshiki/52/71193.html>



茨城県の阿見町、大洗町、鹿嶋市しか作成されてきていない。

地盤工学会による簡易地盤調査のスクリーウエイト貫入試験（SWS試験）を用いて液状化判定およびめり込み沈下量を推定する方法の手引きの作成

スクリーウエイト貫入試験（SWS）による
宅地の液状化に対する安全性検討方法（案）
2023年6月
公益社団法人 地盤工学会関東支部
地盤情報を活用した首都直下型地震に対する宅地防災検討委員会

https://jibankantou.jp/group/pdf/jibandb3_sws2.pdf

液状化の検討を行う必要性の検討（既往の液状化ハザードマップより）

人工地形と液状化履歴の調査（第5章）

簡易地盤調査計画のための近隣の土質断面図や既往ボーリングデータの収集（第6章）

簡易地盤調査の実施（第7章）

簡易地盤調査結果を用いた液状化の判定（第8章）

戸建て住宅のめり込み沈下量と傾斜角の推定（第9章）

液状化による被害ランクの判定および対策実施の判断（第10章）

液状化に対する対策工法の選定（第11章）

- 個々の住宅の液状化調査やハザードマップ作成において既往ボーリングがない区域の調査用を使用することを目的。
- 地盤工学会関東支部の委員会でSWSを用いて液状化判定および戸建て住宅のめり込み沈下量・傾斜角を推定する方法をまとめた。
- 東日本大震災時の液状化発生した箇所としなかった箇所を大洗町から提供していただき、現地調査も実施。

第7章～10章の概要

手順1：スクリーウエイト貫入試験（SWS試験、旧名称はスウェーデン式貫入試験）によって簡易調査を行って液状化判定を行う。

試験機（自動式）



試験機（手動式）



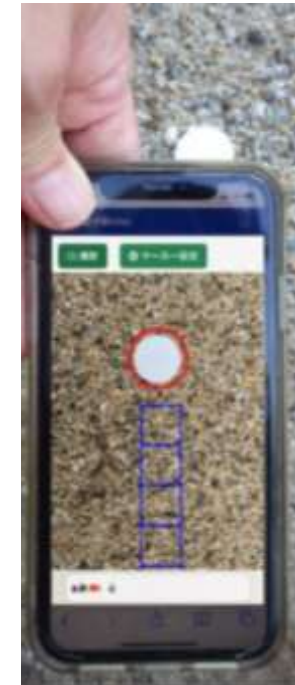
試料採取装置例



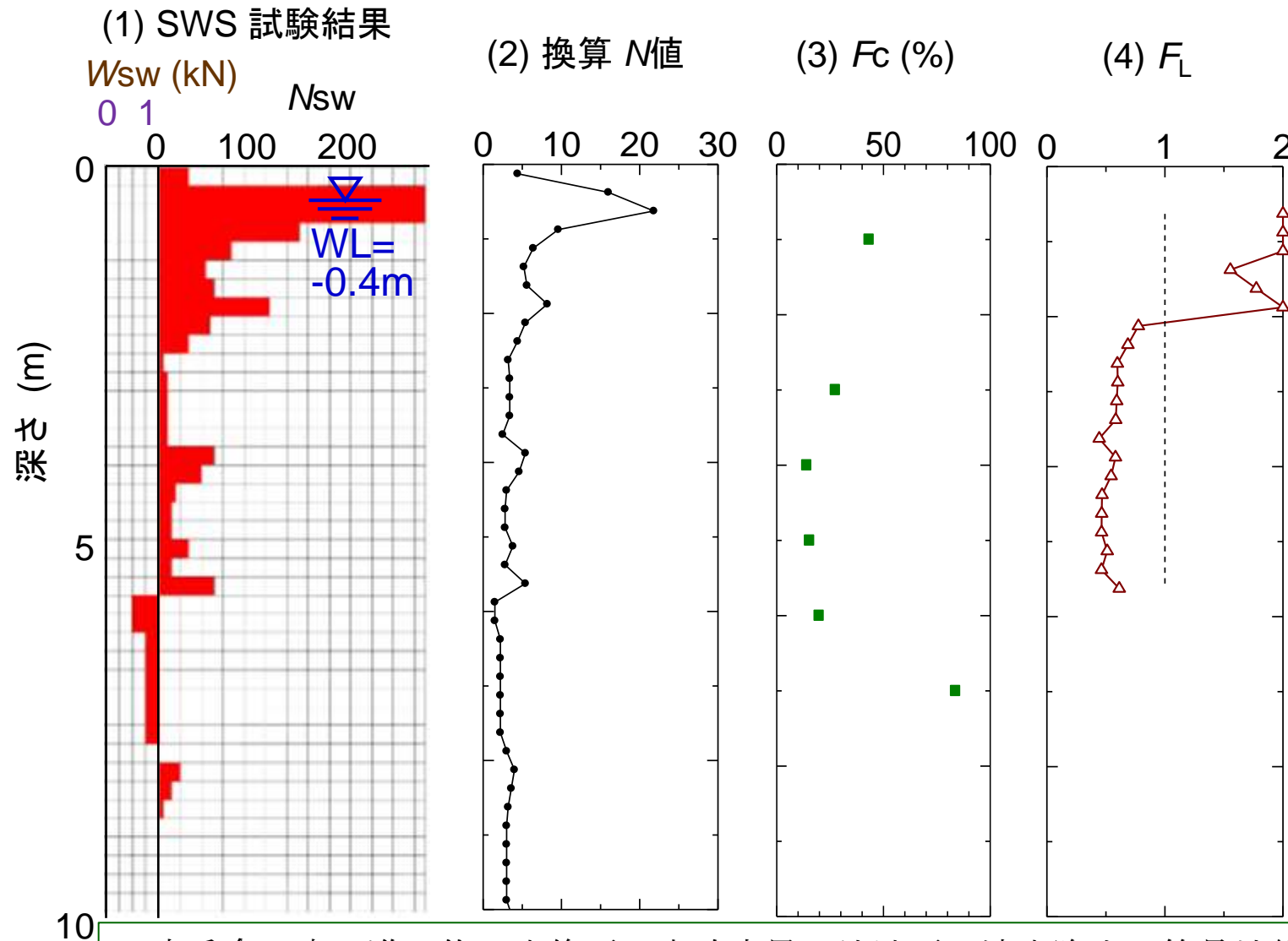
採取できる土の試料が少量なので、現地でスマホで撮影するだけで粒径加積曲線が得られる「AIによる電脳粒度」も有効な可能性がある。

<https://www.kiso.co.jp/>

地下水位測定装置例



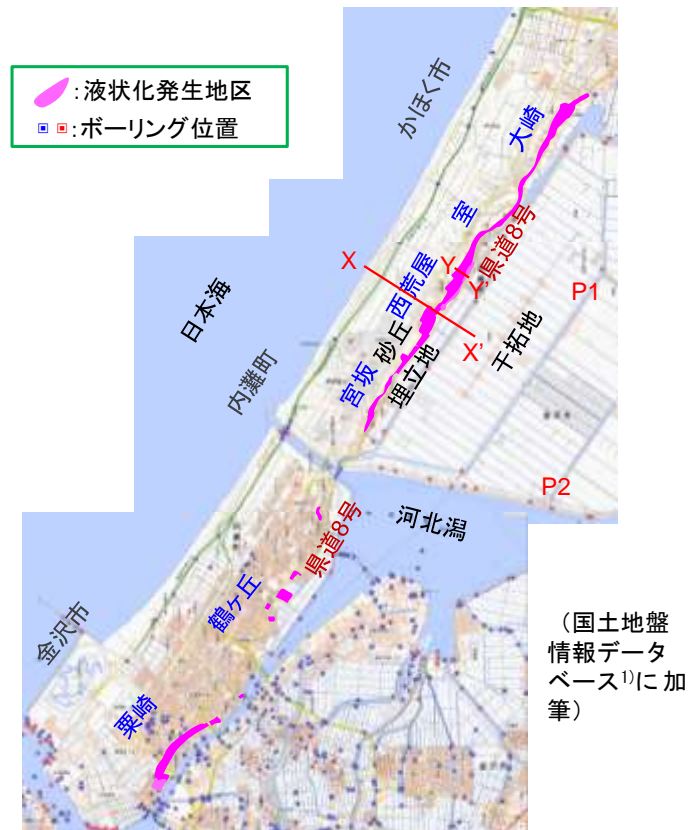
大洗町で東日本大震災により液状化が発生した箇所における調査結果



- 液状化地点はGL-1.87m~-5.75mの間が $F_L < 1$ となり、液状化すると判定。
- 液状化指標値 $P_{L10}=19.8$ となり、 H_1 との関係で宅地の液状化判定を行ったところ、顕著な被害の可能性が高いCランクとなった。
- 液状化地点における住宅のめり込み沈下量は、50.7cm、 $\theta=35/1000$ となり、内閣府の被害認定フロー1)に従うと、「大規模半壊」となると推定され、東日本大震災時の周囲の被災状況とも整合していた。
- 一方、非液状化地点ではGL-9.47mまで地下水が確認されなかった。

王寺秀介・安田進・佐々木修平・末政直晃・辻浩平・清木隆文：簡易地盤調査による宅地の液状化に対する安全性検討，第16回日本地震工学シンポジウム、2023年。

能登半島地震で液状化した地区 とハザードマップの比較



- 実際に液状化した区域となかなか合わなかった。

a) 国土交通省による



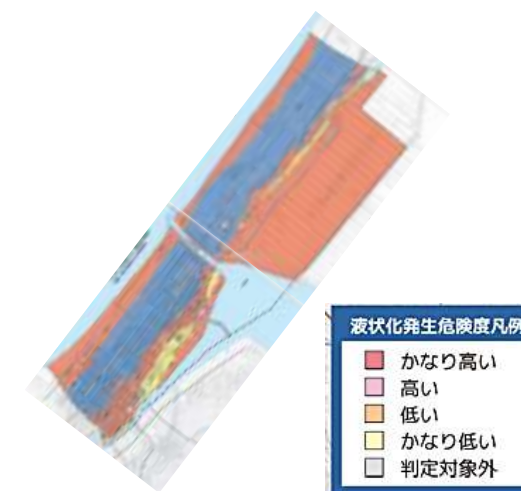
c) 金沢市による



b) 北陸地方整備局による



d) 内灘町による



3月末に出された国交省都市局のハザードマップ作成の手引きの補足資料

～能登半島地震の実態を踏まえた「液状化危険度統合マップ」の作成方法～

概要書

- 国土交通省では、令和3年2月に「リスクコミュニケーションを取るための液状化ハザードマップ作成の手引き」を公表
- 令和6年能登半島地震における液状化被害の実態を踏まえ、液状化ハザードマップの精度向上を図るための留意事項や表現方法について、新たに手引きの【補足資料】として取りまとめ

留意事項 | 砂丘縁辺部の分類方法

課題

砂丘縁辺部の分類精度向上が必要

留意事項

標高と非液状化層厚の関係に着目した砂丘縁辺部の分類方法を提示

砂丘

標高と非液状化層厚の関係

砂丘縁辺部

凡例

- 砂丘
- 海岸平野・三角州
- 凹地・浅い谷
- 高水敷・低水敷・浜
- 旧水部
- 砂丘縁辺部
- 河川・水涯線及び水面

留意事項 | 人工改変地の抽出方法

課題

古い時代からの人工改変地の抽出が必要

留意事項

郷土史を活用した江戸時代以前の人工改変地の抽出方法を提示

氾濫低地

推定水際線

郷土史（正和勝之助：越中伏木地理志稿に一部加筆）

埋立地

凡例

【自然地形】

- 砂州・砂礫州
- 崖
- 台地
- 氾濫低地
- 谷底低地

【人工地形】

- 埋立地

表現方法 | 液状化危険度統合マップ

課題

2種類の危険度情報を1つのマップ上で確認可能なマップ表現が有効

表現方法

従来の2種類のマップを統合した液状化危険度統合マップの作成方法を提示

地域の液状化発生傾向図 宅地の液状化危険度分布図

液状化危険度統合マップ

（国土交通省による）

93

【参考事例①】 標高と非液状化層厚(H1)の関係に着目した砂丘内陸側縁辺部の分類 (A地区)

本事例では、砂丘の内陸側における地盤情報を用い、標高と非液状化層厚 (H1) の関係を整理し、非液状化層厚 (H1) = 3m に相当する標高を推定した(図-3.6)。推定した標高値より、砂丘の内陸側において等高線以下の範囲を「砂丘縁辺部」として分類している (図-3.7)。

(国土交通省による)

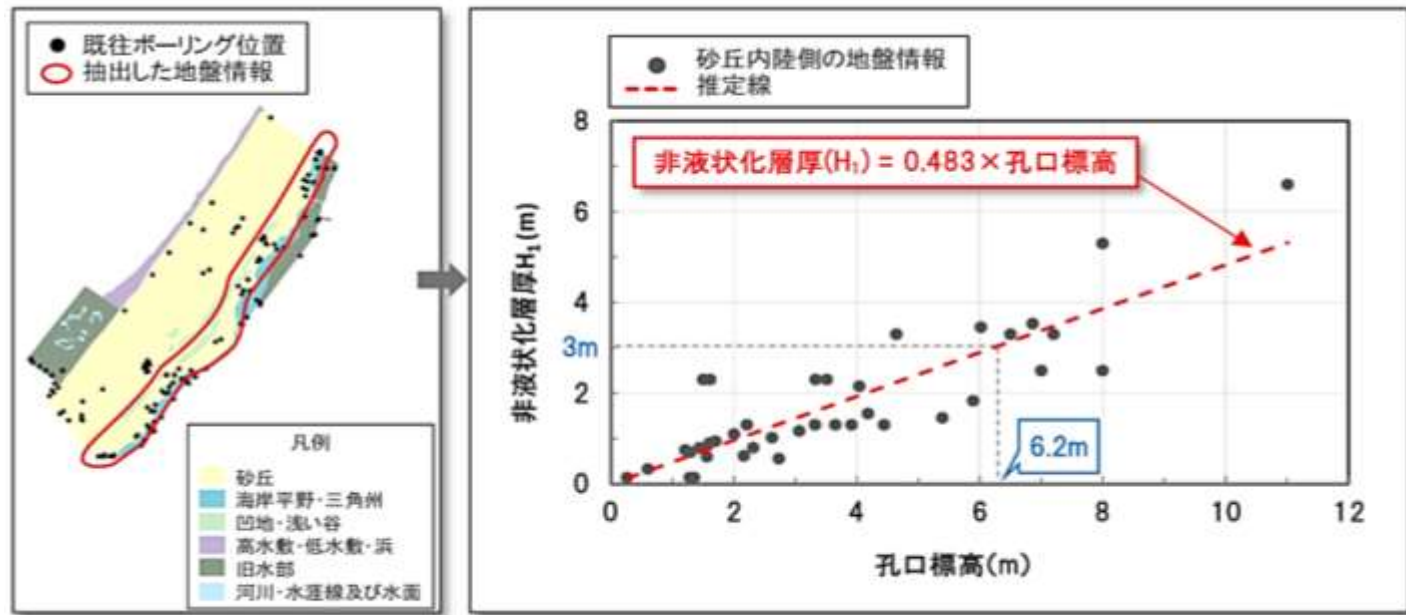


図-3.6 孔口標高と非液状化層厚 (H₁) の関係図 (A 地区)

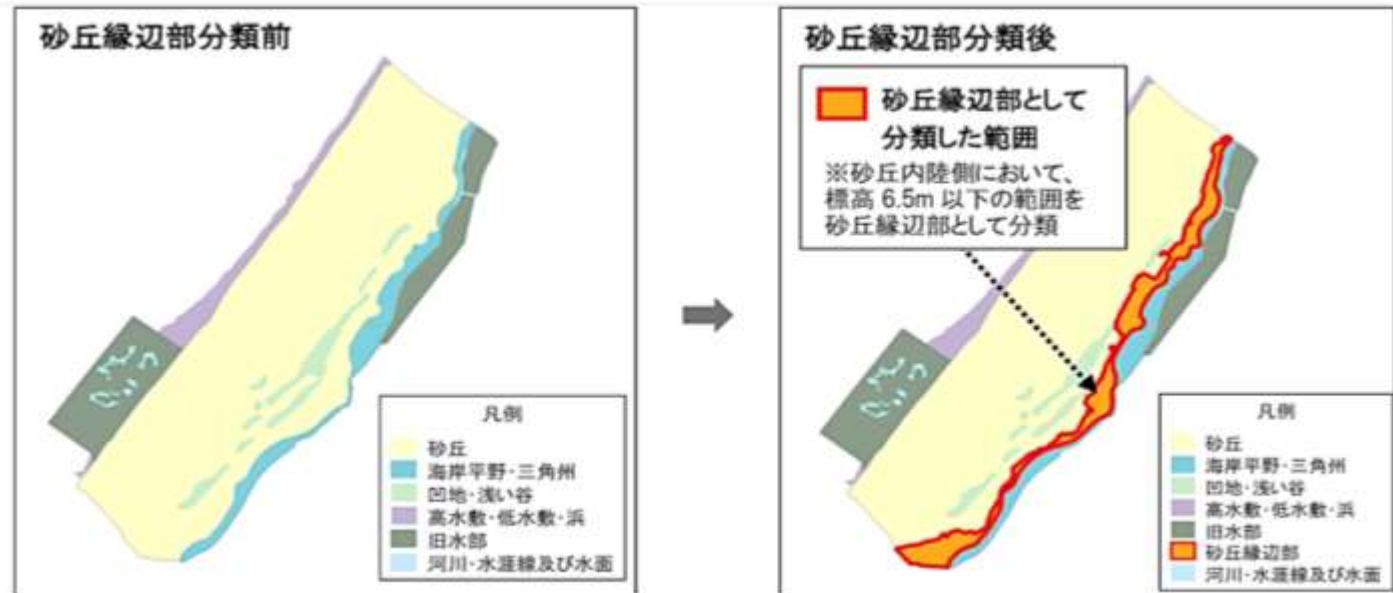
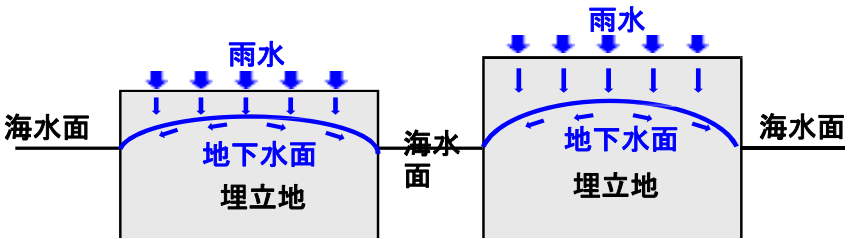


図-3.7 砂丘縁辺部の分類事例 (A 地区)

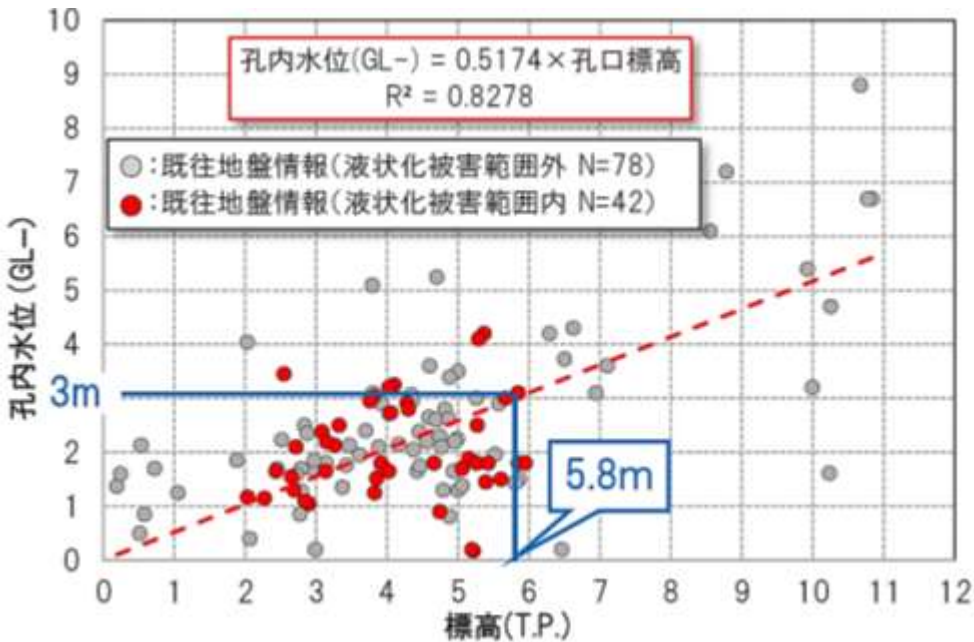
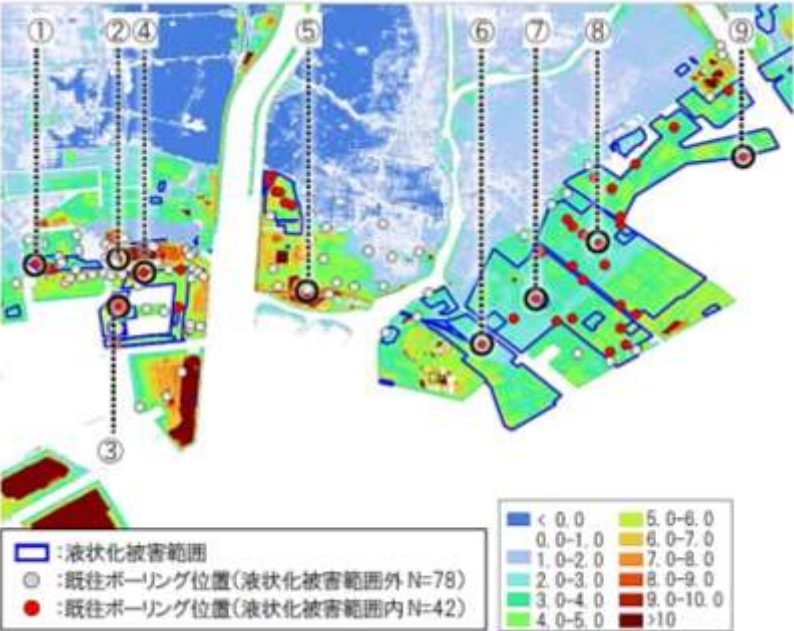
埋立材料や標高の違いに着目した埋立地のより高度な液状化発生傾向の評価区分の検討

課題：同じ埋立地内でも顕著な被害が生じた範囲と被害が生じなかった範囲があることが確認されている。このような被害の差異は、埋立地内の地盤条件等の違いに起因していると考えられる。

標高と地下水位(GL-)の関係を整理することで、前述した「(1)標高と非液状化層厚(H1)の関係に着目した砂丘内陸側縁辺部の分類」手法と同様の検討が可能となる。



【参考事例①】 標高が埋立地における液状化発生傾向に与える影響の確認（C地区）



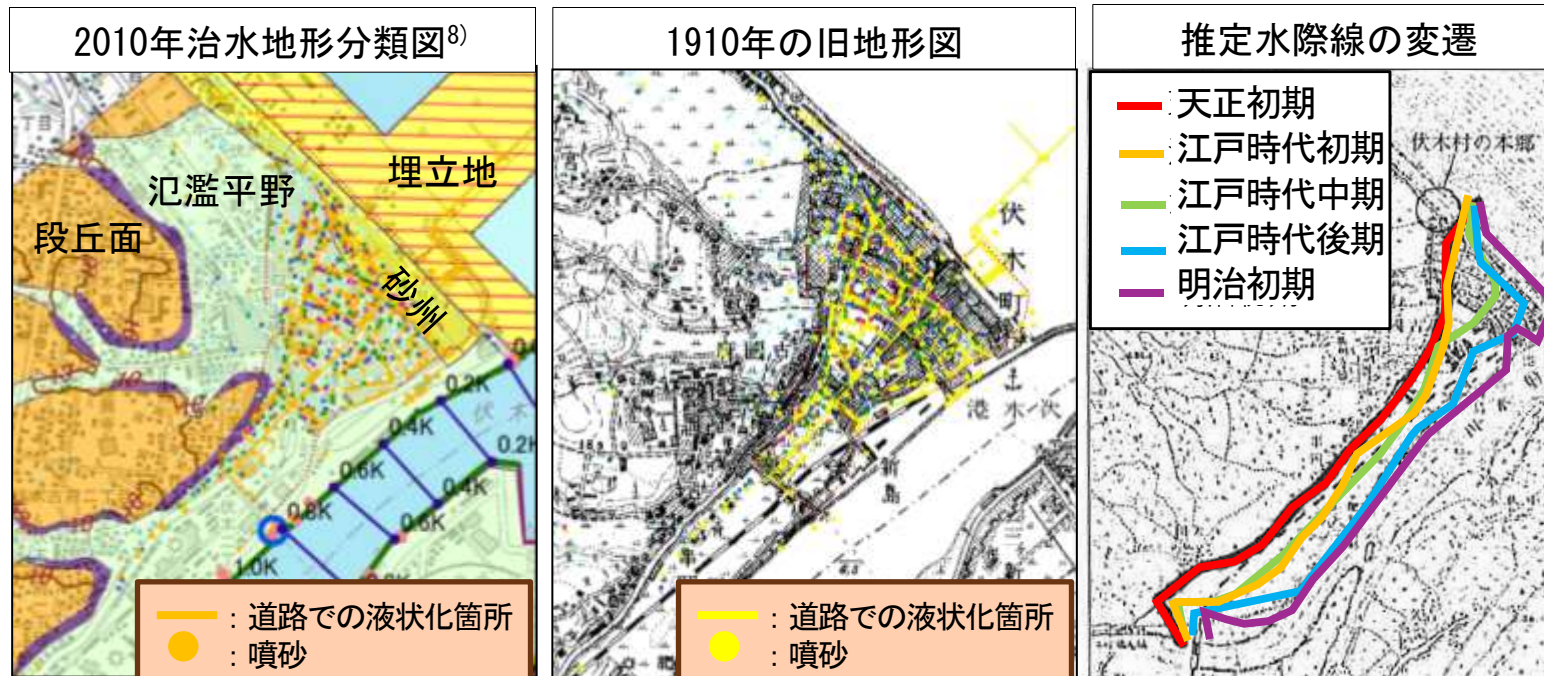
(国土交通省による)

図-3.11 C地区の標高段彩図と既往ボーリング位置

郷土史を活用した江戸時代以前の人工改変地の抽出

課題：能登半島地震時は、江戸時代以前の埋立地において、顕著な液状化被害が発生した。このため、歴史資料等を活用し、江戸時代以前の人工改変地も含めた人工改変地の抽出精度の向上が必要となる。

郷土史には、江戸時代以前の干拓や埋立などの土地開発の記録が残されていることがあり、これらの記録から当時の地形や土地利用の変遷を確認することができるため、より精度の高い人工改変地の抽出が可能となる。



- 液状化による被害が発生した地区は微地形では氾濫平野で特に液状化しやすい微地形ではない。
- 明治時代にはこの地区はすでに集落が発達。

高岡市：液状化対策に関する検討結果報告、令和7年3月。
<https://www.city.takaoka.toyama.jp/material/files/group/41/saisyuhoukoku.pdf>

液状化危険度統合マップの作成

地域の液状化発生傾向図（ポリゴン表示）と宅地の液状化危険度分布図（ポイント表示）を重ね合わせ、液状化危険度統合マップを作成する。

（国土交通省による）

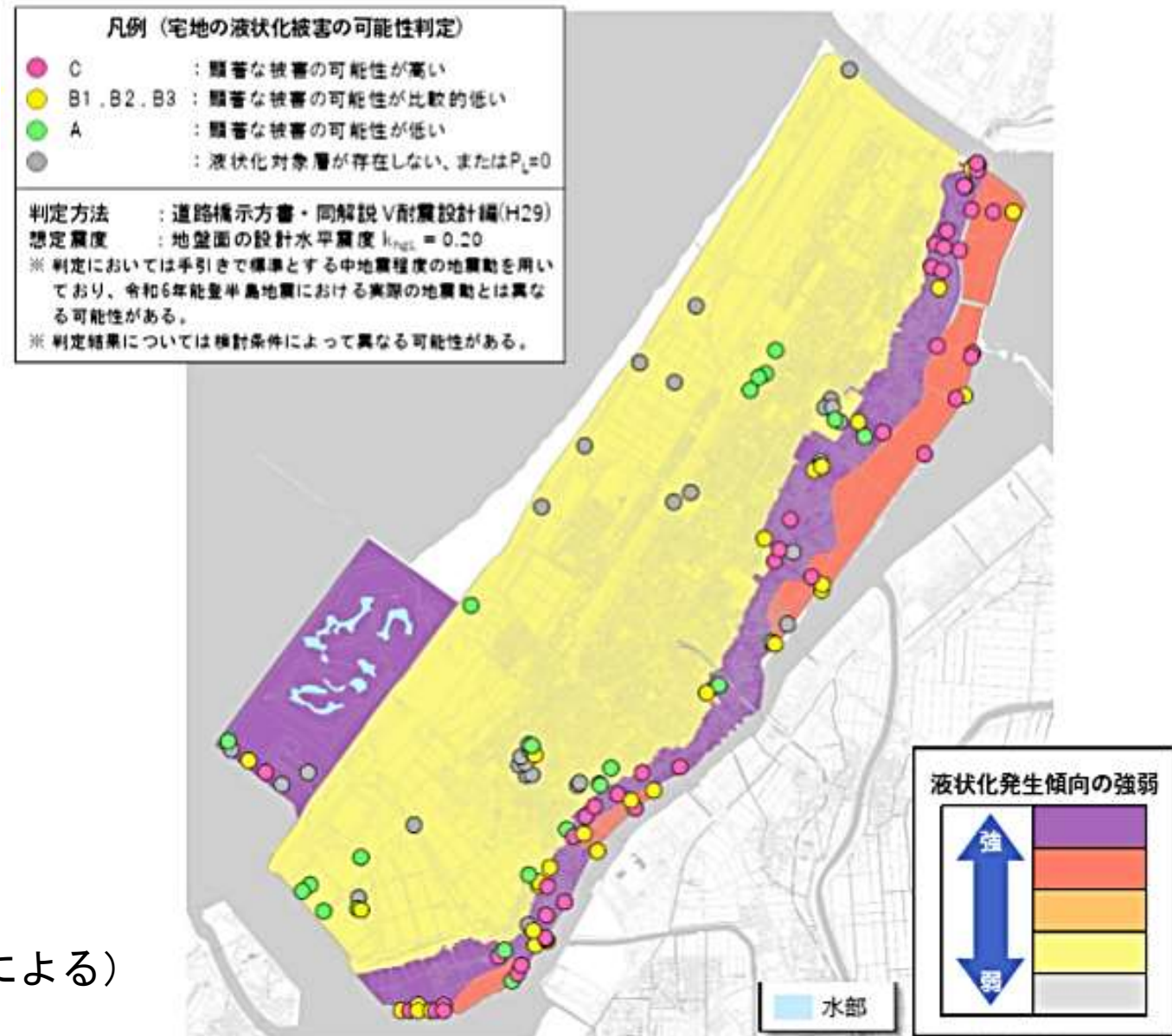


図-5.1 液状化危険度統合マップの作成例（A地区）

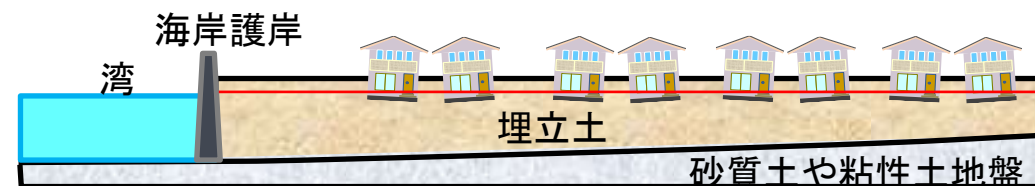
5. 戸建て住宅の液状化対策を進めるために

人工改変地盤の住宅地における液状化の危険性のハザードマップへの表示

- 東日本大震災で液状化した住宅地のほとんどは人工改変地。
- 人工改変地は締固めずに造成され、液状化対策を施さないまま住宅が建てられていた。
- 人工改変地の戸建て住宅地では造成後の地盤状況を把握するボーリングは一般に行われない。
- したがって人工改変地では既往ボーリングがなく、ハザードマップに危険性が示されていない。
- 既往の地盤調査結果から液状化ハザードマップを作成するのは無理なので、**SWSによる簡易地盤調査を新たに行う**ことが望まれる。

安田進：地盤情報データベースを用いた液状化ハザードマップ作成の課題、地盤工学会誌、73-2、pp.12-16、2025.

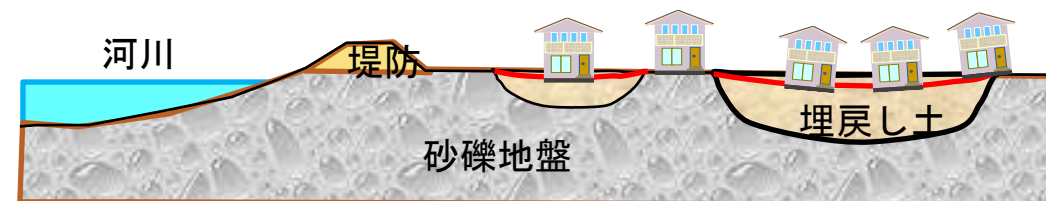
タイプ① 海岸や河岸などの広い埋立地（東京湾岸など）



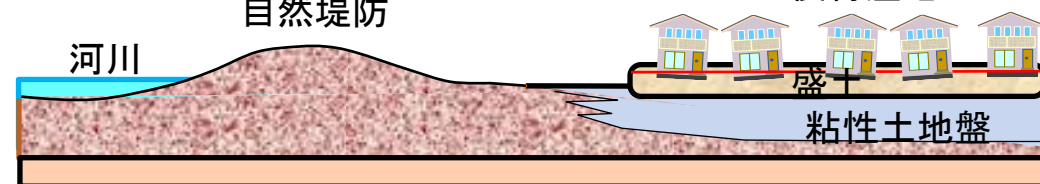
タイプ② 池などの局所的な埋立地 タイプ③ 砂で置き換えた宅地



タイプ④ 砂利や砂鉄の採取跡地（神栖市など）



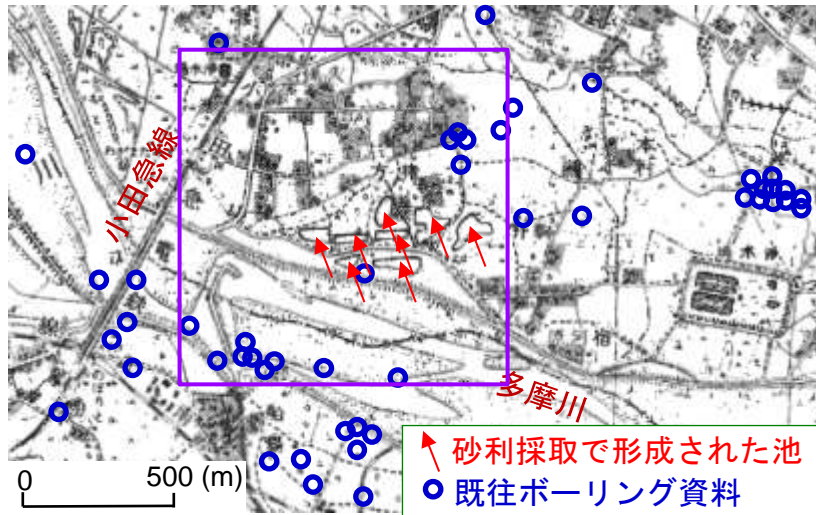
タイプ⑤ 粘性土地盤上の盛土地（久喜市など）
自然堤防 後背湿地



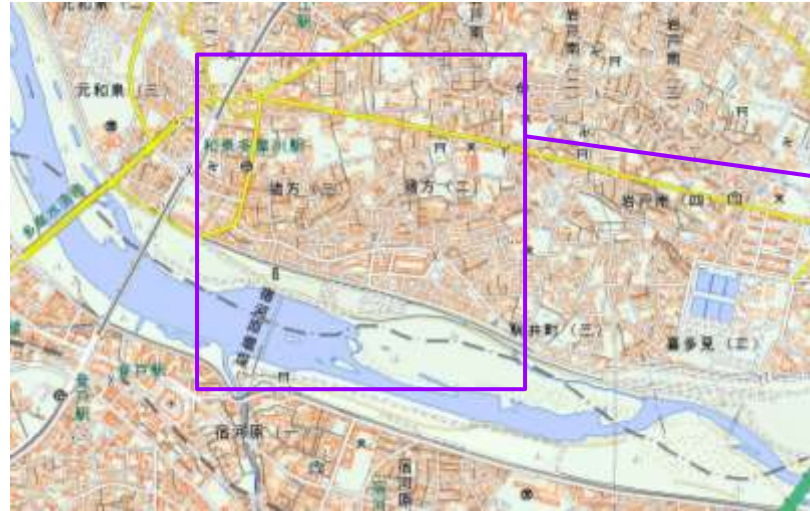
タイプ⑥ 丘陵地や台地の盛土造成地（東海村など）



砂利採取地を埋めて宅地化した区域がハザードマップに示されていない事例



(国土地理院1955年測量旧版地形図に加筆)

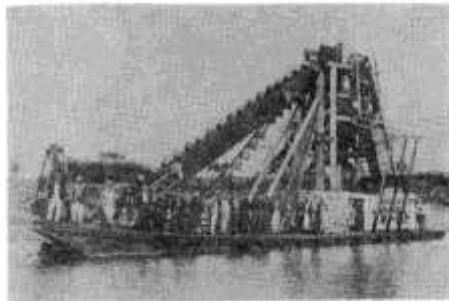


(地理院地図)

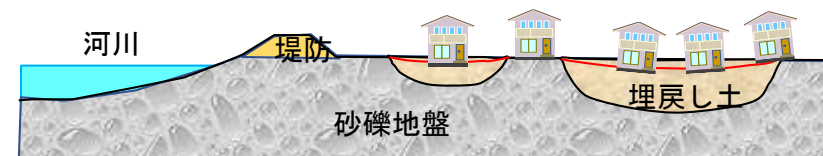


掘削跡の埋土はハザードマップに考慮されていない

- 掘削跡地を住宅地にする際にボーリングが行われていないので、 P_L 値などによる液状化の定量的な判定は行えず、液状化ハザードマップに考慮されていない。
- 掘削池が出来ているのは一時期だけなので、旧版地形図で調べる場合でも昔から現在までの時系列で調べていく必要がある。



(狛江市史、1985)



法制度などの改善

日本建築学会 住まい・まちづくり支援建築会議 情報事業部会から出されている資料
(抜粋) <http://news-sv.aij.or.jp/shien/s2/ekijouka/measure/index.html>

8. 法制度等から見た液状化

住宅は「建築基準法」や「住宅の品質確保の促進等に関する法律」などによって、地震時に液状化被害が生じないように法律で守られていると考えている方が多いかもしれません。しかし、残念ながら現状は十分な安全性が確保されているとは言いにくい状況といえます。以下にQ&A形式で液状化に関連した法律について解説いたします。

Q3： 液状化被害が発生した場合、宅地を造成した事業者や事業を許可した機関は責任を問われないのか？

A3： 造成した当時の基準どおりに造っているのであれば、責任を問うことは困難です。

なお、現行基準では、液状化対策は建物の設計者側で考慮することになっています。

Q4： 「建築基準法」は、戸建住宅に対し液状化対策を義務付けていないのか？

A4： 建築基準法施行令（昭和25年政令第338号）第38条に「建築物の基礎は、建築物に作用する荷重及び外力を安全に地盤に伝え、かつ、地盤の沈下又は変形に対して構造耐力上安全なものとしなければならない。」と規定されています。しかし、特例として提出図書の省略が認められている木造2階建てなどの小規模建築物では、液状化の可能性の判断は設計者に委ねられており、具体的な規定はありません。

地盤工学会における宅地の液状化対策に関する会長特別委員会での検討

委員会趣旨

2024 年能登半島地震では新潟県から福井県に至る広範囲で液状化が発生し、特に宅地で発生した液状化は住宅に大きな被害をもたらした。1964 年新潟地震から60 年が経過し、この間、液状化の予測・対策技術が開発され、土木構造物や中規模以上の建築物は設計基準に基づいて適切な液状化対策がなされ、その被害は減少する傾向にある。一方、住宅などの小規模建築物の液状化対策は義務付けされていないため、過去の地震において繰返し被害が発生しており、看過できない状況となっている。

国土交通省の宅地耐震化推進事業（宅地液状化防止事業）では、2011 年東北地方太平洋沖地震や2016年熊本地震で液状化による被害を受けた地域において、地下水位低下工法などにより道路・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が実施されている。しかしながら、現時点ではいずれも被災地を対象としたもので事前に液状化被害を防止する事業は進んでいない。このため東京都では宅地の液状化対策に関するコンソーシアムを設置し、液状化対策を推進する動きもある。

宅地の液状化による住宅の被害を抜本的に低減するために、地盤工学会は宅地の液状化対策を確実に進展させるための方策の提言を行う。関係する行政機関、学術団体および業界団体とともに現状の課題を共有し、液状化予測に関する知見や液状化対策技術に基づいて、宅地の液状化対策を確実に進展させるための方策を関係機関と共同で提言する。

検討している課題

https://www.jiban.or.jp/?page_id=24633

- | | |
|------------------|------------|
| 1. 法制度 | 5. 供給者の課題 |
| 2. 政策と住民支援 | 6. 液状化判定手法 |
| 3. 被害の実態と住民理解の促進 | 7. 液状化対策工法 |
| 4. 保険・保証制度 | 8. 総合検討 |

ご清聴有難うございました