

# 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）

# 目次

1. 目的	
1.1 液状化による戸建て住宅の被害の実態	P. 1
1.2 国土交通省で新たに出された宅地の液状化に特化したハザードマップ作成および家屋の沈下量・傾斜角の推定方法	P. 2
2. 適用範囲	
2.1 戸建て住宅の液状化に関する規定に関して	P. 3
2.2 本手引きで対象とする液状化判定用の地盤調査・土質試験方法	P. 4
2.3 戸建て住宅を新築する場合や建て替えを行う場合	P. 4
2.4 中古住宅を購入する場合や耐震補強を行う場合	P. 4
3. 検討の手順	
3.1 検討の流れ	P. 5
3.2 各手順での検討概要	P. 6
4. 液状化の検討を行う必要性の検討	
4.1 液状化の検討を行わなくて良い地盤の判断	P. 8
4.2 微地形による液状化ハザードマップをもとにした液状化の検討を行う妥当性の判断	P. 8
4.3 地盤調査データによる液状化ハザードマップをもとにした液状化の検討を行う妥当性の判断	P. 10
5. 人工地形と液状化履歴の調査	
5.1 宅地の造成前の地形図や航空写真をもとにした人工地形の検討	P. 14
5.2 文献をもとにした過去の液状化履歴の調査	P. 21
6. 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	
6.1 既往土層断面図の収集	P. 23
6.2 近隣における既往のボーリングデータの収集と土層構成の把握	P. 23
6.3 既往のボーリングデータの地下水位の見方の留意点	P. 25
6.4 対象宅地内における簡易地盤調査箇所の選定	P. 27
6.5 各調査地点の簡易地盤調査の調査深度の設定	P. 27
7. 簡易地盤調査の実施	
7.1 本手引きで示す簡易地盤調査方法	P. 29
7.2 SWS、SDS試験の特徴と試験方法	P. 29
7.3 SWS、SDSの調査結果からM値への換算	P. 31
7.4 地下水位測定	P. 33
7.5 土の試料の採取と粒度試験	P. 35
7.5 調査結果の表示	P. 39
8. 簡易地盤調査結果を用いた液状化の判定	
8.1 液状化の判定方法の選択	P. 42
8.2 地震動の設定	P. 43
8.3 液状化判定に必要な情報	P. 44
8.4 液状化判定の対象	P. 44

8.5	液状化に対する安全率 ( $F_L$ )	P. 44
8.6	液状化指標値 ( $P_L$ )	P. 47
8.7	非液状化層厚 ( $H_1$ )	P. 48
8.8	宅地の液状化判定	P. 48
8.9	無料で液状化判定を行えるソフト	P. 49
8.10	液状化判定結果例	P. 53
9.	戸建て住宅のめり込み沈下量と傾斜角の推定	
9.1	液状化が戸建て住宅の住民の方々の生活に与える影響	P. 56
9.2	戸建て住宅におけるめり込み沈下と傾斜のメカニズム	P. 56
9.3	戸建て住宅のめり込み量や傾斜角の詳細な解析方法	P. 59
9.4	戸建て住宅のめり込み量の簡易な計算方法	P. 59
10.	液状化による被害ランクの判定および対策実施の判断	
10.1	液状化による損害の判定	P. 65
10.2	宅地における液状化のリスク	P. 65
10.3	宅地における液状化リスクへの対応例	P. 67
10.3.1	液状化リスクの受容 (保有)	P. 67
10.3.2	液状化リスクの移転	P. 67
10.3.3	宅地における液状化リスクへの対応例	P. 73
10.3.4	液状化リスクの回避	P. 73
10.3.5	液状化リスクの監視	P. 73
11.	液状化に対する対策工法の選定	
11.1	液状化対策方法の経緯	P. 78
11.2	戸建て住宅に液状化対策を施す場合の制約条件	P. 80
11.3	新築の戸建て住宅に対する液状化対策方法	P. 81
11.4	既設の戸建て住宅に対する液状化対策方法	P. 83
付録 1	適用方法の例示	P. 86
付録 2	関東の各自治体が作成している液状化ハザードマップ (予測図) の根拠一覧表 / 検討条件	P. 114
委員名簿		P. 118

## まえがき

東北地方太平洋沖地震では、東北地方に未曾有の津波被害等をもたらし、多くの犠牲者が発生した。また、広範囲にわたり戸建て宅地での液状化被害が発生したことを契機に、液状化判定に必要な地盤情報は整備されてきたが、一方で宅地開発に関わる自治体、住宅供給者また、宅地購入者の間の知識共有は十分なされていないのが実状である。これは、それぞれの立場で液状化被害に対する関わり方が異なるためと考えられる。

自治体は、宅地開発に関する許可を行う事が主な役割で、対象地域の液状化履歴など過去の情報を踏まえ宅地開発業者の要望に応じた情報を提供する。また、液状化被害やその対策への重要性について宅地購入者を含む住民に説明し、理解を深める役割を担う。

住宅供給者は、自治体から許可を得たあと、宅地購入者のニーズに添う様に開発を進めるとともに、地盤の安全性を確認のうえ販売を行う。東北地方太平洋沖地震以降、その役割は更に重要なものとなってきたが、震災以前の物件については十分とは言えないものもある。

宅地購入者は、自治体や住宅供給者の提供する情報をもとに宅地を購入するが、購入者自身で液状化発生の可能性を確かめることは稀で、購入者自身で宅地の安全性を理解し購入することが望まれる。また、液状化発生の可能性があるかと判定された場合、その費用対効果を考えて対策や保険など事前に対応を進めることが期待される。

液状化リスクを理解するためには、宅地の地盤工学的特性を理解することが重要であり、そのために国土交通省から「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」が2021年2月に公表され、液状化対策がなかなか進まない現状に対し、液状化リスクを認識するために家屋の沈下量や傾斜角といった定量的な値が必要なことが示唆された。

2019年から活動をはじめた地盤工学会関東支部の「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」では、液状化対策に繋げる一助とするために、3つのWG(ワーキング)を設置し、その一つの「サウンディングのデータの地盤モデルへの活用手法の検討WG」の活動の一環で宅地購入者がスクリーウエイト貫入試験(SWS試験)などの簡易な地盤調査の結果をもとに宅地の液状化危険度の確認をする手順の検討及び整理を進め、その結果をこの手引きに取りまとめた。

この手引きの内容は、住宅供給者がその専門性を活かし、宅地購入者に液状化の可能性をよりわかりやすく理解してもらうために整理したものであるが、自治体の方にとっても広く住民に液状化の可能性を理解していただくための道標となることが期待される。また、宅地購入者自身でSWS試験等の入手可能な情報から液状化リスクを判断する資料にもなり得る。

なお、SWS試験により液状化の判定を行う手法の妥当性を実地盤で検証するにあたり、大洗町から場所の提供をいただいた。また、本手引きをまとめるにあたり一般財団法人 全国住宅技術品質協会にご支援いただいた。末筆ながらこれらの関係者の方々に御礼を申し上げる。

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

## 1. 目的

本手引きは、対象とする宅地が液状化に対する調査をする必要があるかの判断から、簡易地盤調査方法、それを用いためり込み沈下量と傾斜角の推定方法、対策方法に関して、手順を追って説明するものである。

### 【解説】

地震時に宅地が液状化すると、戸建て住宅は地盤にめり込み沈下し傾く。地震動によって家屋が倒壊する被害とは異なって住宅そのものはあまり変形しないので、一見して被害を軽く見られがちである。ところが、傾いた家の中で生活すると健康障害が生じ、結局、地震後に家を持ち上げて基礎を造り直し水平化する沈下修正工事を行わないといけないので、多大な費用が発生する。

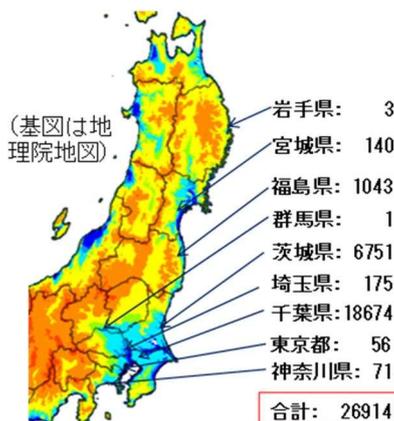
これに対し、予め簡易地盤調査をして液状化による被害の予測を行い、必要に応じて対策を施しておくこと、このような被害は免れる。

### 1.1 液状化による戸建て住宅の被害の実態

地震時の液状化による戸建て住宅の被害は沈下して傾くだけなので一見して深刻な被害と思えない。ところが傾いた家で生活しようとするとう健康障害を生じるので、水平化する沈下修正工事が必要で、そのために多額の費用がかかるリスクがある。

### 【解説】

2011年東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）は地震規模が大きかったため、青森県から神奈川県にかけての広い範囲で液状化が発生した。国土交通省の調べによると図 1.1 に示すように約 27,000 棟の住宅が液状化により被害を受けた。液状化による戸建て住宅の被害は、写真 1.1 に示すように少し沈下し傾くだけで窓ガラスも割れないことが多い。そのため震動による被害と違って被害の深刻さが認識され難い。ところが少し傾いただけで、次第に眩暈や吐き気などの健康障害が生じてきて生活できなくなる。5/1000～15/1000 程度傾くと健康障害が発生することが、2000年鳥取県西部地震による米子市安倍彦名団地での被害から分かってきていた<sup>1)</sup>が、東日本大震災による被害を受けて、被害の程度を沈下量や傾斜角で判定する方法が内閣府や地震保険から出された。沈下・傾斜した家屋では建物を持ち上げて基礎を直し、再び建物を基礎に設置する沈下修正が行われる。このために 1 棟あたり 300 万円～500 万円程度かかり、さらに外構などの復旧費用が必要であった。



\* 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。



写真 1.1 東日本大震災で液状化によりめり込み沈下と傾斜した建物

図 1.1 東日本大震災における液状化による戸建て住宅の被害数

## 1.2 国土交通省で新たに示された宅地の液状化に特化したハザードマップ作成および家屋の沈下量・傾斜角の推定方法

宅地の液状化被害に特化したハザードマップの作成方法、および家屋の沈下量・傾斜角を推定する方法が、国土交通省で新たに示されたので、これに基づいて被害の有無、および対策の必要性を定量的に検討する方法をこの手引きでは示す。この際に、住民、住宅業者や工務店、自治体の方々がリスクを共有し、コミュニケーションをとりながら進めていく必要がある。

### 【解説】

2011年東日本大震災では液状化による戸建て住宅の被害の深刻さが認識されるようになってきたのに対し、その後、既設の住宅はもとより新築の住宅でもまだ液状化対策を施さないことが続いている。これは、住民、住宅業者や工務店、自治体の方々が液状化による被害のリスクを共有していないためと考えられる。

そこで国土交通省では検討委員会が開かれ、2021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」<sup>2)</sup>が公開された。これは住民・事業者と行政との間のリスクコミュニケーションを促進するツールとして、宅地用の液状化ハザードマップの作成および活用方法を示した手引きである。従来自治体で液状化ハザードマップは作成されてきたが、宅地には適しないこともあるので、宅地の被害に特化したマップを作成する手法を示してある。また、地盤調査結果をもとに、実際に発生する被害の程度（沈下量や傾斜角）まで推定できる手法が示され、これにより住民・事業者の方々は対策の必要性を定量的に判断できるようになっている。そこで、本手引きでは、国交省のこの手引きに従って、液状化に関して調査をする必要があるかの判断から簡易地盤調査方法、それを用いためり込み沈下量と傾斜角の推定方法、対策方法に関して、手順を追って具体的に説明するものである。

### 参考文献

- 1) 安田進：鳥取県西部地震による団地の被害，日本建築学会総合論文誌，第2号，pp.45-46，2004.
- 2) 国土交通省都市局都市安全課：「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](https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_tk_000044.html)

## 2. 適用範囲

本手引きの対象は、「住民」、「自治体の防災担当者」、「住宅業者や工務店」であり、①戸建て住宅を新築する場合、②戸建て中古住宅を購入する場合、③戸建て住宅の耐震補強をする場合、④戸建て住宅の建て替えを行う場合に、液状化に対する検討を行う際に適用する。また、液状化の判定を行う簡易地盤調査にはいくつかの方法があるが、そのうち、安価で用地が狭くても実施できるスクリーウエイト貫入試験（以降、SWS 試験と呼ぶ）と、その発展型のスクリードライバーサウンディング試験（以降、SDS 試験と呼ぶ）を対象とする。ただし、他の簡易地盤調査方法を用いた場合も、この手引きに示した方法で液状化に対する検討を行うことが出来る。

### 2.1 戸建て住宅の液状化に関する規定に関して

通常の 1、2 階建ての戸建て住宅では液状化を考慮して建築する具体的な規定がないので、中層建物などで規定されている方法を利用して、液状化リスクを検討する。

#### 【解説】

地盤の液状化による被害が広く認識される契機になったのは、1964年に発生した新潟地震とアラスカ地震である。これらの地震以降、日本や米国を中心に液状化に関する研究・技術開発が急速に進められた。日本では図 2.1 に示すように、新潟地震から 10 年も経たない間に、港湾、道路橋、建築、鉄道、タンクの構造物の設計に液状化が早速考慮され始め、20 年後にはライフラインなども含めて殆どの構造物の設計に液状化が考慮されるようになった。同時に、締固めや固化など液状化の発生を防ぐ工法や、液状化しても被害を受けない工法の開発が熱心に行われ、対策が施されてきた。このため、2011 年東日本大震災で広い範囲で液状化が発生した割には、中高層ビルや橋梁など大型の構造物においては液状化による被害はあまり発生しなかった。

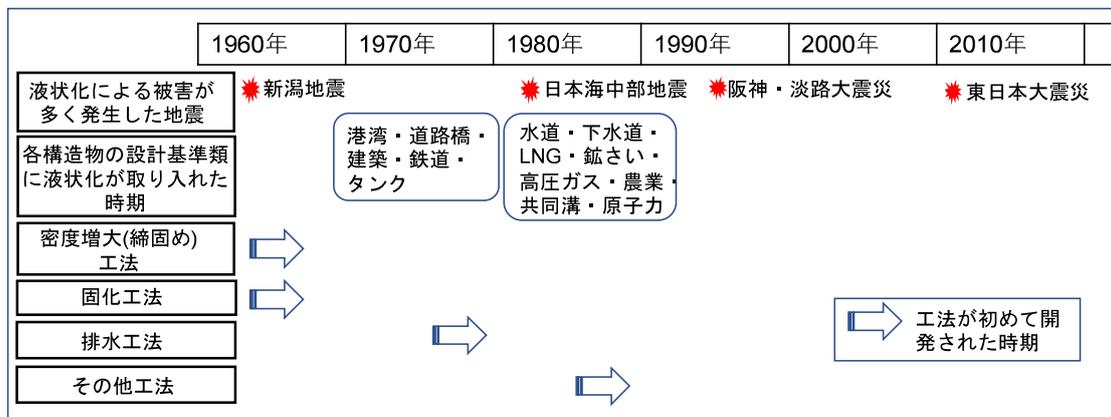


図 2.1 設計基準類に液状化が取り入れられた時期と液状化対策工法が開発された時期

一方、戸建て住宅では、前述したように東日本大震災で液状化により多数の住宅が被害を受けた。さらにその後も液状化対策を施す状況になってきていない。これは、建築基準法施行令第 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。」と規定されているものの、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がない<sup>1)</sup> ことに起因していると考えられている。

## 2.2 本手引きで対象とする液状化判定用の地盤調査・土質試験方法

液状化判定のための地盤調査・土質試験方法には、詳細な方法から簡易な方法までいくつかある。本手引きでは、最も費用がかからず狭い宅地でも調査可能な SWS 試験や、それを改良した SDS 試験を対象とする。

### 【解説】

第 7 章に述べるように、液状化判定用の地盤調査・土質試験にはいくつかある。これらのうち、SWS 試験や、それを改良した SDS 試験は個々の宅地の支持力を求める調査として広く行われている。この調査に土の試料採取と地下水位測定を行えば液状化の判定が行えるので、本手引きはこのような調査・土質試験を対象にする。

## 2.3 戸建て住宅を新築する場合や建て替えを行う場合

戸建て住宅を新築する場合、地盤支持力の定量的な評価が必要である。そのため、一般に敷地内の四隅や中心で SWS 試験などが行われる。この試験に地下水位測定や土の試料採取を付け加える。

### 【解説】

戸建て住宅を新築する場合や建て替えを行う場合には地盤の支持力を求めるために、一般に SWS 試験や SDS 試験を行う。その際に、地下水位測定と土の試料採取、粒度試験を行えば液状化の判定が行える。この追加の費用は数万円程度と安価である。

調査の結果、万一液状化による甚大な被害は発生すると推定された場合、地盤改良などの対策を行うことが望まれる。地盤や施工環境によって対策費用が異なるが、新築や建て替えの場合は工事がし易いので一般に 100～200 万円程度の費用で対策が施すことができる。一方、対策を施さずに住宅を建てて実際に地震で被災すると、沈下修正工事などの復旧費用に例えば 500 万円程度かかるので、予め対策しておくことが望まれる。

## 2.4 中古住宅を購入する場合や耐震補強を行う場合

購入する戸建て住宅の宅地で液状化の検討が行われていない場合には、庭などのスペースで SWS 試験などを実施し、液状化の検討を行う。

### 【解説】

中古住宅を購入する場合は地盤の支持力を求める必要がないので、一般に地盤調査は行わない。これに対し、SWS 試験や SDS 試験で液状化の調査を別途行うと新たに費用がかかるが、その金額は 10 数万円程度と、住宅購入価格に比べると 1/100 程度である。

なお、調査の結果、万一液状化対策が必要と判断された場合には新築に比べて 2～3 倍程度の対策費用がかかる可能性がある。ただし、入居前に対策を施しておくこと地震に対し安心して生活できる。また、対策を施さないで地震で被災した場合に復旧する費用よりは少ない費用で予め対策することもできる。

## 参考文献

- 1) 建築学会 8. 法制度等から見た液状化. <http://news-sv.ajj.or.jp/shien/s2/ekijouka/law/index.html>

### 3. 検討の手順

戸建て住宅の液状化による被害の危険性の検討にあたっては、まず、既往の液状化ハザードマップを参考にして検討を行う必要性の判断を行う。次に既往の微地形や土層断面図、ボーリングなどを収集して対象宅地付近の土層構成を推定する。その後、簡易地盤調査を実施して液状化する土層の推定を行い、その結果を用いて液状化により生じるめり込み沈下量と傾斜角を推定する。そして被害の判断基準にしたがって、被災度の判断を行い、必要な場合には対策工法の検討を行う。

< 主担当者：住民、自治体、住宅業者や工務店 >

#### 3.1 検討の流れ

図 3.1 に示す手順で戸建て住宅の液状化による被災度の検討を行う。

##### 【解説】

液状化による戸建て住宅の被災度は 2011 年の東日本大震災を受けて、めり込み沈下量と傾斜角で定量的に判定することになった。そして、国土交通省の「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」<sup>1)</sup> においてこれらの値を手計算程度で推定できる方法が示された。そこで、本手引きでは図 3.1 に示すように、対象宅地において SWS 試験や SDS 試験による簡易地盤調査を行って、将来の地震に対する被災度を定量的に推定する手順としている。そして、さらに個々の住宅被害だけでなく、市街地で液状化が発生した場合のリスクも考慮して、総合的に液状化対策の必要性を判断することとしている。万一対策が必要となった場合には、個々の住宅での対策工法と市街地全体の対策方法があるので、それらの方法を 11 章に示してある。

なお、個々の戸建て住宅で液状化対策を行うよりは、戸建て住宅に加えて道路、ライフラインも含めて市街地の地区全体で対策を施す方が望ましい。この方法としては地区全体の地下水位を下げるといった方法があり、2011 年東日本大震災や 2016 年熊本地震で被災した都市で復旧にあたって適用され、その手法も国土交通省からガイダンス<sup>2)</sup> として出されている。したがって、住民と自治体とのコミュニケーションをよくとって、地区全体の対策を施すことも検討することが望まれる。

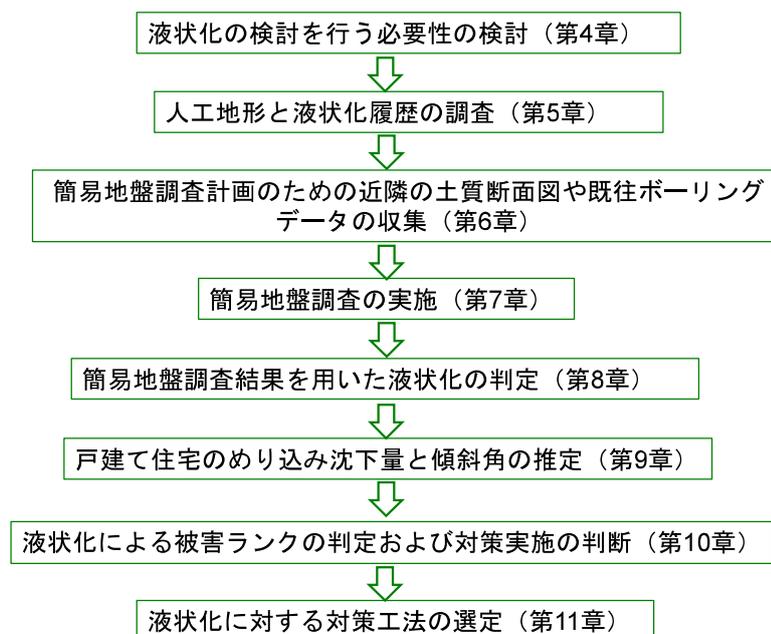


図 3.1 本手引きの検討手順

## 3.2 各手順での検討概要

次章以降に各手順での検討方法を示すが、その概要を示すと以下ようになる。

### 第4章 液状化の検討を行う必要性の検討

液状化による戸建て住宅の被害は、地下水位が浅い緩い砂地盤で発生する。この条件は微地形に関連しているので、微地形をもとに液状化し易さを大まかに区分けした液状化ハザードマップが国や自治体で作成されている。また、既往の地盤調査データをもとに液状化の発生の有無を計算した液状化ハザードマップも全国の自治体で作成してきている。したがって、まずこれらの液状化ハザードマップを見て、対象宅地で簡易地盤調査を行って液状化の検討を行う必要性の判断を行う。

### 第5章 人工地形と液状化履歴の調査

海岸や池・沼などの埋立地や田んぼへの盛土した造成地などの人工地形は、一般に液状化し易い。ところが、これらは局所的な狭い所が多く、微地形やボーリングデータを用いた液状化ハザードマップでは考慮されていないことが多い。したがって、対象宅地が造成される前の地形図や航空写真を調べて、液状化が発生し易い人工地形に該当しないか否か検討する。また、過去に液状化した地盤は将来の地震でも液状化（再液状化と呼ぶ）し易いので、対象宅地が過去の地震で液状化していないか、文献をもとに液状化履歴を調べる。

### 第6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

自治体などで作成されている土層断面図や、国や自治体などで公開されている近隣のボーリングデータを収集し、対象宅地付近の土層構成を把握する。対象宅地内が同一の微地形であれば、宅地に応じて簡易地盤調査の箇所を選定する。宅地内に複数の微地形が存在する場合には、微地形ごとに簡易地盤調査を行うように調査箇所を選定する。そして、把握した土層構成をもとに各箇所の簡易地盤調査箇所の調査深度を設定する。

### 第7章 簡易地盤調査の実施

SWS 試験や、それを改良した SDS 試験は宅地の支持力を求める簡易な地盤調査として広く用いられており、液状化の調査においても同様な方法で実施する。ただし、液状化判定のために必要な地下水位測定と土の試料採取、粒度試験を付け加えて行う。

### 第8章 簡易地盤調査結果を用いた液状化の判定

簡易地盤調査の結果を用いて、設計基準類で用いられている液状化判定方法により、液状化に対する安全率（抵抗率） $F_L$  の深度分布を求める。そして、液状化指数（液状化指標値） $P_L$  値と地表変位量  $D_{cy}$  を求め、宅地の液状化被害の判定を行う。これらの検討を行う地震動は中地震動を基本とし、大地震動でも検討を行っておく。

### 第9章 戸建て住宅のめり込み沈下量と傾斜角の推定

液状化に対する安全率（抵抗率） $F_L$  の深度分布と建物の荷重などを用いて、液状化による戸建て住宅のめり込み沈下量および傾斜角を推定する。

### 第10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

液状化による戸建て住宅のめり込み沈下量および傾斜角をもとに、内閣府の被害認定フローに従い、①全壊、②大規模半壊、③半壊、④半壊に至らない、のどの被害ランクになるか判定する。また、液状化が避難行動に与える影響や、ライフラインの停止が生活に与える影響などのリスクを、住民と自治体、住宅供給者などが共有し、液状化対策を実施するか否かまたどんな対策を施すかを判断する。

## 第 11 章 液状化に対する対策工法の選定

液状化対策工法は、液状化の発生を防止する工法と液状化しても被害を受け難いようにする工法に大別される。両者ともこれまで数多く開発されてきているが市街地の戸建て住宅のように、敷地が狭く、大きな振動や騒音も出さない条件下で適用できる工法は少ないので、種々の対策工法の中から条件に合う工法を選定する必要がある。また、戸建て住宅を新築する場合の対策方法と既設の住宅を対策する場合の方法は異なることも留意が必要である。

### 参考資料

- 1) 国土交通省都市局都市安全課：「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](https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_tk_000044.html)
- 2) 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、2016.  
[https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi\\_tobou\\_fr\\_000005.html](https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_fr_000005.html)

#### 4. 液状化の検討を行う必要性の検討

まずは、国や自治体が作成した液状化ハザードマップを確認し、対象宅地で簡易地盤調査を行って液状化検討を行う必要性の判断を行う。

＜主担当者：住民、住宅業者や工務店＞

##### 【解説】

液状化による戸建て住宅の被害は、地下水位が浅い緩い砂地盤で発生する。この条件は微地形に関連しているので、微地形をもとに液状化し易さを大まかに区分けした液状化ハザードマップが国や自治体で作成されている。また、既往の地盤データをもとに液状化の発生の有無を計算した液状化ハザードマップも全国の自治体で作成してきている。したがって、これらの液状化ハザードマップをまず確認し、対象宅地で簡易地盤調査を行って液状化の検討を行う必要性の判断を行う。

#### 4.1 液状化の検討を行わなくて良い地盤の判断

液状化は山地、丘陵地、台地で自然に堆積した地盤では一般に発生しないので、対象宅地がこのような場所にある場合は、以降の液状化の検討を行わない。ただし、谷間を砂質土で盛土した場合には、液状化する可能性もあるので検討を行う。

##### 【解説】

図 4.1 に示すように、地下水面以下に砂が緩く堆積している地盤において、ある深さの土の要素には周囲から拘束する圧力が加わっている。常時はこれを土粒子間の力で支えていて、間隙水には地下水面からの深さに応じた静水圧が加わっているだけであるが、地震による S 波（せん断波）により左右に繰返しせん断変形させられて、土粒子の噛み合わせは次第に外れていき、最終的にバラバラになる。これは水の中に土粒子が離れた状態で存在している「泥水」と同じ状態で、これが液状化した状態である。このようなメカニズムから考えて、液状化は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に発生し易いと言える。

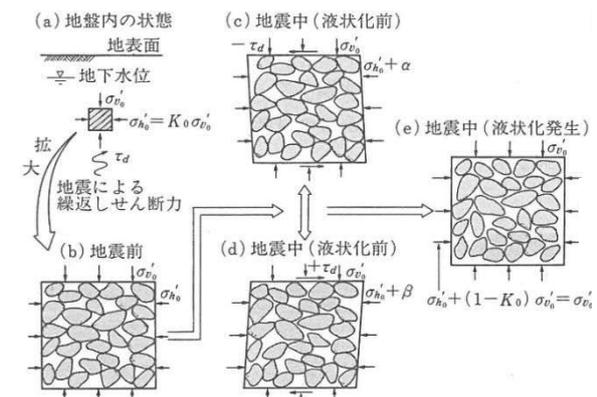


図 4.1 地震時に液状化が発生するメカニズム

低地にはこのような地盤が多く存在するが、山地や丘陵地・台地には緩く堆積した土層が一般に存在しないので、液状化の検討を行う必要はない。ただし、盛土造成宅地のように谷間に盛土し、さらに砂質土の場合には液状化が発生する可能性があるため、検討する必要がある。

#### 4.2 微地形による液状化ハザードマップをもとにした液状化の検討を行う妥当性の判断

国や自治体で作成している微地形による液状化ハザードマップを調べて、液状化の検討を行う必要性を判断する。

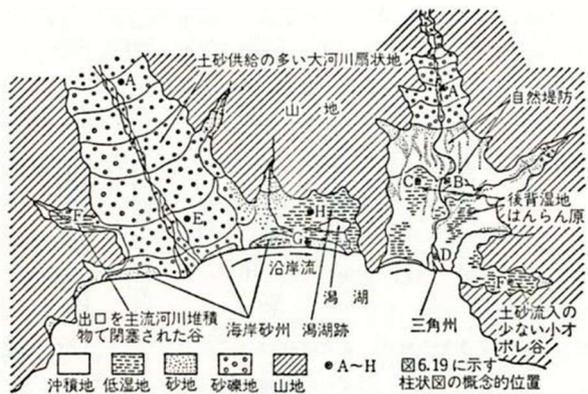
##### 【解説】

低地の中でもさらに細かく分けた微地形によって、液状化のし易さが異なる。我が国の低地の多くは川沿いに形成され、川が運んできた土砂が堆積している。海岸沿いにも海岸流や風で運ばれた土砂が堆積している。これらの形成過程の違いにより、土層構成が異なり、液状化のし易さも異なる。図 4.2 (1)は低地における種々の微地形の分布の模式図を示している<sup>1)</sup>。そして、図中右側の河川を横断する断面図が図 4.2 (2)に、異なる微地形の A から H 地点における土層構成（ボーリング柱状図）が図 4.2 (3)に示されている。微地形によって表層の土層構成が異なっていることが図 4.2 から見てとれる。ただし、図 4.2 (2)に示されるように、ある地域内ではその下部の土

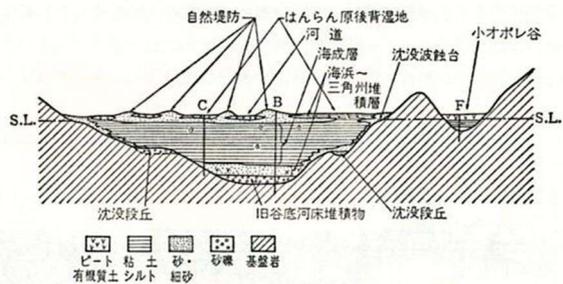
層は一定な場合もある。例えば、東京低地においては、約1万年前からの海水上昇時に堆積した沖積粘性土がこの図のように厚く堆積している。

さて、微地形ごとの液状化し易さは、過去の地震時の液状化履歴をもとに研究され、いくつか提案されてきている。それらを参考にして、国土交通省で2021年に出された「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」<sup>2)</sup>では表4.1に示すような微地形ごとの液状化発生傾向の評価区分が提案された。表4.1と図4.2(3)を比べてみると、“液状化発生傾向が強い”と区分される三角州や海岸低地では表層に砂層が堆積していて、逆に“液状化発生傾向がやや弱い”と区分される扇状地では表層に砂礫層が堆積していることが分かる。また、両者の用語の使い方が多少異なっているものの、谷底低地と小オボレ谷は同様な微地形と考えると表層にピート層や粘性土層が堆積しており、“液状化発生傾向がやや弱い”との区分になっている。

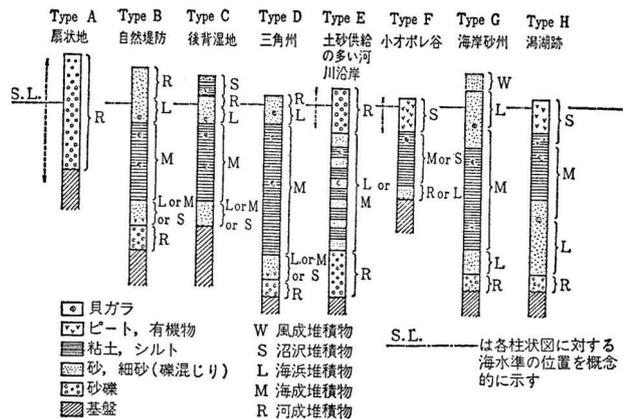
微地形分類図は地理院地図で公開されているし、「新・関東の地盤<sup>3)</sup>」や「全国77都市の地盤と災害ハンドブック<sup>4)</sup>」にも部分的に示されている。さらに、250mメッシュの表示ではあるが、全国を網羅した「地形区分に基づく液状化の発生傾向図」が国土交通省のハザードマップポータルサイト<sup>5)</sup>で「重ねるハザードマップ」→「地形分類」→「全ての情報から選択」→「土地の特徴・成り立ち」→「地形区分に基づく液状化の発生傾向図」と検索していくと閲覧できる。例として、東京での液状化発生傾向図を図4.3に示す。このような微地形に基づくハザードマップは地震動の大きさは考慮できない



(1) 微地形の分布の模式図



(2) 河川を横断する断面図



(3) 異なる微地形での土層構成

図4.2 低地の種々の微地形と土層構成の説明図<sup>1)</sup>

表4.1 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<sup>2)</sup>における微地形ごと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	
↑ 強 ↓ 弱	非常に強い	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 <sup>※1</sup> 、砂利(砂鉄)採取後の埋戻し地、低地(湿地)上の盛土造成地 <sup>※2</sup>
	強い	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 <sup>※3</sup> 、浅い谷や凹地の盛土地、谷埋め盛土造成地
	やや強い	微地形(自然地形)	砂州・砂礫洲、氾濫低地、後背低地
やや弱い	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 <sup>※4</sup> 、谷底低地	
弱い	微地形(自然地形)	山地・丘陵、山麓堆積地形、台地 <sup>※5</sup>	

※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。

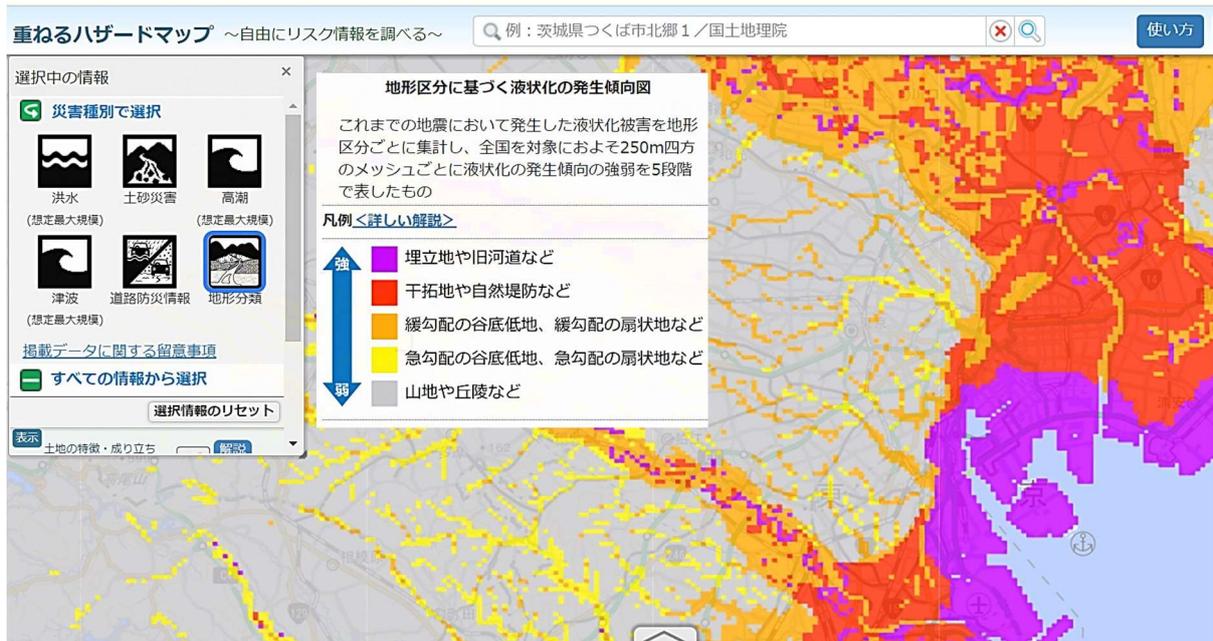


図 4.3 重ねるハザードマップのうち東京地区の地形区分に基づく液状化の発生傾向図<sup>5)</sup>

が、既往のボーリングデータが無い地区でも表示されているので、液状化の検討を行う必要性の判断に役立つ。

#### 4.3 地盤調査データによる液状化ハザードマップをもとにした液状化の検討を行う妥当性の判断

自治体で作成した地盤調査データに基づく液状化ハザードマップを調べて、液状化の検討を行う必要性を判断する。

##### 【解説】

構造物を建設する際に地盤調査として一般にボーリングと標準貫入試験が行われる。標準貫入試験では、図 4.4 に示すように二つ割のサンプラーをボーリングで掘った孔の底に入れ、上部にロッドをつなぐ。そして 63.5 kg のハンマーを、ロッドの途中に設けたノッキングヘッドに 76cm の高さから落下させてサンプラーを地盤内にたたき込む。そして、30 cm ほどたたき込む（貫入する）までに要した打撃回数を  $N$  値とする。その後サンプラーを引き上げて中から試料を取り出し、粒度試験などを行う。ボーリング孔では地下水位を測定する。これらにより、液状化し易い地盤の条件の、「地下水位以下の緩く堆積した砂質土層」が分かるのである。

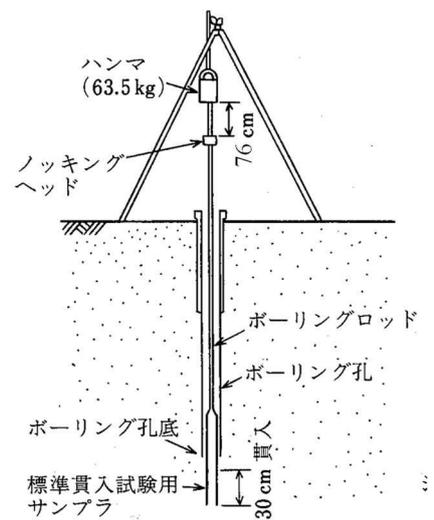


図 4.4 標準貫入試験方法

1964 年の新潟地震の後、液状化発生箇所と発生しなかった箇所の  $N$  値が比較され、ある限界の  $N$  値より小さい場合に液状化が発生すると判断する「限界  $N$  値法」による判定方法が開発され、地震発生 7 年後の 1971 年には港湾構造物、1972 年に道路橋、1974 年に建築基礎構造物と鉄道構造物の設計基準類に導入された。その後、 $N$  値と土の粒度特性から液状化強度  $R$  を推定し、地震時に地盤内で発生するせん断応力  $L$  と比較して液状化の発生を予測する方法が考案された。これは  $F_L$  値法と呼ばれ、図 4.5 に示すように  $F_L = R/L$  の値を深さ方向に求め、 $F_L < 1$  となる層を液状化層と判定する方法である。1978 年の岩崎らの研

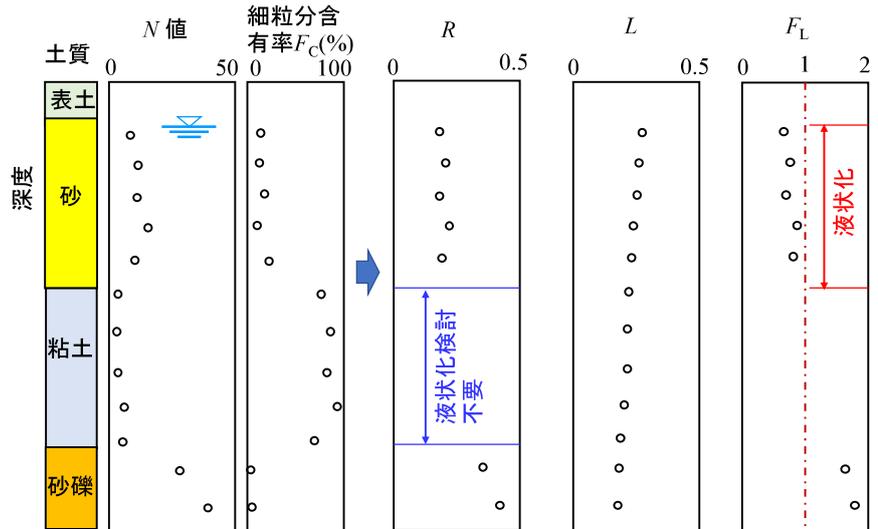
究<sup>6)</sup>をもとに、1980年に道路橋示方書・同解説に導入され、その後、1986年に鉄道構造物、建築基礎構造設計指針に導入された。現在の我が国の多くの設計基準類では、この $F_L$ 値法で液状化の発生の判断をしている。ただし、 $R$ や $L$ の算出方法は各基準で異なっている。

ところで、深い所にある薄い層だけが液状化しても、地上にある構造物が被害を受けるとは限らないため、液状化による構造物の被害の程度を表す指標として、

1978年に図4.6に示す液状化指数 $P_L$ （液状化指標地とも呼ばれる）が提案された<sup>6)</sup>。そこでは、液状化によって生じる構造物の被害や地盤変状は、 $(1 - F_L)$ の値が大きいほど、また、液状化が浅部で発生するほど甚大と考え、被害に影響を与える深さは20m程度までと考えている。

さて、このような地盤調査データを用いた液状化判定結果をもとに、液状化ハザードマップが1978年に石原と小川によって日本で最初に作成された<sup>7)</sup>。そこでは、地震動として0.25gを与えて液状化層の深度が推定され、液状化層厚 $H_2$ と表層の非液状化層厚 $H_1$ とをもとに液状化による被害の発生の有無が推定された。その後、我が国では各自治体で地震被害想定の一環などとして、液状化ハザードマップが作成されるようになり、1991年までに全国で13の自治体によって液状化ハザードマップが作成され、現在では全国の47都道府県全てで液状化ハザードマップが作成され、公開されるようになってきた。これらの液状化ハザードマップの作成方法としては、殆どが既往ボーリングデータを収集し、道路橋示方書・同解説の方法に従って $F_L$ の深度分布を求めている。そして、その地点の液状化による被害の程度の判断として、液状化指数 $P_L$ を用いている。

一例として、東京都の地震被害想定で作成された液状化ハザードマップ<sup>8)</sup>のうち図4.3と同じ範囲を図4.7に示す。また、関東の各自治体で作成されている液状化ハザードマップの作成手法や特徴をまとめた表を付録に示す。全国の自治体で公表されている液状化ハザードマップは、国土交通省のハザードマップポータルサイトから、→わがまちハザードマップ→



$F_L$ : 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

図 4.5 我が国の設計基準類で一般に用いられている液状化簡易判定方法

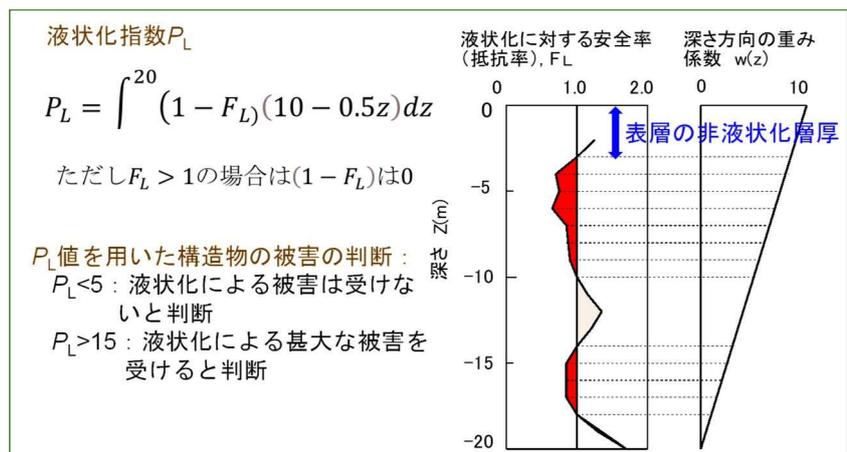


図 4.6 液状化指数 $P_L$

まちを選ぶ→地震防災・危険度マップ情報→液状化マップ、で各自治体のサイトにリンクされて、マップが見れるようになっている。

このような液状化ハザードマップを参考にして、液状化の検討の必要性を判断すると良い。ただし、液状化指数は一般的な建造物の被害の程度を表している指標に過ぎない。戸建て住宅のように軽い構造物では表層の非液状化層厚  $H_1$  が被害の有無に大きく影響することが分かっている。そのため、第8章で後述するように、と  $H_1$  を組み合わせて戸建て住宅の被害を示す新しい戸建て住宅用の液状化ハザードマップの方法が、国交省の「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」で 2021 年に示された。これに従って今後自治体で戸建て住宅用の液状化ハザードマップが作成され始めている。これに先駆けて、さいたま市で作成されて

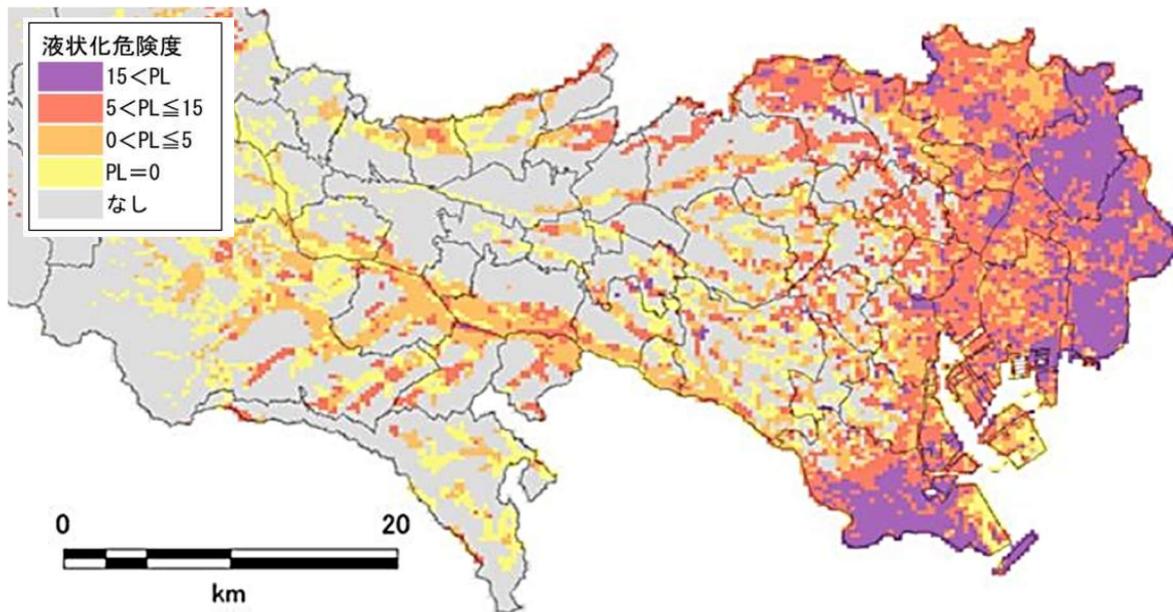


図 4.7 東京都で作成されている液状化指数 PL によるハザードマップ<sup>8)</sup>

いた両者のマップ<sup>9)</sup>を図 4.8 に示す。国土交通省の「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」でも 2 つの都市に対し両方の方法で作成したマップが比較して示されている。

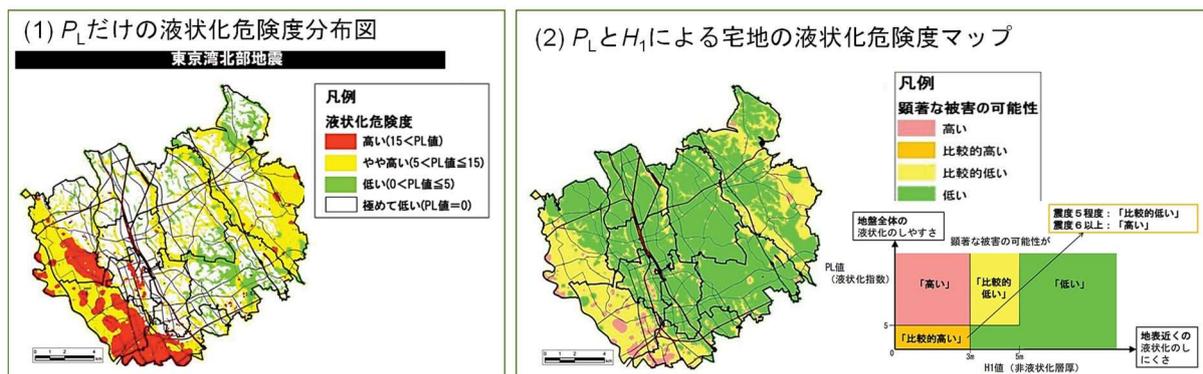


図 4.8 さいたま市防災カルテに示されている  $P_L$  だけと  $(P_L$  と  $H_1)$  による液状化危険度マップ<sup>9)</sup>

## 参考文献

- 1) 池田俊雄：わかりやすい地盤地質学、鹿島出版会、166 p.、1986.

- 2) 国土交通省都市局都市安全課：「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](https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_tk_000044.html)
- 3) 地盤工学会：新・関東の地盤、237 p.、2014.
- 4) 地盤工学会：全国 77 都市の地盤と災害ハンドブック、670 p.、2012.
- 5) 国土交通省：ハザードマップポータルサイト. <https://disaportal.gsi.go.jp/>
- 6) 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.
- 7) Ishihara K. and Ogawa, K.: Liquefaction susceptibility map of downtown Tokyo, *Proc., 2nd International Conference on Microzonation*, Vol.2,; 897-910, 1978.
- 8) 東京都：首都直下地震等による東京の被害想定, 2022.  
<https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/taisaku/torikumi/1000902/1021571.html>
- 9) さいたま市：さいたま市防災カルテ、2014.  
[https://www.city.saitama.jp/001/011/015/002/001/p035774\\_d/fil/si.pdf](https://www.city.saitama.jp/001/011/015/002/001/p035774_d/fil/si.pdf)

## 5. 人工地形と液状化履歴の調査

海岸や池・沼の埋立地、田んぼを盛土した造成地などの人工地形は、一般に液状化し易い。ところが、これらは局所的に土地が改変された狭い所が多く、微地形やボーリングデータを用いた液状化ハザードマップでは考慮されていないことが多い。したがって、対象宅地が造成される前の地形図や航空写真を調べて、液状化が発生し易い人工地形に該当しないか否か検討する。また、過去に液状化した地盤は将来の地震でも液状化（再液状化と呼ぶ）し易いので、対象宅地が過去の地震で液状化していないか、文献をもとに液状化履歴を調べる。

<主担当者：住宅業者や工務店>

### 5.1 宅地造成前の地形図や航空写真をもとにした人工地形の検討

対象宅地に対し、造成される前の地形図や航空写真、市町村史などの土地の履歴を調べて、液状化が発生し易い人工地形に該当しないか否か、検討する。

#### 【解説】

#### (1) 人工改変地が特に液状化し易い理由

我が国には埋立地など人工的に手を加えた地盤が全国各地に無数に存在する。盛土や埋立ては水面上や低湿地で地下水位が浅い場所に行われることが多い。また、盛土材や埋土材として粘土を用いると支持力が不足したり圧密沈下するので、一般に砂質土が用いられる。さらに、締め固めはあまり行わずに造成されることが多いので、まさに、液状化し易い条件をすべて揃えていることになる。このため、人工改変地は自然地盤よりもさらに液状化し易い。

表 5.1 においても液状化発生傾向が“非常に強い”人工改変地として、埋立地、砂利採取後の埋戻し地、低地（湿地）上の盛土造成地が挙げられ、“強い”人工改変地として干拓地や凹地の盛土地、谷埋め盛土造成地が挙げられている。なお、谷埋め盛土造成地は低地ではなく丘陵地や台地に位置するので、人工改変地は低地以外でも条件が揃えば液状化する可能性があることに留意が必要である。

これらのうち、海岸の大規模な埋立地は人工改変地として認識されて液状化ハザードマップに液状化し易い箇所として表示されるが、その他に無数に存在する小規模な人工改変地は存在が認識されていなく、微地形分類図や液状化ハザードマップに表示されていない場合が多い。したがって、対象宅地がこのような人工改変地に該当しないか、自ら調査することが大切である。

#### (2) 造成前の地形図や航空写真、市町村史を用いた人工改変地の調べ方

我が国では明治以来定期的に国土の測量が行われ、国土地理院によって地形図が発行されてきている。地図の縮尺はいろいろあるが、明治から一貫して発行されており、また、人工地形を見つけやすい縮尺は 1/5 万地形図である。例えば、東京東北部で旧版地形図が発行されてきている年を示すと表 5.1 のようになる。また、現在の同様の縮尺の地形図は、国土地理院の地理院地図<sup>1)</sup>で閲覧することができる。したがって、例えば我が国でまだ宅地造成があまり行われていなかった 1940 年頃の旧版地形図と現在の地形図を比べると、対象宅地が人工改変地かどうか分る。

表 5.1 に示した旧版地形図は国土地理院で購入することが出来るが、谷は新旧地形図を比較できるようにし、インターネットで公開している<sup>2)</sup>。全国の主要な範囲をカバーしており、また、旧版地形図の年代も明治から現在まで 10 時期程度が比較できるようになっており、便利であるので利用すると良い。

飛行機から撮影した空中写真も 1950 年頃から国土地理院によって定期的に撮影されるようになってきている。これも地理院地図<sup>1)</sup>で年代を追って閲覧できるので、1950 年頃以降の改変であれば、新・旧の空中写真を比較して人工改変地かどうか判断できる。

その他、全国の自治体では市町村史の作成が進められており、その中に人工改変の記述も載っていることがあるので、利用すると良い。

### (3) 液状化ハザードマップに記載され難いものの液状化し易い人工改変地の例

一般に液状化ハザードマップに記載されないものの、液状化し易くて注意が必要な人工改変地を挙げてみると以下のようなものがある。

- 1)池や水路の埋立地といった狭い人工改変地
- 2)軟弱粘性土地盤上に家を建てるため、掘削して砂で置き換えた宅地
- 3)水田の上に盛土して造成した宅地
- 4)砂利や砂鉄を採取するため掘削し、そこを埋め戻した宅地

それぞれの模式図を図 5.1(1)～(4)に示す。以下に各人工改変地での液状化発生事例と、その場所における液状化ハザードマップでの記載状況、旧版地形図や空中写真での抽出の可能性を示す。

### (4) 池や水路の埋立地といった狭い人工改変地での液状化発生事例

2016年熊本地震の際に熊本県上益城郡益城町では戸建て住宅が甚大な被害を受けた。主な原因は大変強い震動によるものであったが、一部の地区では液状化による被害も発生した。そのうちの宮園地区では、池を埋め立てた箇所でも液状化が発生し、住宅が写真 5.1 に示すような被害を受けた。

表 5.1 国土地理院で発行している 1/5 万旧版地形図（東京東北部の場合、国土地理院による）

5万地形図  
東京東北部  
とうきょうとうほくぶ

リスト番号	測量年 ▲	更新履歴	発行年月日	リスト番号	測量年 ▲	更新履歴	発行年月日
76-2-2	1909(明42)	測図	1919/01/30(大8)	76-2-17	1970(昭45)	修正	1970/05/30(昭45)
76-2-1	1912(明45)	縮図		76-2-18	1974(昭49)	修正	1976/03/30(昭51)
76-2-3	1919(大8)	鉄補	1919/11/30(大8)	76-2-18B	1974(昭49)	修正	1976/03/30(昭51)
76-2-4	1927(昭2)	鉄補	1928/07/30(昭3)	76-2-19	1977(昭52)	二編	1979/01/30(昭54)
76-2-5	1929(昭4)	鉄補	1929/12/28(昭4)	76-2-19B	1977(昭52)	二編	1979/01/30(昭54)
76-2-6	1929(昭4)	部修	1931/05/30(昭6)	76-2-20	1982(昭57)	修正	1983/02/28(昭58)
76-2-7	1932(昭7)	要修	1932/12/28(昭7)	76-2-20B	1982(昭57)	修正	1983/02/28(昭58)
76-2-8	1932(昭7)	要修	1946/11/30(昭21)	76-2-21	1987(昭62)	修正	1988/03/30(昭63)
76-2-9	1932(昭7)	要修	1947/01/30(昭22)	76-2-21B	1987(昭62)	修正	1988/03/30(昭63)
76-2-10	1948(昭23)	資修	1948/10/30(昭23)	76-2-22	1990(平2)	修正	1991/04/01(平3)
76-2-11	1952(昭27)	資修	1952/04/30(昭27)	76-2-22B	1990(平2)	修正	1991/04/01(平3)
76-2-12	1954(昭29)	応修	1957/03/30(昭32)	76-2-23	1994(平6)	修正	1996/03/01(平8)
76-2-13	1954(昭29)	応修	1959/05/30(昭34)	76-2-24	1996(平8)	要修	1997/03/01(平9)
76-2-14	1961(昭36)	資修	1962/02/28(昭37)	76-2-25	2000(平12)	修正	2000/11/01(平12)
76-2-15	1964(昭39)	資修	1965/07/30(昭40)	76-2-25B	2000(平12)	修正	2000/11/01(平12)
76-2-16	1967(昭42)	編集	1968/03/30(昭43)	76-2-26	2005(平17)	要修	2005/08/24(平17)

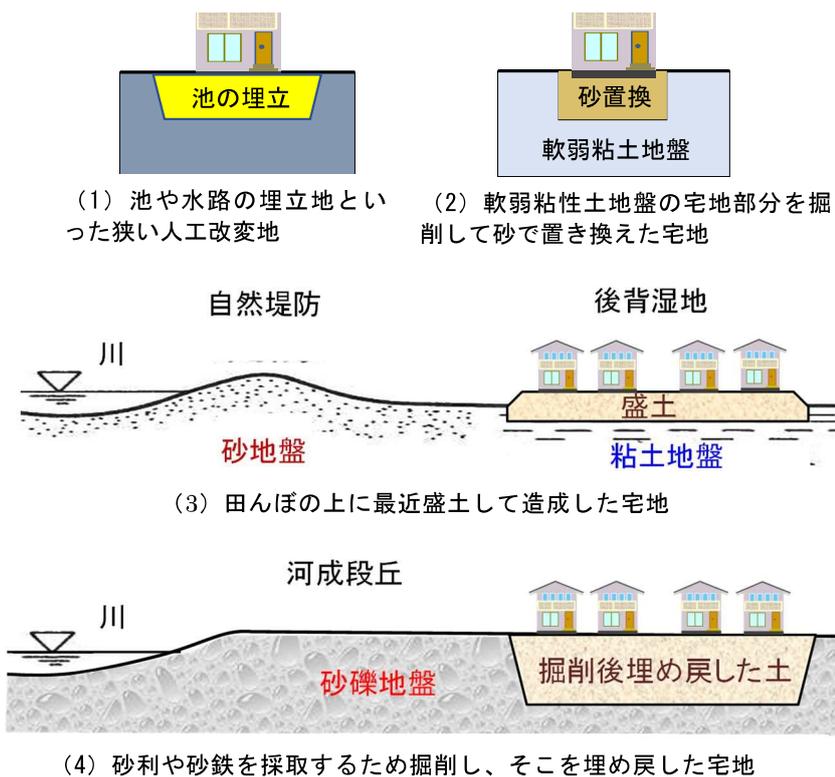


図 5.1 液状化ハザードに記載され難いものの液状化し易い人工改変地



写真 5.1 池を埋めた箇所の被害

この地点は図 5.2 に示す治水地形分類図によると、台地の中の狭い氾濫平野に該当する。また、“重ねるハザードマップの地形区分に基づく液状化の発生傾向図<sup>3)</sup>”によると、図 5.3 に示すように、全体が台地でその中の狭い地区のために、全体に液状化発生傾向は弱いと判定されている。

これらに対し、“今昔マップ”で旧地形を調べてみると、図 5.4 のように 1926 年の旧地形図には鮮明に池の存在が示されている。ただし、図 5.5 に示すように 1965 年～1971 年の旧地形図には池が記されていないので、この間に埋められたものと判断できる。

このように、狭い人工改変地形は液状化ハザードマップでは無視されることがあるが、旧版地形図を調べると見つけ出すことが出来る可能性がある。

(5) 軟弱粘性土地盤上に家を建てるため、掘削して砂で置き換えた宅地での液状化発生事例

写真 5.2 は 2003 年十勝沖地震の際に北海道中川郡豊頃町で液状化により不同沈下し 2.5 度ほど手前に傾いた家である<sup>4)</sup>。家屋の周囲は 30m 程度沈下し、そこに噴砂が発生していた。ここは治水地形分類図によると氾濫平野に位置する。家屋から 10m 程度離れた箇所で行った SWS 試験の結果によると、図 5.6 に示すように 1.7m 程度の層厚の盛土下に、軟弱なシルト層、泥炭層が G.L.-9m まで厚く堆積していた。このように軟弱地盤であったため、この住宅では地盤を強固にするよう特別に G.L.-3m 程度まで掘削し、礫混じり砂質土で埋め戻して、その上に家を建てたとの事である。したがって、掘削して埋め戻した砂質土が液状化して家が不同沈下したと考えられている。

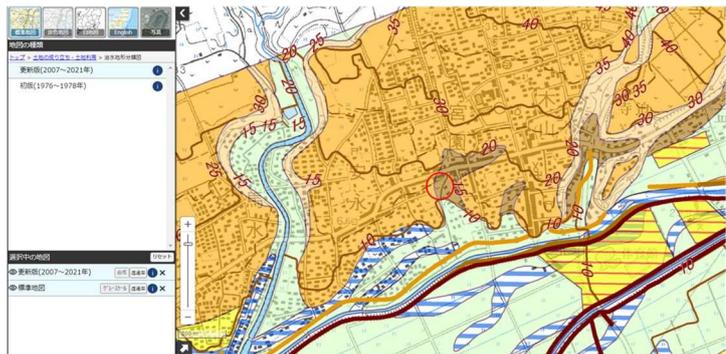


図 5.2 治水地形分類図<sup>1)</sup>



図 5.3 地形区分に基づく液状化の発生傾向図<sup>3)</sup>



図 5.4 今昔マップ (左図は 1926 年)<sup>2)</sup>

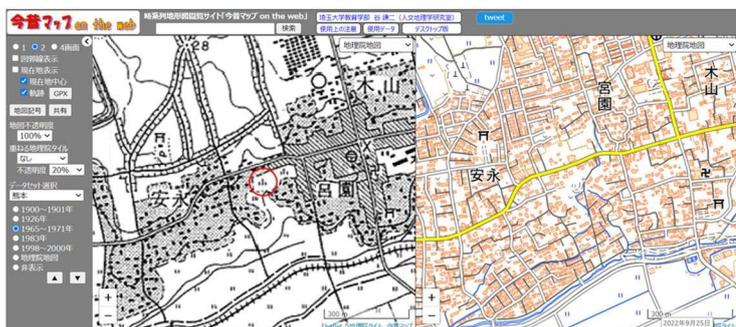


図 5.5 今昔マップ (左図は 1965～1971 年)<sup>2)</sup>





図 5.9 治水地形分類図<sup>1)</sup>



図 5.10 地形区分に基づく液状化の発生傾向図<sup>3)</sup>



図 5.11 今昔マップ<sup>2)</sup>



図 5.12 昔の空中写真<sup>1)</sup>

### (7) 砂利や砂鉄を採取するため掘削しそこを埋め戻した宅地での液状化発生事例

東日本大震災の際に、茨城県神栖市では市内の多くの地区で液状化が発生したが、その内北西部では図 5.13 に示す箇所で液状化が発生し、戸建て住宅に甚大な被害を与えた。図 5.14 の治水地形分類図によると、この範囲のうち鰐川・掘割地区は鰐川の埋立地で、元々液状化し易い微地形であった。一方、豊田・昭田地区は氾濫平野、深芝・平泉地区は砂州・砂丘と液状化し難い微地形であった。ところが、これらの地区では砂利の採取のため掘削が行われ、それを埋め戻した所で液状化が発生して、写真 5.3 に示すように住宅が被害を受けた。図 5.15 に深芝・平泉地区を通る 11-11'測線の土層断面を示す。掘削・埋め戻した部分の深さは最大 10m 程度であるが、断面内で様ではない。これは、掘削作業上、部分的に掘削されたものである。なお、この断面図は、測線方向に連続して調査できる表面波探査で調べた結果をもとに作成されたものである。ボーリング調査ではこのような凹凸が激しい埋戻し部の判読はできない。

深芝・平泉地区の微地形は図 5.14 に示したように砂州・砂丘である。また、“重ねるハザードマップの地形区分に基づく液状化の発生傾向図”を図 5.16 に示すが、これでも液状化の発生傾向は“やや強い”に分類されているだけである。

これらに対し、今昔マップを年代で追って見ても掘削地は分からない。ところが、空中写真を見てみると、図 5.17 に示すように掘削状況が写っているものもある。このように、掘削作業の期間は年単位である程度長いので、空中写真で判読できる場合も出来ない場合もある。

液状化履歴がある地区ではないが、東京都狛江市での掘削事例も示してみる。ここは多摩川沿いで、やはり砂利採取が行われていた。図 5.18 に示すように旧版地形図にも池のような箇所が分布していることが示されている。さらに、狛江市史に載せられている地図を示したのが図 5.19 であり、ここには池のように見えた箇所が砂利掘削した場所と明記してあり、当時の写真も載せられている。このように市町村史には土地の履歴が詳細に記載されていて、人工改変地を調べる有力な資料となる可能性がある。

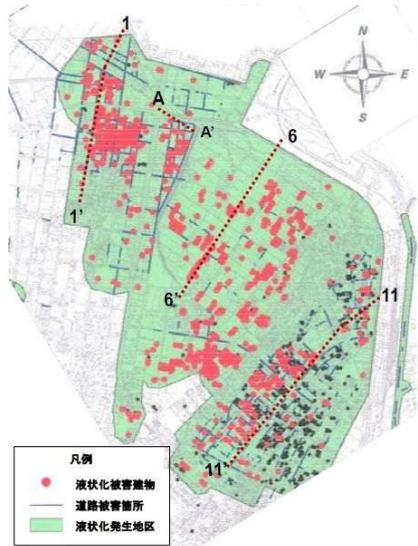


図 5.13 液状化発生箇所<sup>5)</sup>



写真 5.3 戸建て住宅の被災状況

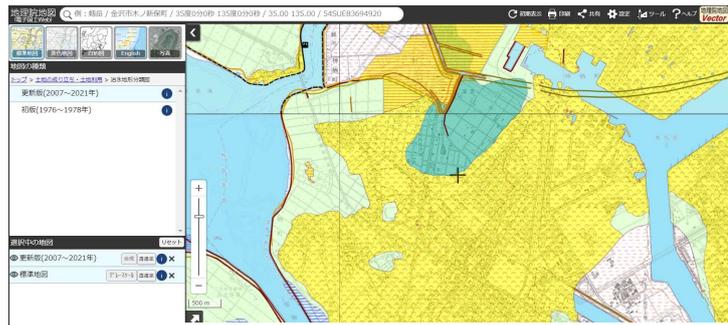


図 5.14 治水地形分類図<sup>1)</sup>

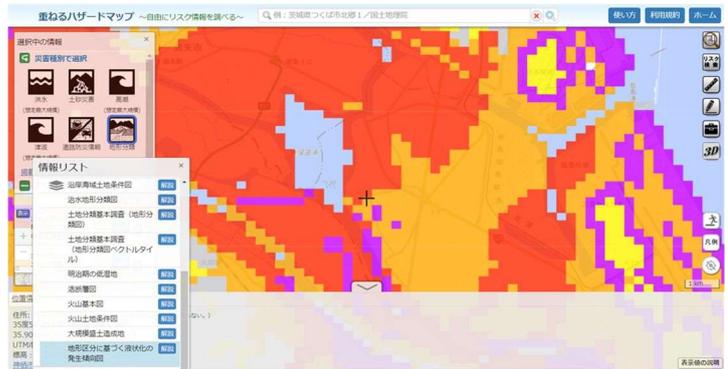


図 5.16 地形区分に基づく液状化の発生傾向図<sup>3)</sup>

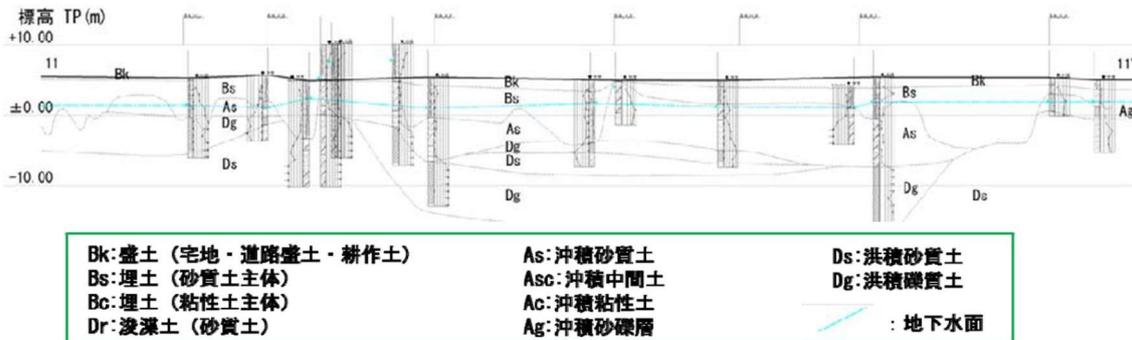


図 5.15 深芝・平泉地区の断面図<sup>5)</sup>



図 5.17 空中写真<sup>1)</sup>

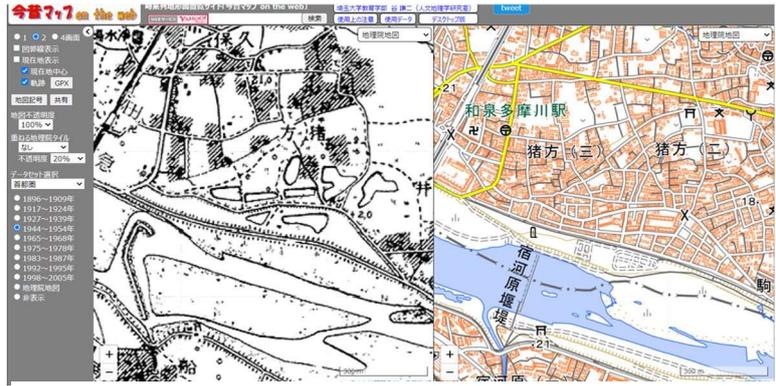


図 5.18 今昔マップ<sup>2)</sup>

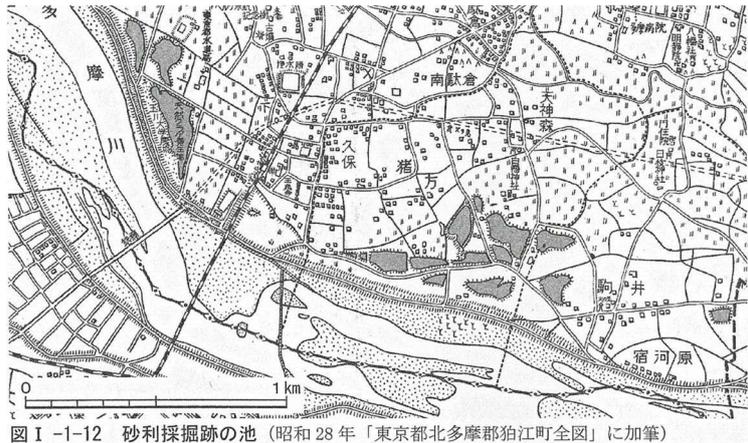


図 I -1-12 砂利採掘跡の池 (昭和 28 年「東京都北多摩郡狛江町全図」に加筆)

図 5.19 狛江市史<sup>6)</sup>

(8) 丘陵地の谷埋め盛土

東日本大震災では東北地方を中心に関東地方まで、丘陵地の数多くの谷埋め盛土で被害を受けた。その内、茨城県那珂郡東海村では南台団地と緑ヶ丘団地の 2 つの盛土造成地が被害を受けた。

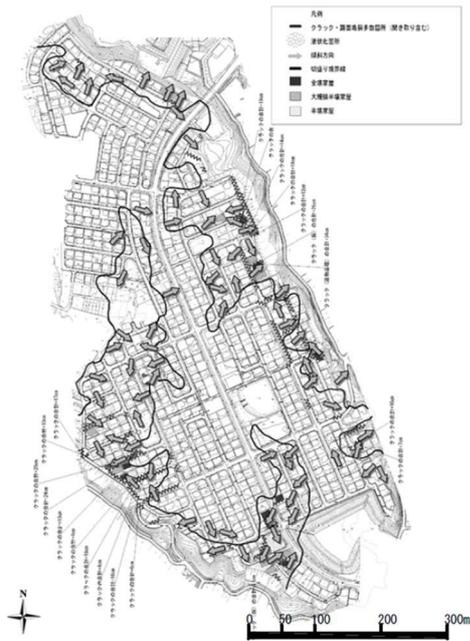


図 5.20 盛土造成箇所<sup>5)</sup>



写真 5.4 液状化発生状況

両地区とも泥岩を基盤とし、それを更新世の砂・砂礫が覆っている。南台団地では中央部の台地を掘削し、図 5.20 に示す狭小な枝谷部に盛土して造成が行われた。地震により盛土のり面が変状し住宅が被害を受けたが、盛土部ではさらに写真 5.4 に見られるように噴砂も発生し、液状化によって家屋が沈下・傾斜した。地震後の地盤調査によると盛土の上流側では地下水位はGL-1m程度と浅かった。

## 5.2 文献をもとにした過去の液状化履歴の調査

対象宅地周辺が過去の地震で液状化していないか、文献をもとに液状化履歴を調べる。

### 【解説】

一度液状化した地盤は揺すられたため締まって、再び液状化し難いと考えがちであるが、逆である。液状化した箇所は次の地震でまた液状化し易い。これを再液状化と呼ぶ。したがって、過去の地震時に液状化した履歴がある箇所は、次の地震で特に液状化し易い地盤と見做しておく必要がある。我が国における液状化履歴地点に関しては若松<sup>7)</sup>が詳細に調べ、図書として出版されているのでそれを参照すると良い。

このような再液状化が発生することを最初に指摘したのは栗林・龍岡・吉田<sup>8)</sup>である。過去の液状化地点を文献で調べたら同じ地区で液状化していたことを見つけ出した。その後、1983年日本海中部地震では本震で液状化した箇所が1ヶ月後の余震で液状化する箇所が出てきた。さらに調べてみると1968年の十勝沖地震でも液状化しており、同じ所で3回液状化したことも分かってきた。

東日本大震災では東京湾岸の埋立地で広い範囲で液状化したが、その中に1987年千葉県東方沖地震で液状化し、戸建て住宅に被害を与えていた箇所もあった。

さらに、ニュージーランドのクライストチャーチで発生した地震で広い範囲で液状化したが、その地区の中には半年前の地震ですでに液状化していた地区もあった。この地区ではその後も2、3回の余震で液状化することが発生し、写真 5.5 に示すように、めり込み沈下量も増加していった。最終的にこの地区は集団移転することになり、更地になった。

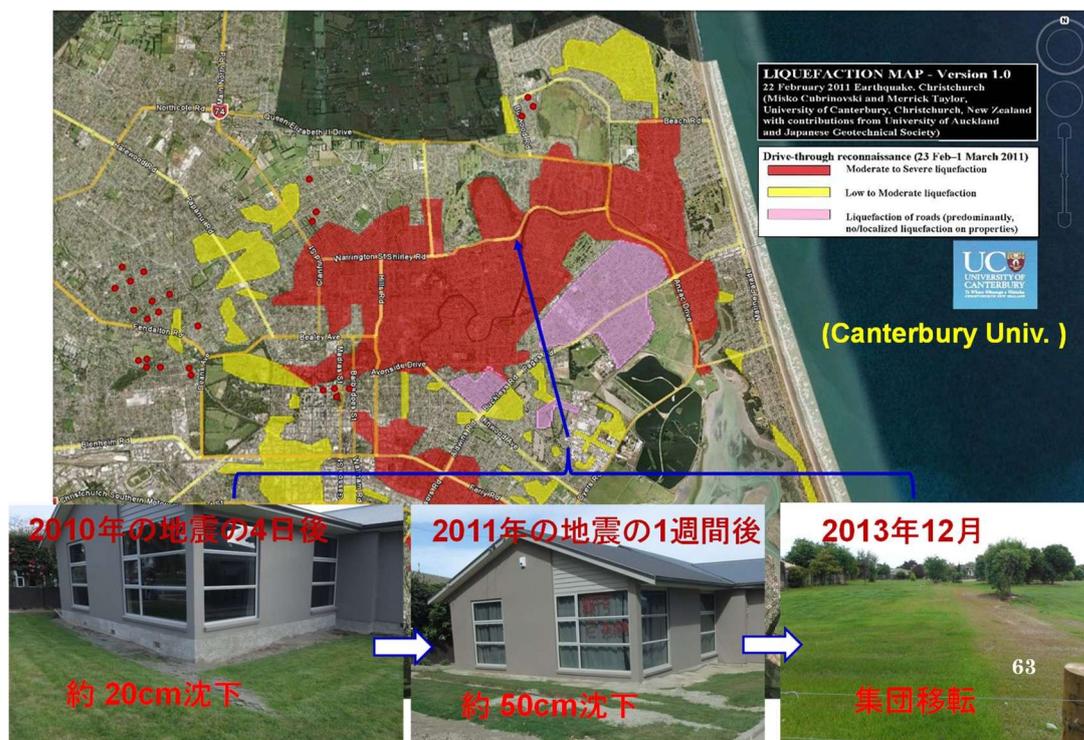


写真 5.5 再液状化により被害が進行していった住宅

我が国における液状化発生個所に関しては、若松 2008<sup>7)</sup> による詳細な調査結果を参考にするとよい。

#### 参考文献

- 1) 国土地理院：地理院地図  
<https://maps.gsi.go.jp/#15/38.045742/140.912683/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f0&d=m>
- 2) 谷謙二：今昔マップ、<https://ktgis.net/kjmapw/>
- 3) <https://disaportal.gsi.go.jp/>
- 4) 規矩大義・安田進・田中智宏・石川敬祐・掛川智仁・伊藤忠・浜野義明：2003 年十勝沖地震における住宅基礎の被害，第 39 回地盤工学研究発表会，No.978, pp.1953-1954, 2004.
- 5) 地盤工学会：東日本大震災合同調査報告 共通編 3 地盤災害、2013.
- 6) 狛江市：狛江市史、2019.
- 7) 若松加寿江：日本の液状化履歴マップ、東京大学出版会、
- 8) 栗林栄一・龍岡文夫・吉田精一：明治以降の本邦の地盤液状化履歴、土木研究所彙報、No.30、1974.

## 6. 簡易地盤調査計画のための近隣の土層断面図や既往ボーリングデータの収集

自治体などで作成されている土層断面図や、国や自治体などで公開されている近隣のボーリングデータを収集し、対象宅地付近の土層構成を把握する。対象宅地内が同一の微地形であれば、宅地に応じて簡易地盤調査の箇所を選定する。宅地内に複数の微地形が存在する場合には、微地形ごとに簡易地盤調査を行うように調査箇所を選定する。そして、把握した土層構成をもとに各箇所の簡易地盤調査箇所の調査深度を設定する。

<主担当者：住宅業者や工務店>

### 6.1 既往土層断面図の収集

自治体などで作成されている土層断面図や、地盤工学会などで作成している地盤図の図書を収集して、対象宅地付近の土層構成を把握する。

#### 【解説】

対象とする宅地のエリアに関して土層断面図が既に作成されていると、簡易地盤調査の可能性や調査深度の設定に役立つので、既往の土層断面を入手すると良い。自治体や研究機関で作成されている土層断面図は多くはないが、公表している自治体もある。東京都で公開されている図<sup>1)</sup>の例を図6.1に示す。この図では地区全体で地表から10m付近の深度まで砂質土層が堆積し、その下部は液状化が発生し難い粘性土が厚く堆積している。したがって、このような地区では液状化用の簡易地盤調査は10m程度の深度まで行えば良いと判断することができる。

図6.1までの詳細な土層断面図ではないが、各地の地盤図などの図書にも土層断面図が載っているものがある。例えば、地盤工学会が発行している「新・関東の地盤<sup>2)</sup>」や「全国77都市の地盤と災害ハンドブック<sup>3)</sup>」にもいくつかの都市での土層断面が載っているので参考にすると良い。

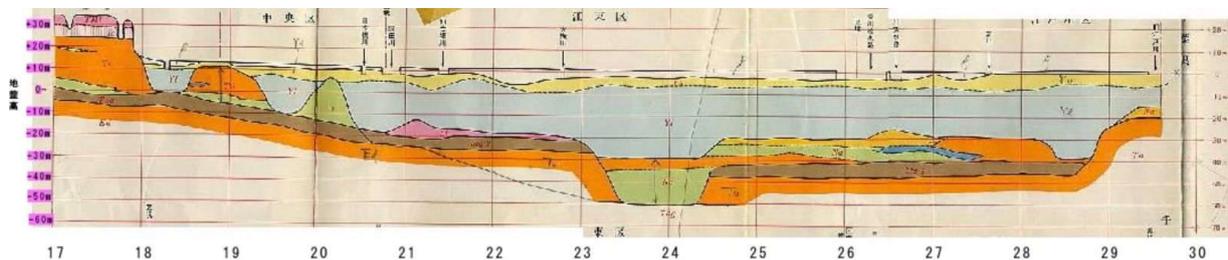


図 6.1 東京低地における東西方向の測線に沿った既往の土層断面図  
(出典：東京都土木技術支援・人材育成センターHP)<sup>1)</sup>

### 6.2 近隣における既往のボーリングデータの収集と土層構成の把握

国や自治体などで公開している近隣の既往のボーリングデータを収集し、土層断面図を作成して対象宅地付近の土層構成を把握する。

#### 【解説】

##### (1) ボーリングデータの収集

我が国では、最近、地盤工学会や国・自治体において既往のボーリングデータの収集とデータベース化が進められてきた。これを利用して、調査対象箇所付近のボーリングデータが見つければ、SWS試験やSDS試験の調査で深い所まで調査が出来なかった場合の補助や、土層構成の解釈などに役立たせることができる。

これらの既往のボーリングデータは、国土交通省の「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」<sup>4)</sup>にも書かれているように、以下のようなデータベースから入手することができる。

##### 1) 全国的なデータ：

国土地盤情報検索（国土交通省など）<sup>5)</sup>、ジオ・ステーション（防災科学技術研究所）<sup>6)</sup>、

全国ボーリング所在情報公開サイト（総務省）<sup>7)</sup>、地盤情報ナビ（中央開発）<sup>8)</sup>  
 2) 地域別のデータ：

新・関東の地盤（地盤工学会関東支部）<sup>2)</sup>、北海道地盤情報データベース（地盤工学会北海道支部）、関西地盤情報データベース（関西圏地盤情報ネットワーク）、九州地盤共有データベース（地盤工学会九州支部）、あだち地図情報提供サービス（足立区）、など

また、250メッシュ内のボーリングデータを平均化してそのメッシュの地盤モデルが作成されたものも入手できる。例えば、地盤工学会では全国の主要な33地区に対し地盤モデルを作成し<sup>9)</sup>、ジオ・ステーション（防災科学技術研究所）<sup>6)</sup>で公開してある。これを用いて東京の主要部における南東—北西測線で地盤モデルを並べた例を図6.2に示す。断面図中の左半分は皇居などの台地部であるが、東側の3つのメッシュの地盤モデルは銀座付近の低地である。この付近では表層に数mの厚さの砂質土が堆積していることが確認できる。

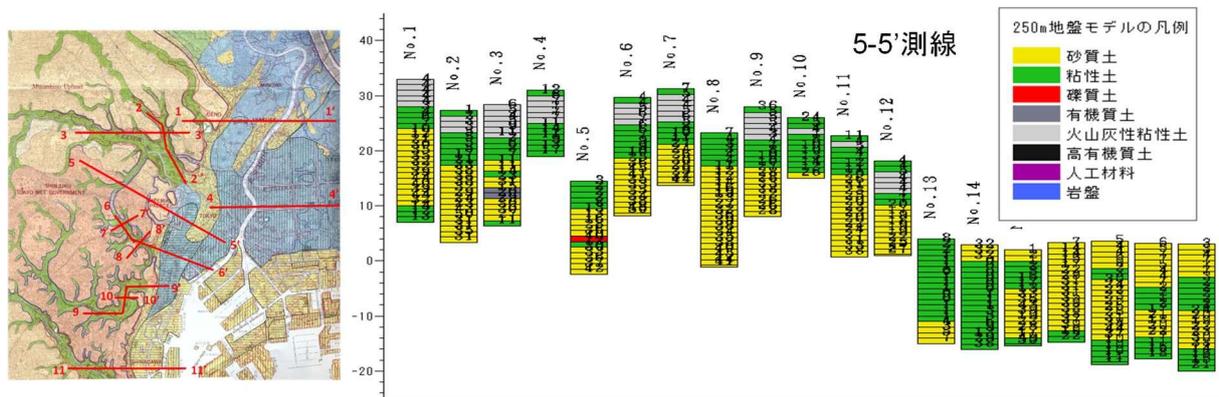


図 6.2 東京主要部を通る測線に沿って全国電子地盤図<sup>9)</sup>の地盤モデルを並べた断面

なお、宅地や下水道関連の地盤調査では10mを超すような深いボーリングが行われていないことも多くある。後述するように、液状化が戸建て住宅に与える被害の評価をする際に液状化指標値  $P_L$  が用いられ、その場合に20mの深度までの液状化の判定が必要であった。ところが、戸建て住宅の被害に影響するのは数m程度までの表層なので、10mの深さまでで  $P_{L10}$  を計算できる方法が「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」<sup>4)</sup>に導入された。したがって、上記のデータベースに含まれていない建築確認申請時のボーリングデータや下水道建設時のボーリングデータなども別途に収集すると良い。

## (2) 土層構成の把握

収集したボーリングデータをもとに対象宅地の土層構成を把握するためには、対象宅地周辺の既往ボーリングデータを2次元断面図上に並べて土層構成を把握すると良い。例えば、

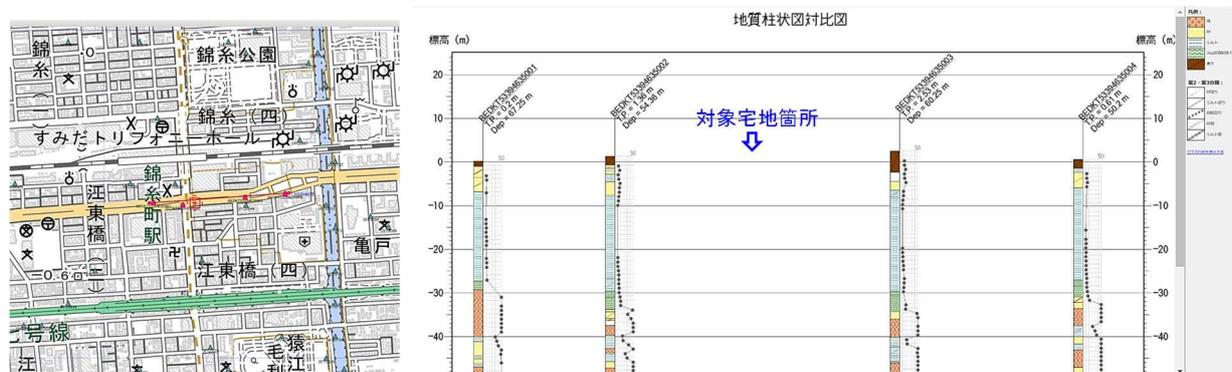


図 6.3 既往ボーリングの位置と測線に沿って並べた既往ボーリング例（ジオ・ステーション<sup>6)</sup>を利用）

対象宅地が図 6.3 の平面図中央にある場合に、付近にある 4 箇所の既往ボーリングデータを東西方向の道路に沿った測線に沿って並べると、図 6.3 の断面図となる。対象宅地箇所の両側の土質柱状図を見てみると、地表面から 1~3m の深さまで表土があり、その下部に 3~5m 程度の緩い ( $N$  値が小さい) 砂質土層が堆積していて、その下部には 20m 程度の厚い粘性土が堆積していることが分かる。したがって、液状化の検討をしなければならないのは地表面から数 m の深さの砂質土層の下端までで、簡易地盤調査では下層の粘土層の存在を確認すれば、それ以深の調査はしなくて良くなる。逆に、その深度でも粘性土層が出てこない場合には、第 5 章で事例を挙げたように人工的に掘削して砂で埋め戻した箇所ではないかといったことが分かってくる。

このように、対象宅地周辺の既往のボーリングデータを収集し、土層構成を把握することが簡易地盤調査の計画を立てる時や、調査結果を解釈する上で大切である。

### 6.3 既往のボーリングデータの地下水位の見方の留意点

対象宅地付近の地下水位の把握にあたっては、既往の 1 本のボーリングデータだけでなく周囲のボーリングデータも参照して判断する。また、降雨との関係にも留意する。

#### 【解説】

既往のボーリングデータには地下水位が記入されていないものが多々ある。また、記入してあっても、その測定がきちんと行われておらず（例えばボーリング調査に泥水を使用した場合孔壁を洗浄して地下水位を測定する必要があるが、そのように行われていない）、測定値に誤差を含んでいることがある。これは一般の地盤調査では地下水位の深さはあまり重要ではないからである。ところが、液状化の発生判定および液状化による戸建て住宅の被害判定には、地下水位が大きく影響するので 既往のボーリングデータを参照する場合に注意が必要である。このためには、1 本のボーリングデータだけでなく、微地形が同じ周辺の地盤での複数のボーリングデータでの地下水位を比較して判断することが必要である。

地下水位と液状化による被害との関係は古くから研究が行われてきている<sup>10)</sup>が、東日本大震災で甚大な被害を受けた浦安に関して検討された事例を 2 つ示してみる。

まず、浦安市で地震後に設けられた委員会で、戸建て住宅の被害の程度と地下水位の関係が図 6.4 のようにまとめられた<sup>11)</sup>。この図に示されるように地下水位が深くなるほど被害の程度が軽くなる傾向を示した。そして、「特に、被災率が 50% を超える地下水位は、全壊で GL-0.5~1.0m、大規模半壊、半壊及び一部損壊で GL-1.5~2.0m であった。」と報告されている。

一方、浦安市内の入船・美浜地区の戸建て住宅の庭で、地震から約 2 年後に簡易な地下水位調査装置を用いて調査を行い、被害に与えた地下水位の影響を調べた結果<sup>12)</sup>を図 6.5、6.6 に示す。これによると被害が大規模半壊だった住宅の地下水位の平均値は GL-1.1m 程度で、半壊では GL-1.2m 程度、一部損壊では GL-1.3m 程度、無被害では GL-1.7m 程度であった。このように地下水位が深いほど被害の程度が軽い傾向となった。

なお、地下水位は降雨や季節によって少し変動する。東日本大震災の後に千葉市で行われた市街地対策事業の際に、地区全体の地下水位を下げる実証実験において 1 年間の地下水位の変動が測定された結果<sup>13)</sup>を図 6.7 に示す。この実験では矢板で囲った中の地下水位を 1.5m 程度下げ、矢

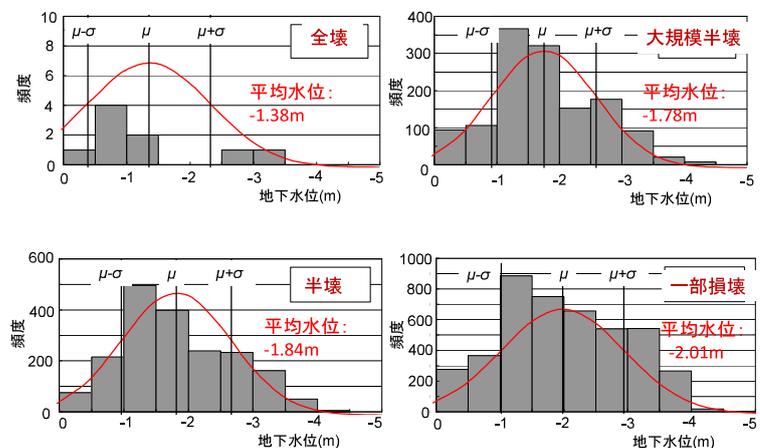


図 6.4 浦安市の被災程度と地下水位(文献<sup>11)</sup>に一部加筆)

板内外の地下水位の時間変化を測定してある。図中上の線群が矢板外側のデータであるが、20～30 cmの変動は年間を通して生じていて、さらに豪雨時には数 10 cmほど大きく上昇している。そして、数日間(2～9 日)の短期累積降水量と地下水位の上昇量をプロットすると、図 6.8 のように累積降水量に応じて地下水位が上がる傾向が得られた<sup>14)</sup>。この場所は平坦な埋立地で、周囲から表面水の流入はないので降雨の影響だけで地下水位が変化しているが、このような場所では地下水位の変動は数 10 cm程度のものであるので、既往のボーリングデータにもこの程度の変動量が含まれていると考えておいた方がよい。次章に述べる簡易地盤調査で地下水位を測定する際にも、豪雨直後だと地下水位を浅く見過ぎている可能性もあるので注意が必要である。

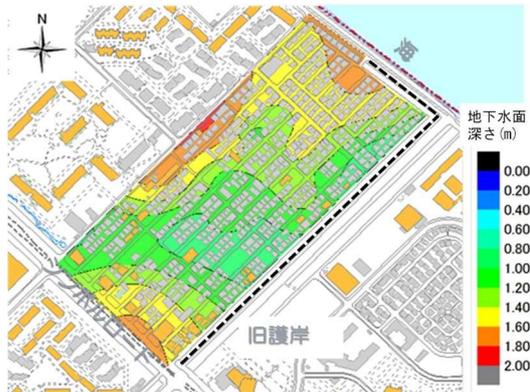


図 6.5 浦安市入船で測定した地下水位から推定した地下水面深度の分布<sup>12)</sup>

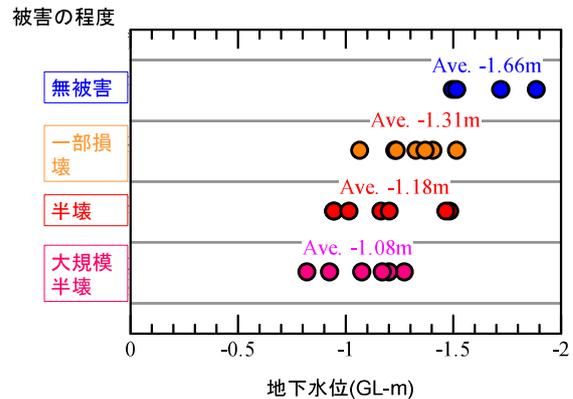


図 6.6 浦安市の 2 地区における地下水位と家屋の被害程度の関係<sup>12)</sup>

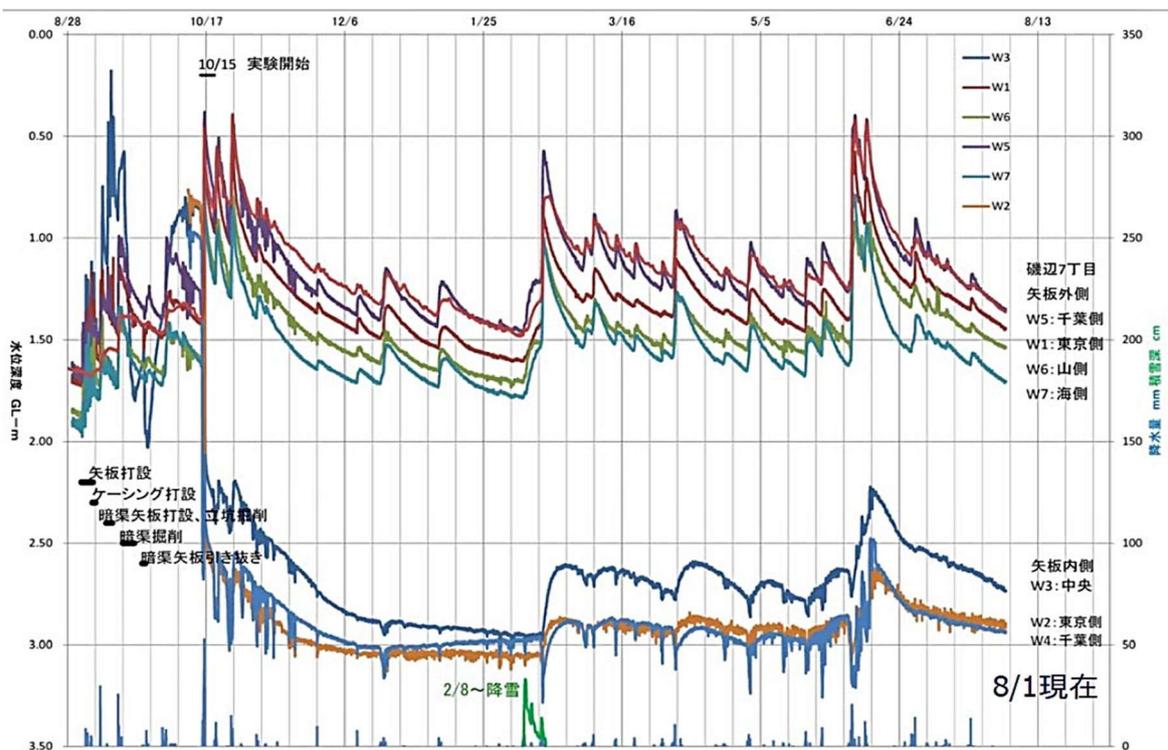


図 6.7 千葉市で行われた市街地液状化対策事業の実証実験において測定された地下水位の 1 年間の変動<sup>13)</sup>

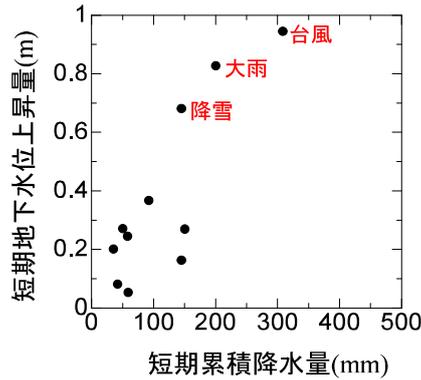


図 6.8 短期降水量と地下水位上昇量

#### 6.4 対象宅地内における簡易地盤調査箇所の選定

対象宅地内が同一の微地形であれば、宅地に応じて調査箇所を選定する。宅地内に複数の微地形が存在する場合には、微地形ごとに調査を行うように調査箇所を選定する。

**【解説】**

**(1) 対象宅地内が同一の微地形の場合**

対象宅地内は同一の微地形の場合には特に調査箇所に気を遣う必要はない。住宅を新築や建替えする場合には、敷地内で地盤の支持力の調査を行う地点に合わせて、液状化の調査も行えば良い。例えば敷地内の四隅と中央の 5 箇所で調査を行う場合、中央の地点付近で液状化の調査用に地下水位の測定と試料採取を行えば良い。

一方、中古住宅を購入する場合や耐震補強する場合には、庭やガレージといったスペースで調査を行えば良い。

**(2) 対象宅地が 2 種類の微地形にまたがっている場合**

対象宅地が 2 種類の微地形にまたがっている場合には、調査地点の選定に注意が必要である。写真 6.1 は砂利を掘削して埋め戻した所と原地盤のままの境界で、東日本大震災での被災状況を撮った写真である。手前が埋め戻した跡地で、地震により液状化して沈下した。右側の住宅は丁度その境界にまたがって建てられていた。このような微地形の境界が分かり液状化が問題になる側が分かる場合には、液状化し易い微地形の範囲を選んで、そこで簡易地盤調査を行う必要がある。



写真 6.1 掘削跡地（手前）と砂州（奥）との境界に建てられていた宅地

#### 6.5 各調査地点の簡易地盤調査の調査深度の設定

既往ボーリングから把握した土層構成をもとに、対象宅地内で行う簡易地盤調査の調査深度の設定を行う。

**【解説】**

**(1) 調査下端深度の設定**

液状化が懸念される緩い砂層の下部に図 6.3 のように液状化しない粘土層が厚く堆積している場合には、推定される境界の深度より 1~2m 程度深くまで調査し、粘性土が下部に続いていることを確認して調査を終了すれば良い。そして、 $P_L$  の計算にあたってはその液状化しない粘性土の  $F_L$  を 1 より大きな値に設定しておけば良い。

液状化が懸念される緩い層の下部に締まった砂礫層がある場合には、SWS 試験や SDS 試験の貫入自体が出来なくなるので、その深度で終了することになる。そのような締まった層では  $F_L$  は 1 以上になるはずなので、やはりそれ以降は  $F_L > 1$  の値を設定して  $P_L$  を計算すれば良い。

## (2) 試料採取深度設定

一般の地盤調査では標準貫入試験は深さ方向に 1m 間隔で行う。そして液状化の判定の際にも 1m 間隔で判定する。それに合わせて SWS 試験、SDS 試験で液状化の調査を行う場合でも、液状化対象層に対し 1m ごとの深度で試料採取を行い、粒度試験を行うのが望ましい。ただし、液状化対象砂層が均質に近いと推定されるような場合には、2~3m 間隔で試料を採取することも出来る。

## (3) 地下水位測定方法の設定

一般の低地では表層の地下水位は静水圧（地下水位以下の深さに比例して水圧が増加する）分布をする場合が多い。このような場合には想定される地下水位より少し深い深度まで孔を開けたあと、地下水位を測定すれば良い。一方、丘陵の谷埋め盛土地では地下水位の分布が静水圧と異なることがあるので、その場合には複数の深度で水位を測定する必要がある。これらに関しては第 7 章で後述する。

## 参考文献

- 1) 東京都建設局：地質断面図の選択、<https://www.kensetsu.metro.tokyo.lg.jp/jigyo/tech/start/03-jyohou/danmenzu/danmenzu.html>
- 2) 地盤工学会：新・関東の地盤、237 p.、2014.
- 3) 地盤工学会：全国 77 都市の地盤と災害ハンドブック、670 p.、2012.
- 4) 国土交通省都市局都市安全課：「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](https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_tk_000044.html)
- 5) 土木研究所：国土地盤情報検索サイト、<https://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/index.html>
- 6) 防災科学技術研究所：ジオ・ステーション <https://www.geo-stn.bosai.go.jp/>
- 7) 総務省情報流通連携基盤の地盤情報における実証事務局：全国ボーリング所在情報 公開サイト、<https://publicweb.ngic.or.jp/etc/zenkoku/>
- 8) 中央開発㈱：地盤情報ナビ、<https://www.ckcnet.co.jp/csr/geonavi/>
- 9) 地盤工学会：表層地盤情報データベース連携に関する研究委員会、[https://www.jiban.or.jp/?page\\_id=434](https://www.jiban.or.jp/?page_id=434)
- 10) 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.
- 11) 浦安市液状化対策技術検討調査委員会：平成 23 年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書、2012 .
- 12) 石川敬祐・安田進・五十嵐翔太：自由地下水位の違いが液状化時の戸建て住宅の被害に与える影響、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.527-534，2014.
- 13) 千葉市：千葉市液状化対策推進委員会資料、2014.
- 14) 安田進・石川敬祐・橋本隆雄・内田秀明：埋立地盤における地下水位の時間変化と液状化被害、第 70 回土木学会年次学術講演会講演集、Ⅲ、2015 年、pp.647-648.

## 7. 簡易地盤調査の実施

SWS 試験（スクリュウウエイト貫入試験）や、それを改良した SDS 試験（スクリュードライバーサウンディング試験）は宅地の支持力を求める簡易な地盤調査として広く用いられており、液状化の調査においても同様な方法で実施する。ただし、液状化判定のために必要な地下水位測定や SWS 試験の場合は土の試料採取と粒度試験が必須である。

＜主担当者：住宅業者や工務店＞

### 7.1 本手引きで示す簡易地盤調査方法

本手引きでは簡易な地盤調査として広く用いられている SWS 試験や、それを改良した SDS 試験を液状化判定に適用する。

#### 【解説】

我が国において液状化判定を行うために用いている地盤調査と土質試験の方法を、液状化の判定精度との関係で示すと、図 7.1 のようになる。判定精度が高いほど費用も高くなる。ここに示した方法のうち、SWS 試験が最も判定精度は劣るものの、最も安価で、狭いスペースでも調査ができる。また、JIS A 1221 : 2020 で調査方法が基準化されており、国土交通省告示第 1113 号に示されている地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を求めるための地盤調査の方法の一つにも規定されている。このため、最近では戸建て住宅を新築するにあたって、SWS 試験で調査を行うようになってきている。また、SDS 試験はこれを進展させた方法であり、やはり最近良く用いられるようになってきている。このような理由により、本手引きでは SWS 試験や SDS 試験を行い、さらに試料採取と地下水位測定を加えて液状化調査を行う方法を基本としている。ただし、他の調査方法でも戸建て住宅の液状化被害の推定の手順は同様に出来るので、この手引きを利用して SWS 試験より精度よく検討することが出来る。

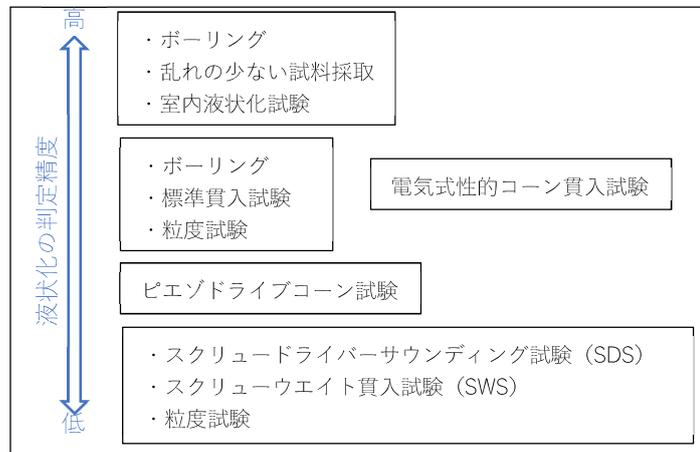


図 7.1 我が国で液状化判定を行うために用いている地盤調査と土質試験方法

### 7.2 SWS 試験と SDS 試験の特徴と試験方法

SWS 試験は日本産業規格（JIS A 1221 : 2020）、SDS 試験は建築技術審査証明（BL 審査証明 008）<sup>1)</sup> で定められた方法を基本とし、液状化調査用に試料採取と地下水位測定を付け加えて行う。

#### 【解説】

##### (1) SWS 試験と SDS 試験の特徴

SWS 試験と SDS 試験は、戸建住宅建築前の地盤調査で広く一般に使われている。代表的な試験機を写真 7.1 SWS、SDS 試験（全自動機）として示す。この試験機は家庭用 100V のコンセントを利用して試験が可能であり、スイッチで制御方法を切り替えることで SWS 試験と SDS 試験のどちらの試験方法も選択できる。

試験時間は、1 か所あたり半日程度であり、作業スペースは 1m 四方程度の狭小地でも対応できる。

なお、SWS 試験装置には半自動や手動（写真 7.2）で行う方法もある。極めて狭い場所や全自動装置を運搬し難い場所にも適用できる。



写真 7.1 SWS、SDS 試験（全自動機）



写真 7.2 手動の SWS 試験

表 7.1 SWS 試験と SDS 試験の特徴

	SWS	SDS
調査内容	地盤の硬軟、軟弱層厚の判定、 $N$ 値の推定	地盤の硬軟、土質判別（砂・砂以外）。地層構成、層厚の判定。 $N$ 値の推定
土質判別（試料採取以外）	ロッドの貫入音や感触、付着した土からある程度推定する	載荷荷重とトルク値、貫入量等から土質を判別する
測定深度間隔	一般に 25cm 毎	
適用深度	一般に 10m 程度まで	
作業スペース	最小 1m×1m 四方（全自動や半自動タイプの場合）	
貫入能力	転石・玉石などは貫入困難となる。	

## (2) SWS 試験の方法

SWS 試験は日本産業規格（JIS A 1221 : 2020）で定められた試験法である。手動式の試験装置を図 7.2 に示す。スクリューポイント、ロッド、載荷・回転装置からなる。スクリューポイントにロッドを介して荷重を載荷したときの荷重 ( $W_{sw}$ ) と貫入量の関係、及び 1kN の荷重で貫入停止後ロッドを回転させたときの、半回転数 ( $N_{sw}$ ) と貫入量との関係を求める。以降の測定は 25cm 貫入ごとに行う。荷重段階は 50N、150N、250N、500N、750N、1kN である。また近年では載荷荷重と回転の制御が自動化されたものが主流となっている

## (3) SDS 試験の方法

SDS 試験は、SWS 試験を改良した試験法である。常時回転貫入した状態で、一回転毎に 250N、375N、500N、625N、750N、875N、1kN と荷重段階を上昇させ、1 回転ごとにトルクと荷重の測定を行う。またロッドなどに掛かる周面摩擦抵抗の考慮を目的に 25cm 毎に 1~2cm 程度引き上げ、回転トルクの測定を行う。さらに区間長 25cm で測定し得たトルクと荷重の値から 25cm 毎の力学特性を計算し結果をまとめる。SDS 試験機は、制御装置で測定方

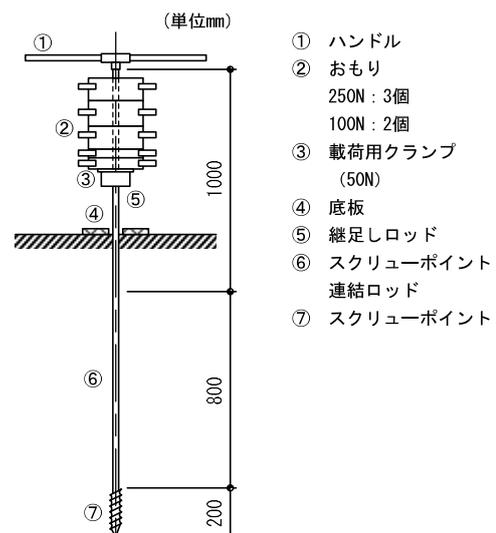


図 7.2 手動式の SWS 試験装置

法を SWS 試験に切り替えることも可能である。SWS 試験 の測定項目は  $W_{sw}$  もしくは  $N_{sw}$  のいずれか 1 つだけであり、知りうる地盤特性は限定される。そのため、SWS 試験単独では土質判別ができず、簡易サンプリングを併用することとなるが、その手間は SWS 試験 を超える場合がある。また、ロッドが周面摩擦の影響を受ける欠点もある。SDS 試験 はこれら欠点を解消した新しい試験法で、荷重、回転トルク、貫入量の組み合わせにより、土の力学的性質を知ることができる。

### 7.3 SWS 試験、SDS 試験の調査結果から $N$ 値への換算

SWS 試験、SDS 試験の調査結果から既往の提案式を用いて液状化判定用に  $N$  値に換算する。

#### 【解説】

我が国の設計基準類の液状化判定は標準貫入試験での  $N$  値をもとに行うようになっている。これを利用して液状化判定を行うため、SWS 試験や SDS 試験で得られた  $W_{sw}$  もしくは  $N_{sw}$  を  $N$  値に換算する必要がある。この換算式には両者を比較した過去の経験式を用いる。SWS から  $N$  値に換算する方法はいくつか提案されている。ここでは日本で広く用いられてきた関係式である稲田の式を用いる。

#### (1) SWS 試験から $N$ 値を推定する方法

液状化判定を行う際、地盤の硬さを表す指標である  $N$  値を用いる。 $N$  値は実験結果より、いくつかの推定式が提案されている。代表的なものを以下に示す。

##### ① 稲田の式<sup>2)</sup>

$$\text{粘性土} \quad N = 0.003W_{sw} + 0.050N_{sw}$$

$$\text{砂質土} \quad N = 0.002W_{sw} + 0.067N_{sw}$$

$W_{sw}$  : 載荷荷重(N)

$N_{sw}$  : 貫入量 1m 当たりの半回転数(半回転数/m)

##### ② 平成 25 年度 建築基準整備促進事業の式<sup>3)</sup>

$$N = \begin{cases} 2W_{sw} + 0.0536N_{sw} & \text{for } (N_{sw} \leq 150) \\ 10.04 + 0.0324(N_{sw} - 150) & \text{for } (150 < N_{sw} \leq 300) \\ 14.89 + 0.0237(N_{sw} - 300) & \text{for } (300 < N_{sw} \leq 500) \end{cases}$$

##### ③ 深井、大島らの式<sup>4)</sup>

$$\text{砂質土} : N = 4W_{sw} + 0.040N_{sw} \quad [N_{sw} \leq 300]$$

$$N = 16W_{sw} + 0.022(N_{sw} - 300) \quad [300 < N_{sw} \leq 600]$$

$$\text{粘性土} : N = 1W_{sw} + 0.044N_{sw} \quad [N_{sw} \leq 300]$$

なお、 $N_{sw}$  結果から推定する  $N$  値は実測値と比較してバラつきがあるので誤差を大きく含んでいる可能性がある。そして、液状化の発生やめり込み沈下量・傾斜角を精度良く求めるためには 8.1 や 9.3 に後述する詳細な地盤調査・解析を行う必要がある。

(2) SDS 試験から  $N$  値を推定する方法

SDS 試験の推定  $N$  値 ( $N_{SDS}$ ) は自動算出される。

$N$  値の推定式は以下のとおりである。係数  $\alpha$  は推定した土質によって異なり表 7.2 に示すように土質に応じた係数  $\alpha$  を示す<sup>5)</sup>。

$$N_{SDS} = \alpha_1 \times dT/dS_t + \alpha_2 \times E_{0.25} + \alpha_3 \times C_{nl} + \alpha_4$$

表 7.2 係数  $\alpha$  一覧表

	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$
砂	14.2	0.8	-2.8	5.4
砂以外	15.2	2.6	-2.4	3.0

以下に各項の概略を説明する。

$T$  : トルク、 $W$  : 荷重、 $St$  : 貫入量

$dT/dS_t$  貫入量に対するトルクの変化率を表し、図 7.3 の  $St \sim T$  の関係近似式における傾きが  $dT/dS_t$  である。締まった砂で大きく、軟らかい粘土で小さくなる。

$E_{0.25}$  25cm の貫入に要するエネルギーを表す。図 7.4 の  $St/0.25 \sim E$  の関係は非線形であるので、図 7.5 のように  $\log(St/0.25) \sim \log E$  に変換する。ここでの関係近似式における Y 軸切片が  $\log E_{0.25}$  である。

$C_{nl}$  貫入量に対するエネルギー変化率を表し、図 7.5 の近似式の傾きが  $C_{nl}$  である。  
 $C_{nl} \doteq d(\log E) / d(\log St)$

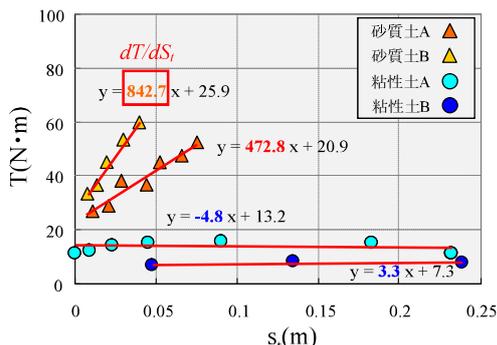


図 7.3  $T \sim St$  関係

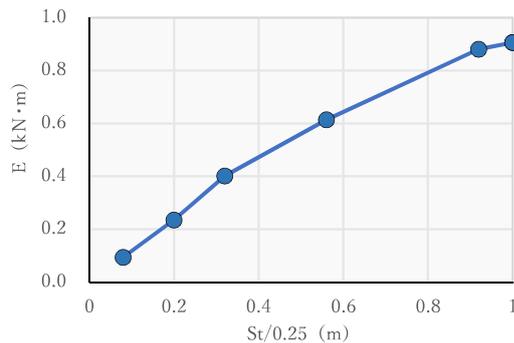


図 7.4  $E \sim St/0.25$  関係

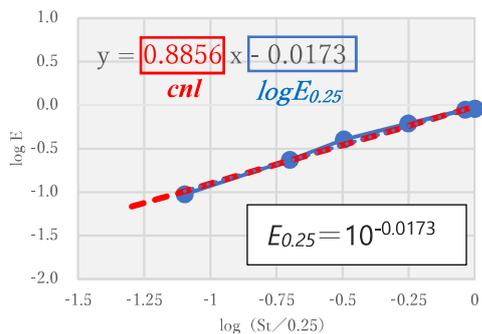


図 7.5  $E_{0.25}$  と  $C_{nl}$  の関係 ( $E_{0.25}$  の算出法)

以上のとおり推定することで、 $N$ 値と SDS 試験による  $N$ 値推定 ( $N_{SDS}$ ) は以下の関係となる。

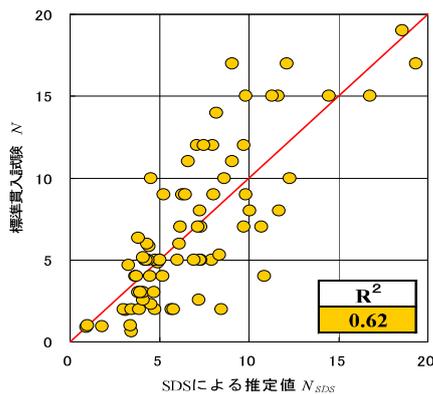


図 7.6 砂の  $N$ 値と  $N_{SDS}$  の関係図

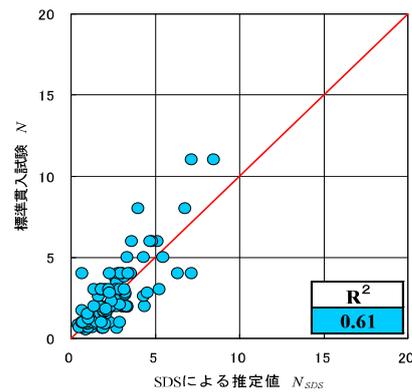


図 7.7 砂以外の  $N$ 値と  $N_{SDS}$  の関係図

#### 7.4 地下水位測定

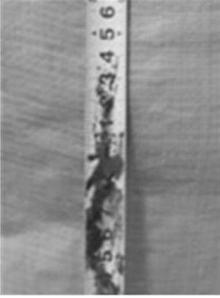
水位計などを用いて地下水位測定を行う。

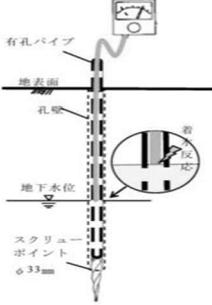
##### 【解説】

##### (1) 地下水位測定方法の種類

地下水位測定は SWS 試験、SDS 試験とも同じ方法で測定する。地下水位測定方法は表 7.3 に示すようにいくつかあるが、コンベックスを使う方法、水位測定棒を利用する方法および通電感知式水位計を用いる方法が普及している。これら一般的に用いられる地下水位測定方法は、地表面から 5.0~6.0m 程度の深度までが測定限界であるが、専用の治具を利用することで 10m 程度まで測定できるものもある。これらの通電感知式水位計を用いる方法は比較的精度が高い。いずれの方法も所定深度まで掘進してから孔内水位を確認することになるので測定される孔内水位は合成水位となる。

表 7.3 主な水位測定方法一覧表<sup>6)</sup>

名称 (写真)	特徴
コンベックス 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サウンディング孔にコンベックスを挿入し、コンベックスの濡れ具合で地下水位を測定する。</li> <li>・SWS 試験孔が自立しないと測定できない。</li> <li>・濡れ具合を目視で確認するため、水位計（通電感知式、通電比抵抗式）に比べ、測定精度が低い。</li> </ul>
水位測定棒 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サウンディング孔に水位測定棒（丸鋼棒など）を挿入し、棒の濡れ具合で地下水位を測定する。</li> <li>・強度のある鋼棒を使用するため、ある程度孔壁が閉塞していても貫入が可能である。</li> <li>・濡れ具合を目視で確認するため、水位計（気圧式、通電感知式、通電比抵抗式）に比べ、測定精度が低い。</li> </ul>

<p>通電感知式水位計</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サウンディング孔に水位計を挿入し、地下水位を測定する。</li> <li>・試験孔が閉塞している場合は測定不可能になるため、SWS 試験孔に中空有孔塩ビ管または中空有孔鋼管を挿入し、管内の地下水位を測定する方法もある。</li> <li>・有孔管を挿入して測定する場合は、地下水位が安定してから測定するため、測定誤差が少ない</li> </ul>
<p>通電比抵抗式水位計</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サウンディング孔に φ19 mm の中空有孔鋼管を挿入し、管内の地下水位を比抵抗水位計により測定する。</li> <li>・SWS 試験と同じ径の有孔管を用いるため、SWS 試験機による貫入が可能である。</li> <li>・有孔管を挿入し、地下水位が安定してから測定するため、測定誤差が少ない。</li> <li>・地下水の比抵抗値を測定するため、塩分濃度および大まかな水質の判別が可能である。</li> <li>・適用深度は 10 m 程度。</li> </ul>

降雨時にはコンベックスや水位測定棒を利用する方法では、正確な水位が測定できない。よって通電感知式水位計または通電比抵抗式水位計を使用することが望ましい。

## (2) 水位測定の留意点

地下水位は液状化リスクの判定や地盤の安定性を評価するときなどに重要な要素となる。そこで調査の際には以下の手順で実施するとよい。

- ① 事前に近隣の調査データや調査地付近の河川、湧水などを確認する。また複数孔調査する場合は、最初の測点でロッドの湿り具合を確認し、大まかな地下水位を確認する。
- ② より推定される深度より深くまで削孔し、有孔管を挿入する。
- ③ 水位計を用いて水位を測定する（5分後、10分後、30分後、60分後など複数回水位測定し、安定水位を測定値とすることが望ましい）。

## (3) 降雨時の水位測定の留意点

- ① 削孔時に孔口から地表の雨水が入らないように留意する。
- ② 有孔管の内側が濡れているとセンサーが反応して正確な孔内水位が測れないことがある。よって計測前は有孔管を濡れないようにして、計測時には有孔管にキャップをすることで管内に雨水が付着しないよう留意する。

(4) 宙水等が予想される場合の水位測定方法

丘陵地の谷埋め盛土造成地などで宙水等があり、複数の水位を測定する場合は、図 7.8 に示すように、削孔深度を変えながら複数削孔し、その後有孔管を建込み水位観測孔とするなどが考えられる。液状化判定する場合は、測定水位のうち最も高い水位を使用する。

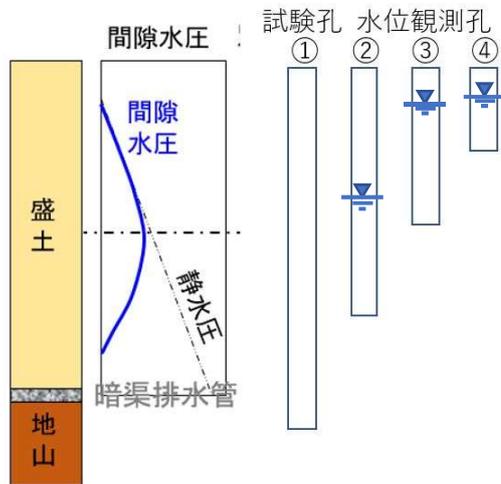


図 7.8 宙水等の存在が予想される場合の地下水測定の場合の例



写真 7.3 中空有孔塩ビ管の例 (VP13 をねじ切り加工、φ3 mm穴加工)

7.5 土の試料の採取と粒度試験

SWS 試験、SDS 試験で作成した細い孔でも可能な簡易サンプラーを用いて、液状化判定対象深度の土を採取する。そして、ふるい分け試験などで粒度特性を調べる。

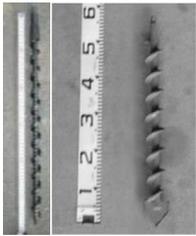
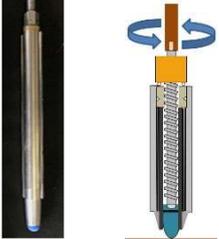
【解説】

(1) 試料採取の方法

土の試料は SWS 試験、SDS 試験とも同じ方法で採取する。採取用の装置は表 7.4 に示すようなものが開発されてきている。

表 7.4 主な簡易サンプラー一覧表

SWS 試験孔を利用して孔壁の土質試料を採取する (掻きとり式)		
名称	写真	特徴
開閉式サンプラー		サンプラーの回転蓋を閉じた状態で任意の深度まで挿入し、ロッドを回転させることで蓋が開き、更に回転させることで周囲の地盤を掻き取り試料を採取する。逆回転により蓋を閉じてから引き抜く。先端にスクリーポイントをつけることで、貫入力を高めているサンプラーもある。
開放型回転掻き取り式サンプラー		採取したい深度部分にサンプラーを複数取付け、無回転にて任意の深度まで挿入する。所定の深度に到達した後、正回転させることで周囲の地盤を掻き取り、サンプラー孔に試料が充填される。深い深度の試料を採取する場合は、サンプラー孔にのりを充填し、挿入時に周辺地盤が混入しないよう配慮している。一度に複数の深度の試料を採取出来る。

ドリル式サンプラー		スパイラルのピッチに合わせてサンプラーを回転貫入させ、所定の深度にサンプラーが貫入したことを確認した後、無回転で引き抜きサンプラーに付着した試料を採取する。 全層サンプリングのため、地層境界および層厚を把握しやすい。地下水位以深のゆるい砂地盤では採取量が低下する。
SWS 試験孔を利用して孔底の土質試料を採取する（回転貫入式）		
名称	写真	特徴
回転貫入式サンプラー		スクリューポイントで採取深度まで削孔しロッドを引き上げる。スクリューポイントをサンプラーに付け替え孔底に降ろし、ロッドを回転させることにより内管を突出させ、地盤に突き刺さすことで内管に試料が入る。 上下層の試料混入がなく、乱れの少ない試料が採取できる。

6) より抜粋

## (2) 簡易サンプラー選定の留意点

開閉式サンプラーは、孔壁を掻き取る方式で、サウンディングの残孔をそのままサンプリング孔として利用でき、作業性が良い。しかし本方式で得られた細粒分含有率は標準貫入試験で採取された試料のそれに比べ砂質土では高めに、粘性土では低めの値を示す傾向があるため、試験結果の解釈には注意が必要である。

回転貫入式サンプラーは、孔底以深の自然地盤から乱れの少ない試料を採取する。このため、孔壁を掻き取る方法のように試料の乱れを考慮した粒度補正は必要ないと考えられる<sup>7)</sup>。しかしこの方法は、サウンディング孔とは別にサンプリング孔を削孔する必要がある。

## (3) 試料採取深度の決定

試料採取は液状化を検討する層において、SWS 試験の場合は 1m 毎に実施することが望ましい。

SDS 試験の場合も、1m 毎に実施することが望ましい。ただし試験結果より地層構成が明らかでない場合は土層ごとに採取することも考えられる。

## (4) 粒度試験方法

粒度試験方法としては対象土が砂質土なので、ふるい分け試験で行うのが良い、ただし、現行の設計基準類の液状化の判定方法では粒度特性として、細粒分含有率だけを用いているものが多いので、その場合には簡易な粒度試験方法として細粒分含有率試験などを実施するとよい。

細粒分含有率とは、土の炉乾燥質量に対して、0.075 mm 未満の乾燥質量が占める割合を、百分率で表したものである。

細粒分含有率  $F_c$  は、次式によって算出する。

$$F_c = \frac{m_s - m_F}{m_s}$$

ここに、 $m_s$  : 全体の炉乾燥重量、 $m_F$  : 細粒分の炉乾燥重量

## (6) その他の新しい粒度試験方法

### ① レーザ回折式粒子径分布測定

粒子群にレーザー光を照射し、そこから発せられる回折・散乱光の強度分布パターンから計算によって粒子径分布を求める方法で、測定範囲が広い・測定時間が短い・湿式測定も乾式測定も可能などの優れた特長を持っている。

測定範囲は 17nm～2500 μm 粒子から直径 2mm のまで 1 台で測定できる。



図 7.9 レーザ開設式粒子径分布測定器

### ② 画像分析 AI を用いた簡易的な粒度分析<sup>8)</sup>

スマートフォンで土を撮影し、その画像のコントラストを分析することにより粒度分布を推定する。この方法では、現場で簡単に細粒分と砂分の境界である 0.075mm 未満の細粒分含有率と 0.075mm 以上の粒形加積曲線を推定できる。

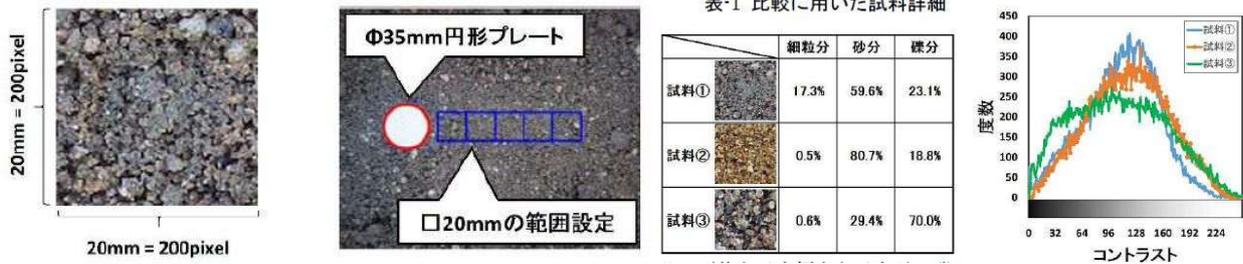


図 7.10 AI を用いた簡易的な粒度分析例<sup>8)</sup>

## (7) SDS 試験結果から直接、液状化抵抗比 $R_L$ を推定する方法<sup>9)</sup>

SDS 試験結果から、液状化抵抗比  $R_L$  を推定する式が提案されている。この方法では回帰分析における説明変数として、SDS 試験結果から算出される解析パラメータのうち、以下の 3 項目を採用している。

- ・回転貫入によるトルクの増分を示す  $dT/ds_t$
- ・1m あたりの半回転数 ( $N_{SD}$ ) をスクリーポイントの最大径 (D) で正規化した正規化半回転数  $N_{SD}D$  と正規化トルク  $\pi T/WD$  の比で表される土の硬軟を表す指標である  $C_p$
- ・25cm に要する貫入エネルギーを示す  $E_{0.25}$

回帰分析から求められた回帰分析結果と回帰式を下に示す。

$$R_{LSDS} = \alpha_1 \times dT/ds_t + \alpha_2 \times C_p + \alpha_3 \times E_{0.25} + \alpha_4$$

表 7.5  $R_{LSDS}$  の係数  $\alpha$

$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
-0.1	-2.7E-03	6.6E-03

以下に  $C_p$  の概略を説明する。 $dT/ds_t$  および  $E_{0.25}$  に関しては、7.3 「SWS、SDS の調査結果から  $N$  値への換算」を参照されたい。

$C_p$ は $\pi T/WD$ と $N_{sw}D$ を用いて算出される。 $\pi T/WD$ は、補正荷重( $W$ )に対する補正トルク( $T$ )の比を表すものであり、補正トルク( $T$ )と $\pi$ の積、補正荷重( $W$ )とスクリーポイントの外径( $D$ )の積を用いてトルク値を正規化したものである。また、25cm貫入量当りの半回転数 $N_{sw}$ にスクリーポイントの外径( $D$ )を乗じた値を $N_{sw}D$ （正規化 $N_{sw}$ ）として定義し、 $C_p$ は次式により求める。

$$C_p = N_{sw}D / \pi T / WD$$

図 7.11 には、ある調査地における異なる土質層毎の $N_{sw}D / \pi T / WD$  散布図を示したが、土質によって異なる応答を示す傾向が伺える。ここに示す $C_p$ は、個々の測定データから求まる $N_{sw}D / \pi T / WD$ の原点を通る傾きで表すものである。

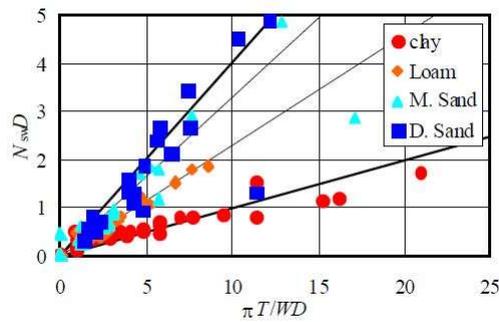


図 7.11  $N_{sw}D$ と $\pi T/WD$ の関係

図 7.12 に土の繰返し非排水三軸試験から得られた液状化抵抗比 $R_L$ と SDS 試験結果から推定した液状化抵抗比 $R_{LSDS}$ の関係を示す。決定係数 $R^2$ は 0.481 であり、図に着目すると概ね相関性が得られていることがわかる。

しかし本研究で用いたサンプル数は少ないため、さらなる試験データの収集が必要と思われる。

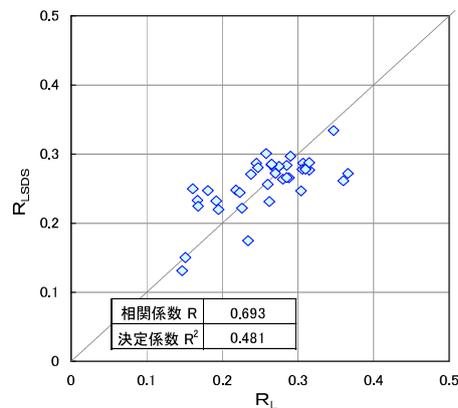


図 7.12  $R_L$ と $R_{LSDS}$ の関係

同じくサンプリングなしで $N$ 値と $F_c$ を推定し、それらを液状化簡易判定法に適用する研究も進んでいる。

## 7.5 調査結果の表示

SWS および SDS 試験結果、細粒分含有率試験結果はデータシートにまとめる。

### 【解説】

SWS 試験、SDS 試験および粒度試験の結果は、液状化判定などに利用できるように所定のデータシートにまとめる。全自動式の SWS や SDS 試験機で取得したデータは、メーカーが作成したソフトにデータを送信するだけでデータシートを作成できるものもある。なおデータシートに水位測定結果の項目がない場合、特記事項や備考欄などに水位を記載する。次頁に各種データシートを示す。

(1) SWS 試験結果データシート例

ジオカルテ サウンディング試験結果 [25cmまるめ]										P 3	
試験コード 000-000-000-0000							最終貫入深さ 15.17m				
2022年 5月26日 10:25~10:51							測点番号 2				
貫入深さ D [m]	荷重 Wsw (kN)	荷重 Wsw (kgf)	半回転数 Na	1mあたり 半回転数 Nsw	土質	換算N値	観察	1mあたりの半回転数 (Nsw)			
								0.00	0.50	1.00 (kN)	
								0	50	100 (kgf)	
										0	100
											200
0.25	1.00	100	7	28	粘性土	4.4					
0.50	1.00	100	65	260	粘性土	16.0	1.40				
0.75	1.00	100	94	376	粘性土	21.8					
1.00	1.00	100	33	132	粘性土	9.6					
1.25	1.00	100	17	68	粘性土	6.4					
1.50	1.00	100	11	44	粘性土	5.2					
1.75	1.00	100	13	52	粘性土	5.6					
2.00	1.00	100	26	104	粘性土	8.2					
2.25	1.00	100	12	48	粘性土	5.4					
2.50	1.00	100	7	28	粘性土	4.4					
2.75	1.00	100	1	4	粘性土	3.2					
3.00	1.00	100	2	8	粘性土	3.4					
3.25	1.00	100	2	8	粘性土	3.4					
3.50	1.00	100	2	8	粘性土	3.4					
3.75	1.00	100	2	8	粘性土	3.4					
4.00	1.00	100	13	52	粘性土	5.6					

(2) SDS 試験結果データシート例

スクリーンドライバーサウンディング試験(25cmごとデータ)										1/2
調査件名 大洗湾					試験年月日 2022年5月26日					
地点番号(地盤高) 瓶製児童公園										
試験機の種類 GeoKarte3										
深度 m	E0.25 kN・m	ET	推定 土質	qt kN/m <sup>2</sup>	深度 m	荷重 N	トルク N・m			
0.25	1.2491	1.9			0	500	50			
0.50	5.0278	11.4			0	1000	100			
0.75	13.2123	36.6			0	1500	150			
1.00	0.2388	2.3			1	500	50			
1.25	0.2925	1.7			1	1000	100			
1.50	0.3796	2.3			1	1500	150			
1.75	0.4938	3.9			2	500	50			
2.00	1.7929	5.3			2	1000	100			
2.25	1.2378	6.2			2	1500	150			
2.50	1.0669	5.2			2	500	50			
2.75	0.3674	1.9			2	1000	100			
3.00	0.9693	2.3			2	1500	150			

SDS 結果計算前データ (貫入深度毎)

depth_seq	load_seq	Depth	rate of rot	penetrate	half turn	amount of corrected	corrected	NsdD	$\pi T/WD$	cp	dE	ET	EW	st	Es		
		cm	r.p.m	mm/s	N	mm	N・m	kN	()	()	kNm	kNm	kNm	m	kNm		
1	1	1	24.69	3.29	2	8	4.51	0.26568	8.255015	1.616046	5.108157	0.030463	0.028337	0.002125	0.008	0.030463	
1	2	2	25.1	1.25	2	3	2.44	0.39568	22.088	0.587059	37.62485	0.016518	0.015331	0.001187	0.011	0.046981	
1	3	3	25.21	5.88	2	14	3.35	0.51568	4.716156	0.618444	7.625841	0.028268	0.021049	0.00722	0.025	0.075249	
1	4	4	25.21	7.56	2	18	4.15	0.64568	3.668122	0.611881	5.994833	0.037697	0.026075	0.011622	0.043	0.112946	
1	5	5	25.1	3.34	2	8	4.94	0.76568	8.266467	0.614208	13.45874	0.037164	0.031039	0.006125	0.051	0.150111	
1	6	6	25.21	11.34	2	27	8.73	0.89568	2.445415	0.927892	2.635453	0.079036	0.054852	0.024183	0.078	0.229146	
1	7	7	14	25.1	21.75	2	52	20.75	1.01568	1.269425	1.944899	0.652695	0.183191	0.130376	0.052815	0.13	0.412338
2	1	27	25.1	8.36	2	20	12.58887	0.260002	3.302632	4.609426	0.716495	0.084298	0.079098	0.0052	0.02	0.084298	

SDS 結果計算データ (25cm 毎)

depth_seq	depth	E	ET	EW	E0.25	dT/dW	dT/dWD	dT/dst	Cnl	W0.25	Cp'	NSDS	soil type
	m	kNm	kNm	kNm	kNm	()	()	()	()	kN	()	()	
1	0.25	0.412338	0.307059	0.105278	0.635114	17.90254	0.542501	0.138213	0.883048	1.48496	-4.67615	5.401034	s
2	0.5	0.466203	0.348194	0.11801	0.479448	1.899127	0.057549	0.004976	0.685547	0.592702	1.013157	2.628649	c
3	0.75	0.415862	0.312271	0.103592	0.423005	5.857554	0.177502	0.008485	0.67546	0.525807	1.39064	2.558132	c
4	1	0.809457	0.668391	0.141066	0.787915	33.62025	1.018795	0.093016	0.965126	0.81816	1.026364	4.648005	s
5	1.25	1.026859	0.848768	0.178091	1.171136	2.761562	0.083684	0.000646	0.64095	0.935064	1.81317	4.534158	s
6	1.5	0.827851	0.757916	0.069935	1.980614	5.425664	0.164414	0.064617	1.033662	1.569126	-2.12729	4.967345	s

(3) 細粒分含有率試験結果表示例

土質試験結果一覧表 (基礎地盤)						
調査件名	大津調査			整理年月日	2022年6月9日	
				整理担当者	小川 良記	
試料番号 (深さ)	相対見量公団 1.0m	相対見量公団 3.0m	相対見量公団 4.0m	相対見量公団 5.0m	相対見量公団 6.0m	相対見量公団 7.0m
細粒分含有率 %	43.2	27.4	14.0	15.3	19.8	83.7
特記事項	1) 石分を除いた75mm未満の土質材料に対する百分率で表す。 [1kN/m <sup>2</sup> ≒0.0102kgf/cm <sup>2</sup> ]					

参考文献

- 1) BL 審査証明-008、スクリュードライバー・サウンディング試験装置「SDS試験装置」
- 2) 稲田 倍穂、スウェーデン式ウネディング試験結果の使用について、土と基礎：地盤工学会誌 (1960)
- 3) 平成 24 年度建築基準整備促進事業「小規模構造物に適応する簡易な液状化判定手法の検討」検討結果報告、(2013)
- 4) 深井公、大島昭彦、安田賢吾、中野将吾、萩原侑大、松谷裕治、スクリュウエイト貫入 (SWS) 試験結果と N 値, su 値との新相関式の提案、地盤工学ジャーナル Vol.16, No.4, 319-331 (2021)
- 5) BL 審査証明-011、SDS 試験による地盤調査結果の活用技術
- 6) (一社)住宅地盤リスク普及協会 住宅を対象とした液状化調査・対策の手引書
- 7) 岩井勝哉、田中剛、末政直晃、伊藤和也、内山雅紀、回転貫入式簡易サンプラーの開発および適用事例、地盤材料のボーリング・サンプリングと採取試料の品質評価法に関するシンポジウム (2021) pp98-103
- 8) 峯啓一郎、柳浦良行、溝山 勇、成瀬文宏、小林陵平、水谷一馬、画像分析 AI を用いた簡易的な粒度分析技術、令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会, 2022
- 9) 平成 24 年度 建設技術研究開発公募業務 宅地、堤防等において従来とほぼ同等の精度で安価かつ効率的な液状化判定システムの開発、基礎地盤コンサルタンツ株式会社、東京都市大学、ジャパンホームシールド株式会社

## 8. 簡易地盤調査結果を用いた液状化の判定

簡易地盤調査結果を用いて、設計基準類に記載されている液状化判定方法により、液状化に対する安全率（抵抗率） $F_L$ の深度分布を求める。そして、液状化指数（液状化指標値） $P_L$ 値を求め、宅地の液状化被害の判定を行う。これらの検討に使用する地震動は中地震動を基本とするが、大地震動でも検討しておくといよい。

＜主担当者：住宅業者や工務店＞

### 8.1 液状化の判定方法の選択

地盤調査結果を用いた液状化の判定方法には、手計算程度で判定できる簡易なものから、コンピュータを用いて計算する詳細な方法まで種々あるが、そのうち、各種構造物の設計基準類で用いられている簡易判定法で液状化の判定を行う。

#### 【解説】

#### (1) 地盤調査結果を用いた液状化の判定方法の分類

地盤調査結果を用いた液状化の判定方法には、手計算程度で判定できる簡易なものから、コンピュータを用いて計算する詳細な方法まで種々ある（表.8.1-1）。本手引きでは、そのうち、各種構造物の設計基準類で用いられている簡易判定方法で液状化の判定を行う。

液状化メカニズムに従うと、繰返し三軸試験などで液状化特性を求めて地震応答解析と組み合わせて判定を行う“詳細法”が本来の液状化判定方法である。これに対し、日本では全ての基準類で $N$ 値を用いた判定方法が取り入れられている。これは、日本では一般的な地盤調査として標準貫入試験が広く行われていることと、液状化が発生しやすい3つの条件（地下水位以下の緩い砂質土地盤）をイメージし易いためであろう。ただし、 $N$ 値は液状化強度と直接関係ないので、 $N$ 値を介するのはあくまで簡易法であり、必然的に判定結果に誤差が含まれることに、留意が必要である。

表 8.1 液状化判定の判定方法

判定法の種類	判定法の細分		判定法の概要	判定法の適用性
概略判定法	地形分類	---	地形・地質を元に判定	簡易であるが精度低い
	液状化履歴	---	過去に液状化した履歴から判定	液状化しないことの判断難しい
簡易判定法	限界 $N$ 値	---	地下水位・粒度・ $N$ 値から判定	ボーリング調査結果だけで判断可能
	F L法	地表面震度から簡易的にせん断応力を推定	実験式に基づき $N$ 値から求めた液状化強度による判定	設計基準類などに多用される方法
詳細法	F L法	応答計算によりせん断応力を推定	最大せん断応力と液状化強度試験で求められた液状化強度を比較	最大せん断応力を計算により求めた分、精度が高い

#### (2) 構造物の設計基準類で用いられている液状化判定方法が開発されてきた経緯

我が国では構造物の設計基準類ごとに液状化の判定方法が設定され、手法も異なっている。それは液状化による被害が広く認識される契機となった1964年新潟地震以降の半世紀の間に、設計基準類ごとに異なった判定方法が導入され、さらに改定を重ねてきたためである。現在では10種類を超える方法が用いられている。それらのうち、代表的なものとして、道路橋、建築基礎構造物で用いられている判定方法が開発・改定されてきた。

日本では、1975年前後からは原位置から不攪乱試料を採取して、繰返し三軸試験を行うことが始まった。そして不攪乱試料を用いて行った液状化試験で得られた液状化強度比 $R_L$ を $N$ 値と粒径から推定する方法が岩崎ら<sup>1)</sup>によって1978年に考案された。ただし、これは等方応力の拘束圧を加えて正弦波荷重で繰返し三軸試験を行った時の $R_L$ のため、原位置の応力状態で地震波荷重を受ける場合の液状化強度比 $R$ として補正係数を乗じることとした。また、地震時に地盤内で

発生するせん断応力比  $L$  に関して、米国で開発された簡易方法の一部を修正した方法も考案された。そしてこれらをもとにした  $F_L$  値法 ( $F_L=R/L$  として判定) による液状化判定方法が 1980 年に「道路橋示方書・同解説」に導入された。鉄道構造物でもこの方法をもとに、密な場合と細粒分が多い場合の修正をした  $F_L$  値による方法が 1986 年に導入された。

これに対し、時松・吉見<sup>2)</sup> は通常のサンプリングに加えて凍結サンプリングを行って液状化試験を行い、液状化強度比 (ただし正弦波荷重)  $R$  を  $N$  値などから推定する式を導き出した。また、地盤内の発生せん断応力比は道路橋示方書と同じ方式を用い、 $L$  に波形の補正係数に該当する値として  $0.1(M-1)$  の関係式を用いた。そして、この方法と過去の地震被害記録をもとにした  $F_L$  値法による液状化判定方法が、1986 年に「建築基礎構造設計指針」に導入された。

道路橋では、まず、現地より採取した不攪乱試料による液状化試験結果を追加して、細粒分含有率  $F_c$  の影響を加える改定が 1990 年に行われた。阪神・淡路大震災後にはレベル 2 地震動での設計が必要となり、1996 年に改定が行われた。ここで、密な地盤での液状化判定も行う必要が出てきたこともあり、 $N$  値が 20~30 程度の地盤に対し凍結サンプリング法で試料採取して試験が行われ、中密~密な地盤での液状化強度の補正が行われた。細粒分の補正項も  $F_c$  だけにし、礫質土の式も追加された。また、レベル 2 地震動がタイプ I (プレート境界型) とタイプ II (内陸直下型) と分けられたため、それぞれの設計地震動と地震動特性による補正係数の値が設定された。その後  $N$  値が小さい範囲での修正も必要になり、細粒分が多い試料をチューブサンプリング法で採取して試験が行われた。そして、細粒分が多くて  $N$  値も小さい場合の  $R_L$  を補正する改定が 2017 年に行われた。

建築基礎では阪神・淡路大震災時の液状化・非液状化現象と矛盾がないとのことで、2001 年改定でも 1988 年版の液状化判定方法が用いられている。ただし、砂礫地盤の  $N$  値の補正係数が示され、 $N$  値が小さく細粒分含有率が比較的高くて信頼性が低い土に対して、コーン貫入や不攪乱試料による液状化試験を実施することが推奨されている。その後 2019 年版では変更はない。

2011 年東日本大震災の際に東京湾岸の埋立地で広範囲に液状化したので、地震後に多くの機関で液状化判定が行われたが、埋立土が細粒分を多く含み、またバラつきも大きくて判定が難しかった。このように細粒分が多い砂質土では  $R_L$  の推定に誤差がかなり含まれている可能性があるため留意が必要である。

### (3) 本手引きで基本とする液状化判定方法

本手引きでは、以下の理由から「道路橋示方書・同解説」または「建築基礎構造設計指針」の方法を用いることとする。

- 1) 液状化のハザードマップでは道路橋示方書・同解説の方法を用いている場合が多い。
- 2) 中・高層建物の液状化判定には建築基礎構造設計指針が用いられる。

## 8.2 地震動の設定

戸建て住宅の供用期間中に発生する可能性が高い地震動レベルや東北地方太平洋沖地震の液状化被害の実態を踏まえ、液状化判定に用いる地震動は「震度 5 弱程度の中地震」を基本とする。

### 【解説】

液状化による被害が広く認識される契機となった 1964 年新潟地震の際に、液状化した地区にあった川岸町のアパートで記録された地震波の最大加速度が約  $160 \text{ cm/s}^2$  であった。また、その頃の構造物の設計震度も 0.2 程度であった。そのため、この程度の大きさの地震動で液状化の検討を行うことが行われてきた。ところが 1994 年阪神・淡路大震災ではこの数倍の加速度が発生し、その後、このような強い地震動をレベル 2 地震動とし、従来設計してきた強さの地震動をレベル 1 地震動として、2 段階の地震動で設計することが一般的となってきた。液状化に関しても同様に 2 段階の地震動レベルが各設計基準類で設定されている。

戸建て住宅の建て替え年数を考慮した場合、レベル 1 地震動程度で液状化の検討をし、対策するのが適当と考えられる。国土交通省の「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」<sup>3)</sup>においてもこの程度の地震動を想定してあるので、本手引きでも同様に考え、下記のような地震動で検討を行うものとする。

- 1) 建築基礎構造設計指針を用いる場合

・マグニチュード：7.5

- ・ 地表面最大加速度：200gal
- 2) 道路橋示方書を用いる場合
- ・ 想定震度：0.2

### 8.3 液状化判定に必要な情報

液状化判定には、SWS 試験結果等から得られる下記の地盤情報が必要となる。

- ・ 地層構成
- ・ 地下水位
- ・  $N$  値 ( $N_{sw}$  値)
- ・ 粒径特性 ( $D_{50}$ 、 $D_{10}$ )
- ・ 細粒分含有率 ( $F_c$ )
- ・ 塑性指数 ( $I_p$ )
- ・ 土の単位体積重量

#### 【解説】

密度試験を実施していない場合は、「道路橋示方書 V耐震設計編（平成 24 年 3 月）」に記載されている土の単位体積重量の概略値を使用することもできる。

細粒分含有率が高い砂質地盤は塑性指数を、粒径が粗い砂質地盤は  $D_{50}$  を調べる必要がある。

### 8.4 液状化判定の対象層

本手引きで対象とする液状化判定層は、「宅地の液状化被害可能性判定に技術指針・同解説」に記載されている地層とする。

#### 【解説】

「建築基礎構造設計指針」及び「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」に記載されている沖積層、埋立て地盤及び盛土地盤の判定対象層の規定を表 8.2 に示す。

表 8.2 「宅地の液状化被害可能性判定に技術指針・同解説」<sup>4)</sup>の液状化判定の対象地盤

基本とする基準	地表面から 20m 程度以浅の沖積層・埋立土・盛土				
			50%粒径 10mm 以下で、かつ 10%粒径が 1mm 以下の土層		
	細粒分含有率が 35%以下の土層	細粒分含有率 35%を超える土層		細粒分含有率が 35%以下の土層	細粒分含有率 35%を超える土層 塑性指数が 15 以下の土層
粘土分含有率が 10%以下の土層		塑性指数が 15 以下の土層			
「建築基礎構造設計指針」	○	○	○	-----	
「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」	-----		○	○	

※○印：判定対象層となる

### 8.5 液状化に対する安全率 ( $F_L$ )

液状化に対する安全率 ( $F_L$ ) は、最新版の「建築基礎構造設計指針」及び「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」に準拠し算定する。

#### 【解説】

##### (1) 建築基礎構造設計指針

各深さにおける液状化発生に対する安全率  $F_L$  は次式により算定する。

$$F_L = \frac{(\tau_L/\sigma'_z)}{(\tau_d/\sigma'_z)}$$

ここで、 $F_L$ ：液状化に対する安全率

$\tau_L/\sigma'_z$ ：液状化抵抗比

$\tau_d/\sigma'_z$ ：等価な繰り返しせん断応力比

### 1)液状化抵抗比

液状化抵抗比 $(\tau_L/\sigma'_z)$ は、図 8.1 のせん断ひずみ振幅 5%の曲線を用いて求める。また、 $N_a$  は以下の式により算定する。

$$N_a = N_1 + \Delta N_f$$

ここで、 $N_a$ ：補正 N 値

$N_1$ ：換算 N 値  $N_1 = C_N \cdot N$

$\Delta N_f$ ：細粒分含有率  $F_c$  に応じた補正 N 値増分で図 8.2 による

$C_N$ ：拘束圧に関する換算係数  $C_N = \sqrt{100 \sigma'_z}$

$\sigma'_z$ ：ボーリング調査時の有効土被り圧 (kN/m<sup>2</sup>)

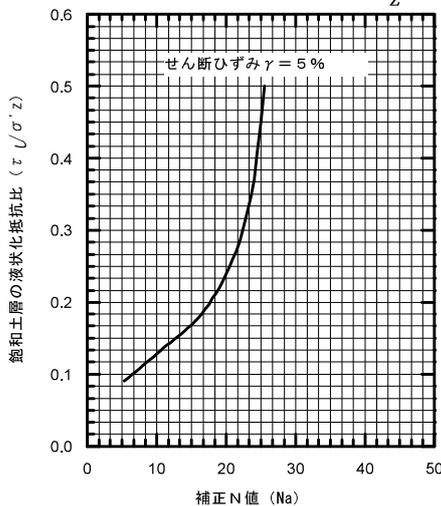


図 8.1  $N_a$  と  $\tau_L/\sigma'_z$  の関係

(建築基礎構造設計指針(日本建築学会：2019 改定)を一部改訂)

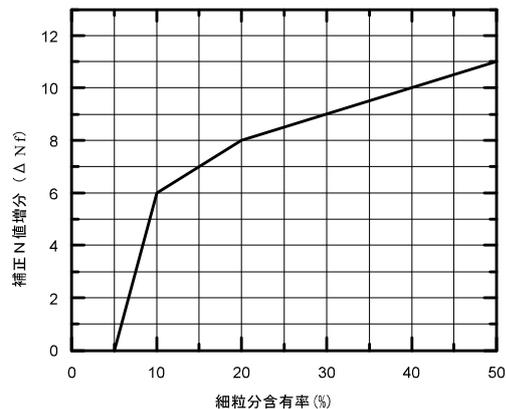


図 8.2  $F_c$  と  $\Delta N_f$  の関係

(建築基礎構造設計指針(日本建築学会：2019 改定))

### 2)等価な繰り返しせん断応力比

検討地点の地盤内の各深さに発生する等価な繰り返しせん断応力比は次式により算定する。

$$\left(\tau_d/\sigma'_z\right) = \gamma_n \cdot (\alpha_{max}/g) \cdot \left(\sigma_z/\sigma'_z\right) \cdot \gamma_d$$

ここで、 $\tau_d$ ：水平面に生じる等価な一定繰り返しせん断応力振幅 (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma'_z$ ：検討深さにおける有効土被り圧 (鉛直有効応力) (kN/m<sup>2</sup>)

$\gamma_n$ ：等価な繰り返し回数に関する補正係数で、 $\gamma_n = 0.1 \cdot (M - 1)$

ただし、 $M$ は地震のマグニチュード

$\alpha_{max}$ ：地表面における設計用水平加速度

$g$ ：重力加速度 (980gal)

$\sigma_z$ ：検討深さにおける全土被り圧 (鉛直全応力) (kN/m<sup>2</sup>)

$\gamma_d$ ：地盤が剛体でないことによる低減係数で、 $\gamma_d = 1 - 0.015z$

$z$ はメートル単位で表した地表面からの検討深さ

## (2) 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編

液状化の判定を行う必要がある土層に対しては、液状化に対する安全率 $F_L$ を算出し、この値が1.0以下については液状化が生じると判定する。

$$F_L = R/L$$

$$R = c_w \cdot R_L$$

$$L = \gamma_d \cdot k_{hgL} \cdot \left( \sigma_v / \sigma_v' \right) \quad \gamma_d = 1.0 - 0.015x$$

ここで、 $F_L$ ：液状化に対する安全率

$R$ ：動的せん断強度比

$L$ ：地震時せん断応力比

$c_w$ ：地震動特性による補正係数

(レベル1地震動及びレベル2地震動(タイプI)の場合)

$$c_w = 1.0$$

(レベル2地震動(タイプII)の場合)

$$c_w = \begin{cases} 1.0 & (R_L \leq 0.1) \\ 3.3R_L + 0.67 & (0.1 < R_L \leq 0.4) \\ 2.0 & (0.4 < R_L) \end{cases}$$

$R_L$ ：繰り返し三軸強度比  $R_L$ は次式で算定する

$$R_L = 0.0882 \sqrt{((0.85 + 2.1)/1.7)} \quad (N_a < 14)$$

$$R_L = 0.0882 \sqrt{(N_a + 1.7)} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_a - 14)^{4.5} \quad (14 \leq N_a)$$

$$N_a = c_{FC} \cdot (N_1 + 2.47) - 2.47 \quad (D_{50} < 2\text{mm})$$

$$N_a = \{1 - 0.36 \log 10 \cdot (D_{50}/2)\} N_1 \quad (D_{50} \geq 2\text{mm})$$

$$N_1 = 170N / (\sigma_{vb}' + 70)$$

$$c_{FC} = \begin{cases} 1 & (0\% \leq F_C < 10\%) \\ (F_C + 20)/30 & (10\% \leq F_C < 40\%) \\ (F_C - 16)/30 & (40\% \leq F_C) \end{cases}$$

$N$ ：標準貫入試験から得られる  $N$  値

$N_1$ ：有効上載圧  $100\text{kN/m}^2$  相当に換算した  $N$  値

$N_a$ ：粒度の影響を考慮した補正  $N$  値

$\sigma_{vb}'$ ：標準貫入試験の地表面からの深さにおける有効上載圧 ( $\text{kN/m}^2$ )

$c_{FC}$ ：細粒分含有率による  $N$  値の補正係数

$F_C$ ：細粒分含有率 (%)

$D_{50}$ ：50%粒径 (mm)

$\gamma_d$ ：地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数

$k_{hgL}$ ：液状化の判定に用いる地盤面の設計水平震度

$\sigma_v$ ：地表面からの深さ  $x$  (m) における全上載圧 ( $\text{kN/m}^2$ )

$\sigma_v'$ ：地表面からの深さ  $x$  (m) における有効上載圧 ( $\text{kN/m}^2$ )

$x$ ：地表面からの深さ (m)

## 8.6 液状化指標値 ( $P_L$ )

$P_L$  値は、地下水位より深度 10m もしくは 20m の間で求める。

### 【解説】

液状化指標値 ( $P_L$ ) とは、浅い部分の液状化が特に構造物に大きな影響を与えることを考慮して、図 8.3 に示すように深さに対する重みを考慮し、 $(1 - F_L)$  の値を 20m の深さまで積分することで定義したものとなり、次式により算定する。また、液状化指標値 ( $P_L$ ) の評価は、表 8.6-1 のように示されるのが一般的である。

なお、国土交通省の「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」<sup>3)</sup>では、判定深度 10m と場合の液状化指標値 ( $P_L$ ) を定義しており、液状化安全率 ( $F_L$ ) に対する深度方向の重みについては、両者の重みの面積が等しくなるよう重み関数を設定している。

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

ここで、 $F_L$  : 液状化に対する安全率

$W(z)$  : 深さ方向の重み係数 (図 8.6-1)

・判定深度 20m :  $W(z) = 10.0 - 0.5 \cdot z$

・判定深度 10m :  $W(z) = 20.0 - 2.0 \cdot z$

$z$  : 地表面からの深さ(m)

$dz$  : ある深度の  $F_L$  が分布すると想定される土層厚(m)

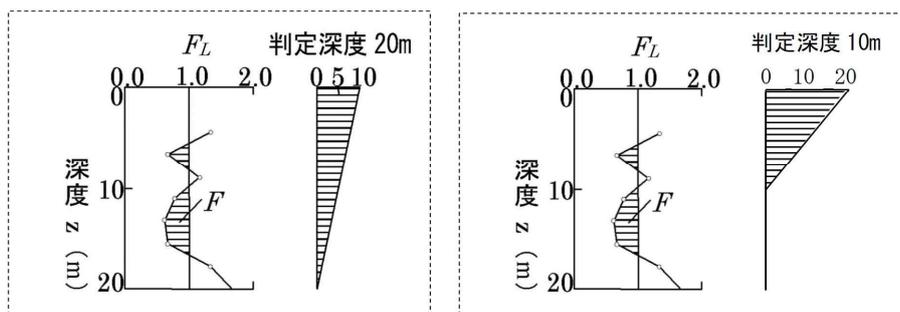


図 8.3 判定深度と重み関数の関係 (左側 : 判定深度 20m、右側 : 判定深度 10m)  
(「リスクコミュニケーションを取るための液状化ハザードマップ作成の手引き」  
, 国土交通省都市局都市安全課, 令和 3 年 2 月)

「建設省土木研究所, 土木研究所資料第 1729 号, 地震時における砂質地盤の液状化判定法と耐震設計への適用に関する研究 (昭和 56 年 9 月)」をもとに、 $P_L$  値によって表のように液状化の判定を行った。

表 8.3  $P_L$  による液状化の判定

$P_L$ 値	液状化の判定
$P_L = 0$	液状化危険度はかなり低い。液状化に関する詳細な調査は一般に不要
$0 < P_L \leq 5$	液状化危険度は低い。特に重要な構造物の設計に際しては、より詳細な調査が必要。
$5 < P_L \leq 15$	液状化危険度が高い。重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要。液状化対策が一般に必要。
$15 < P_L$	液状化危険度が極めて高い。液状化に関する詳細な調査と液状化対策は不可避。

## 8.7 非液状化層厚 ( $H_l$ )

非液状化層厚 ( $H_l$ ) は、液状化判定結果、地下水位、粒度等をもとに算出する。

### 【解説】

非液状化層厚 ( $H_l$ ) とは、以下に示す条件を満足する層厚である。なお、埋立土・盛土内にある  $N$  値が 2 以下の粘性土層は非液状化層厚に含まない。

表 8.4 非液状化層厚 ( $H_l$ )<sup>3)</sup>  
 (「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」  
 , 国土交通省都市局都市安全課, 令和 3 年 2 月)

	地下水位より浅い層	地下水位より深い層				
		液状化安全率 ( $F_L$ 値) が 1.0 より大きい層	$N$ 値が 2 より大きい粘性土層 (埋立土・盛土)	細粒分含有率 35% を超える層 (沖積層・埋立土・盛土)		50% 粒径 10mm 以上で、または 10% 粒径が 1mm 以上の土層 (沖積層・埋立土・盛土)
				粘土分含有率 10% 以上の層	塑性指数 15 以上の層	
「建築基礎構造設計指針」を基本とする場合	○	○	○	○	○	-----
「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」を基本とする場合	○	○	○	-----	○	○

※○印：非液状化層( $H_l$ )となる

## 8.8 宅地の液状化判定

宅地の液状化判定は、SWS 試験や SDS 試験等の地盤情報に基づき各土層の液状化に対する安全率 ( $F_L$ ) を算定し、これを基に算定される非液状化層厚 ( $H_l$ ) と液状化指標値 ( $P_L$ ) から、図 8.4 に示す判定を使用し、液状化判定を 5 区分 3 段階で判定するものである。

本手引きでは、液状化安全率 ( $F_L$ ) の算定は最新版の「建築基礎構造設計指針」及び「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」の液状化判定手法を基本とする。



図 8.4 宅地の液状化被害の可能性判定図 ( $H_l$ - $P_L$  判定図)

(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, 平成 25 年 4 月)

なお、図 8.4 の「宅地の液状化被害の可能性判定図」には、本来  $H_l$ - $D_{cy}$  判定図と  $H_l$ - $P_L$  判定図の 2 種類が記載されているが、本手引きでは、下記理由で「 $H_l$ - $P_L$  判定図」を使用することとする。

戸建て住宅は軽いため表層の液状化だけで被害の有無が左右される。例えば、東日本大震災では久喜市の南栗橋の住宅地の広い範囲で液状化し、低地に宅地化された住宅が甚大な被害を受けた。液状化指標値 ( $P_L$ ) は、深さ方向に重みを乗じるため、表層だけが液状化する場合の被害の特徴が表現し易いようになっている。一方、 $D_{cy}$  は深さ方向に重みを乗じていないため、液状化した地層の深さに関係なく、層厚と補正  $N$  値が同じであれば、 $D_{cy}$  は同じ値となる。

## 8.9 無料で液状化判定を行えるソフト

液状化判定は、最新の「建築基礎構造設計指針」及び「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」に準拠し算定する。

### 【解説】

液状化判定できるソフトウェアはいくつか存在するが、ここでは無料で利用可能な「液状化判定プログラムCKC・Liq(中央開発製)」を用いた方法を紹介する。

液状化判定プログラムCKC・Liqは、下記サイトよりダウンロード可能である。

<http://g-cube.ckcnet.co.jp/ckcliq.html>

### A. プログラムの起動

プログラムの起動後、新規に液状化判定を実施する場合は「新規作成」を、既存の液状化判定を編集する場合は「ファイル」を、それぞれクリックする。

### B. 地層データ、地盤データの入力

#### (1) 地盤データの入力

調査件名  ボーリングNo.

新港地区 〇〇 調用地盤整備  
1.25

Bor R2-1

地盤標高(m)  地下水位(GL-m)

	下端深度 (GL-m)	土質名称	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	非液状化層指定	埋立・盛土
1	0.75	砂質土	18	20	0	0
2	1.25	粘性土	15	17	1	0
3	7.5	砂質土	18	20	0	0
4	8	粘性土	15	17	1	0
5	12.47	砂質土	18	20	0	0

土層数

※埋土・盛土は建築基礎構造で使用  
( $F_c > 35\%$ で $P_c \leq 10\%$ または $I_p \leq 15\%$ で液状化対象層)

上載盛土  
対象基準：道路橋、高圧ガス、港湾  
(港湾では、常に(b)での計算になります)

上載盛土厚さ(m)

盛土単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)

(a)盛土上面を地表面とする  
※上載盛土厚さを含めて20mまでの検討となります

(b)現地盤を地表面とする

ユーザー参考値でデータ入力  
ユーザー参考値ファイル名  
参考値URL

ユーザー参考値で上書きする

図8.5 地盤データの入力画面

#### 1) 土層数

まず、土層数を入力する。

#### 2) 調査件名、ボーリングNo.の入力

液状化判定をする調査件名、ボーリングNo.を入力する。

#### 3) 地盤標高、地下水位の入力

地盤データの地盤標高、地下水位をメートル単位で入力する。

#### 4) 下端深度の入力

各地層の下端深度をメートル単位で地表面から順番に入力する。入力に際して最下端の深度は必ず地層データの最深の計算深度より深くなるようにする。

#### 5) 土質名称の入力

各地層の土質名称を入力する。

#### 6) $\gamma_t$ 、 $\gamma_{sat}$ の入力

各地層の湿潤密度  $\gamma_t$  (kN/m<sup>3</sup>), 飽和湿潤密度  $\gamma_{sat}$  (kN/m<sup>3</sup>) を入力する。

### 7)非液状化層指定

液状化判定の対象とする層には「0」、対象外（液状化しない）とする層には「1」を入力する。粘性土層等を層全体で非液状化とする場合は、ここで指定する。

## (2) 地層データの入力

	開始深度 (m)	貫入量 (cm)	N値 (回)	計算深度 (GL-m)	細粒分 Fc(%)	シルト分 (%)	粘土分 Pc(%)	D50 (mm)	D10 (mm)	塑性指数 Ip	繰返三軸 RL	式の 種別	$\tau_{max}$ (kN/m <sup>2</sup> )	粒度 分類	有効波数 nef	繰返応力 L
1	0.00	0.25	10.8	0.125	10	10						S	0			
2	0.25	0.25	10.3	0.375	10	10						S	0			
3	0.50	0.25	11.6	0.625	10	10						S	0			
4	0.75	0.25	0.5	0.875	80	80						S	0			
5	1.00	0.25	1.5	1.125	80	80						S	0			
6	1.25	0.25	2.5	1.375	10	10						S	0			
7	1.50	0.25	4.1	1.625	10	10						S	0			
8	1.75	0.25	6.3	1.875	10	10						S	0			
9	2.00	0.25	6.3	2.125	10	10						S	0			
10	2.25	0.25	14.1	2.375	10	10						S	0			
11	2.50	0.25	14.1	2.625	10	10						S	0			
12	2.75	0.25	10.6	2.875	10	10						S	0			
13	3.00	0.25	7.9	3.125	10	10						S	0			
14	3.25	0.25	9.2	3.375	10	10						S	0			
15	3.50	0.25	7.9	3.625	10	10						S	0			
16	3.75	0.25	9.0	3.875	10	10						S	0			
17	4.00	0.25	9.8	4.125	10	10						S	0			
18	4.25	0.25	9.5	4.375	10	10						S	0			
19	4.50	0.25	11.4	4.625	10	10						S	0			
20	4.75	0.25	10.3	4.875	10	10						S	0			
21	5.00	0.25	11.1	5.125	10	10						S	0			

計算深度の個数 50  
 細粒分含有率 Fc値の採用値  
 細粒分  粘土分+シルト分

(注1) Pc, Ip, D10を指定しない時、液状化検討対象とみなす。  
 (注2) RLが入力された時、N値から求まるRLよりも優先する。  
 (注3) 式の種別種別は、S or G(半角英文字)のどちらかを入力する。(H24以前の道路標示方書、高圧ガス)  
 (注4)  $\tau_{max}$ 、粒度分類は港湾施設、埋立地が必要。  
 (注5) 有効波数nefは、港湾施設で必要。  
 (注6)  $\tau_{max}$ が入力されている場合、道路標示方書・高圧ガス・建築基礎構造において入力値を用いての計算を行う。  
 (注7) 繰返しせん断応力比Lを入力した時、道路標示方書・高圧ガス・建築基礎構造において入力値を用いての計算を行う。

図8.6 地層データ入力画面

### 1)計算深度の個数の

まず、計算深度の個数を入力する。

### 2)開始深度、貫入量、N値計算深度

開始深度には試験開始深度 (m) を入力する。入力すると貫入量に30cmのデフォルト値が表示され、「(開始深度+貫入量/2) m」が自動計算されて計算深度に入力される。

貫入量が30cmでない場合 (SWS試験は通常25cm)、自動計算された計算深度をクリアしてから貫入量を再入力すると計算深度を再計算する。

N値は、SWS試験の  $N_{sw}$  値から算出した換算N値を入力する。

この項目は、全て必須データなので不足している状態で計算実行するとエラーが表示される。

### 2)細粒分Fc、シルト分、粘土分Pc、塑性指数Ip

粒度試験から得られる細粒分含有率Fc (シルト分+粘土分)、シルト分、粘土分Pcと液性・塑性限界試験から得られる塑性指数Ipを入力する。

液状化判定の対象土層の条件は、 $Fc \leq 35\%$  または  $Fc > 35\%$  の場合  $Ip \leq 15$  であり、条件範囲外の場合は非液状化となる。

細粒分Fcは必須データなので不足している状態で計算実行するとエラーが表示される。

$Fc > 35\%$  でIpのデータが無い場合 (空白 or 0) は、判定対象土層とみなして計算を実行する。

### 3)平均粒径D50、10%粒径D10の入力

$D_{50}$ 、 $D_{10}$ には粒度試験から得られた平均粒径 $D_{50}$ (mm)、10%粒径 $D_{10}$ (mm)を入力する。

液状化判定の対象土層の条件は、 $D_{50} \leq 10\text{mm}$ かつ $D_{10} \leq 1\text{mm}$ であり、条件範囲外の場合は非液状化となる。

$D_{50}$ は必須データなので不足している状態で計算実行するとエラーが表示される。

C. 地震動データの入力  
 (1) 建築基礎構造設計指針

建築基礎構造設計指針

マグニチュードM: 7.5

地表面最大加速度  $\alpha_{max}$ (gal): 200

プルダウン方式 or 直接入力

地盤データ | 地層データ | 道路橋示方書 | **建築基礎構造** | 港湾施設 | 消防法 | 埋立地 | 高压ガス

図8.7 建築基礎構造設計指針の入力画面

「地震のマグニチュード ( $M$ )」「地表面最大加速度  $\alpha_{max}$  (gal)」について「7.5」と「200」を入力する。

(2) 道路橋示方書・同解説

道路橋示方書 耐震設計編

平成29年度基準, 平成24年度基準

設計水平震度を直接入力

地域区分	地域別補正係数	地盤種別	設計水平震度	Khg=
A1	Cz 1.0	Ⅲ種地盤	LEVEL1	0.2
	Cz 1.2		LEVEL2 TYPE I	0.48
	Cz 1.0		TYPE II	0.6

平成14年度基準

設計水平震度を直接入力

地域区分	地域別補正係数Cz	地盤種別	設計水平震度	Khg=
A	1.0	Ⅲ種地盤	LEVEL2 TYPE I	0.4
			TYPE II	0.6

地盤データ | 地層データ | **道路橋示方書** | 建築基礎構造 | 港湾施設 | 消防法 | 埋立地 | 高压ガス

図8.8 道路橋示方書・同解説の入力画面

「設計水平震度 (LEVEL1)  $K_{hg}$ 」について「0.2」を入力する。

#### D. 計算実行

計算実行は、「実行メニュー」の「計算実行」のクリックか、もしくは **R** ボタンをクリックする。「解析種別の設定テーブル」が表示されるので、「道路橋示方書(平成29年)レベル1」と「建築基礎構造設計指針(2019年)」を選択し、「OK」をクリックすると計算実行する。



図8.9 実行メニュー

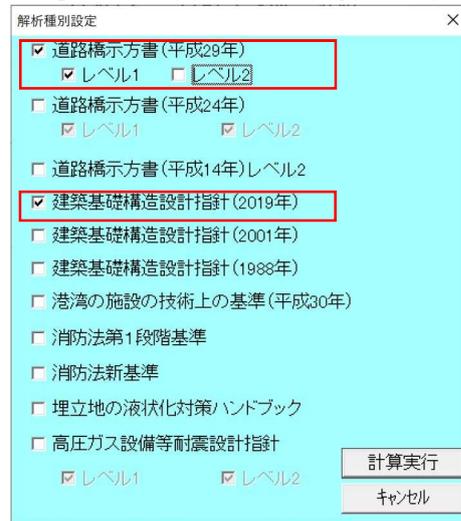


図8.10 解析種別の設定テーブル

### 8.10 液状化判定結果例

液状化判定結果例を以下に示す。

#### (1) 建築基礎構造設計指針

液状化判定は、非液状化層厚 ( $H_L$ ) と液状化指標値 ( $PL$ ) から  $H_L$ - $PL$ 判定図で実施する。

#### 【解説】

- 液状化に対する安全率( $FL$ 値)は、深度毎に算出される。 $FL$ 値 $<1.0$ の場合、その深度で液状化が発生する可能性があるとして判定される。
- 液状化指標値 ( $PL_{10}$ ) 値は、その地点の液状化危険度を示すものである(表.8.6・1参照)。下記の液状化判定結果では、 $PL_{10}$ 値=15.22となっており、「液状化危険度が高い」と判定される。
- 非液状化層厚 ( $H_L$ ) は、2.13mである。
- 本事例での結果は、「C：顕著な被害の可能性が高い」である。

液状化簡易判定結果 (建築基礎構造設計指針 (2019年))

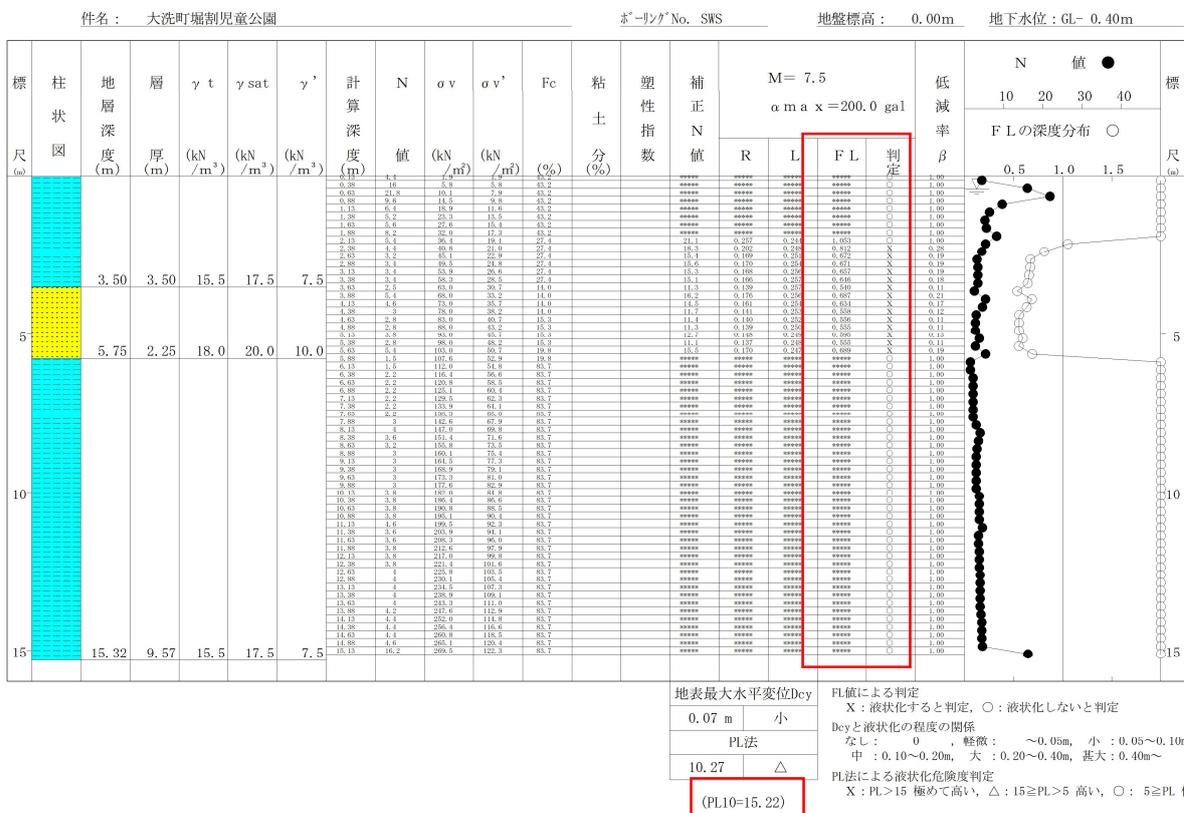
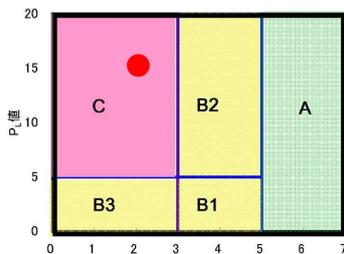


図8.11 液状化判定結果



判定結果	$H_L$ の範囲	$P_L$ の範囲	液状化被害の可能性
C	3m 以下	5 以上	顕著な被害の可能性が高い
B3	3m 以下	5 未満	顕著な被害の可能性が比較的低い
B2	3m を超え	5 以上	
B1	5m 以下	5 未満	
A	5m を超える	—	顕著な被害の可能性が低い

図8.12  $H_L$ - $P_L$ 判定図

(2) 道路橋示方書・同解説

判定は、非液状化層厚 ( $H_1$ ) と液状化指標値 ( $P_L$ ) から  $H_1$ - $P_L$ 判定図で実施する。

【解説】

- ・ 液状化に対する安全率( $F_L$ 値)は、深度毎に算出される。 $F_L$ 値 $<1.0$ の場合、その深度で液状化が発生する可能性があるとして判定される。
- ・ 液状化指標値 ( $P_L$ ) 値は、その地点の液状化危険度を示すものである(表.8.6・1参照)。下記の液状化判定結果では、 $P_L$ 値=19.78となっており、「液状化危険度が高い」と判定される。
- ・ 非液状化層厚 ( $H_1$ ) は、1.87mである。
- ・ 本事例での結果は、「C：顕著な被害の可能性が高い」である。

道路橋示方書 V耐震設計編に基づく液状化判定結果(平成29年基準 LEVEL1)

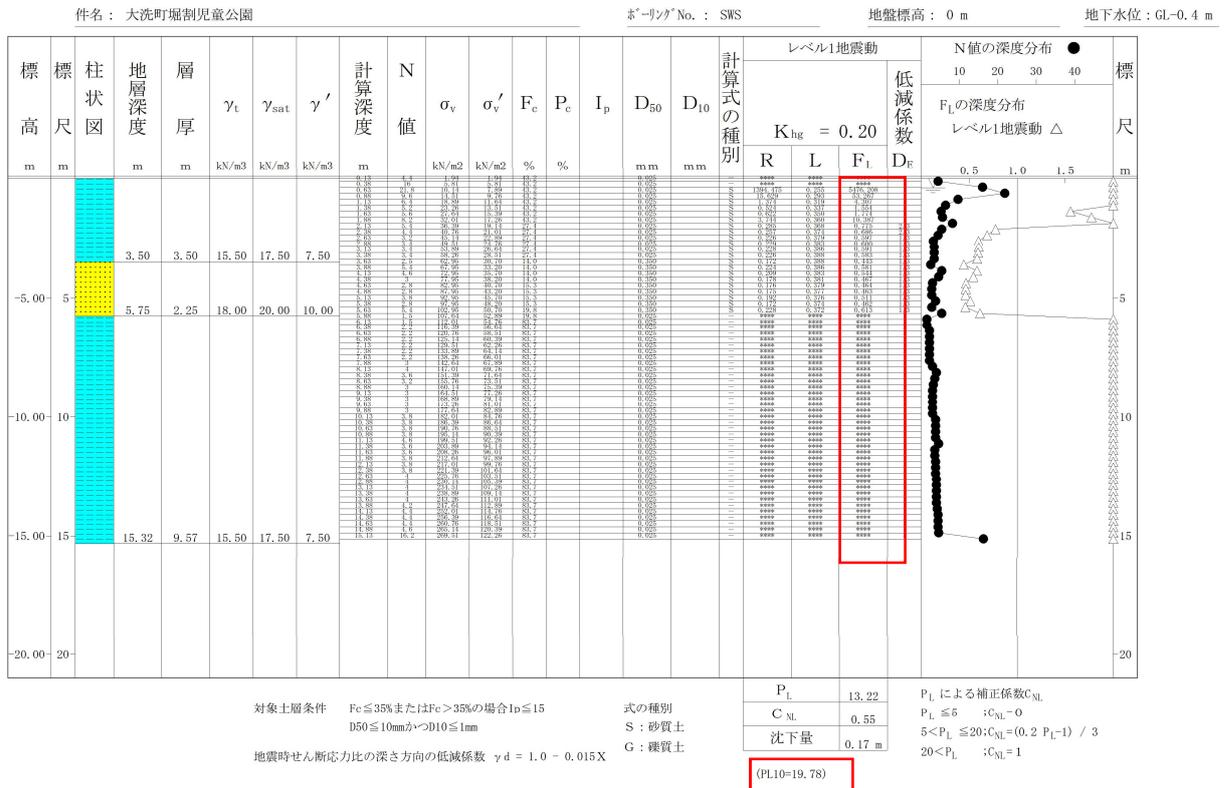


図8.13 液状化判定結果



図8.14  $H_1$ - $P_L$ 判定図

#### 参考文献

- 1) 岩崎敏男・龍岡文雄・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.
- 2) Tokimatsu, K. and Yoshimi, Y.: Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT N-value and fines content, *Soils and Foundations*, Vol.23, No.4, pp.56-74, 1983.
- 3) 国土交通省都市局都市安全課：「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」,令和3年2月,[https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi\\_tobou\\_tk\\_000044.html](https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_tk_000044.html)
- 4) 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

## 9. 戸建て住宅のめり込み沈下、傾斜角の推定

液状化に対する安全率（抵抗率） $F_L$ の深度分布と建物の荷重などを用いて、液状化による戸建て住宅のめり込み沈下量および傾斜角を推定する。

<主担当者：住宅業者や工務店>

### 9.1 液状化が戸建て住宅の住民の方々の生活に与える影響

液状化が戸建て住宅の住民の方々の生活に与える影響を考慮して検討を行う。

#### 【解説】

地震活動が活発な我が国では1～2年おきに液状化が発生し、種々の被害を受けてきている。ところが、戸建て住宅は窓ガラスも割れずに沈下・傾斜するだけで震動によって壊れる被害と大きく異なるため、被害の実態は明らかにされてこなかった。それに対し、2000年鳥取県西部地震の際に安倍彦名団地で100棟を超える戸建て住宅が沈下や傾斜し、傾いた家では壁や柱、窓に被害がないものの、地震後に住民の方々が眩暈や吐き気をもよおすようになり、生活できなくなった。そして、ひどく傾いた家は水平になるように復旧せざるを得なくなり、建物をジャッキで持ち上げ基礎を造り直して、建物を基礎の上に再度設置する復旧方法がとられた。少ししか傾かなかった家はそのままとされた。その後、住民により各戸の傾きが測定された結果、修復するかしないかの限界の傾きは約5/1000～15/1000であった<sup>1)</sup>。

2011年東日本大震災では約27,000棟の戸建て住宅が液状化により被害を受けたため、表9.1に示すように、沈下量と傾斜角から判定する新しい基準が内閣府から出された。そこでは、50/1000以上、50/1000～16.7/1000、16.7/1000～10/1000ほど傾いた場合に、それぞれ全壊、大規模半壊、半壊と判定することになった。なお、東日本大震災で大きく沈下・傾斜した戸建て住宅も、復旧にあたってジャッキなどで持ち上げ、基礎を修理して再びその上に載せ直す方法がとられた。この復旧だけで1戸あたり200～500万円程度の費用がかかり、さらに外構などの復旧費用も必要であった。

表 9.1 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 ~ 50/1000 	10/1000 ~ 16.7/1000 	<10/1000
	沈下量	床上1mまで	床まで	基礎の天端 25cmまで	

### 9.2 戸建て住宅におけるめり込み沈下と傾斜のメカニズム

液状化により戸建て住宅がめり込み沈下し、傾くメカニズムを理解し、検討を行う。

#### 【解説】

##### (1) 液状化により戸建て住宅に生じる3種類の沈下量の発生メカニズム

1964年新潟地震の際に、液状化により建物が沈下し、噴水が発生する状況を撮影された貴重な動画がある。地震当時新潟空港ターミナルビルで搭乗を待機しておられた弓納持氏によると、揺れを感じた後1分半くらい経ったとき、「ビルが沈む！」との声が聞こえて慌てて8mmで撮影を開始された。その後まもなくして、ターミナルビルの傍から水が噴き始めたとのことである<sup>2)</sup>。

振動台を用いた実験でもタイミングが明らかになってきている。図 9.1 は東日本大震災後に行われた大型振動台実験<sup>3)</sup>における地盤と住宅の模型を示している。地盤内には間隙水圧計や加速度計などの多くの計測器が設置されたが、そのうち、無対策の住宅模型直下と、二棟の住宅模型間に設置した間隙水圧計の時刻歴を図 9.2 (1)、(2)に示す。住宅模型間の GL-0.3m と GL-1.5m に設置した間隙水圧計の P-21 と P-15 を見ると、加振開始から過剰間隙水圧が一気に発生し、約 5 秒後に最大値に達して液状化が生じている。住宅模型下では GL-1.5m に設置した P-14 の間隙水圧計は約 5 秒で最大値になったが、浅い GL-0.3m に設置した P-20 では 5 秒までは過剰間隙水圧は発生せず、その後ゆっくりと上昇して 32 秒後に最大値になっている。5 秒後から徐々に上昇したのは液状化した下層からの過剰間隙水圧が伝播してきたためと考えられている。図 9.2 (3)は住宅模型のめり込み沈下量と地表面の地盤の沈下量の時間変化を示す。加振開始 15 秒後から 38 秒後にかけてめり込み沈下が進行していき、その後減速している。したがって、P-12 付近の模型直下の地盤に過剰間隙水圧が伝播して地盤が軟化したために、めり込み沈下が発生したと考えられた。なお、60 秒で加振を止めた後に、やっと住宅模型周辺から水が噴き出した始めている。したがって、噴水・噴砂が発生したところに建物が落ち込んで沈下するのではなく、建物直下の地盤が液状化により軟化したために沈下が発生したと考えられている。

これらの証言や実験結果もとにすると、図 9.3 (1)~(3)に示すように、次のような過程で建物のめり込み沈下や地盤自体の沈下が生じる考えられる<sup>4)</sup>。

(1)建物直下の地盤が液状化して軟化したことによって、建物の自重によりめり込みが沈下する。  
 (2)その際に直下の地盤の土は側方に押し出されるため、建物近傍の地盤が少し盛り上がる。  
 (3)その後、過剰な圧力となった地下水が地表に噴き出しながら、地盤自体がゆっくり圧縮沈下していく。

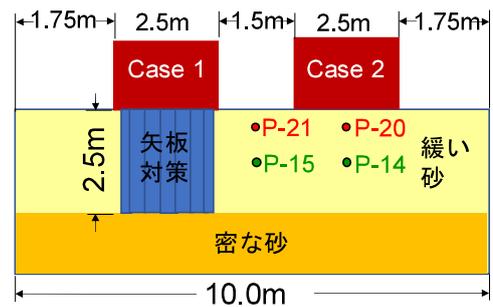
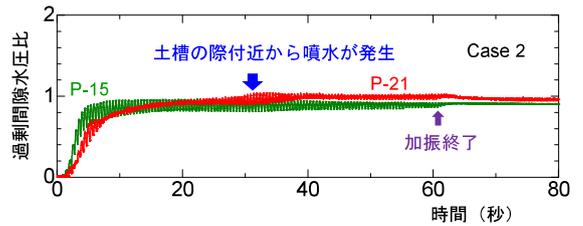
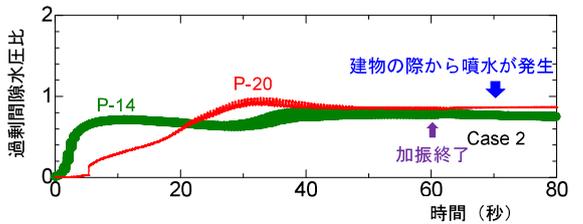


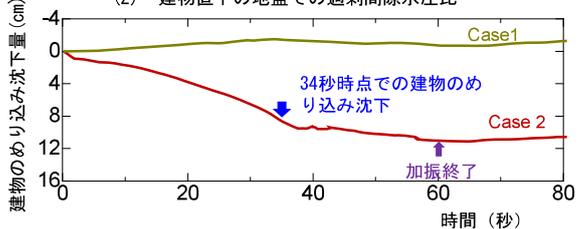
図 9.1 大型振動台実験の模型と間隙水圧計位置<sup>3)</sup>



(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

図 9.2 間隙水圧とめり込み沈下の時間変化<sup>3)</sup>

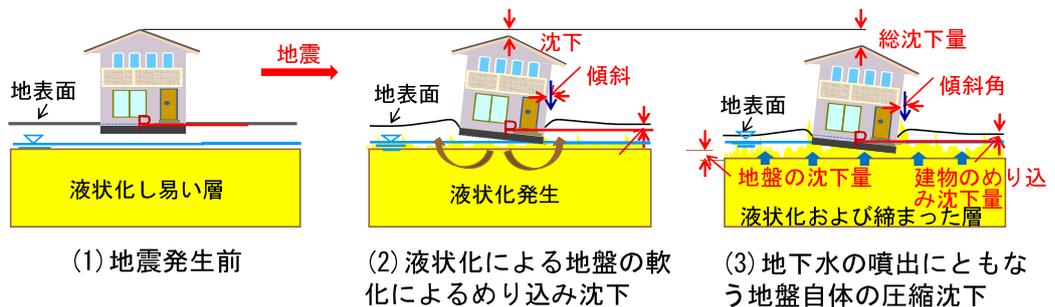


図 9.3 建物のめり込み沈下と地盤自体の沈下の発生過程の案<sup>4)</sup>

したがって、図 9.3 (3)に示すように、①建物の絶対沈下量、②建物の地盤へのめり込み沈下量、③地盤自体の沈下量、の3つの沈下量を区別する必要がある。ある区域で液状化する層の厚さが平面的に同程度であれば、③の地盤自体の沈下量はその区域で一様となるため、これによる建物の傾斜は生じない。一方、②のめり込み沈下は個々の住宅で発生し、住宅の重量や隣接する住宅の影響などによりめり込み沈下量や傾斜角が異なってくる。したがって、①～③のうち、戸建て住宅の被害に重要な沈下量は、②のめり込み沈下量であり、これを推定する必要がある。

## (2) 戸建て住宅が傾く理由

液状化して軟化した地盤に建物が自重によりめり込みながら沈下する場合、建物荷重が偏心しているとその方向に傾くはずであるが、最近の戸建て住宅は直方体に近いものが多くて荷重はあまり偏心していない。ところが、上述したように2000年鳥取県西部地震で被災した安倍彦名団地での戸建て住宅の傾斜方向を調べてみると、2棟の建物が近接していると内側に傾く傾向が見られた。そして、この2棟間の距離と傾きの関係をプロットしたところ2棟間距離が狭いと内側に傾き、離れていると外側に傾く結果となった<sup>4)</sup>。東日本大震災で被災した浦安市でも同様の傾向があり、さらに4棟が近接しているとその中心に向かって傾く傾向が見られた。これを模式的に描いたのが図 9.4 である。このような傾向は振動台実験や解析<sup>5)</sup>でも得られている。

さらに、東日本大震災で数多くの戸建て住宅が被災した都市のうち、戸建て住宅が密集して建てられている千葉市・習志野市と、あまり密集していない神栖市・潮来市で、めり込み沈下量と傾斜角の関係を調べた結果<sup>6)</sup>を図9.5(1)、(2)に示す。両図ともめり込み沈下量が多いほど傾斜角が大きい結果となった。そして、住宅が密集している千葉市や習志野市の方がめり込み沈下量に対する傾斜角が大きくなった。これは住宅が密集している方が2棟間の距離が狭いため影響を受けやすいものと考えられた。なお、この関係は、後述するようにめり込み沈下量を簡易な方法で推定した後に傾斜角を推定し、被災度を判定する際に利用する。

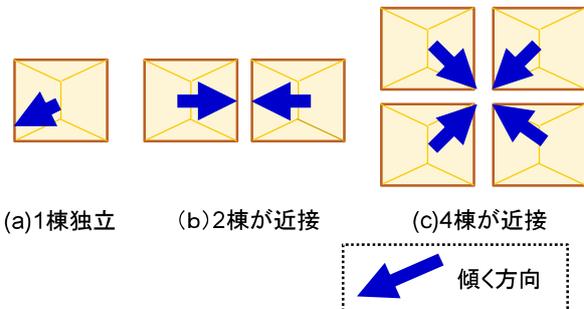
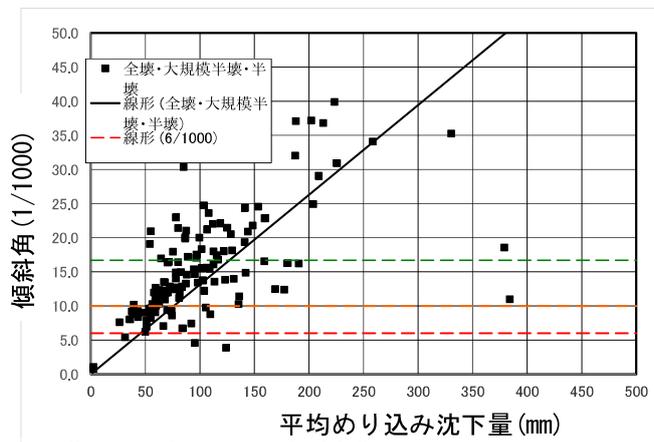
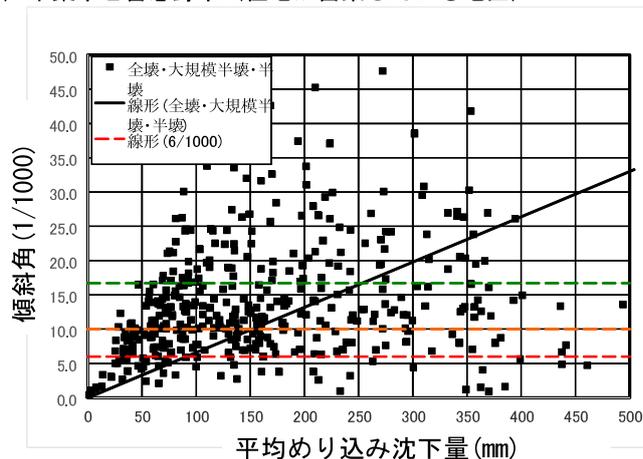


図 9.4 戸建て住宅の傾斜方向の模式図<sup>5)</sup>



(1) 千葉市と習志野市（住宅が密集している地区）



(2) 神栖市と潮来市（住宅があまり密集していない地区）

図 9.5 めり込み沈下量と傾斜角の関係<sup>6)</sup>

### 9.3 戸建て住宅のめり込み量や傾斜角の詳細な解析方法

戸建て住宅のめり込み沈下量や傾斜角を解析する方法として、液状化を考慮した地震応答解析や、少し簡易化した残留変形解析方法があるので、詳細に解析する場合にはこのような方法を用いることが良い。

#### 【解説】

地震は数十 km といった地下深い所で発生し、その揺れが地表に伝わってくる。この時、数十 m の深さの工学的基盤と呼ばれるあたりから地表に向かって揺れが増幅されるため、工学的基盤より浅い地盤と構造物を対象にモデル化し、地震時の揺れを解析する地震応答解析と呼ばれている方法がある。この解析にさらに液状化による地盤の軟化現象を考慮すると、液状化による戸建て住宅のめり込み沈下量や傾きを解析できる。ただし、このような詳細な解析には多大な労力や費用がかかるため、大型の構造物しか用いられていない。

このように地盤と構造物を一体化したモデルを用いるものの少し簡略化した解析方法として、残留変形解析と呼ばれる手法がある。液状化対策として地盤改良を施して新築した事例に対し、この方法の一つの解析ソフト ALID<sup>7)</sup> を用いて改良前・後の沈下量を解析した事例<sup>8)</sup>を図 9.6(1)、(2)に示す。

ただし、手間や費用がかかるし、簡易地盤調査結果をもとに解析するのはバランスが良くない。

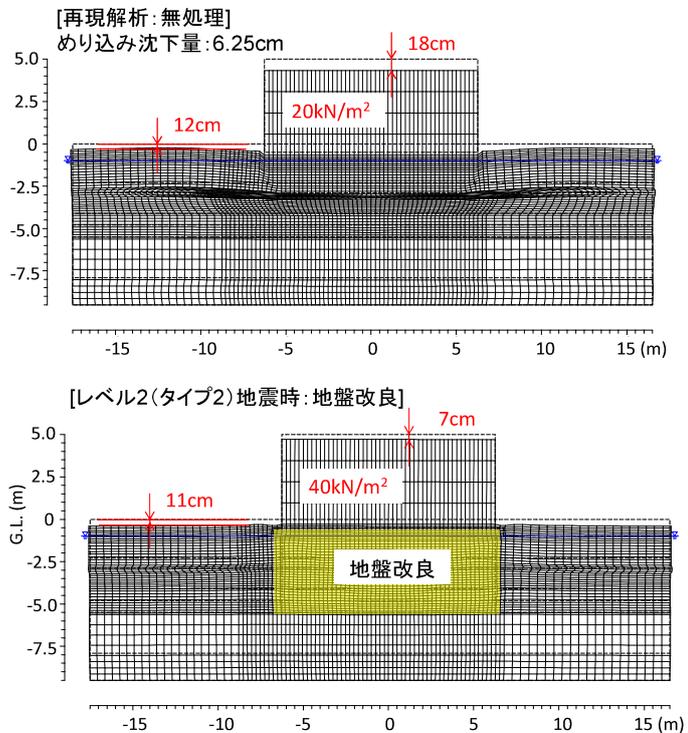


図 9.6 戸建て住宅の液状化による変形解析例<sup>8)</sup>

### 9.4 戸建て住宅のめり込み量の簡易な計算方法

簡易な計算方法を用いて液状化による戸建て住宅のめり込み沈下量を推定する。そして、住宅の密集度に応じて傾斜角を推定する。

#### 【解説】

##### (1) 国土交通省の手引きに示されためり込み沈下量の簡易な計算方法の概要

上述したように解析により戸建て住宅のめり込み沈下量を求める方法があるが、手間や費用がかかる。そこで、国土交通省では、さらに簡易化し手計算でめり込み沈下量を大まかに求める方法を 2021 に開発し、「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」<sup>9)</sup> の詳細資料編に示された。この方法には、地盤を弾性体と仮定した場合に建物が地上に載った場合の沈下量を推定する近似解を、スタインブレンナーが提案している方法を用いている。そして、液状化によるヤング率の低下割合として、ALID の解析<sup>7)</sup> で用いている液状化に対する安全率とせん断剛性比の関係を用いている。ただし、ALID では図 9.7 に示すように、液状化後の

応力～ひずみ関係を下に凸のバイリニアと仮定してあるが、ここではそのバイリニアの第 1 勾配だけで沈下量を推定するようになっており、 $F_L$  が小さい場合には過大な沈下量となる可能性がある。そこで、せん断剛性の低下は 1/300 や 1/200 以下にならないように下限値を設定してある。

### (2) むり込み沈下量と傾斜角の関係

図 9.5 に示したように、東日本大震災の際に液状化により被災した戸建て住宅に対し、むり込み沈下量と傾斜角の関係が得られているので、これを用いて傾斜角を推定する。

### (3) 具体的な計算方法

#### A. 入力項目

##### 1) 液状化判定用の地震動

デフォルト：①道路橋示方書・同解説、 $k_{hgL}=0.20$ 、地震動タイプはタイプI  
②建築基礎構造設計指針、中地震動 200  $\text{cm}^2/\text{s}$

##### 2) 建物の平面図と建築面積 $A$ ( $\text{m}^2$ )

デフォルト：正方形で  $A=64 \text{ m}^2$  (長辺長さ  $L=8 \text{ m}$ 、短辺長さ  $B=8 \text{ m}$ )

##### 3) 基礎に作用する荷重度 $q$ ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

デフォルト：10  $\text{kN}/\text{m}^2$

##### 4) せん断剛性の低下割合の限界値 $G_1/G_0$

デフォルト：1/300

#### B. 計算手順

1)  $F_L$  の深度分布を計算する。この際、建物荷重は加えない周辺地盤の条件で計算する。

2)  $F_L$  の深度分布に応じて複数の層に区分を行う。

①地下水位より上の層は非液状化層とし、地震によってせん断剛性は低下しないとみなす。

②「スタインブレナーの近似解」では、載荷幅に対して層厚が極端に薄いと解の精度が低下する傾向があるため、弾性沈下量算定用の地層を設定する際は、地層分割を細かくし過ぎないように注意する。

3) 各層の平均  $N$  値をもとに  $E=2800N$  の式を用いて地震前の弾性係数  $E_0$  を推定する。そして、 $G=E/(2(1+\nu))$  の式を用いて各層の地震前のせん断剛性  $G_0$  を求める。この場合のポアソン比  $\nu$  は地震前なので排水状態と考え、地下水位上・下とも 0.33 とする。

4) 液状化対象層に対して各層の中間深度での有効上載圧  $\sigma'_v$  を計算し、さらに、 $\sigma'_c=((1+2K_0)/3)$  の式を用いて有効平均主応力  $\sigma'_c$  を求める。 $K_0$  は 0.5 と仮定する。そして、 $0.8 < F_L < 1.1$  の場合は次式で、また、 $F_L \leq 0.8$  の場合は、国土交通省の手引きの「参考」(この章の巻末資料 1 に示す)の表を用いて、液状化後のせん断剛性比  $G_1/\sigma'_c$  を求め、さらに液状化後のせん断剛性  $G_1$  を求める。なお、 $F_L \geq 1.1$  であれば液状化対象層でもせん断剛性は低下しないものとする。

$$G_1/\sigma'_c = ae^{(-\exp(-b(R_L-c)))} \quad \text{ただし、} 0.8 < F_L < 1.1 \text{ の範囲}$$

$$a = 23.6F_L + 0.98, \quad b = 9.32F_L^3 - 10.8F_L^2 + 13.27F_L - 0.806,$$

$$c = -1.40F_L^3 + 3.87F_L^2 - 4.14F_L + 1.95$$

5) 液状化対象層のせん断剛性の低下割合  $G_1/G_0$  が限界値より下回った場合には、限界値を与える。限界値のデフォルトは  $G_1/G_0=1/300$  とするが、 $G_1/G_0=1/200$  でも選択可能とする。

6) 液状化対象層は、液状化後のせん断剛性  $G_1$  を液状化後の地盤の弾性係数  $E_1$  に換算する。換算式は  $E_1=2(1+\nu)G_1$  とし、地震時の非排水状態なのでポアソン比は 0.5 とする。

7) 液状化非対象層の弾性係数やせん断剛性は地震により変化しないものとする。

8) スタインブレナーの近似解(この章の巻末資料 2 に示す)では矩形基礎の隅角部での沈下量を計算することになるので、建物の平面図を長方形や正方形に置き換え、それを 4 つに区分した矩形載荷面(短辺長さ  $B$ 、長辺長さ  $L$ )を求める。なお、デフォルトでは 4 つの区分を同じ面積にした 4 等分とする。

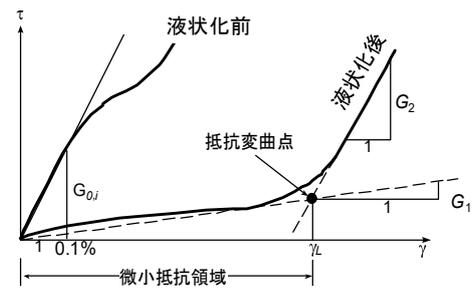


図 9.7 ALIDにおける応力～ひずみ関係<sup>7)</sup>

- 9) スタインブレナーの近似解を用いて、弾性沈下量（これがめり込み沈下量となる） $S_E$ を計算する。この場合、地盤の弾性係数としては、液状化対象層では  $E_1$  を、非液状化層では  $E_0$  を用いる。そして、ポアソン比  $\nu$  は地下水位上で 0.33、地下水位下で 0.5 の値を用いる。なお、建物の平面を4つに分けているため、 $S_E$ にはこれらの沈下量を加え合わせる必要がある。
- 10) めり込み沈下量  $S_E$  から、住宅の密集度に次式で建物の傾斜角  $\theta$  を求める。デフォルトは建物密集地区とする。なお、これらの関係式は図 9.5 (1)、(2)に示された直線である。
- ①建物密集地区： $\theta(1/1,000) = 0.13 \times S_E$  (mm)
- ②建物が密集していない地区： $\theta(1/1,000) = 0.07 \times S_E$  (mm)
- 11)  $S_E$  と  $\theta$  から内閣府の指針に従って、“全壊”、“大規模半壊”、“半壊”、“半壊に至らない”のどれに該当するか判定を行う。

### (3) 解析ソフトウェア利用の留意点

なお、めり込み沈下量の計算に用いているせん断剛性の低下割合は ALID で用いているものである。ALID では道路橋示方書で用いている等方応力の繰返し三軸試験で、20 波で液状化する応力比  $R_L$  を用いている。一方、建築基礎構造設計指針は異方応力で、15 波で液状化する応力比を用いているため、建築基礎構造設計指針は拘束圧の補正をしないとイケないことと、液状化回数の違いは無視することになるので注意が必要である。

### (4) 沈下量計算を無料で利用できる Excel ファイルの紹介

めり込み沈下量と傾斜角の計算は Excel ファイル(復建調査設計株式会社 作成)で行うことができる。

層平均値一覧	地層 No.	地層名	液状化対象層	地層の厚さ (m)	深度 地盤の厚さ H[m] (地表から地層変化深度までの掘削深度)	繰返し三軸強度比 $R_L$	液状化に対する抵抗率 $F_L$	有効拘束圧 $\sigma'_c$ (kN/m <sup>2</sup> )	平均 N 値	地盤のポアソン比 $[\nu_s]$
1	1	粘性土	-	1.9	1.9			9.65	0.50	
2	2	砂質土	○	3.8	5.6	0.21	0.56	33.95	3.75	0.33
3	3	粘性土	-	9.5	15.1				3.72	0.50
4	4									
5	5									
6	6									
7	7									
8	8									
9	9									
10	10									

有効拘束圧  $[\sigma'_c] = \frac{1 + 2K_0}{3} \sigma'_v$  : 入力変換

図 9.8 Excel ファイル(復建調査設計株式会社作成)の表示例

### 参考文献

- 1) 安田進：鳥取県西部地震による団地の被害，日本建築学会総合論文誌，第 2 号， pp.45-46，2004.
- 2) 若松加寿江・田蔵隆・安田進・東畑郁生・吉田望・金谷守・規矩大義・中澤博志：第 39 回地盤工学研究発表会—新潟地震 40 周年特別セッション第 1 部液状化現象の目撃者—、土と基礎、Vol.52、No.12、2004 年、pp.15-20.
- 3) 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—東日本大震災を乗り越えて—、pp. 454-462，2014.

- 4) Yasuda, S. and Ishikawa, K.: Appropriate measures to prevent liquefaction-induced inclination of existing houses, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 115, pp.652-662, 2018.
- 5) 安田進・原田健二・石川敬祐：東北地方太平洋沖地震による千葉県の被害、地盤工学ジャーナル、Vol.7, No.1, pp.103-115, 2012.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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ーン工法—、地盤工学会誌、Vol.61、No.4、pp.22-25、2013.
- 9) 国土交通省都市局都市安全課：「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](https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_tk_000044.html)

第9章の巻末資料1 国土交通省の手引き<sup>9)</sup>に示されている参考の表

<参考： $F_L$ 、 $R_L$ に応じたせん断剛性比 ( $G_1/\sigma_c'$ ) の参考値>

		$F_L$							
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
$G_1/\sigma_c'$	$R_L=0.15$	0.00100	0.00110	0.00129	0.00160	0.00205	0.00274	0.00422	0.00861
	$R_L=0.20$	0.00393	0.00459	0.00562	0.00698	0.00964	0.01510	0.02944	0.06871
	$R_L=0.25$	0.01000	0.01153	0.01486	0.02208	0.03648	0.06486	0.13335	0.30761
	$R_L=0.30$	0.01905	0.02399	0.03236	0.05012	0.08770	0.16368	0.34754	0.95060
	$R_L=0.35$	0.03631	0.04539	0.06683	0.11092	0.19409	0.37154	0.80538	2.04174
	$R_L=0.40$	0.06531	0.08610	0.12445	0.20654	0.38905	0.75858	1.63305	3.71535
	$R_L=0.45$	0.12023	0.15382	0.22387	0.39355	0.67608	1.27350	2.48313	5.62341
	$R_L=0.50$	0.18621	0.26792	0.41976	0.69663	1.21619	2.17771	4.04576	7.94328

① 多層地盤の弾性沈下量の算定式

図-2.2.3 に示すような多層地盤の弾性沈下量は、「スタインブレナーの近似解」を用い近似的に求めることができる。なお、「スタインブレナーの近似解」では、載荷幅に対して層厚が極端に薄いと解の精度が低下する傾向があるため、弾性沈下量算定用の地層を設定する際は、地層分割を細かくし過ぎないように注意する。

$$S_E = \left\{ \frac{I_s(H_1, \nu_{s1})}{E_{s1}} + \sum_{k=2}^n \frac{I_s(H_k, \nu_{sk}) - I_s(H_{k-1}, \nu_{sk-1})}{E_{sk}} \right\} qB$$

$$I_s = (1 - \nu_s^2)F_1 + (1 - \nu_s - 2\nu_s^2)F_2$$

$$F_1 = \frac{1}{\pi} \left[ l \cdot \log_e \frac{(1 + \sqrt{l^2 + 1})\sqrt{l^2 + d^2}}{l(1 + \sqrt{l^2 + d^2 + 1})} + \log_e \frac{(l + \sqrt{l^2 + 1})\sqrt{1 + d^2}}{l + \sqrt{l^2 + d^2 + 1}} \right]$$

$$F_2 = \frac{d}{2\pi} \tan^{-1} \frac{l}{d\sqrt{l^2 + d^2 + 1}}$$

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/m<sup>2</sup>)
- $B$  : 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)
- $\nu_s$  : 地盤のポアソン比
- $E_s$  : 地盤の弾性係数 (kN/m<sup>2</sup>)

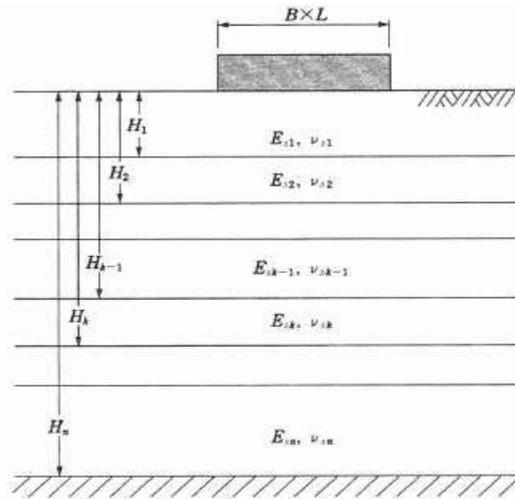


図-2.2.3 多層地盤における弾性沈下量の算定式

(「建築基礎構造設計指針 (日本建築学会：2019 改定)」より)

なお、図-2.2.3 で示す弾性沈下量は隅角部の沈下量であるため、図-2.2.4 に示すような矩形内部の点 N における沈下量は、矩形載荷面 I ~ IV の隅角部の沈下量を合計した次式で得られる。

$$S_E = \frac{q}{E_s} (I_{sI}B_I + I_{sII}B_{II} + I_{sIII}B_{III} + I_{sIV}B_{IV})$$

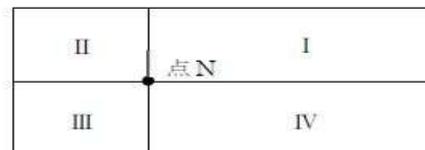


図-2.2.4 矩形載荷面

(「建築基礎構造設計指針 (日本建築学会：2019 改定)」より)

## 10. 液状化による被害ランクの判定および対策実施の判断

液状化による戸建て住宅のめり込み沈下量および傾斜角をもとに、内閣府の被害認定フローに従い、①全壊、②大規模半壊、③半壊、④半壊に至らないのどの被害ランクになるか判定する。また、液状化が避難行動に与える影響やライフラインの停止が生活に与える影響などのリスクを、住民と自治体、住宅業者などが共有し、液状化対策を実施するか否かまたどんな対策を施すかを判断する。

＜主担当者：住民、自治体、住宅業者や工務店＞

### 10.1 液状化による損害の判定

推定した戸建て住宅のめり込み沈下量と傾斜角を、内閣府の被害認定基準や地震保険の認定基準と照らし合わせ、対策の必要性を検討する。

#### 【解説】

表 9.1 に示したように、東日本大震災の約 2 か月後に内閣府から新被害判定基準が出された。その後、地震保険の認定基準も傾斜角と沈下量によって判定されることになった。そこで推定した沈下量と傾斜角をこれらの基準と照らし合わせ、宅地における液状化のリスクや被災した場合の修復金額、対策費用などを比較して対応方法を検討する。

### 10.2 宅地における液状化のリスク

宅地に液状化が発生した際には、過去の経験などから解説に示すような様々な被害が想定される。これまで液状化の発生に伴い人命に繋がる被害が発生する可能性は低いが、個人の資産や健康面などに及ぼす影響は大きい。

#### 【解説】

地震時における地盤の液状化は構造物に沈下等の被害を与えるため、家屋等の小規模構造物以外は対策を施すようになってきている。ところが市街地の生活道路や大規模工場用内の道路では一般に対策が施されていない。そのため、液状化により通行が困難になって、地震直後に襲う津波や火災に対する避難に影響を与える可能性がある。

過去の被災事例をもとに、液状化により道路の通行が困難になるケースを挙げてみると図 10.1 のようになる。

1) 液状化発生によって生じる波打ち、噴砂・噴水：液状化すると地盤が軟らかくなるので、大きく変形して波打ったり蛇行する。1964 年新潟地震や 2011 年東日本大震災の際に撮られた動画によると 1 分とか数分後に噴水・噴砂が道路際などから発生し、次第に泥水で覆われていった。後者では 29 分後に大きな余震が襲ったがその時まで多くの箇所で冠水状態が続いていた。浦安市で路面が泥水で覆われている例を写真 10.1 に示す。また、宮城県の亘理町では津波からの避難が液状化の影響で困難になった、との状況が報告されている。

2) 液状化発生後の揺動によって生じる突上げ：東日本大震災の際、東京湾岸では地震動が長く続き液状化発生後に 1 分程度も揺すられ続ける揺動現象が発生した。この時に撮影された動画によると歩道が繰返し突き上げていた。液状化発生後も揺れが長く続き、余震が襲ってくると、揺動によって道路が横断や縦断方向への突き上げが発生する。



写真 10.1 噴水・噴砂、突上げの事例

3) 下水道マンホールの突出や管路上の沈下・陥没：下水道管とマンホールを開削して設置した後、埋め戻した土が液状化して浮き上がる被害が、1993年釧路沖地震以来多く発生した。2004年新潟県中越地震では浮き上がったマンホールに車が衝突する被害も発生し、管渠上の歩道が大きく沈下する被害も発生した。なお、埋戻し土の液状化による浮上りは周囲が液状化しない軟弱な粘土地盤で多く発生しており、液状化ハザードマップでは被害を予測できないことに留意する必要がある。

4) 電柱や樹木の傾斜や電線の垂れ下がり：液状化により電柱や樹木が沈下および傾斜することで通行が困難になり、さらに道路を横断している電線が垂れ下がると通行不能になる。また、建物が密集している地域では建物へ損傷を与える可能性があり、火災などによるリスクも懸念される。

5) 建物や橋梁取り付け部の段差：液状化発生後に体積圧縮による地表面の沈下が生じる。東日本大震災では30cmもの大きな沈下が生じたため、杭基礎の建物との間に大きな段差が生じ車の出入りに支障も出た。橋梁取付部では盛土の沈下やすべりも加わって数10cmもの段差が発生した。

6) 建物の居住性の悪化：建物の沈下や傾斜が発生し、建物に居住できなくなる。居住できたとしても目まいや立ちくらみなどにより健康を害する。また、地下埋設管や電柱の破損・損傷に伴い、上下水道やガス、電気などが使用できなくなり生活に支障をきたす。最近では環境面の配慮から宅地内にエコキュートや蓄電池の設置が増えてきているが、液状化により沈下や転倒してしまい緊急時に利用できないことも考えられる。

7) その他：宅地では液状化に起因して、以下のようなリスクも想定される。

- ・ 噴砂の影響により、風で建物の外壁や窓、屋根などが汚れてしまう。
- ・ 所有している車が地盤内に埋まってしまう。
- ・ 外構部分（塀や擁壁、フェンス、階段、スロープなど）が損傷する。
- ・ 排水施設が砂で埋まってしまう機能せず、降雨などが溢れてしまう。
- ・ 店舗などを併用している場合は、営業できる状態になるまで時間を要する。

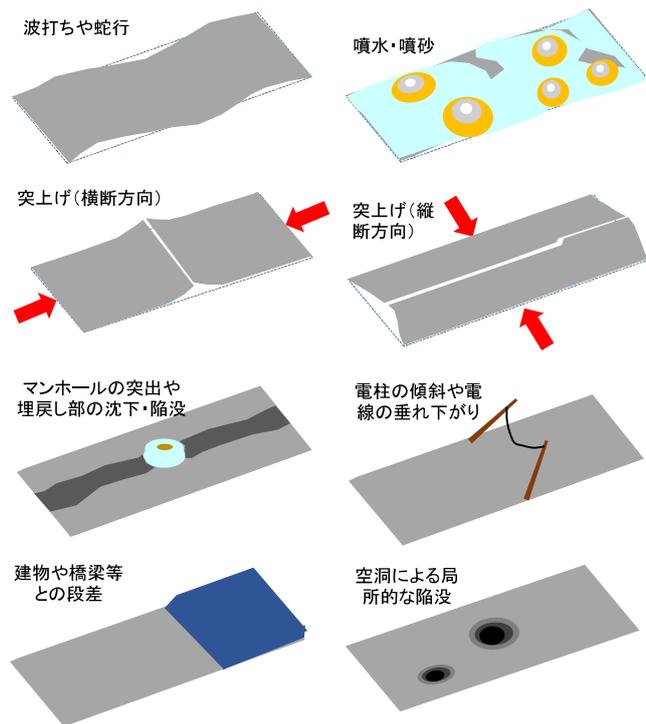


図 10.1 液状化により道路の通行が困難になるケース

### 10.3 宅地における液状化リスクへの対応例

宅地での液状化被害に対するリスクヘッジを図る上で、「受容（保有）・移転・制御（軽減）・回避・監視」の5つの中から対応を検討する。

#### 【解説】

一般的なリスクマネジメントにおいては、リスク「回避」が挙げられるが、液状化の可能性がある宅地において、個別に行う液状化のリスクを回避する方法（例えば、地下水位低下工法など）は施工面や経済面などの制約により実施することは非常に困難であり、本書では以上の4項目について検討することとした。

#### 10.3.1 液状化リスクの受容（保有）

リスクの受容とは、リスクの発生確率や被害の大きさが小さい場合に積極的に何もしないことである。液状化の予測の段階で可能性が低い、もしくは液状化が起きても建物被害が小さいと推定される場合に事前に積極的な対策を実施しないことを指す。

#### 10.3.2 液状化リスクの移転

リスクの移転とは、外部にリスクを移転することである。リスクの発生確率や予測される被害が大きき場合には、リスクの制御もしくは回避などが選択されるべきである。しかし、費用に対し得られる効果が小さいなどのとき、万が一リスクが顕在化した際、被害の補償が受けられるように外部にリスクを分散することを指す。例えば、万が一液状化の被害を受けた時、地震保険に肩代わりしてもらい沈下修復工事の費用を補填するなどである。

##### (1) 地震保険の概要

地震保険とは、法律（「地震保険に関する法律」）に基づいて、政府と民間の損害保険会社が共同で運営している制度で、地震災害による被災者の生活の安定に寄与することを目的としている。以下に、地震保険の概要を示す。

- ・地震保険料は各保険会社とも共通となっている。
- ・地震保険料は各保険会社の利潤はなく、保険料は準備金として積み立てられている。
- ・地震保険は必ず火災保険とセットで加入しなければならない。

（地震保険のみでは契約できない。）

- ・居住用建物またはその建物に収容されている家財が対象となる。

（専用店舗・事務所などの建物は対象とならない。また、営業用什器・備品や商品も対象とはならない。）

地震保険は民間の損害保険会社が契約募集・損害発生時における状況の確認や保険金の支払いなどの業務を行うが、大地震発生時には巨額の保険金を支払う必要があるため、保険金の支払い責任は政府と民間で負担している。その他、詳しい地震保険の内容については、加入している火災保険の会社に問い合わせる。

##### (2) 地震保険による液状化被害の認定基準

下表に地盤液状化被害による損害の認定基準を示す。下表は地震等を原因とする地盤液状化以外による損害は適用されない。損害については、傾斜および最大沈下量のいずれか高い方の損害の程度で査定する。また、主要構造部に大きな損傷が生じている場合には、建物部位の被

害程度に着目した損害の認定基準と比較して損害の程度の高い方を採用する。なお、両基準の調査結果を合算した認定は行われない。

表 10.1 「地震等」を原因とする地盤液状化による損害の認定基準<sup>1)</sup>

損害の程度	傾斜	最大沈下量
全損	1.7/100 (約 1°) を超える場合	30cm を超える場合
大半損	1.4/100 (約 0.8°) を超え、 1.7/100 (約 1°) 以下の場合	20cm を超え、30cm 以下の場合
小半損	0.9/100 (約 0.5°) を超え、 1.4/100 (約 0.8°) 以下の場合	15cm を超え、20cm 以下の場合
一部損	0.4/100 (約 0.2°) を超え、 0.9/100 (約 0.5°) 以下の場合	10cm を超え、15cm 以下の場合

### (3) 地震保険の加入状況 (参考)

以下に損害保険料率算出機構のホームページに公開されている地震保険の付帯率および世帯加入率の推移を示す。

#### ①地震保険の付帯率

付帯率は、火災保険にあわせて地震保険をどの程度契約しているか計算したもので、地震保険の普及度合いを示す一つの指標である。詳細には「当該年度に契約された火災保険（住宅物件）契約件数のうち、地震保険を付帯している件数の割合」と定義されている。これより、地震保険の付帯率は年々微増傾向を示しており、2021年度には約70%が地震保険とセットで加入していることが分かる。

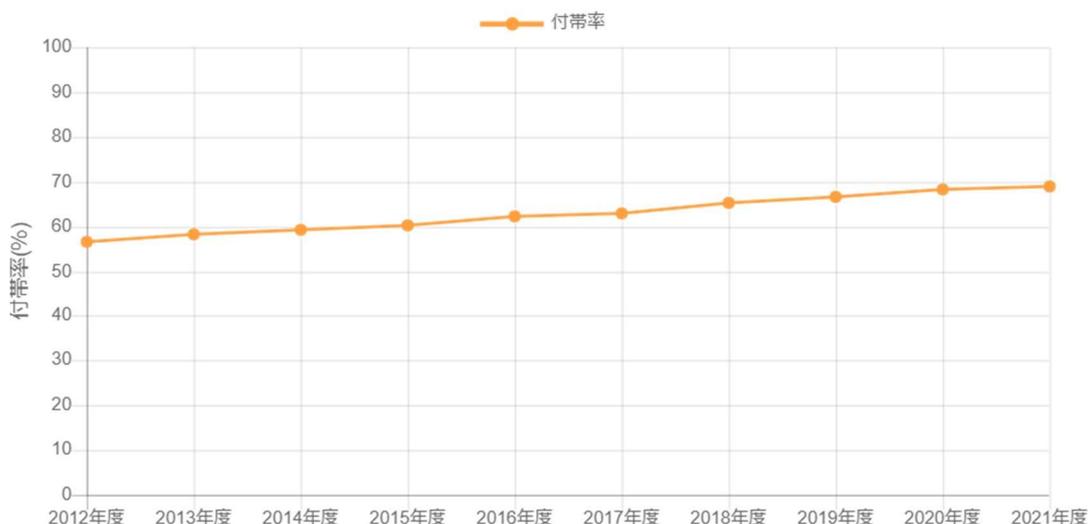


図 10.2 地震保険 付帯率の推移<sup>2)</sup>

## ②地震保険の世帯加入率

世帯加入率は、全世帯に対してどの程度の世帯が地震保険を契約しているか計算したもので、地震保険の普及度合いを示す一つの指標である。詳細には「地震保険保有契約件数を住民基本台帳に基づく世帯数で除した数値」と定義されている。これより、地震保険の世帯加入率は年々微増傾向を示しており、2021年度には世帯のうち約30%強が加入していることが分かる。

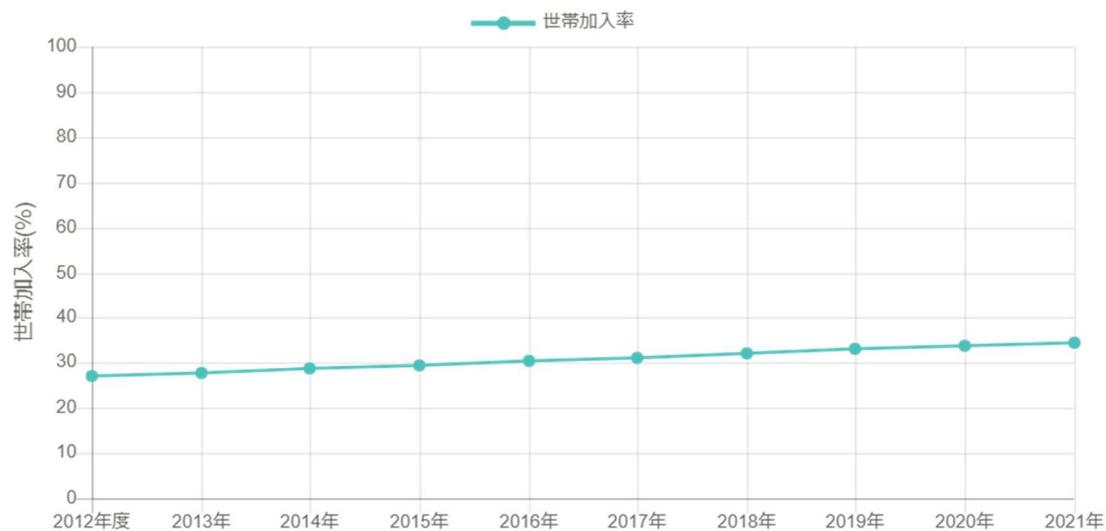


図 10.3 地震保険 世帯加入率の推移<sup>2)</sup>

#### (4) 主な建物の修復工法

主な建物の修復工法として、基礎下から嵩上げる工法とポイントジャッキ工法のような基礎（土台）から嵩上げる工法に大別され、建物荷重を持ち上げるための反力の考え方、施工条件などに応じて様々な工法がある。以下に修復工法を選定するフローおよび概要を示す。このフローは一般的な流れを示したものであり、現場条件によってはフロー中の条件から外れた工法でも選択肢になる可能性があるため、専門家や施工業者と施工性や経済性を加味して選定することに留意する。

工法の選定や設計は地盤調査の結果を踏まえて行う。また、嵩上げに関して荷重が局所的に集中することにより、基礎や上部構造に損傷を与えることがあるので、基礎の形式（布基礎・べた基礎など）とその剛性などを十分考慮して工法やジャッキの配置などを検討することが重要になる。これらの工法はあくまで建物を元の状態に近く水平にすることを目的としており、再度地震の発生により液状化が発生しても同じような被害が生じる可能性があることに留意する必要がある。

なお、建物を修復するためには建物の規模や沈下量、地盤の状況、市場動向にもよるが、東日本大震災の際、建物のみの修復費用で約 200～500 万円を要していることが多かった。地震保険に加入していれば、この修復金額のある程度は賄えるが、加入していないと自己負担となる。

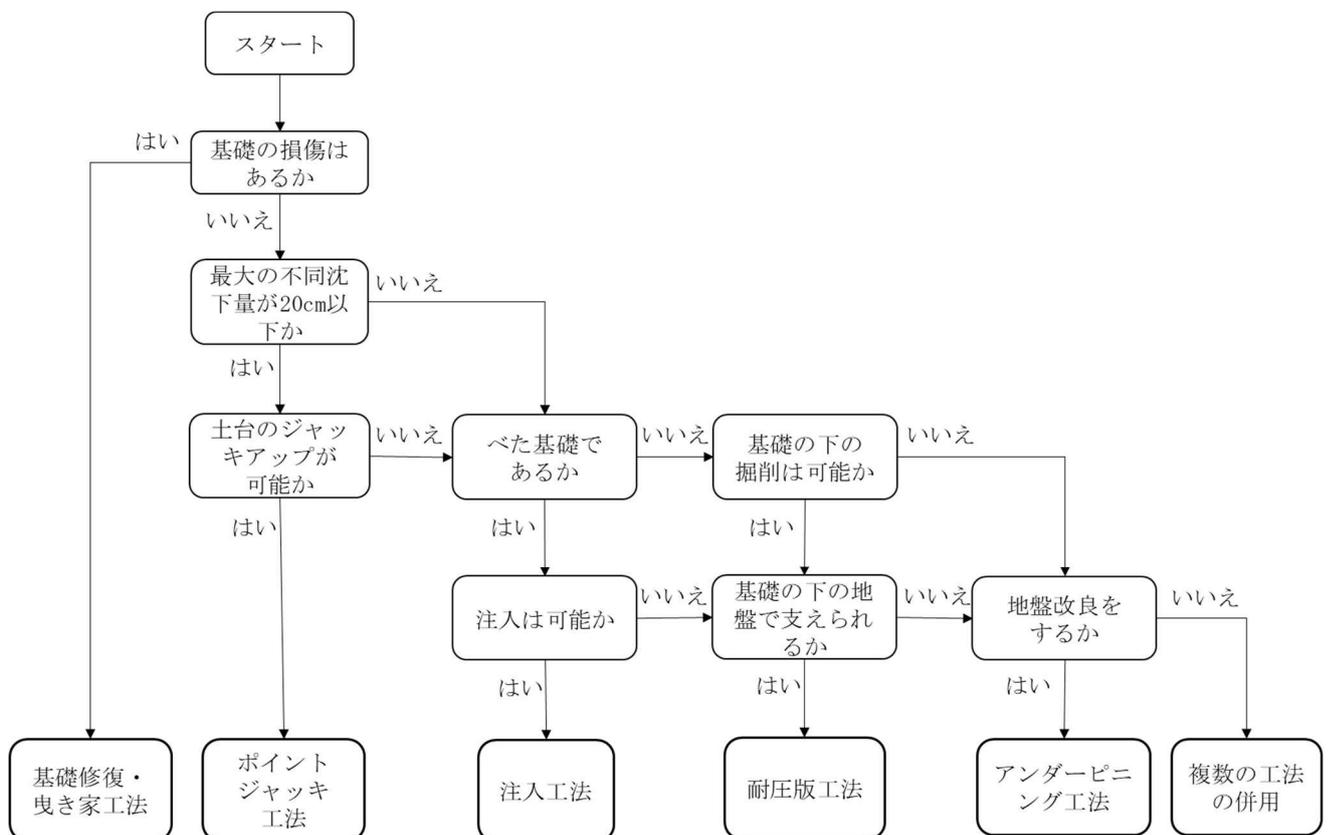
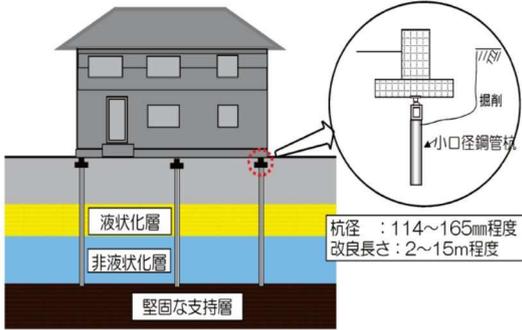
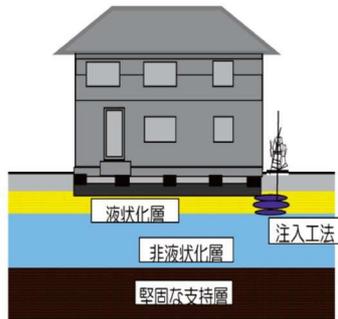


図 10.4 主な建物の修復工法選定フローの例<sup>3)</sup>

表 10.2 主な建物の修復工法の概要<sup>4)</sup>

工 法 名		ポイントジャッキ工法	耐圧版工法
工法のイメージ図と概要			
		<p>基礎の一部を切り取り、土台下に爪付きの油圧ジャッキを挿入した上で、ジャッキアップし建物の傾斜・沈下修復を行う工法です。プッシュアップ工法とも呼ばれます。</p>	<p>基礎の下を掘削し、仮の受け台を設けて建物の柱荷重を受け止めて良質な地盤面の上に鉄版とコンクリートから成る耐圧版を施工し、油圧ジャッキでジャッキアップして建物の沈下を修正する工法です。</p>
対策のねらい		<p>べた基礎・布基礎などの直接基礎の沈下の修復（建物の傾斜修復）をするものです。</p>	<p>べた基礎・布基礎の沈下の修復（建物の傾斜修復）をするものです。</p>
メリット		<p>建物の沈下修復は比較的簡便に修復できます（再度修復する場合も比較的容易に対応できます。）。</p>	<p>建物の沈下修復は比較的簡便に修復できます（再度修復する場合も比較的容易に対応できます。）。</p>
デメリット		<p>液状化層が残っている場合は、再液状化が発生した場合の沈下防止にはなりません。</p>	<p>液状化層が残っている場合は、再液状化が発生した場合の沈下防止にはなりません。</p>
騒音振動		<p>大きな重機は使用しないので、騒音振動は小さいです。</p>	<p>大きな重機は使用しないので、騒音振動は小さいです。</p>
対策深度の考え方			
既存住宅	施工性	<p>小型の機械で対応可能ですが、建物の脇など狭い場所での工事となるため施工性はあまり良くありません。</p>	<p>小型の機械で対応可能ですが、建物の脇など狭い場所での工事となるため施工性はあまり良くありません。</p>
	工期	<p>3～5週間程度</p>	<p>3～5週間程度</p>
工事費注)		<p>200～300万円程度（工事費は参考）</p>	<p>500～700万円程度（工事費は参考）</p>
備考			<p>ジャッキで沈下を修正した後、地盤と建物基礎の隙間に収縮しないグラウト材（セメント系）を注入して住宅を基礎ごと元に戻すようにします。</p>

工 法 名		アンダーピニング工法	注入工法
工法のイメージ図と概要			
		<p>沈下量の低減を目的とし、鋼管杭を回転貫入又は圧入によって設置し、その杭の支持力を利用して既存の建物の荷重を支え、補強する工法です。</p>	<p>基礎下ヘグラウト（空孔、空隙、隙間などを埋めるために注入する流動性の液体）や薬液（セメントミルク、モルタル、水ガラス系）等をボーリングマシンなどで注入する工法です。</p>
対策のねらい		建築物の沈下・変形を修復するものです。	地盤の強度を増大し、沈下を一定程度修復するものです。
メリット		液状化の発生した場合でも建物の荷重は杭で支えられることとなります。再度の液状化にも対応可能です。	狭小地での施工、斜め施工が可能です。
デメリット		液状化の発生を防止することはできないため、建物と周辺地盤との間に段差が生じる場合があります。杭材料は、柱状改良体より極端に細長いので、折れ曲がりに対する配慮が必要です。	他の工法と比較すると材料費が高くなります。
騒音振動		静的圧入又は回転圧入する場合、騒音振動は小さくなります。	騒音振動は、小さくなります。
対策深度の考え方		N値 10～20 程度の値となる深さまで（深度 20m程度以内）施工が可能です。	液状化層の下端付近まで対策することになります。
既存住宅	施工性	建物の脇など狭い場所の工事となるため施工はあまり良くありませんが施工が可能です。	既存住宅の基礎直下の地盤にも適用できます。
	工期	1～3 週間程度	1～2週間程度
工事費 注)		600～1000 万円程度（工事費は参考）	300～600 万円程度（工事費は参考）
備 考			ジャッキで沈下を修正した後に、地盤と建物基礎の隙間に収縮しないグラウト材（セメント系）を注入して住宅を基礎ごと元に戻すようにします。

### 10.3.3 液状化リスクの制御（軽減）

リスクの制御とは、リスク発生を制御または軽減することである。例えば、個別の宅地で液状化対策を講じて、液状化による建物の沈下軽減を図ることなどである。ただし、周辺地盤に程度の大きな液状化が発生すると、液状化対策の効果は発揮されない可能性が高いことに留意する。

液状化リスクを制御（軽減）する主な方法は、11章に示す液状化への対策工法を参考に、現地の状況や周辺状況を踏まえて対策範囲や深さなどを決定する。対策範囲は地下埋設物や外構などへの影響を考慮すると敷地の全面に施すことが望まれるが、隣地や道路などの周辺状況を踏まえて決定する。

### 10.3.4 液状化リスクの回避

リスクの回避とは、想定されるリスクを回避することである。例えば、5章を参考に液状化が生じる可能性が低い地域に移転する。ただし、地震が発生した場合には液状化以外の災害リスク（例えば、斜面崩壊など）について留意しなければならない。

または、多くの小規模建築物が連なる規模の土地に対する液状化対策工を施すことで、程度の大きな液状化による被害を回避するなどである。もし、宅地造成時に液状化対策工法が実施されていることを望む場合は、土地や宅地を購入する際に確認することが肝要である。土地分譲後の対策工の実施であれば、対象となる全戸の同意が必要となる。

### 10.3.5 液状化リスクの監視

リスクの監視とは、特定したリスクを追跡し、残存リスクを監視することである。例えば、建物基礎に加速度計や傾斜計を設置し、基礎レベルの経時観測することにより液状化が発生した際、実際にどの程度の影響を受けたのかが明確になる。加速度計や傾斜計は精密機器であり、電源なども持続的に確保する必要があることから建物の定期的なメンテナンスに合わせて交換し、併せて建物基礎外周部分のレベル計測を行い、それらの記録を保管しておくことが望ましい。記録は液状化などの地震被害が生じた際、ドライブレコーダーのように証拠として活用することが期待できる。中古住宅では前述のような液状化対策工を施すことは難しいが、この方法は中古の住宅を購入した際にも活用できる。住宅においては未だ研究段階だが、このような液状化リスクの監視を行うこともリスクマネジメントの一つだと考える。

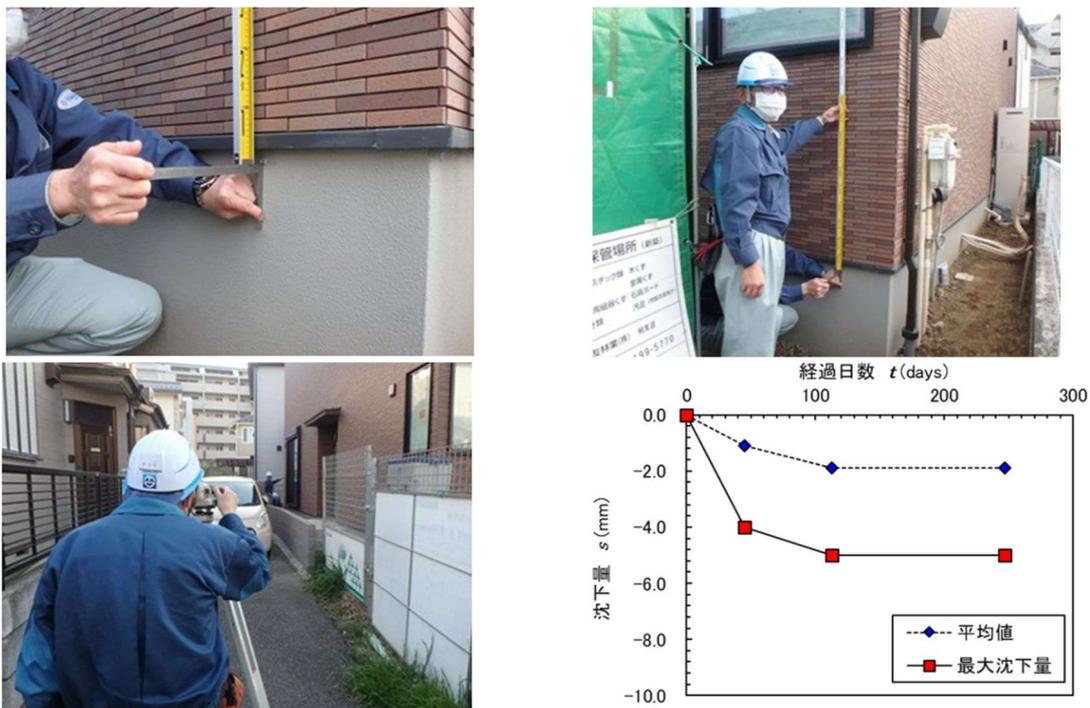


写真 10.2 建物基礎外周部分のレベル計測例<sup>5)</sup>

## 参考文献

- 1) 一般社団法人 日本損害保険協会：地震保険 損害の認定基準について， p.7， 2022年 10月
- 2) 損害保険料率算出機構ホームページより：グラフで見る地震保険統計速報
- 3) 東京都都市整備局：液状化による建物被害に備えるための手引き， p.39， 令和4年9月改訂版
- 4) 東京都都市整備局：液状化による建物被害に備えるための手引き， pp.40-41， 令和4年9月改訂版
- 5) 佐々木修平， 三村佳織， 沼田淳紀：丸太で地盤補強した戸建て住宅の動態観測， 2021年度日本建築学会大会学術講演梗概集（東海） pp.597～598

### (参考) 宅地における液状化被害に備える上で想定される費用

宅地において地盤調査から液状化に対する地盤補強（地盤改良）工事、液状化発生後に至るまで要する費用を試算した結果を下表に示す。ただし、本試算は想定要素が多いため、参考程度であることに留意する。なお、地震保険の加入により戻ってくる金額は考慮していない。

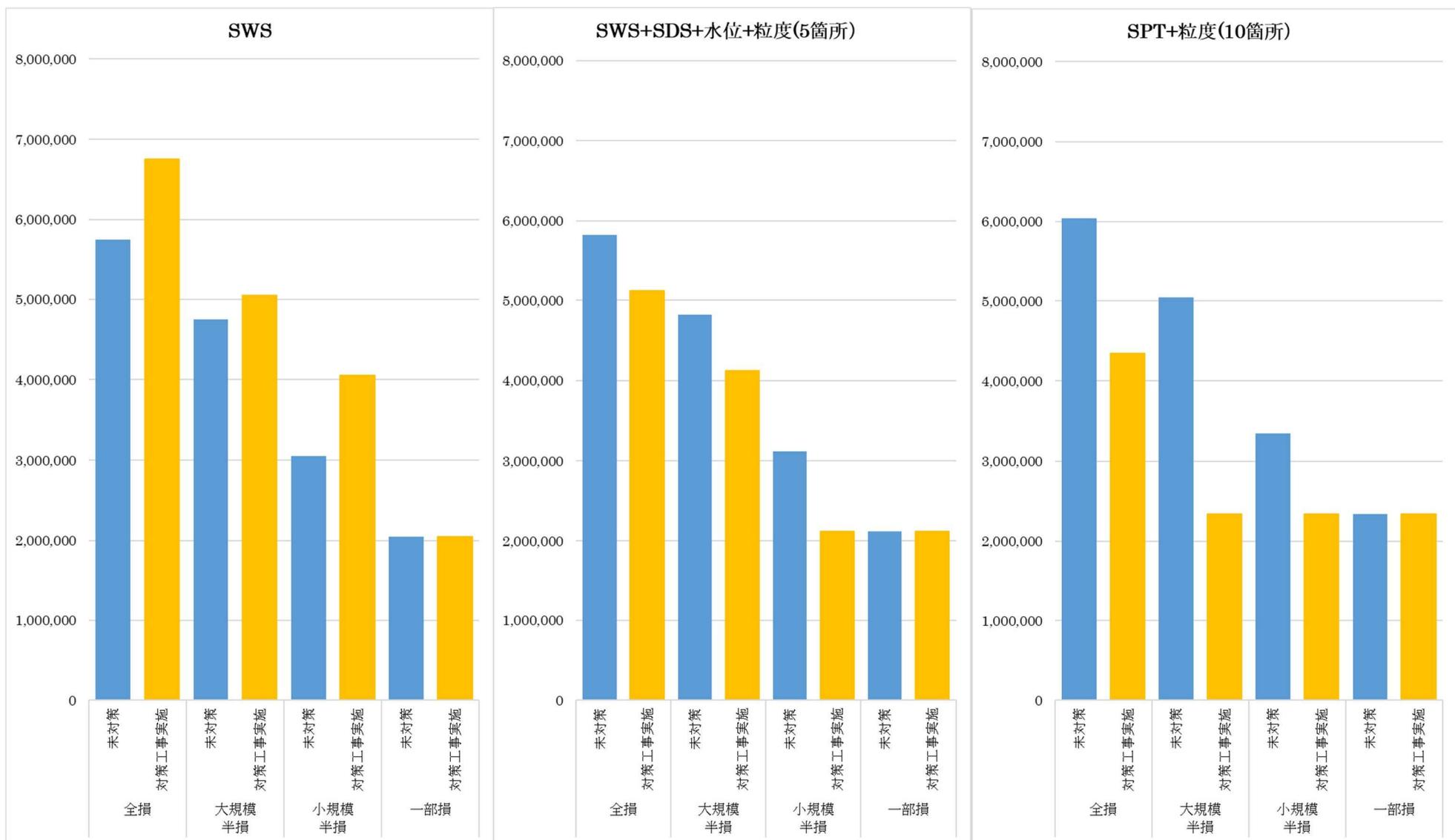
本試算の想定条件は以下の通りとする。

- ・地盤調査にかかる想定費用
  - SWS試験：50,000円/式（5測点）
  - SWS試験+SDS試験：62,000円（SWS試験 4測点、SDS試験 1測点）
  - SWS試験孔によるサンプリング：5,000円/深度
  - 水位計測：10,000円/回
  - 粒度試験：4,000円/深度
  - サンプリング試料送料：3,000円/式
  - SPT：300,000円/式(10mまで)
- ・液状化を考慮した地盤対策工事費用：200万円/棟
- ・沈下修正工事にかかる費用（東日本大震災時の実績を参考）
  - 一部損：200万円、小規模半損：300万円、大規模半損：400万円、全損：500万円
- ・仮住まいや引っ越しに伴う費用は、全損および大規模半損のみ計上
- ・SWS試験のみの液状化判定結果に基づいて、液状化軽減対策を行った場合は想定被害程度を1ランク下げて試算
- ・SWS+SDS試験などの地盤調査を行い、液状化判定結果に基づいて適切に液状化対策工事を行った場合は想定被害程度を2ランク下げて試算
- ・SPTなどの地盤調査を行い、液状化判定結果に基づいて適切に液状化対策工事を行った場合は想定被害程度を3ランク下げて試算

参表.10.1に宅地における液状化被害に備える上で想定される費用を、参図.10.1に各地盤調査ごとの液状化判定結果に応じた想定される費用を示す。これより、SWS試験のみでは液状化判定の精度が低いため、対策工事を実施しても総額は高くなる傾向となるが、地盤調査の精度を高めて適切な液状化軽減対策工事を実施することにより総額としては安価となると想定される。

参表10.1 宅地における液状化被害に備える上で想定される費用（単位：円）

液状化被害発生前					液状化被害発生後				合計 (小計①+ ②)			
地盤調査		液状化判定 (中地震程度)	液状化軽減対策 工事想定費用		発生前 小計①	想定被害程度	沈下修復工事 想定費用	仮住まいや引越 し想定費用		発生後 小計②		
SWS	50,000	全損	未対策	0	50,000	全損	5,000,000	700,000	5,700,000	5,750,000		
			対策工事実施	2,000,000	2,050,000	大規模半損	4,000,000	700,000	4,700,000	6,750,000		
		大規模半損	未対策	0	50,000	大規模半損	4,000,000	700,000	4,700,000	4,750,000		
			対策工事実施	2,000,000	2,050,000	小規模半損	3,000,000	0	3,000,000	5,050,000		
		小規模半損	未対策	0	50,000	小規模半損	3,000,000	0	3,000,000	3,050,000		
			対策工事実施	2,000,000	2,050,000	一部損	2,000,000	0	2,000,000	4,050,000		
		一部損	未対策	0	50,000	一部損	2,000,000	0	2,000,000	2,050,000		
			対策工事実施	2,000,000	2,050,000	被害なし	0	0	0	2,050,000		
		SWS+SDS+ 水位+粒度 (5深度)	120,000	全損	未対策	0	120,000	全損	5,000,000	700,000	5,700,000	5,820,000
					対策工事実施	2,000,000	2,120,000	小規模半損	3,000,000	0	3,000,000	5,120,000
				大規模半損	未対策	0	120,000	大規模半損	4,000,000	700,000	4,700,000	4,820,000
					対策工事実施	2,000,000	2,120,000	一部損	2,000,000	0	2,000,000	4,120,000
小規模半損	未対策			0	120,000	小規模半損	3,000,000	0	3,000,000	3,120,000		
	対策工事実施			2,000,000	2,120,000	被害なし	0	0	0	2,120,000		
一部損	未対策			0	120,000	一部損	2,000,000	0	2,000,000	2,120,000		
	対策工事実施			2,000,000	2,120,000	被害なし	0	0	0	2,120,000		
SPT+粒度 (10深度)	343,000			全損	未対策	0	343,000	全損	5,000,000	700,000	5,700,000	6,043,000
					対策工事実施	2,000,000	2,343,000	一部損	2,000,000	0	2,000,000	4,343,000
				大規模半損	未対策	0	343,000	大規模半損	4,000,000	700,000	4,700,000	5,043,000
					対策工事実施	2,000,000	2,343,000	被害なし	0	0	0	2,343,000
		小規模半損	未対策	0	343,000	小規模半損	3,000,000	0	3,000,000	3,343,000		
			対策工事実施	2,000,000	2,343,000	被害なし	0	0	0	2,343,000		
		一部損	未対策	0	343,000	一部損	2,000,000	0	2,000,000	2,343,000		
			対策工事実施	2,000,000	2,343,000	被害なし	0	0	0	2,343,000		



参図10.1 宅地における液状化被害に備える上で想定される費用（単位：円）

## 11. 液状化に対する対策工法の選定

液状化対策工法は、液状化の発生を防止する工法と液状化しても被害を受け難いようにする工法に大別される。両者ともこれまで数多く開発されてきているが市街地の戸建て住宅のように、敷地が狭く、大きな振動や騒音も出さない条件下で適用できる工法は少ないので、種々の対策工法の中から条件に合う工法を選定する必要がある。また、戸建て住宅を新築する場合の対策方法と既設の住宅を対策する場合の方法は異なることも留意が必要である。

＜主担当者：住民、住宅業者や工務店＞

### 11.1 液状化対策方法の経緯

液状化対策工法の開発は大型構造物を中心に、新潟地震以降半世紀にわたって精力的に行われ、多くの工法が開発されてきている。したがって、開発されてきた工法の種類や特徴を予め調べておくが良い。

#### 【解説】

我が国では 1964 年新潟地震で液状化による被害の甚大さが広く認識されるようになったが、その時地盤を締め固めてあった箇所では液状化による被害が生じなかったため、同時に、締め固めが液状化対策になることが分かった。その後、多くの液状化対策方法が開発され、大型の構造物に適用されるようになってきた。このように半世紀の間に液状化対策工法の開発は精力的に行われてきた。ただし、戸建て住宅では液状化対策をほとんど行ってこなかったため、対策工法が開発が遅れている。

大型の構造物に対して開発されてきた液状化対策工法を大別すると、i)地盤を改良して液状化発生を防止する工法と、ii)液状化が発生しても構造物は有害な被害を受けないようにする工法とに分けられる。さらに、前者を地盤改良の原理から分類すると表 11.1 となる。地盤を液状化させないようにするためには、液状化が発生する条件（①緩い、②砂地盤、③地下水位以下、④非排水状態、⑤大きな繰返しせん断の载荷）のうちどれかを改善すれば良い。そこで密度を増大（締め固め）すると①、固結すると②、粒度を改良すると②、飽和度を低下（地下水位低下）すると③、間隙水圧発生を抑制すると④、せん断変形抑制をすると⑤が改善され、対策が施されることになる。それぞれの原理に基づいて、種々の工法が表に示すように開発されてきている。後者のii)は構造物の種類や施工環境などによって異なるが、例えば、液状化層を突き抜けて堅固な地盤

表 11.1 地盤を改良して液状化の発生を防止する工法の種類

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（動的締め固め、静的締め固め）、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、圧入締め固め工法(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

に杭基礎で支えるとか、マンホールの重量を増やして浮上りを防ぐといったような工法がある。

これらの工法の中から大型の構造物に適用する工法を選ぶ場合、構造物が新設か既設か、液状化層厚が厚いか薄いか、施工にあたって振動・騒音の問題はないか、といった種々の条件を考慮しながら選定が行われる。新設の場合は液状化の発生を防止する工法を適用し易いが、既設の場合は適用するのが難しい。このため、液状化が発生しても被害を受けない工法も選ばれる。既設の構造物に対して適用された種々の対策工法の例<sup>1)</sup>を図 11.1 に示す。

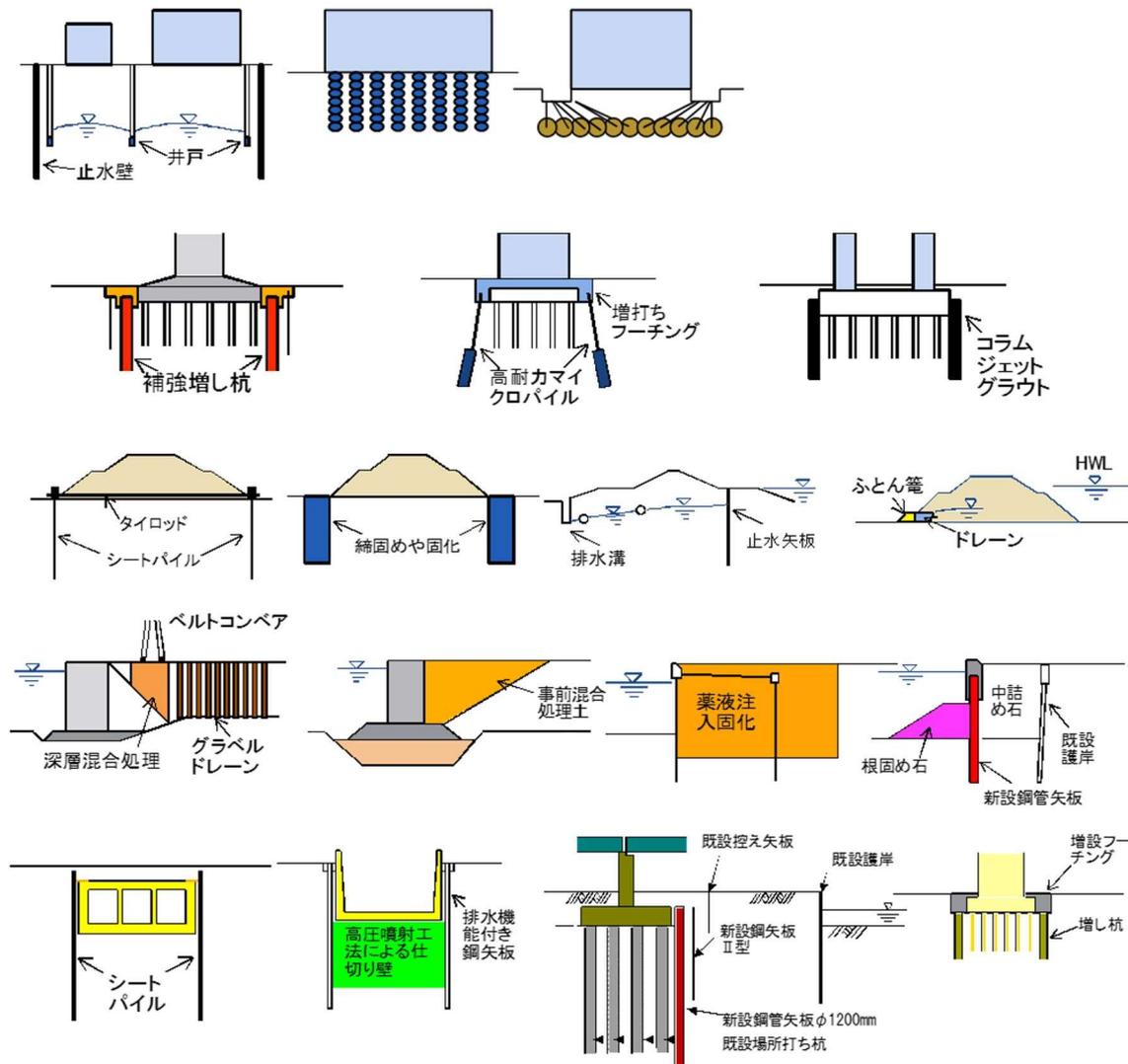


図 11.1 既設構造物の液状化対策事例の模式図

さて、大型構造物と違って戸建て住宅向けの液状化対策工法は殆ど開発されてこなかったが、それでも、小規模建築物基礎設計の手引き（1988）<sup>2)</sup>には図 11.2 に示すような対策方法が示されていた。ただし、2011 年東日本大震災では、べた基礎の住宅でも、液状化によりめり込み沈下や傾斜被害が発生した。この地震では関東地方で多くの戸建て住宅が液状化被害を受けたため、対策工法などを検討する委員会が地盤工学会関東支部に設置され、戸建て住宅に適する対策工法の案などが「液状化から戸建て住宅を守るための手引き」<sup>3)</sup>として 2013 年にまとめられた。また、液状化層が厚くても表層の数 m だけ地盤改良を施した場合における戸建て住宅への対策効果に関して、地盤工学会内に「浅層盤状改良による宅地の液状化対策研究委員会」が設置され、遠心載荷実験や詳細な解析により対策効果が検討された<sup>4)</sup>。

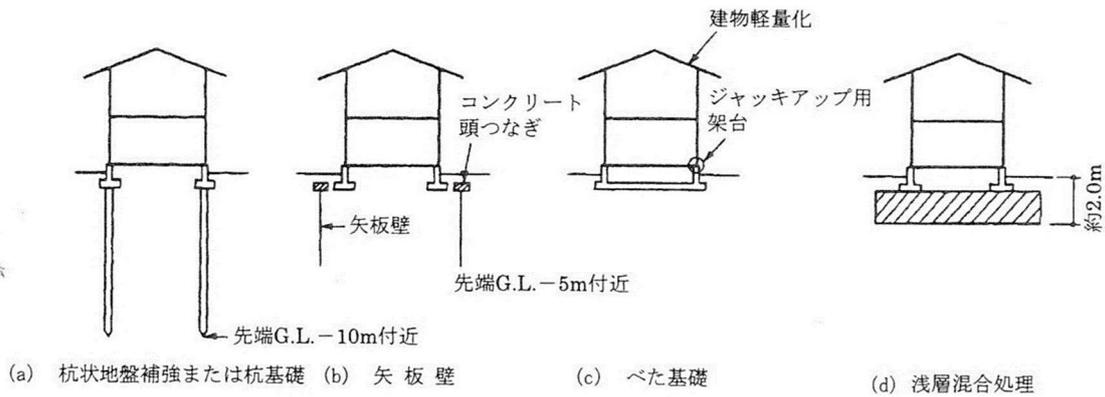


図 11.2 小規模建築物基礎設計の手引き<sup>2)</sup>に示されている液状化対策方法

東日本大震災でめり込み沈下し傾いた多くの戸建て住宅では、前章に示したように建物を持ち上げ、基礎を直して再度建物を据え直す沈下修正工事が行われた。その際に液状化対策も同時に施す住宅や、建替を行う際に地盤改良を施して対策する住宅もあった。ただし、その戸数は少なく、ほとんどの住宅は復旧はしたものの液状化対策は施されないままになっている。また、この被害を契機に戸建て住宅の液状化対策工法の開発をしようとの機運にもなりかけたが、少ししか開発がされてきていない。

なお、このような個々の液状化対策の遅れに対し、地区全体の地下水位を下げるなりして戸建て住宅と道路、ライフラインをまとめて対策する「市街地液状化対策事業」もいくつかの都市で実施され、その手法がガイダンスとしてまとめられている<sup>5)</sup>。

## 11.2 戸建て住宅に液状化対策を施す場合の制約条件

大型構造物を対象に開発されてきた液状化対策工法を戸建て住宅に適用するにあたっては、いくつかの制約条件があるので、そのことを考慮する必要がある。

### 【解説】

更地のある区域に数十軒といった多くの戸建て住宅を建てる場合には、上記の大型構造物に対して開発されてきた液状化対策工法が適用可能である。実際、東日本大震災で広範囲に液状化して数多くの戸建て住宅が甚大な被害を受けた浦安市においても、予め団地内を地盤改良して液状化対策を施していたため、東日本大震災による液状化被害を免れた団地がいくつかある。その例<sup>6)</sup>を図 11.3 に示す。ここでは大型の施工機械を用いてサンドコンパクションパイル工法とグラベルドレーン工法により地盤改良が施されていた。

一方、住宅が密集した市街地内の1戸の狭い宅地において液状化を施す

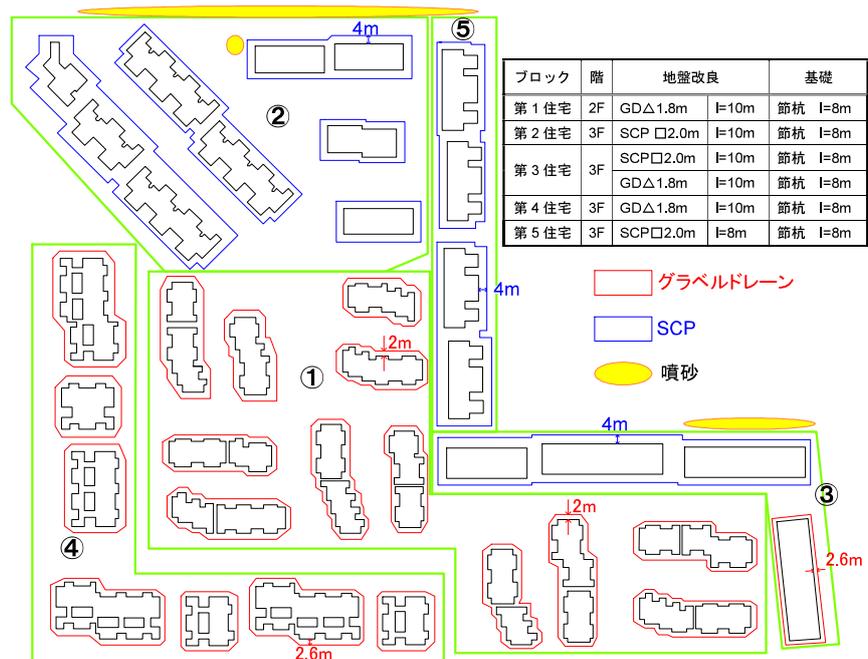


図 11.3 地盤改良が施してあって東日本大震災で液状化しなかった団地<sup>3)</sup>

場合には、大型の施工機械によって地盤改良を施すことが難しくなる。また、新設に対して既設では適用できる工法が限られ、費用も高くなる。このような制約条件としては以下のようなものがある。

- 1) 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である。
- 2) 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。
- 3) 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るべく、安価な対策しか実施し難い。
- 4) 新設の場合に比べて既設の場合では対策工法が限られ、また費用が高くなる。

前述した「液状化から戸建て住宅を守るための手引き」<sup>3)</sup>では、このような制約条件を考慮して施工面積と液状化対策費用の関係で適する地盤改良工法を図 11.4 のように位置付けている。図に示されているように、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。また、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。したがって、戸建て住宅の液状化への対応技術を選定する上で、これらの関係に留意する必要があると述べられている。また図中に“開発が期待される工法”と示された工法の技術開発が必要とされている。

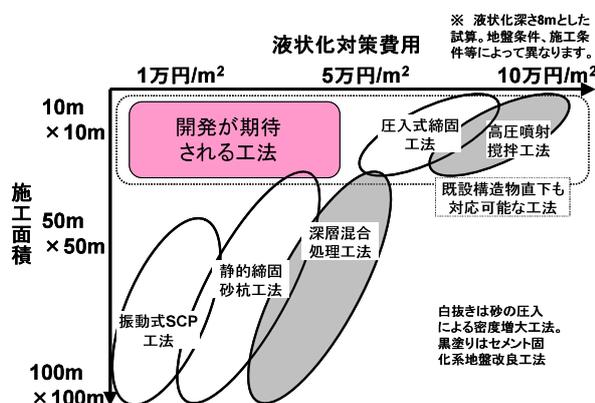


図 11.4 液状化工法の施行面積と費用の関係<sup>3)</sup>

### 11.3 新築の戸建て住宅に対する液状化対策方法

新築の戸建て住宅では、液状化層厚や施工条件などによって浅層地盤改良や柱状改良などの適する方法を検討し、具体的に用いる工法を選定する。

#### 【解説】

#### (1) 「液状化から戸建て住宅を守るための手引き」に示された方法例

前述した手引きには新築の戸建て住宅に実際に施された液状化対策方法に加えて、現状ではアイデアの段階の工法も含めて考えられる対策方法を挙げ、具体的な工法と留意事項がまとめられている。これを示したのが図 11.5 である。液状化層厚や施工条件などによって浅層地盤改良や柱状改良などの適する方法を検討し、具体的に用いる工法を選定する必要がある。

このうち、地盤の層状締固めと層状固化に関しては、どれくらいの厚さを改良する必要があるかが問題になる。これに対し、上述した「浅層盤状改良による宅地の液状化対策研究委員会」の報告書では遠心載荷実験と詳細な解析が行われて、その値を検討してある。液状化の詳細な解析が行われた結果を図 11.6 に示す。下層に液状化層がある状態なので、めり込み沈下量はゼロにはならないが、図 9.5 に示したように、住宅密集地区で半壊になる傾斜角に相当する平均めり込み沈下量が 7~8 cm 程度と考えると、3m 程度の厚さほど地盤改良を施しておけばよいことになる。なお、これは盤状に改良した場合であり、柱状改良のように盤状に改良されていないケースには当てはまらないことに注意が必要である。柱状改良の場合は杭と同じであくまで下端が非液状化層上面まで達している必要がある。

#### (2) 東日本大震災後に開発された工法

東日本大震災で被災した浦安市の戸建て住宅に対し、建て替える際に、液状化対策として実績のある地盤改良工法「締固め式グラベルドレーン工法」を宅地地盤用に新たに開発、実用化し適用された<sup>7)</sup>。これは地盤中に拡径させた礫杭を造成することにより、周辺地盤を若干締め固めて液状化に対する抵抗性を増加させると同時に、地震時には上昇した過剰間隙水圧を速やかに消散させて液状化を防止するものである。写真 11.1 に施工状況を示し、図 11.7 に平面図と断面図を示す。なお、これによる対策効果を定量的に評価するために、ALID による残留解析も行われ、無

処理地盤での東日本大震災の再現解析では、6cm のめり込み沈下が発生すると解析結果になり実被害の再現ができています。そして、改良した地盤にレベル 2 地震動が襲った場合、周囲地盤が 11cm、家屋が 7cm 沈下するものの、家屋が地盤内にめり込み沈下することは無いとの結果が得られている。

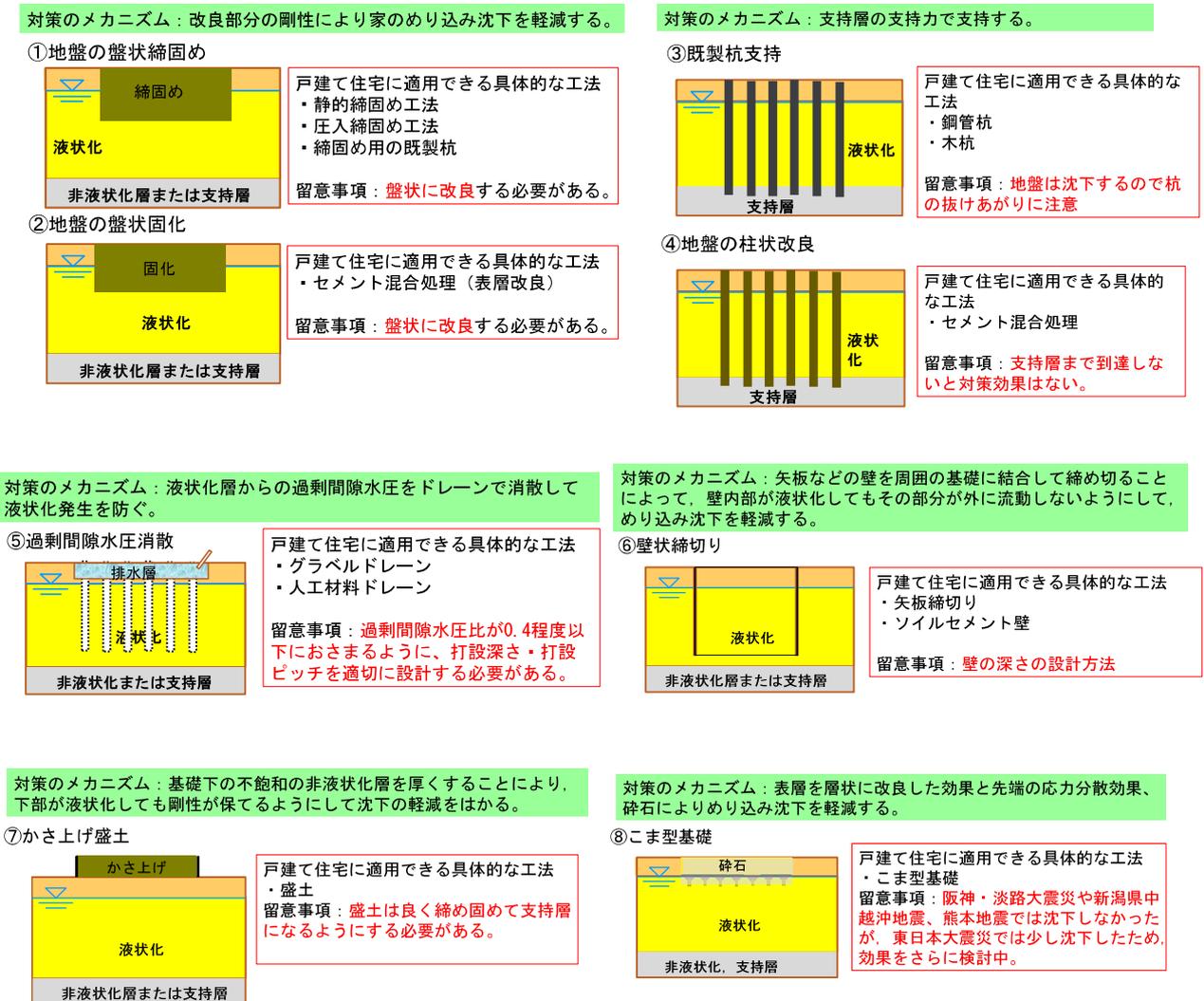


図 11.5 新築の戸建て住宅に対する液状化対策方法（アイデア段階のものも含む、文献 3）に加筆

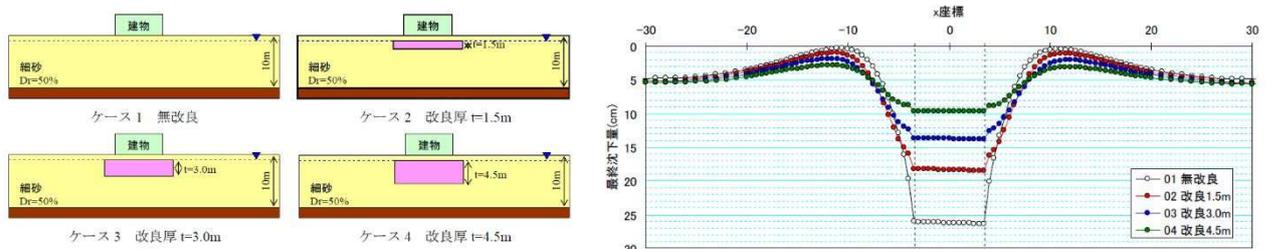


図 11.6 改良厚さがめり込み沈下量に与える影響に関する解析<sup>4)</sup>



写真 11.1 地盤改良状況

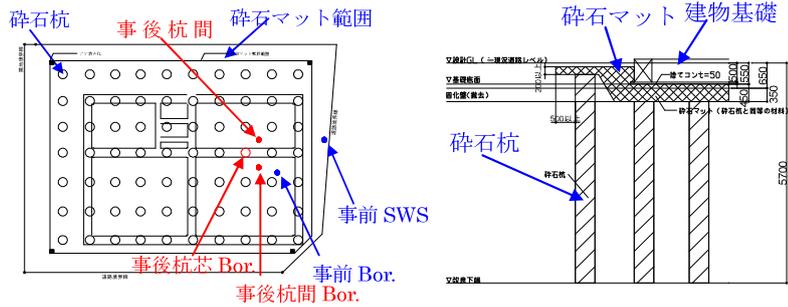


図 11.7 地盤改良の平面図と断面図<sup>7)</sup>

#### 11.4 既設の戸建て住宅に対する液状化対策方法

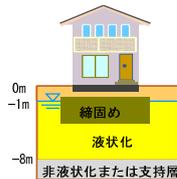
既設の戸建て住宅の液状化対策方法は数が少なく限られているが、その中から適用できる方法を選択する。

##### 【解説】

##### (1) 「液状化から戸建て住宅を守るための手引き」に示された工法例

新築の戸建て住宅の場合と同様に「液状化から戸建て住宅を守るための手引き」に挙げられている対策方法と留意事項を示すと図 11.8 となる。

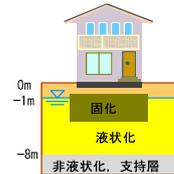
##### ①建物直下の層状締め



戸建て住宅に適用できる具体的な工法  
・圧入締め工法

留意事項：盤状に改良する必要がある。

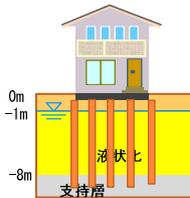
##### ②建物直下の浸透固化



戸建て住宅に適用できる具体的な工法  
・薬液浸透固化処理工法

留意事項：盤状に改良する必要がある。  
また、沈下修正の割裂注入の場合には部分的に改良されるだけなので対策に  
ならなく、浸透固化が良い

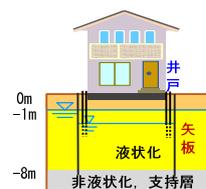
##### ③柱状改良



戸建て住宅に適用できる具体的な工法  
・高圧噴射攪拌工法

留意事項：支持層まで到達しないと対策効果はない。

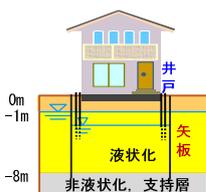
##### ④地下水位低下



戸建て住宅に適用できる具体的な工法  
・井戸による汲みあげ

留意事項：周囲への影響を防止するため  
矢板が必要な場合がある。また、下層に  
軟弱な粘土層がある場合には地盤沈下を  
検討する必要がある。

##### ④地下水位低下



戸建て住宅に適用できる具体的な工法  
・井戸による汲みあげ

留意事項：周囲への影響を防止するため  
矢板が必要な場合がある。また、下層に  
軟弱な粘土層がある場合には地盤沈下を  
検討する必要がある。

図 11.8 新築の戸建て住宅に対する液状化対策方法（アイデア段階のものも含む、文献 3）に加筆）

## (2) 東日本大震災後に開発された工法

### 1) 建物の外側から施工する圧入式締固め工法コンパクショングラウチング工法

表 11.1 に示しているように、密度増大工法として圧入式締固め工法（コンパクショングラウチング工法）は古くから開発され、特に建物内や水深が深い海底などの特殊な条件で多く使用されてきた。これを建物外側から斜めに施工して建物直下の地盤が液状化しないように改良する方法が開発され、実証実験も行われて効果も確認された<sup>8)</sup>。図 11.9 に施工方法の概要図を、写真 11.2 に実験風景を示す。

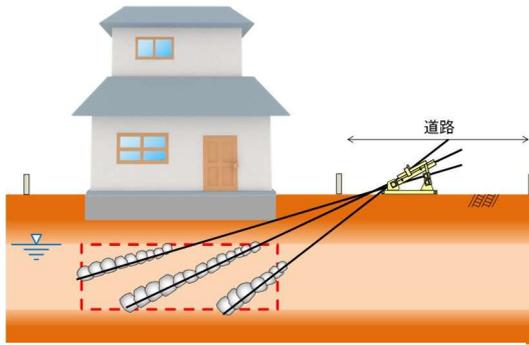


図 11.9 工法の概念図<sup>8)</sup>



写真 11.2 実証実験風景

### 2) 薄鋼矢板を用いた液状化被害軽減工法

図 11.10 に示すように、建物の周囲に締め切るように薄型矢板を打設し、矢板内の土砂流出を抑えると住宅の不同沈下を軽減することが出来るのではないかと考えられて対策方法の開発が行われ、大型振動台実験や解析によって効果が確かめられた<sup>9)</sup>。この工法は新築の場合でも既設の場合でも適用できる。写真 11.3 は新築の建物に適用するために薄型矢板を打設している状況である。また、写真 11.4 は東日本大震災で沈下・傾斜した建物を沈下修正した後建物の周囲に薄型矢板を打設した状況で、この後に基礎と一体化する工事が行われた。

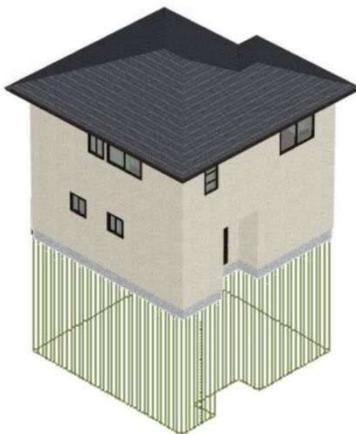


図 11.10 対策方法の概念図<sup>9)</sup>



写真 11.3 新築の建物に適用した例



写真 11.4 既設の建物に適用した例

## 参考文献

- 1) 安田進：既設構造物の基礎と地盤の耐震補強，土と基礎，Vol. 56，No.3，pp. 1-5，2008.
- 2) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計の手引き，1988.
- 3) 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一、209p.、2013.

- 4) 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、2012. [https://www.jiban.or.jp/?page\\_id=426](https://www.jiban.or.jp/?page_id=426)
- 5) 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、2016.
- 6) 安田進・原田健二・石川敬祐：東北地方太平洋沖地震による千葉県被害、地盤工学ジャーナル、Vol.7, No.1, pp.103-115, 2012.
- 7) 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ーン工法—、地盤工学会誌、Vol.61、No.4、pp.22～25、2013.
- 8) 河野聡平・足立雅樹・岡見強・新坂孝志・関谷千尋：静的圧入締固め工法（CPG 工法）による戸建住宅地の液状化対策実証実験（その 1）—戸建住宅対応の機械開発—、第 48 回地盤工学研究発表会、pp.935～936、2013.
- 9) 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.

## 付録 1. 適用方法の例示

### 1. 調査場所と例示の流れ

SWS や SDS の簡易地盤調査方法で液状化の判定を行う妥当性を検証するため、2011年東日本大震災の際に液状化した箇所と、液状化しなかった箇所の2箇所で実際に調査を行ってみた。そのため大洗町にご協力いただき、それらの調査場所をご提供いただいた。付図1に2箇所の調査場所を示す。A地点は液状化した箇所、B地点は液状化しなかった箇所である。

これらの箇所において、将来の地震に対し、戸建て住宅を建てる場合に液状化の検討をする場合や、既設の戸建て住宅で液状化の検討を行う場合を想定し、本手引きの流れに従って検討を行ってみた。

### 2. 液状化の検討を行う必要性の検討

#### 2.1 調べる既往の液状化ハザードマップの種類

まず、国や自治体で作成されている液状化ハザードマップを見て、対象宅地で簡易地盤調査を行って液状化の検討を行う必要性の判断を行った。液状化ハザードマップには、①国全体を表すように作成されたもの、②都道府県全体を表すように作成されたもの、③市区町村内を表すように作成されたものがあるので、個々の地点での液状化発生の可能性を見るためには③が適している。ただし、③の地区町村で作成されているものは限られている。

大洗町を含む茨城県では2011年東日本大震災の際に広い地域で液状化が発生した。その後に付図1の2地点を対象にした場合に、参照できる液状化ハザードマップが国土交通省、茨城県、大洗町で作成されてきている。そこで、以下にはこれらの3つの液状化ハザードマップを見て、液状化の検討を行う必要性について検討してみた。

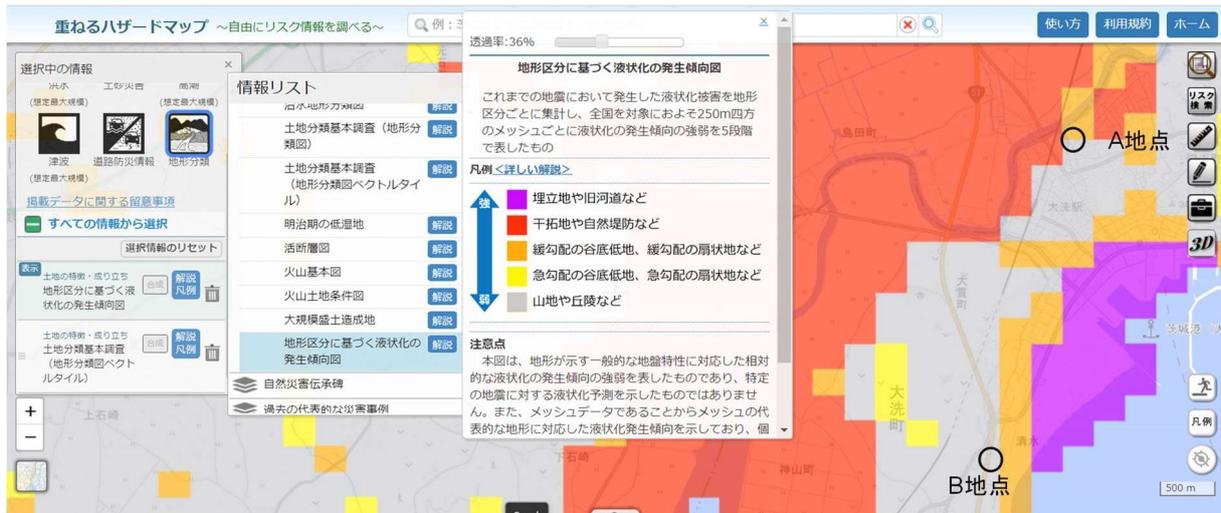
#### 2.2 国土交通省で作成してある液状化ハザードマップ

国土交通省から公開されているハザードマップを探すために、インターネットで「国土交通省ハザードマップポータルサイト<sup>1)</sup>」にはいって、「重ねるハザードマップ」→「地形分類」→「すべての情報から選択」→「土地の特徴・成立ち」→「地形区分に基づく液状化発生傾向図」と進んで、大洗町を表示すると、付図2に示すマップが出てくる。これによると、A地点は液状化の発生傾向の強さが中位、B地点は低位となっている。

ただし、このサイトでは微地形および液状化の可能性に関しさらに詳細な情報も得られる。上述の「土地の特徴・成立ち」→「地形分類（自然地形）」を選択し、A地点を指して出た情報が付図3、B地点を指して出た情報が付図4である。それぞれ、以下のような情報が読み取れた。



付図1 調査場所



付図2 地形区分に基づく液状化発生傾向図（国土交通省）<sup>1)</sup>



付図3 A地点の地形分類（国土交通省）<sup>1)</sup>



付図4 B地点の地形分類（国土交通省）<sup>1)</sup>

<A 地点> 旧水部

土地の成り立ち：江戸時代もしくは明治期から調査時までの間に海や湖、池・貯水池であり、過去の地形図などから水部であったと確認できる土地。その後の土砂の堆積や土木工事により陸地になったところ。

この地形の自然災害リスク：地盤が軟弱である。液状化のリスクが大きい。沿岸部では高潮に注意。

上記は一般的な自然災害リスクであり、個別の場所のリスクを示しているものではありません。

<B 地点> 砂州・砂丘

土地の成り立ち：主に現在や昔の海岸・湖岸・河岸沿いにあり、周囲よりわずかに高い土地。波によって打ち上げられた砂や礫、風によって運ばれた砂が堆積することである。

この地形の自然災害リスク：通常の洪水では浸水を免れることが多い。縁辺部では強い地震によって液状化しやすい。

上記は一般的な自然災害リスクであり、個別の場所のリスクを示しているものではありません。

なお、この微地形および液状化の可能性に関する情報は国土地理院の地理院地図からも見ることができる。この場合は、インターネットで「地理院地図」から「土地の成り立ち・土地利用」→「地形分類」→「地形分類（自然地形）+地形分類（人工地形）+諸元情報（自然地形『詳細版』）」と検索していけばよい。

### 2.3 茨城県で作成してある液状化の可能性のマップ

茨城県で作成されている液状化の可能性のマップを探すために、インターネットで「茨城県地震被害想定について2）」にはいり→「茨城県地震被害想定調査詳細報告書」→「液状化の可能性について」とたどるとマップを見ることができる。

茨城県では平成 10 年 3 月に地震被害想定が公表されているが、その後約 20 年が経過し、人口、建物分布、インフラの整備状況などが変化したことなどを踏まえ、最新の科学的知見とデータに基づき、新たに地震被害想定調査が実施されている。そこでは、茨城県南部地域で発生する M7 クラスの地震、県北部の活断層による地震、太平洋プレート内の地震、茨城県沖から房総半島沖にかけての地震、相模トラフ沿いの M8 クラスの地震、地殻内一律 Mw6.8 の地震が想定され、それぞれに対し液状化の可能性のマップが作成されている。そのうち、茨城県沖から房総半島沖にかけての地震に対して作成されたマップを付図 5 に示す。

このマップは県内全域が示されている広域な図である。そのため、このマップだけでは、ここで目的としている両地点のジャストポイントの液状化の可能性の判断はし難い。

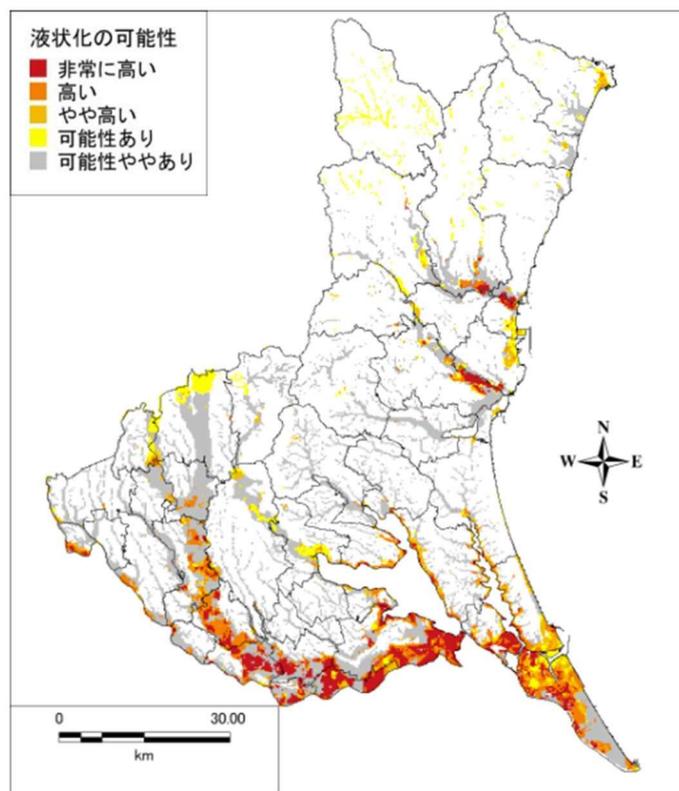


図 II. 2. 4-4 液状化の可能性

茨城県沖から房総半島沖にかけての地震

### 2.4 大洗町で作成してある液状化ハザードマップ

大洗町では国土交通省で 2020 年に出された「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<sup>3)</sup>」に基づき液状化ハザードマップが作成され、2022 年に公開されている。そこで、インターネットで大洗町のホームページから、「くらし」→「住まい」→「宅地耐震化推進事業（宅地の液状化による変動予測調査）」について<sup>4)</sup>→「大洗町液状化ハザードマップ」、と検索していくと、表面に「宅地の液状化危険度マップ」、裏面に「地域の液状化発生傾向図」のマップを見ることがで

付図 5 茨城県での地震被害想定<sup>2)</sup>

きる。または、インターネットで、大洗町液状化ハザードマップ→「宅地耐震化推進事業（宅地の液状化による変動予測調査）について」と検索していくと同じマップにたどり着く。

付図 6 にこの液状化ハザードマップを示す。地域の液状化発生傾向図によると、液状化発生傾向の評価区分が A 地点では「非常に強い」、B 地点では「やや弱い」と区分されている。一方、宅地の液状化危険度マップにおいては、A 地点は「顕著な被害の可能性が高い」、B 地点は「顕著な被害の可能性が低い」と判断されている。



付図 6 大洗町で作成されている液状化ハザードマップ<sup>4)</sup>

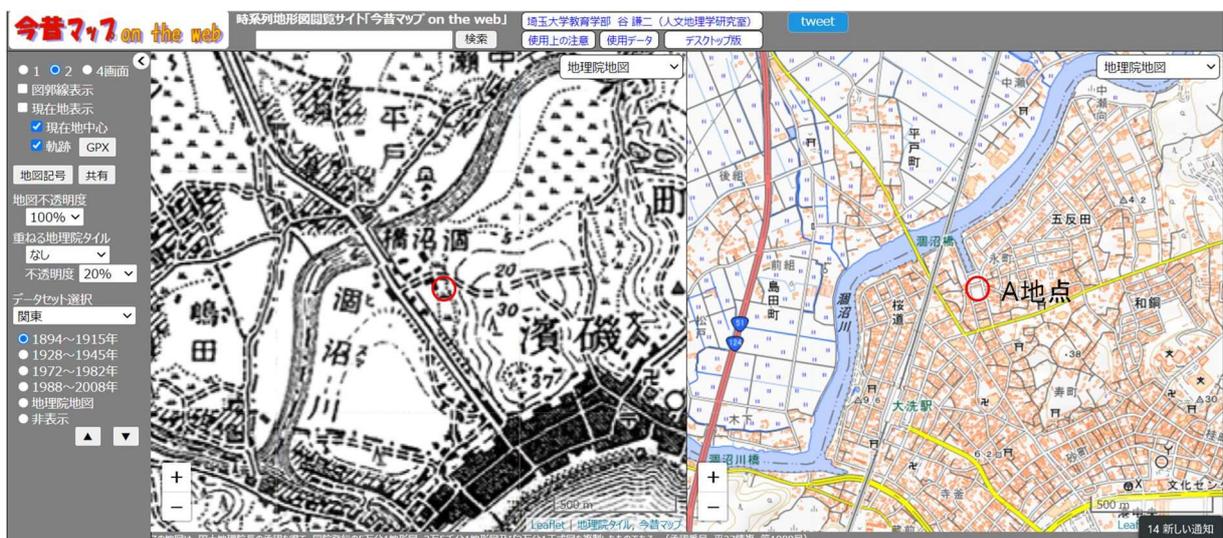
## 2.5 液状化の検討を行う必要性の検討

以上を総合して判断すると、A 地点は液状化が発生する可能性が高いのではないかと、B 地点は液状化が発生する可能性が低いのではないかと推定される。したがって、前者は液状化の検討を行う必要性があり、後者はその必要性があまりないと判断される。ただし、この付録は例示が目的のため、以降では後者も検討を進めてみる。

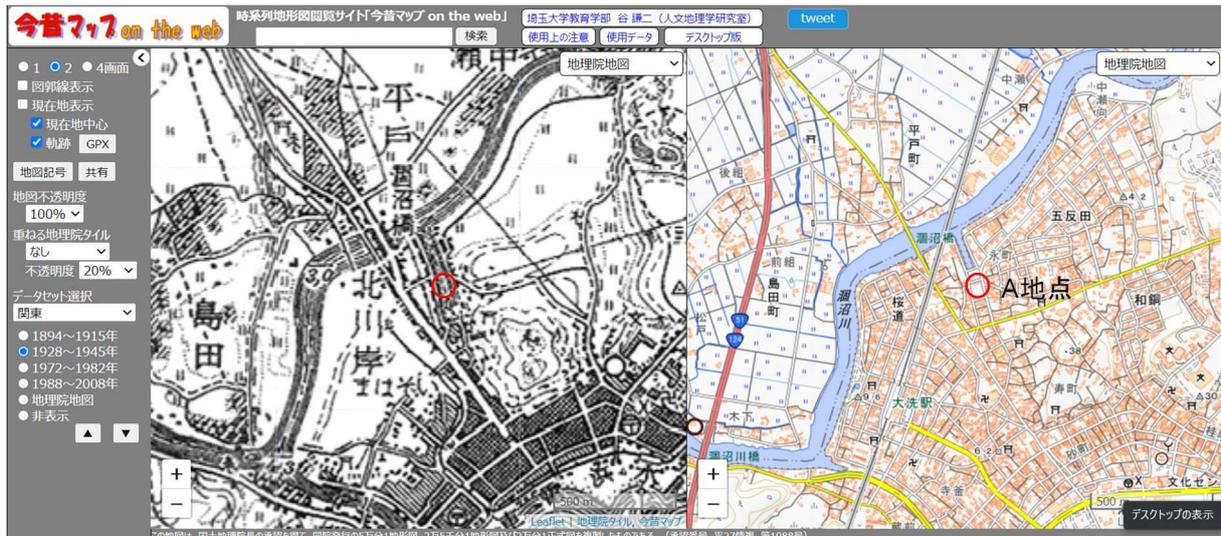
## 3. 人工地形と液状化履歴の調査

### 3.1 人工地形の調査

付図 3、4 の微地形分類図に見られるように、A 地点は人工改変地の可能性がある。そこで、今昔マップ<sup>5)</sup>を利用して旧地形を古い順から見てみると、付図 7~10 のようになる。付図 7 では台地縁辺の旧河道跡のように見られ、付図 8 ではそこが掘り込まれたように見られる。付図 9、10 でもそこに家が建てられていなく、近年まで掘のようになっていたのであろう。現在の地形図では陸地になっているため、その間に埋め立てられたのではないかと推察された。



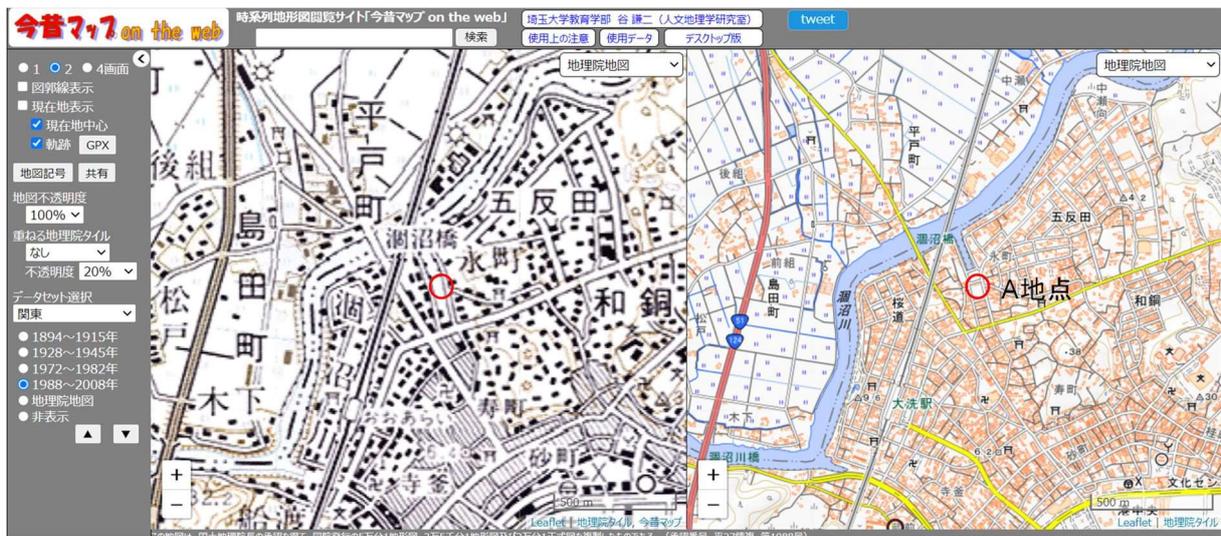
付図 7 今昔マップ<sup>5)</sup>で見られる A 地点の旧地形図（1894~1915 年）



付図8 今昔マップ<sup>5)</sup>で見られるA地点の旧地形図(1928~1945年)

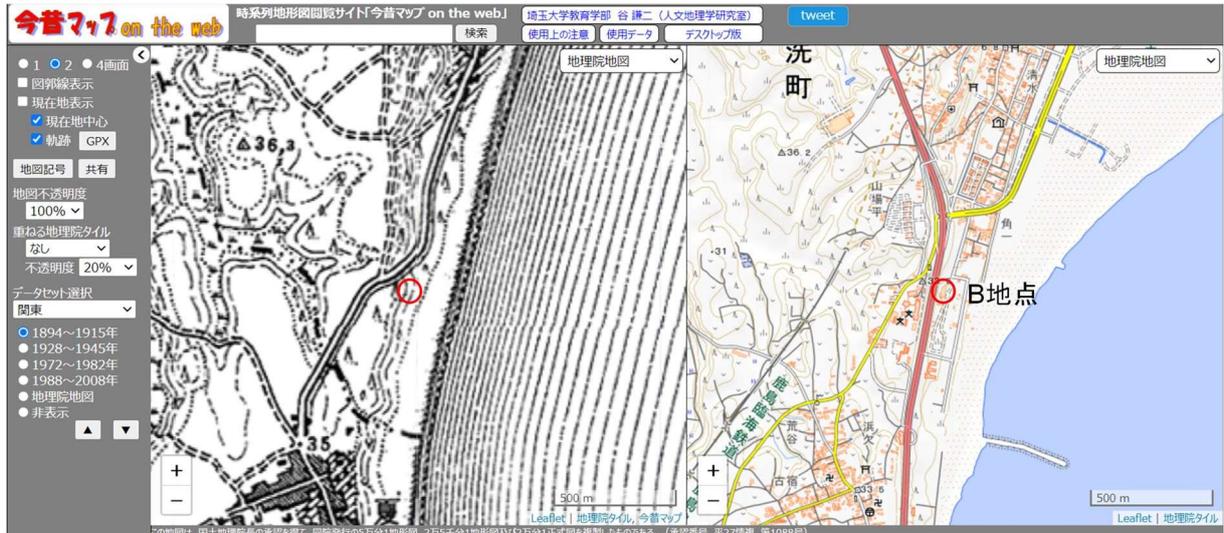


付図9 今昔マップ<sup>5)</sup>で見られるA地点の旧地形図(1972~1982年)



付図10 今昔マップ<sup>5)</sup>で見られるA地点の旧地形図(1988~2008年)

一方、B地点での旧地形図を順に並べたのが付図11~14である。明治の当初から現在までほとんど変わってなく、自然の砂丘のままであることが見てとれた。



付図11 今昔マップ<sup>5)</sup>で見られるB地点の旧地形図(1894~1915年)



付図12 今昔マップ<sup>5)</sup>で見られるB地点の旧地形図(1928~1945年)



付図13 今昔マップ<sup>5)</sup>で見られるB地点の旧地形図(1972~1982年)



付図 14 今昔マップ<sup>5)</sup>で見られる B 地点の旧地形図 (1898~2008 年)

### 3.2 液状化履歴の調査

2011 年に発生した東日本大震災では茨城県など広い範囲で液状化が発生した。液状化地点に関し調査された 2 つの資料が、「茨城県地震被害想定について<sup>2)</sup>」にも示されている。付図 15 は地震発生から 4 か月後に国土交通省と地盤工学会で整理した液状化発生地点であり、A 地点で液状化したことが示されている。付図 16 には若松らが多くの情報をもとに 2014 年に集大成した液状化地点図である。B 地点には何も印がなく、B 地点では液状化しなかったとみてとれた。



図 II-2.1-10 2011 年東北地方太平洋沖地震の液状化発生地点 (大洗~水戸~日立)  
国土交通省関東地方整備局、地盤工学会(2011)

付図 15 東日本大震災の 4 か月後に国土交通省と地盤工学会で整理した液状化発生地点<sup>2)</sup>

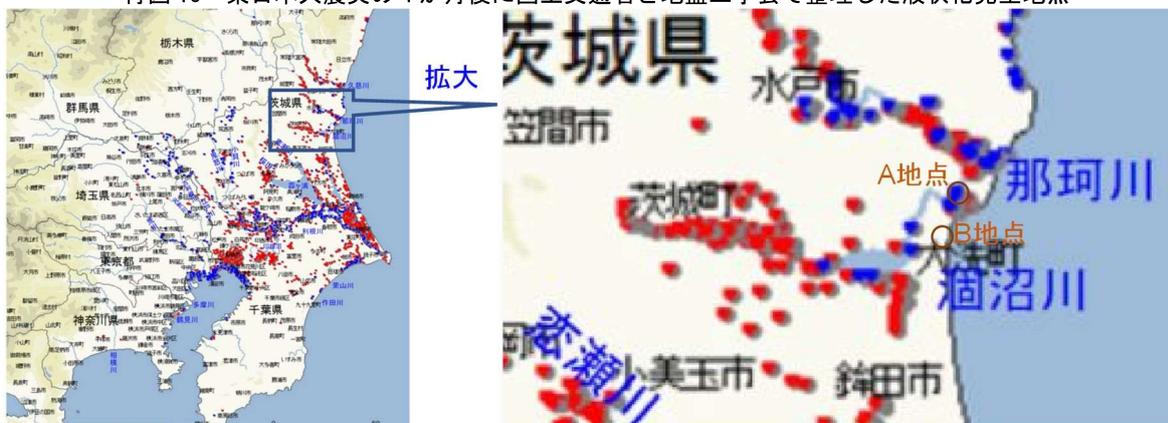


図 II-2.1-12 東北地方太平洋沖地震により関東地方で液状化が確認された地点の分布 (マンホール・管渠の湧き上がり、建物の液状化のみは含まず。2014.9.10 現在)  
若松・先名(2015)

付図 16 2014 年に若松ら<sup>6)</sup>がまとめた液状化発生地点<sup>2)</sup>

### 3.3 人工地形や液状化履歴調査から考察されること

以上のデータから A 地点はかつての堀を埋めた所で、東日本大震災で液状化した履歴もあり、将来の地震でも液状化し易い場所ではないかと考察される。また、B 地点は自然の砂丘で東日本大震災の際に液状化していなく、将来の地震でも液状化し難いのではないかと考察された。

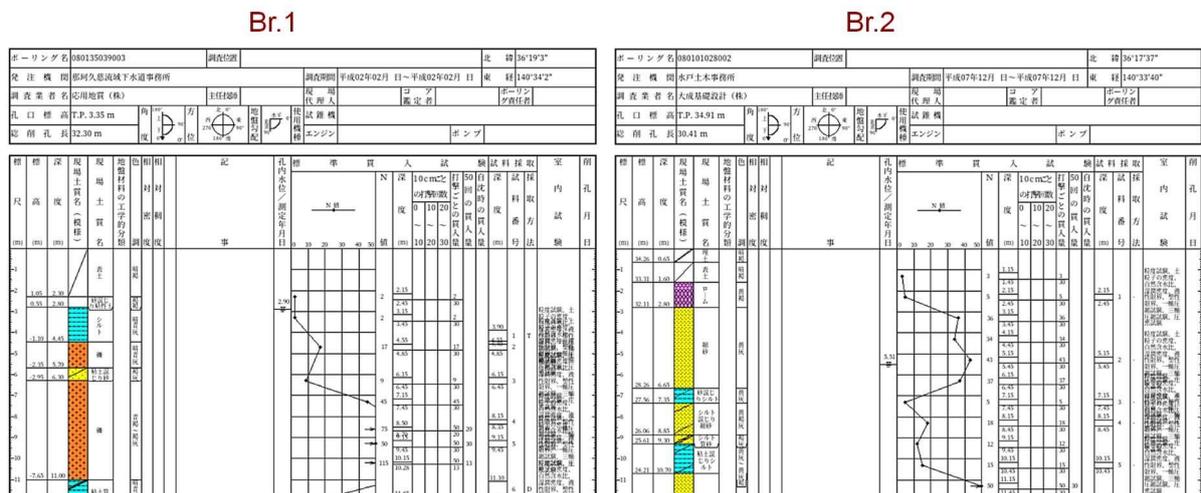
## 4. 近隣の土層断面図や既往ボーリングデータの収集

### 4.1 既往ボーリングデータの収集

既往ボーリングデータの収集として、国土地盤情報センターからの検索を行ってみると、付図 17 の地図がでてくる。A 地点、B 地点とも近傍には閲覧できるボーリングデータはないが、付近のデータとして Br.1、Br.2 を指定し、ボーリング柱状図を表示してみると付図 18 となる。Br.1 では表土の下に粘性土層、礫層があって、その下に大きい砂層が堆積している。地下水位は GL-2.9m である。一方、Br.2 は表土、ローム層の下部に N 値が大きい砂層が堆積している。地下水位は GL-5.5m である。



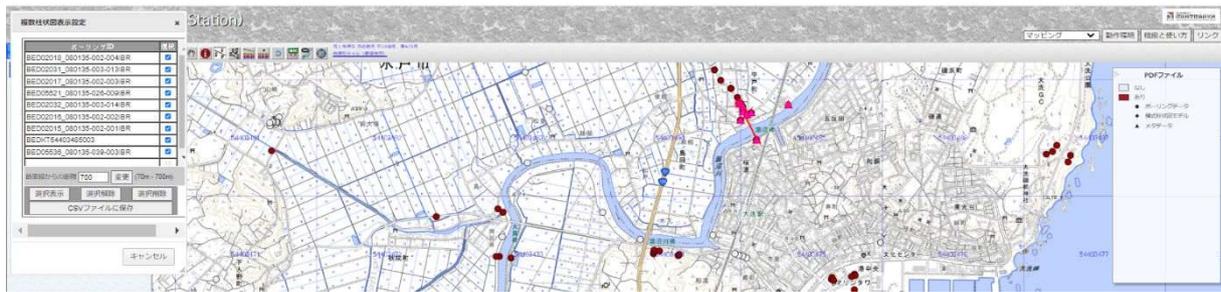
付図 17 国土地盤情報センターからの検索<sup>7)</sup>



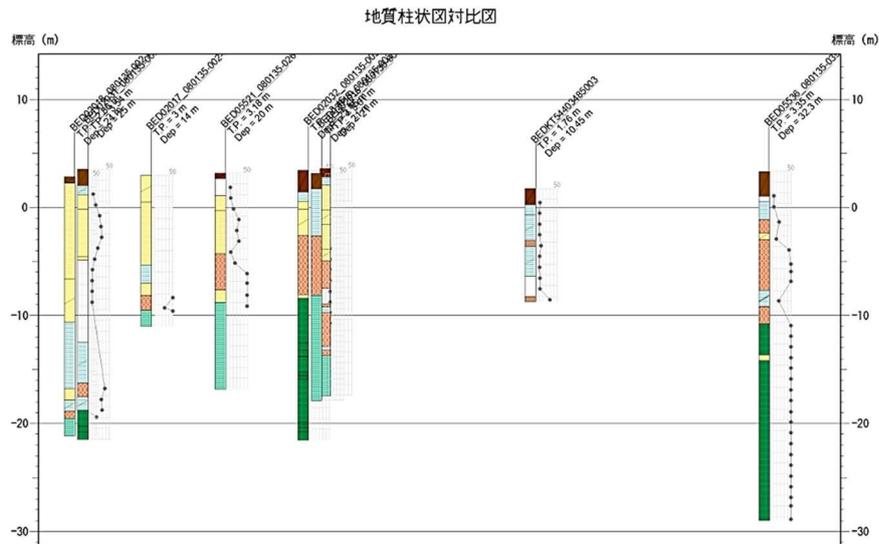
付図 18 A, B 地点の付近の既往ボーリング柱状図

### 4.2 土層断面の推定

次に防災科学技術研究所のジオ・ステーション<sup>8)</sup>で既往ボーリング位置を見てみたのが、付図 19、21 である。A 地点、B 地点付近の既往ボーリングは付図 17 と同様のデータであるが、こちらのサイトでは複数のボーリングデータを並べて表示できるので、図中ピンクの線で示したボーリングデータを並べて示したのが、それぞれ付図 20、22 である。付図 20 の右端のボーリングが付図 18 の Br.1 に該当するが、この土質柱状図と左側の数本のボーリングデータでは土層構成は



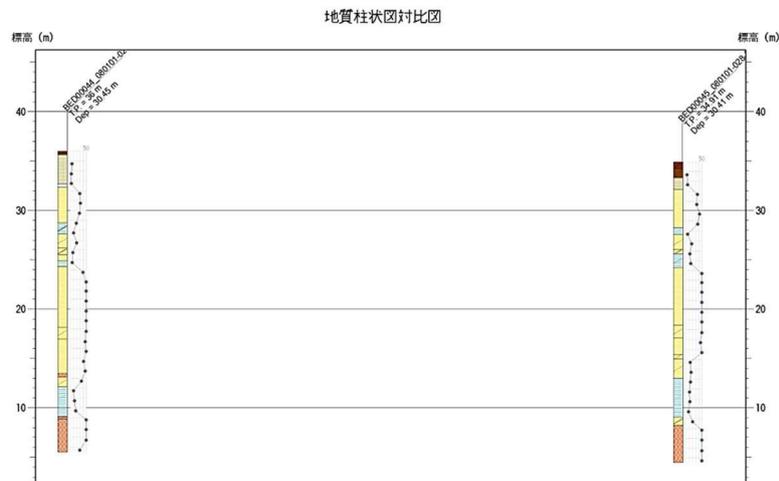
付図 19 ジオ・ステーション<sup>8)</sup>での既往ボーリング位置 (A 地点付近)



付図 20 Br. 1 を通る測線上の複数のボーリング柱状図



付図 21 ジオ・ステーション<sup>8)</sup>での既往ボーリング位置 (B 地点付近)



付図 22 Br. 1 を通る測線上の複数のボーリング柱状図

明らかに異なっている。これはこの間に潤沼川が流れており、南側と北側とが地形が異なるからと考えられる。付図 23 には地形図に Br.1 と A 地点の位置を示す。それぞれ、氾濫平野と旧水路に分類されているが、両者とも台地際である。したがって、Br.1 の GL-7m 付近以深の N 値が大きい締まった砂層は台地を構成している砂層であり、A 地点にもこの程度の深さからは締まった砂層が堆積しているのではないかと推察された。

一方、付図 23 を見ると Br.2 のボーリング柱状図 と左のそれとはほぼ同じ土層構成となっている。これらは砂丘から続く台地の際であり、B 地点とも同様の土層構成から成っているのではないかと推察された。そうであれば、B 地点では GL-3~4m 以深は締まった砂層となっているのではないかと推察された。



付図 23 地形分類図<sup>1)</sup>

#### 4.2 2 地点における簡易地盤調査の調査深度の設定

以上までの考察をもとに 2 地点の調査深度は以下のように設定すると良いと考えられる。

##### <A 地点>

液状化対象層：表層の埋立土と、その下部に薄くある可能性のある原地盤土

調査深度：数 m の深さから出てくる締まった砂の層の上面（それより深い層は液状化しないと判断する）

地下水位の深さ：標高が 2.5m なので、GL-1~-2m 程度ではないかと推測される。

##### <B 地点>

液状化対象層：ほとんど無いか、あるいは表層に薄くある層

調査深度：GL-3~4m 程度の深さから出てくる締まった砂の層の上面（それより深い層は液状化しないと判断する）

地下水位の深さ：締まった砂層の上面より深いのではないかと推測される。

## 5. 簡易地盤調査の実施

### 5.1 SWS 試験と SDS 試験の実施

1章で示した2地点でSWS試験とSDS試験による簡易地盤調査を行った。SWS試験は日本産業規格（JIS A 1221）、SDS試験は建築技術審査証明（BL審査証明-11）<sup>9)</sup>にある方法に準じた。



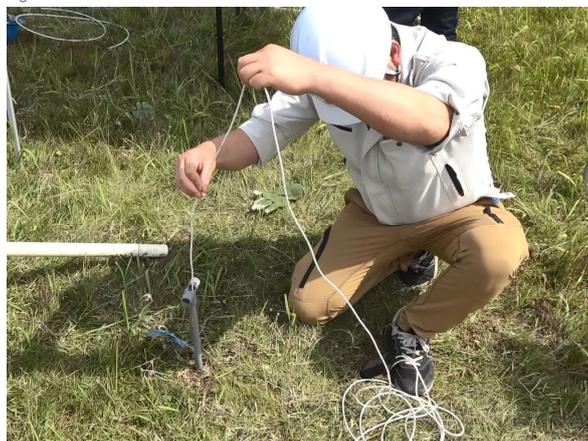
付写真1 測定状況

### 5.2 SWS 試験と SDS 試験の調査結果から $N$ 値への換算

SWS試験やSWS試験の結果から $N$ 値を換算する。SWS試験は、稲田<sup>10)</sup>の換算式より算出した。SDS試験は、推定 $N$ 値が自動算出される。

### 5.3 地下水位測定

地下水位は、試験孔に通電感知式水位計を挿入する方法で測定した。試験孔が閉塞している場合は測定不可能になるため、SWS試験孔に中空有孔塩ビ管または中空有孔鋼管を挿入し、管内の地下水位を測定する。なお、有孔管を挿入して測定する場合は、地下水位が安定してから測定するため、測定誤差が少ない。



付写真2 水位測定状況

### 5.4 土の試料採取と粒度試験

SWS試験やSDS試験の試験孔に、開閉式サンプラーを用いて、液状化判定対象深度の土を採取した。開閉式サンプラーは、サンプラーの回転蓋を閉じた状態で任意の深度まで挿入し、ロッドを回転させることで蓋が開き、更に回転させることで周囲の地盤を掻き取り試料を採取する。逆回転により蓋を閉じてから引き抜く。

試料採取は液状化を検討する層において、1m毎に実施した。



付写真3 サンプルング状況

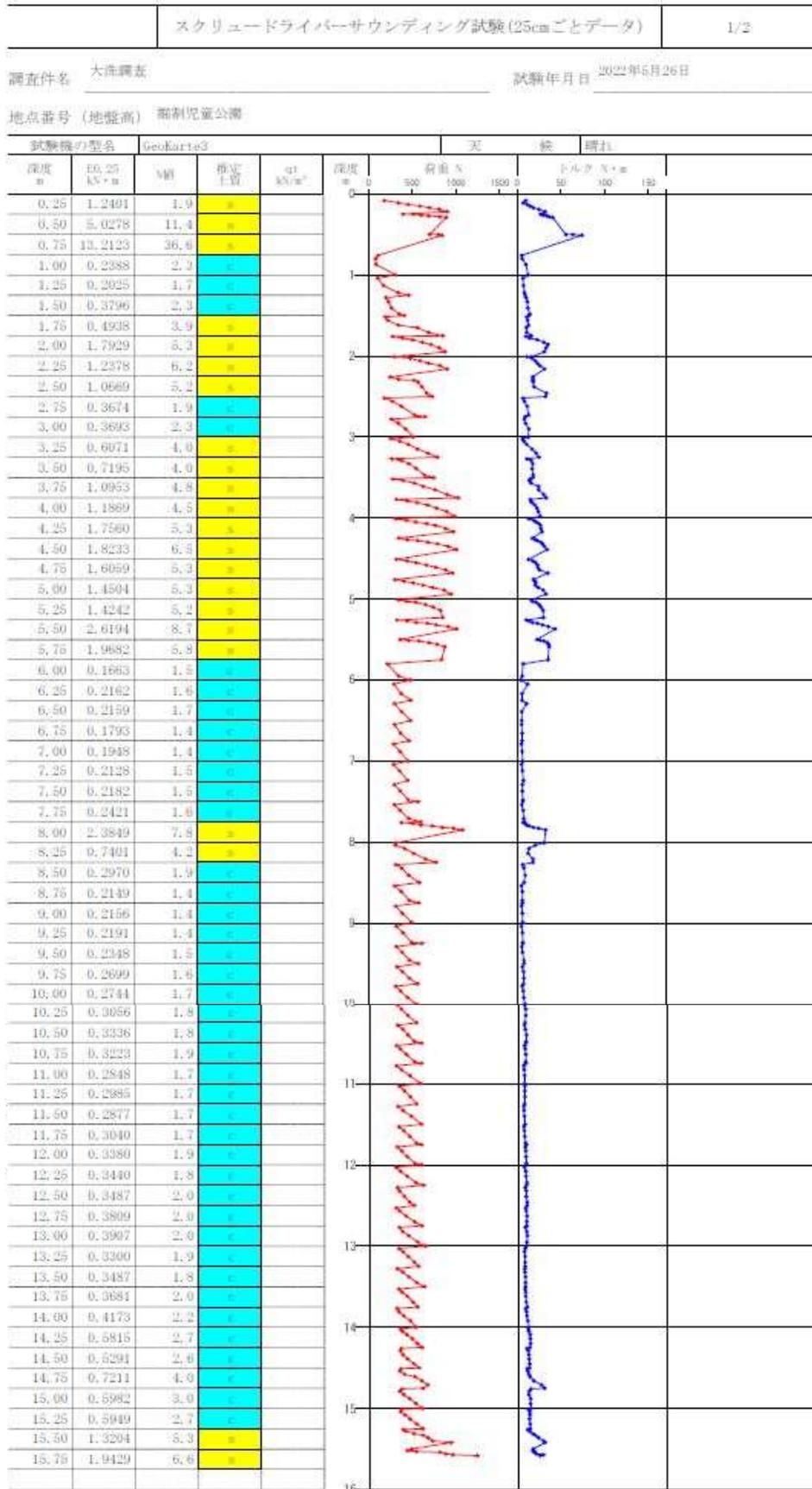
採取した資料は、ふるい分け試験で粒度特性を調べた。

付表1 細粒分含有率試験結果一覧表

試料採取深度	A地点						B地点	
	1.0m	3.0m	4.0m	5.0m	6.0m	7.0m	1.5m	3.5m
細粒分含有率%	43.2	27.4	14.0	15.3	19.8	83.7	13.2	12.4



②SDS 試験結果



付図 25 SDS 試験結果

B地点（地下水位なし）

① SWS 試験結果

ジオカルテ サウンディング試験結果 [25cmまるめ]										P 3										
試験コード 000-000-000-0000							最終貫入深さ 9.47m													
2022年 5月27日 09:31~10:39							測点番号 2													
貫入深さ D [m]	荷重 Wsw (kN)	荷重 Wsw (kgf)	半回転数 Na	1mあたり 半回転数 Nsw	土質	換算N値	観察	荷重			1mあたりの半回転数(Nsw)									
								0.00 0	0.50 50	1.00(kN) 100(kgf)	0	100	200							
0.25	1.00	100	9	36	粘性土	4.8														
0.50	1.00	100	10	40	粘性土	5.0														
0.75	1.00	100	15	60	粘性土	6.0														
1.00	1.00	100	9	36	粘性土	4.8														
1.25	1.00	100	2	8	粘性土	3.4														
1.50	1.00	100	1	4	粘性土	3.2														
1.75	1.00	100	3	12	粘性土	3.6														
2.00	1.00	100	10	40	粘性土	5.0														
2.25	1.00	100	44	176	粘性土	11.8														
2.50	1.00	100	39	156	粘性土	10.8														
2.75	1.00	100	55	220	粘性土	14.0														
3.00	1.00	100	61	244	粘性土	15.2														
3.25	1.00	100	71	284	粘性土	17.2														
3.50	1.00	100	44	176	粘性土	11.8														
3.75	1.00	100	39	156	粘性土	10.8														
4.00	1.00	100	34	136	粘性土	9.8														
4.25	1.00	100	75	300	粘性土	18.0														
4.50	1.00	100	110	440	粘性土	25.0														
4.75	1.00	100	50	200	粘性土	13.0														
5.00	1.00	100	35	140	粘性土	10.0														
5.25	1.00	100	67	268	粘性土	16.4														
5.50	1.00	100	79	316	粘性土	18.8														
5.75	1.00	100	144	576	粘性土	31.8														
6.00	1.00	100	104	416	粘性土	23.8														
6.25	1.00	100	89	356	粘性土	20.8														
6.50	1.00	100	85	340	粘性土	20.0														
6.75	1.00	100	51	204	粘性土	13.2														
7.00	1.00	100	57	228	粘性土	14.4														
7.25	1.00	100	87	348	粘性土	20.4														
7.50	1.00	100	152	608	粘性土	33.4														
7.75	1.00	100	89	356	粘性土	20.8														
8.00	1.00	100	100	400	粘性土	23.0														
8.25	1.00	100	136	544	粘性土	30.2														
8.50	1.00	100	121	484	粘性土	27.2														
8.75	1.00	100	123	492	粘性土	27.6														
9.00	1.00	100	115	460	粘性土	26.0														
9.25	1.00	100	113	452	粘性土	25.6														
9.47	1.00	100	130	590	粘性土	32.5	打撃 03 回													

付図 26 SWS 試験結果シート



## 6. 簡易地盤調査結果を用いた液状化の判定

前章の簡易地盤調査結果を用いて液状化判定を行った。液状化判定は、最新の「建築基礎構造設計指針」及び「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」に準拠し算定する。ここでは無料で利用可能な「液状化判定プログラムCKC-Liq(中央開発製)」を用いた。

### 6.1 地層データ、地盤データの入力

液状化判定には、簡易地盤調査から得られる下記の地盤情報が必要となる。

- ・地層構成
- ・地下水位
- ・ $N$ 値 ( $N_{sw}$ 値)
- ・粒径特性 ( $D_{50}$ 、 $D_{10}$ )
- ・細粒分含有率 ( $F_c$ )
- ・塑性指数 ( $I_p$ )
- ・土の単位体積重量

「液状化判定プログラムCKC-Liq」に地層構成、土の単位体積重量、地下水位、 $N$ 値 ( $N_{sw}$ 値)、粒径特性 ( $D_{50}$ 、 $D_{10}$ )、細粒分含有率 ( $F_c$ )、塑性指数 ( $I_p$ ) を入力した。

### 6.2 地震動の設定

建築基礎構造設計指針で計算する場合は、「地震のマグニチュード ( $M$ )」「地表面最大加速度  $\alpha_{max}$  (gal)」について「7.5」と「200」とした。

道路橋示方書で計算する場合は、「設計水平震度 (LEVEL1)  $K_{hg}$ 」について、「0.2」とした。

### 6.3 液状化判定結果

#### 6.3.1 SWSによる液状化判定結果

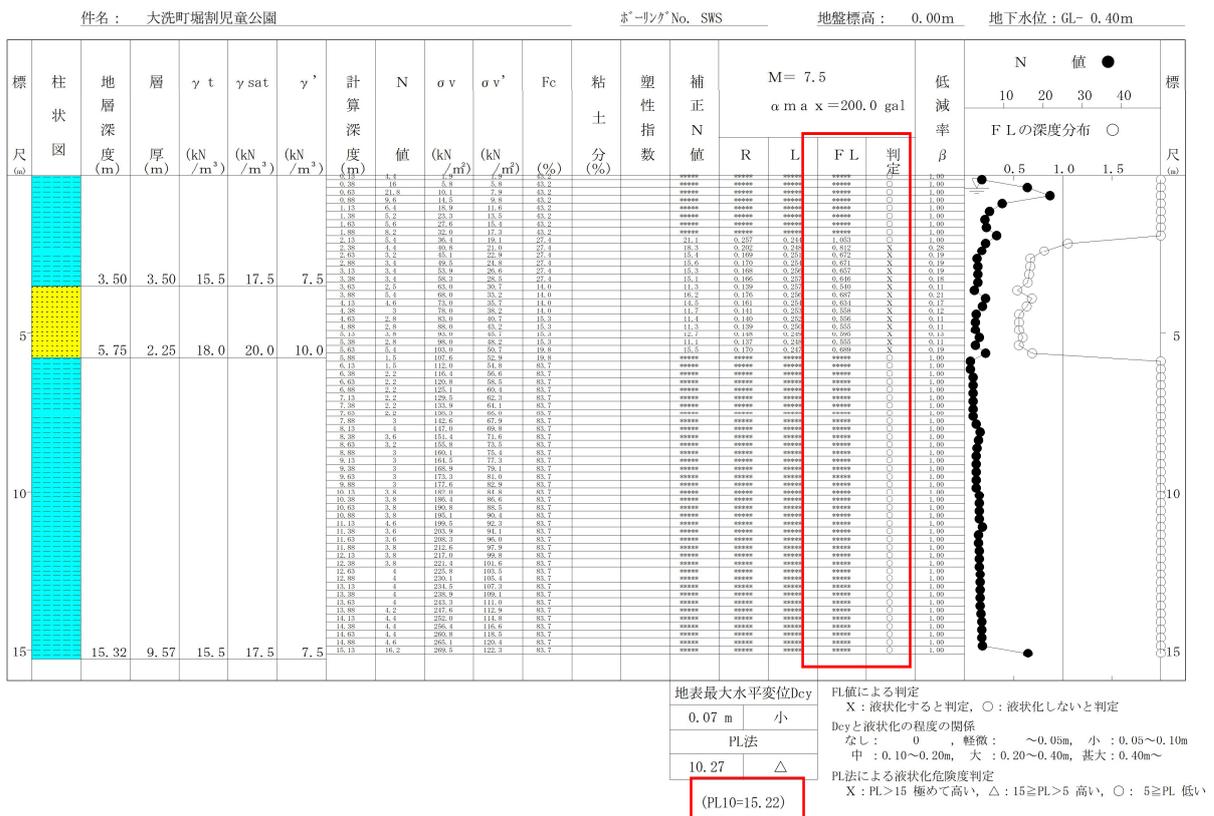
<A地点>

液状化判定の結果、建築基礎構造設計指針と道路橋示方書・同解説ともに「液状化危険度が極めて高い」と判定された。

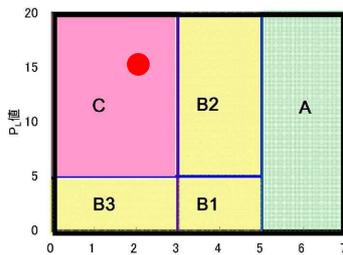
##### (1) 建築基礎構造設計指針

液状化指標値 ( $P_{L10}$ ) 値は、その地点の液状化危険度を示すものであり、液状化判定結果では、 $P_{L10}$ 値=15.22となっており、「液状化危険度が極めて高い」と判定された。  
非液状化層厚 ( $H_1$ ) は、2.13mである。

液状化簡易判定結果 (建築基礎構造設計指針 (2019年))



付図28 液状化判定結果



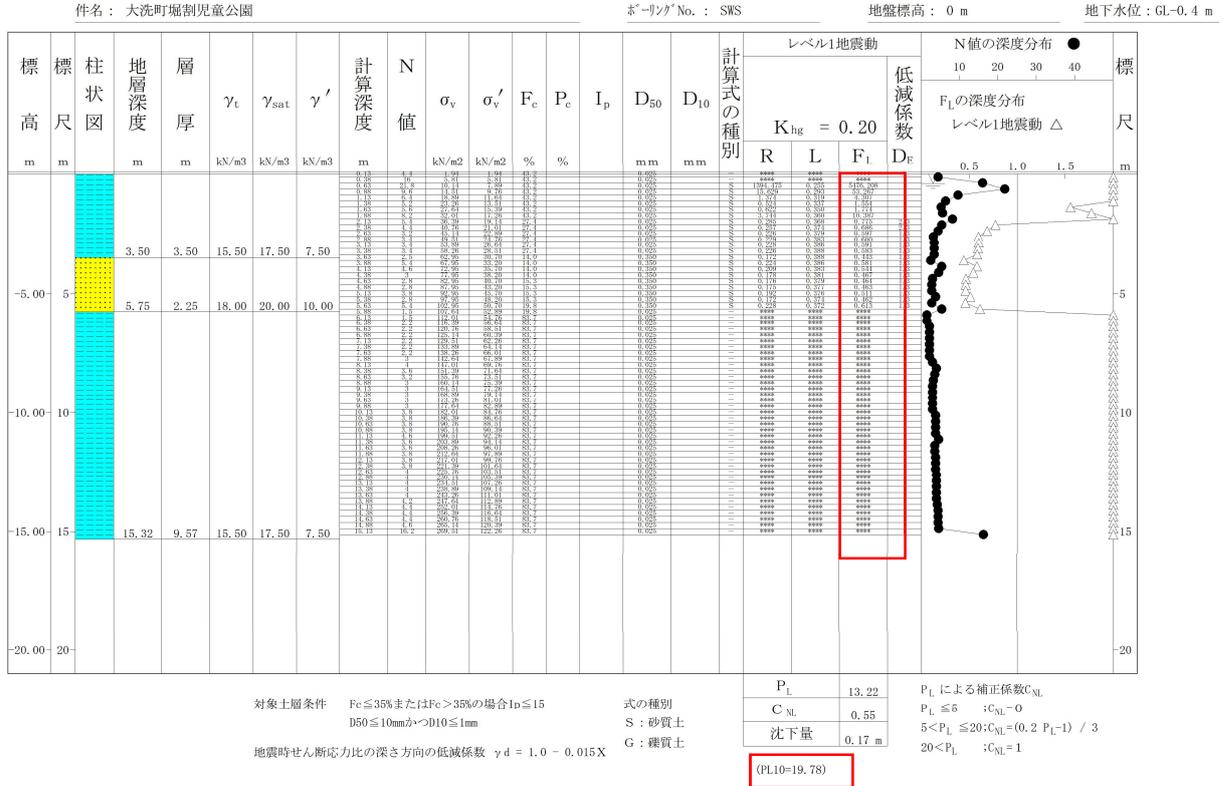
付図29  $H_1$ - $P_L$ 判定図

判定結果	$H_1$ の範囲	$P_L$ の範囲	液状化被害の可能性
C	3m 以下	5 以上	顕著な被害の可能性が高い
B3		5 未満	
B2	3m を超え	5 以上	顕著な被害の可能性が比較的低い
B1		5 未満	
A	5m を超える	—	顕著な被害の可能性が低い

(2) 道路橋示方書・同解説

液状化指標値 ( $P_{L10}$ ) 値は、その地点の液状化危険度を示すものであり、液状化判定結果では、 $P_{L10}$ 値=19.78となっており、「液状化危険度が極めて高い」と判定された。  
非液状化層厚 ( $H_1$ ) は、1.87mである。

道路橋示方書 V 耐震設計編に基づく液状化判定結果(平成29年基準 LEVEL1)



付図30 液状化判定結果



付図31  $H_1$ - $P_L$ 判定図

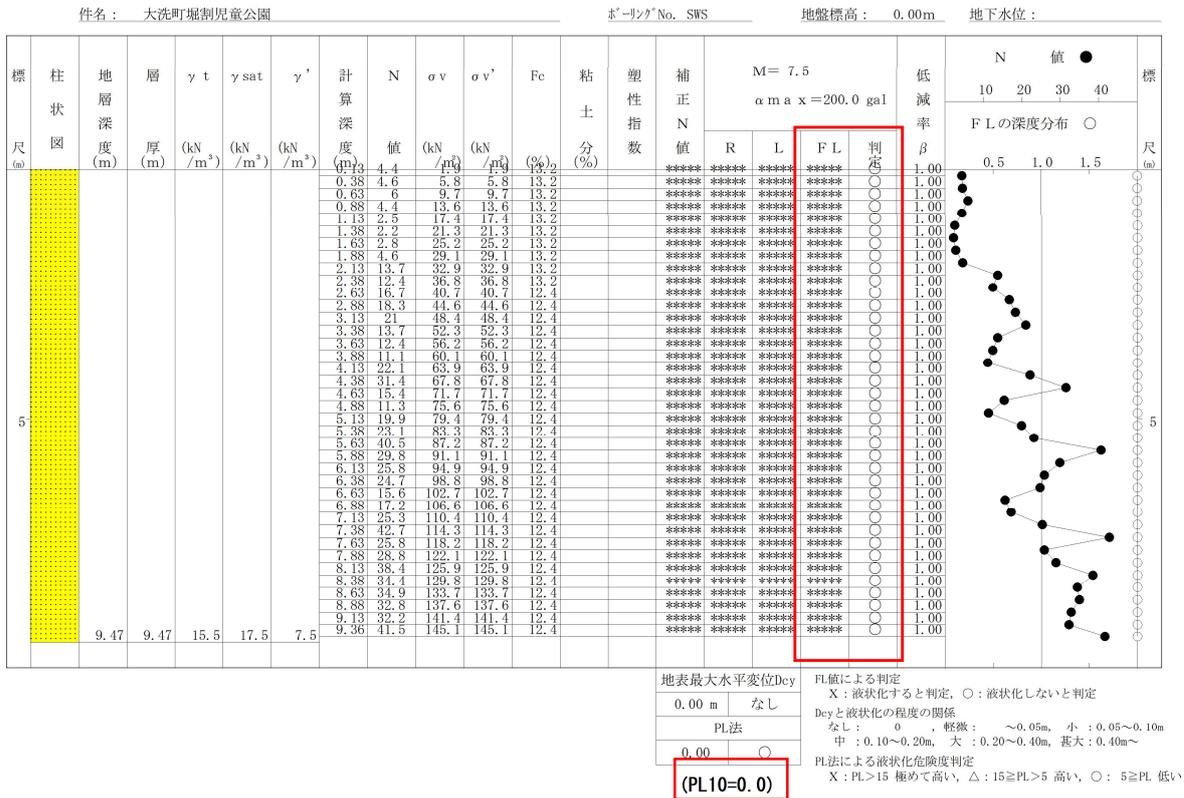
<B 地点>

液状化判定の結果、建築基礎構造設計指針と道路橋示方書・同解説ともに「液状化危険度が低い」と判定された。

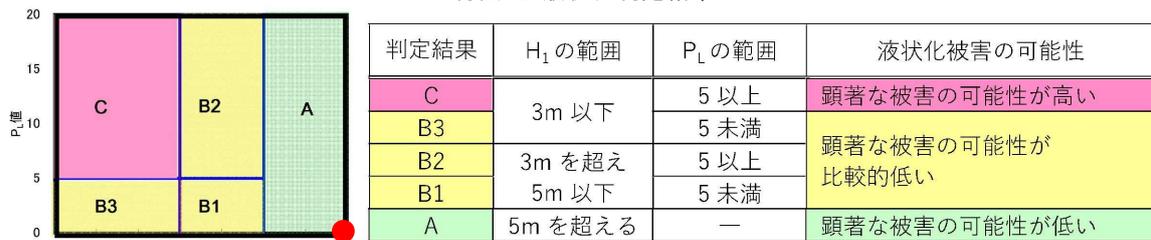
(1)建築基礎構造設計指針

液状化指標値 ( $P_{L10}$ ) 値は、その地点の液状化危険度を示すものであり、液状化判定結果では、 $P_{L10}$ 値=0.0となっており、「液状化危険度が低い」と判定された。

液状化簡易判定結果 (建築基礎構造設計指針 (2019年))



付図32 液状化判定結果

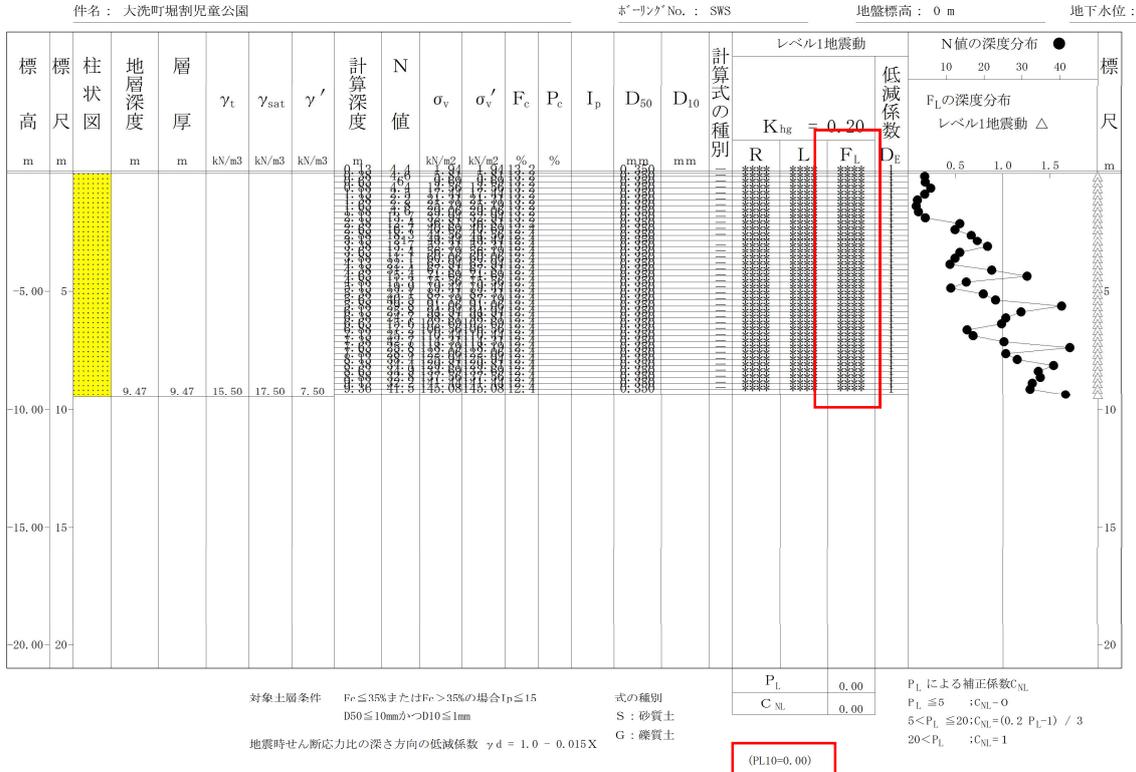


付図33 H<sub>1</sub>-P<sub>L</sub>判定図

(2)道路橋示方書・同解説

液状化指標値 ( $P_{L10}$ ) 値は、その地点の液状化危険度を示すものであり、液状化判定結果では、 $P_{L10}$ 値=0.0となっており、「液状化危険度が低い」と判定された。

道路橋示方書 V耐震設計編に基づく液状化判定結果(平成29年基準 LEVEL1)



付図34 液状化判定結果



付図35  $H_1$ - $P_L$ 判定図

### 6.3.2 SDSによる液状化判定結果

<A地点>

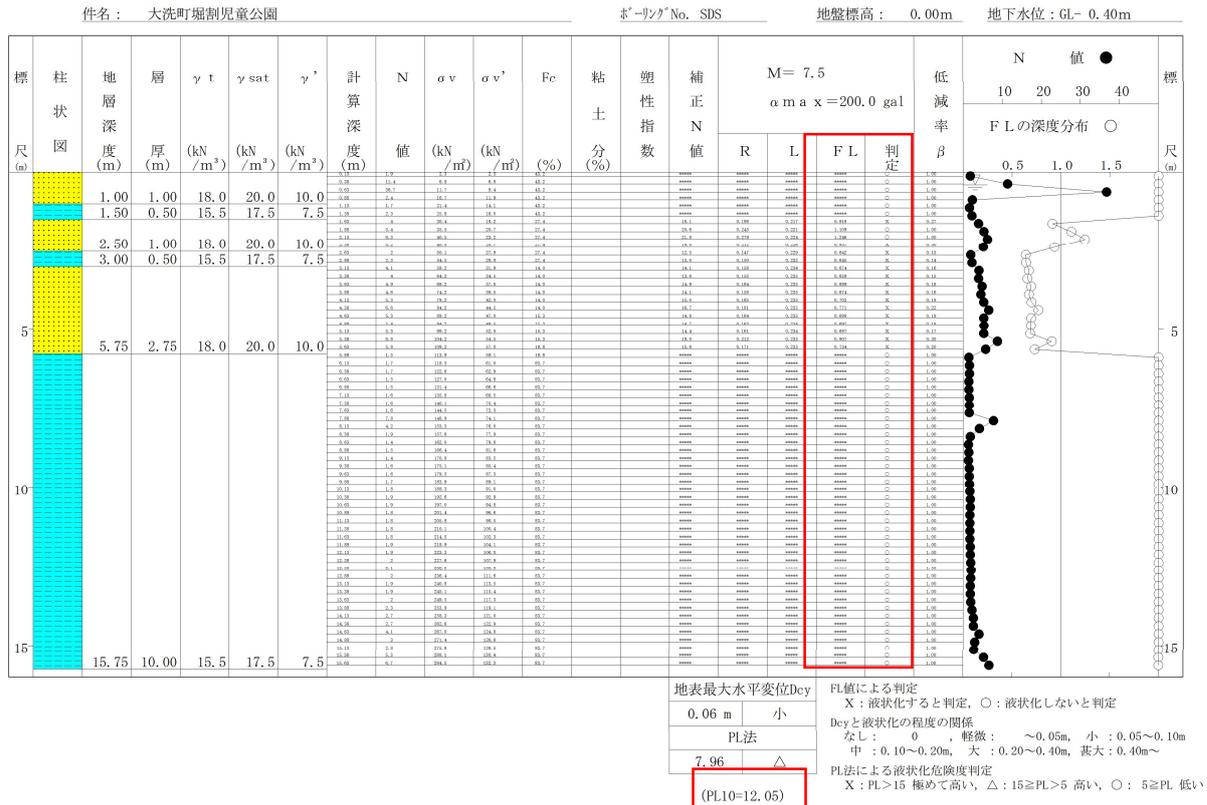
液状化判定の結果、建築基礎構造設計指針と道路橋示方書・同解説ともに「液状化危険度が極めて高い」と判定された。

#### (1) 建築基礎構造設計指針

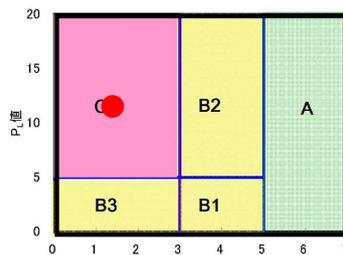
液状化指標値 ( $P_{L10}$ ) 値は、その地点の液状化危険度を示すものであり、液状化判定結果では、 $P_{L10}$ 値=12.05となっており、「液状化危険度が高い」と判定された。

非液状化層厚 ( $H_1$ ) は、1.38mである。

液状化簡易判定結果 (建築基礎構造設計指針 (2019年))



付図36 液状化判定結果



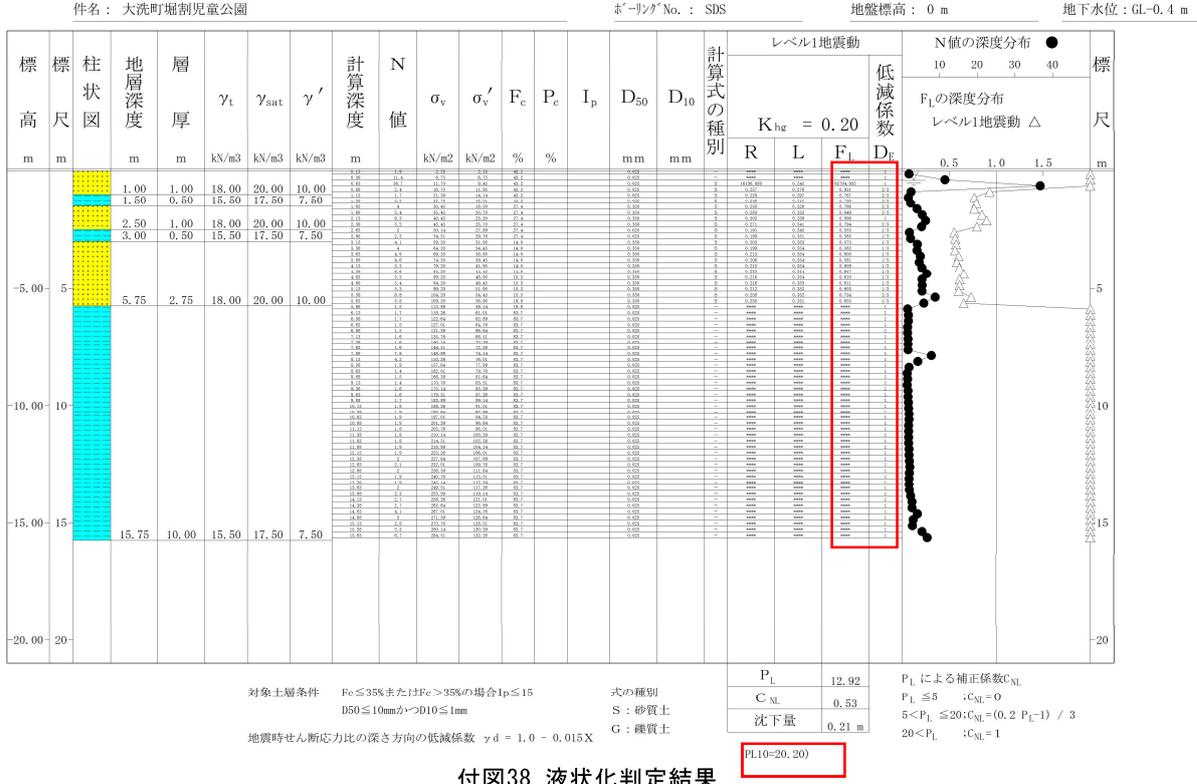
付図37  $H_1$ - $P_L$ 判定図

判定結果	$H_1$ の範囲	$P_L$ の範囲	液状化被害の可能性
C	3m 以下	5 以上	顕著な被害の可能性が高い
B3		5 未満	
B2	3m を超え	5 以上	顕著な被害の可能性が比較的低い
B1	5m 以下	5 未満	
A	5m を超える	—	顕著な被害の可能性が低い

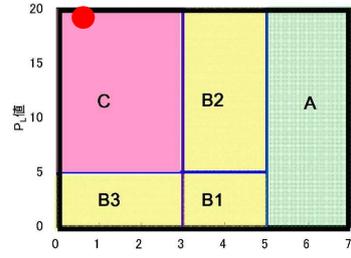
(2) 道路橋示方書・同解説

液状化指標値 ( $P_{L10}$ ) 値は、その地点の液状化危険度を示すものであり、液状化判定結果では、 $P_{L10}$ 値=20.20となっており、「液状化危険度が極めて高い」と判定された。  
非液状化層厚 ( $H_1$ ) は、0.625mである。

道路橋示方書 V耐震設計編に基づく液状化判定結果(平成29年基準 LEVEL1)



付図38 液状化判定結果



判定結果	H <sub>1</sub> の範囲	P <sub>L</sub> の範囲	液状化被害の可能性
C	3m 以下	5 以上	顕著な被害の可能性が高い
B3		5 未満	
B2	3m を超え	5 以上	顕著な被害の可能性が比較的低い
B1		5 未満	
A	5m を超える	—	顕著な被害の可能性が低い

付図39 H<sub>1</sub>-P<sub>L</sub>判定図

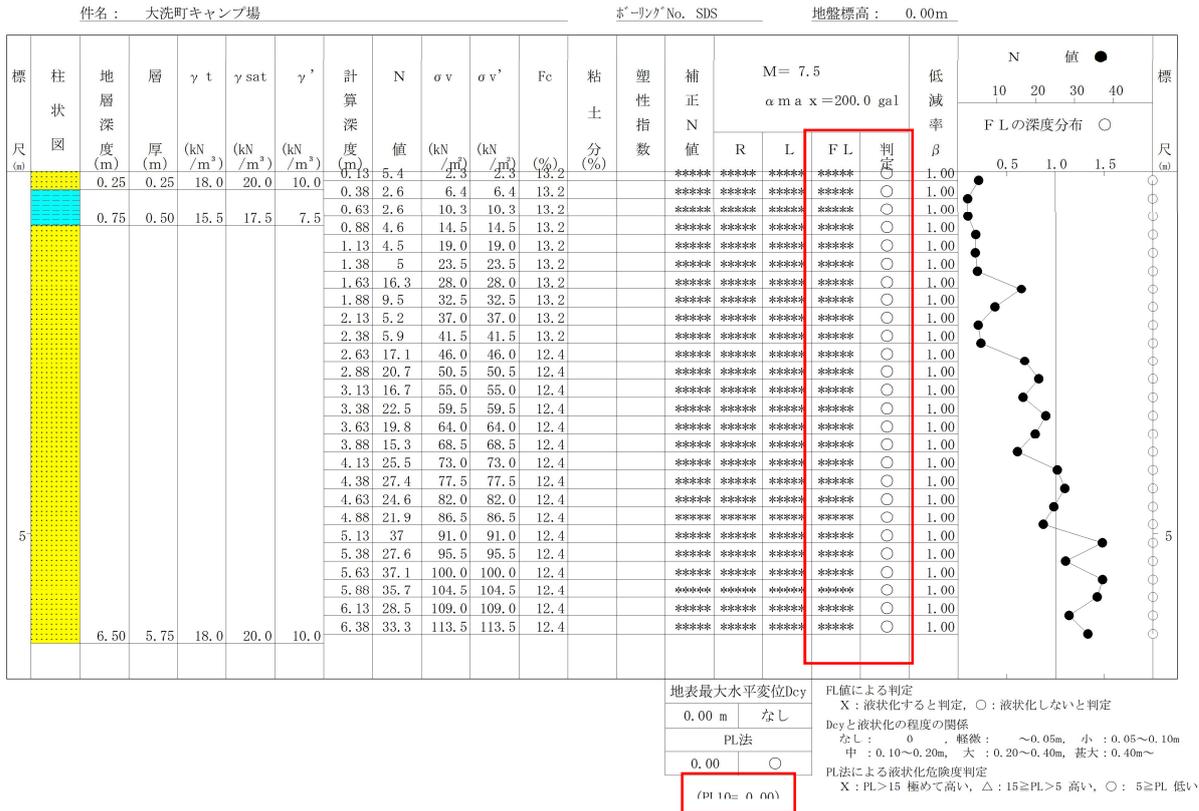
<B地点>

液状化判定の結果、建築基礎構造設計指針と道路橋示方書・同解説ともに「液状化危険度が低い」と判定された。

(1)建築基礎構造設計指針

液状化指標値 ( $P_{L10}$ ) 値は、その地点の液状化危険度を示すものであり、液状化判定結果では、 $P_{L10}$ 値=0.0となっており、「液状化危険度が低い」と判定された。

液状化簡易判定結果 (建築基礎構造設計指針 (2019年))



付図40 液状化判定結果

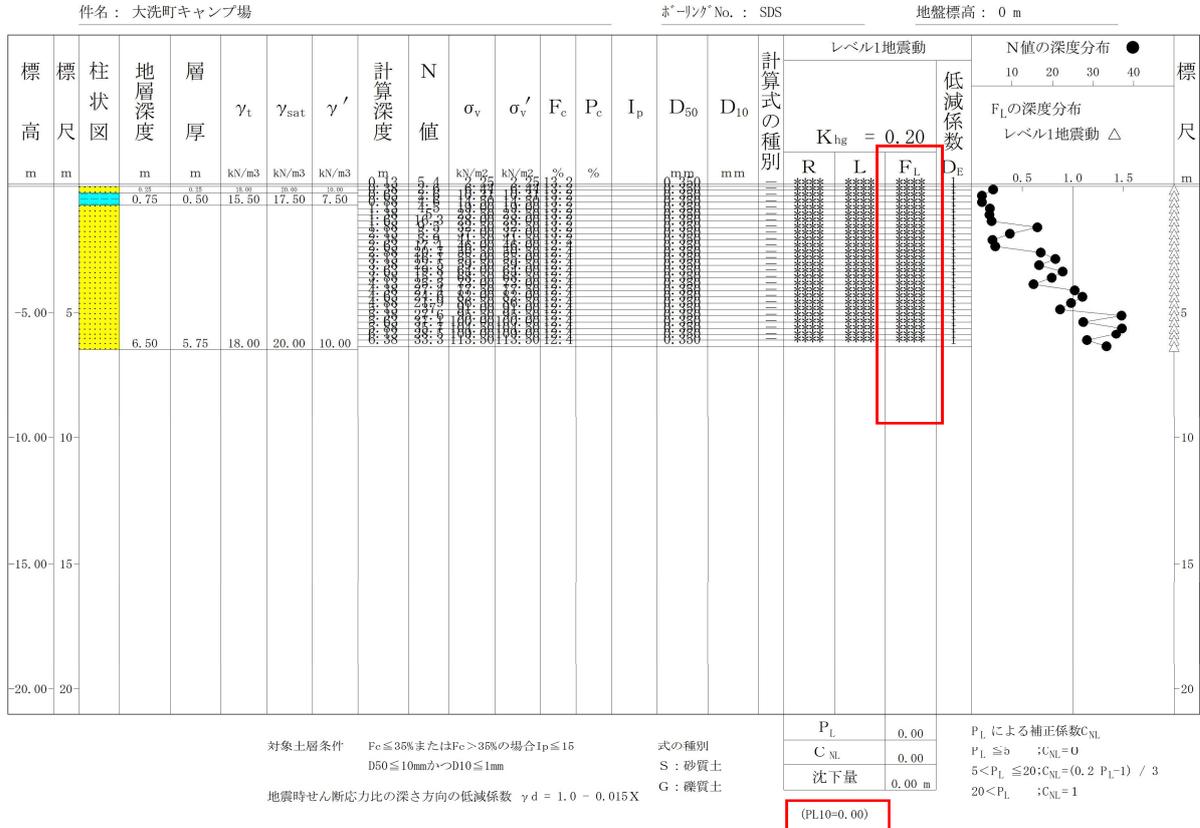


付図41 H<sub>1</sub>-P<sub>L</sub>判定図

(2)道路橋示方書・同解説

液状化指標値 ( $P_{L10}$ ) 値は、その地点の液状化危険度を示すものであり、液状化判定結果では、 $P_{L10}$ 値=0.0となっており、「液状化危険度が低い」と判定された。

道路橋示方書 V耐震設計編に基づく液状化判定結果(平成29年基準 LEVEL1)



付図42 液状化判定結果



付図43  $H_1$ - $P_L$ 判定図

## 7. 戸建て住宅のめり込み沈下、傾斜角の推定

前章の液状化判定結果（道路橋示方書・同解説）と建物の荷重などを用いて、液状化による戸建て住宅のめり込み沈下量および傾斜角を推定した。

建て住宅のめり込み沈下量を求める方法は、「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」<sup>3)</sup>の詳細資料編に示された方法を用いる。この方法は、地盤を弾性体と仮定した場合に建物が地上に載った場合の沈下量を推定する近似解を、スタインブレナーが提案している方法を用いている。そして、液状化によるヤング率の低下割合として、ALID<sup>11)</sup>で採用されている液状化に対する安全率とせん断剛性比の関係をj用いる。また、めり込み沈下量から、住宅の密集度に応じて建物の傾斜角  $\theta$  を求める。

ここでは、めり込み沈下量と傾斜角の計算はExcelファイル(復建調査設計株式会社 作成)を用いた。

### 7.1 建物荷重等の設定

- ・建物の平面図と建築面積A (m<sup>2</sup>)：正方形でA=64 m<sup>2</sup> (長辺長さL=8 m、短辺長さB=8 m)
- ・基礎に作用する荷重密度q (kN/m<sup>2</sup>)：10 kN/m<sup>2</sup>

### 7.2 地盤等の設定

液状化判定結果の  $F_L$  の深度分布に応じて複数の層に区分を行った。「スタインブレナーの近似解」では、載荷幅に対して層厚が極端に薄いと解の精度が低下するため、弾性沈下量算定用の地層を設定する際は、地層分割を細かくし過ぎないように注意する。

- ・せん断剛性の低下割合の限界値  $G_i / G_0$ ：1/30
- ・静止土圧係数  $K_0$ ：0.5
- ・地盤のポアソン比：砂質土0.33、粘性土0.5
- ・液状化後のポアソン比：0.5

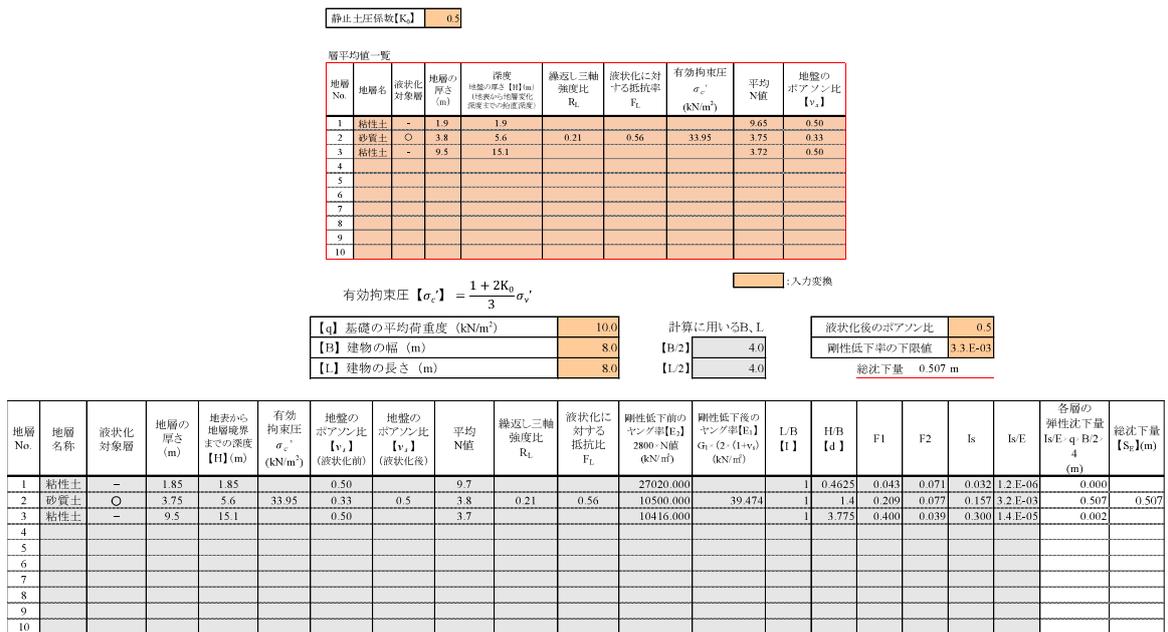
### 7.3 めり込み沈下、傾斜角の推定結果

#### 7.3.1 SWSによるめり込み沈下、傾斜角の推定結果

<A地点>

液状化による戸建て住宅のめり込み沈下量は、0.507mである。この地点は建物が密集していない地区であり、 $\theta = 1/28.176$ となる。

内閣府の「災害に係る住家の被害認定基準運用指針 令和3年3月」<sup>12)</sup>に従うと、「大規模半壊」となる。



付図 44 めり込み沈下の推定結果

<B 地点>

液状化危険度が低いため、液状化による戸建て住宅のめり込み沈下量は0.0m、傾斜角  $\theta = 0$  である。

7.3.2 SDS によるめり込み沈下、傾斜角の推定結果

<A 地点>

液状化による戸建て住宅のめり込み沈下量は、0.509mである。この地点は建物が密集していない地区であり、 $\theta = 1/28.059$ となる。

内閣府の「災害に係る住家の被害認定基準運用指針 令和3年3月」<sup>12)</sup>に従うと、「大規模半壊」となる。

静止土圧係数 $[K_0]$		0.5
----------------	--	-----

地層 No.	地層名	液状化対象層	地層の厚さ (m)	深度 地層の厚さ [H] (m) (地盤の平均液状化圧度との距離)	繰返し三軸強度比 $R_L$	液状化に対する抵抗率 $F_L$	有効拘束圧 $\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	平均 N値	地盤のポアソン比 $[v_v]$
1	粘性土	-	0.6	0.6				16.67	0.50
2	砂質土	○	5.0	5.6	0.23	0.69	33.82	4.59	0.33
3	粘性土	-	10.0	15.6				2.35	0.50
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

$$\text{有効拘束圧 } [\sigma'_v] = \frac{1 + 2K_0}{3} \sigma'_v$$
  

[q] 基礎の平均荷重 (kN/m <sup>2</sup> )	10.0	計算に用いるB、L	液状化後のポアソン比	0.5	
[B] 建物の幅 (m)	8.0	[B/2]	4.0	剛性低下率の下限値	3.3E-03
[L] 建物の長さ (m)	8.0	[L/2]	4.0	総沈下量	0.509 m

地層 No.	地層名称	液状化対象層	地層の厚さ (m)	地表から地層境界までの深度 [H] (m)	有効拘束圧 $\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	地盤のポアソン比 $[v_v]$ (液状化前)	地盤のポアソン比 $[v_v]$ (液状化後)	平均 N値	繰返し三軸強度比 $R_L$	液状化に対する抵抗率 $F_L$	剛性低下率のヤング率 $[E_s]$ (2800 N値)	剛性低下率のヤング率 $[E_s]$ $G_v / (2 \cdot (1 - v_v))$ (kN/m <sup>2</sup> )	L/B	H/B	[d]	F1	F2	Is	Is/E	各層の弾性沈下量 $Is/E \times q \cdot B/2 \cdot 4$ (m)	総沈下量 $[S_e]$ (m)	
1	粘性土	-	0.625	0.625		0.50		16.7			46666.667		1	0.1563		0.005	0.034	0.004	8.7E-08	0.000		
2	砂質土	○	5	5.625	33.82	0.33	0.5	4.6	0.23	0.69	12838.000	48.263	1	1.4063		0.210	0.077	0.158	3.2E-03	0.509	0.509	
3	粘性土	-	10	15.625		0.50		2.3			6573.000		1	3.9063		0.405	0.038	0.304	2.2E-05	0.004		
4																						
5																						
6																						
7																						
8																						
9																						
10																						

付図 45 めり込み沈下の推定結果

<B 地点>

液状化危険度が低いため、液状化による戸建て住宅のめり込み沈下量は0.0m、傾斜角  $\theta = 0$  である。

参考資料

- 国土交通省：ハザードマップポータルサイト。 <https://disaportal.gsi.go.jp/>
- 茨城県：茨城県地震被害想定について。 <https://www.pref.ibaraki.jp/bousaikiki/bousaikiki/bousai/higaisoutei/higaisoutei.html>
- 国土交通省都市局都市安全課：「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](https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_tk_000044.html)
- 大洗町：宅地耐震化推進事業（宅地の液状化による変動予測調査）について <https://www.town.oarai.lg.jp/cat1/sumai/takuchitochi/8837/>
- 谷謙二：今昔マップ。 <https://ktgis.net/kjmapw/>
- 若松加寿江, 先名重樹：2011年東北地方太平洋沖地震による関東地方の液状化発生と土地条件, 日本地震工学会論文集第15巻, 第2号, pp.25-44, 2015.
- 国土情報センター：国土情報データベース、 <https://ngic.or.jp/>
- 防災科学技術研究所：ジオ・ステーション <https://www.geo-stn.bosai.go.jp/>
- BL 審査証明-008、スクリュードライバー・サウンディング試験装置「SDS試験装置」
- 稲田 倍穂、スウェーデン式サウンディング試験結果の使用について、土と基礎：地盤工学会誌 (1960)
- 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.

12)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，2021.3

付録2 関東の各自治体が作成している液状化ハザードマップ（予測図）の根拠一覧表／検討条件

都県	①検討地域	②地盤データ	③地下水位データ	④想定地震動（地表面の最大加速度）												
東京都 <sup>1)</sup>	東経 139 度 15 分以東	1)地層構成や $N$ 値 東京都土木技術支援・人材育成センターが所有するボーリングデータ（約 7 万 6 千本） 2)細粒分含有率 不明	・地下水位分布図 ・ボーリングの孔内水位が浅い場合はボーリングの孔内水位 ・台地や丘陵地は 5m で固定	・検討地域にある 300 地点のボーリング資料から地表の最大加速度を計算 ・地盤の増幅度は波形によって異なることから、過去に観測された 3 種類の波形で計算し、ボーリング地点ごとに最大値を採用 ・沖積層の厚さに従って 5 つの地域に区分し、平均的な加速度を算定												
神奈川県 <sup>2)</sup>	250m メッシュ微地形区分を用いて、液状化の可能性のある沖積層や盛土等の緩い砂質土層が分布するメッシュを抽出	1)地層構成や $N$ 値 不明 2)細粒分含有率 下式を用いて標準貫入試験の $N$ 値から設定 $F_L(\%)=3978/(N+47.3)-38.5$	・250m メッシュ地下水位を設定 ・250m メッシュ地下水位はボーリングデータの孔内水位だけでなく、標高と孔内水位との関係をグラフにプロットし、両者の関係式を求め、標準偏差 ( $\sigma$ ) を考慮して設定した。	以下の想定地震動ごとに作成 ・都心南部直下地震 ・三浦半島断層群の地震 ・神奈川西部地震 ・東海地震 ・南海トラフ巨大地震 ・大正型関東地震 ・参考：元禄型関東地震、相模トラフ沿いの最大クラスの地震												
千葉県 <sup>3)</sup>	-	1)地層構成や $N$ 値 ボーリングデータ（約 6 万本） 2)細粒分含有率 土質試験データを加味して設定	ボーリングデータを基に推定	特定の地震を対象とせず、兵庫県南部地震のような揺れ（揺れの継続時間：10～20 秒程度）を想定した「直下地震」と東日本大震災や南海トラフ沿いの地震のような揺れ（揺れの継続時間：2～3 分程度）を想定した「巨大地震」の 2 種類を対象 地表最大加速度は、最大加速度と計測震度との関係式を用いる。 $PGA=10^{0.23+0.51 \cdot I}$ $PGA$ ：最大加速度(gal)、 $I$ ：計測震度												
埼玉県 <sup>4)</sup>	250m メッシュ地形区分の山地・山麓地・丘陵・砂礫質台地・ローム台地・湖沼を除いた 250m を対象	1)地層構成や $N$ 値 不明 2)細粒分含有率 谷底低地と谷底低地以外の低地で $N$ 値との関係式から設定 ・谷底低地： $F_c=64-18\log N(N \leq 20), F_c=10(N > 20)$ ・谷底低地以外の低地： $F_c=916/(N+9.21)29.5(N \leq 14), F_c=10(N > 14)$ 3)礫質土の 50%粒径 $D_{50}=1.0\text{mm}$	ボーリングデータを基に推定（微地形ごとにヒストグラムを作成して補正）	以下の想定地震動ごとに作成 ・東京湾北部地震 ・茨城県南部地震 ・元禄型関東地震 ・関東平野北西縁断層帯地震 ・立川断層帯地震 繰り返しせん断強度 $L$ は地震応答解析により得られた各層の値をそのまま用いた。												
栃木県 <sup>5)</sup>	浅部地盤モデル（J-SHIS）の地形区分の谷底低地、扇状地、自然堤防、後背湿地、旧河道、河原を対象	1)地層構成や $N$ 値 「関東の地盤（2010 年）」ボーリングデータ（約 2,500 本） 2)細粒分含有率 道路橋示方書 V 耐震設計編「土質分類と単位重量・平均粒径・細粒分含有率の概略値」 採用した土質定数等 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>区分</th> <th><math>\gamma</math> (g/cm<sup>3</sup>)</th> <th><math>D_{50}</math>(mm)</th> <th><math>F_L</math>(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>砂</td> <td>1.8</td> <td>0.35</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>礫</td> <td>1.9</td> <td>2.00</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	区分	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	$D_{50}$ (mm)	$F_L$ (%)	砂	1.8	0.35	10	礫	1.9	2.00	0	安全側を考慮して全域で一律 GL・1m とした	各市町村の直下地震を想定しメッシュ毎の地表加速度を用いて検討
区分	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	$D_{50}$ (mm)	$F_L$ (%)													
砂	1.8	0.35	10													
礫	1.9	2.00	0													

都県	①検討地域	②地盤データ	③地下水位データ	④想定地震動（地表面の最大加速度）
群馬県 <sup>6)</sup>	250m メッシュ地形区分の山地・山麓地・丘陵・砂礫質台地・ローム台地・湖沼を除いた 250m を対象	1)地層構成や $N$ 値 250m メッシュ内にボーリング柱状図がある場合はメッシュ内にあるボーリング地点ごとに評価 ボーリング柱状図がない 250m メッシュでは、250m メッシュ地盤モデルで評価 2)細粒分含有率 不明	収集したボーリングデータの地下水位を微地形区分ごとに集計して、その最頻値を採用	以下の想定地震動ごとに作成 ・関東平野北西縁断層帯地震 ・太田断層地震 ・片品川左岸断層地震
茨城県 <sup>7)</sup>	液状化対象微地形区分は以下の通り⇒谷底低地、扇状地、自然堤防、後背湿地、旧河道、旧池沼、三角州、海岸低地、砂州・砂礫洲、砂丘、砂州・砂丘間低地、干拓地、埋立地、河川敷、河原	1)地層構成や $N$ 値 不明 2)細粒分含有率 ・砂質土： $F_c=916/(N+9.21)29.5(N\leq 14), F_c=10(N>14)$ ・礫質土： $F_c=10\%$ 3)50%粒径 $D_{50}=4.0\text{mm}$	・ボーリングデータの孔内水位を基に、微地形区分と標高の関係式から推定 ・その関係式が孔内水位データの上位 25%（第一四分位点）を通るように以下のように修正 $(250\text{m メッシュ地下水位}) = a \times (250\text{m メッシュ標高}) + b + \sigma 25$ ・神栖市の砂利碎石跡地は別途設定	地震動予測で詳細法を用いた茨城県南部の地震、茨城・埼玉県境の地震、F1 断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震、棚倉破碎帯東縁断層、同西縁断層の連動による地震、太平洋プレート内の地震については、工学的基盤の加速度波形より工学的基盤の最大加速度を求め、藤本・翠川(2006)による増幅度をかけて地表の最大加速度を求めた。 $\text{Log} A F_{PGA} = - 0.773 \cdot \log(AVS(30)/600) \pm 0.200$ 地震動予測に簡便法を用いた茨城県沖から房総半島沖にかけての地震、相模トラフ沿いの M8 クラスの地震については、計測震度より童・山崎（1986）の以下の関係式から換算した。 $I=0.59+1.89 \cdot \log_{10}(PGA)$

【付録】関東の各自治体で作成している液状化ハザードマップ（予測図）の根拠一覧表／検討結果

都県	⑤ボーリングデータによる液状化判定方法	⑥総合判定	備考															
東京都 <sup>1)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（平成29年3月）に準拠</li> <li><math>P_L</math>法にて検討</li> <li>液状化判定区分（3区分：下表の通り）</li> </ul> <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>P_L</math> 値</th> <th>区分</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>P_L &gt; 15</math></td> <td>液状化の可能性大</td> </tr> <tr> <td><math>5 &lt; P_L \leq 15</math></td> <td>液状化の可能性中</td> </tr> <tr> <td><math>0 \leq P_L \leq 5</math></td> <td>液状化の可能性小</td> </tr> </tbody> </table>	$P_L$ 値	区分	$P_L > 15$	液状化の可能性大	$5 < P_L \leq 15$	液状化の可能性中	$0 \leq P_L \leq 5$	液状化の可能性小	<ul style="list-style-type: none"> <li>ボーリングデータによる液状化判定と地図情報による液状化判定を総合して3段階（大、中、小）にて総合判定</li> <li>地図情報による総合判定で用いている情報は、液状化履歴図（J-SHIS など）、土地条件図、旧版地形図に基づく土地利用水系変遷図、旧版地形図に基づく土地利用湿地・水田分布図、埋立工事履歴図の5つ</li> </ul>								
$P_L$ 値	区分																	
$P_L > 15$	液状化の可能性大																	
$5 < P_L \leq 15$	液状化の可能性中																	
$0 \leq P_L \leq 5$	液状化の可能性小																	
神奈川県 <sup>2)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（平成29年3月）に準拠</li> <li><math>P_L</math>法にて検討</li> <li>液状化判定区分（4区分：下表の通り）</li> </ul> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><math>P_L=0</math></th> <th><math>0 &lt; P_L \leq 5</math></th> <th><math>5 &lt; P_L \leq 15</math></th> <th><math>15 &lt; P_L</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>P_L</math> 値による液状化判定</td> <td>液状化の危険度は極めて低い</td> <td>液状化の危険度は低い</td> <td>液状化の危険度は高い</td> <td>液状化の危険度は極めて高い</td> </tr> <tr> <td>詳細調査及び対策の有無</td> <td>液状化に関する詳細な調査は不要</td> <td>特に重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要</td> <td>重要な構造物に対してより詳細な調査が必要となり液状化対策が一般的に必要</td> <td>液状化に関する詳細な調査と液状化対策は不可避</td> </tr> </tbody> </table>		$P_L=0$	$0 < P_L \leq 5$	$5 < P_L \leq 15$	$15 < P_L$	$P_L$ 値による液状化判定	液状化の危険度は極めて低い	液状化の危険度は低い	液状化の危険度は高い	液状化の危険度は極めて高い	詳細調査及び対策の有無	液状化に関する詳細な調査は不要	特に重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要	重要な構造物に対してより詳細な調査が必要となり液状化対策が一般的に必要	液状化に関する詳細な調査と液状化対策は不可避	-	
	$P_L=0$	$0 < P_L \leq 5$	$5 < P_L \leq 15$	$15 < P_L$														
$P_L$ 値による液状化判定	液状化の危険度は極めて低い	液状化の危険度は低い	液状化の危険度は高い	液状化の危険度は極めて高い														
詳細調査及び対策の有無	液状化に関する詳細な調査は不要	特に重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要	重要な構造物に対してより詳細な調査が必要となり液状化対策が一般的に必要	液状化に関する詳細な調査と液状化対策は不可避														
千葉県 <sup>3)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>P_L</math>法にて検討</li> <li>液状化判定区分（4区分：しやすい、ややしやすい、しにくい、きわめてしにくい）</li> </ul>	メッシュ毎の沈下量についても内閣府の手法により予測	<ul style="list-style-type: none"> <li>左記は液状化しやすさマップについて</li> <li>様々な想定地震動に応じた液状化危険度マップも別途作成し、公開されている。</li> </ul>															
埼玉県 <sup>4)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（平成29年3月）に準拠</li> <li><math>P_L</math>法にて検討</li> <li>液状化判定区分（4区分：下表の通り）</li> </ul> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><math>P_L=0</math></th> <th><math>0 &lt; P_L \leq 5</math></th> <th><math>5 &lt; P_L \leq 15</math></th> <th><math>15 &lt; P_L</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>液状化可能性</td> <td>極めて低い</td> <td>低い</td> <td>やや高い</td> <td>高い</td> </tr> <tr> <td>液状化可能性判定</td> <td>液状化可能性は極めて低い。液状化に関する詳細な調査は不要。</td> <td>液状化可能性は低い。特に重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要</td> <td>液状化の可能性がやや高い。重要な構造物に対してはより詳細な調査が必要。液状化対策が一般的には必要</td> <td>液状化可能性が高い。液状化に関する詳細な調査と液状化対策が必要</td> </tr> </tbody> </table>		$P_L=0$	$0 < P_L \leq 5$	$5 < P_L \leq 15$	$15 < P_L$	液状化可能性	極めて低い	低い	やや高い	高い	液状化可能性判定	液状化可能性は極めて低い。液状化に関する詳細な調査は不要。	液状化可能性は低い。特に重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要	液状化の可能性がやや高い。重要な構造物に対してはより詳細な調査が必要。液状化対策が一般的には必要	液状化可能性が高い。液状化に関する詳細な調査と液状化対策が必要	-	
	$P_L=0$	$0 < P_L \leq 5$	$5 < P_L \leq 15$	$15 < P_L$														
液状化可能性	極めて低い	低い	やや高い	高い														
液状化可能性判定	液状化可能性は極めて低い。液状化に関する詳細な調査は不要。	液状化可能性は低い。特に重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要	液状化の可能性がやや高い。重要な構造物に対してはより詳細な調査が必要。液状化対策が一般的には必要	液状化可能性が高い。液状化に関する詳細な調査と液状化対策が必要														
栃木県 <sup>5)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（平成8年）に準拠</li> <li><math>P_L</math>法にて検討</li> <li>液状化判定区分（5区分：下表の通り）</li> </ul> <table border="1"> <thead> <tr> <th>液状化危険度</th> <th><math>P_L</math> 値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>液状化危険度が極めて高い</td> <td><math>30 &lt; P_L</math></td> </tr> <tr> <td>液状化危険度がかなり高い</td> <td><math>15 &lt; P_L \leq 30</math></td> </tr> <tr> <td>液状化危険度が高い</td> <td><math>5 &lt; P_L \leq 15</math></td> </tr> <tr> <td>液状化危険度が低い</td> <td><math>0 &lt; P_L \leq 5</math></td> </tr> <tr> <td>液状化危険度がかなり低い</td> <td><math>P_L=0</math></td> </tr> </tbody> </table>	液状化危険度	$P_L$ 値	液状化危険度が極めて高い	$30 < P_L$	液状化危険度がかなり高い	$15 < P_L \leq 30$	液状化危険度が高い	$5 < P_L \leq 15$	液状化危険度が低い	$0 < P_L \leq 5$	液状化危険度がかなり低い	$P_L=0$	-				
液状化危険度	$P_L$ 値																	
液状化危険度が極めて高い	$30 < P_L$																	
液状化危険度がかなり高い	$15 < P_L \leq 30$																	
液状化危険度が高い	$5 < P_L \leq 15$																	
液状化危険度が低い	$0 < P_L \leq 5$																	
液状化危険度がかなり低い	$P_L=0$																	

都県	⑤ボーリングデータによる液状化判定方法	⑥総合判定	備考															
群馬県 <sup>6)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（平成29年3月）に準拠</li> <li><math>P_L</math>法にて検討</li> <li>液状化判定区分（4区分：下表の通り）</li> </ul> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><math>P_L=0</math></th> <th><math>0 &lt; P_L \leq 5</math></th> <th><math>5 &lt; P_L \leq 15</math></th> <th><math>15 &lt; P_L</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>液状化可能性</td> <td>極めて低い</td> <td>低い</td> <td>やや高い</td> <td>高い</td> </tr> <tr> <td>液状化可能性判定</td> <td>液状化可能性は極めて低い。液状化に関する詳細な調査は不要。</td> <td>液状化可能性は低い。特に重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要</td> <td>液状化の可能性がやや高い。重要な構造物に対してはより詳細な調査が必要。液状化対策が一般的には必要</td> <td>液状化可能性が高い。液状化に関する詳細な調査と液状化対策が必要</td> </tr> </tbody> </table>		$P_L=0$	$0 < P_L \leq 5$	$5 < P_L \leq 15$	$15 < P_L$	液状化可能性	極めて低い	低い	やや高い	高い	液状化可能性判定	液状化可能性は極めて低い。液状化に関する詳細な調査は不要。	液状化可能性は低い。特に重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要	液状化の可能性がやや高い。重要な構造物に対してはより詳細な調査が必要。液状化対策が一般的には必要	液状化可能性が高い。液状化に関する詳細な調査と液状化対策が必要	<p>ポリゴンの微地形区分図を用いた液状化しやすい微地形区分を抽出し、微地形区分からの液状化しやすさマップを踏まえて判定</p>	
	$P_L=0$	$0 < P_L \leq 5$	$5 < P_L \leq 15$	$15 < P_L$														
液状化可能性	極めて低い	低い	やや高い	高い														
液状化可能性判定	液状化可能性は極めて低い。液状化に関する詳細な調査は不要。	液状化可能性は低い。特に重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要	液状化の可能性がやや高い。重要な構造物に対してはより詳細な調査が必要。液状化対策が一般的には必要	液状化可能性が高い。液状化に関する詳細な調査と液状化対策が必要														
茨城県 <sup>7)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（平成29年3月）に準拠</li> <li><math>P_L</math>法にて検討</li> <li>液状化判定区分（4区分：下表の通り）</li> </ul> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><math>P_L=0</math></th> <th><math>0 &lt; P_L \leq 5</math></th> <th><math>5 &lt; P_L \leq 15</math></th> <th><math>15 &lt; P_L</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>液状化可能性</td> <td>極めて低い</td> <td>低い</td> <td>やや高い</td> <td>高い</td> </tr> <tr> <td>液状化可能性判定</td> <td>液状化可能性は極めて低い。液状化に関する詳細な調査は不要。</td> <td>液状化可能性は低い。特に重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要</td> <td>液状化の可能性がやや高い。重要な構造物に対してはより詳細な調査が必要。液状化対策が一般的には必要</td> <td>液状化可能性が高い。液状化に関する詳細な調査と液状化対策が必要</td> </tr> </tbody> </table>		$P_L=0$	$0 < P_L \leq 5$	$5 < P_L \leq 15$	$15 < P_L$	液状化可能性	極めて低い	低い	やや高い	高い	液状化可能性判定	液状化可能性は極めて低い。液状化に関する詳細な調査は不要。	液状化可能性は低い。特に重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要	液状化の可能性がやや高い。重要な構造物に対してはより詳細な調査が必要。液状化対策が一般的には必要	液状化可能性が高い。液状化に関する詳細な調査と液状化対策が必要	<p>東北地方太平洋沖地震における液状化実績を反映し、液状化可能性を一部修正の上、判定</p>	<p>液状化に伴う地盤の沈下量も公開</p> <p>沈下量の算出方法は、「建築基礎構造設計指針（日本建築学会、2001）」に示されている補正 <math>N</math> 値と繰り返しせん断ひずみの関係を用いて対数補完し、繰り返しせん断ひずみを体積ひずみと読み替えて下式により推定</p> $S = \sum (H_i \times \varepsilon_{v_i}), i=1 \sim n$
	$P_L=0$	$0 < P_L \leq 5$	$5 < P_L \leq 15$	$15 < P_L$														
液状化可能性	極めて低い	低い	やや高い	高い														
液状化可能性判定	液状化可能性は極めて低い。液状化に関する詳細な調査は不要。	液状化可能性は低い。特に重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要	液状化の可能性がやや高い。重要な構造物に対してはより詳細な調査が必要。液状化対策が一般的には必要	液状化可能性が高い。液状化に関する詳細な調査と液状化対策が必要														

- 1) 「東京の液状化予測図」作成の根拠 令和3年度改訂版 東京都建設局：<https://doboku.metro.tokyo.lg.jp/start/03-jyouthou/ekijyouka/konkyo.html>
- 2) 神奈川県地震被害想定調査 平成27年3月 神奈川県地震被害想定調査委員会：<https://www.pref.kanagawa.jp/docs/j8g/cnt/f5151/p15579.html>
- 3) 平成26・27年度千葉県地震被害想定調査報告書 平成28年3月 千葉県：[https://www.pref.chiba.lg.jp/bousaik/higaisoutei/ekijhoka\\_yureyasusa.html](https://www.pref.chiba.lg.jp/bousaik/higaisoutei/ekijhoka_yureyasusa.html)
- 4) 平成24・25年度埼玉県地震被害想定調査報告書 平成26年3月 埼玉県：<https://www.pref.saitama.lg.jp/a1102/ekijyoukanohigaiyosoku.html>
- 5) 栃木県地震被害想定調査報告書 栃木県危機管理課：<https://www.pref.tochigi.lg.jp/c08/kouhou/20130516jisin/higaisouteityousa.html>
- 6) 群馬県地震被害想定調査報告書 平成24年6月 群馬県：<https://www.pref.gunma.jp/05/am4900013.html>
- 7) 茨城県地震被害想定調査詳細報告書 平成30年12月 茨城県：<https://www.pref.ibaraki.jp/bousaikiki/bousaikiki/bousai/higaisoutei/higaisoutei.html>

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 委員名簿

	氏名	所属	執筆担当章
委員長	清木 隆文	宇都宮大学	まえがき
顧問委員	龍岡 文夫	東京理科大学	
幹事	王寺 秀介	中央開発株式会社	8、付録 1
委員	穴太 聖哉	東京ガス株式会社	
委員	石川 敬祐	東京電機大学	
委員	大井 昌弘	国立研究開発法人 防災科学技術研究所	
委員	落合 努	神奈川大学	
委員	木村 克己	公益財団法人深田地質研究所	
委員	小荒井 衛	茨城大学	
委員	後藤 聡	山梨大学	
委員	佐々木 修平	住友林業株式会社	10、付録 2
委員	芝村 圭	独立行政法人都市再生機構	
委員	末政 直晃	東京都市大学	要約版
委員	鈴木 一成	株式会社ダイヤコンサルタント	
委員	鈴木比呂子	千葉工業大学	
委員	関口 徹	千葉大学	
委員	武田 啓司	独立行政法人都市再生機構	
委員	塚本 良道	東京理科大学	
委員	辻 浩平	ジャパンホームシールド株式会社	7、付録 1
委員	細川 聡美	株式会社シーエスエンジニアズ	
委員	丸山 昌則	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	
委員	三上 武子	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	
委員	安田 進	東京電機大学	1～6、9、11、付録 1
委員	山口 恵美	関東学院大学	
委員	吉澤 睦博	株式会社竹中工務店	
委員	渡邊 康志	ジャパンホームシールド株式会社	
委員	和田 里絵	応用地質株式会社	
委員	中尾 健人	ベースロードパワージャパン株式会社	
委員	司 貴文	独立行政法人都市再生機構	
オブザーバー	名兒耶 薫	東京都建設局	
オブザーバー	西 喜士	川崎市港湾局	