

「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針・同解説（案）」

はじめに

平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分に発生した東北地方太平洋沖地震（マグニチュード 9.0）、および約 29 分後の余震（マグニチュード 7.7）により、関東地方の埋立地や旧河道の地域で液状化現象が発生し、住宅やライフライン施設が甚大な被害を受けた。被災した住宅の復旧や再液状化の抑制とともに、液状化に伴う噴砂による道路交通障害や土砂流入による下水道復旧の長期化などは、地震発生後の都市機能を保全し速やかな復旧・復興を図る上で大きな社会問題となっているところもある。

この液状化現象に対しては、昭和 39 年の新潟地震以降研究や各種技術基準等の策定が進んできており、その被害発生可能性を判定する手法については、「建築基礎構造設計指針（日本建築学会）」や「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編（日本道路協会）」等があるものの、主に戸建て住宅地の宅地を想定した場合、安全レベルの指標や調査・判定法が異なるため取り扱いが不明確であった。

また、宅地の新規開発・造成時における基準については、「宅地防災マニュアル」等に一般的な考え方は示されているが、具体的な判定手法は前述の各指針等を参照することとなっており、取り扱いは実務者に委ねられているところでもある。

本研究会においては、東北地方太平洋沖地震における被災実態と既存の各種判定手法による判定結果の指標とを比較してきたが、各種判定手法について若干の修正を加えるとともに、複数の既存判定指標を用いることによって、被災実態と判定結果との整合を取ることができるようになった。

今回はこれらの検討成果を元に、複数の指標による判定図を用い、宅地の液状化被害可能性についてランク付けを行う判定法を取りまとめ、判定に当たっての留意事項等を「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針（案）」として提示するものである。

この指針（案）に基づいた事前の地盤調査が適切に行われることにより、液状化被害が発生する可能性を判断するだけでなく、液状化対策のコストの合理化等の効果も考えられる。

今後、本指針（案）が、宅地の液状化被害可能性を判定するのみでなく、液状化マップの精度向上や、新規宅地造成等における液状化対策を検討する際に活用されることを望みたい。

平成 25 年 2 月 27 日

「平成 24 年度宅地の液状化対策の推進に関する研究会」

座長：東畑郁生（東京大学 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授）

目 次

頁

I. 総 説	3
I.1 目 的	3
I.2 適用範囲	3
I.3 取扱い方針	3
II. 調査・判定の手順	4
III. 一次判定	6
IV. 二次判定	16
IV.1 地盤調査	16
IV.2 二次判定	16
V. 三次判定	32
参考資料 用語の解説	33
参考資料 液状化対策	34

I. 総 説

I.1 目 的

本指針は、中地震発生時に懸念される地盤の液状化現象に対し、戸建て住宅地の液状化被害の可能性を判定することを目的としたもので、判定上の基本的な考え方や留意すべき点を整理したものである。

I.2 適用範囲

- (1) 本指針は、戸建て住宅等の宅地の液状化被害の可能性を判定する場合に適用する。
- (2) 本指針は、おおむね平坦な地形が続く場所に位置する戸建て住宅用の新規造成宅地及び既存宅地を対象とする。
- (3) 本指針は、震度5程度の中地震を対象とする。

I.3 取扱い方針

- (1) 本指針の判定手法は、ボーリング調査結果に基づいて、宅地の液状化被害の可能性を比較的簡易に判定可能な方法として定めるものであり、個別には建物特性等によって被害発生状況が異なることから、宅地毎に被害の有無や程度を保証するものではない。
- (2) 宅地の所有者・開発者等は、液状化被害の可能性の判定結果を踏まえて、液状化対策の必要性の有無を判断するものとする。

【解 説】

本指針の判定手法は、ボーリング調査結果から各層の液状化に対する安全率 (F_L 値) を算定し、これを基に算定される非液状化層厚 (H_1) と液状化指標値 (P_L 値) 又は地表変位量 (D_{cy} 値) から II. 2 (4) (i) の判定図を使用して液状化被害の可能性を判定している。

したがって、判定に使用する土質定数はボーリング調査結果を使用して設定することを基本としている。しかし、ボーリング調査以外の他の方法により土質定数を設定できる場合には、その方法を用いてもよい。

ボーリング調査は、原則として判定対象宅地内、あるいは判定対象宅地近傍の調査結果を用いる。また、周辺のボーリング調査結果から判定対象宅地の土質定数を推定できる場合には、周辺のボーリング調査結果に基づいて判定してもよい。

II. 調査・判定の手順

液状化被害可能性の判定は、以下の（I）～（III）の手順で行うものとする。

- （I）一次判定：地形データ等の既存資料により、二次判定の要否を判定。
- （II）二次判定：地盤調査結果に基づき、顕著な被害の可能性を3ランクで判定。
- （III）三次判定：必要に応じて、詳細な調査・解析により、顕著な被害の可能性を3ランクで判定。

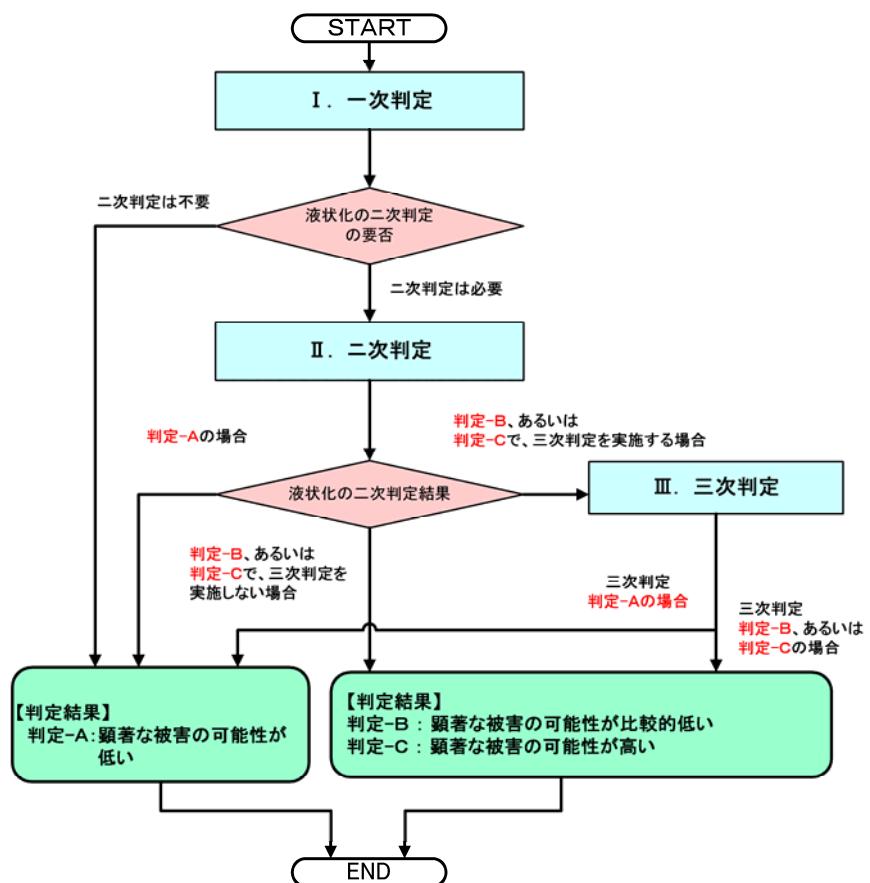
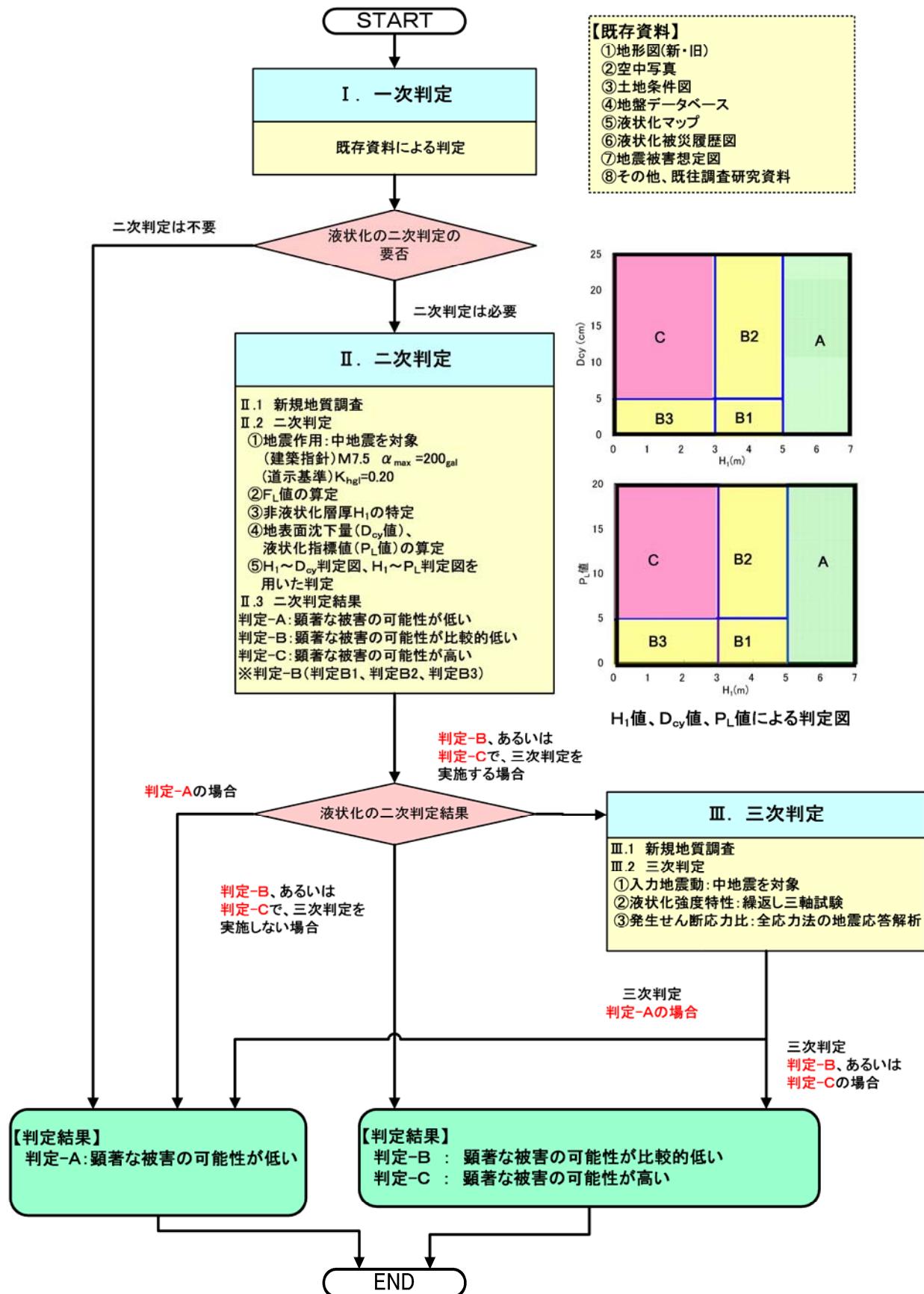


図.II.1 液状化被害可能性の判定フロー

【解説】宅地の液状化被害可能性の判定フローを図.解. II. 1 に示す。

各判定の目的は下記のとおりである。

- ・一次判定：地形データ等の既存資料による判定であり、二次判定の要否を判定する。
- ・二次判定：地盤調査結果に基づく判定であり、顕著な被害の可能性を3ランクで判定。
- ・三次判定：二次判定結果に基づいて必要と判断される場合に実施する判定であり、詳細な地質調査及び解析に基づいて、顕著な被害の可能性を3ランクで判定する。



図解. II.1 宅地の液状化被害可能性の判定フロー

III. 一次判定

- (1) 一次判定は、既存資料及び現地調査に基づいて、二次判定の要否を判定するものとする。
- (2) 既存資料は、新・旧地形図、地盤データベース、液状化予測図等を対象とする。
- (3) 現地調査は、必要に応じて、現在の地形・地質条件、周辺環境条件等を把握するために行うものとする。
- (4) 既存資料及び現地調査によって「顕著な被害の可能性が低い」ことが明らかな場合には、そのように判定し、それ以外の場合には二次判定を行う。

【解説】

1. 一次判定

新・旧地形図、地盤データベース、液状化予測図等の既存資料および現地調査結果に基づいて、液状化の二次判定の要否を判定する。液状化の二次判定の必要性はない、と判定できる事例としては、下記の①～③の場合を参考とするとよい。

尚、液状化の履歴がある場合には、①～③のいずれかに該当する場合でも液状化判定を行うこととする。

- ① 地下水位が地表面下5m以深である場合
- ② 地形区分が扇状地、砂礫質の河原、砂礫州、砂丘、海浜、等に該当するとともに、標準貫入試験値（N値）がN値30より低い層がない場合
- ③ “本指針IV.2 二次判定（ii）判定対象層”に規定する判定対象層が存在しない場合

2. 資料の収集・整理および現地調査

(1) 地形図・航空写真・土地条件図

既存資料とは、図.解. III.1～図.解. III.6に示す新・旧地形図、航空写真、土地条件図、地盤データベース、液状化マップ、液状化被災履歴、および既往の調査・研究資料、等である。

旧地形図、土地利用図は、人工改変以前の地形や土地利用や古い時代の海岸線、河道、沼池の位置や分布などが確認することができる。

埋立地等を示す地形区分については、国土交通省（国土政策局）が国土調査の一環として、平成23年度から32年度までの10年間で大都市部を中心に全国1.8万km²の地形区分図（1/50,000縮尺）等を作成し、ホームページで公表中である。東京、神奈川、千葉、埼玉、岐阜、愛知は公表中である。三重、大阪周辺、静岡、浜松は調査中である。

国土地理院は、1/25,000縮尺の「土地条件図」の「初期整備版」（3大都市圏+政令市等）146面）、「人工地形更新版」（関東・中部71面）を作成・公表している。東京東北部の参考事例を図.解. III.7に示す

地形から見た判定指針を表.解. III.1に示し、微地形分類指針を表.解. III.2に示す。

微地形分類図は、市販・公開されているものを活用しても良いが、大縮尺のものが多く、図面の尺度により微細な旧河道や人工改変地が表現されていないこともあるため、地形図や航空写真などによる精査が必要である。



図. 解. III. 1 迅速測図に基盤地図情報を重ね合わせ
(歴史的農業環境閲覧システムによる)



図. 解. III. 2 明治 13 年、15 年旧地形図
(1/20,000 迅速図)
(歴史的農業環境閲覧システムによる)



図. 解. III. 3 地形平面図
(1/25,000 数値地図より)



図. 解. III. 4 航空写真
(2011 年 3 月 17 日撮影より)

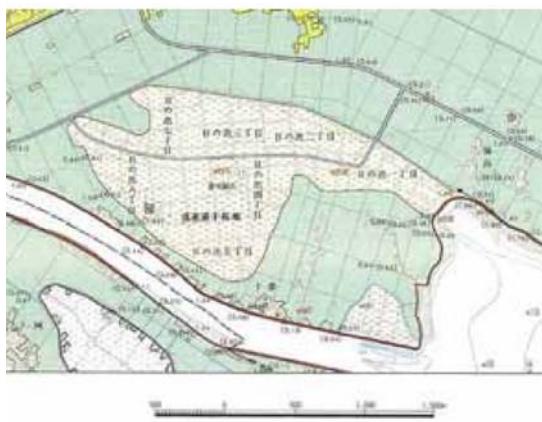


図. 解. III. 5 土地条件図
(国土地理院 1 : 25,000 土地条件図より)



図. 解. III. 6 土地条件図
(国土地理院 1 : 25,000 土地条件図より)

※ 迅速測図 (じんそくそくず) とは、日本において明治時代初期から中期にかけて作成された簡易地図である。

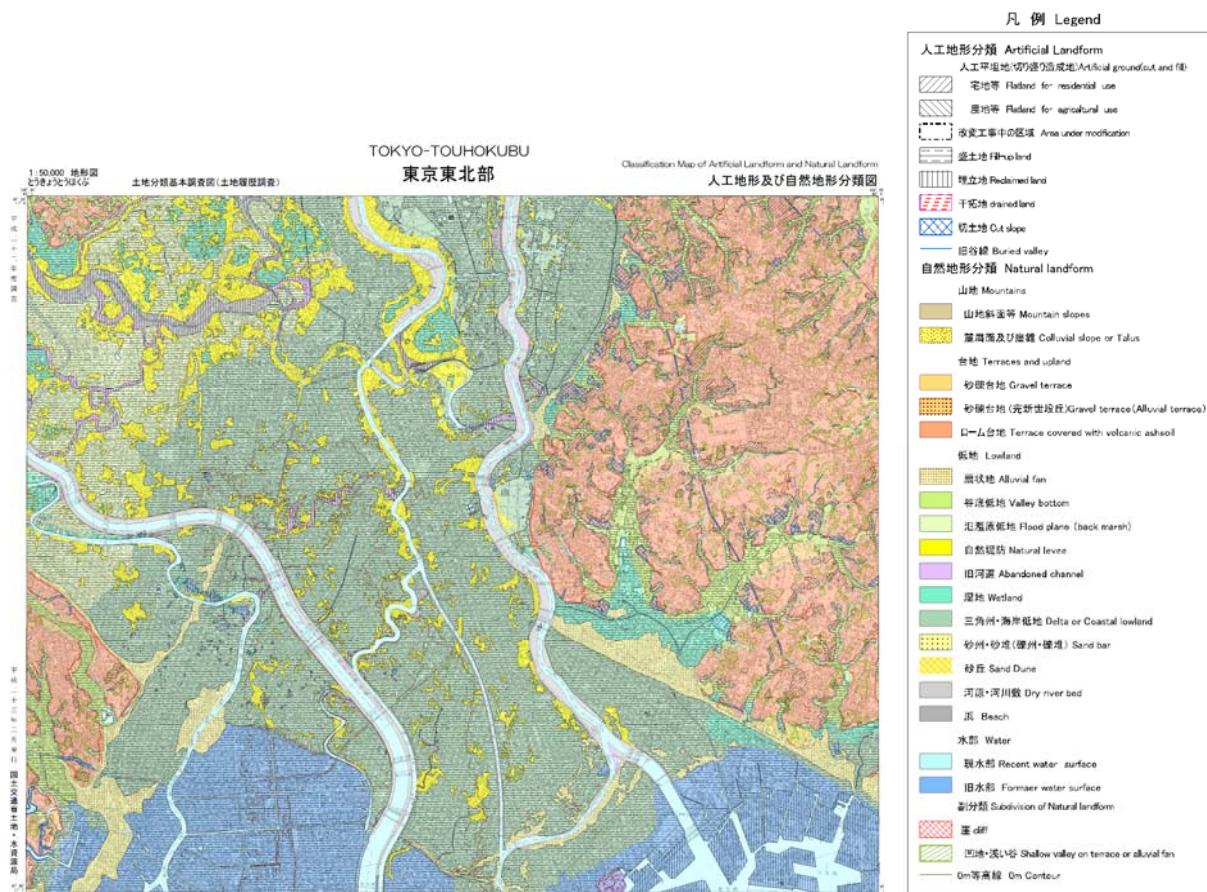


図.解. III. 7 土地区分図（東京東北部）

※http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/land_history_2011/pdf_index.php
※土地分類基本調査図（土地履歴調査）/人工地形及び自然地形分類図/東京東北部

表.解. III. 1 地形から見た判定指針

地盤表層の液状化可能性の程度	地形区分
大	自然堤防縁辺部・比高の小さい自然堤防、ポイントバー（蛇行州）、旧河道、旧池沼、砂泥質の河原、砂丘末端緩斜面、人工海浜、砂丘間低地・堤間低地、埋立て地、湧水地点（帶）、盛土地
中	デルタ型谷底平野、緩扇状地、自然堤防、後背湿地、湿地、デルタ（三角州）、砂州、干拓地
小	扇状地型谷底平野、扇状地、砂礫質の河原、砂礫州、砂丘、海浜

出典：小規模建築物基礎設計指針、日本建築学会、2008.3 p.89 の表 5.6.1 より引用）

表.解. III. 2 微地形分類指針

微地形区分		判読の際の分類基準		
分類	細分類	地形的位置、特徴	形態	主な土地利用
谷底平野	扇状地型谷底平野	古期岩盤の山地、砂礫層の丘陵地	縦断勾配のやや急な谷底	畑、水田
	デルタ型谷底平野	未固結岩石の丘陵地、台地	縦断勾配の緩やかな谷底	水田
扇状地	扇状地（沖積錐を含む）	河川の谷底、山麓部	扇状～円錐状、平均縦断勾配 $1/100(0.57^\circ)$ 程度以上	果樹園、桑畑、畑
	緩扇状地	同上、または扇状地の末端部	扇状～円錐状、平均縦断勾配 $1/100(0.57^\circ)$ 程度以下	畑、水田
自然堤防	自然堤防	現・旧河川の流路沿い	帯状またはパッチ状の微高地	畑、桑畑、集落
	自然堤防堰堤部	低地一般面と自然堤防の境界部	同上。微高地のうち比高 1 m 以下の部分。	畑
	比高の小さい自然堤防	蛇行州（ポイントバー）	蛇行河道の凸岸側にできる堆積地形	水田
	蛇行州（ポイントバー）	自然堤防・砂州・砂丘の背後	河道に沿って湾曲した帯状または半円状の微高地	水田
後背低地		自然堤防・砂州・砂丘の背後	沼沢性起源の低地	水田
旧河道	新しい（明瞭な）旧河道	低地域の全般、過去の河川流路の跡	帯状凹地。一般面よりの比高 $0.5 \sim 1.0\text{m}$	水田、荒地
	古い（不明瞭な）旧河道	同上	帯状凹地。比高 0.5m 以内で不明瞭	水田
旧池沼		過去の池沼の跡	凹地または平坦地	水田、荒地
湿地		低地域のうち排水不良地、湧水地点付近、旧河道	同上	同上
河原	砂礫質の河原	扇状地型平野・扇状地における現河道の流動沿い	平坦。流水に覆われることのある複地中流部	荒地、果樹園
	砂泥質の河原	デルタ型谷底平野・低地一般面における現河道の流動沿い	同上。下流部	荒地、畑、水田
三角州（デルタ）		河川の河口部	起伏に乏しい	水田
砂州（浜提砂礫含む）	砂州	海岸、湖岸沿い	汀線に平行な微高地	針葉樹林、畑、荒地、集落
	砂礫州	同上	同上	同上
砂丘	砂丘	海岸、河岸	小丘の集合体、一般面との比高 $3\text{m} \sim 4\text{m}$ 以上	針葉樹林
	砂丘末端緩斜面	同上、砂丘の縁辺部	比高 $3\text{m} \sim 4\text{m}$ 以下	畑、集落
海浜	海浜	海岸地域の提外地	海岸の波打ち際の砂地	海浜
	人工海浜	同上	同上。人工的なもの	同上
砂丘間低地・提間低地		砂丘間、砂州間	比較的平坦	畑、水田
干拓地		沿岸地域、湖水地形や水面を干して陸地化した土地	平坦地、規則正しい地割り	水田
埋立地		海域などの水面を一般面と同じ高さまで埋め立てたもの	平坦地	工場地、宅地
湧水地点（帶）		扇状地末端部、砂丘縁辺部、断崖部、旧河道、湿地、天井川に沿った提内地	_____	湿地、水田
盛土地		_____	低地において 1m 以上の盛土	宅地

砂州、砂礫州：空中写真だけからは判定困難。

盛土地：ここでいう盛土地とは、崖・斜面に隣接した盛土地、低湿地・干拓地・谷底平野上の盛土地を指す（すなわち、地下水位が高いと推定されるもの）。これ以上の盛土地は、盛土前の地形の区分と同等に扱う。

段丘：本表は沖積地の微地形分類のため、段丘層は記載していないが、斜面に隣接し地下水位が高いと想定される段丘については液状化の可能性があるため、段丘も分類するものとする。

出典：「液状化地域ゾーニングマニュアル 平成 10 年度版」（国土庁防災局震災対策課：平成 11 年 1 月）

(5) 地盤データベース

防災科学技術研究所では、図.解. III. 8 に示す「統合化地下構造データベース」を構築しているので、有效地に活用できる。また、地方自治体と連携し、ボーリングデータの公開が可能となっている。参考となる地盤データベースを表.解. III. 3 に示す。これらには調査されたボーリングデータがそのまま利用できるものと、地域をメッシュに分割し、その中で平均的なデータを人為的に作成したものがあるので、利用する際にはこれらの違いに留意する必要がある。本指針では、ボーリングデータをそのまま利用できるデータベースを用いることが望ましい。

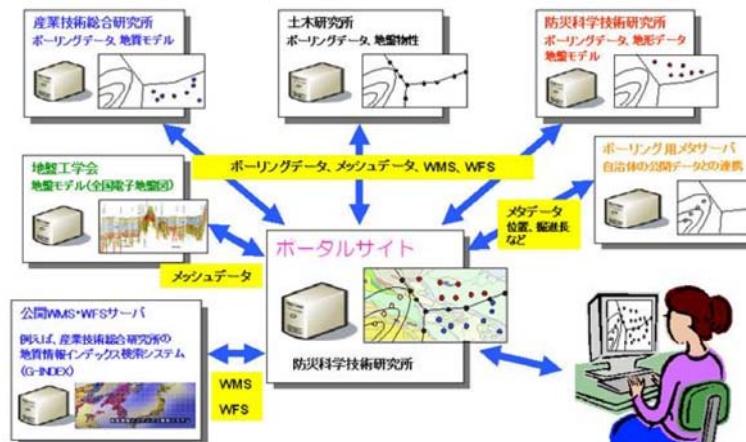


図.解. III. 8 統合化地下構造データベース

出典：防災科学技術研究所HPより

表.解. III.3 地盤情報データベース

情報の内容	情報の所在	
全国の統合データベース	(独法)防災科学技術研究所	http://www.geo-stn.bosai.go.jp/ips/index.html
国土交通省の直轄工事データ	(独法)土木研究所	http://www.kunijiban.pwri.go.jp
自然地形や変更履歴等を示す「災害履歴図」	国土交通省国土政策局国土情報課	http://nrb-www.mlit.go.jp/kokio/inspect/landclassification/land/land_history.html
地形分類(山地、人工地形等)を示す「土地条件図」	国土交通省国土地理院	http://www.gsi.go.jp/bousaichiri/lc_index.html
産業技術総合研究所が公開しているデータ	産業技術総合研究所	http://www.gsi-3dmdb@m.aist.go.jp
東京の地盤(Web版)	東京都土木技術支援・人材育成センター	http://doboku.metro.tokyo.jp/start/03-ivouhou/geo-web/00-index.html
かながわ地質情報MAP	(財)神奈川県都市整備技術センター	http://www.toshiseibi-boring.jp/
埼玉県地理環境情報 WebGIS「e(エ)～コバタン環境マップ」	埼玉県環境科学国際センター	http://www.pref.saitama.lg.jp/A09/BE00/gisportal/top.html
群馬県ボーリングMAP	(財)群馬県建設技術技術センター	http://b.hatena.ne.jp/entry/www.gunma-kengi.or.jp/bordb/
栃木県地図情報公開システム	栃木県県土整備部	http://www.dgis.pref.tochigi.lg.jp/map/login.aspx
茨城県のボーリングデータ	茨城県	http://www.geo-stn.bosai.go.jp/ips/index.html
地質環境インフォメーションバンク	千葉県環境研究センター	http://wwwp.pref.chiba.lg.jp/pbgeogis/servlet/infobank.index
横浜市地盤地図情報「地盤View(じばんぎゅー)」	横浜市環境科学研究所	http://wwwm.city.yokohama.lg.jp/agreement.asp?dtp=3&npg=%2Findex%2Easp
川崎市地質図集(ボーリングデータ)	川崎市環境局環境対策部	http://kawasaki.geocloud.jp/webgis/?p=0&bt=0&mp=38-2&
茨城県土木部が公開しているデータ	茨城県土木部	※全国の統合データベースより参照可能。
長崎県土木部が公開しているデータ	長崎県土木部	※全国の統合データベースより参照可能。
滋賀県土木交通部が公開しているデータ	滋賀県土木交通部	※全国の統合データベースより参照可能。
水戸市が公開しているデータ	水戸市	※全国の統合データベースより参照可能。
全国電子地盤図	地盤工学会	http://www.densi-jiban.jp/
北海道地盤情報データベースVer.2003	地盤工学会 北海道支部	
東北地盤情報システム	地盤工学会 東北支部	
「関東の地盤」(付録DVD)	地盤工学会 関東支部	
ほくりく地盤情報システム	地盤工学会 北陸支部	
中部支部50周年記念事業	地盤工学会 中部支部	
関西圏地盤情報データベース	関西圏地盤情報協議会	
中国地盤情報データベース	地盤工学会 中国支部	

(6) 液状化マップ

国土交通省のハザードマップポータルサイト (<http://disapotal.gsi.go.jp/>) で、各都道府県、市町村の地盤災害ハザードマップ（液状化）が参照できる。地盤災害ハザードマップ（液状化）の全国版、関東地方版、千葉県版、千葉市版の参考事例を図.解. III. 9～図.解. III. 12 に示す。これら既存マップも参考しつつも、本指針に基づいたボーリング調査結果を用いた詳細な二次判定結果を活用することが望ましい。

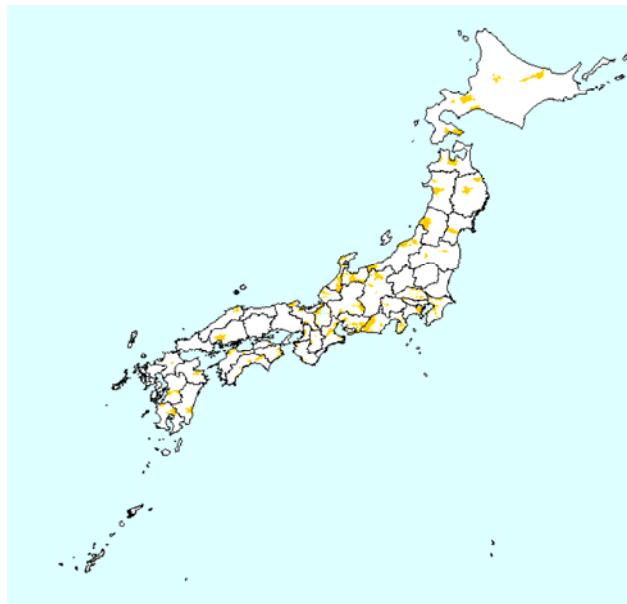


図.解. III. 9 地盤被害（液状化）マップ-全国



図.解. III. 10 地盤被害（液状化）マップ-関東

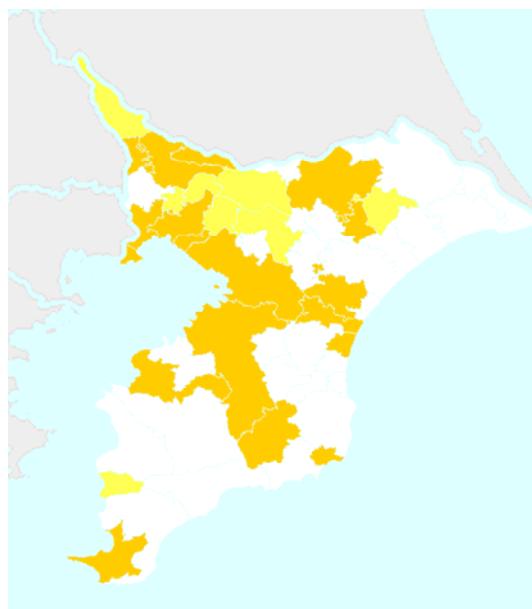


図.解. III. 11 地盤被害（液状化）マップ-千葉県

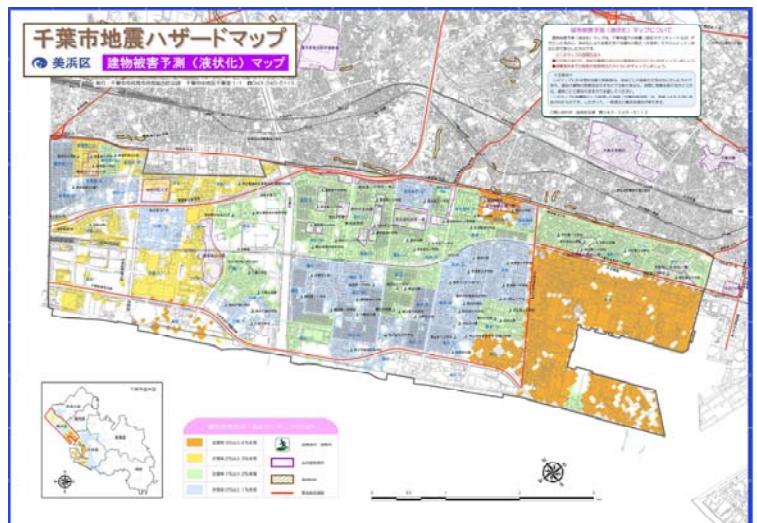


図.解. III. 12 地盤被害（液状化）マップ-千葉市

(7) 液状化被災履歴

過去の液状化被害については、国土交通省（国土政策局）が国土調査の一環として、平成 23 年度から 32 年度までの 10 年間で大都市部を中心に全国 1.8 万 km^2 の災害履歴地（1/50,000 縮尺）を作成しホームページで公表している。現時点では、東京、神奈川、千葉、埼玉、岐阜、愛知について公表しており、三重県、大阪周辺、静岡、浜松については調査中である。

※http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/land_history_2011/pdf_index.php
東京東北部の参照事例を図. 解. III. 13 に示す。

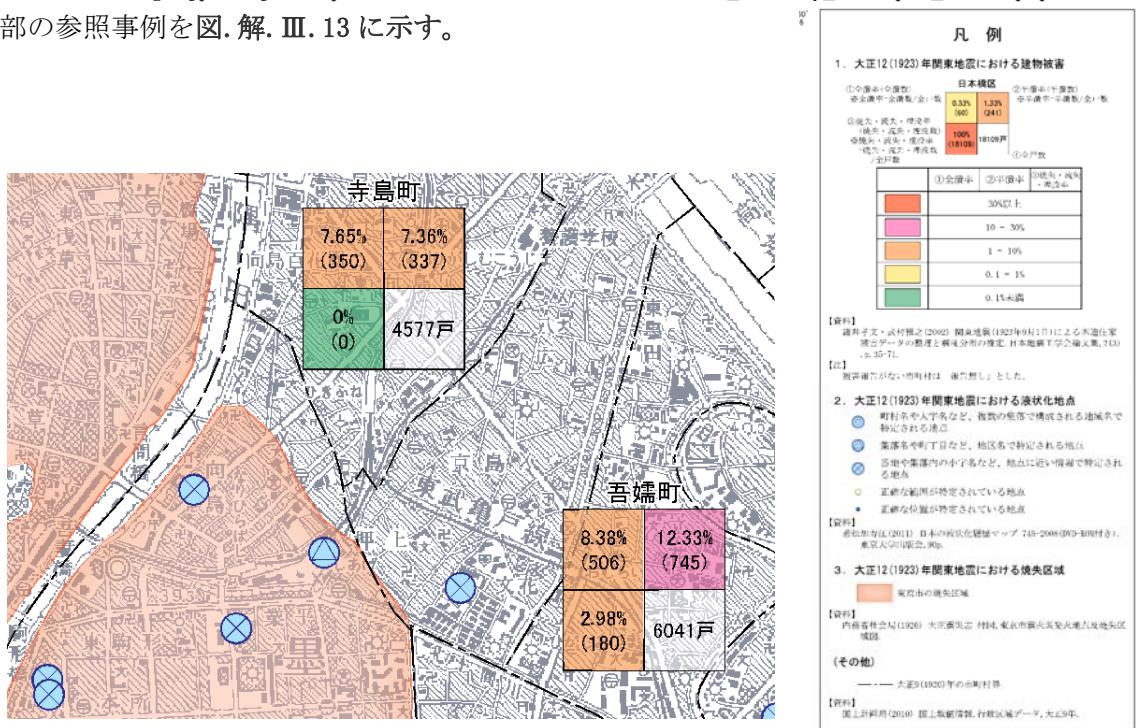


図. 解. III. 13 液状化被災履歴図（東京東北部）

※

http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/land_history_2011/pdf_flood.php

※土地分類基本調査図（土地履歴調査）/災害履歴（地震災害）/東京東北部（部分）

また、若松は、「日本の液状化履歴マップ 745-2008」を整理して発刊しており参考になる。

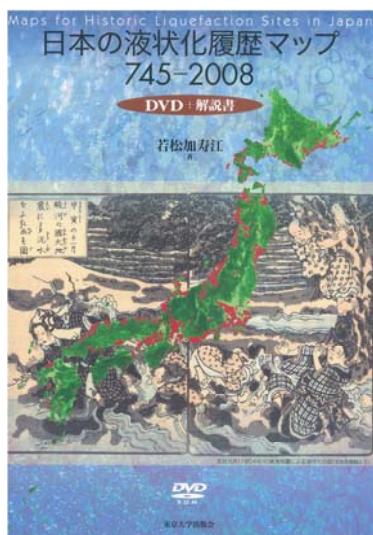


図. 解. III. 14 日本の液状化履歴マップ 745-2008

※若松加寿江, 日本の液状化履歴マップ 745-2008, DVD+解説書, 東京大学出版会, 2011 年 3 月

IV. 二次判定

IV.1 地盤調査

- (1) 地盤調査は、判定対象宅地の面積、形状、地形状況、地層の変化状況等の要因を十分に配慮して、ボーリング本数および土質試験を計画するものとする。判定対象宅地のごく近傍に（2）から（4）を満たす既存のボーリング調査結果がある場合は、これを活用することもできる。
- (2) 調査深度は、地表から深度 20m を基本とする。
- (3) 調査資料は、ボーリング調査による地層構成、地下水位、標準貫入試験値（N 値）、室内土質試験による粒度特性（細粒分含有率、粘土分含有率、塑性指数）、土の単位体積重量とする。
- (4) 各調査・試験は、日本工業規格（JIS）および地盤工学会指針（JGS）にしたがって行うこととする。

【解説】

1. 地盤調査計画

判定対象宅地の液状化被害の可能性判定は、下記の諸要因により影響を受けるので、ボーリング調査箇所数および調査位置、等の地盤調査計画に際しては、下記の要因を十分に配慮して計画する必要がある。

- ① 判定対象宅地の面積および形状
- ② 判定対象宅地の地形状況（埋立地・その他）
- ③ 判定対象宅地の地層の変化状況（均一・不均一）

判定対象宅地の形状を長方形（1 街区 20 棟、1 棟当たり面積は約 50 坪）と仮定し、6 棟配置、40 棟配置した場合のボーリング調査間隔の目安を表.解. IV. 1 に、ボーリング計画位置図例を図.解. IV. 1、図.解. IV. 2 に示す。

宅地開発敷地の形状、地層の変化の度合い、等を十分に配慮してボーリング調査本数および調査位置を計画する必要がある。

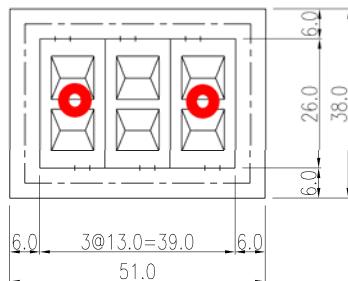
判定対象宅地の液状化対象層の深度、層厚の変化が比較的均一の場合、ボーリングは、1,000～2,000 (m²) を目安とする。液状化対象層の深度、層厚の変化が不均一の場合には、より密にボーリング調査を行う必要がある。

判定対象宅地の面積が大規模な場合には、まず概略調査を行い、概略調査結果に基づいて詳細調査を行う方が合理的な場合があるので適宜判断することが望ましい。

ボーリング調査は、原則として判定対象宅地内、あるいは判定対象宅地近傍の調査結果を用いる。また、周辺のボーリング調査結果から判定対象宅地の土質定数を推定できる場合には、周辺のボーリング調査結果に基づいて判定してもよい。

表. 解. IV. 1 ポーリング調査間隔の目安

宅地開発規模	面 積 (m ²)	標準の配置の場合(均一地盤)		
		ポーリング 本数	1本当り面積:A (m ²)	L=√A
6棟	38m × 51m	2	969	31
40棟	70m × 142m	5	1,988	45



【判例】
○: ポーリング調査計画位置

図. 解. IV. 1 ポーリング計画位置図例

(6棟配置の場合)

ポーリング調査箇所: 2箇所

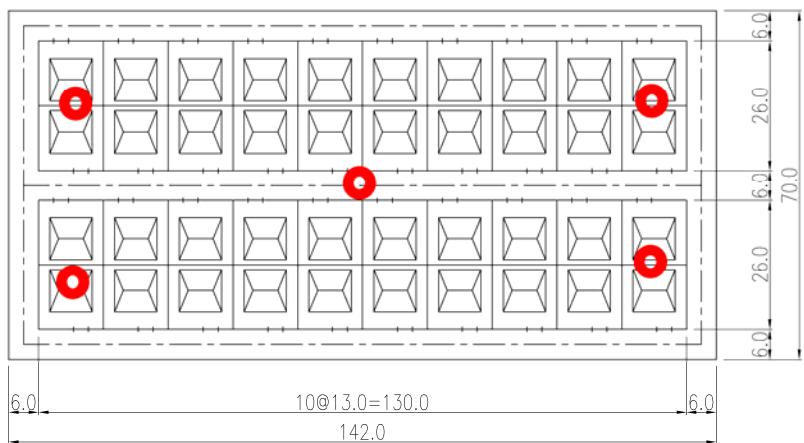


図. 解. IV. 2 ポーリング計画位置図例 (40棟配置の場合) ポーリング調査箇所: 5箇所

2. 調査深度

調査深度については、「建築基礎構造設計指針」、および「道路橋示方書・同解説 V. 耐震設計編」ともに20mとしている。

従って、上記の指針等の F_L 値の算定方法との整合性に配慮して、調査深度は想定する地盤面から20mまでとする。

ただし、周辺のボーリング調査結果から、想定する地盤面から20mまでの層構成等を把握できる場合には、新規に実施するボーリング調査の調査深度は20mまで実施しなくてもよいこととする。

3. 調査資料

液状化判定において必要となる調査資料は、一般に次のものである。

- ① 地層構成
- ② 地下水位
- ③ 標準貫入試験値（N値）
- ④ 粒径加積曲線の50%通過粒径（ D_{50} ）、10%通過粒径（ D_{10} ）
- ⑤ 細粒分含有率（ F_c ）
- ⑥ 塑性指数（ I_p ）
- ⑦ 土の単位体積重量

これらの資料を得るために、標準貫入試験を併用したボーリング調査を行い、採取された試料の内、液状化判定対象層の粒度試験を行う。また、土の湿潤密度は上記の標準貫入試験試料を用いて土粒子の密度・含水比試験を行い、その結果から湿潤密度を測定する。また、既往試験の整理結果から地層名に対応して湿潤密度を推定できる。

地盤調査の標準的な調査・試験方法は、以下に示すとおりである。

- ・標準貫入試験値（N値）は、ボーリング孔を利用した標準貫入試験により1mピッチで行う。
- ・粒度特性は、標準貫入試験などで採取した試料を用いて室内で粒度試験を実施し、細粒分含有率（ F_c ）、50%粒径（ D_{50} ）、10%粒径（ D_{10} ）を求める。
- ・塑性指数（ I_p ）は、標準貫入試験などで採取した試料を用いて液性・塑性限界試験を実施して求める。
- ・地下水位の設定方法には下記の方法があるが、近傍の複数のボーリング調査結果を収集し、地下水位の面的分布や季節変動（特に、豊水期水位）を考慮して、想定される最高水位を設定することが望ましい。
 - ① 周辺に観測井がある場合には、観測水位から設定する。
 - ② ボーリング孔内水位から設定する。
 - ③ 既調査資料から設定する。
- ・スウェーデン式サウンディングに代表される簡易サウンディングは、地層の変化等を把握する方法として有効であるので、ボーリング調査を補完するために使用する。

4. 調査・試験の準拠指針等

地盤調査・試験については、日本工業規格（JIS）および地盤工学会指針（JGS）にしたがって行うこととする。

IV.2 二次判定

(1) 二次判定手法

二次判定は、ボーリング調査結果から、各層の液状化に対する安全率（ F_L 値）を算定し、これを基に算定される非液状化層厚（ H_1 ）と地表変位量（ D_{cy} 値）、又は液状化指標値（ P_L 値）から(4)(i)の判定図等を使用して顕著な液状化被害の可能性を判定する。

F_L 値に基づく各数値の算定は「建築基礎構造設計指針（日本建築学会 平成 13 年 10 月）」、「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編（日本道路協会 平成 24 年 3 月）」等を基本とする。

(2) 想定する地震動

本指針は、震度 5 程度の中地震を対象としており、液状化に対する安全率（ F_L 値）の算定には、下記の数値を用いるものとする。

(i) 「建築基礎構造設計指針」を基本とする場合

- ・マグニチュード : 7.5
- ・想定最大加速度 α_{max} : 200 (gal)

(ii) 「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」を基本とする場合

- ・想定震度 k_{hgl} : 0.20

なお、上記の地震動を上回る地震動を対象とする場合には、計算条件等を慎重に検討する必要がある。

(3) 想定する地盤面

判定対象宅地の地表面標高は、宅地の地盤面とする。

盛土工事等によってボーリング調査時の地表面標高と判定対象宅地の地盤面標高が異なる場合には、ボーリング調査時の各層の液状化強度比をそのまま用いるものとする。

(4) ボーリング調査毎の判定

(i) 判定図

ボーリング調査毎の判定は、図IV. 1 の判定図等、及び表. IV. 1 判定図の数値表により「A：顕著な被害の可能性が低い」、「B：顕著な被害の可能性が比較的低い」、「C：顕著な被害の可能性が高い」の3ランクで判定する。

判定は下記の建築 H_1 - D_{cy} 法、建築 H_1 - P_L 法、道示 H_1 - P_L 法の内、いずれかの方法を選定して行うものとする。

- ・「建築 H_1 - D_{cy} 法」：「建築基礎構造設計指針」を基本とし、非液状化層厚（ H_1 ）と地表変位量（ D_{cy} 値）の関係から判定する手法
- ・「建築 H_1 - P_L 法」：「建築基礎構造設計指針」を基本とし、非液状化層厚（ H_1 ）と液状化指標値（ P_L 値）の関係から判定する手法
- ・「道示 H_1 - P_L 法」：「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」を基本とし、非液状化層厚（ H_1 ）と液状化指標値（ P_L 値）の関係から判定する手法

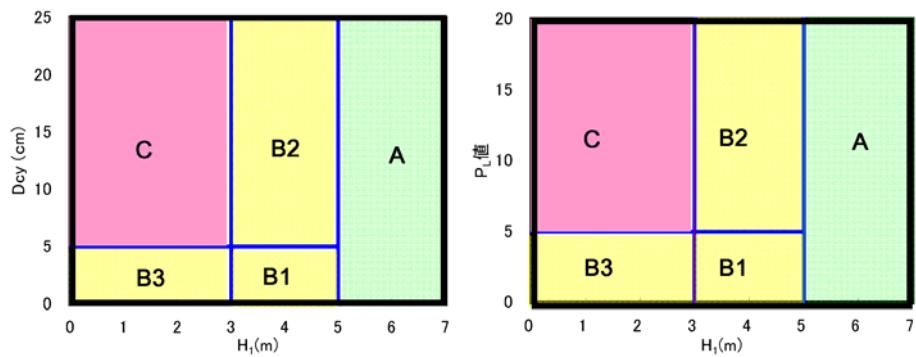


図.IV.1 H_1 値、 D_{cy} 値、 P_L 値による判定図

表.IV.1 判定図の数値表

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

(ii) 判定対象層

判定対象層は表. IV. 2 のとおりとする。

表. IV. 2 判定対象層

		地表面から20m程度以浅の沖積層・埋立土・盛土			
		平均粒径10mm以下で、かつ10%粒径が1mm以下の土層			
細粒分含有率35%以下の層	細粒分含有率35%を超える層		細粒分含有率35%以下の層	細粒分含有率35%を超える層	
	粘土分含有率が10%以下の層	塑性指数15以下の層		粘土分含有率35%以下の層	塑性指数15以下の層
「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	-----			○	○

(iii) 液状化に対する安全率 (F_L値)

液状化に対する安全率 (F_L値) は、(ii) の判定対象層について、「建築基礎構造設計指針」又は、「道路橋示方書・同解説 V. 耐震設計編」を基本とし、算定する。

ただし、沖積層で圧密時間が 400~500 年以上経過していることが明らかな場合には、地盤の生成年代効果を考慮することができるものとする。

液状化に対する安全率 (F_L値) に乘ずる地盤生成年代による補正係数は 1.4 を上限とする。

(vi) 非液状化層厚 (H₁)

非液状化層厚は、地盤面から連続する表. IV. 3 の層とする。

表. IV. 3 非液状化層厚 (H₁)

	地下水位より浅い層	地下水位より深い層			
		液状化の安全率 (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)	平均粒径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)
「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	○	○	○	-----	○

(v) 地表変位量 (D_{cy}値) の算定方法

地表変位量 (D_{cy}値) は、「建築基礎構造設計指針」4.5 節地盤の液状化、“2. 液状化に伴う地盤物性と地盤変形量の予測”に準拠し、判定対象層は (ii)、液状化に対する安全率 (F_L値) は (iii) によるものとする。

(vi) 液状化指標値 (P_L値)

液状化指標値 (P_L値) は、下式により算定し、判定対象層は (ii)、液状化に対する安全率 (F_L値) は (iii) によるものとする。

$$P_L = \sum F \cdot w (Z) \cdot \Delta Z$$

$$F = 1.0 - F_L \quad (F_L \leq 1.0 \text{ の場合}) \quad F = 0.0 \quad (F_L > 1.0 \text{ の場合})$$

ここで、F_L : 液状化に対する安全率

w (Z) : 深さ方向の重み関数

$$\text{判定深度 } 20m \quad w (Z) = 10.0 - 0.5 \cdot Z$$

Z : 地表面からの深さ (m)

ΔZ : ある深度の FL が分布すると想定される土層厚

(5) 宅地全体の判定

判定対象宅地全体の判定は、ボーリング地点毎の判定結果に基づいて、原地形の状況や地層の変化状況等について考慮し、必要に応じて区域を区分して行うこととする。

【解説】

1) 二次判定手法

二次判定は、ボーリング調査結果の標準貫入試験値 (N値) や粒度特性から各層の液状化に対する安全率 (F_L値) を算定し、これを基に算定される非液状化層厚 (H₁) と液状化指標値 (P_L値)、又は地表変位量 (D_{c,y}値) から (4) (i) の判定図等を使用して、顕著な液状化被害の可能性を判定する。

各数値の算定は、「建築基礎構造設計指針（日本建築学会 平成 13 年 10 月）」および[道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編(日本道路協会 平成 24 年 3 月)]等を基本とする。

2) 想定する地震動

(1) 想定地震動

想定地震動は、各指針等により下記のとおりとする。

(i) 「建築基礎構造設計指針」(日本建築学会:平成13年10月)を基本とする場合

- マグニチュード : 7.5
- 想定最大加速度 α_{\max} : 200(gal)

(ii) 「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」(日本道路協会:平成24年3月)

- 想定震度 : $k_{hg1} = 0.20$

「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」P135では、液状化の判定に用いる地盤面の設計水平震度は、下記のように規定されている。

$$k_{hgL} = C_Z \cdot k_{hgL0}$$

ここで、 k_{hgL} : 液状化の判定に用いる地盤面の設計水平震度

C_Z : 地域別補正係数でレベル1地震動に対しては「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」“4.4 地域別補正係数”に規定するレベル1地震動の地域別補正係数とする。

k_{hgL0} : 液状化の判定に用いる地盤面の設計水平震度の標準値で、表-8.2.1の値とする。 表-8.2.1 液状化の判定に用いる地盤面の設計水平震度の標準値 k_{hgL0}

	レベル1 地震動	レベル2 地震動 (タイプI)	レベル2 地震動 (タイプII)
I種地盤	0.12	0.50	0.80
II種地盤	0.15	0.45	0.70
III種地盤	0.18	0.40	0.60

※表番号は、「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」の表番号を示す。

当該判定では、「建築基礎構造設計指針」で規定している最大加速度 $\alpha_{\max} = 200(\text{gal})$ との整合性に配慮して、想定震度として $k_{hg1} = 0.20$ と設定した。

(2) 地域特性への配慮

本指針で想定する地震動は震度5程度の中地震を対象としており、中地震以上の地震は対象としていない。また、全国一律の地震動を設定している。本指針の簡易判定手法は、東北地方太平洋沖地震の被害事例に基づいて再現性を確認しているので、マグニチュード9.0、最大加速度 $\alpha_{\max} = 200(\text{gal})$ に対しては適用可能である。

「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」を基本とする場合、地震動としてマグニチュード9.0、最大加速度 $\alpha_{\max} = 200(\text{gal})$ を適用する場合には、地震動の補正係数 $C_w = 0.80$ を適用した場合が、被害と整合的であるので、地震動の補正係数 $C_w = 0.80$ を使用することとする。

「建築基礎構造設計指針」を基本とする場合には、地震動の補正は不要である。

一方、各地方公共団体では地域防災計画を策定しており各地域の地震環境に配慮した地震動を設定している。地域防災計画で地域固有の地震動を設定し、かつ、基準地震動を上回る地震動を設定している場合には、その地震動を使用してもよい。ただし、想定する地震動を上回る地震動を対象とする場合には、計算条件等を慎重に検討する必要がある。

3) 想定する地盤面

判定対象宅地の地表面標高は、宅地の地盤面とする。

ボーリング調査時の地表面標高と判定対象宅地の地表面標高が異なる場合には、土被りが変わったとしてもボーリング調査時の各層の液状化強度比をそのまま用いるものとする。

4) ポーリング調査毎の判定

(1) 判定手順

「建築基礎構造設計指針」、「道路橋示方書 V. 耐震設計編」の方法を基本とした二次判定の手順を、図.解. IV.3、図.解. IV.4 に示す。

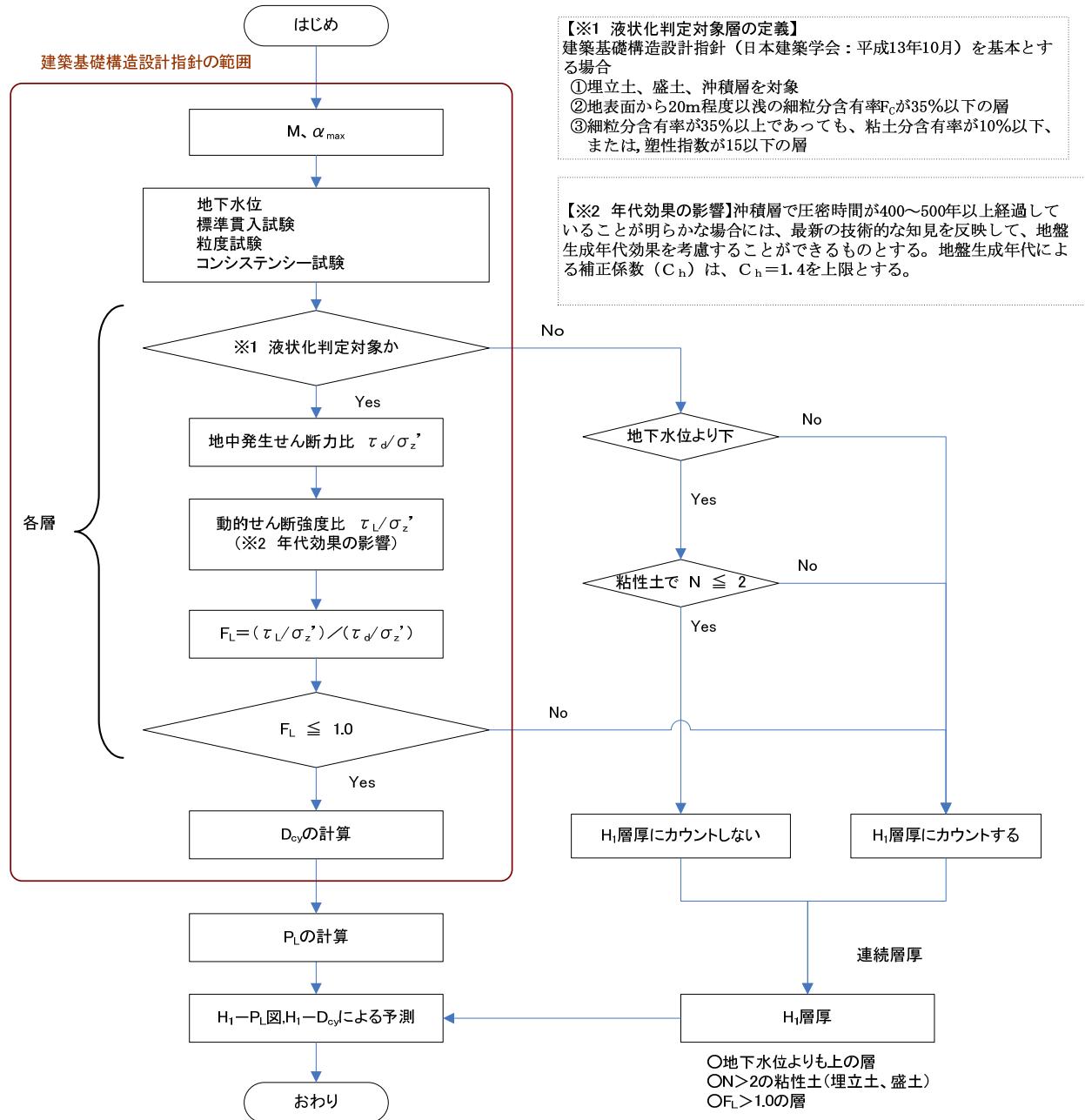


図.解. IV.3 「建築基礎構造設計指針」を基本とする二次判定の手順

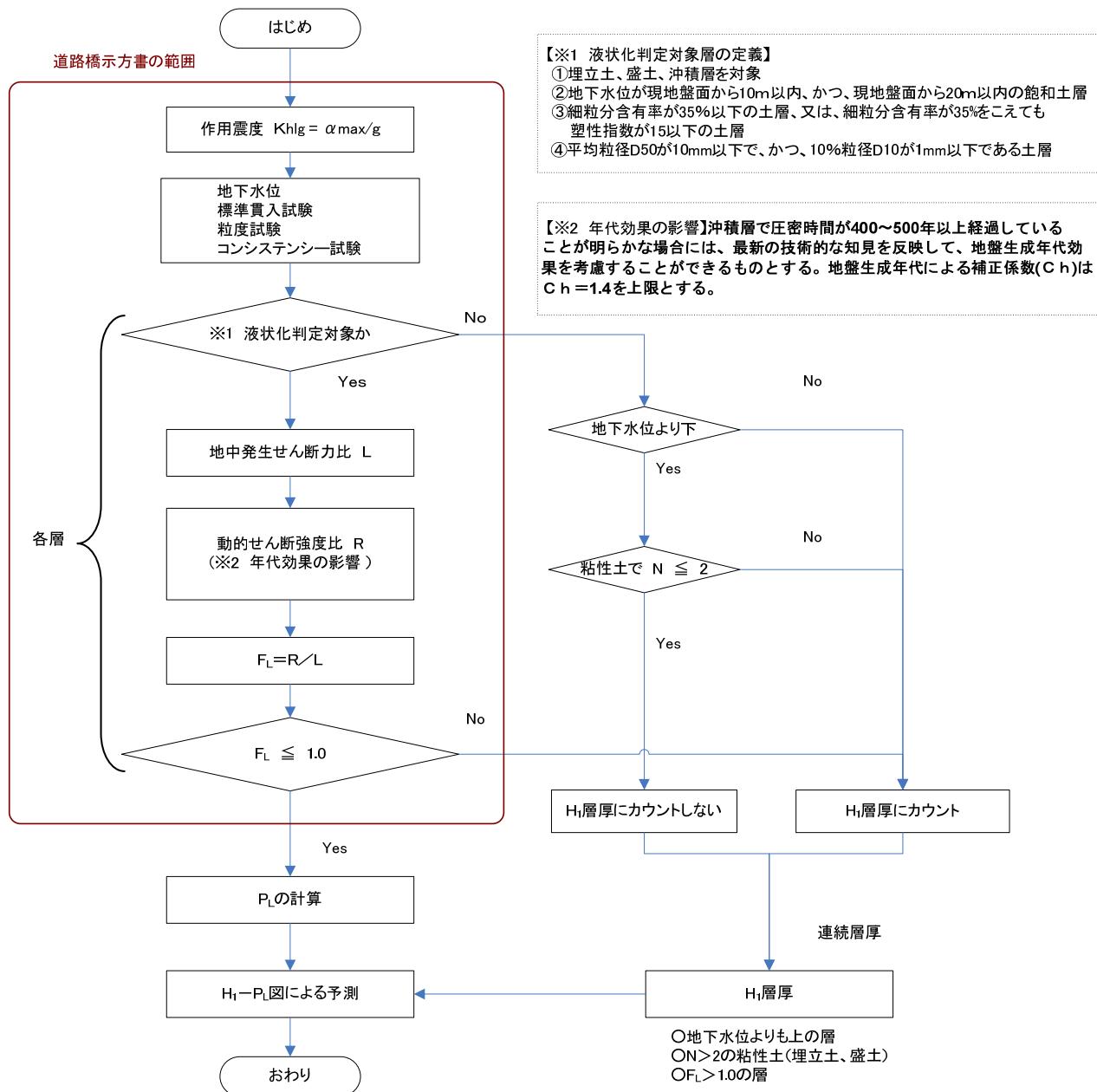


図.解.IV.4 「道路橋示方書 V.耐震設計編」を基本とする二次判定の手順

(2) 判定図

判定は下記の建築 H_1 - D_{cy} 法、建築 H_1 - P_L 法、道示 H_1 - P_L 法の内、いずれかの方法を選定して行うものとする。

- ・「建築 H_1 - D_{cy} 法」：「建築基礎構造設計指針」を基本とし、非液状化層厚（ H_1 ）と地表変位量（ D_{cy} 値）の関係から判定する手法
- ・「建築 H_1 - P_L 法」：「建築基礎構造設計指針」を基本とし、非液状化層厚（ H_1 ）と液状化指標値（ P_L 値）の関係から判定する手法
- ・「道示 H_1 - P_L 法」：「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」を基本とし、非液状化層厚（ H_1 ）と液状化指標値（ P_L 値）の関係から判定する手法

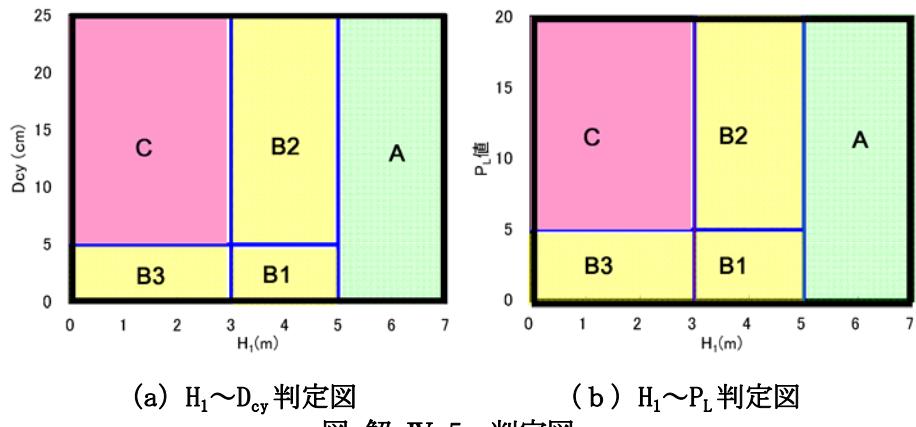


図. 解. IV. 5 判定図

表. 解. IV. 2 判定図の数値表

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

(3) 判定対象層

「建築基礎構造設計指針」および「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」に規定されている判定対象層の規定を表. 解. IV. 3、表. 解. IV. 4 に示す。また、当該指針による判定対象層は、「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」を基本として、表. 解. IV. 5 に示すとおり設定する。既往指針等と当該指針との相違点は下記のとおりである。

(i) 「建築基礎構造設計指針」と当該指針との相違点

「建築基礎構造設計指針」では、細粒分含有率 35%以下の層に関する規定は「沖積層」、細粒分含有率 35%以上の低塑性シルト層に関する規定は「埋立て地盤・盛土地盤」に適用しているが、当該指針では「沖積層、埋立て地盤、盛土地盤」とともに、細粒分含有率 35%以下の層および細粒分含有率 35%以上の低塑性シルト層に関する規定を適用することとした。

(ii) 「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」と当該指針との相違点

「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」では、「沖積層の砂質土層」と規定しているが、当該指針では、「沖積層、埋立て地盤、盛土地盤」に適用することとした。

表.解. IV.3 「建築基礎構造設計指針」による判定対象層

		地表面から20m程度以浅の層	
沖積層		埋立て地盤・盛土地盤	
細粒分含有率が35%以下の層		細粒分含有率35%以上の低塑性シルト 液性限界に近い含水比を持ったシルト	
		粘土分含有率が10%以下の層	塑性指数15以下の層
「建築基礎構造設計指針」	○	○	○

表.解. IV.4 「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」による判定対象層

		沖積層の砂質土層で下記の条件に該当する場合
		地下水位が現地盤面から10m以内にあり、かつ、現時盤面から20m以内の深さに存在する飽和土層
		平均粒径10mm以下で、かつ、10%粒径が1mm以下の土層
細粒分含有率が35%以下の層	細粒分含有率が35%を超える層	
	塑性指数15以下の層	
「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」	○	○

表.解. IV.5 当該指針の判定対象層

		地表面から20m程度以浅の沖積層・埋立土・盛土			
		平均粒径10mm以下で、かつ10%粒径が1mm以下の土層			
細粒分含有率35%以下の層		細粒分含有率35%を超える層	細粒分含有率35%以下の層	細粒分含有率35%を超える層	
		粘土分含有率が10%以下の層	塑性指数15以下の層		塑性指数15以下の層
「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	-----			○	○

(4) 液状化に対する安全率 (F_L値) の算定

液状化に対する安全率 (F_L値) は、「建築基礎構造設計指針」および「道路橋示方書・同解説 V. 耐震設計編」を基本として算定する。

沖積層で圧密時間が 400~500 年以上経過していることが明らかな場合には、地盤生成年代効果を考慮することができるものとする。ただし、地盤の生成年代による補正係数 (C_h) は、C_h = 1.4 を上限とする。

(i) 「建築基礎構造設計指針」を基本とする F_L 値の算定方法

各深さにおける液状化発生に対する安全率 F_L を次式により計算する。

$$F_L = C_h \cdot (\tau_L / \sigma_z') / (\tau_d / \sigma_z')$$

ここで、

F_L : 液状化に対する安全率
 τ_L / σ_z' : 液状化抵抗比
 τ_d / σ_z' : 等価な繰り返しせん断応力比
 C_h : 地盤生成年代による補正係数 (C_h)

① 液状化抵抗比の算出方法

液状化抵抗比 (τ_L / σ_z') は、図. 4.5.1 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 $N_1 = C_N \cdot N$
 ΔN_f : 細粒土含有率に応じた補正 N 値増分で図. 4.5.2 による。
 C_N : 拘束圧に関する換算係数 $C_N = \sqrt{98 / \sigma_z'}$
 σ_z' : ボーリング調査時の有効土かぶり圧 (k N/m²)

② 等価な繰り返しせん断応力比の算出方法

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を次式により計算する。

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

ここで、

τ_d : 水平面に生じる等価な一定繰り返しせん断応力振幅 (k N/m²)
 σ_z' : 検討深さにおける有効土被り圧 (鉛直有効応力) (k N/m²)
 γ_n : 等価な繰り返し回数に関する補正係数で、 $\gamma_n = 0.1$ (M-1)
 ただし、M は地震のマグニチュード
 α_{max} : 地表面における設計用水平加速度 (gal)
 g : 重力加速度 (980gal)
 σ_z : 検討深さにおける全土被り圧 (鉛直全応力) (k N/m²)
 γ_d : 地盤が剛体でないことによる低減係数で (1-0.015z)、z はメートル
 単位で表わした地表面からの検討深さ

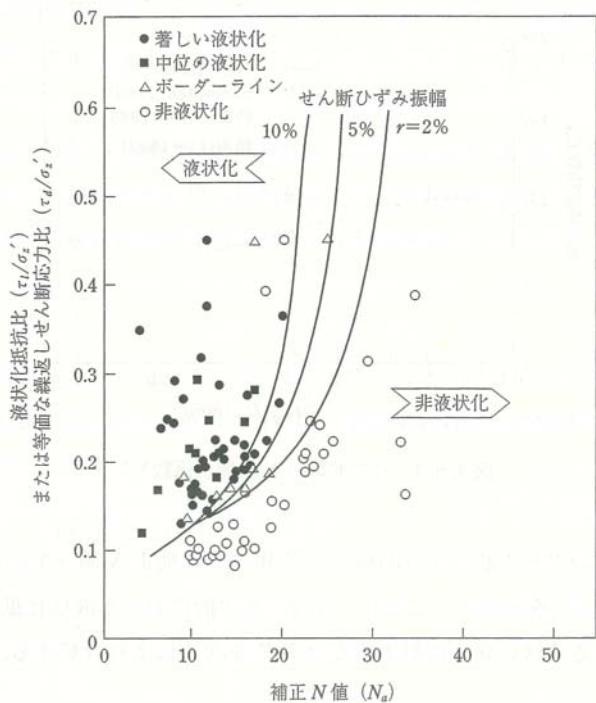


図. 4.5.1 補正N値と液状化抵抗、動的せん断ひずみの関係

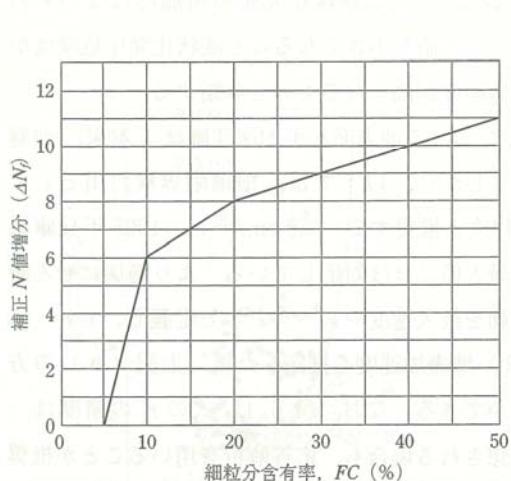


図. 4.5.2 細粒分含有率とN値の補正係数

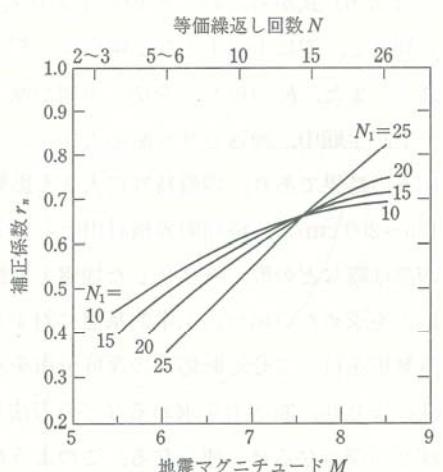


図. 4.5.3 補正N値、マグニチュード、繰り返し回数と補正係数の関係

※図番号は、「建築基礎構造設計指針」（日本建築学会：平成13年10月）の図番号を示す。

(ii) 「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」の F_L 値の算定方法

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。

$$F_L = C_h \cdot R/L$$

$$R = C_w \cdot R_L \quad L = \gamma_d \cdot k_{h g L} \cdot \sigma_v / \sigma_v' \quad \gamma_d = 1.0 - 0.015 \cdot x$$

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_h : 地盤生成年代による補正係数 (C_h)

C_w : 地震動特性による補正係数 $C_w = 1.0$ とする。

R_L : 繰り返し三軸強度比。

繰り返し三軸強度比 R_L は次式で算出する。

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

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

〈砂質土の場合〉

$$N_a = C_1 N_1 + C_2$$

$$N_1 = 170N / (\sigma_v' + 70)$$

$$C_1 = 1 \quad (0\% \leq F_C < 10\%)$$

$$C_1 = (F_C + 40) / 50 \quad (10\% \leq F_C < 60\%)$$

$$C_1 = F_C / 20 - 1 \quad (60\% \leq F_C)$$

$$C_2 = 0 \quad (0\% \leq F_C < 10\%)$$

$$C_2 = (F_C + 10) / 18 \quad (10\% \leq F_C)$$

〈礫質土の場合〉

$$N_a = \{1 - 0.36 \log(D_{50}/2)\} N_1$$

N : 標準貫入試験から得られる N 値

N_1 : 有効上載圧 100 kN/m^2 に相当する換算した N 値

N_1 の計算時にはボーリング調査時の有効上載圧 σ_v' を用いる

N_a : 粒度の影響を考慮した補正した N 値

C_1, C_2 : 細粒分含有率による N 値の補正係数

F_C : 細粒分含有率 (%) (粒径 $75 \mu \text{m}$ 以下の土粒子の通過質量百分率)

D_{50} : 平均粒径 (mm)

γ_d : 地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数

$k_{h g L}$: 液状化の判定に用いる地盤面の設計水平震度 $k_{h g L} = 0.20$ とする。

σ_v : 地表面から深さ x (m) における全上載圧 (kN/m^2)

σ_v' : 地表面から深さ x (m) における有効上載圧 (kN/m^2)

x : 地表面から深さ x (m)

(iii) 地盤生成年代効果の評価

沖積層で圧密時間が400～500年以上経過していることが明らかな場合には、最新の技術的な知見を反映して、地盤生成年代効果を考慮することができるものとする。

液状化強度増加率の経時変化を図.解. IV. 6 に示す。

地盤生成年代による補正係数 (C_h) は、 $C_h = 1.4$ を上限とする。

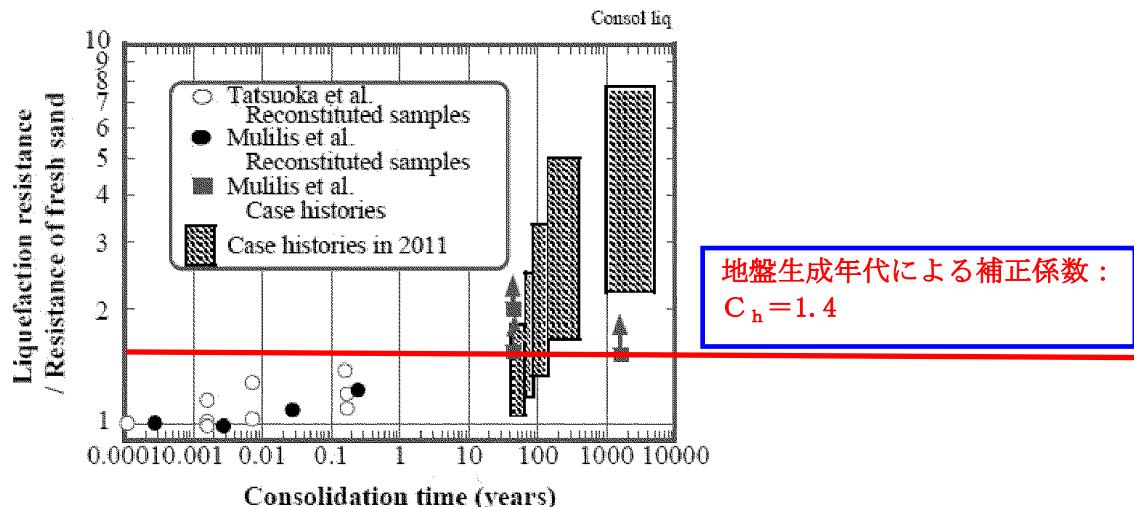


図.解. IV. 6 液状化強度増加率の経時変化

出典：「東北地方太平洋沖地震による東京湾周辺地帯の液状化に基づく年代効果の検討」

田口（不動テトラ）、東畑（東京大学）、青山、大坪 第47回地盤工学研究発表会（八戸）P P 1603-1604、2012年7月

(5) 非液状化層厚 (H_1 値)

非液状化層厚とは、地表面から表.解. IV. 6 に示す条件を満足する連続した層厚である。

非液状化層厚 (H_1) と液状化層厚 (H_2) の関係を図.解. IV. 8 に示す。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 (H_1) に含めないこととした。

表.解. IV. 6 非液状化層厚 (H_1)

地下水位より 深い層	地下水位より深い層				平均粒径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)	
	液状化の安全率 (FL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)			
			粘土分含有率が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	○	○	○	-----	○	

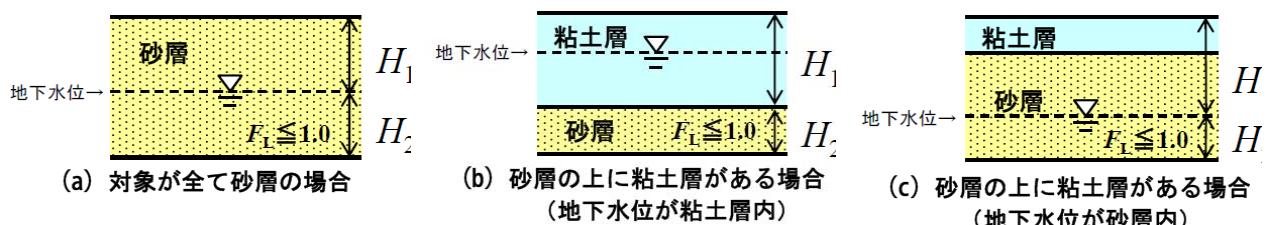


図.解. IV. 7 非液状化層厚 (H_1) と液状化層厚 (H_2) の関係

出典：UR都市機構：宅地耐震設計マニュアル（案）、平成20年

(6) 地表変位量 (D_{cy} 値) の算出方法

水平地盤での動的水平変位、残留水平変位、沈下量、液状化の程度と動的水平変位の予測は、適当な応答解析によるほか、液状化判定の後、以下の手順によることができる。

- 1) 図 4.5.7 から N_a 、 τ_d/σ_z' に対応する各層の繰り返しせん断ひずみ γ_{cy} を推定する。
- 2) 各層のせん断ひずみ γ_{cy} が同一方向に発生すると仮定して、これを鉛直方向に積分して、振動中の最大水平変位分布とする。

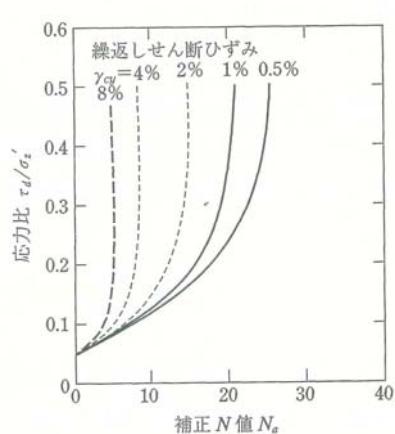


図 4.5.7 補正N値と繰返しせん断ひずみの関係

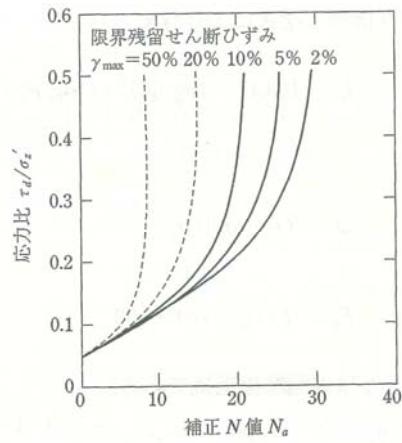


図 4.5.7 補正N値と限界残留せん断ひずみの関係

- 3) 地表変位を D_{cy} とし液状化程度の指標とする。液状化の程度は、 D_{cy} の値により表 4.5.1 のように評価する。

表 4.5.1 地表変位を D_{cy} とし液状化程度の関係

D_{cy} (cm)	液状化の程度
0	なし
-05	軽微
05-10	小
10-20	中
20-40	大
40-	甚大

同様に、沈下量 S を求めたい場合、図 4.5.7 をそのまま使い、 γ_{cy} を体積ひずみ ε_v と読み換えればよい。

※図番号は、「建築基礎構造設計指針」（日本建築学会：平成 13 年 10 月）の図番号を示す。

(7) 液状化指標値 (P_L 値) の算定方法

$$P_L = \sum F \cdot W(Z) \cdot \Delta Z$$

$$F = 1.0 - F_L \quad (F_L \leq 1.0 \text{ の場合}) \quad F = 0.0 \quad (F_L > 1.0 \text{ の場合})$$

ここで、 F_L : 液状化に対する安全率

$W(Z)$: 深さ方向の重み関数 (図. IV. 8 参照)

判定深度 20m $w(Z) = 10.0 - 0.5 \cdot Z$

Z : 地表面からの深さ (m)

ΔZ : ある深度の F_L が分布すると想定される土層厚

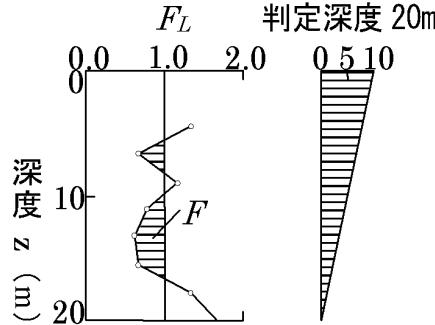


図.解.IV.8 判定深度と重み係数の関係

「建築基礎設計指針」と「道路橋示方書・同解説 V. 耐震設計編」を基本とした場合の P_L 値の算定結果を図.解.IV.9 に示す。

両者は判定式が異なるものの、液状化層の判定については、概ね良好な相関を示しており、どちらを用いてもよい。また、 P_L 値の特徴は下記のとおりである。

- ・細粒分含有率が多い場合、建築の方が小さくなる傾向がある
- ・N 値が 20 を超えるような大きな値の場合、建築の方が小さくなる傾向がある

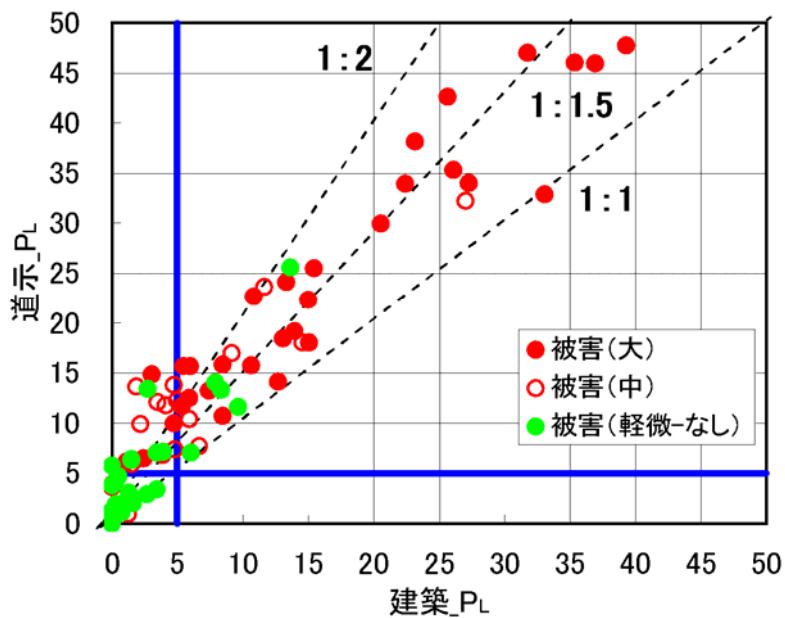


図.解.IV.9 「建築基礎構造設計指針」と「道路橋示方書 V. 耐震設計編」の PL 値の関係

5) 宅地全体の判定

宅地全体の判定は、複数のボーリング調査を実施しているので、ボーリング調査箇所数分の判定結果が得られる。この場合、ボーリング調査実施箇所毎に判定結果が異なる場合もある。判定結果が異なった場合には、原地形の状況や地層の変化状態から異なる要因を明らかにした上で、必要に応じて、区域を区分し判定することとする。

V. 三次判定

- (1) 三次判定は、二次判定結果に基づいて必要に応じて実施する。
- (2) 三次判定は、二次判定と同じ判定図等に基づいて行うことを基本とし、液状化対象層の液状化抵抗比あるいは動的せん断強度比は、繰返し非排水三軸試験を実施して求め、等価な繰り返しせん断応力比あるいは地震時せん断応力比は、一次元地盤応答解析で算定することを基本とする。

【解説】

1) 三次判定の必要性

図. II. 1 の宅地液状化被害の可能性判定フローでは、液状化の二次判定の結果、判定-C (顕著な被害の可能性が高い)、あるいは、判定-B (顕著な被害の可能性が比較的低い) と判定され、三次判定を実施し、より詳細な判定を実施すると判断された場合に実施する。

2) 三次判定の手法

液状化対象層の液状化抵抗比あるいは動的せん断強度比は、繰返し非排水三軸試験を実施して求め、等価な繰り返しせん断応力比あるいは地震時せん断応力比は、全応力法の一次元地盤応答解析で求めることを基本としている。この結果を用いて、 H_1 値、 F_L 値、 D_{c_y} 値、 P_L 値を算定し図. II. 1 非液状化層厚 (H_1) と地表面沈下量 (D_{c_y})、液状化指標値 (P_L 値) による判定図を使用して判定する。

3) その他の方法

他の方法として、全応力法や有効応力法で、住宅と地盤をモデル化した二次元 FEM 解析、三次元 FEM 等を用いて判定する方法がある。また、振動台実験や遠心力載荷実験により判定する方法もある。これらの方針により、“宅地に顕著な液状化被害がほとんどない”、ことを確認する必要がある。一方、これらの解析や実験は、入力地震動、解析的・実験的なノウハウ等の高度な知識と経験がある技術者が実施する必要があり、結果の判定については、慎重に判断する必要がある。

4) 地盤調査

一次元地盤応答解析を行う上での動的土質定数、および液状化対象層の動的せん断強度比を求めるための調査・試験を実施する。

上記の判定を実施する場合には、以下の地質調査データが必要となる。

- ① 地盤の動的せん断弾性係数
- ② 地盤のせん断剛性と減衰定数のひずみ依存性
- ③ 液状化強度

①および②は弾性波速度検層及び変形特性を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験により求める。弾性波速度検層は、地震波 (P 波・S 波) の伝播速度を現地で測定する方法である。これによって、地盤の動的せん断弾性係数 ($G = pV_s^2$ 、 p : 地盤の密度、 V_s : S 波速度) の深さ方向の分布を求める。変形特性を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験は、せん断剛性 G と減衰定数 (h) のひずみ依存性を求める試験である。③の液状化強度は、繰返し非排水三軸試験 (液状化試験) を実施して求める。

①～③までの試験を行うためには、不かく乱試料の供試体が必要である。一方、礫質土のサンプリングは非常に特殊な場合に限定して実施される程度であるので、礫質土の地盤物性は既往の実験試料を用いてもよい。

参考資料 用語の解説

- ・ **F_L 値**
想定される地震動に対する各層の液状化の発生のしやすさを示す指標。 $F_L \leq 1.0$ で液状化する可能性ありと判断される。通常は、深さ 1m 毎に判定を行う。
- ・ **P_L 値**
その地点における地盤の液状化の激しさの程度を表す指標。
各深度での F_L 値を算出し、その値を深さ方向に重みをつけて足し合わせ、調査地点での液状化危険度を表す。液状化の発生する深さや層厚、非液状化層の厚さを勘案されており、液状化危険度マップの作成に使われることが多い。
- ・ **D_{c_y} 値**
液状化時に発生する地盤の沈下量。液状化による生じる地盤の水平変位量と同等。
- ・ **H_1 値**
地表面から液状化しない条件を満足する連続した層厚である。
- ・ **N 値 :**
質量 $63.5 \pm 0.5 \text{ kg}$ のドライブハンマー（通称、モンケン）を $76 \pm 1 \text{ cm}$ 自由落下させて、ボーリングロッド頭部に取り付けたノックングブロックを打撃し、ボーリングロッド先端に取り付けた標準貫入試験用サンプラーを地盤に 30 cm 打ち込むのに要する打撃回数（標準貫入試験（JIS A 1219））により求められる地盤の強度等を表す指標。
- ・ **粒度特性**
土質試験法（土質工学会）の粒度試験、液・塑性試験から得られる土粒子の大きさが分布する状態を質量百分率で表したもの。試験結果は、粒径加積曲線、50%粒径 D_{50} 、10%粒径 D_{10} 、細粒分含有率、塑性指数、等で表される。
- ・ **細粒分含有率**
土中にある粒子のうち、 0.075 mm ふるいを通過した粒子の含有質量百分率をいい、FC で表す。（JIS A 1223 2000）。地盤材料の工学的分類方法では、細粒土と粗粒土に分類するのに用いられる。また、N 値から液状化の判定を行う場合の対象土層の条件及び砂質土の繰返し三軸強度比を求める際の係数や、盛土の品質管理を規定するための材料区分にも使われる。
- ・ **粘土分含有率**
土中にある粒子のうち、 0.005 mm ふるいを通過した粒子の含有質量百分率。
- ・ **塑性指数**
ある土が塑性の状態を保つ上限と下限の含水比の幅を示す指数。土の塑性範囲を定量的に示した数値であつて、塑性指数の値が大きい土ほど塑性度が高く、より塑性的な土である。
- ・ **地下水位**
地表面を基準として測った地下水までの深さ。

参考資料 液状化対策

- (1) 宅地の開発者、所有者あるいは購入者は、適切な調査結果に基づいて、地震に対する安全性と経済性を考慮して、各々の責任により液状化対策の実施の有無や工法等を選択することが望ましい。
- (2) 液状化対策の工法等は、対策効果、経済性、施工性、周辺環境への影響（騒音・振動および地盤変状）、建築建屋施工への影響等を総合的に勘案して選定することが望ましい。
- (3) 液状化対策を建屋建築後に実施する場合、施工空間上の制約や建物への影響を抑制する必要があり工事費は割高となるので、建屋建築前に実施することが望ましい。また、宅地1区画毎よりも複数区画で実施する方が効率的であり工事費は割安となるので、ある程度まとまった施工規模で実施することが望ましい。

【解説】

1) 液状化対策の選択

戸建て住宅は個人の財産であり、宅地の開発者、所有者あるいは購入者は、液状化対策を講じるか否かも含めて自由に選択することができる。

液状化に対する対策には、一般に次の5つに大別される。

- ① 地盤の液状化そのものを防止・軽減する対策【地震発生前対策、(例) 浅層盤状改良工法】
- ② 液状化の発生は許すが、建屋の被害を防止する対策【地震発生前対策、例) 杭基礎】
- ③ 事前に沈下・傾斜修復装置を設置し、家屋が被害を受けた場合に修復する対策
【地震発生前対策、(例) ジャッキ受け台等を設置】
- ④ 地震発生後に家屋が被害を受けた場合、沈下・傾斜を修復する対策
【地震発生後対策、(例) ポイントジャッキ工法、根掲（ねがらみ）工法】
- ⑤ 保険に加入するリスク回避対策【地震発生前対策、(例) 地震保険】

上記の各対策は、地震被害に対する受認性、経済性、周辺環境条件、等に基づいて、自由に選択が可能である。しかし、2011年東北太平洋沖地震では、液状化による戸建て住宅は甚大な被害を受けてるので、宅地の開発者、所有者あるいは購入者は、宅地の耐液状化性能に関する情報を共有化し、その情報を承知した上で選択する必要がある。

2) 液状化対策工法の選定

戸建て住宅の場合、必要な非液状化層厚(H_1)を確保できれば、非液状化層以深の層が液状化しても建物に被害が及ばないことが過去の研究で明らかとなっている。

宅地の場合の液状化対策の直接的な効果としては、下記の3項目がある。

- ① 非液状化層厚(H_1)を厚くする。
- ② 地表面沈下量(D_{cy})、液状化指標値(P_L)を小さくする。
- ③ 液状化の安全率(F_L 値)を1.0以上にする。

一方、地盤の液状化そのものを防止・軽減する対策として、下記の2工法が代表的である。

- ① 浅層盤状改良工法
- ② 盛土工法

戸建て住宅の場合に適用できる工法は限定されるが、地盤工学会では、『浅層盤状改良による宅地の液状化対策研究委員会』において、浅層盤状改良工法を選定している。また、大規模

造成宅地の場合には、盛土工法も有効となる場合もある。

尚、地盤の液状化対策に関する工法については、現在においても技術の進展が著しいため、最新の情報も含めた検討を行い、対策工法を選定する必要がある。現時点における液状化対策工法の有効な工法を表.参.1、表.参.2に示す。

(1) 浅層盤状改良工法

当該工法は、地盤工学会の浅層盤状改良による宅地の液状化対策研究委員会（研究代表者：谷和夫 横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院）で2012年2月～2012年9月間で研究された工法であり、宅地の接地圧や過去の宅地と非液状化層厚に関する研究に基づいて、地表面から浅層盤状に改良する工法である。

- ① 密度増大工法：静的締固め工法と静的圧入工法がある。ケーシングパイプやロッドなどにより地盤中に砂やモルタルを圧入し、地盤を締め固める方法である。
- ② 固化系工法：セメントなどの改良材を地盤内で攪拌混合する中層混合処理工法や薬液注入工法
- ③ 排水工法：透水性の良い採石を地盤内に設置して、液状化時に発生する過剰間隙水圧の早期消散を図るものである。

(2) 盛土工法

当該工法は、地震時に宅地に被害を及ぼさない非液状化層厚を確保するために、盛土材を撒き出し転圧し盛土をする工法である。当該工法を適用できるのは大規模造成宅地の場合である。

狭い宅地の場合には、盛土端の擁壁部下周辺領域については、期待する土中の有効応力の増加は見込めない。従って、別途、液状化対策および擁壁の支持力確保のための対策が必要となるので、十分な留意が必要である。また、当該工法を採用する場合には、二次元地盤応答解析、等の高度な解析手法を用いて、盛土および家屋の安全性を確認することが必要である。

(3) 対策工法選定上の留意事項

液状化対策工を選定する上での留意すべき事項は下記のとおりである。

- ①対策効果（土質性状や改良深度と工法の適用性、）
- ②経済性（調査コスト・初期対策コスト・リスクコスト）
- ③建屋建設上の制約事項（直接基礎、杭基礎、地下室構築上）
- ④施工性（施工規模・施工機械・搬入路）
- ⑤周辺環境への影響
- ⑥その他（改築時の対応事項・大地震に対する韌性、他）

3) 液状化対策の施工時期・施工規模

液状化対策を建屋建築後に実施する場合、建屋物直下での施工は難しくなり、建屋周囲の施工スペースも極めて限定的な空間となるので、液状化対策を施工する上での制約が大きくなる。また、建屋直近での施工となるので、建屋への影響を抑制できる工法を選定する必要がある。このような制約は、結果として工事費に反映することとなり、建屋が存在しない状態と比べると施工費は割高となる。従って、液状化対策は、建屋建築前に実施することが望ましい。

一方、工事費は施工規模の影響を受け、施工規模が大きくなると効率的な施工が可能となるので工事費は割安となる。従って、宅地1棟毎に実施するよりも、ある程度まとまった施工規模で実施することが望ましい。

表. 参-1 新規造成宅地の液状化対策工法 (その 1)

工法原理 /工法名	工法概要 施工イメージ	工法の特徴	対策効果 (改良地盤の状態)	家屋建設の制約	その他の課題・留意点	概算工事費 (1戸当り 万円)				備 考	
						対策 規模	液状化 対策費	事前事後 調査費等	全体 工期		
密度増大 静的締固め砂杭工法		<ul style="list-style-type: none"> 低振動、低騒音の施工が可能。 施工実績が豊富で、液状化防止の効果も多数確認されている。 深度 20m 程度まで地盤を締め固めることができる。 細粒分含有率 30%程度までの地盤で効果が大きい。 	<ul style="list-style-type: none"> 締まった砂地盤となり、當時の剛性、液状化強度ともに増加する。 	<p>【ベタ基礎、布基礎】 特に制約はない。</p> <p>【杭基礎】 特に制約はない。</p> <p>【地下室がある場合】 改良深度より深い場合、別工法にて対策する必要がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 対象地盤の物性で改良率 (工費) が変化する。 施工機械を反力としてケーシングを圧入するため、高さ 30m 程度の大型施工機械が必要である。 施工時の周辺地盤の変位を抑制するため、施工順序の工夫や外周部の変位吸収孔の設置が必要である。 地表面付近 (GL~1.5m 程度) は有効上載圧が小さく締固め効果が得にくい。 	20棟 13m ×13m ×20棟 ≈3400m ²	【深度 5m】 110~310	13 全体で事後 260	1~3ヶ月 (1台)	SAVE コンポーザー工法 SDP 工法 ほか	
密度増大 静的圧入締固め工法	 	<ul style="list-style-type: none"> 地中に貯入した小径ロッドを通じ、砂やモルタルなどの材料をポンプを用いて地盤中に圧入することで、周辺地盤を締め固める。 	<p>SAVE-SP (砂注入)</p> <ul style="list-style-type: none"> 低振動、低騒音の施工が可能。 施工機械は数 m の大きさで、施工空間が比較的の自由。 ボーリングマシン等の削孔機を用いることで硬質層の削孔も可能。 細粒分含有率 30%程度までの地盤で効果が大きい。 	<p>SAVE-SP (砂注入)</p> <p>【ベタ基礎、布基礎】 特に制約はない。</p> <p>【杭基礎】 特に制約はない。</p> <p>【地下室がある場合】 改良深度より深い場合、別工法にて対策する必要がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 地盤の物性で注入量 (工費) が変化する。 施工時の周辺地盤の変位を抑制するため、施工順序の工夫や外周部の変位吸収孔の設置が必要である。 地表面付近 (GL~1.5m 程度) は上載圧が小さいので締固め効果が得にくい。 	20棟 13m ×13m ×20棟 ≈3400m ²	【深度 5m】 340~1050	13 全体で事後 260	2~5ヶ月 (1プラント)	SAVE-SP 工法 CPG 工法	
密度増大 静的圧入締固め工法			<p>CPG (モルタル注入)</p> <ul style="list-style-type: none"> 低振動、低騒音の施工が可能。 施工機械は数 m の大きさで、施工空間が比較的の自由。 ボーリングマシン等の削孔機を用いることで硬質層の削孔も可能。 細粒分含有率 30%程度までの地盤で効果が大きい。 	<p>CPG (モルタル注入)</p> <p>【ベタ基礎、布基礎】 固化体が配管の障害になる場合がある。</p> <p>【杭基礎】 固化体が杭の障害になる場合がある。</p> <p>【地下室がある場合】 改良深度より深い場合、別工法にて対策する必要がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 地盤の物性で注入量 (工費) が変化する。 施工時の周辺地盤の変位を抑制するため、施工順序の工夫や外周部の変位吸収孔の設置が必要である。 地表面付近 (GL~1.5m 程度) は上載圧が小さいので締固め効果が得にくい。 土地売却時には、掘削の障害物があることを明示する必要あり。 転売時、掘削、撤去を求められる可能性がある。 	20棟 13m ×13m ×20棟 ≈3400m ²	【深度 5m】 470~1380	13 全体で事後 260	2~5ヶ月 (3プラント)		
							【深度 3m】 330~930	11 全体で事後 210	1.5~3ヶ月 (3プラント)		
地盤の固化 機械攪拌混合処理		<ul style="list-style-type: none"> セメントスラリーや粉体セメント等の固化材を地中に吐出しつつ、攪拌装置を用いて原地盤と攪拌混合しソイルセメントを造成する。 	<ul style="list-style-type: none"> 低振動、低騒音の施工が可能。 パックホウベースの施工機械が基本であるが、施工スペース、改良規模、地盤条件により様々な機械の選択が可能。 周辺地盤の変位が少ない工法を選択可能。 	<p>・$qu = \sim 1000 \text{ kN/m}^2$ の固化体</p> <p>・固化体は液状化しない。</p> <p>・常時荷重に対する支持力増加、沈下対策にも有効。</p> <p>・住宅では防振対策としても有効である。</p>	<p>【ベタ基礎、布基礎】 基礎下面と改良盤上面は揃うよう調整する必要がある。</p> <p>【杭基礎】 固化盤を削孔しなければならない。</p> <p>【地下室がある場合】 固化盤を撤去してしまうので別工法にて対策する必要がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 硬質層がある場合は掘削の補助が必要なこともある。 土地売却時には、掘削の障害物があることを明示する必要あり。 転売時、掘削、撤去を求められる可能性がある。 固化土からの六価クロム溶出の有無確認が必要。 	20棟 13m ×13m ×20棟 ≈3400m ²	【深度 5m】 330	22 全体で事前 290	3ヶ月 (1台)	VM 工法 (~3m) RM/ARM 工法 (~4m)
							【深度 3m】 210	21 全体で事前 270	2ヶ月 (1台)	パワーブレンダー (~10m)。	
								事後 140			
間隙水圧消散 ドレン工法		<ul style="list-style-type: none"> グラベルドレン: ケーシングパイプを地中に貯入し、透水性の良い碎石を地中に排出し碎石の柱を造成する。この柱が地震時に生じる過剰間隙水圧を消散させる。 人工材ドレン: 人工材料のドレン材を設置し水みちとして間隙水圧のを消散させる。ドレン材周面はフィルターで目詰まりを防止できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 低振動、低騒音の施工が可能。 周辺地盤変位はほとんどない。 細粒分が多い地盤や地震条件によつては、設計が成り立たないこともある (打設間隔が小さすぎ地盤の置き換えと同じになる)。 地震後は排水により沈下が生じる可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 常時の剛性変化せず液状化強度が増加するのみ 	<p>【共通事項】 地震後は排水により沈下が生じる可能性がある。</p> <p>【ベタ基礎、布基礎】 特に制約はない。</p> <p>【杭基礎】 杭の干渉を避ける必要がある。</p> <p>【地下室がある場合】 改良深度より深い場合、別工法にて対策する必要がある。</p> <p>【その他】 基礎下面とグラベルマット上面が揃うよう調整する必要がある。</p>	<p>人工材ドレン</p> <ul style="list-style-type: none"> 土地売却時には、掘削の障害物があることを明示する必要あり。 転売時、掘削、撤去を求められる可能性がある。 	20棟 13m ×13m ×20棟 ≈3400m ²	【深度 5m】 140~520	事前事後ともに調査なし	1.5~5ヶ月 (1台)	小径ドレン工法 グラベルドレン工法 ボーラスドレン工法
							【深度 3m】 90~320	事前事後ともに調査なし	1~1.5ヶ月 (1台)		

※工費算出条件：一度に 20 棟 3400m² を施工可、専門業者の費用のみ (元請け経費含まず)、対策費には施工費と組立解体運搬費を含む、固化では試料採取と配合試験のため事前調査費を計上、平成 25 年 1 月関東地区的物価を元に算出

表. 参-2 新規造成宅地の液状化対策工法（その2）

工法原理 ／工法名	工法概要 施工イメージ	工法の特徴 (利点)	対策効果 (改良地盤の状態)	家屋建設の制約	その他の課題・留意点	概算工事費（1戸当り 万円）				備考
						対策 規模	液状化 対策費	調査費等	工期	
有効応力増大 盛土工法	盛土材を撒き出し転圧し、盛土することで、被害防止に十分な非液状化層厚を確保する。	・簡便に施工できる。 ・大規模宅地開発の場合、有効である。	・確実に非液状化層厚を増大できる。 ・液状化層の応力増加により、液状化強度が改善する。 ・常時の剛性は変化しない。 ・盛土端部については、応力増加が限定的となるので、別途、対策が必要である。	【ペタ基礎、布基礎】 特に制約はない。 【杭基礎】 特に制約はない。 【地下室がある場合】 非液状化層厚が確保できないので、別工法にて対策する必要がある。	・計画高が上がる所以、造成地外周では擁壁や法面となり、弱部となりやすい。 ・成立には20棟以上の広い土地を施工する必要がある。 (家へのアプローチ確保、隣接区画との調整など) ・盛土の材料管理が重要。 ・盛土造成の施工管理（転圧、含水比、など）が重要。 ・圧密層がある場合、応力増大で長期的な沈下が発生する可能性が高い。 ・建物の不同沈下、杭基礎構造物への影響、区域外との段差、ライフラインの切断等について検討が必要。	広さ 5000m ² と仮定 (上記から 1m ³ 単価を	【高さ 1.5m】 70 【高さ 2.5m】 110	※地質調査 費、二次元地 盤応答解析 等の解析費 が別途必要 である。	【高さ 1.5m】 1ヶ月 【高さ 2.5m】 1.5ヶ月	

※工費算出条件 一度に20棟 3400m²を施工可、専門業者の費用のみ（元請け経費含まず）、対策費には施工費と組立解体運搬費を含む、固化では試料採取と配合試験のため事前調査費を計上、平成25年1月関東地区的物価を元に算出