

市街地液状化対策推進ガイドンス

【本編】

令和元年 6 月

国土交通省都市局都市安全課

はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震においては、関東地方を中心とした広い範囲で液状化が発生し、道路や上下水道、電気、ガスなどのライフラインが寸断されたほか、住宅の損壊等、約 27,000 件（平成 23 年 9 月 27 日都市局調べ）もの宅地被害が報告されるなど、各地に深刻な被害をもたらしました。

これ程までに大規模で広範囲にわたる液状化被害は世界的に見てもほとんど例がなく、今後の大地震による再液状化が懸念される中、被災地の安全・安心な暮らしを取り戻すには、単に被災した建物や道路を復旧するだけでなく、液状化現象の発生要因やメカニズムを解明し、再度災害を防ぐ対策を講じることが必要とされています。

国土交通省では、既成市街地において一団の宅地が面的に被害を受けたことを踏まえ、平成 23 年 11 月、東日本大震災復興特別区域法に基づく復興交付金事業の基幹事業として、都市防災推進事業（市街地液状化対策事業）（以下「市街地液状化対策事業」という。）を創設し、液状化被害を受けた既成市街地で講じられる公共施設と隣接宅地等との一体的な液状化対策に国費の支援を行っているところです。また、同時に国土技術政策総合研究所と共同で、現地調査や各種実験・解析を行い、調査法や対策工法に関するガイダンスを作成・公表するなど、技術的な支援にも努めてきたところです。

本ガイダンスは、これら各種ガイダンスの公表後、被災地で実際に得られた最新の知見を集大成したもので、学識者の意見を伺う中で、被災直後に必要となる調査項目や液状化対策検討過程、事業効果の確認方法など、これまで蓄積されたデータをもとに取りまとめたものです。

その内容は、東日本大震災からの復興はもとより、今後、懸念される大地震による液状化被害からの迅速な復興にも活用していただけるものとなっています。

今後、本ガイダンスを活用し、効率的かつ効果的な液状化対策が各地で講じられることを期待するとともに、関係学会においても精力的に研究が進められ、更なる技術や知見が集積されることを期待するところです。

最後になりましたが、本ガイダンスの取りまとめにあたり、東京電機大学の安田進教授をはじめ、液状化被災市街地復興対策検討会（平成 26 年 3 月）、市街地液状化対策ワーキンググループならび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手法検討委員会の委員の皆さまにおかれましては、多大なるご協力を賜りましたこと、この場を借りて厚くお礼申し上げます。

平成 26 年 3 月 策 定

平成 28 年 2 月 一部改訂

令和元年 6 月 一部改訂

国土交通省都市局都市安全課長

目 次

第1章 総則	
1-1	趣旨 1
1-2	適用範囲 4
1-3	液状化に関する基礎知識 6
1-4	関連する事業制度 14
第2章 市街地液状化対策の基本的な流れ	
2-1	発災から対策まで 20
(1)	公共施設の復旧と一体的液状化対策 23
(2)	被災住宅の復旧と液状化対策 24
2-2	今後予想される地震の事前対策 26
第3章 対策検討に必要な調査	
3-1	危険度判定調査による状況把握 29
3-2	宅地被災状況調査 31
3-3	公共施設被災状況調査 36
3-4	関連情報の収集 40
(1)	造成履歴 40
(2)	地盤地質情報 46
(3)	既往土質調査・試験結果の収集 48
(4)	発生地震波 49
第4章 対策工法の検討	
4-1	全体の検討フロー 54
4-2	震災前の地盤状況の再現及び液状化発生の確認 59
(1)	震災前の地盤状況の再現 59
(2)	液状化発生の確認 61
(3)	震災前の地盤条件のもとで液状化が発生した場合における地盤沈下量の検証 67
(4)	対策工法の選定 75
4-3	検討組織の設置 76
(1)	専門家を含む委員会の設置 76
(2)	コーディネーター制度の活用 77

(3) 地域住民意向調査と合意形成	80
4-4 液状化対策の目標値	82
4-5 新規ボーリング等地質調査の実施	86
4-6 再液状化における被害可能性予測	97

第5章 地下水位低下工法の検討

5-1 地下水位低下工法の考え方	99
5-2 地下水位低下工法に適した地盤条件について	103
5-3 地下水位低下工法の透水試験について	105
5-4 地下水位低下工法の効果や周辺への影響を把握 する揚水試験について	107
5-5 地下水位低下工法のタイプについて	111
5-6 地下水位低下工法の設計にあたって必要な検討 項目	112
5-7 排水管方式による地下水位低下工法	117
5-8 井戸方式による地下水位低下工法	125
5-9 井戸方式における不飽和化工法との組合せ	127
5-10 地下水位低下工法の効果や周辺への影響を把握 する実証実験	129
5-11 地下水位低下工法の事業効果の確認	137
5-12 地下水位低下工法の留意事項	150

第6章 格子状地中壁工法の検討

6-1 格子状地中壁工法の考え方	155
6-2 格子状地中壁工法に適した地盤条件等につい	159
6-3 格子状地中壁工法の調査・試験について	160
6-4 格子状地中壁工法の検討について	162
6-5 格子状地中壁工法と他工法との組合せについて	168
6-6 格子状地中壁工法の施工方法	170

第7章 市街地液状化対策事業の実施

7-1 事業損失補償の考え方	176
7-2 事業完了後の維持・管理	178

液状化被災市街地における復興対策検討会 委員名簿 (順不同)

名 前	所 属
安田 進	東京電機大学 理工学部 建築・都市環境学系 教授
東畑 郁生	東京大学 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授
時松 孝次	東京工業大学 大学院理工学研究科 建築学専攻 教授
二木 幹夫	財団法人ベターリビング つくば建築試験研究センター 所長
明石 達生	国土交通省国土技術政策総合研究所都市研究部都市計画研究室 室長
新井 洋	国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部構造基準研究室 主任研究官
大橋 征幹	国土交通省国土技術政策総合研究所都市研究部都市計画研究室 主任研究官
井上 波彦	国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部基準認証システム研究室 主任研究官

市街地液状化対策ワーキンググループ 委員名簿 (順不同)

名 前	所 属
安田 進	東京電機大学 理工学部 建築・都市環境学系 教授
古関 潤一	東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授
大橋 征幹	国土交通省国土技術政策総合研究所都市研究部都市計画研究室 主任研究官

リスクコミュニケーションを取るための液状化ハザードマップ作成手法検討委員会
委員名簿 (順不同)

名 前	所 属
安田 進	東京電機大学 総合研究所 教授
古関 潤一	東京大学 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授
須貝 俊彦	東京大学 大学院新領域創成科学研究科 自然環境学専攻 教授
先名 重樹	防災科学技術研究所 マルチハザードリスク評価部門 主幹研究員
竹内 裕希子	熊本大学 大学院先端科学研究部 社会基盤計画分野 准教授
田村 修次	東京工業大学 環境・社会理工学院 建築学系 准教授
三村 衛	京都大学大学院 工学研究科 都市社会工学専攻 教授
若松 加寿江	関東学院大学 防災・減災・復興学研究所研究員 教授

第1章 総則

1-1 趣旨

本ガイドスは、東日本大震災の経験を踏まえ、道路等の公共施設と宅地の一体的な液状化対策（以下「公共施設・宅地一体型液状化対策」という。）を講じる場合に必要調査・検討項目、対策工法等について取りまとめた技術マニュアルである。

この場合の液状化対策とは、住宅や各公共施設の個別の復旧のみならず、将来、起こり得る地震による液状化被害の抑制又は軽減が期待される。

また、東日本大震災により被災した市街地の復興を始め、将来起こり得る地震により被災した市街地の迅速な復興にも資することとしており、本ガイドスの知見を参考とされたい。

1. 東日本大震災で大きな被災

我が国において液状化による被害が認知されるようになったのは、昭和39年6月に発生した新潟地震以降で、近年では平成7年1月に発生した阪神・淡路大震災や平成16年10月に発生した新潟県中越地震による液状化被害が記憶に新しい。これらの被害は埋立造成地等において局所的に発生したものであったが、これを契機に道路橋示方書や建築基礎構造設計指針等の技術基準が強化され、以降、緊急輸送道路や大規模建築物等、重要な耐震構造物の設計にあたっては液状化対策が考慮されるものの、費用対効果から生活道路のような施設は、被災後に路面の不陸整正といった速やかな復旧のみが適当と考えられてきた。

また、個人資産である宅地の液状化対策については、所有者個人や事業者等により講じられることが原則とされてきた。

しかし、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震においては、東京湾岸や利根川下流域など関東地方を中心に広い範囲で液状化が発生し、各地に甚大な被害をもたらした。これ程までに大規模な液状化による宅地被害は世界的に見ても例がなく、被災地の安全・安心な暮らしを取り戻すためには、単に被災した建物や道路を復旧するだけでなく、液状化の発生要因やメカニズムを解明し、再度災害を防ぐ対策が求められた。（表1-1）

表 1-1 従来の液状化対策と東日本大震災による被災地における液状化対策の比較

	従来の地震による液状化被害		東日本大震災による液状化被害	
	宅地	公共施設	宅地	公共施設
被害状況	点在	局所的	一団	広範囲
施設復旧方針	個人負担による傾斜の個別復旧	災害復旧事業による個別復旧	個人負担による傾斜の個別復旧	災害復旧事業による個別復旧
再液状化対策	個人負担により任意で実施	重要な構造物に対して個別に実施	一団の宅地について道路等の公共施設と一体的な対策を実施	

本ガイドスは、各被災地で実際に得られた最新の知見を集大成し、東日本大震災からの復興はもとより、今後、懸念される大地震により液状化被害を受けた際、迅速な市街地の復興等に役立てられることを目的としているもので、被災直後に必要となる調査項目や液状化対策検討過程をタイムラインに即して解説しており、その内容を活用していただけるものとなっている。

なお、一般に「液状化対策」と言っても、例えば家屋被害を例にとると、「液状化により被災した家屋の傾きを直して、使用に支障が生じないように元通りにすること」を指す場合と、「将来における地震に対して、再度、地盤の液状化による被害の発生を抑制するために行われる対策」の両者の概念が混同されている場合が少なくない。通常、前者の「傾斜修正」は「復旧対策」、後者の「再液状化被害の抑制対策」は予防的措置・付加的な対策として、狭義の「液状化対策」、「復興対策」に位置づけられ、当ガイドスでも、後者の意味として記述していることに留意されたい。

東日本大震災においては、例えば、家屋の被災者の方のご相談に応じる際にも、被災者の方が『液状化対策』と述べた場合、「家屋の傾斜修正」と「再液状化被害の抑制」の両者を含めて『液状化対策』と述べているかがはっきりしていなかったり、あるいは逆に、行政側で「再液状化被害の抑制」の意味で『液状化対策』と説明しても、被災者の方は「家屋の傾斜修正」まで含めて行政側で対応を検討していると解されてしまったりといったことで相互の液状化対策に対するイメージがすれ違ったままで意思疎通を図ることができないといったケースが見られた。これは、『液状化で被災した〇〇についての早急な対策が必要』という内容を、『〇〇の早急な液状化対策が必要』と略した場合等に見られ、前者は、『〇〇をすぐに復旧して、使えるようにしなければならない』という内容が要点と考えられるが、後者で『液状化対策』という用語を用いてしまった場合、通例は『将来の地震に対する〇〇の再液状化による被害の発生を抑制するため、早急に対策を講じなければならない』と解されることから生じた混同と推測される。

液状化被災市街地の復旧・復興対策を検討し、また、被災者の生活再建を支援する場合には、まずは上記のそれぞれの内容と課題を丁寧に区別して、その理解の促進を図ることがまず必要であり、課題に応じた必要な対応について適切な判断がなされるために本ガイドスを活用されたい。

また、予防的な事前対策を行う際には、より詳細な検討を行うなど、慎重な取組みが必要となる。

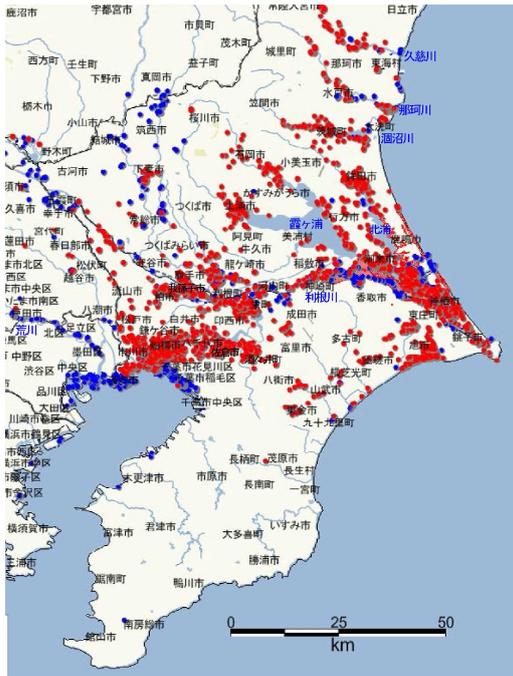


図 1-1 関東地方の液状化発生箇所¹⁾

- ※●(公社)地盤工学会(2011.8)
- ※●若松・先名による追加地点(2014.2.28)

表 1-2 液状化による宅地被災数

液状化による住家被害	
岩手県	3件
宮城県	140件
福島県	1,043件
茨城県	6,751件
群馬県	1件
埼玉県	175件
千葉県	18,674件
東京都	56件
神奈川県	71件
合計	26,914件 (9都県80市区町村)

※国土交通省都市局調べ(平成23年9月27日)

※上記被害件数には、津波によって家屋が流出した場合等については計上されていない



写真 1-1 住宅地の噴砂の状況



写真 1-2 地下埋設物の浮き上がり



写真 1-3 建物の傾斜被害

1-2 適用範囲

本ガイドンスで取り扱う宅地の液状化対策は、敷地単位で局所的に対策を講じるより地区単位で道路等の公共施設と宅地とを一体的に対策を講じた方が効率的かつ効果的であると考えられる次のようなすべての条件を満足する箇所（以下「要対策地」という。）に適用するものである。

- ①地形条件や土地の造成履歴、液状化マップ等から、中程度以上の地震により宅地地盤の（再）液状化が懸念される。
- ②地震時に道路等の公共施設が液状化被害を受けるだけでなく、宅地からの噴砂等の流出が公共施設に影響を与えることが想定され、一体的な対策を講じなければ、被災後の迅速な復旧を妨げ、住民生活に多大な支障が生じる。
- ③宅地や公共施設が集約された一団の土地であり、一体的な対策を講じた方が効率的である。
- ④住宅の被災状況等から建て替えが生じず、住宅を存置したままの状態に対策を講じる必要がある。

これまで、地震時に液状化現象が発生すると、緩い砂質地盤が締固まる方向に向かうと考えられていたが、東日本大震災の被災地において液状化発生後の地盤を調査した結果、将来の地震によって再び液状化現象が起こる可能性のある地盤が残されており、そのような地盤については復旧のみならず再液状化対策を行わないと同じような被害が発生する懸念が指摘されている。液状化現象の発生については、これまでに言われているとおり、東日本大震災においても震度5程度の中地震から発生しており、地形条件や土地の造成履歴が密接に関係しているところであるが、特に戸建て住宅の液状化被害については、「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針」（平成25年4月 国土交通省都市局）を参考とされたい。

また、液状化現象は個々の敷地単位で生じるものでなく、地盤の中の液状化層全体で発生するものである。その被害は、隣接宅地を含め、道路や上下水道、電気、ガス等のライフラインなど広く地区全体に影響を及ぼすものであり、それらと地続きで繋がる宅地は相互に深い関係にあると言える。このため、液状化の恐れがある一団の宅地においては、あらかじめ地区単位で公共施設と一体的な液状化対策を講じておくことが望ましい。

東日本大震災においては、避難路となるべき生活道路が噴砂により埋没し、通行の妨げになったり、下水管の継ぎ目から流入した砂により管渠が埋塞し、下水道の使用に困難を来した被害が生じており、復旧までに相当の時間を要し震災後の住民生活に多大な支障与えた。これらの原因となった液状化した砂は、公共施設の地盤のみならず、隣接宅地の地盤から発生したのも含まれると推測されるため、個別に公共施設を液状化対策した場合、その対策効果が限られる場合も想定される。よって、宅地や公共施設が集約された一団の土地の場合、一体的な対策の方が効率的な場合がある。（図1-2）

さらに、液状化による住宅の被害は主として住宅のめり込み沈下によって生じる傾斜であり、傾斜を復旧させることで住み続けられる場合が多く、地区で一斉に建て替えが発生する場合は少ないと想定される。一斉に建て替えが生じれば、建て替え時に講じることのできる液状化対策は地盤のみならず住宅基礎も含め幅広く工法選択することができるが、住宅が建ったままで地盤に液状化対策を講じる場合、採用できる工法は極めて限られたものしかないのが現状であり、東日本大震災以前には住宅を存置したままの液状化対策には技術的知見も少なく、その施工実績もほとんど無いのが実態であった。



図 1-2 道路と宅地の一体的な液状化対策のイメージ (道路の地下水位低下の効果が宅地内まで波及する)

このため、本ガイドンスでは、一団の既存宅地において住宅を存置したまま講じられる公共施設と宅地の一体的な液状化対策について解説する。(図1-3)

実際の対策にあたっては、要対策地の社会的・経済的状況や費用対効果、住民の意向等を踏まえ、事業化について総合的に判断されたい。なお、新規造成地等、住宅が建っていない状態で液状化対策をする場合は、要対策地であっても本ガイドンスの適用外となる。

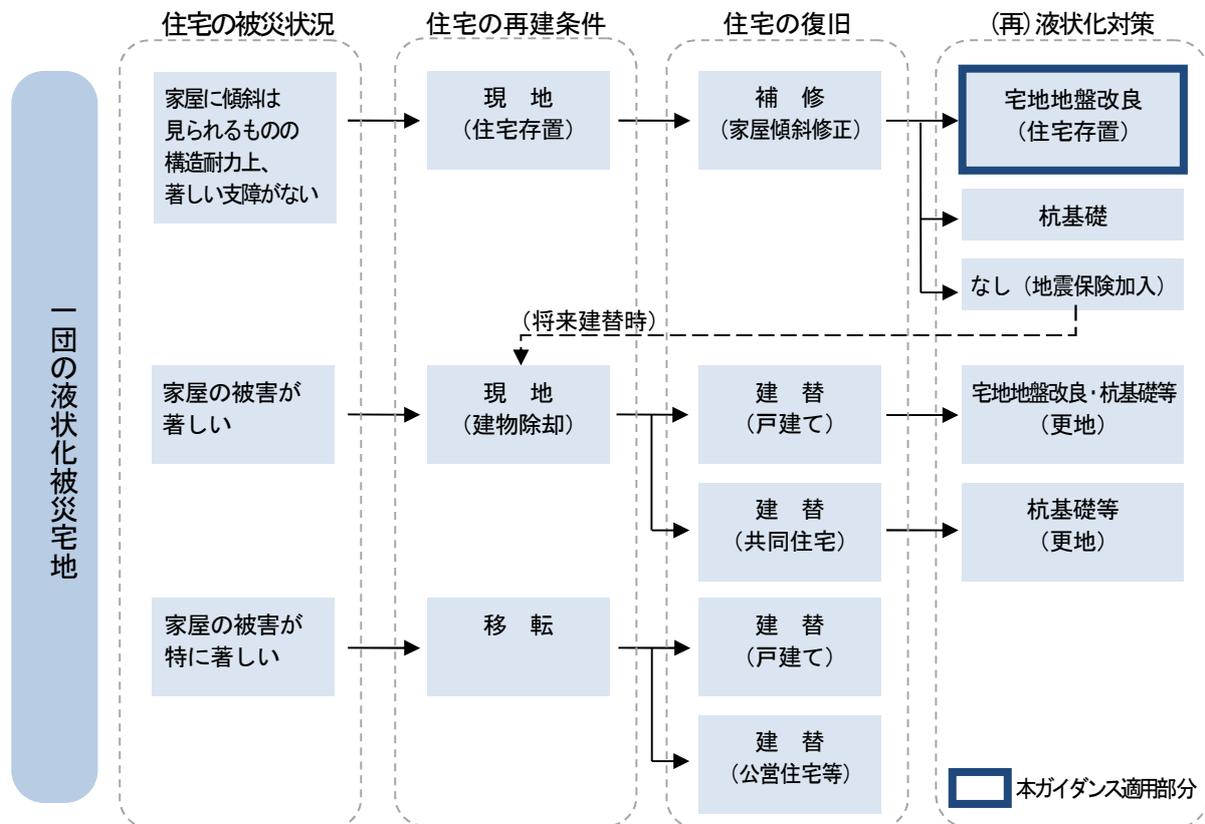


図 1-3 液状化被災宅地の復旧・(再)液状化対策における本ガイドンスの位置付け

1-3 液状化に関する基礎知識

「液状化」とは、緩く堆積し地下水で飽和された砂地盤に対し地震動が加わることにより、砂地盤が液体状の挙動に変化する状態を表わす。

また、「液状化被害」とは、液状化により強度をなくした砂地盤が流動化することにより、噴砂を生じたり、地中の軽い埋設物を浮き上がらせたり、地上の建物を沈下させたり、などの被害が生じることをいう。

液状化を起こす要因としては以下の3つがあり、一般的には①～③をすべて満たさない場合は液状化しないものと考えられている。

- ①緩い砂地盤であること
- ②飽和した（地下水位よりも深い深度にある）土層であること
- ③地震動の強さが大きいことや、継続時間がある程度長いこと

1. 液状化発生メカニズム

液状化の発生は、地盤内の地下水圧が上昇し噴砂が生じるばかりでなく、**図1-4**のように建物を支える地盤の力（支持力）が低下することで、建物や電柱のような重い構造物は沈下・傾斜し、**写真1-4**のような噴砂の他、**写真1-5**のように軽いマンホールや下水管のような地中構造物は浮き上がる等、様々な被害が生じる。また、噴砂が道路へ流出すると交通障害となり迅速な避難の妨げになったり、下水管に流入すると長期間にわたって使用不能になり都市機能の回復に対し大きな障害となったりすることもある。

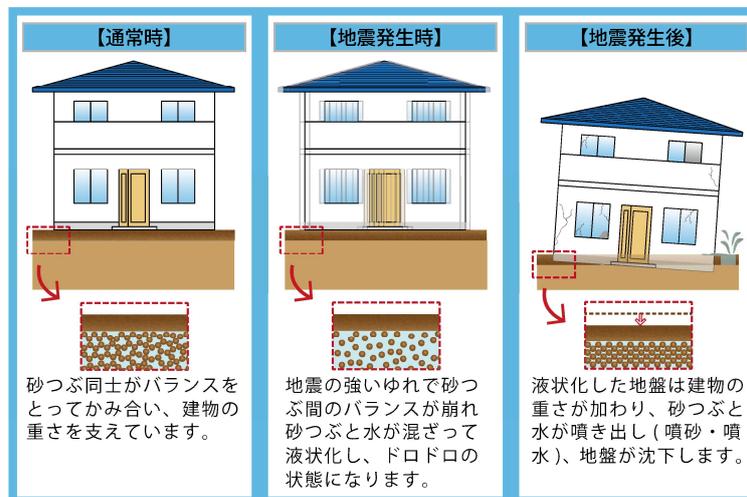


図 1-4 液状化発生メカニズムの模式図



写真 1-4 地下から噴き出した噴砂



写真 1-5 マンホールの浮き上がり現象

ただし、近年、既往地震の液状化事例により、以下の項目、事項も液状化の対象(要因)として考えるようになってきているので注意が必要である。

〈緩い砂質土層〉

液状化対象地盤の定義は、一般的に、「最近の埋立砂質土層」や「沖積砂質土層」と考えられ、洪積砂質土層については続成作用などにより液状化しないと考えられてきた。しかし、緩い洪積砂質土及び礫質土や細粒分(粘土やシルト)を混入した中間的な土砂の地盤でも、地震の振幅や継続時間によっては液状化することが過去の地震によって明らかとなってきた。

〈地下水位〉

地下水位は、常時一定の深さにあるわけではなく、潮の満ち引きによる日変動や雨季・乾季による季節変動、農繁期などの水田の水入れ及び降雨後の短期的な水位の上昇など、さまざまな要因によって変動する。そのため、地質調査をしたときには地下水位が深くとも、地震時に水位が上昇して液状化した事例や、本震により見掛けの地下水位が上昇し、余震によって液状化したような特殊な事例もある。調査によって確認された地下水位については、測定した日時を確認し、適切な水位を設定することが重要である。

〈地震動〉

実際に液状化が発生するかどうかは、土質と地下水位の組合せのほかに、地震動の大きさや継続時間によっても左右される。非常に緩い砂でも、地震動が小さければ液状化は発生しないし、少し締まった砂でも巨大地震や地震継続時間が長い場合であれば液状化する。なお、不飽和土でも揺すられて地盤強度が低下することがあり、地すべりや斜面崩壊などの災害が起こることもある。

2. 液状化が発生しやすい土地

液状化は地下水位以下の緩い砂質土層で起こる現象であり、液状化の起こしやすい土地であるかどうかは、地質など詳細な情報を取り入れた地形区分(微地形区分)や古い地図(古地理図)など土地の履歴情報(土地の改変履歴)を調べることにより大まかな判断することができる。

微地形区分に着目すると、以下の条件に該当するところでは液状化の履歴が多い。

- ①埋立年代の浅い埋立地
- ②旧河道(昔の川筋)
- ③大河川の沿岸(特に氾濫原)
- ④海岸砂丘の裾・砂丘間の低地
- ⑤砂鉄や砂礫を採掘した跡地の埋戻し地盤
- ⑥沢・谷埋め盛土の造成地
- ⑦過去に液状化の履歴のある土地

特に液状化は、「埋立地、三角州・海岸低地、後背湿地、干拓地、砂州・砂礫州、旧河道、旧池沼」などで生じる場合が多く、東日本大震災では「埋立てや盛土で造成した住宅地」で被害が発生した。すなわち、地盤が人工的に改変された土地、川筋の変動や氾濫によって新しく土地が改変された場所、風で運ばれた砂が堆積している土地(砂丘)のうち、地下水位が浅い場所にある土地が液状化の発生しやすい地盤と言えよう。なお、東日本大震災で液状化した地形・地盤の分類については、〈資料編1-1〉を参照とされたい。

微地形から見た液状化可能性 大/中/小

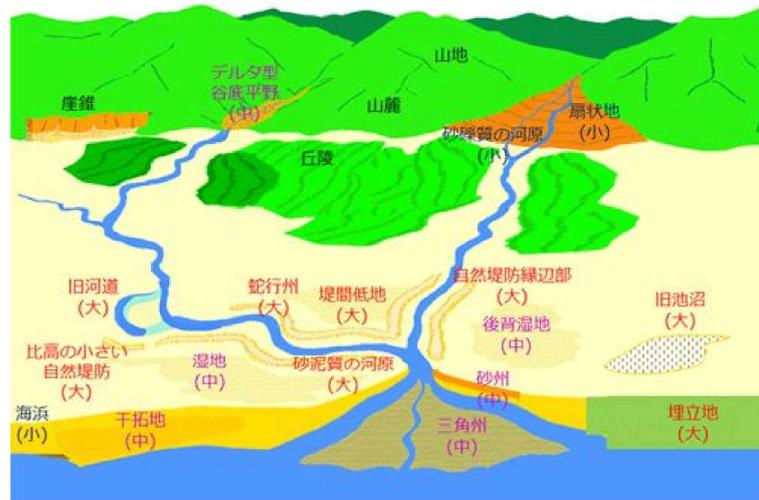


図 1-5 地形模式図による微地形区分 (日本建築学会ホームページより)

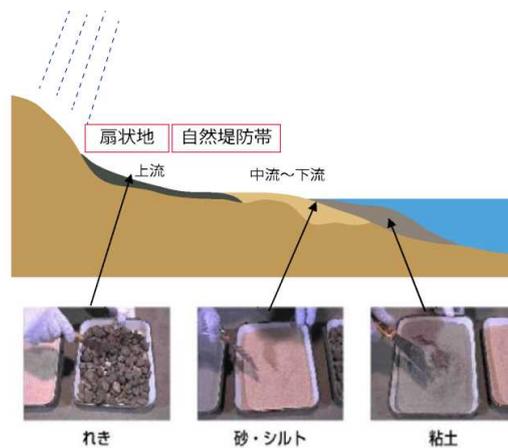


図 1-6 微地形による地盤構成 (科学技術振興機構ホームページより)

3. 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、地盤の液状化に対する抵抗比 R を地震によるせん断応力比 L で除した値である。

$$F_L = \frac{\text{液状化抵抗比 } R}{\text{せん断応力比 } L}$$

F_L 値は、 $F_L = 1$ を境に $F_L \leq 1$ の場合には液状化の発生する可能性が高く、 $F_L > 1$ では液状化の発生する可能性が低いと判断される。液状化安全率 F_L を得るために必要な液状化抵抗比 R とせん断応力比 L は、さまざまな手法によって求めることができる。

建物の液状化の判定は、「建築基礎構造設計指針」の中で、液状化に対する安全率を示す指標として定義されている「 F_L 値」を用いて判定するのが一般的である。 F_L 値は地表面から深さ方向に 1m ごとに算出し、「 F_L 値 ≤ 1.0 : 液状化の可能性あり」、「 F_L 値 > 1.0 : 液状化の可能性なし」とそれぞれ判定される。

〈液状化抵抗比 R 〉

地盤の液状化に対する強さであり、標準貫入試験より得られた N 値と粒度試験結果から推定する簡便法や土質試験で実際に土に繰返しせん断力を与えて液状化させる詳細な方法などがあり、目的・精度に応じて選択する。

〈せん断応力比 L 〉

地震によって地盤に伝わる強さを示し、簡便法として地盤の有効土被り圧 σ'_z と加速度から推定する方法や地震応答解析により算出する詳細な方法など、こちらも必要な精度に応じて選択する。

4. 液状化被害の判定

簡便法により F_L 値を算出するためには、標準貫入試験やスウェーデン式サウンディング試験等及び室内土質試験（物理試験）を行う必要がある。 F_L 値算出に必要な項目は以下の通りである。

- ①地質構成
- ②地下水位
- ③標準貫入試験値（ N 値）、または簡略的な方法としてスウェーデン式サウンディング試験からの換算 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（力学試験がない場合は一般値を使用）

そして、宅地の液状化被害可能性の判定手法として、「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針」では、 F_L 値を基に算定される非液状化層の層厚（ H_1 ）と地表変位量（ D_{cy} 値）、又は液状化指標値（ P_L 値）から液状化被害の可能性を判定することができる。判定方法には、「道路橋示方書・同解説V耐震設計編」を基本とした方法があるが、ここでは、「建設基礎構造設計指針」に示された方法について説明する。

- ①「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
- ②「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

この結果から図1-7の判定図及び表1-3の判定図の数値表より、「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。

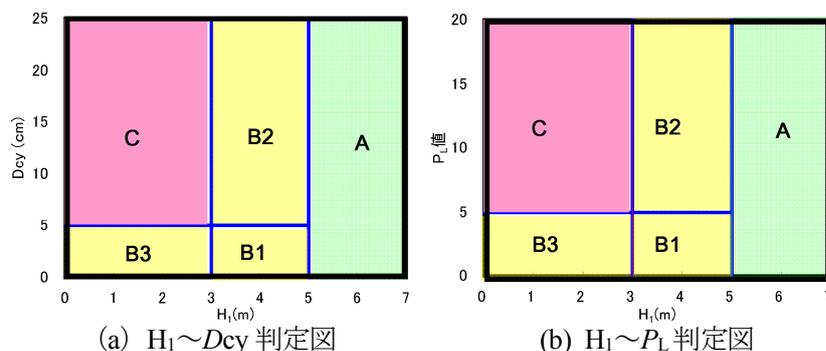


図1-7 H_1 値、 D_{cy} 値、 P_L 値による判定図

表 1-3 判定図の数値表

判定結果	H_1 の範囲	Dcy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

(1) 非液状化層厚 (H_1)

非液状化層厚 (H_1) は、地表面から地下水位より浅い部分の層厚、または、粘性土層の層厚を示す。液状化層厚 (H_2) は、地下水位より深い部分の液状化する層厚を示している。非液状化層厚 (H_1) と液状化層厚 (H_2) の関係を図1-8に示した。すなわち、 $F_L \leq 1$ となる地層の上端から下端までの厚さである。

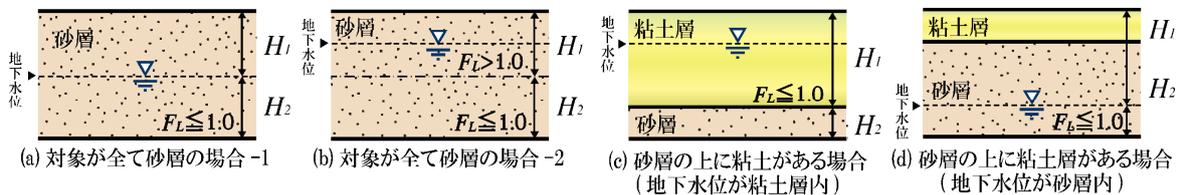


図 1-8 非液状化層厚 (H_1) と液状化層厚 (H_2) の関係

(2) 地表変位量 (Dcy 値)

地表変位量 (Dcy 値) は、「建築基礎構造設計指針」に準拠して算出し、各層の“せん断ひずみ”から“変位量”を算出して積分し、表1-4からその液状化の程度を評価する。

表 1-4 地表変位量 (Dcy) と液状化の程度の関係²⁾

Dcy (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

(3) 液状化指標値 (P_L 値)

この方法は、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1-9に示すように深さに対する重みを考慮して、 $(1-F_L)$ の値を 20mの深さまで積分することにより液状化指数 P_L 値を定義したものである。

液状化指標値 (P_L 値) は、下式により算定し、表 1-5 により評価する。

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

- ここで、 F_L : 液状化に対する安全率
 $W(z)$: 深さ方向の重み関数 (図 1-9 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)
 F : $1 - F_L$

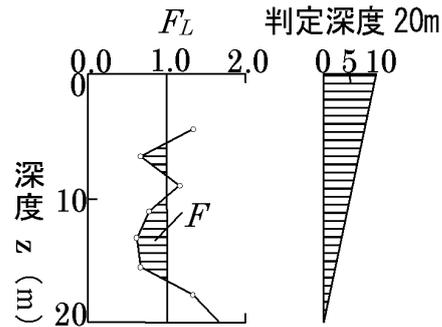


図 1-9 判定深度と重み係数の関係

表1-5 P_L 値と液状化による影響の関係³⁾

$P_L = 0$	液状化による被害発生の可能性はない
$0 < P_L \leq 5$	液状化による被害発生の可能性は低い
$5 < P_L \leq 15$	液状化による被害発生可能性がある
$15 < P_L$	液状化による被害発生可能性が高い

用語の解説

液状化に対する安全率 (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。

地表変位量 (Dcy値) : 液状化による生じる地盤の水平変位量と同等。液状化時に発生する地盤の沈下量。

液状化指標 (R_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発生の可能性を表す。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。

非液状化層厚 (H_L 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。

標準貫入試験値 (M値) : 質量 63.5 ± 0.5 kgのドライブハンマー (通称、モンケン) を 76 ± 1 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キ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30cm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。

再液状化 : 一度地震で液状化した地盤が、再び発生した地震で再度液状化することをいう。液状化した地盤は密度が増すために強くなり、一般的には液状化しにくくなるという説と、液状化による砂粒子の緩やかな再堆積により液状化強度が弱くなり、再度液状化しやすくなるという説がある。

地表面最大加速度 : 地表面最大加速度 (PGA と略される) とは、地震での地表での加速度の最大値の測定値であり、地震工学における重要な入力パラメータである。震度と同様、ある場所においてどれだけ強く地面が揺れたかを表すものである。マグニチュードとは異なり、地震全体のエネルギーを示すものではない。通常「地中最大加速度」よりも「地表最大加速度」の方が大きな値となる。その理由は一般的に地中より地表附近の地盤が軟らかく、地中で揺れが生じるとその揺れが地表附近で増幅される事となる為である。

震度とマグニチュードの違い : 震度とは、地震の「場所ごとの揺れ」を表す指標である。マグニチュードとは、「地震そのものの規模」を表す指標である。マグニチュードが大きくても震源から遠ければ震度は小さい。反対にマグニチュードはさほど大きくなくとも震源の真上ならば震度は大きくなる。

震度は計測震度計によって自動的に計られる。震度の階級を「震度階」といい、日本の震度階は国際的な基準とは異なり、身体に感じない震度0から1、2、3と順に大きくなり、震度5と

震度6は弱と強の2段階に分かれ、最大級の震度7までの10段階が設定されている。

一方、マグニチュードは、0.2増すとエネルギーはほぼ2倍になり、マグニチュードが1大きくなると地震の大きさは約32倍になる。つまりマグニチュード9の地震はマグニチュード7の地震の1,000回分に相当することになる。

粒度特性：粒度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、0.075mmふるいを通過した粒子の含有質量百分率をいい、 F_c 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液状化に対する抵抗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、0.005mm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って、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。

1-4 関連する事業制度

民有地内における液状化被害の復旧・(再)液状化対策については、被災者生活再建支援制度等を活用し、原則として所有者等の責任において行うものとする。

ただし、1-2で示した要対策地においては、下記の事業を活用し、行政と住民とが協力して液状化対策を行うことができる。

- | | |
|-------------------------|----------------|
| ①市街地液状化対策事業（都市防災推進事業） | } 東日本大震災被災地に適用 |
| ②市街地液状化対策事業（都市再生区画整理事業） | |
| ③宅地耐震化推進事業（都市防災推進事業） | |

宅地及び住宅は個人資産であり、液状化被害の復旧・(再)液状化対策については、費用負担や工法の選定は原則として所有者等の責任となる。

ただし、被害の大きな災害が発生した場合には、個人に対しての支援制度が適用される場合もあるため、このような支援制度を活用し、民有地内の復旧や液状化対策を行うことが望ましい。なお、東日本大震災においては、以下のような支援が行われた。

①被災者生活再建支援制度（内閣府）

住宅が自然災害（地震、津波、液状化等の地盤被害等）により全半壊等した世帯に対し、支援金を支給することにより生活の再建を支援

②住宅金融機構による融資制度

災害復興住宅融資の金利引き下げ：当初5年間の金利0%（建設・購入時）等

災害復興宅地融資を新設：敷地被害のみの場合に適用（金利は上記と同じ）

一方、道路等の公共施設と宅地との一体的な液状化対策を行うことについては、一体施工によるスケールメリットが働き、効率的である。

そのような一体的対策については、事業を実施する地方公共団体に対し、以下のような国費による支援制度があり、このような事業を活用し、行政と住民とが協力しながら一体的対策を進めることが望ましい。なお、その他の様々な事業・制度については、<資料編1-2>、<資料編1-3>を参照とされたい。

<東日本大震災による液状化被災地を対象とした事業>

- | | |
|-------------------------|---------------------|
| ①市街地液状化対策事業（都市防災推進事業） | 【復興交付金・社会資本整備総合交付金】 |
| ②市街地液状化対策事業（都市再生区画整理事業） | 【復興交付金・社会資本整備総合交付金】 |

※東日本大震災復興交付金事業については、地方負担分の50%を追加的に国庫補助するほか、地方負担分についても地方交付税の加算措置により手当されるため、実質的には地方負担はない。

<全国の液状化被災地・事前対策を対象とした事業>

- | | |
|----------------------|------------------------|
| ③宅地耐震化推進事業（都市防災推進事業） | 【防災・安全交付金・社会資本整備総合交付金】 |
|----------------------|------------------------|

※宅地耐震化推進事業については、事前予防策として変動予測調査及び宅地液状化マップの作成も可能。

＜東日本大震災による液状化被災地を対象とした事業＞

事業概要 市街地液状化対策事業（都市防災推進事業）

道路・下水道等の公共施設と隣接宅地等との一体的な液状化対策を推進する事業

補助対象：液状化対策に必要な調査、事業計画案作成、コーディネートに対する支援

採択要件：①液状化対策事業計画の区域内で行うもの
 ②一定規模以上（3,000㎡以上かつ家屋10戸以上）
 ③宅地所有者等の3分の2以上が同意
 ④公共施設と宅地との一体的な液状化対策が行われること

事業概要 市街地液状化対策事業（都市再生区画整理事業）

土地区画整理事業で行う道路・下水道等の公共施設と隣接宅地等との一体的な液状化対策を推進する事業

補助対象：敷地境界、基準点等の混乱が著しい地域において、地籍整備と液状化対策を合わせて行う土地区画整理事業に対する支援（被災市街地復興土地区画整理事業の国費算定対象及び交付対象経費（道路、公園等の公共施設整備費等）に液状化対策推進工事費を追加）

採択要件：①液状化対策事業計画の区域内で行うもの
 ②公共施設と宅地との一体的な液状化対策が行われること

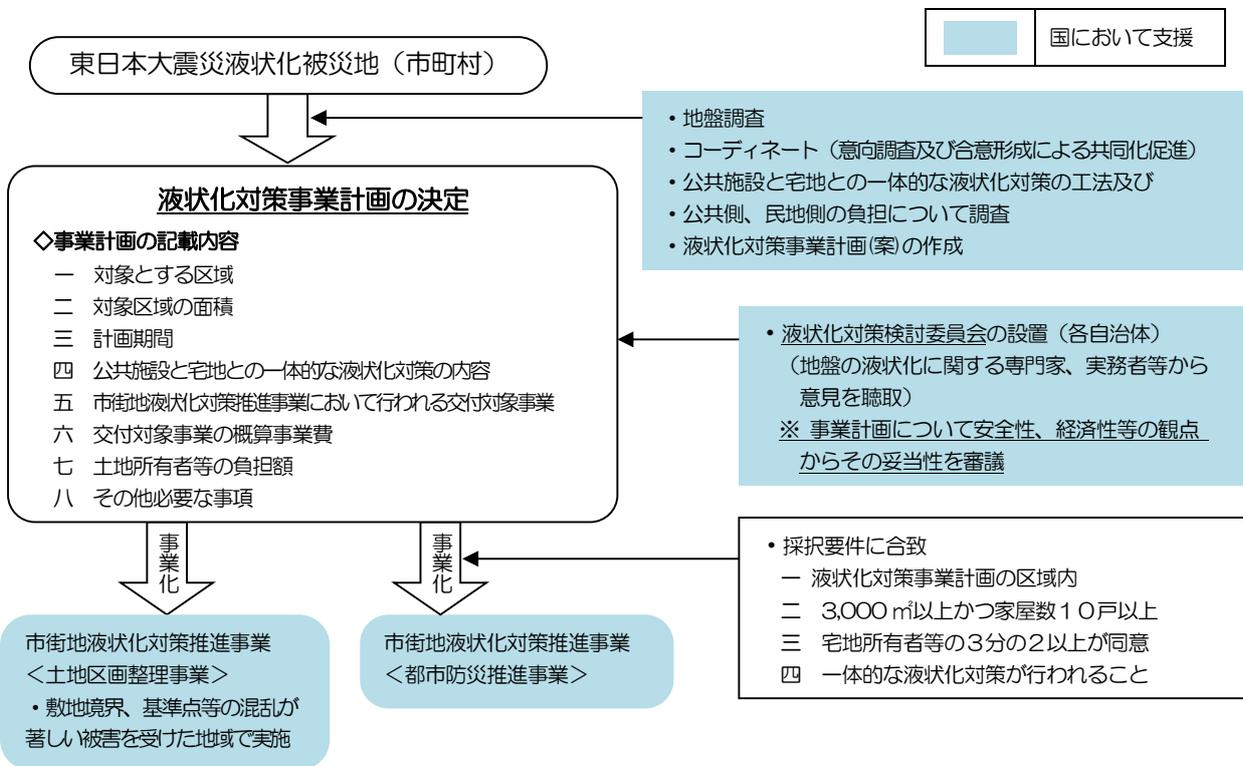


図 1-10 液状化対策事業着手までのフロー

＜公共施設の復旧と一体的な液状化対策＞

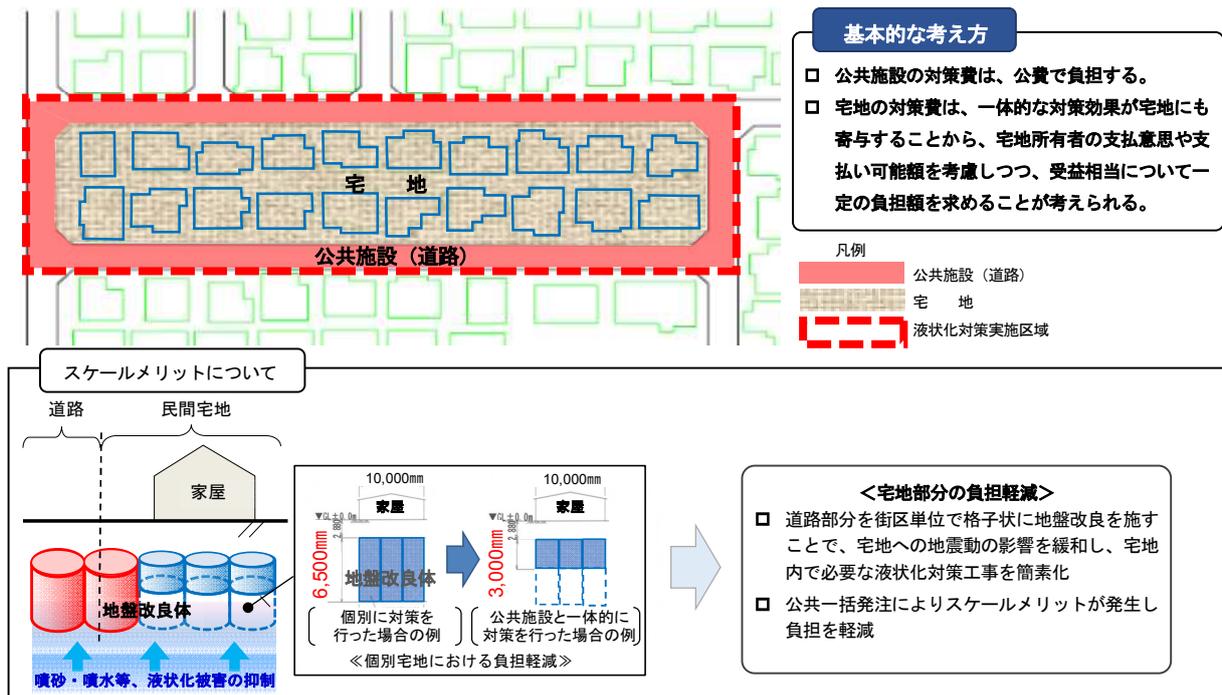
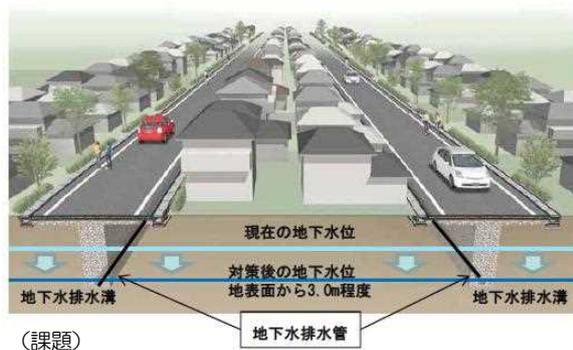


図1-11 公共施設と宅地との一体的な液状化対策の費用負担イメージ

(1) 地下水位低下工法

道路と宅地の境界（道路側溝）部分と宅地境界部分に地下水工（砕石と有孔管）を敷設して、地下水位を下げることにより、地盤の液状化強度を増加。



地区全体の排水計画の見直しを伴い、一般的には既存の排水施設とは別系統の排水施設（道路内の函渠の設置等）、地下水位を一定に保つためのポンプ施設、及び他地区からの地下水遮断のための止水壁等が必要。

また、粘性土層が厚く堆積している地層においては、長時間に渡る圧密沈下の発生が懸念。

(2) 格子状地中壁工法

道路と宅地の境界付近と宅地の境界部分にセメント系固化剤を混合させ、格子状の連続壁を造成。地盤のせん断変形を抑えて液状化被害を軽減。

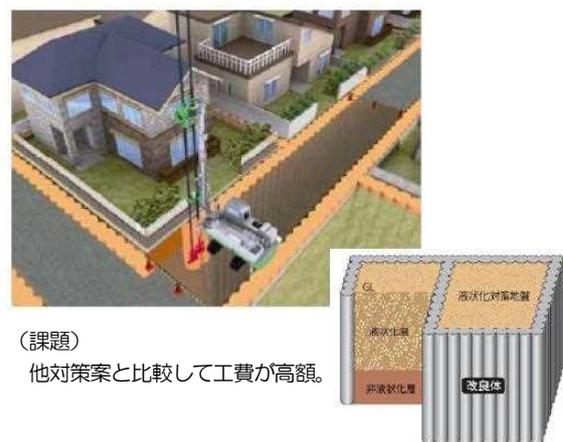


図1-12 対策工法例

<全国の液状化被災地・事前対策地を対象とした事業>

事業概要

宅地耐震化推進事業（都市防災推進事業）

宅地の液状化による変動予測に関する調査

補助対象：宅地液状化マップの作成や液状化防止工事箇所の特定につながる調査

採択要件：大地震時等に液状化現象が発生する可能性のある宅地

公共施設と宅地との一体的な液状化対策を推進する事業

補助対象：液状化防止工事を行うために必要な地盤等調査、設計及び液状化防止工事

採択要件：①液状化による顕著な被害の可能性が高いと判定された一団の土地の区域（3,000m²以上かつ家屋10戸以上）

②当該宅地の液状化により公共施設に被害が発生するおそれがあること

③宅地所有者等の3分の2以上が同意

④公共施設と宅地との一体的な液状化対策が行われること

図1-13及び図1-14については、液状化マップの例を示したものであるが、宅地耐震化推進事業によって行ったものではない。

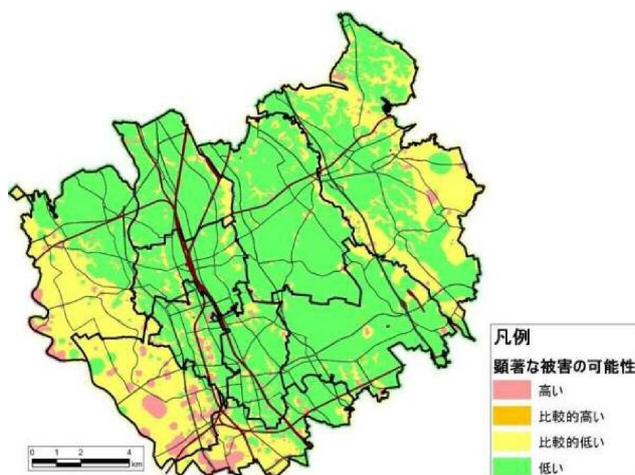


図1-13 液状化による顕著な被害の可能性マップ
（さいたま市）

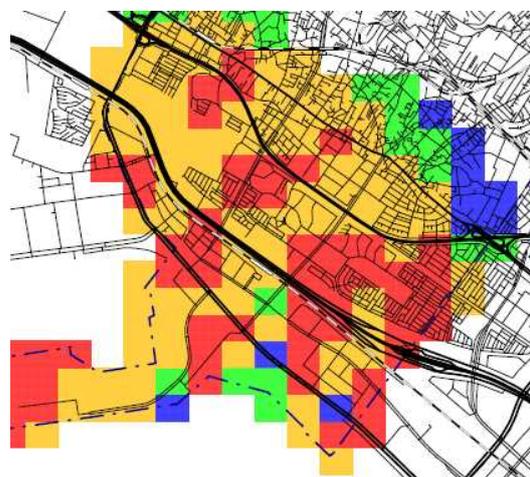


図1-14 液状化しやすさマップ（千葉県）

<液状化対策に関連する事業>

事業概要

地籍整備型土地区画整理事業

土地区画整理事業を柔軟に運用し、地籍の明確化を主な目的の一つとした事業

補助対象：地籍整備の緊急性が高い地域において、現状に合わせた形で換地処分を行うなど、地籍の明確化を主な目的の一つとして行う区画整理事業に対する支援

採択要件：過去に耕地整理事業等により一定水準の公共施設整備がなされたものの、何らかの原因で地図に準ずる図面又は登記簿に反映されていなかったため土地取引や建築等の土地利用が困難となり、公共施設の更なる改善が求められている等、市民生活に多大な影響が発生している地域

交付団体：都道府県・市町村

事業主体：都道府県・市町村又は土地区画整理組合等

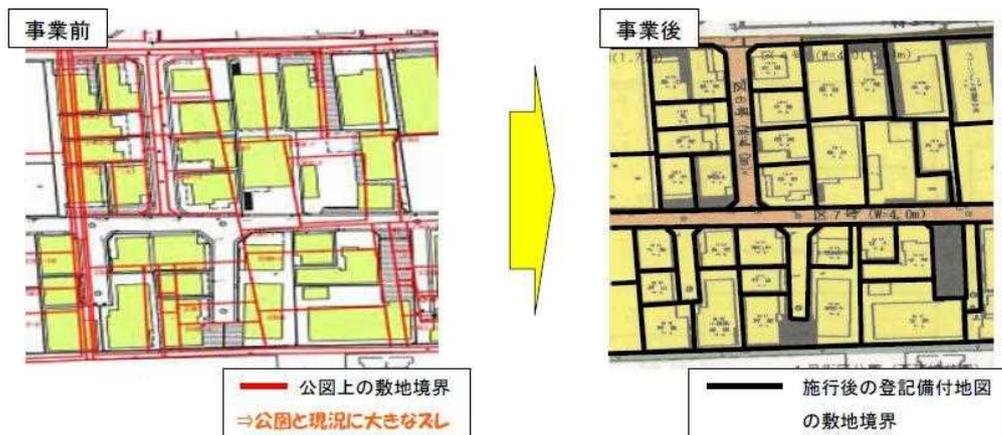


図1-15 地籍整備型土地区画整理事業のイメージ

事業概要

災害復旧事業

自然災害により被災した公共土木施設を迅速に原形復旧する事業

補助対象：道路、公園、下水道、河川、港湾、海岸、砂防設備等

補助要件：異常な天然現象により生じた災害であり、採択基準を満足していること

：被災した施設が「負担法」「基本方針」で定められた公共土木施設又は都市施設であること

交付団体：都道府県・市町村

事業主体：都道府県・市町村

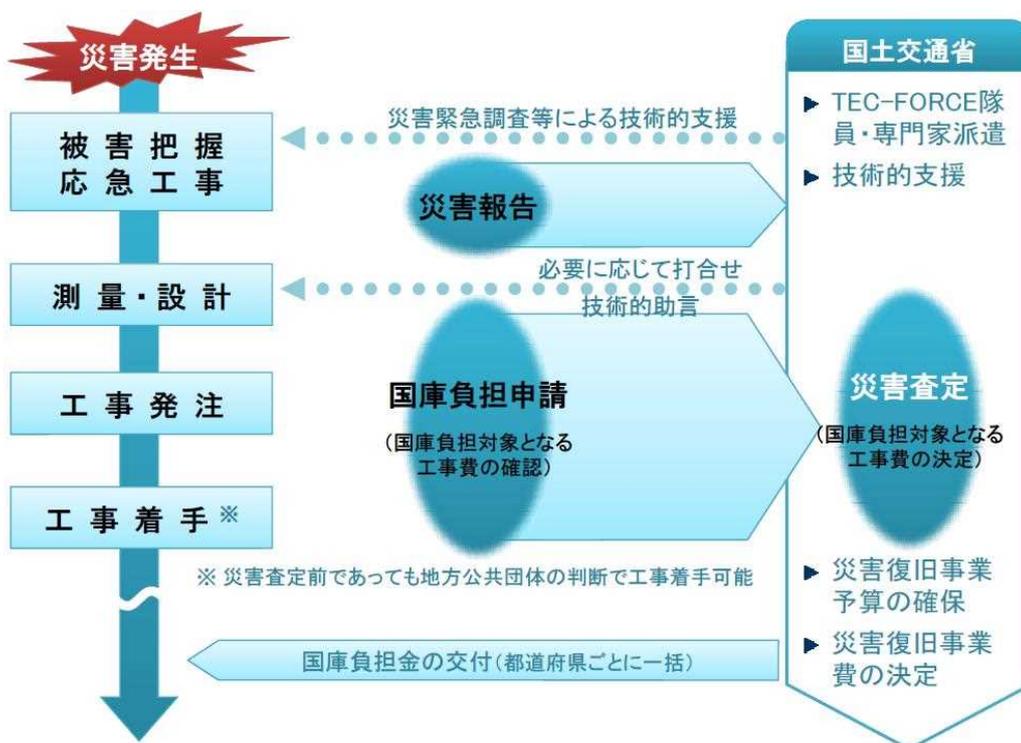


図1-16 災害復旧事業の主な流れ

<参考文献>

- 1) 地盤工学会：東日本大震災合同調査報告，2014.4
- 2) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2001.10
- 3) 国土庁防災局震災対策課：液状化地域ゾーニングマニュアル平成10年度版」,1999.1