

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。

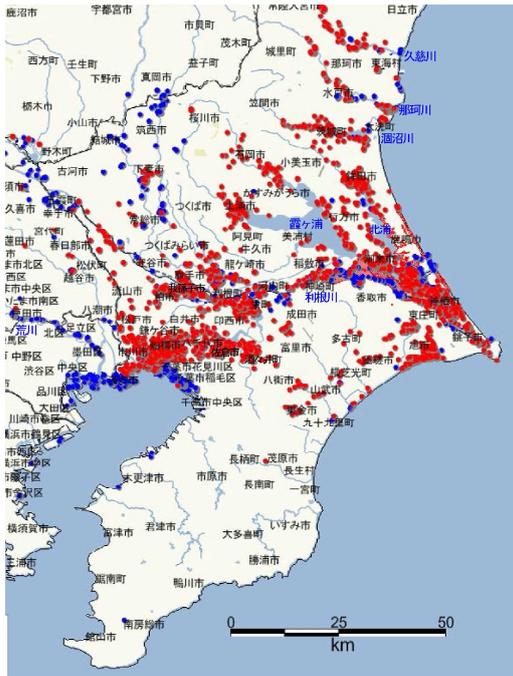


図 1-1 関東地方の液状化発生箇所¹⁾

- ※●(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も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。

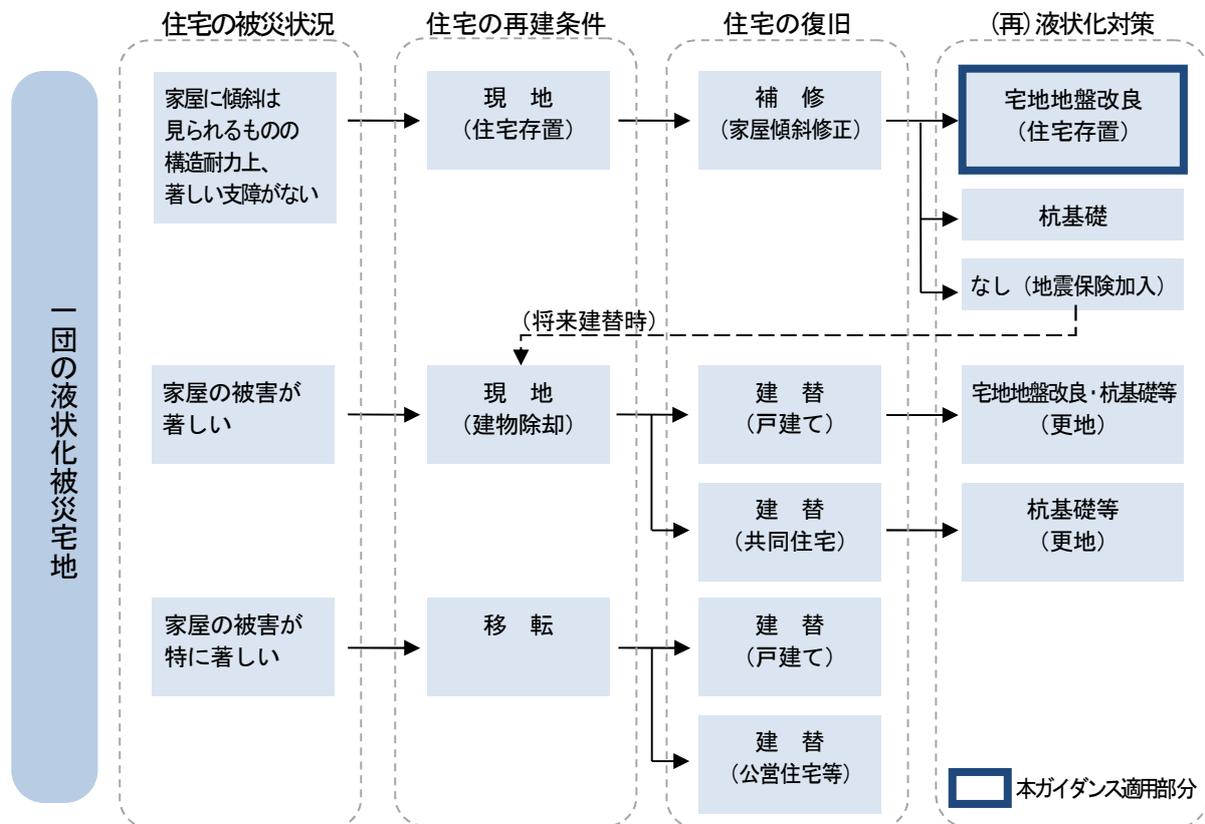


図 1-3 液状化被災宅地の復旧・(再)液状化対策における本ガイドンスの位置付け

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。

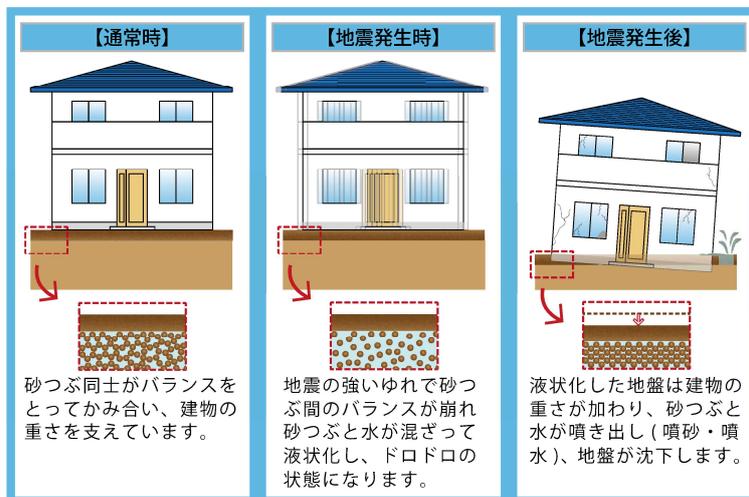


図 1-4 液状化発生メカニズムの模式図



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

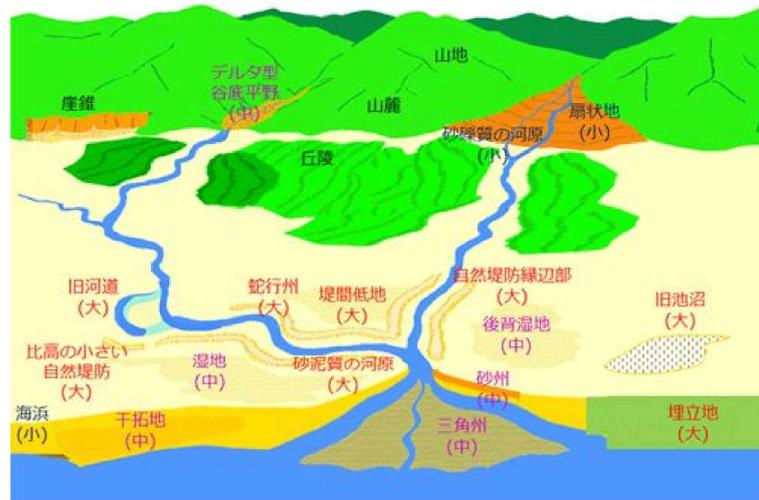


図 1-5 地形模式図による微地形区分 (日本建築学会ホームページより)

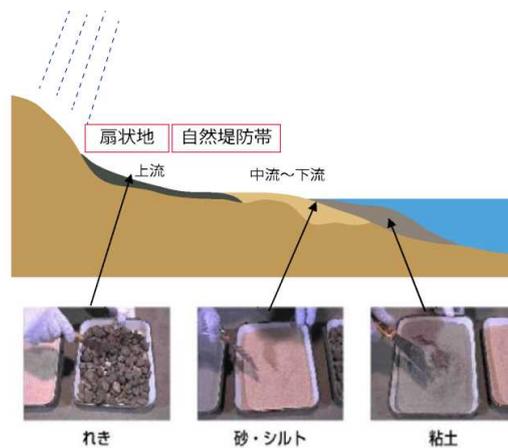


図 1-6 微地形による地盤構成 (科学技術振興機構ホームページより)

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。

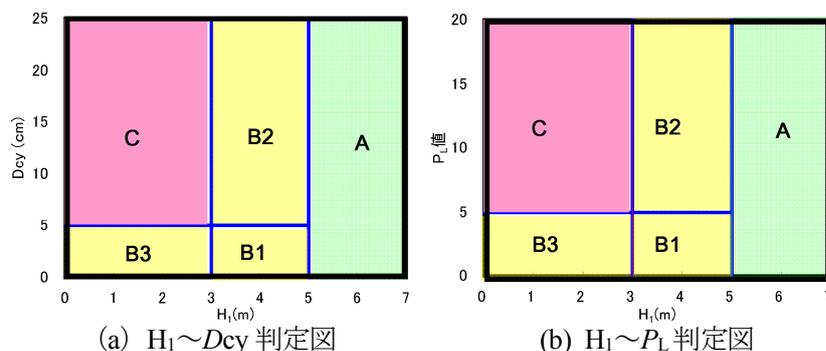


図1-7 H_1 値、 D_{cy} 値、 P_L 値による判定図

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。

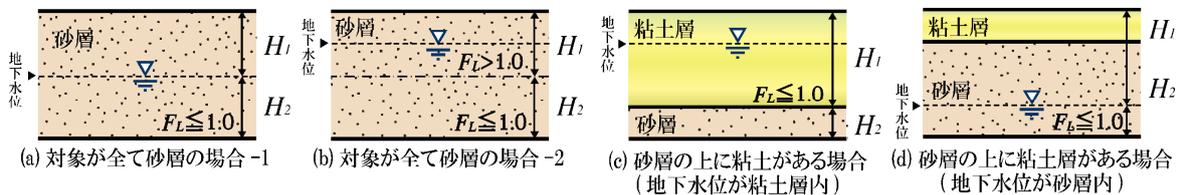


図 1-8 非液状化層厚 (H_1) と液状化層厚 (H_2) の関係

(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 : $1 - F_L$

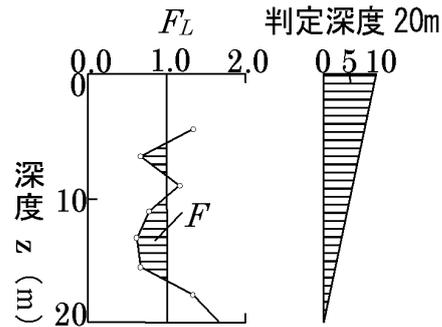


図 1-9 判定深度と重み係数の関係

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の可能性が高い

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

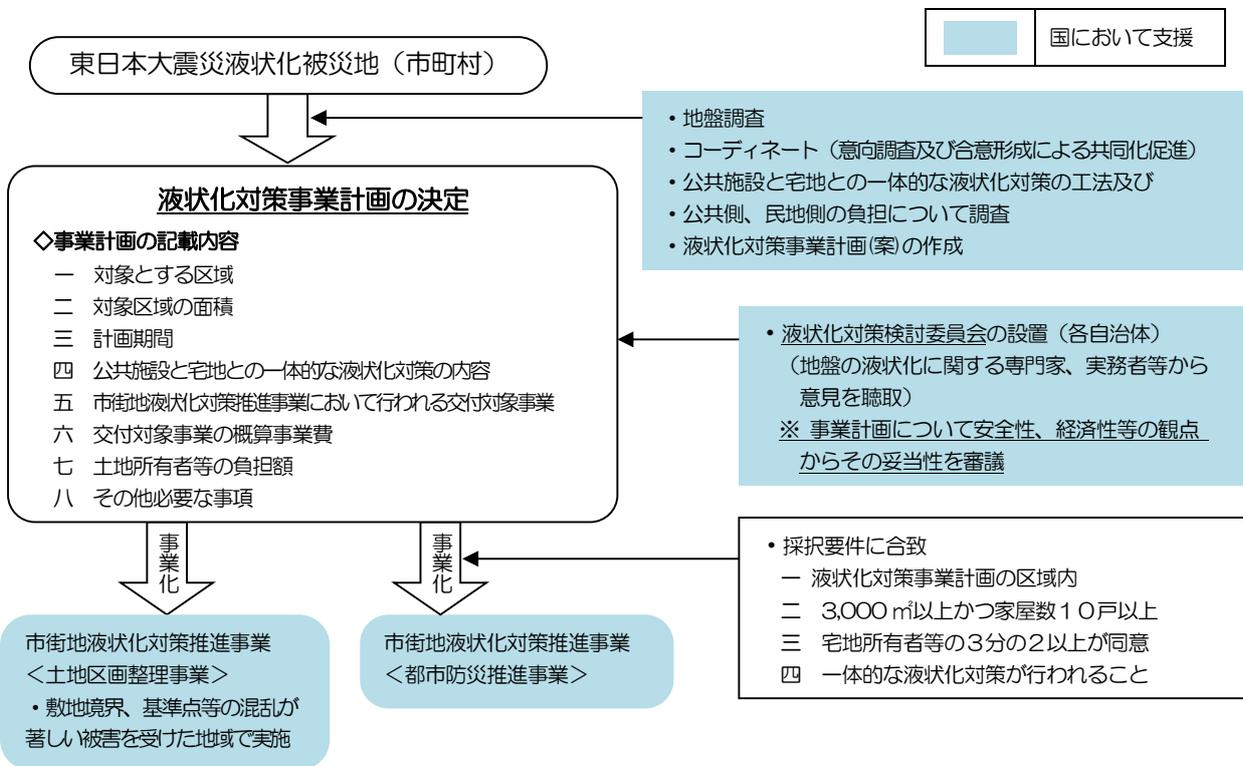


図1-10 液状化対策事業着手までのフロー

<公共施設の復旧と一体的な液状化対策>

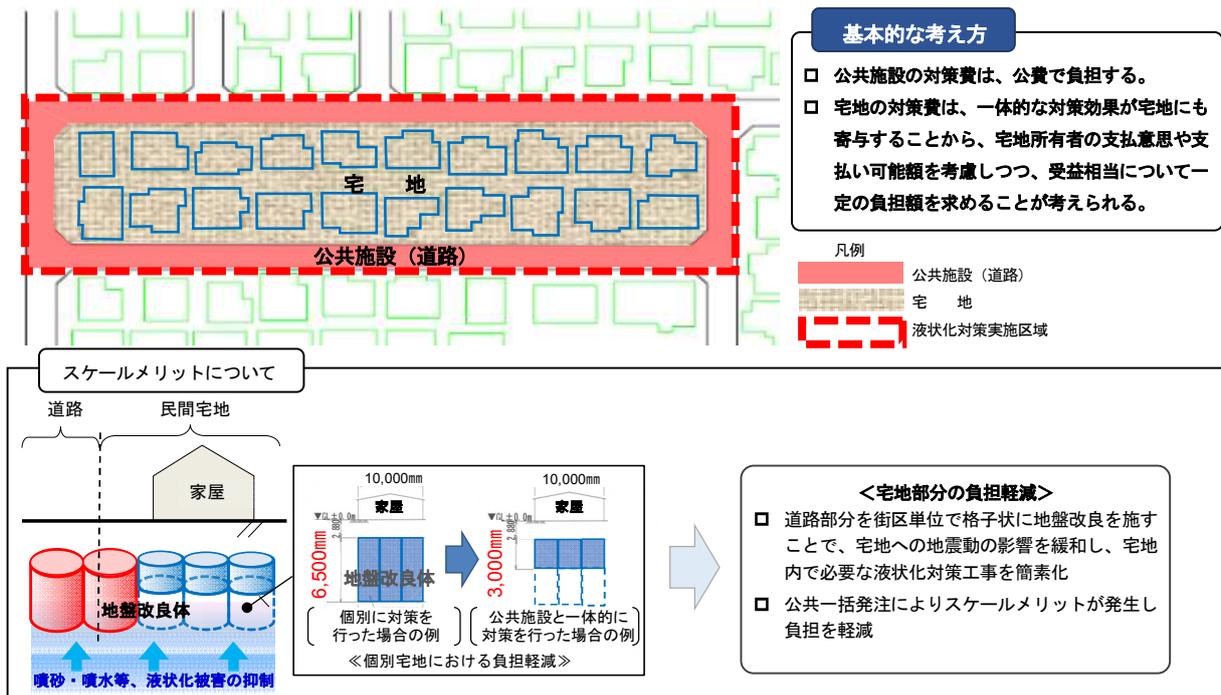
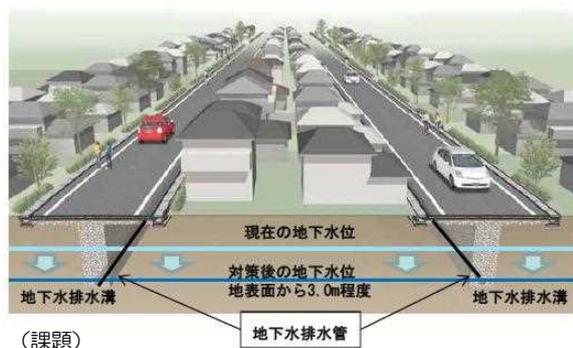


図1-11 公共施設と宅地との一体的な液状化対策の費用負担イメージ

(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（碎石と有孔管）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。

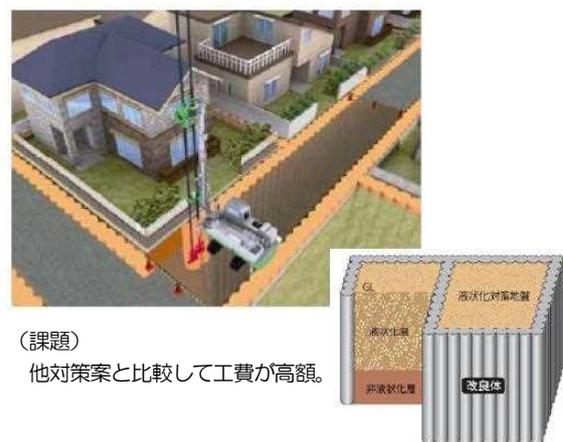


図1-12 対策工法例

<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。

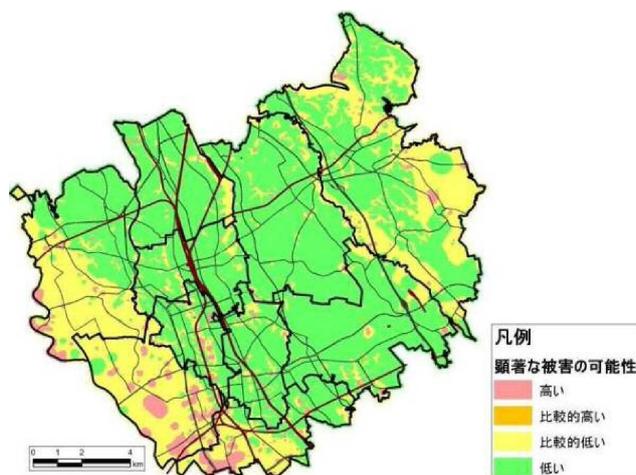


図1-13 液状化による顕著な被害の可能性マップ
（さいたま市）

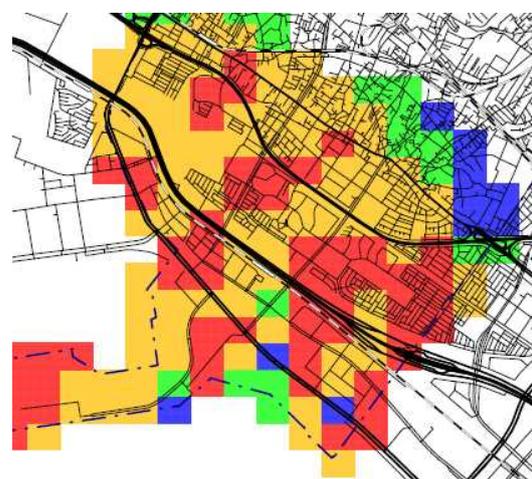


図1-14 液状化しやすさマップ（千葉県）

<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

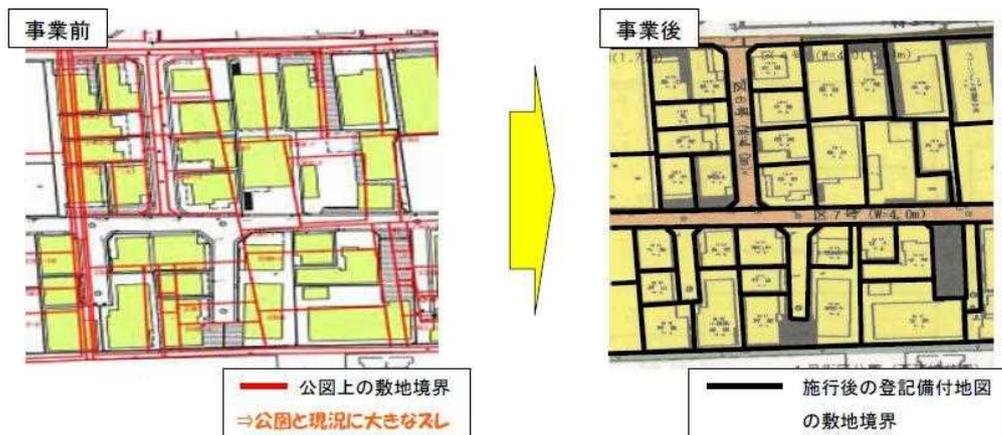


図1-15 地籍整備型土地区画整理事業のイメージ

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

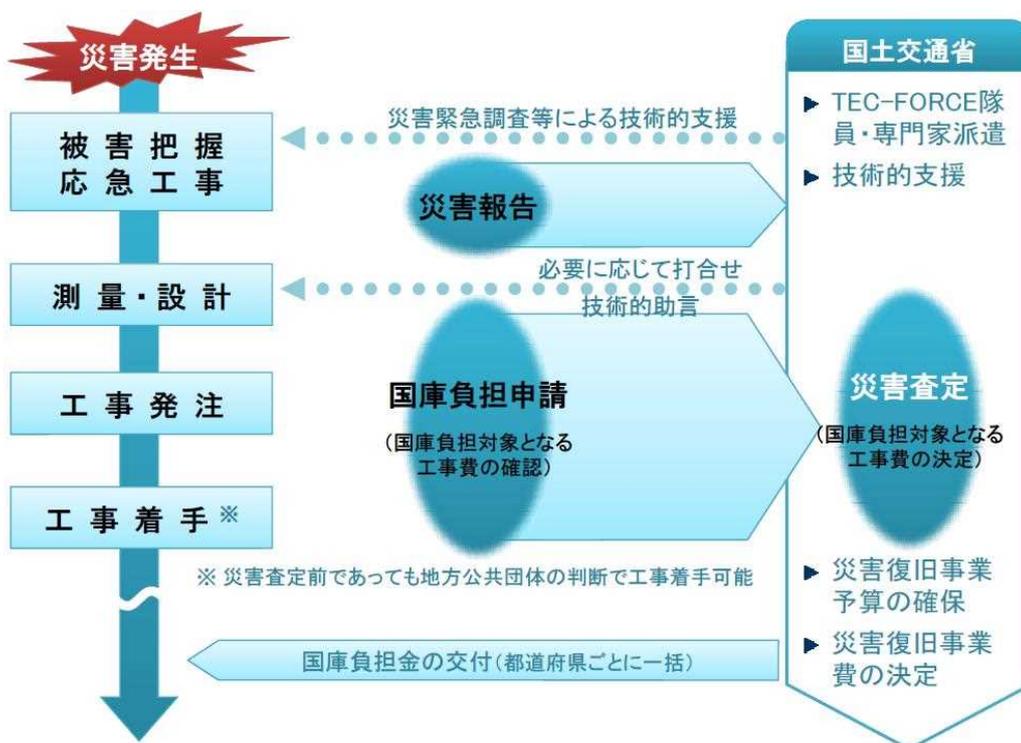


図1-16 災害復旧事業の主な流れ

<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

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

地震が発生し、液状化被害を受けた市街地については、応急対策・応急復旧、被災状況の把握・調査、対策の検討・住民合意形成、事業化（設計、工事実施、事業効果の確認）、液状化対策完了（維持・管理）といった段階を経て、液状化対策が進められるのが一般的であり、各段階で他の復旧・復興の施策と連携することが重要である。

本章では、東日本大震災の経験を踏まえ、将来起こり得る大規模な液状化被害に対し、迅速な復旧、復興が図られるよう、発災から対策を講じるまでの行動計画を時系列でタイムラインとして整理し、各段階で留意すべき事項を解説する。なお、タイムラインの目標期間については、被災状況や他事業の動向等を踏まえ、被災自治体において適切な時期を設定することが望ましい。

1. 被災情報の収集・連絡

地震発生直後から、各施設管理者等により、建築物の応急危険度判定及び宅地擁壁・地盤・法面の被災宅地危険度判定が行われるため、被災市町村は、これらの結果も活用しつつ、液状化の範囲や被害の程度、応急対策の必要性等を把握することが重要である。

また、この間、液状化による噴砂も除去されるため、液状化の痕跡が分かりにくくなり、住宅の傾斜も個人復旧が進むと計測できなくなるので、時期を逸せずデータ収集を行うことが望ましい。被災市町村は都道府県及び関係機関と連携し、建築の応急危険度判定及び宅地擁壁・地盤・斜面の被災宅地危険度判定等から宅地液状化被害の迅速な情報の収集を図ることが重要である。

この場合、全体の被害状況を把握した後、「被害状況データ整理シート」（国総研HP）を活用して液状化による宅地・建物被害状況調査を開始することが望ましい。

2. 被災概要の把握

発災後1～2週間から、インフラ等の簡易復旧や罹災証明の調査が行われる。

この時期には、「被害状況データ整理シート」（国総研HP）を活用した液状化による宅地・建物被害状況調査や道路・下水道等の公共施設の被災状況の調査結果等を活用して、液状化被害分布図の作成を行う。さらに、地質形成・造成履歴の調査や地震波の特徴も調査し、宅地の液状化被災概要の把握を行う。

さらに、震災前のボーリング・地質調査結果を入手して、液状化発生の要因を整理することが望ましい。

3. 対策工法の検討

発災後1～2か月間は、個人による一部住宅の傾斜復旧が行われる。

地震前のボーリング・地質調査を収集し、宅地液状化被害可能性判定計算シート（国総研HP）による再液状化被害の簡易判定を行い、液状化対策工法を選定する。地震前のボーリング・地質調査からでは全体が把握できない場合、震災後のボーリング・地質調査を数箇所追加する。工法の選定では、

解析結果と実際の地盤での透水性、圧密沈下等の現場実験又は現場での試験施工を行い、必要な効果が見込め、実現可能な工法を選定する。住民等に説明を行い、液状化対策に対する住民の意向を確認し、その結果に基づいて、液状化対策検討地区及びその他の復興方策の検討、個別対策地区の絞り込みを行う。

ガイダンスでは対策工法として2工法が示されており、1つは地下水位を下げることによる地下水位低下工法である。もう1つは格子状の連続壁を造成することによる格子状地中壁工法である。液状化対策の効果は、地下水位低下工法・格子状地中壁工法の簡易計算シート（国総研HP）等を用いて実施する。

なお、施工法が改良されたり、新工法が開発されたりすることがあるので、最新の技術動向を収集することも重要である。

地区特性の検討より液状化対策の効果が見込めない場合、または住民の意向を把握した結果、道路等の公共施設と宅地の一体的な液状化対策が困難である場合は、液状化被害の防止、軽減に向けて、道路等の公共施設と宅地が個別の対策に活用できるよう検討結果を整備し、公表すること。

4. 一体的液状化対策検討地区の選定

液状化対策検討地区に選定された区域において、地区ごとに震災後のボーリング・地質調査を補い、液状化対策の効果を確認しつつ、事業計画案を作成する。

宅地所有者等の意向を確認し、事業計画を策定する地区を決定する。

液状化対策事業計画を円滑に推進するために、地盤改良や建築物の修繕等に関する知識を有し、まちづくり事業に精通した専門家、実務者等からなるコーディネーター制度を活用することが望ましい。

5. 一体的液状化対策事業の計画

詳細な検討を行い、説明会等で宅地所有者等の意向を把握し、反映した事業計画を作成する。

事業計画に対する宅地所有者の同意の状況を確認し、事業計画を決定する。

6. 一体的液状化対策工事の実施

実施の際には、事業区域内外の住民と必要は調整を行い、協力を得ることが重要である。工事による影響を把握するため、事前に家屋調査を行い慎重に作業を進め、必要に応じて事後の家屋調査を行う。

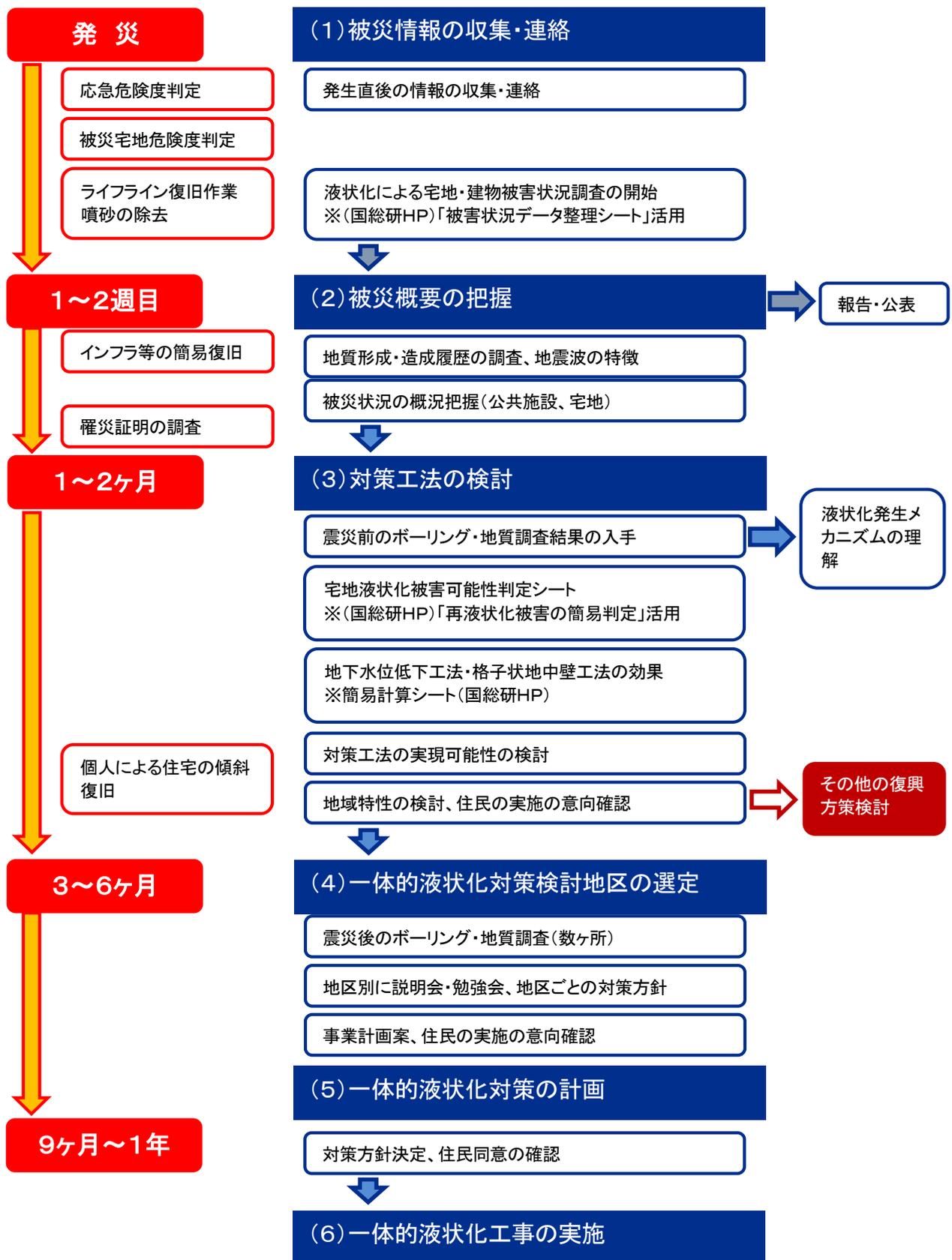


図2-1 市街地液状化対策事業のタイムラインの一例

*注1) このタイムラインは被災後1年間で工事着手することを目標とした場合のタイムラインの一例である。実際には被災規模等により対応が異なるため、各自治体において柔軟に対応していただきたい。

*注2) 下水道の復旧工事と市街地液状化対策事業が同時期に施工できると掘削が重複しなくてすむので望ましい。

(1) 公共施設の復旧と一体的液状化対策

地震による被害を受けた場合、まずは公共施設であれば管理者により、当面の機能維持のための応急対策や仮に機能を復旧させる応急復旧が行われ、その後、恒久的な対策や復旧工事が行われるのが一般的である。

公共施設・宅地一体型液状化対策については、次に起こるであろう地震に対する(再)液状化対策であるため、各公共施設の本格的な復旧工事に合わせて対策工事を実施することが効率的であり望ましい。

1. 道路、上下水道等の復旧

液状化により被災した道路や上下水道等の都市インフラは、市民生活を支える重要なライフラインであり、早急に機能回復を図る必要があるが、その方法としては、必要に応じ、当面の機能維持や被害拡大を防ぐための応急的な措置が行われ、その後、恒久的な対策や本復旧が行われるのが一般的である。(災害復旧事業の流れについては、「1-4 関連する事業制度」を参照されたい。)

このため、道路等の公共施設と宅地の一体的な液状化対策を講じる際には、道路の無用な掘り返し等が生じないように、なるべく本復旧に合わせて行うことが望ましい。液状化対策に先行して復旧事業を行う場合、掘り返しを見越して仮復旧に留めておくなど、事業の効率化を図ることが望ましい。

2. 市街地の一体的な液状化対策

第1章で述べたように、道路等の公共施設と宅地が集約された一団の土地において、面的な液状化被害が生じた場合、宅地からの噴砂が道路や下水道を埋没させ、迅速な避難や震災後の生活再建に悪影響を与えることから、このような地区については、道路等の公共施設と宅地一体的な液状化対策を検討することが望ましい。

事業実施のための住民同意を得るには、住民説明会を開催し、事業目的のみならず、対策工法によっては住民側に費用負担を求める場合、同意形成を図る際に十分な説明を行う。また、施工の影響について説明をすることが重要である。

液状化対策の技術的な内容については、第3章以降で述べる。

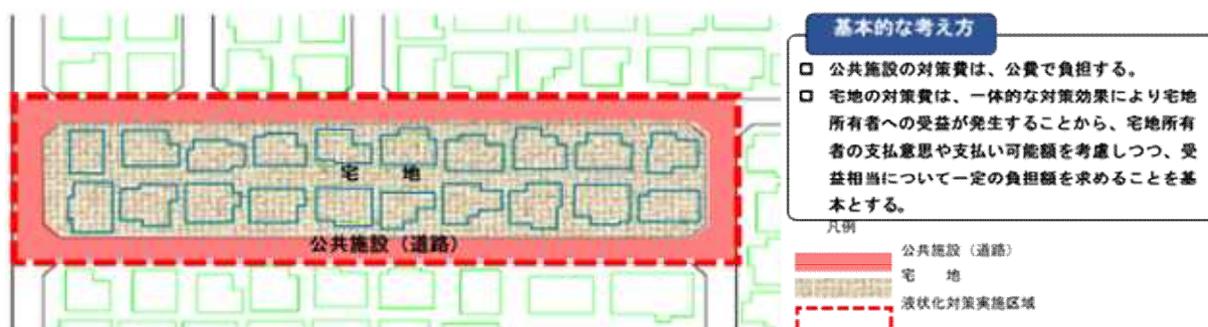


図2-2 公共施設と宅地との一体的な液状化対策の費用負担イメージ

(2) 被災住宅の復旧と液状化対策

1) 被災住宅の復旧

液状化により被災した住宅の復旧は、所有者個人により行われるものであるが、行政は被災者の生活再建を支援する立場から、各種支援制度の周知に努めるとともに、住宅の沈下や傾斜の復旧に係る代表的な工法について、その特徴や再液状化に対する効果の有無等を情報提供することが望ましい。

被災住宅の個別復旧は、個々の地権者の判断で実施する。

沈下や傾斜の修復を行う場合、修復後に再び液状化が起きた場合に備えて修復とあわせて個別に住宅の液状化対策を行うというケースも考えられる。そこで、住宅の液状化対策の有無も含めた修復工法選定の手順を図2-3のフローに示す。戸建住宅の液状化による沈下や傾斜の修復工法としては、アンダーピニング工法、耐圧版工法、ポイントジャッキ工法、注入工法などがある。工法の選定にあたっては、各工法の特徴や再液状化に対する効果の有無等をよく理解した上で選定しなければならず、工法の適用の可否は地盤調査の結果に依る場合もある。なお、注入工法に関しては、隣地への影響を十分に考慮する必要がある。修復工法の概要は資料編を参照されたい。

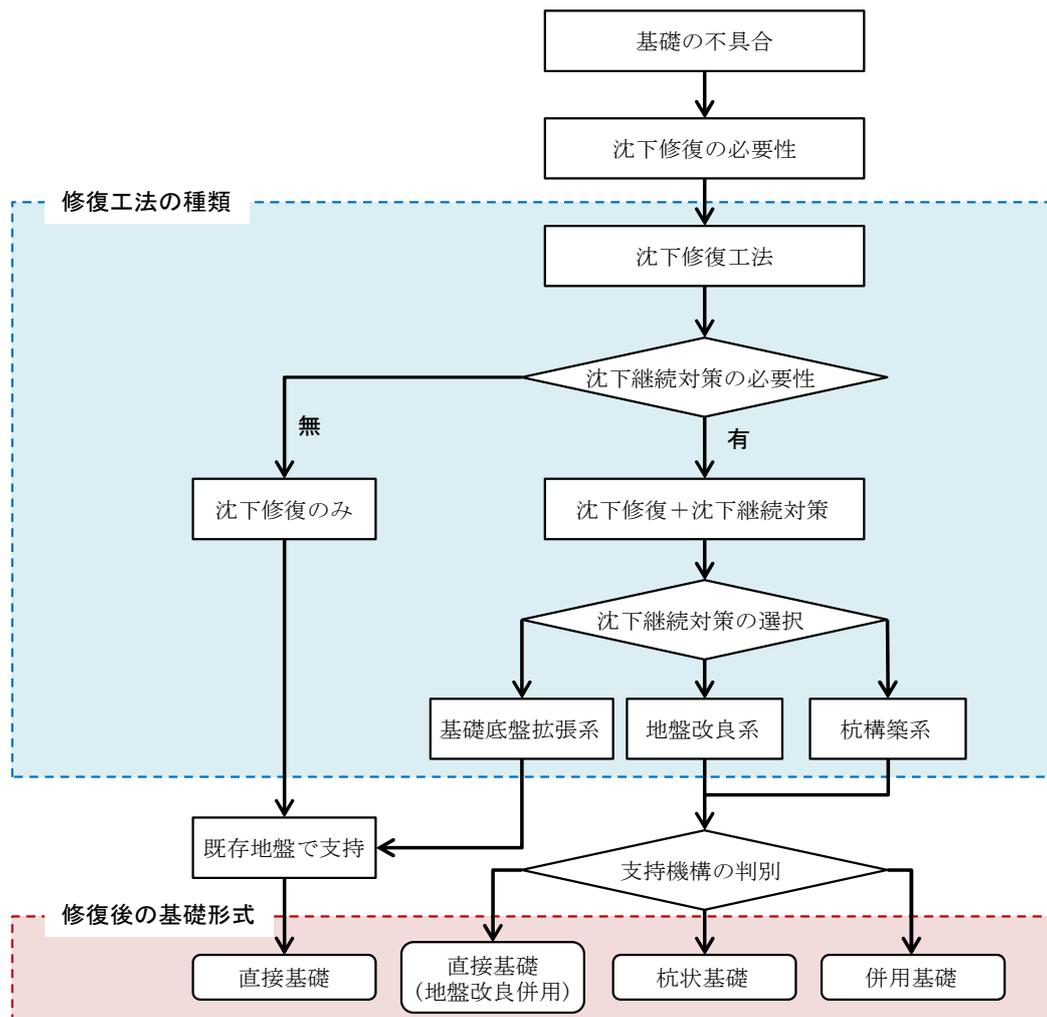


図 2-3 修復工法選定手順¹⁾

2) 個別の宅地の液状化対策

液状化により被災した住宅の修復に関しては、建物の沈下や傾斜の復旧のみが行われることが多い。

宅地の(再)液状化対策を行うかについては、所有者の判断に依るところであるが、公共施設・宅地一体型液状化対策の実施を想定している地区については、行政が所有者に対し液状化対策への理解を促し、個人による対策と齟齬が生じないように努めることが望ましい。

「2-1(1) 公共施設の復旧と一体的液状化対策」が適用できない場合は、個々の地権者の判断で「個別の宅地液状化対策」を実施する。

個人でできる液状化の被害を低減させる方法は、「建て替え・新築時」と「住宅が建ったままの状態」とでは異なる。このうち、住宅が建ったままの状態でも適用可能な工法は、住宅の建て替え・新築時に適用可能な対策に比べると施工時の制約条件が多いので、費用的に割高になることがある。

個別対策を検討する際のフローを図2-4に示す。まず、個別対策が必要かどうかは、公開されているハザードマップや地盤調査の結果を元に地盤の液状化危険度を判断し、危険度が高いと判断された場合は対策をするかしないかの判断を行う。代表的な個別の宅地液状化対策工法については資料編を参照されたい。施工法が改良されたり、新工法が開発されることがあるので、最新の技術動向を収集することも重要である。

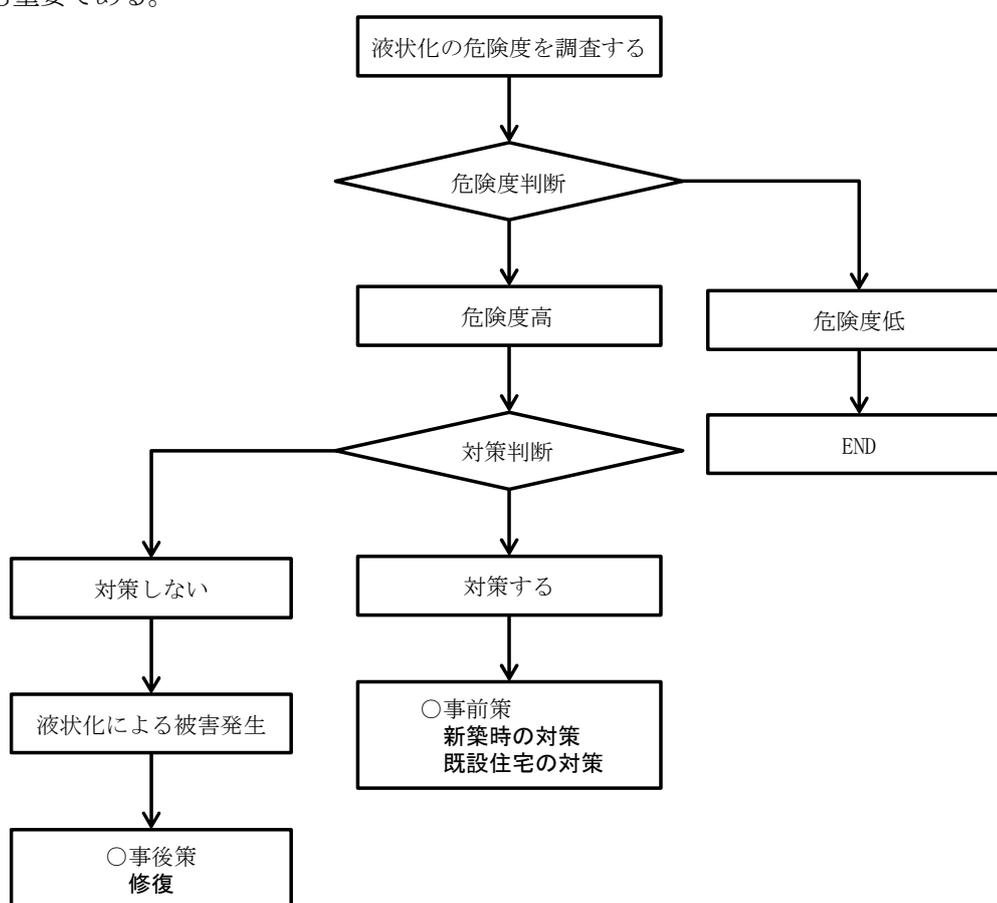


図 2-4 個別対策検討フロー

2-2 今後予想される地震の事前対策

今後予想される地震に対する事前対策は、各公共施設の管理者や住宅所有者等が適切に行うこととなるが、既成市街地において公共施設の液状化対策が急務であったり、住宅が建て替えまでに相当の時間がかかる等の理由により、住宅を存置したままの液状化対策が効率的かつ効果的である場合、公共施設・宅地一体型液状化対策を実施することができる。

液状化現象による被害は都市機能維持の足かせとなったり個人財産が毀損したりはするが、一方で液状化現象は直接的に人命被害につながらないのが実態であり、戸建て住宅を考えた場合、現在の建築基準法における「大地震時に人命を損なわない」といった耐震基準と比較すると、液状化被害を発生させないために規制を強化することは困難と考えられる。また、液状化被害はそれぞれの地盤の状況によって発生の有無や程度が左右され、現在の技術レベルからもあらゆる被害を予測することができないことや、その対策費用も相当程度高額となる場合があることから、一律に調査や対策を義務付けることも困難と考えられる。

このため、地震時の被害抑制には、主に戸建て住宅地における個人・民間等による対策を促進することが重要であり、そのためには、適切な判断のための様々な情報の提供を充実する必要があることから、国土交通省では次のような取り組みを進めている（図2-5）。

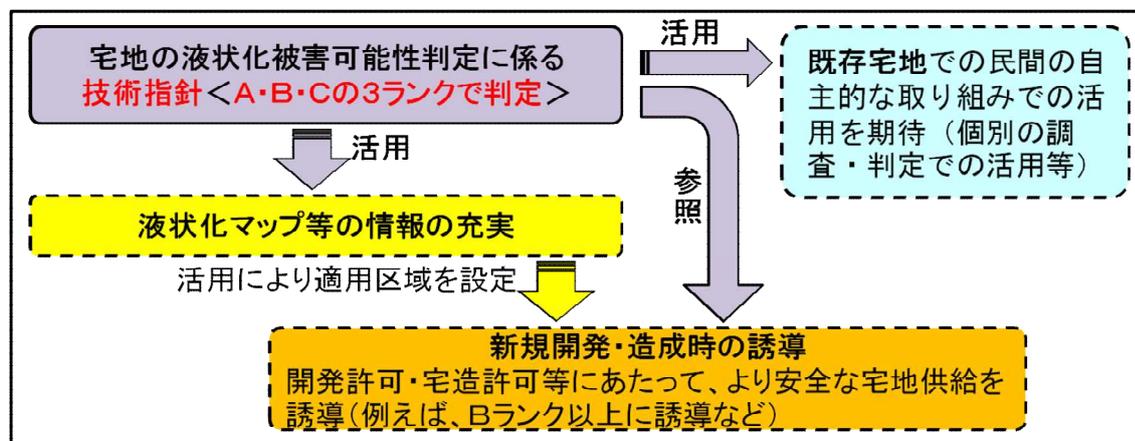


図 2-5 宅地の液状化に対する国土交通省の取り組み

1. 液状化被害判定指針

必ずしも明確でなかった戸建て住宅を対象とした判定手法に対し、学識経験者の検討結果から「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針」を取りまとめた。この指針は、宅地の液状化に関する調査や対策を義務付けるものではないが、少なくとも今後開発・造成される新たな宅地については、この基準を参考にして、より安全な宅地供給が行われることを期待するとともに、既存の宅地についても、民間の自主的な取り組みにおいて広く活用されることを期待している。

なお、液状化現象は、震度・継続時間等の地震特性、局所的地層変化、建物特性等が複雑に関連しており、被害可能性判定は、現実的なコストを前提にすると技術的に限界がある。このため、この指針は、宅地の液状化被害の可能性を判定する目安であり、個別の宅地毎に被害の有無等を保証するものではない。

2. 液状化関連情報の内容の充実

液状化の可能性を判断するために重要なボーリングデータについては、国土交通省の直轄工事に伴う約11万本について、国土交通省のウェブサイトですべて公表している。また、17の都道府県で公共事業に伴うデータを公表しているが、まだ全体の3分の1程度である。さらに、市町村工事のデータは、ほとんど公表されていないので、データの一層の整理・公表が必要である。

地域ごとの液状化の可能性の程度を示した液状化マップは、40の都道府県で公表されているが、地域ごとの傾向は読み取れるものの、個別の宅地や街区単位まで判別できるものは少ないのが現状である。また、より詳細なマップが2014年現在で282の市町村で公表されているが、全国的に見れば未作成団体が多数あるのが現状で、作成を進める必要がある。さらに、地方公共団体によって、液状化の可能性を高低4区分で示すものや、あり・なし2区分で示すものなど、マップの内容が様々であり、今回策定した技術指針を基に、戸建て住宅を想定した統一的な基準でのマップ作りも求められている。

このような公共団体におけるボーリングデータの収集・公表や宅地液状化マップの作成については、平成25年度から国庫助成を行うこととしており、公共団体による様々な調査を促進し、液状化関係の情報の充実を進めている。

また、過去の液状化の被害履歴を地図上に示した被災履歴図と、液状化の可能性の判断に有効な埋立地等を示す地形区分図を、国土交通省において順次作成している。首都圏・中部圏の一部で作成済みで、大阪周辺等で調査中であり、今後も大都市を中心に順次作成する。

3. 一元的な情報提供等

液状化に関連する様々な情報は、国土交通省の各部局、各公共団体などが個別に提供しており、消費者等の利便の観点から一元的な情報提供が望まれている（図2-6）。

このため、液状化マップについては、国土交通省のホームページにあるハザードマップポータルサイトにおいて、建物被害予測などとともに、全国的な作成状況の一覧を示すとともに、各公共団体のマップへのリンクを設定している。また、ボーリングデータについては、独立行政法人防災科学技術研究所のデータベースである「ジオ・ステーション（<http://www.geo-stn.bosai.go.jp/jps/index.html>）」において、国土交通省の公表データを含め、全国の公表済みデータの相当部分が、ワンストップで、誰でも見ることができる。

さらに、これらの情報を一元的に紹介する液状化関係情報ポータルサイトを、平成25年3月下旬に開設した。このサイトでは、液状化に関する基礎知識や取り組み状況、技術指針などを紹介するとともに、国土交通省のハザードマップポータルサイト、防災科学技術研究所の「ジオ・ステーション」、各公共団体のボーリングデータベース、液状化被災履歴図や地形区分図を公開している国土交通省のページなどにリンクしている。

その他、（公社）地盤工学会でも地盤情報のデータベースや全国電子地盤図の作成を行っており、利用することができる。

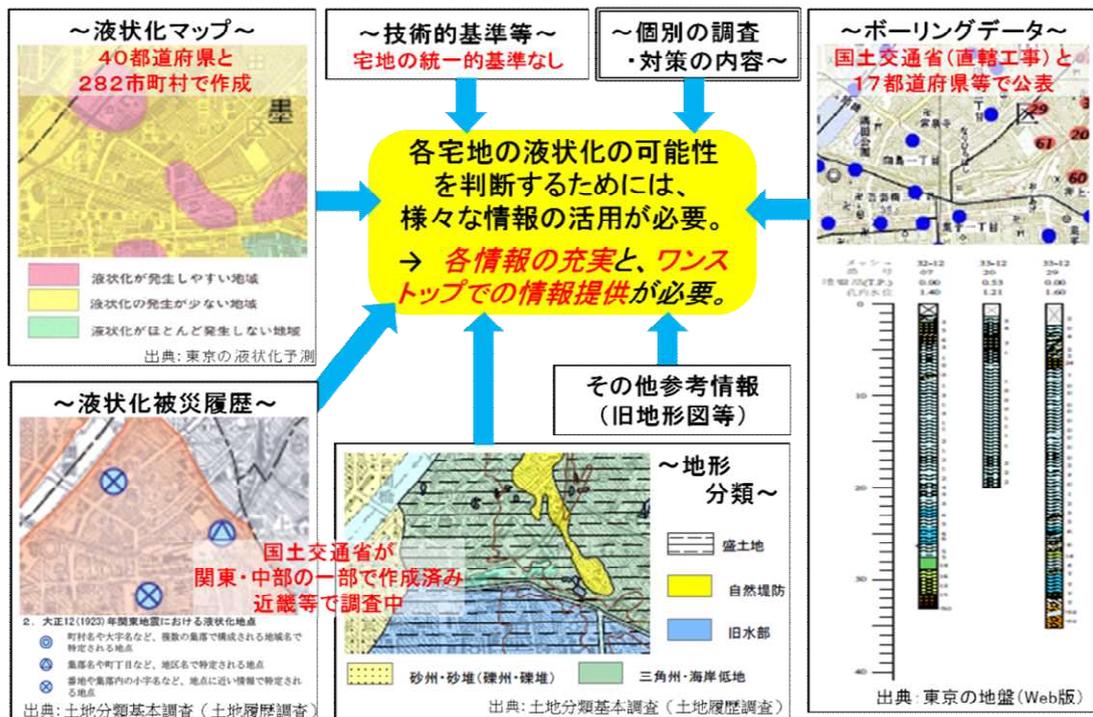


図2-6 ポータルサイトのイメージ

4. 住宅性能表示

液状化の可能性等の地盤情報の重要性を消費者等が十分に認識することは重要である。住宅性能表示制度における日本住宅性能表示基準・評価方法基準は、液状化に関し申請者が把握している情報を参考情報として評価書に記載するなど、液状化に関する情報提供を行う一定の仕組みの整備（評価や等級表示の対象ではない）の見直し等の改正が行われ（平成26年2月21日に改正告示公布）、平成27年4月1日より施行された。

住宅性能表示制度における「液状化に関する参考情報の提供」に関する手引き²⁾では、住宅の品質確保の促進等に関する法律(品確法)の住宅性能評価書に記載できる事項として追加された、「住宅性能評価を行った住宅の地盤の液状化に関し住宅性能評価の際に入手した事項のうち参考となるもの」について、住宅請負業者から建築主に対する液状化に関する参考情報の資料をまとめている。液状化に関する参考情報の種類は、(イ)液状化に関する広域的情報、(ロ)液状化に関する個別の住宅敷地の情報、(ハ)液状化に関する当該住宅基礎等における工事の情報に分類され・各種資料調査・現地での地盤調査結果および基礎等の設計内容に基づいてまとめられ、参考情報の説明がされることとなる。

<参考文献>

- 1) 日本建築学会：住まいづくり支援建築会議の復旧・復興支援 WG「液状化被害の基礎知識」
<http://news-sv.ajj.or.jp/shien/s2/ekijouka/>
- 2) 一般社団法人 住宅生産団体連合会建築規制合理化委員会 基礎・地盤技術検討ワーキンググループ：住宅性能表示制度における「液状化に関する参考情報の提供」に関する手引き

第3章 対策検討に必要な調査

3-1 危険度判定調査における状況把握

発災直後、地方公共団体は、災害が発生した場合への備えとして作成している「地域防災計画」等に基づいて行動することとなる。

被災市町村は都道府県・関係機関と連携し、「被災建築物応急危険度判定」及び「被災宅地危険度判定」等から宅地液状化被害の迅速な情報の収集を図り、その後の「り災証明」の建物傾斜量、沈下量、噴砂・噴水・湧水等の状況を整理し、液状化被災地区を特定するため、これらの制度も活用した被災状況の把握が重要である。

1. 災害情報等の収集・連絡

発災後1～2週間は、建築の応急危険度判定及び宅地擁壁・地盤・斜面の被災宅地危険度判定が行われる。ただし、巨大地震の場合は、1か月を要することもある。被災市町村は都道府県及び関係機関と連携し、図3-1のように建築の応急危険度判定及び図3-2のように宅地地盤の被災宅地危険度判定等から宅地液状化被害の迅速な情報の収集を図る必要がある。なお、宅地地盤の被災宅地危険度判定例については、<資料編3-1>を参照とされたい。

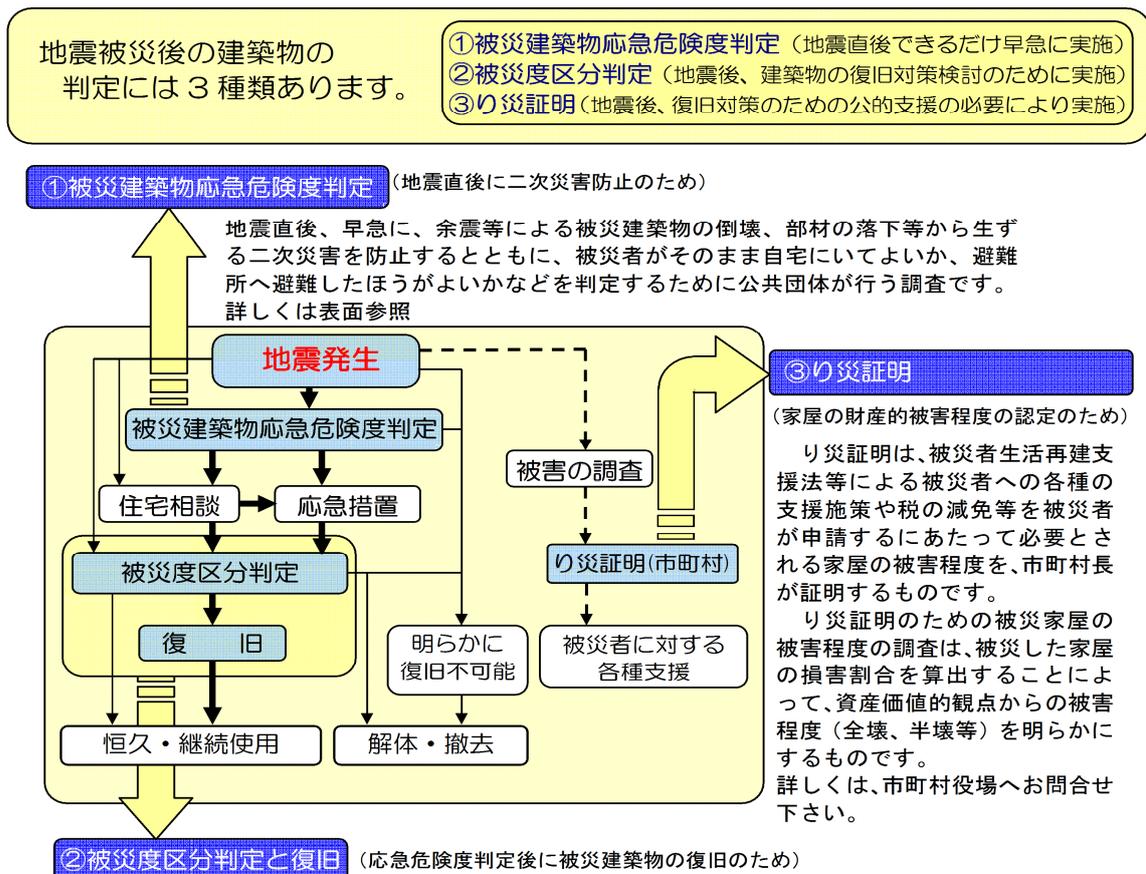


図3-1 地震被災後の建築物の判定¹⁾

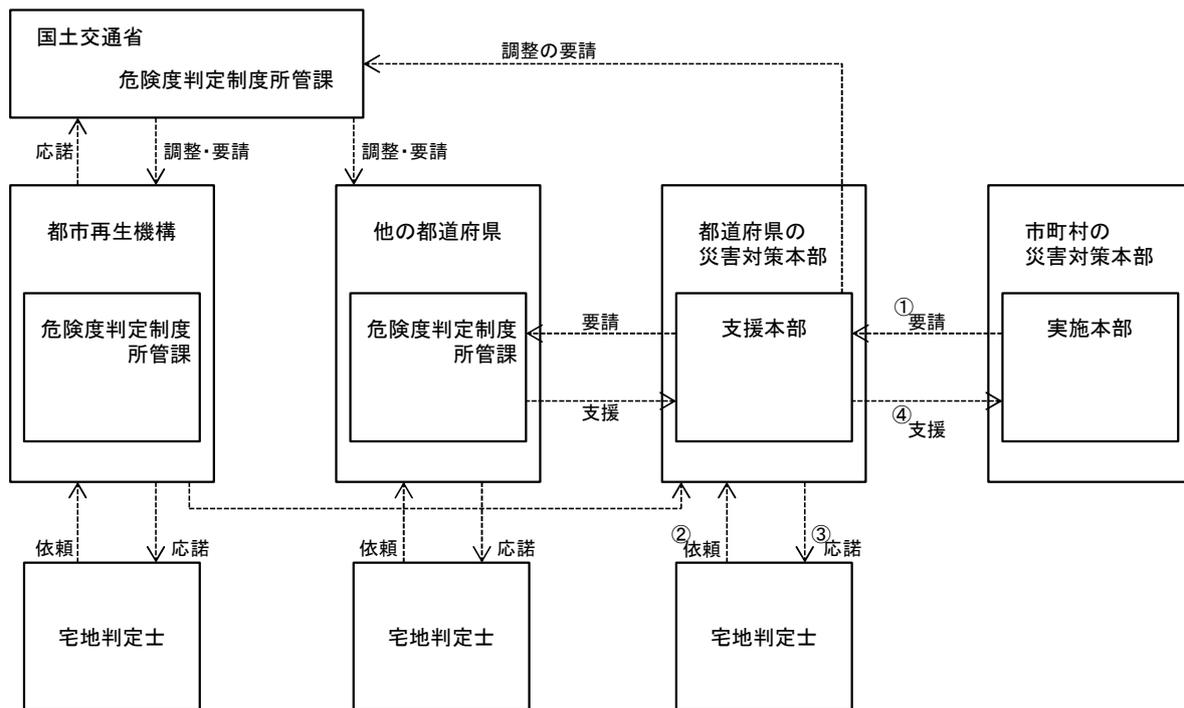


図3-2 危険度判定実施体制²⁾

2. 活動体制の確立

発災後速やかに、職員の非常参集、情報収集連絡体制の確立及び災害対策本部の設置等必要な体制が取られるが、特に、液状化の被害状況は、生活のために必需となる上水道・電気・ガス等のライフライン復旧作業や液状化による宅地・道路の噴砂の除去が行われてしまうために、速やかに液状化被災地区の現状を把握する調査体制を取る必要がある。

発災直後の宅地液状化被害は、住宅地図等を活用して、噴砂等の観察から被災範囲の図示、傾き・潜り込み・基礎の浮き上がり等がみられる建物の特定、道路・水路・マンホール等の変状のある公共施設の特定により、把握する。このうち、被害建物は、低層住宅とその他に分け、棟数ベースで集計することが望ましい。

発災直後から、「被災宅地危険度判定」が動いているものの、液状化地区は対象にならない場合があるので、噴砂等の状況から独自に被災地区を特定する必要がある。なお、宅地地盤の沈下量・建物の傾斜勾配と沈下量データ作成については、<資料編3-2>を参照されたい。

<参照>「地域防災計画」

地域防災計画は、災害対策基本法第40条に基づき、各地方自治体の長がそれぞれの防災会議に諮り、防災のために処理すべき業務などを具体的に定めた計画である。地理的、気候的条件や都市構造等、地域の実情に応じた防災計画として、地震災害対策や津波災害対策等、それぞれの災害に対する災害予防、災害応急対策、災害復旧・復興の段階における諸施策を具体的に定めている。

3-2 宅地被災状況調査

被災の概要を把握するため、宅地の液状化による各被害状況を調査し、各マップ類を作成することが望ましい。

- ①液状化被害の全体図（液状化の発生範囲）
- ②宅地の被害状況図（被災当時の写真を収集し、位置図とともに整理する）
- ③噴砂状況図（被災当時の状況をもとに作成する）
- ④道路の地盤沈下コンター図（道路の沈下量をもとにコンター図を作成する）

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、**図3-3、3-4**に示すように関東地方の広い範囲にわたり地盤の液状化現象が発生し、住宅、道路、河川堤防、港湾施設、ライフライン等に多大な被害が発生した。国土交通省関東地方整備局と地盤工学会では、既にこれらの地盤液状化現象の実態を把握、解明するために共同で調査を実施し、その成果を報告書に取りまとめている^{3),4)}。各地域の液状化被害については、大学や建築研究所のホームページ（HP）でも現地調査報告がなされており、過去の地震についても、1987年12月17日に発生した千葉県東方沖地震等において液状化の発生が報告されているところである⁵⁾。

宅地の被災状況を把握する際には、これら既存の資料をもとにこれまでに再液状化被害が発生しているかについても調査しておくことが望ましい。再液状化が発生した箇所については、今後も液状化被害は発生する可能性が高いため、液状化対策に向けて重点的に検討を行うことが望まれる。

被災例を示すと、**図3-5**の潮来市日の出地区（以下、IH地区）の宅地液状化被害では、干拓地を埋め立てて宅地化した地盤全体に激しい液状化が発生したが、北側の一部の区画では液状化が発生しなかった。地震直後の液状化による噴砂の状況は、Google Earthの**写真3-1**から噴砂量が多く地区全域が住宅被害を受けていることが判る。液状化による住宅地内の噴砂等の変状図は実態調査があればそれを採用する。無い場合は、Google Earthの2011年3月29日撮影の衛星画像を判読推定した**図3-6**のように、衛星画像を用いて噴砂が生じた液状化地点マップを作成する。ただし、あくまでも画像による判読のために現地の噴砂等の変状と一致しない場合がある。

IH地区では、主な被害状況として**写真3-2**の宅地地盤の液状化に伴う大規模な噴砂、**写真3-3**の建物の基礎部の割れや段差、**写真3-4**の中学校の校舎や体育館での建物基礎地盤の沈下、**写真3-5**木杭の抜け上がり、**写真3-6**道路側溝の破壊と蓋の乗り上げ、**写真3-7**のライフラインの押し上げ現象等が生じている。これら液状化被害状況を整理し、特筆すべき箇所・状況がわかるように、図面上に記載し被害概要マップを作成する。

液状化による地域の地盤沈下の状況を把握するため、**図3-7**に示すように道路の沈下量コンターを示す道路の地盤沈下コンター図を作成する。

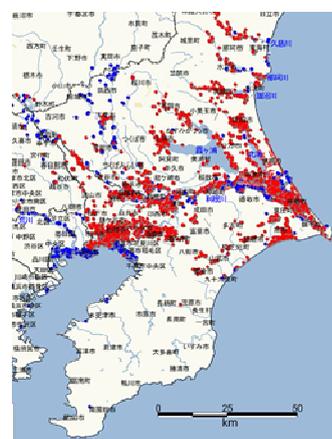


図3-3 関東地方の液状化発生分布³⁾

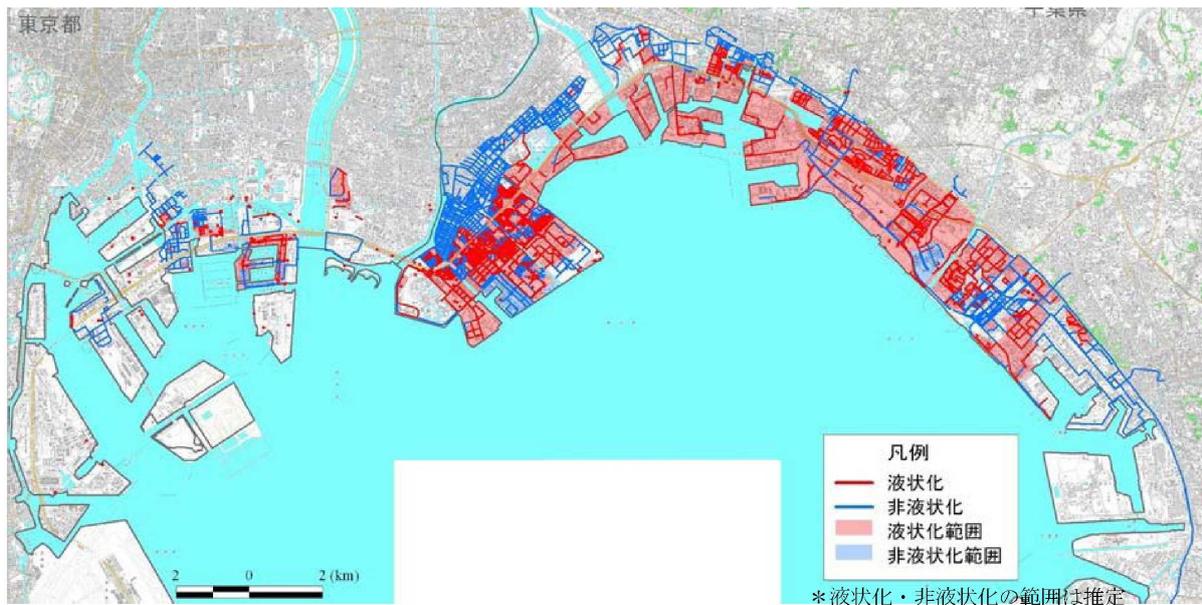


図3-4 東京湾岸の液状化発生分布⁴⁾

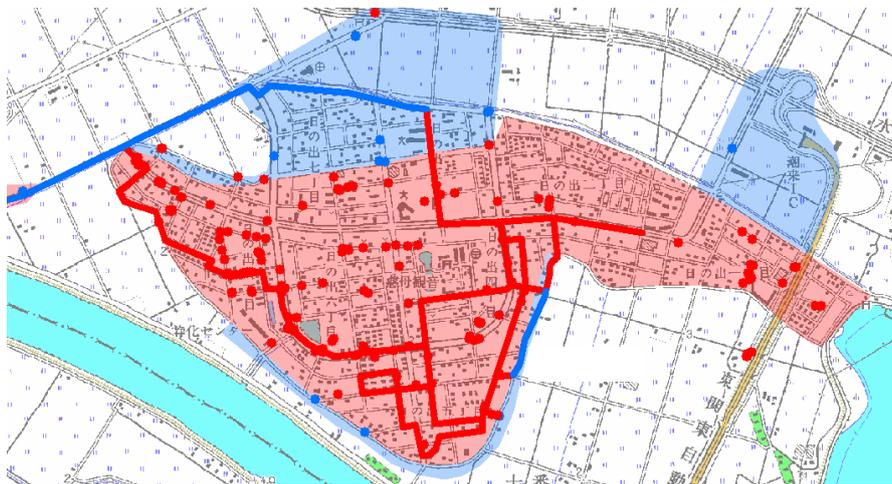


図3-5 Iijima地区における液状化被害の全体図⁴⁾

赤塗りつぶし：液状化被害の大きい地域（●：噴砂箇所）
 青塗りつぶし：液状化被害の少ない地域（●：噴砂箇所）



写真3-1 敷地での噴砂現象（Google Earthより）



写真3-2 宅地地盤の液状化に伴う大規模な噴砂状況⁶⁾



写真3-3 建物の基礎部の割れや段差⁶⁾



写真3-4 建物の基礎地盤の沈下⁶⁾



写真3-5 木杭の抜け上がり⁶⁾



写真3-6 道路側溝の破壊と蓋の乗り上げ⁶⁾



写真3-7 ライフラインの押し上げ現象⁶⁾

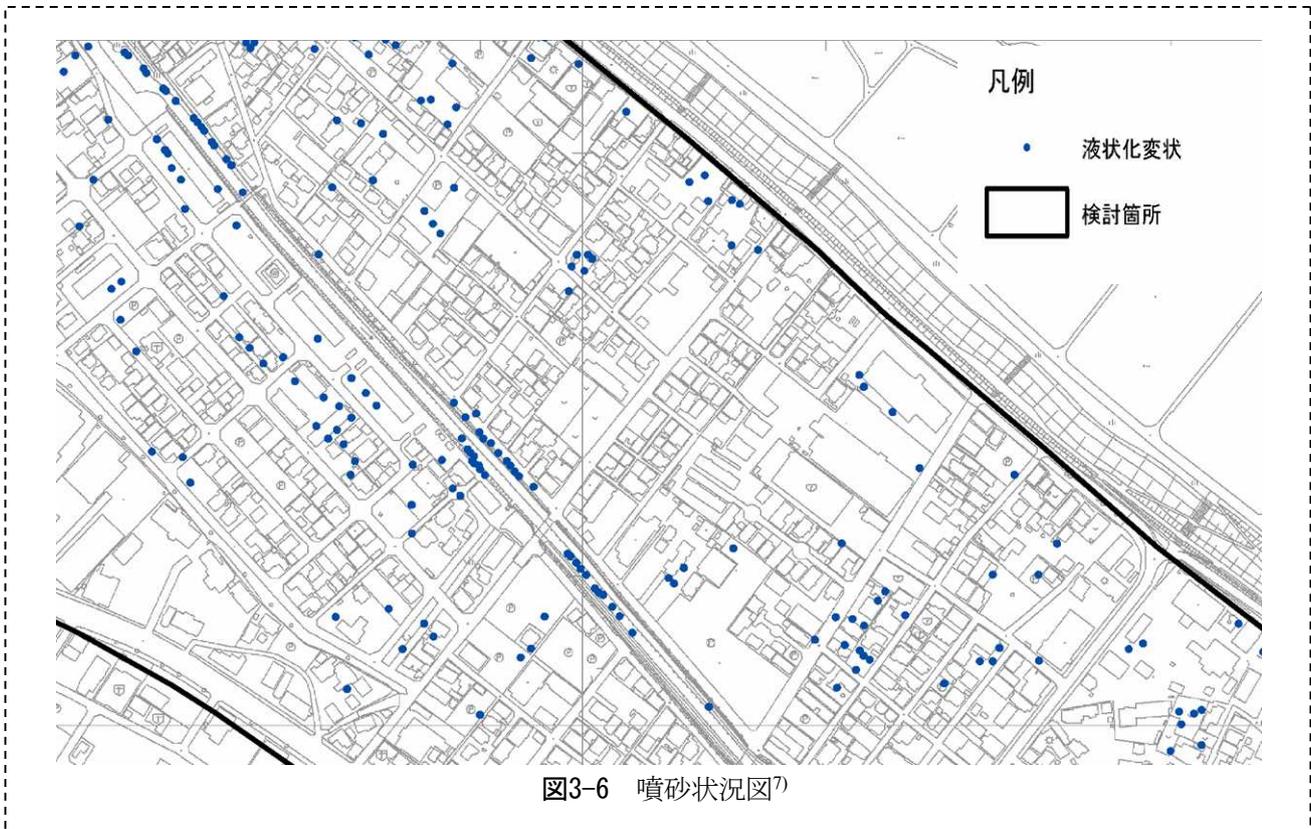
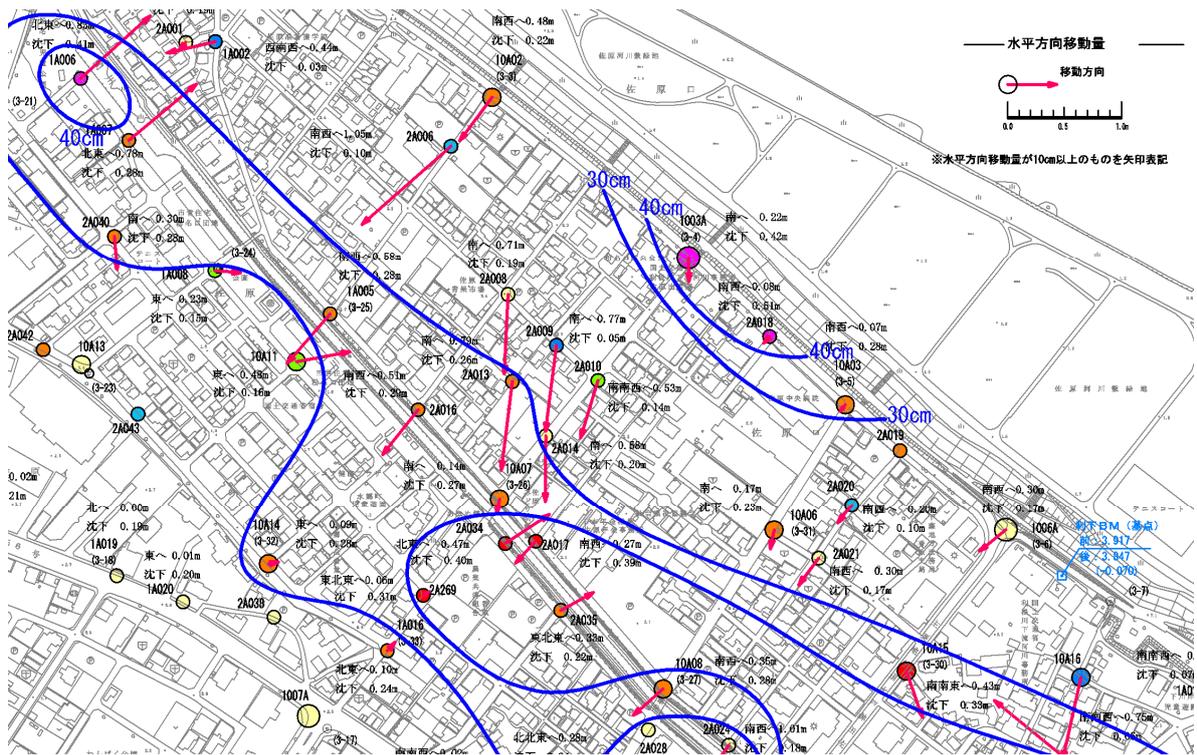


図3-6 噴砂状況図⁷⁾



上下方向移動量

記号	上・下変動値
● (Blue)	隆起
● (Light Blue)	0~30mm
● (Light Green)	31~60mm
● (Yellow)	61~100mm
● (Orange)	101~200mm
● (Red)	201~300mm
● (Purple)	300mm以上

凡例

標識の種別

- 街区三角点
- 街区多角点
- 節点
- 座標計算における既知点
- 水平方向で不動と仮定した測点

沈下量 (cm)

図3-7 道路の地盤沈下コンター図⁷⁾

(液状化による道路の沈下をもとにした地盤沈下コンター図)

3-3 公共施設被災状況調査

公共施設では、液状化により道路の沈下や亀裂、下水道管路の破断、マンホールの隆起が生じやすく、また河川のように高低差のある場所では液状化による側方流動によって河床の隆起及び護岸部のはらみ出し等が発生し、宅地地盤も側方変位することがある。そこで、これら道路・下水道等の公共施設について、災害査定資料等を基に被災状況マップを作成し、建物被災判定マップと重ね合わせて地盤変状総合マップを作成することが望ましい。

1. 道路被災マップの作成

道路被災は、災害復旧の際に調査している道路舗装面の沈下・隆起、路面の段差や側溝の破損や沈下、破損箇所から噴砂現象等の被災の内容を整理し、**図3-8**に示すように道路被災マップを作成する。一般的に舗装厚が薄いほど噴砂現象を生じることが想定され、車道部に対して歩道部の方が噴砂による地盤沈下が著しい傾向にある。区画道路では局部的な被災が集中している箇所があり、道路端部に設置されていた電柱などの傾斜が大きいところほど地盤沈下が大きい傾向にある。

2. 上下水道被災マップの作成

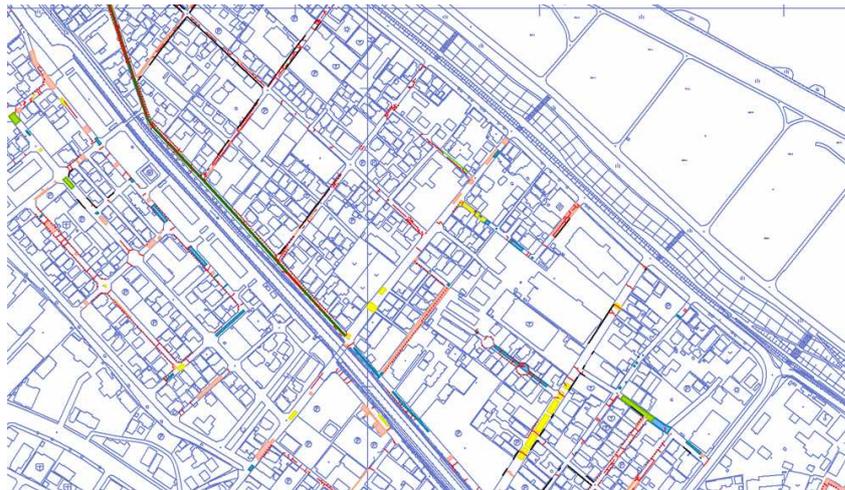
下水道や上水道は、管路の破断、マンホールの隆起等の被災の内容を整理し、**図3-9**、**図3-10**に示すように上下水道被災マップを作成する。

3. 河川被災マップの作成

住宅の近隣に河川があり、その河床の隆起及び護岸部の側方変位が宅地の側方流動に影響している場合がある。このような河道に変状が生じている箇所では、**図3-11**に示すように河川被災マップを作成する。

4. 地盤変状総合マップの作成

街区点の測量結果から**図3-12**に示すように地盤沈下や側方変位を図化した地盤変位マップを作成する。さらに、上記の構造物被災と建物被災判定マップと重ね合わせた**図3-13**に示すように地盤変状総合マップを作成する。この結果から、地盤変状が大きく、一部での隆起現象や側方流動が生じた可能性を把握することができる。さらに、**図3-14**は、地盤変状と明治39年の古地形の重ね図で、**図3-15**は地盤変状と昭和6年古地形の重ね図で、地盤変状と地形図を重ねると、その変状の原因が明らかとなるケースも想定される。



- 凡例
- 道路変状線
- クラック
 - 側溝沈下
 - 側溝破損沈下
 - ⋯ 側溝破損
 - 側溝隆起
 - 舗装沈下-隆起
 - ⋯ 路肩破損
 - ⋯ 路面段差
- 道路変状面
- 舗装沈下
 - 舗装沈下-隆起
 - 舗装隆起
 - 舗装破損

図 3-8 道路被災マップの作成例 7)



- 凡例
- 被災対象上水道管路
 - その他の管路

図 3-9 上水道被災マップの作成例 7)



- 凡例
- 人孔
- 被災の大小-
- 被災対象人孔
 - その他の人孔
- 下水道管路、佐原地区
- 被災の大小-
- 被災対象管路
 - その他の管路

図3-10 下水道被災マップの作成例 7)

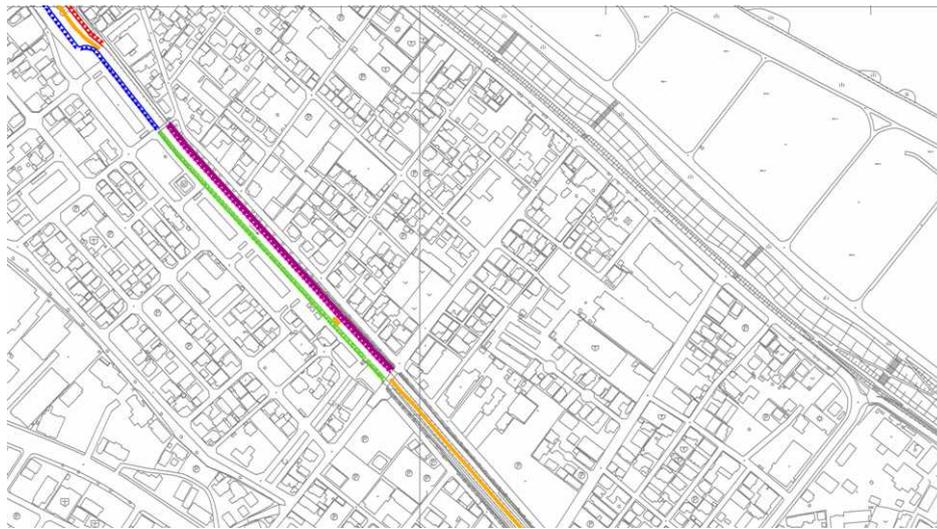


図 3-11 河川被災マップの作成例⁷⁾



図 3-12 地盤変位マップの作成例⁷⁾

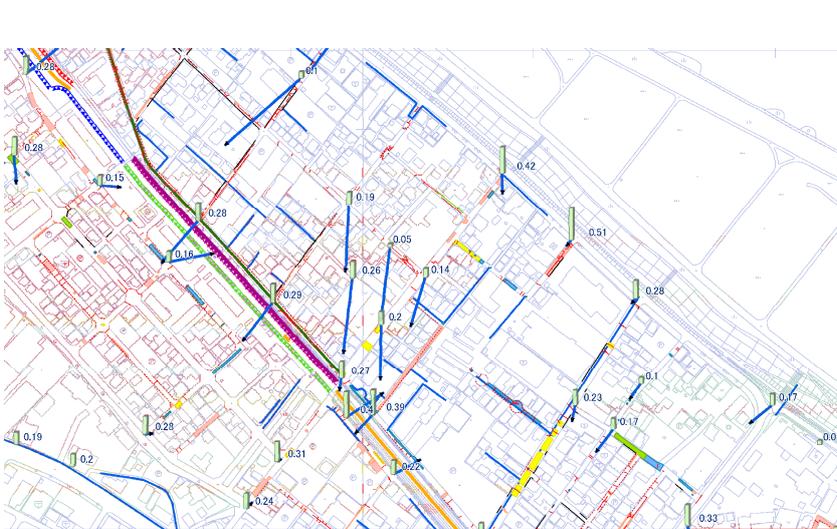


図 3-13 地盤変状総合マップの作成例⁷⁾

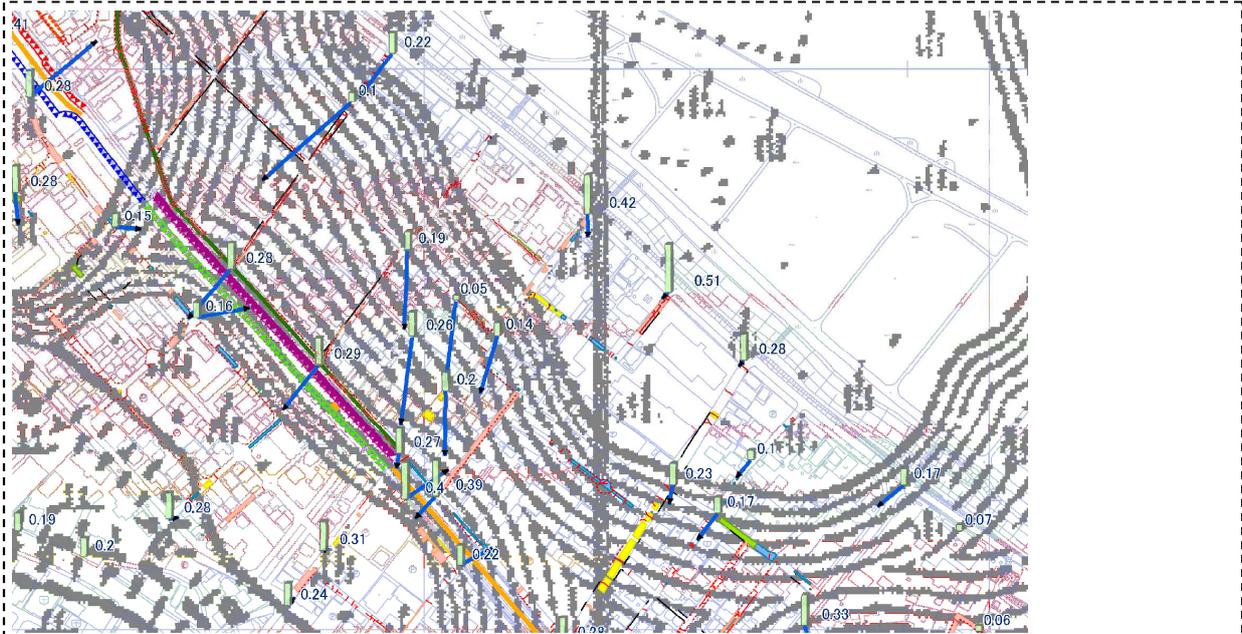


図3-14 地盤変状と明治39年の古地形の重ね図⁷⁾

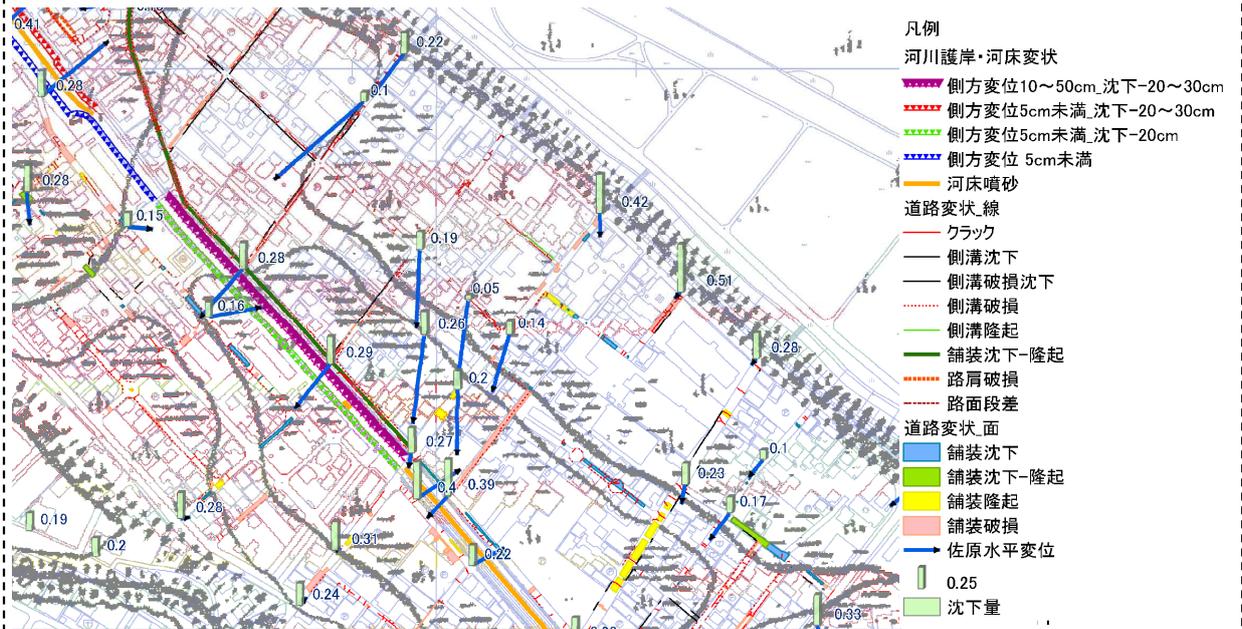


図3-15 地盤変状と昭和6年古地形の重ね図⁷⁾

3-4 関連情報の収集

(1) 造成履歴

液状化した地区の造成履歴などの地理的状況を旧地形平面図や航空写真等から整理する。この結果から詳細な造成年代、干拓や埋め立てされた経緯がわかり、罹災証明等の被害状況図面と重ね被害原因の分析に役立てる。内陸部では、旧湖・池、採掘跡地、水田部の盛土等の微地形区分を把握し、臨海部では埋立地の浚渫や埋め立ての造成年代や施工方法についても調査を行う。

液状化履歴の地図については若松が「日本の液状化履歴マップ745-2008」⁸⁾、微地形分類については若松・久保・松岡・長谷川・杉浦らの「日本の地形・地盤デジタルマップ」⁹⁾等のデジタルマップがあるので参照されたい。

造成履歴は、歴史書から江戸時代の人工改変による埋立地と云われているものもあるが、上記報告書の他、一般的に入手可能な国土地理院の明治後期～昭和初期頃からある古地図や米軍の航空写真から土地の変遷を調査する。このことにより、いつ頃まで水域や湿地であり、その後埋め立て干拓や宅地や耕作地として利用され、現在の地形がいつ頃に形成されたかがわかる。この住宅地化の着工と完了時期等の詳細な造成時期と干拓や宅地の経緯を整理する。

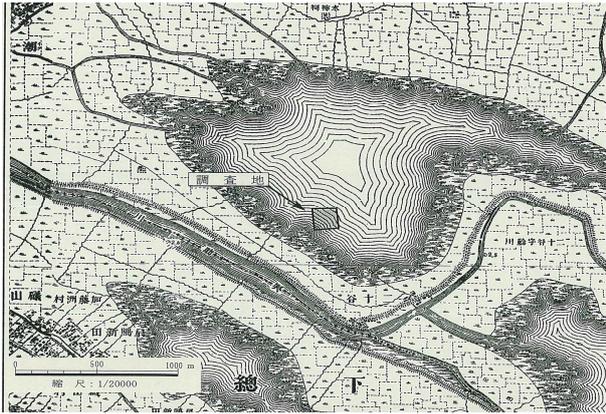
ほぼ全域が水域にあたり明治後期～昭和初期頃に掛けて埋め立て干拓された埋立地では、一般に比較的均質な砂を用いる場合が多く、大型の建設機械も無く、転圧による締め固めもほとんど行われずに緩い砂地盤が形成されたものと考えられる。また、地下水位が高く、堆積時期が自然の堆積環境と比較し非常に新しく時間の経過とともに土の強度が増す年代効果も少ないことから、非常に液状化しやすい地盤である可能性が高い。

例えば、IH地区の内陸部では図3-16及び図3-17の迅速測図^{*}から外浪逆浦の入江である内浪逆浦を干拓した土地で、図3-18の土地条件図で干拓地となっており、その後宅地化されたために液状化による被害が発生したものと考えられる。

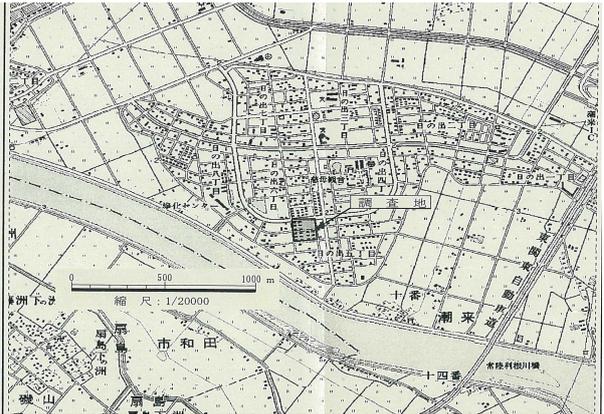
一方、習志野市香澄地区（以下、NK地区）では、現在において図3-19の地形平面図及び図3-20、航空写真のように一様な平坦な地形となっているが、図3-21土地条件図及び図3-22明治13年、15年旧地形図（1/20,000迅速図）から臨海部の埋立地であることがわかる。埋立時期の違いが被災程度に影響を与えることも考えられるので十分な調査が必要である。

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。東京東北部の参照事例を図3-23に示す。また、地形から見た判定指針を表3-1に示し、微地形分類指針を表3-2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。

※ **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。



(a) 明治18年 (1/20,000迅速測図) ¹⁰⁾



(b) 平成14年 (1/25,000数値地図) ¹¹⁾

図3-16 旧地形と現地形との比較



図3-17 迅速測図に基盤地図情報を重ね合わせ¹²⁾

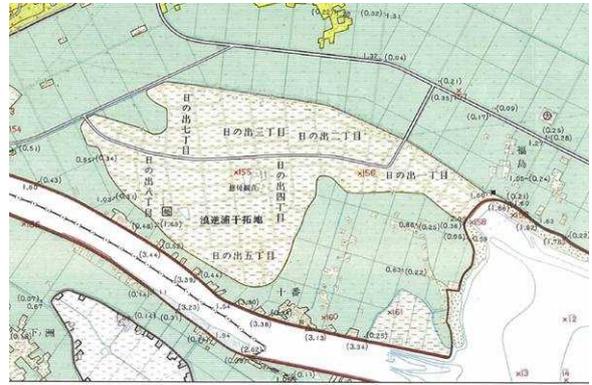


図3-18 土地条件図 (1/25,000) ¹³⁾

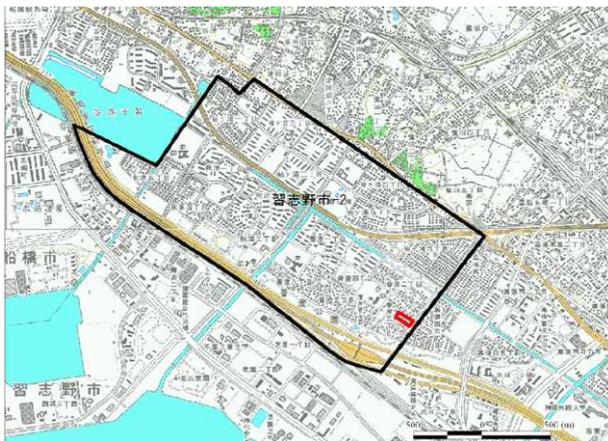


図3-19 地形平面図 (1/25,000数値地図) ⁴⁾



図3-20 航空写真 (2011年3月17日撮影) ⁴⁾

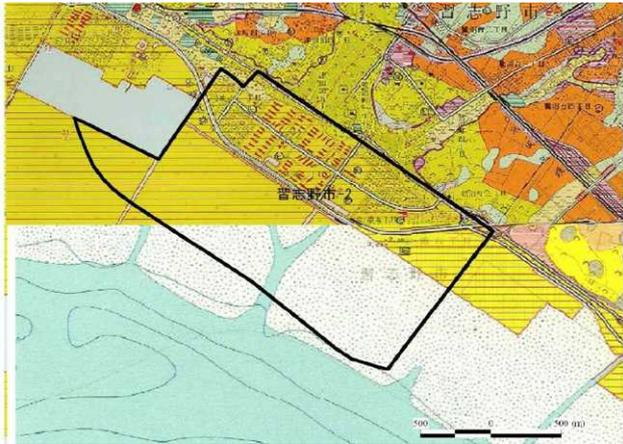


图3-21 土地条件图⁴⁾

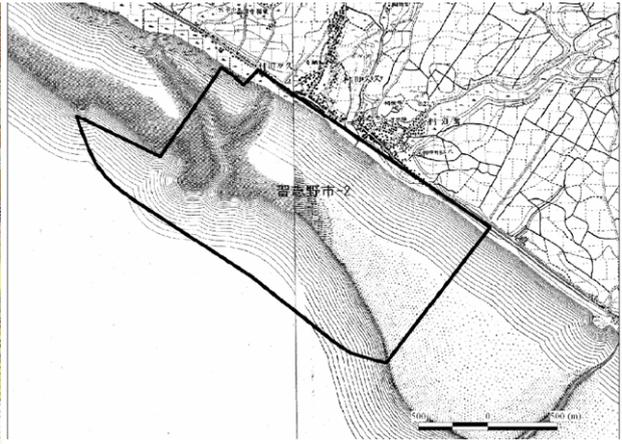


图3-22 明治13年、15年旧地形图 (1/20,000迅速测图) ⁴⁾

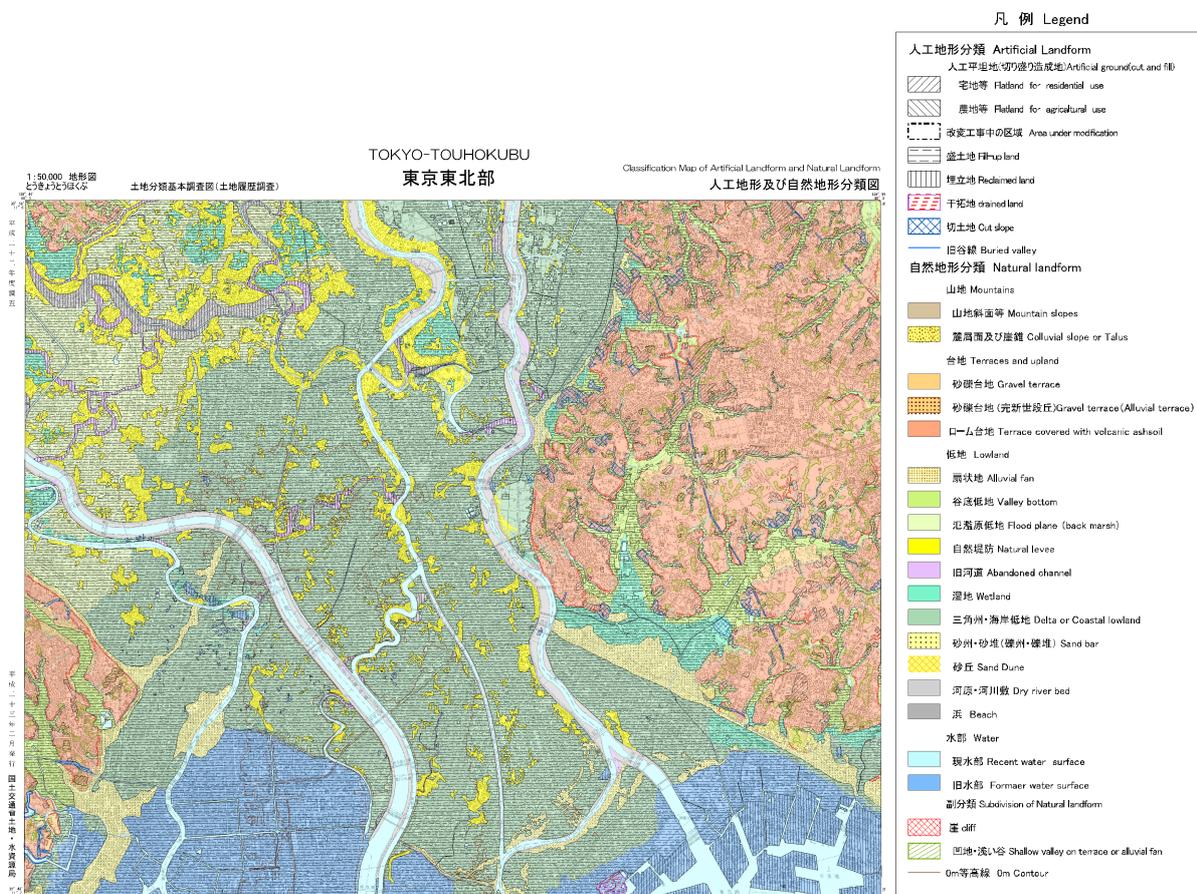


图3-23 土地区分图 (東京東北部) ¹⁴⁾

表 3-1 地形から見た判定指針¹⁵⁾

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（帯）、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

表 3-2 微地形分類指針¹⁶⁾

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（沖積錘を含む）	河川の谷底、山麓部	扇状～円錐状、平均縦断勾配 1/100(0.57°)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°)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（ポイントバー）			
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 0.5～1.0m	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数中流部	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川の流動沿い	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 3m～4m 以上	針葉樹林
	砂丘末端緩斜面	同上、砂丘の縁辺部	比高 3m～4m 以下	畑、集落
海浜	海浜	海岸地域の堤外地	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・堤間低地		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（帯）		扇状地末端部、砂丘縁辺部、断崖部、旧河道、湿地、天井川に沿った堤内地	—————	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：空中写真だけでは判定困難。

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。

なお、造成履歴や土地条件図とともに、①液状化マップや②液状化被災履歴を活用することが望ましい。

①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/>)¹⁷⁾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、千葉市版の参照事例を図3-24～27に示す。これら既存マップも参照しつつも、本ガイドラインに基づいたボーリング調査結果を用いた液状化判定に活用する。

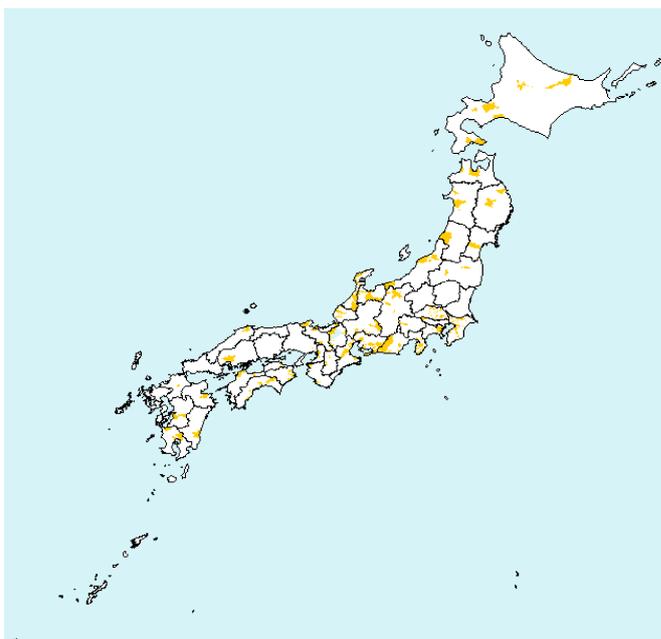


図3-24 地盤被害（液状化）マップ-全国¹⁷⁾



図3-25 地盤被害（液状化）マップ-関東¹⁷⁾

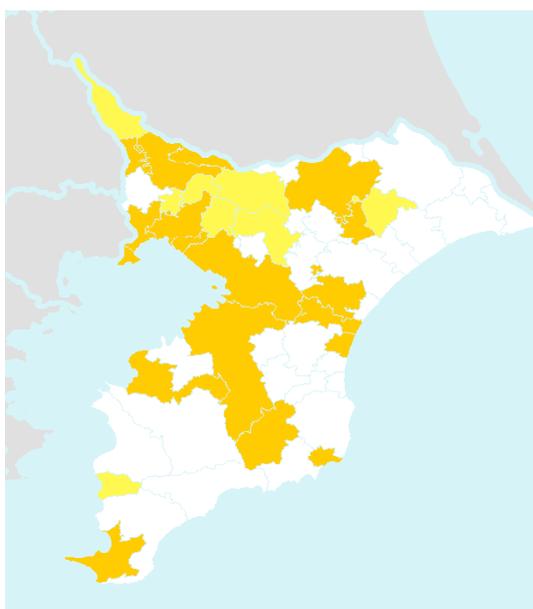


図3-26 地盤被害（液状化）マップ-千葉県¹⁷⁾

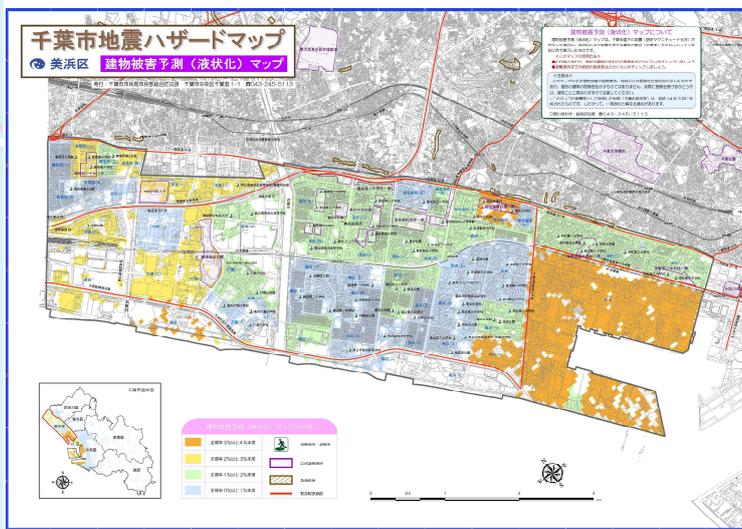


図3-27 地盤被害（液状化）マップ-千葉市¹⁷⁾

②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km²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、東京、神奈川、千葉、埼玉、岐阜、愛知については公表しており、三重県、大阪周辺、静岡、浜松については調査中である。

東京東北部の参照事例を図3-28に示す。また、若松は、図3-29に示す「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。

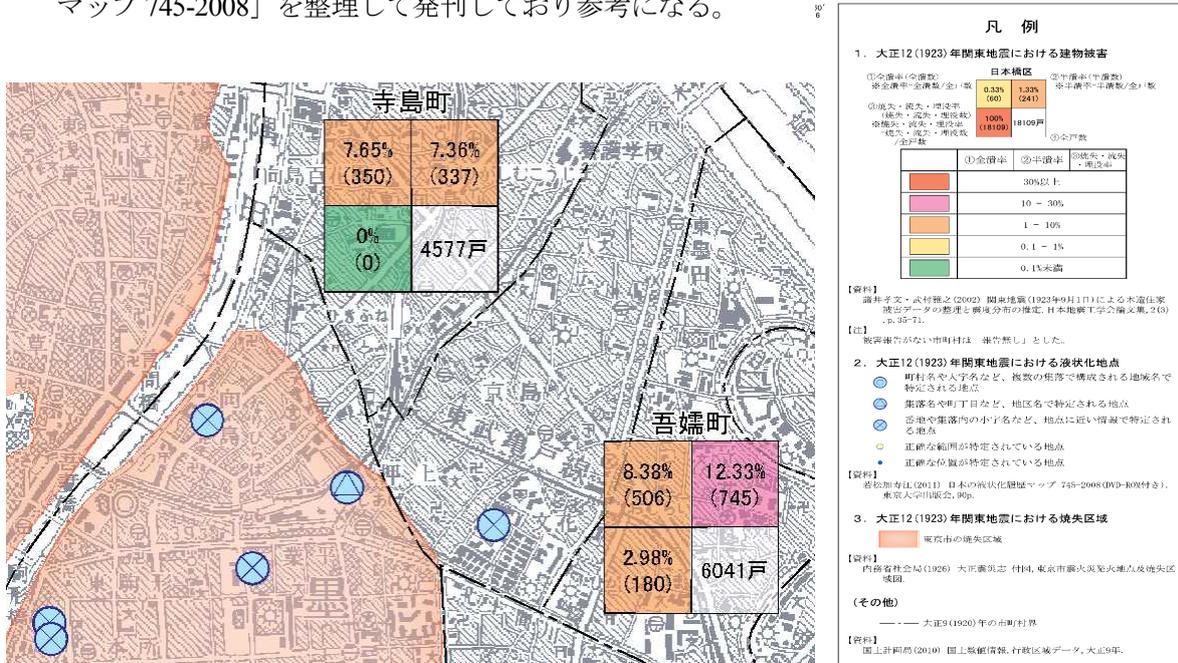


図3-28 液状化被災履歴図（東京東北部）¹⁸⁾

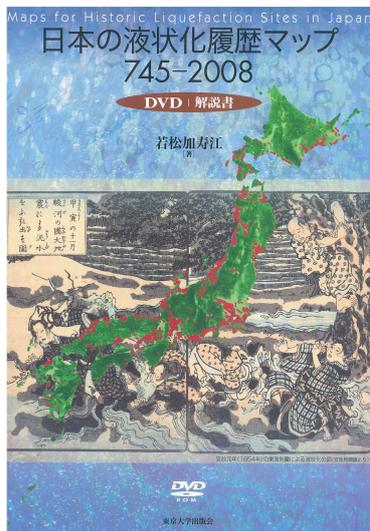


図3-29 日本の液状化履歴マップ745-2008⁹⁾

(2) 地盤地質情報

過去のボーリングデータを収集する。

過去のボーリングデータは、防災科学研究所や表-3 に示す地盤情報データベースを活用し入手する。

防災科学技術研究所では、図3-30に示す「統合化地下構造データベース」を構築しているもので、有効に活用できる。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3-3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。本ガイダンスでは、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。

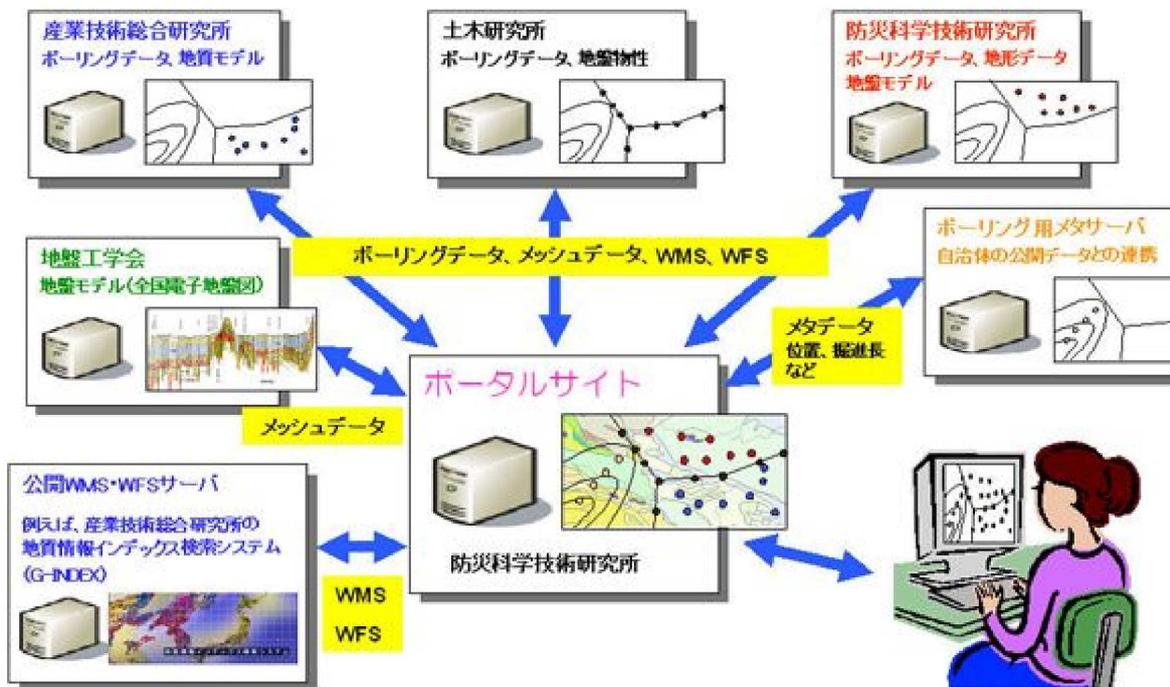


図 3-30 統合化地下構造データベース 190029

表3-3 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/jps/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
自然地形や改変履歴等を示す「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/kokjo/inspect/landclassification/land/land_histor
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.gsj-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-iyouhou/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)～コバトン環境マップ」	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)群馬県建設技術センター	http://b.hatena.ne.jp/entry/www.gunma-kengi.or.jp/bordb/
栃木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/jps/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://www.pref.chiba.lg.jp/pbgeogis/servlet/infobank.index
横浜市地盤地図情報「地盤View(じばんびゅー)」	横浜市環境科学研究所	http://www.city.yokohama.lg.jp/agreement.asp?dtp=3&npge=%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.denshi-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	

(3) 既往土質調査・試験結果の収集

地盤情報データベースは、地質構成や標準貫入試験値（ N 値）等の地盤情報を入手できるが、液状化判定に用いる室内土質試験値が実施されていない場合が多い。

このため、各市町村で実施した地質調査結果を入手して震災前の地盤状況の再現等に活用する。

表3-3に示した地盤情報データベースでは、地質構成（地質区分）や地下水位ならびに標準貫入試験値（ N 値）等の地盤情報は容易に入手可能であるが、室内土質試験値（物理試験値：特に粒度試験）は実施していないなど、入手できない可能性がある。

このため、詳細な地盤情報の入手は各市町村で実施した既往の地質調査報告書を収集する。液状化判定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）、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）

既往土質調査・試験結果の活用例として、入手した詳細な地盤情報から、 N 値と細粒分含有率の関係を整理し、 N 値のみ判明しているボーリング地点の細粒分含有率を想定するなどが考えられる。

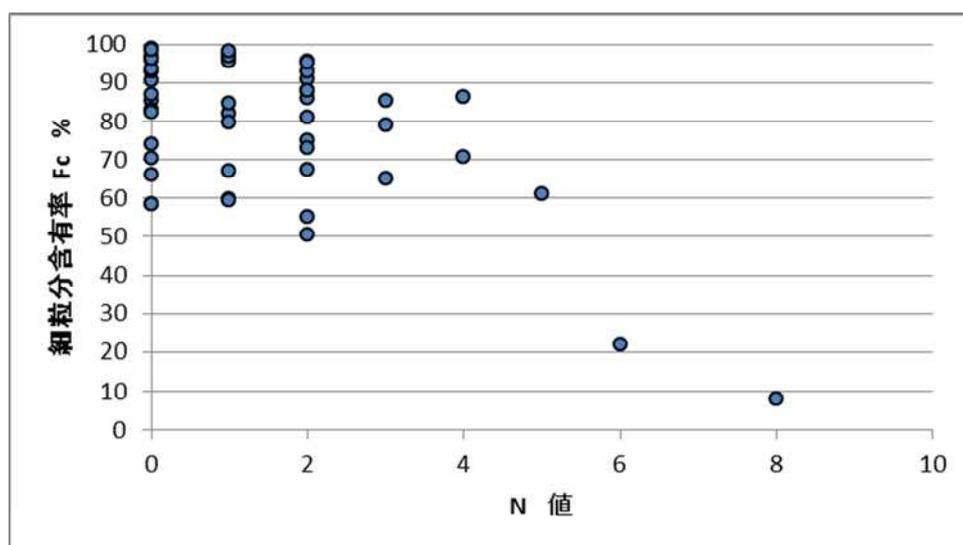


図 3-31 N 値と細粒分含有率の関係の例

(4) 発生地震波

被災地区の震度及び最大加速度 (gal)、最大速度 (kine)、継続時間 (s) の時刻歴のデータを調査する。また、本震後に大きな余震が発生し、その影響も考えられるので、同様に調査する。時刻歴のデータは、この対象地点での入手が望ましいが、無い場合は近傍の観測地点のものを入手する。ただし、観測地点の地形・地盤状況により被災地区と違った波形になることもあるので注意しなければならない。

本震・余震の震度は、上記報告書の他、地方自治体（市町村等）に確認するか、または、気象庁のホームページ等から推計震度分布図から調べる。

最大加速度 (gal)、最大速度 (kine)、継続時間 (s) の時刻歴のデータは、同様に上記報告書の他、地方自治体（市町村等）に確認するか、または、観測点K-NETやKiK-netのホームページ等から調べる。

例えば、IH地区の震度は図3-32からの本震の推計震度分布図で震度6弱であることがわかる。図3-33は、対象地点と7.3km離れた観測点K-NET鹿嶋（IBR018）²⁰での本震の2011年3月11日14時46分に発生したM9.0の加速度時刻歴で、最大加速度が658.4 gal、最大速度が本震で41.4 kine、継続時間（50gal以上）が89.39sを計測した。また、図3-34は同観測地点でその後の30分程度の2011年3月11日15時15分に発生したM7.4の茨城県沖での余震の加速度時刻歴で、最大加速度が408.4 gal、最大速度が本震で46.1 kine、継続時間（50gal以上）が103.99sを計測し、この長時間にわたり液状化した後も大きく揺すぶられ、大きな沈下・傾斜につながった可能性が想定される。

一方、NK地区の震度は図3-35から本震の推計震度分布図から5強であることがわかる。図3-36、-37は、対象地点と7.3km離れた観測点K-NET稲毛（ICHBO2411）²⁰での本震の2011年3月11日14時46分に発生したM9.0の加速度時刻歴で、最大加速度が232gal、最大速度が本震で38.9 kine、継続時間（50gal以上）が47.70sを計測した。

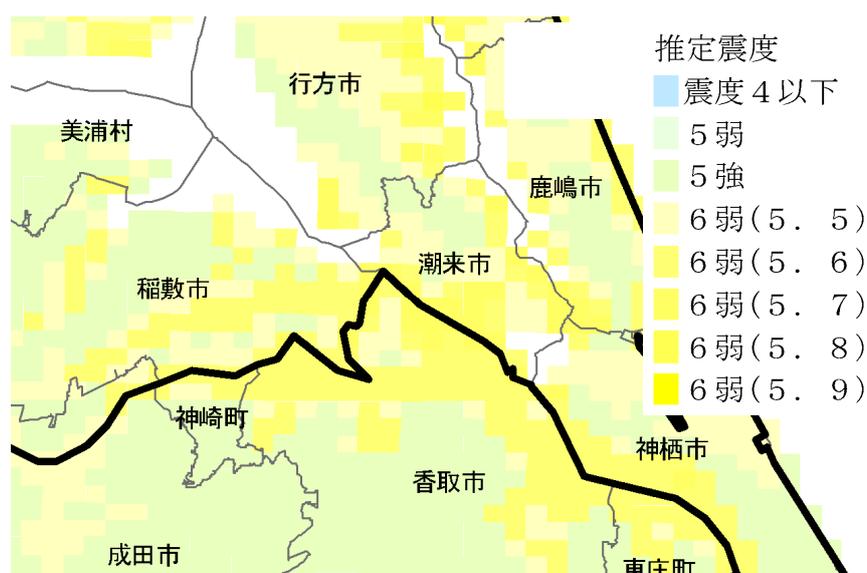


図3-32 本震の推計震度分布図²⁰

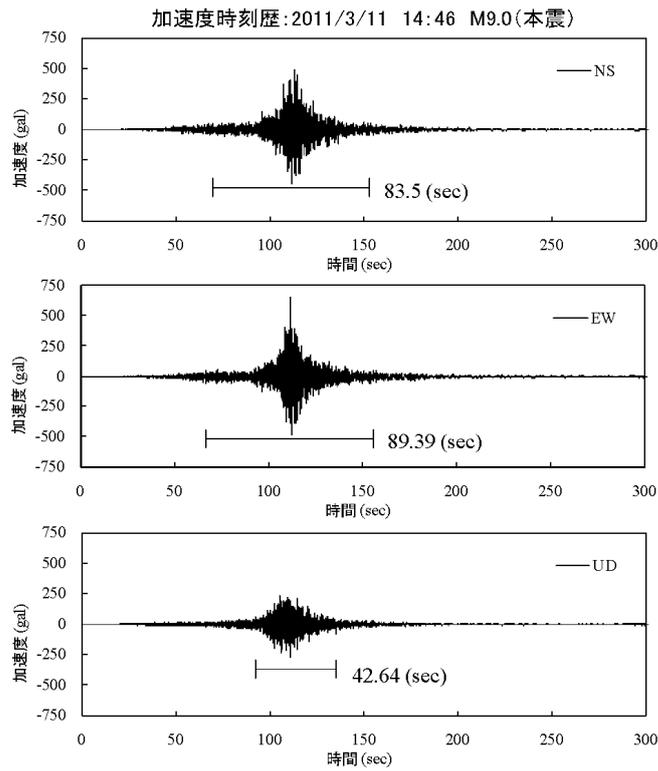


図3-33 本震の加速度時刻歴（2011年3月11日14時46分）⁴⁾
 注) 最大加速度，最大速度の値は3成分合成

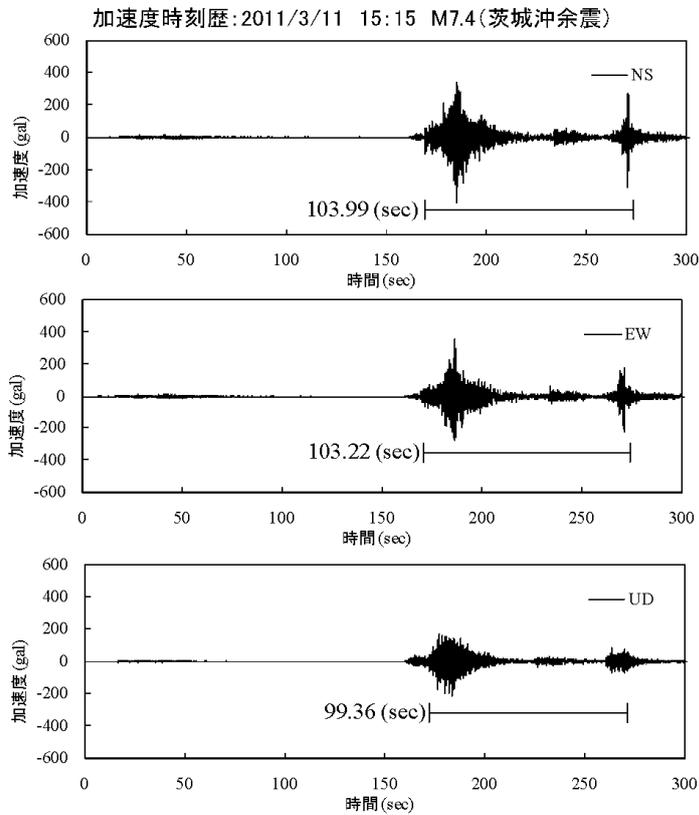


図3-34 茨城沖地震の加速度時刻歴（2011年3月11日15時15分）⁴⁾
 注) 最大加速度，最大速度の値は3成分合成



図3-35 本震の推計震度分布図²⁰⁾

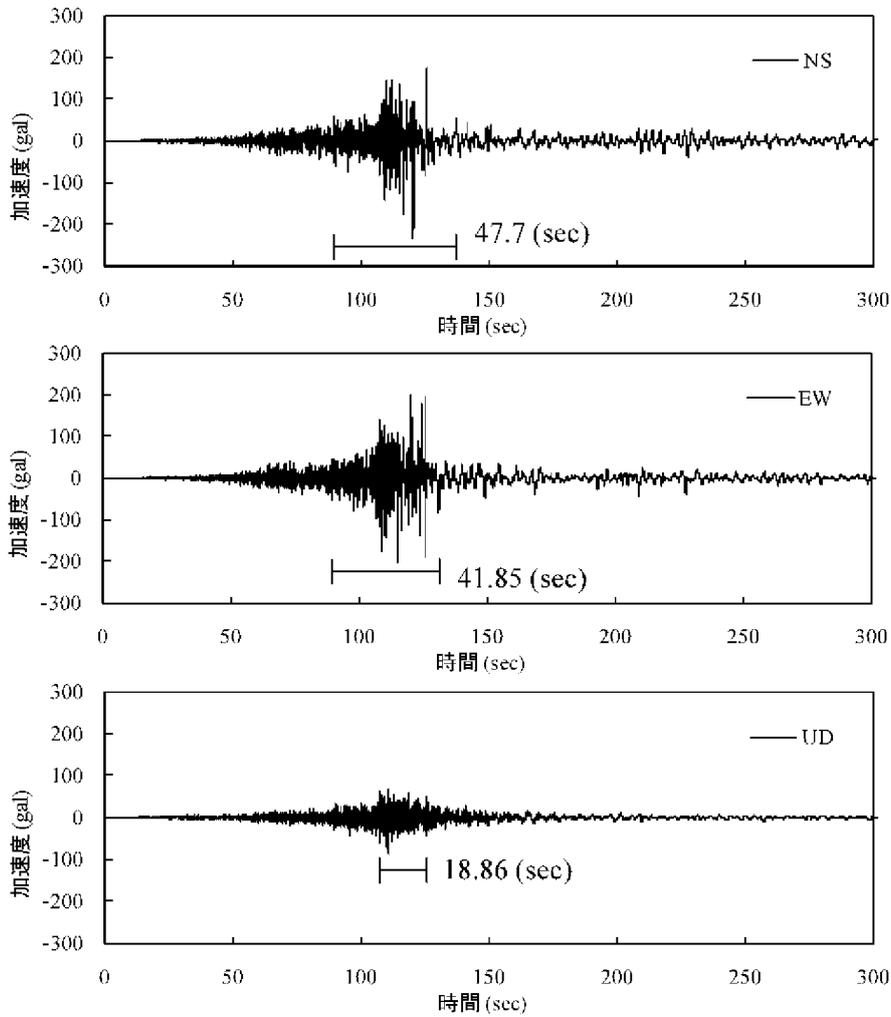


図3-36 本震の加速度時刻歴 (2011年3月11日14時46分)⁴⁾

注) 最大加速度, 最大速度の値は3成分合成

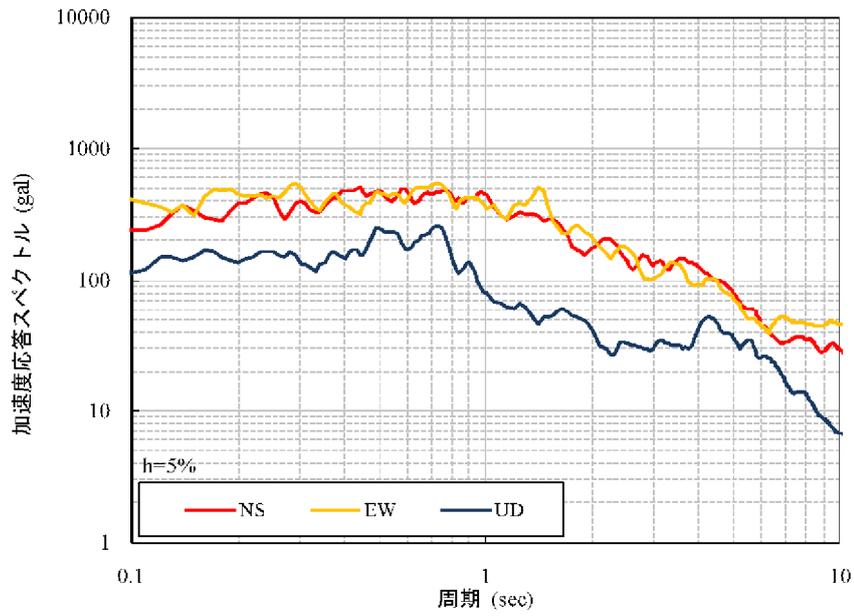


図3-37 本震の加速度応答スペクトル (2011年3月11日14時46分) ⁴⁾

注) 最大加速度, 最大速度の値は3成分合成

<参考文献>

- 1) 全国被災建築物応急危険度判定協議会：地震被災後の建築物の判定,
http://www.kenchiku-bosai.or.jp/files/2013/11/oq_kenchikuhantei.pdf
- 2) 被災宅地危険度判定連絡協議会：被災宅地危険度判定度,
<http://www.hisaitakuti.jp/judgment.html>
- 3) 地盤工学会：東日本大震災合同調査報告， 2014.4
- 4) 国土交通省関東地方整備局，地盤工学会：東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明報告書 別冊資料（調査票No.118） pp.5, 2011.8
http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000043554.pdf
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所・建築研究所：平成23年東北地方太平洋沖地震による建築物被害第一次調査，茨城県・千葉県境周辺における液状化等の被害（速報）， 2011.4
- 6) 橋本隆雄，安田 進，2011年東北地方太平洋沖地震による潮来市日の出地区の液状化被害分析，土木学会論文集A1（構造・地震工学）Vol. 68 (2012) No.4 p.I_1266-I_1277, 2012.11
- 7) 香取市，地盤液状化対策の方針検討業務委託報告書,2011.8
- 8) 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， 2011.11
- 9) 若松加寿江，久保 純子，松岡昌志，長谷川浩一，杉浦正美：日本の地形・地盤デジタルマップ，東京出版社，2005.11
- 10) 第1軍管地方迅速図：1/20,000，参謀本部陸軍部測量局発行 磯浜及鹿鳴近傍より「潮来市」，「鹿鳴村」
- 11) 国土地理院数値地図（地図画像）：25,000，「潮来市」，「佐原東部」， 2002.6.
- 12) 歴史的農業環境閲覧システム：農業土地利用変遷マップ，
http://www.finds.jp/altmap/rapid_kanto.html
- 13) 国土地理院：「1:25,000土地条件図潮来」,<http://www1.gsi.go.jp/geowww/themap/view/mapview.php>
- 14) 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
- 15) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針,2008.3 p.89 の表 5.6.1 より引用
- 16) 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」平成11年1月
- 17) ハザードマップポータルサイト (<http://disapotal.gsi.go.jp/>)
- 18) 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）
- 19) 防災科学技術研究所HP
- 20) 気象庁：http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2011_03_11_tohoku/

第4章 対策工法の検討

4-1 全体の検討フロー

公共施設・宅地一体型液状化対策の検討は、対策に必要な効果が見込め、実現可能な工法を選択し、事業区域の住民等の意向を段階的に確認しながら進めることが重要である。

公共施設・宅地一体型液状化対策における検討フローを図4-4に示す。また、図4-4の検討段階（1）～（4）における留意事項について以下のとおり示す。

公共施設・宅地一体型液状化対策は、住宅を存置したまま地区単位で行う市街地の液状化対策であり、事業の実施による液状化被害の軽減を目的とし、必要な効果が得られるとともに、区域内の影響等を検討して、宅地所有者等の意向を踏まえた事業計画を作成し、実施する必要がある。

（1）公共施設・宅地一体型液状化対策工法の検討

東日本大震災で液状化被害を受けた地区では、地下水位低下工法と格子状地中壁工法により住宅を存置したまま行う公共施設・宅地一体型液状化対策が実施されてきた。地下水位低下工法は、住宅地全体の地下水位を低下させることにより、不飽和の非液状化層の厚さを増し、さらにその下層の液状化層の厚さや液状化の程度を軽減して、液状化による被害を抑制するものであり、公共施設の土地の区域で工事を行うことができることから、まず検討すべき液状化対策工法として活用されてきた。一方、格子状地中壁工法は、比較的大がかりな工事を要するものの、圧密沈下を招くことがなく透水性の低い地盤にも適用できる工法であり、地盤の下部に粘性土の層がある場合に採用されている。これらの工法については、液状化対策の効果を評価する簡易評価シートが開発・公開されている。

公共施設・宅地一体型液状化対策工法を検討するに当たっては、既存のボーリング、地質調査資料を収集し、液状化対策の効果を工法ごとに評価する。地震前のボーリング・地質調査からでは全体が把握できない場合、震災後のボーリング・地質調査を数箇所追加する。必要な効果が見込め、実現可能な工法を選定する。

対策工法の選定や対策の検討に当たっては、簡易評価シートを活用するほか、当該地域の地盤や地震の状況を踏まえた液状化発生メカニズムの解明、対策工法の選定、解析等の妥当性について学識者等からなる技術検討委員会に諮ることが望ましい。また、施工法が改良されたり、新工法が開発されたりすることがあるので、最新の技術動向を収集することも重要である。

なお、こうした検討の結果、公共施設・宅地一体型の液状化対策について、効果が見込めない場合は、他の復興方針や対策等の検討を行う。

また、検討の結果や効果が見込まれた対策工法を実施する場合、事業制度や工法の説明だけでなく、住民に求められる負担（宅地内の施設の設置、費用負担等）については、類似の事業事例を参考にして、想定する事業区域の住民等に対して説明を行い、次のステップに移る同意を形成することが重要である。

1) 地下水位低下工法の概要

地下水位低下工法は、住宅地や道路部分の地下水位の高さを強制的に低下させて地表面下の数メートルを非液状化層とすること、およびその下層の液状化層の厚さや液状化の程度を軽減し、液状化による被害を抑制する工法である。地下水位低下工法の詳細については、「第5章 地下水位低下工法の検討」を参照されたい。

なお、地下水位の低下は官民境界を越えて道路・宅地の区別なく対策効果が及ぶことから、公共施設・宅地一体型液状化対策の枠組みになじみやすい工法で、以下のような地区に適用可能である。

- ①有害な沈下を引き起こす、圧密沈下対象層が厚く堆積していないこと。
- ②団地に公共施設（道路）があり、暗渠管あるいは汲み上げ井戸を設置するスペースがあること。
- ③暗渠管を設置する工法の場合は、敷（画）地割が比較的整形であること。
- ④施工区域外からの地下水流入量以上の水を排水して地下水位を下げられる地下水環境であること。



図4-1 地下水位低下工法のイメージ

2) 格子状地中壁工法の概要

格子状地中壁工法は、セメントなどの改良材を地中に供給し、原地盤の軟弱土と改良材を強制的に混合攪拌することで、地中に柱列状の固化壁を造成し、これらを格子状に配置し液状化地盤を囲い込むことで、地盤のせん断変形を抑止し液状化を抑制する。格子状地中壁工法の詳細については、「第6章 格子状地中壁工法の検討」を参照されたい。

なお、格子状の地中壁は、街区の宅地を箇々に格子状に囲むため、民地内での対策工事が必要となることから、以下のような街区に適用が限定される。

- ①敷（画）地内の工事や住民負担額等について、街区全体の住民が同意する街区
- ②敷（画）地割が比較的整形であり、高低差が小さい街区
- ③敷（画）地割が大きすぎず、一定の隣棟間隔が確保されている街区

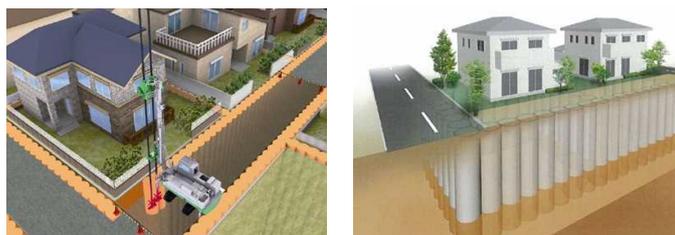


図4-2 格子状地中壁工法のイメージ

〈補足〉

緩傾斜地盤又は護岸背後地盤などの地形では、地盤の液状化により水平方向への大きな変動が発生する場合がありますので、こうした変動を抑制する側方流動対策についても検討することが考えられる。

具体的な例として千葉県香取市では、再び大地震が起こった場合に地盤が液状化し、河川に向かって側方流動が起こることを解析等により確認したため、道路等の公共施設と宅地の一体的な液状化対策について委員会を設置して検討した。検討の結果、河川護岸の水平方向変位を抑制する側方流動対策として河川の下地盤を格子状に固化改良する工事を実施した。

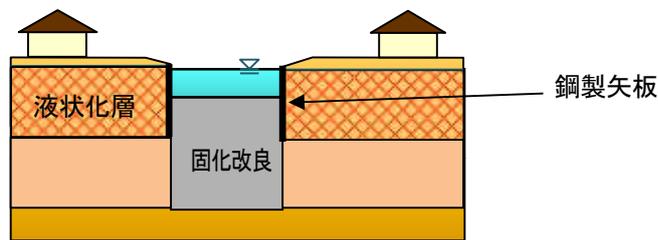


図 4-3 側方流動対策のイメージ

(2) 公共施設・宅地一体型液状化対策実施地区の選定

公共施設・宅地一体型液状化対策について具体的な検討を進めるものとした地区については、事業を検討する地区でボーリング調査等を実施して地盤等のデータを補い、事業実施による効果を検証しつつ、事業計画案を作成し、説明会等を設けて事業計画案の実施に向けた住民等の意向をとりまとめる。

事業計画案の作成に当たり、施設の設置、工事の実施、費用の負担等を検討することになるが、それらの中には、事業区域の宅地所有者等の理解が必要な事項や、事業区域周辺に影響を与える内容も含まれる。

特に、事業区域内の宅地所有者等に費用負担を求めるなど、宅地所有者等の同意が欠かせない事項については、地区内で必要な同意を得られる見通しを立て進めることが重要である。例えば、事業に要する費用の一部について負担を求める場合には、負担額（見込み案）を示し、その理由（例：宅地内で行う工事費用の一部。ポンプを稼働させる電気代の一部）を説明する。

また、液状化対策工事が、公共施設の区域に留まらず、宅地の中でも実施される場合、宅地内の施工内容、施工の準備、工事終了後の建替え時の制限など宅地に課される制限についても説明することが重要である。

こうした説明を踏まえて、事業計画案に対する宅地所有者等の同意の状況を確認し、事業計画を策定する区域を決定する。

(3) 公共施設・宅地一体型液状化対策事業計画の作成

事業計画を作成する地区では、対策方針、地区内の地盤条件、宅地の区画割り等を踏まえて、詳細な検討（設計図、施工計画、工程等）を行う。検討を進めるに当たっては、アンケートや個別の意見聴取などにより区域内の地権者等の意向を把握し、必要な配慮を行って、事業計画に反映させる。

この際、事業に要する費用の一部について負担を求める場合には、負担額を明らかにするとともに、その算出方法を説明する。また、液状化対策工事の内容や工事完了後の宅地に与える影響について具体的に説明する。

こうした説明を踏まえて、事業計画に対する宅地所有者の同意の状況を確認し、事業計画を決定する。

なお、事業計画の詳細な検討、宅地所有者等への説明等を通じて、やむを得ない事情が生じた場合には、事業計画の対象区域を変更するなどの対応が必要となる。

(4) 公共施設・宅地一体型液状化対策工事の実施

対策工事の実施に当たっては、事業区域内外の住民と必要な調整を行い、協力を得ることが重要である。

区域内の宅地所有者等に対しては、宅地内に対策工事等が影響する場合の工事等への必要な協力を求める。特に、格子状地中壁工法の場合、宅地内工事が不可欠となるため、事前に宅地内の施工位置、機材の設置位置等の施工環境及び条件、施工の妨げとなる植栽や既存塀の撤去・復元の条件等を整理して、宅地内工事の影響について十分に説明することが重要である。

また、工事車両の搬出入、道路や公園内に施工のための施設を設置して工事期間中の作業ヤードとして活用したりすることで、事業区域周辺の住民の生活に影響を与えることがあるため、工事の着手に先立ち、事業実施地区の近隣住民にも必要な説明を行う。

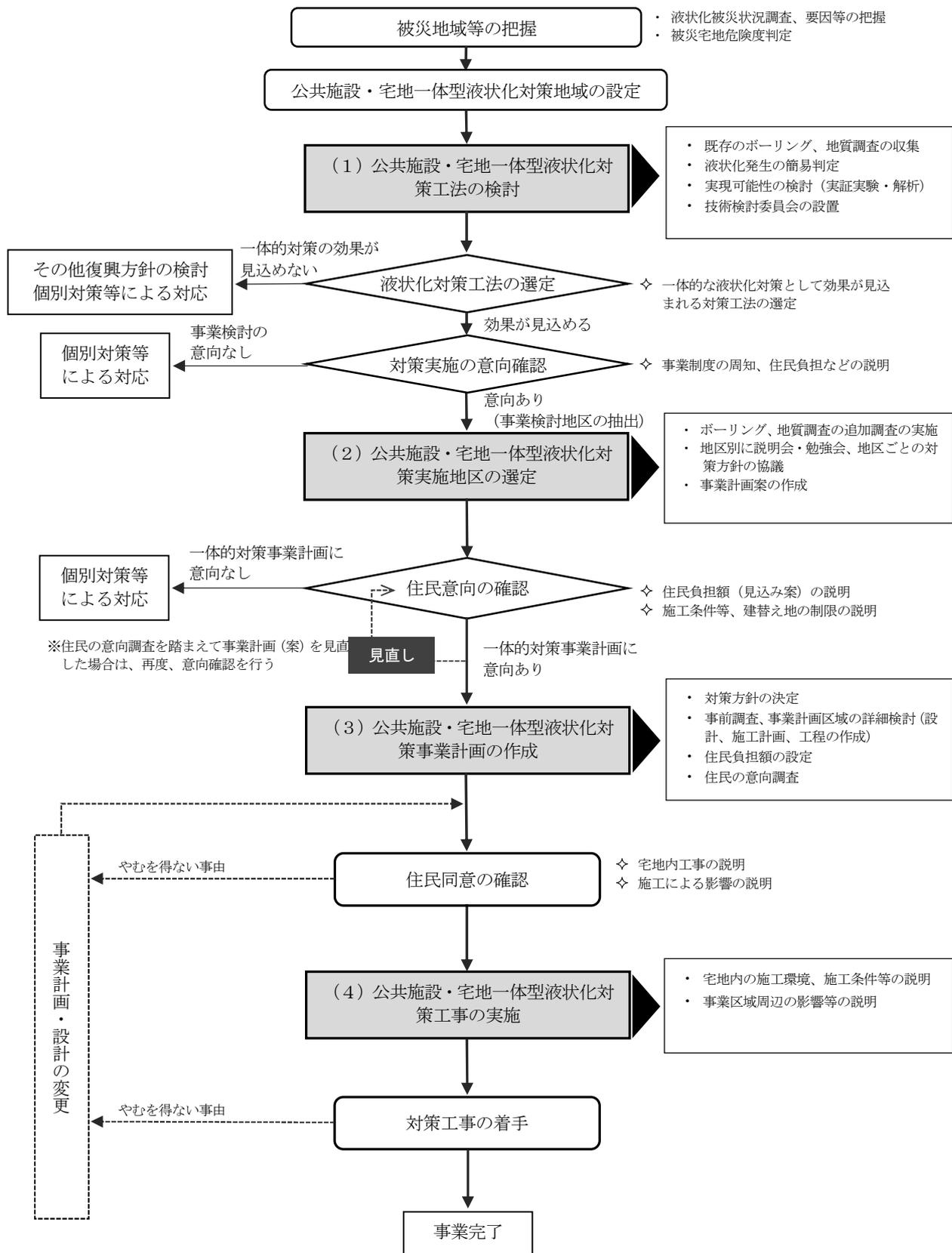


図 4-4 公共施設・宅地一体型液状化対策の検討フロー

4-2 震災前の地盤状況の再現及び液状化発生の確認

(1) 震災前の地盤状況の再現

過去のボーリングデータと、液状化被害発生状況のマップ類を用いて、被災前の地盤状況を再現し、液状化発生範囲の平面図及び被災前の地盤断面図を作成する。

また、震災前の地盤調査箇所にあわせた箇所、被災地区の地盤を代表する箇所及び、被害が顕著な箇所において、地盤調査（数箇所）を実施する。これは震災前の地盤調査結果に物理試験（粒度試験）を実施していないことが想定されるためである。

過去のボーリングデータから、図4-5のように被害箇所と地盤状況の比較を行うために、図4-6のような震災前地盤調査（黒）と震災後地盤調査（赤、紫）を併記した既存調査位置図を作成し、図4-7のように液状化検討に資する地質断面図を作成する。

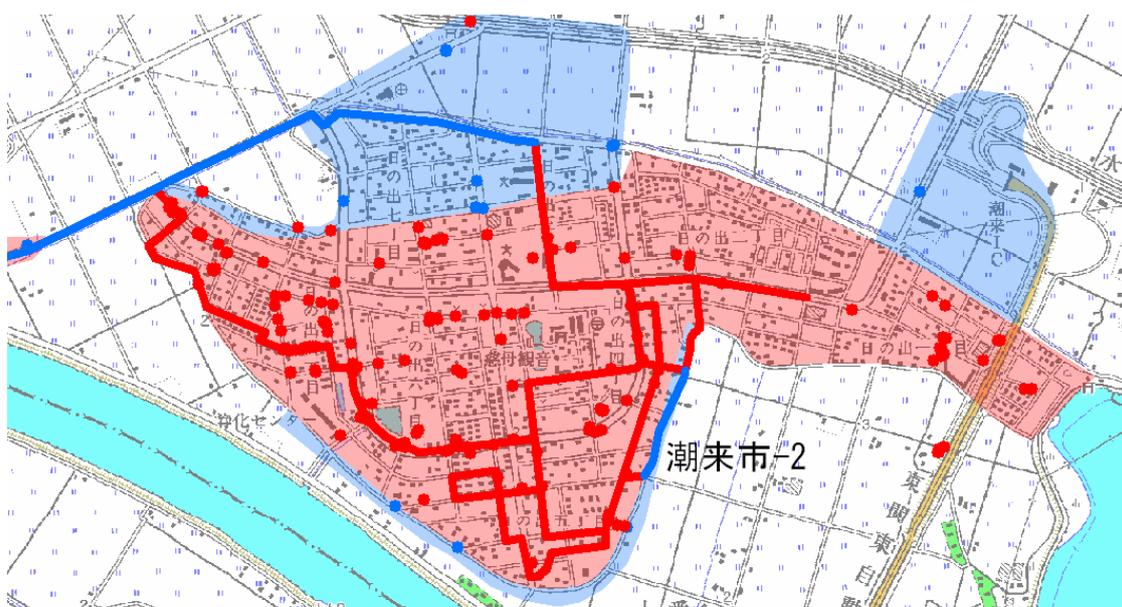


図 4-5 液状化発生範囲の平面図¹⁾

凡 例

赤塗りつぶし：液状化被害の大きい地域（●：噴砂箇所）

青塗りつぶし：液状化被害の少ない地域（●：噴砂箇所）

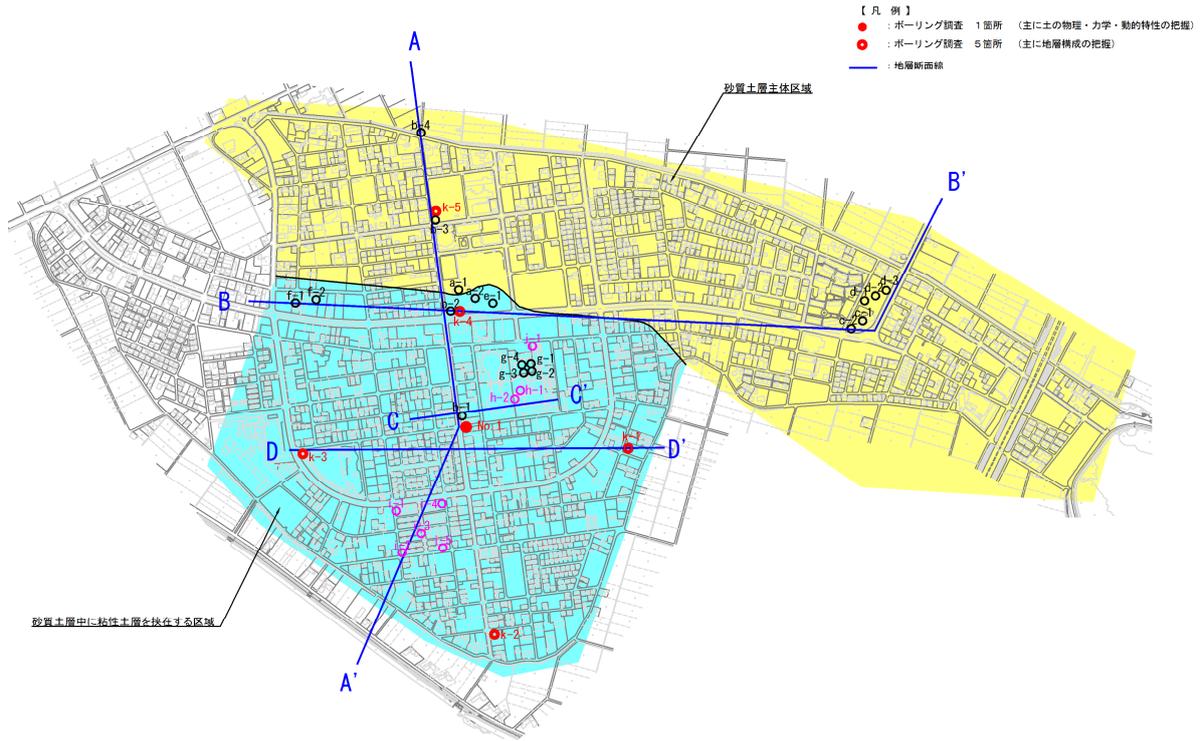


図 4-6 既存調査位置図

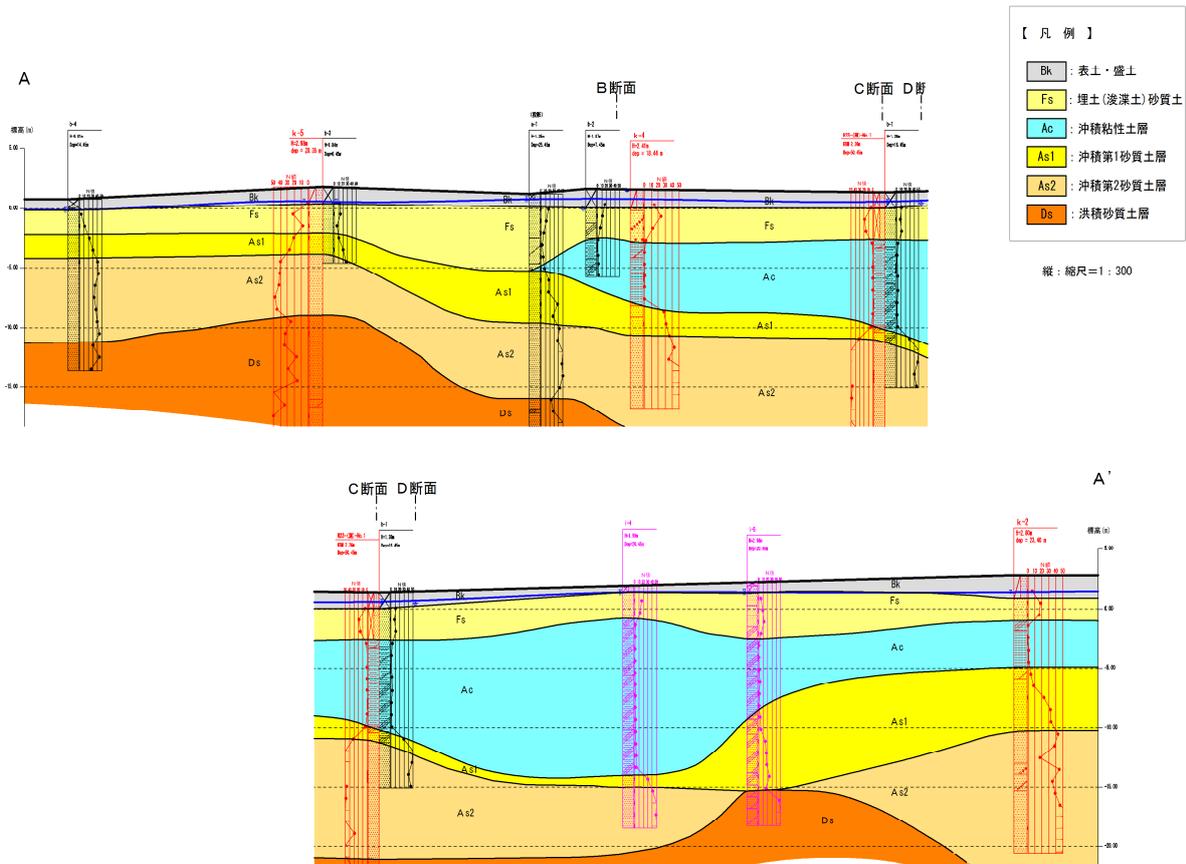


図 4-7 震災前の地盤想定断面図

(2) 液状化発生の確認

被災前における液状化発生の検証は、地震前の既存資料のボーリング結果及び室内土質試験を用いて、「3-4 (4)発生地震波」で想定した地震動の波形をもとに「宅地液状化被害判定指針」の計算シートを用いて以下のように算定する。

- ① 地盤の液状化発生の可能性は、 N 値等の地盤調査結果を用いた液状化に対する安全率 (F_L 値) から、液状化指数 P_L 値により液状化による被害発生の可能性を判定する。
- ② 液状化による地盤の沈下量は、液状化に対する安全率 (F_L 値) より地表変位量 (D_{cy}) を算出し評価する。

被災前における液状化発生の検証は、「3-4 (4)発生地震波」で想定したマグニチュード及び加速度の地震動波形を用いる。例えば、東日本大震災の実際の地震動(既往の最大値)の液状化判定に用いる加速度は、被災した各市町村においてその波の成分が異なるため、観測点K-NETやKiK-netのホームページから図4-8のように液状化現象に対する影響の比較的少ないサイクリックな挙動でパルス状の波形となる部分を除いた不規則波のままの最大加速度を用いることができる。

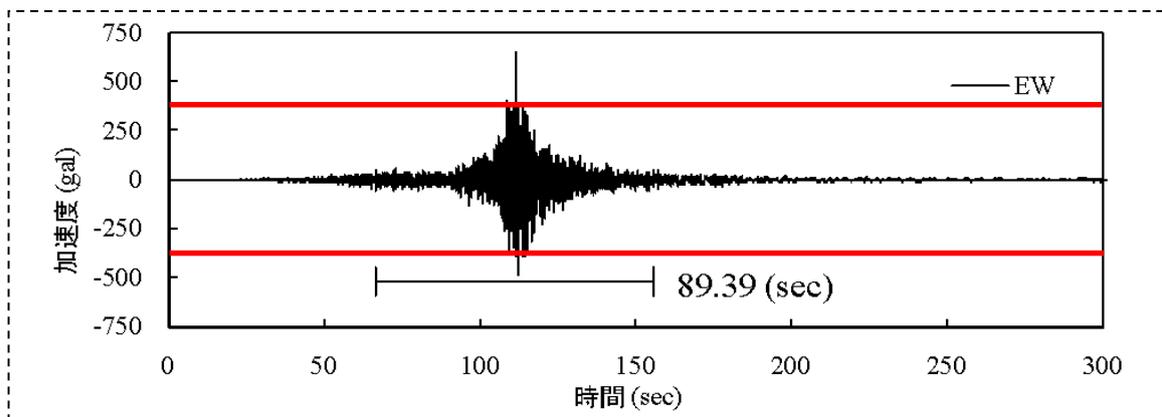


図 4-8 等価加速度のイメージ

液状化発生の判定方法は、「宅地液状化被害判定指針」²⁾の計算シート³⁾を用いて判定をおこなうが、同指針も「建築基礎構造設計指針(日本建築学会)」の“地盤の液状化判定”や“液状化に伴う地盤物性と地盤変形量の予測”及び“液状化に伴う F_L 、 P_L 、 D_{cy} の計算の考え方”に準拠していることから、<資料編4-1~4-3>の算定式を参照されたい。

「宅地液状化被害判定指針」による液状化の判定方法を次に示す。

1) 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」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、図4-9に示すようにC_h=1.4を上限とする。

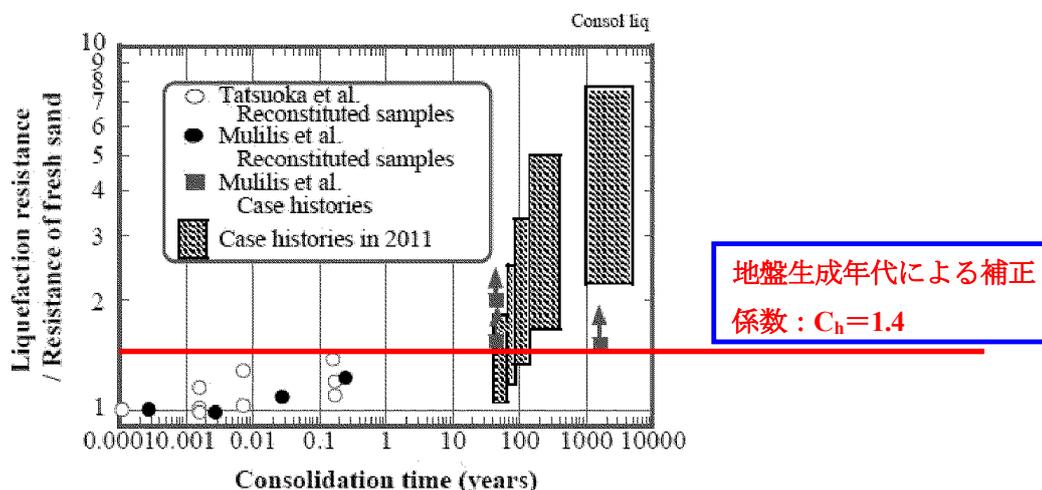


図 4-9 液状化強度増加率の経時変化⁴⁾

①液状化抵抗比の算出方法

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 (R)
- τ_d / σ_z' : 等価な繰り返しせん断応力比 (L)
- C_h : 地盤生成年代による補正係数 (C_h)

②液状化抵抗比 (R) の算出方法

液状化抵抗比 (τ_L / σ_z') は、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
- N₁ : 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
- 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 (kN/m²)

③等価な繰返しせん断応力比 (L) 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。

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

- τ_d : 水平面に生じる等価な一定繰返しせん断応力振幅 (kN/m²)
- σ_z' : 検討深さにおける有効土被り圧 (鉛直有効応力) (kN/m²)
- γ_n : 等価な繰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) (kN/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

2) 判定対象層

「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%以下の層及び細粒分含有率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。なお、東日本大震災における細粒分含有率については、細粒分含有率35%以上でも液状化しているものがあるので、現場に合わせた詳細な検討が必要である。

表 4-1 当該指針の判定対象層²⁾

	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	-----			○	○

3) 判定図

判定図については、「1-3 液状化の基礎知識」に記載してあるので参照されたい。

4) 非液状化層厚 (H_i)

非液状化層厚とは、地表面から表4-2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 (H₁) と液状化層厚 (H₂) の関係を図4-10に示す。なお、埋立土・盛土内にあるM値が2以下の粘性土層は非液状化層厚 (H₁) に含めないこととした。

表4-2 非液状化層厚 (H_1)²⁾

	地下水位より浅い層	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 (F_L 値)が 1.0 より大きい砂層	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%を超える総 (沖積層・埋立土・盛土) 粘土含有率が 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	○	○	○	-	○	○

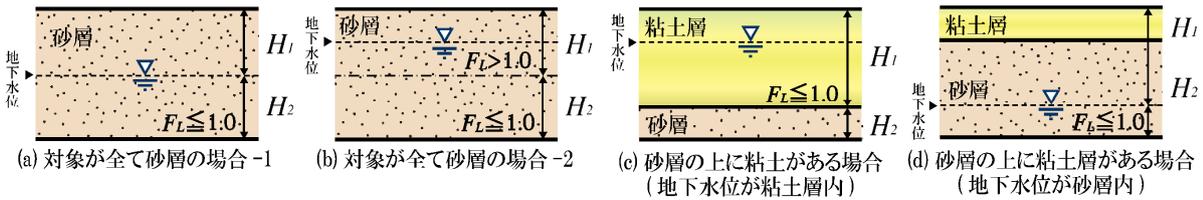


図 4-10 非液状化層厚 (H_1) と液状化層厚 (H_2) の関係⁵⁾

5) 液状化指標 (P_L 値) の算定方法

液状化指標(P_L 値)を算定する方法については「1-3 液状化の基礎知識」に記載してあるので参照されたい。

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4-11から N_a 、 τ_d/σ'_z に対応する各層の繰返しせん断ひずみ 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。

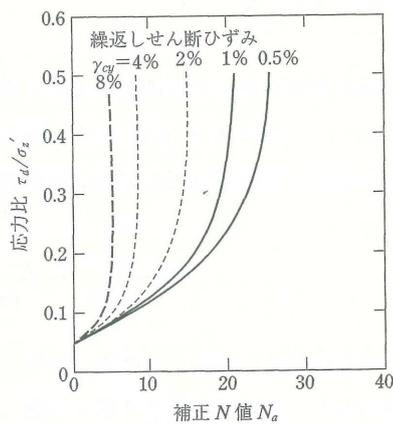


図 4-11 補正 N 値と繰返しせん断ひずみの関係⁶⁾

- 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 4-3 のように評価する。

表 4-3 地表変位を D_{cy} とした液状化程度の関係⁶⁾

$D_{cy}(cm)$	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、液状化に伴う沈下量 S を求めたい場合、**図4-11** 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。

また、液状化に伴う圧縮沈下量の推定方法については、石原・吉嶺により提案されている**図4-12** に示す関係図より推定することもできる。

この関係図は、室内繰返しせん断試験により、非排水状態で液状化試験を行った後に、排水状態にして過剰間隙水圧を消散させて液状化後の体積圧縮ひずみを直接求めた試験結果をもとに、液状化に対する抵抗率 (F_L) と体積圧縮ひずみ (ε_{vd}) や換算 N 値 (N_i) をパラメータとした関係を示したものである。

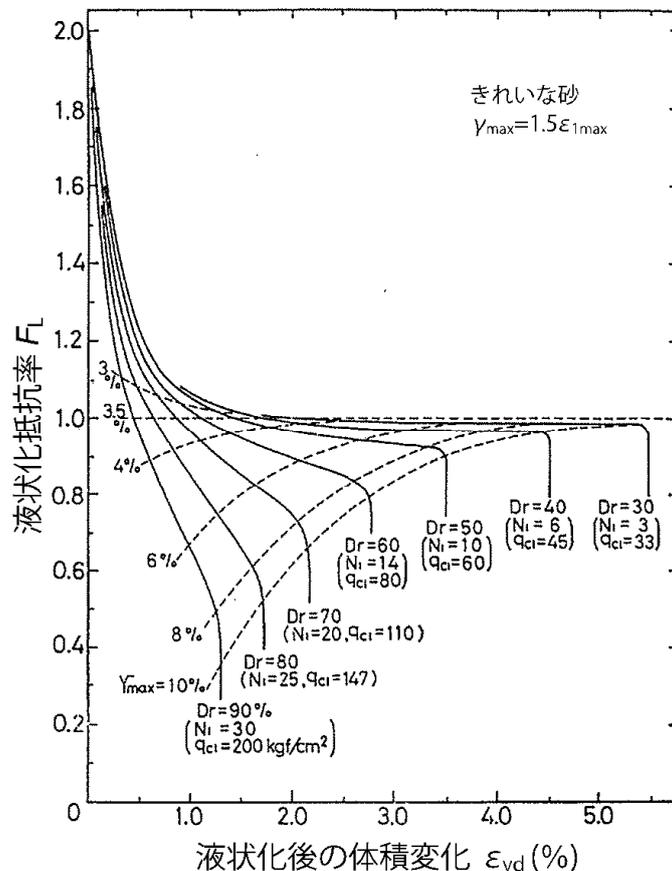


図 4-12 石原・吉嶺による F_L , 相対密度と体積ひずみの関係⁷⁾

なお、“宅地の平均地盤沈下と住宅の傾斜角の関係”、“建物の傾きによる健康障害について”、“液状化による家屋被害と健康障害の関係”、“地盤に係る住宅被害認定の運用見直しについて”を<資料編4-4～4-7>に掲載したので参照されたい。

(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

地盤沈下量は、震災前の地盤条件のもとで液状化が発生した場合の推定沈下量と実際に測量した沈下量の比較を行う。その液状化判定結果を用いて、以下のようなコンター図等を作成することにより、建物被害と液状化の因果関係を把握することができる。

- ① 液状化推定断面図の作成
- ② 液状化被害（沈下）のコンター図の作成
- ③ 液状化解析による地盤沈下量（ D_{cy} ）コンター図の作成
- ④ 液状化被害（建物被害）と「 $H_1 \sim D_{cy}$ の関係」や「 $H_1 \sim P_L$ 値の関係」

液状化の判定結果の P_L 値及び D_{cy} は、図4-13に示すように着色し見やすくすることが望ましい。また、図4-14及び図4-15は液状化対象層の「 N 値と細粒分含有量（ F_c ）の関係」や「 N 値と平均粒径（ D_{50} ）の関係」及び「粒径加積曲線図」を示したものであるが、これらの関係図を作成することにより液状化層の粒度特性を知ることができる。

作成図面の事例を次に示した。

- ① 液状化安全率 F_L を用いた液状化可能性の予測（表4-4参照）
- ② 液状化判定及び地盤変位量（ D_{cy} ）算定（表4-5及び表4-6参照）
- ③ 液状化推定断面図の作成（図4-16及び図4-19参照）
- ④ 液状化被害（沈下）のコンター図の作成（図4-17及び図4-20参照）
- ⑤ 液状化解析による地盤沈下量（ D_{cy} ）コンター図の作成（図4-18及び図4-21参照）
- ⑥ 液状化被害（建物被害）と「 $H_1 \sim D_{cy}$ の関係」や「 $H_1 \sim P_L$ 値の関係」（図4-22及び図4-23参照）

D_{cy} 値		P_L 値	
0	なし	$P_L=0$	液状化による被害発生の可能性がない
~5	軽微	$0 < P_L \leq 5$	液状化による被害発生の可能性が低い
5~10	小	$5 < P_L \leq 15$	液状化による被害発生可能性がある
10~20	中	$15 < P_L$	液状化による被害発生の可能性が高い
20~40	大		
40~	甚大		

※ P_L 値の重み係数： $W_z(20m) = 10 - 0.5 \times z$

図 4-13 液状化の判定結果の表示例

表 4-4 震災前の地盤条件で検討した液状化安全率 F_L を用いた液状化可能性の予測

孔番	試験中心深度 (GL-m)	地層名	N値	Fc (%)	D ₅₀ (%)	液状化係数及び判定						沈下予測 種別	沈下量予測			
						M7.5 200gal	判定	M7.5 350gal	判定	M9.0 200gal	判定		M7.5 200gal	M7.5 350gal	M9.0 200gal	
a-1	1.30	Fs	17.0	2	0.290	2.933	×	1.676	×	1.589	×	PL値	20m	13.184	25.503	26.510
	2.30		12.0	3	0.180	1.976	×	1.129	×	1.070	×					
	3.30		6.0	2	0.150	0.560	○	0.320	○	0.303	○					
	4.30		2.8	25	0.150	0.613	○	0.350	○	0.332	○					
	5.30		4.7	9	0.240	0.572	○	0.327	○	0.310	○					
	6.30	7.7	3	0.220	0.538	○	0.307	○	0.291	○						
	7.30	As2	18.0	3	0.160	1.286	×	0.735	○	0.696	○	Dcy (cm)	12.0	15.0	14.0	
	8.30		17.0	4	0.130	0.973	○	0.556	○	0.527	○					
a-2	1.30	Fs	16.0	2	0.250	4.214	×	2.408	×	2.283	×	PL値	20m	9.439	18.704	19.663
	2.30		7.0	4	0.200	0.827	○	0.472	○	0.448	○					
	3.30		2.0	32	0.110	0.729	○	0.416	○	0.395	○					
	6.30	As2	4.0	5	0.210	0.412	○	0.235	○	0.223	○	Dcy (cm)	14.0	17.5	16.5	
	7.30		13.0	2	0.180	0.759	○	0.434	○	0.411	○					
	8.30		27.0	2	0.150	2.636	×	1.506	×	1.428	×					
	9.30		22.0	3	0.200	1.708	×	0.976	○	0.925	○					
b-1	1.30	Fs	11.0	8.8	0.261	3.773	×	2.156	×	2.044	×	PL値	20m	2.822	9.070	10.028
	2.30		8.0	8.8	0.261	1.198	×	0.684	○	0.649	○					
	3.30		11.0	8.8	0.261	1.600	×	0.914	○	0.867	○	Dcy (cm)	3.0	5.5	5.5	
	4.30		2.8	8.8	0.261	0.551	○	0.315	○	0.298	○					
b-2	1.30	Fs	17.0	9.6	0.259							PL値	20m	0.715	5.239	5.554
	2.30		11.0	9.6	0.259	2.613	×	1.493	×	1.415	×					
	3.30		6.0	9.6	0.259	0.937	○	0.535	○	0.507	○	Dcy (cm)	0.5	2.0	2.0	
b-3	1.35	Fs	12.0	6.4	0.278	4.346	×	2.484	×	2.354	×	PL値	20m	0.391	5.963	6.590
	2.30		14.0	6.4	0.278	3.507	×	2.004	×	1.900	×					
	3.30		6.0	15.6	0.238	0.953	○	0.545	○	0.516	○					
	4.30	As2	10.0	15.6	0.238	1.392	×	0.795	○	0.754	○	Dcy (cm)	0.5	1.5	1.5	
	5.30		20.0	15.6	0.238	2.846	×	1.627	×	1.542	×					
b-4	1.30	Fs	3.0	21.1	0.180	1.051	×	0.601	○	0.569	○	PL値	20m	0.000	3.948	4.277
	2.30		11.0	21	0.180	3.083	×	1.762	×	1.670	×					
	3.30	As2	33.0	8.5	0.266	2.817	×	1.610	×	1.526	×	Dcy (cm)	0.0	2.1	2.1	
	4.30		30.0	8.5	0.266	2.698	×	1.542	×	1.461	×					
e-1	1.30	Fs	20.0	2	0.250	4.613	×	2.636	×	2.499	×	PL値	20m	4.657	14.259	15.389
	2.30		8.0	9	0.240	1.281	×	0.732	○	0.694	○					
	3.30		5.0	25	0.150	0.942	○	0.539	○	0.510	○					
	6.30	As2	7.0	5	0.210	0.559	○	0.319	○	0.303	○	Dcy (cm)	5.0	7.0	7.0	
	7.30		15.0	2	0.180	0.899	○	0.513	○	0.487	○					
	8.30		21.0	2	0.150	1.714	×	0.979	○	0.928	○					
	9.30		33.0	3	0.200	2.699	×	1.542	×	1.462	×					
	10.30		42.0	2	0.220	2.719	×	1.554	×	1.473	×					
11.30	40.0	3	0.200	2.760	×	1.577	×	1.495	×							
f-1	1.30	Fs	11.0	3.9	0.220	3.317	×	1.896	×	1.797	×	PL値	20m	2.804	9.620	10.095
	2.30		16.0	3.9	0.220	2.797	×	1.598	×	1.515	×					
	3.30		9.0	3.9	0.220	0.751	○	0.429	○	0.407	○					
	11.30	As2	25.0	7.4	0.210	2.450	×	1.400	×	1.327	×	Dcy (cm)	2.5	5.0	5.0	
	12.30		25.0	7.4	0.210	2.494	×	1.425	×	1.351	×					
	13.30		16.0	7.4	0.210	0.877	○	0.501	○	0.475	○					
	14.30		17.0	7.4	0.210	0.920	○	0.526	○	0.498	○					
	15.30		18.0	7.4	0.210	0.966	○	0.552	○	0.523	○					
16.30	19.0	7.4	0.210	1.017	×	0.581	○	0.551	○							
f-2	1.30	Fs	15.0	3.4	0.160	4.015	×	2.294	×	2.175	×	PL値	20m	3.961	15.862	17.031
	2.30		9.0	3.4	0.160	0.984	○	0.563	○	0.533	○					
	3.30		10.0	3.4	0.160	0.875	○	0.500	○	0.474	○					
	4.30	As2	8.0	3.4	0.160	0.659	○	0.376	○	0.357	○	Dcy (cm)	4.5	11.0	10.5	
	11.30		22.0	5.4	0.220	1.502	×	0.858	○	0.814	○					
	12.30		23.0	5.4	0.220	1.534	×	0.876	○	0.831	○					
	13.30		34.0	5.4	0.220	2.639	×	1.508	×	1.429	×					
	14.30		28.0	5.4	0.220	2.543	×	1.453	×	1.378	×					
	15.30		21.0	5.4	0.220	0.996	○	0.569	○	0.540	○					
	16.30		25.0	5.4	0.220	1.377	×	0.787	○	0.746	○					
	17.30		17.0	5.4	0.220	0.770	○	0.440	○	0.417	○					
	18.30		42.0	5.4	0.220	2.877	×	1.644	×	1.559	×					
19.30	19.0	5.4	0.220	0.835	○	0.477	○	0.452	○							
20.00	29.0	5.4	0.220	1.693	×	0.967	○	0.917	○							

表 4-5 震災前の液状化判定例

地点名 潮来地区：既存a-1 P L値 26.51
 水の単位体積重量 9.8 (kN/m³) (注) 判定外
 土載荷重 0.0 (kN/m²)
 使用曲線 $\gamma = 5$ (%)
 設計加速度 300.00 (gal)
 マグニチュード 9.0
 基準名 建築基礎構造設計指針
 判定方法 地表面設計用水平加速度と、実測N値
 $F_c > 50\%$ の取扱い 液状化の判定外とする

標尺	深さ (m)	層厚 (m)	土層種類	土質特性										応力出比	液を状考慮判定	せん断振幅					判定	
				N 値	判定深さ (m)	湿潤重量 (kN/m ³)	飽和重量 (kN/m ³)	有上載効力 Sv (kN/m ²)	全上載圧 (kN/m ²)	相対含水量 (%)	平均粒径 D50	コ抵抗値貫入 (kN/m ²)	周抵抗面摩擦 (kN/m ²)			低減係数	せん断力断 (kN/m ²)	補正 N 値 Na	液抵抗比 (Tl/Sv)	せん断力断比 (Td/Sv)		FL
0	0.0		砂質土	17.0	1.30			14.7	23.1	2.0	0.290	0.00	0.00	N値		0.980	5.6	43.88	0.600	0.378	1.589	
			砂質土	12.0	2.30			22.7	40.9	3.0	0.180	0.00	0.00	N値		0.965	9.7	24.93	0.456	0.426	1.070	
			砂質土	6.0	3.30			30.7	58.7	2.0	0.150	0.00	0.00	N値		0.951	13.7	10.72	0.135	0.445	0.303	
			砂質土	2.8	4.30			38.7	76.5	25.0	0.150	0.00	0.00	N値		0.936	17.5	12.96	0.150	0.453	0.332	
	5.90	5.90	砂質土	1.7	5.30			46.7	94.3	9.0	0.240	0.00	0.00	N値		0.920	21.3	11.61	0.141	0.455	0.310	
			砂質土	7.7	6.30	17.8	17.8	54.9	112.3	3.0	0.220	0.00	0.00	N値		0.905	24.9	10.29	0.132	0.454	0.291	
			砂質土	18.0	7.30			63.3	130.5	3.0	0.160	0.00	0.00	N値		0.891	28.5	22.40	0.313	0.450	0.696	
			砂質土	17.0	8.30			71.7	148.7	4.0	0.130	0.00	0.00	N値	しない	0.876	31.9	19.88	0.235	0.445	0.527	
			砂質土	36.0	9.30			80.1	166.9	2.0	0.220	0.00	0.00	N値	しない	0.000	0.0	39.83	0.600	0.000		
			砂質土	27.0	10.30			88.5	185.1	3.0	0.210	0.00	0.00	N値	しない	0.000	0.0	28.42	0.600	0.000		
			砂質土	42.0	11.30			96.9	203.3	3.0	0.200	0.00	0.00	N値	しない	0.000	0.0	42.24	0.600	0.000		
			砂質土	38.0	12.30			105.3	221.5	3.0	0.200	0.00	0.00	N値	しない	0.000	0.0	36.66	0.600	0.000		
	13.90	7.10	砂質土	50.0	13.30	18.2	18.2	114.1	240.2	3.0	0.200	0.00	0.00	N値	しない	0.000	0.0	46.33	0.600	0.000		
			砂質土	48.0	14.30			124.0	259.9	3.0	0.200	0.00	0.00	N値	しない	0.000	0.0	42.67	0.600	0.000		
			砂質土	50.0	15.30			133.9	279.6	3.0	0.200	0.00	0.00	N値	しない	0.000	0.0	42.77	0.600	0.000		
			砂質土	43.0	16.30			143.8	299.3	3.0	0.200	0.00	0.00	N値	しない	0.000	0.0	35.50	0.600	0.000		
			砂質土	23.0	17.30			153.7	318.9	3.0	0.200	0.00	0.00	N値	しない	0.741	57.8	18.36	0.205	0.376	0.546	
			砂質土	28.0	18.30			163.6	338.6	3.0	0.200	0.00	0.00	N値	しない	0.726	60.2	21.67	0.285	0.368	0.776	
			砂質土	50.0	19.30			173.5	358.4	3.0	0.200	0.00	0.00	N値	しない	0.000	0.0	37.58	0.600	0.000		
	20.00	7.00				19.7	19.7															

表 4-6 震災前の液状化における地盤変位量 (Dcy) 算定例

既存 a-1地点 液状化による地盤変位量(Dcy)算定結果 地下水位=GL- 0.45 m

液状化解析結果				M=7.5 加速度=200gal				M=7.5 加速度=350gal				M=9.0 加速度=200gal				M=9.0 加速度=300gal							
深度	N値	補正N値 Na	液状化抵抗比 $\tau d / \sigma' v$	せん断力比 $\tau d / \sigma' v$	安全率 FL	γcy ϵv	地盤変位量 Dcy(m)	せん断力比 $\tau d / \sigma' v$	安全率 FL	γcy ϵv	地盤変位量 Dcy(m)	せん断力比 $\tau d / \sigma' v$	安全率 FL	γcy ϵv	地盤変位量 Dcy(m)	せん断力比 $\tau d / \sigma' v$	安全率 FL	γcy ϵv	地盤変位量 Dcy(m)				
0.45																							
1.30	17.0	43.9	0.600	0.205	2.927			0.358	1.676			0.252	2.381			0.378	1.587						
2.30	12.0	24.9	0.456	0.231	1.974			0.404	1.129			0.284	1.606			0.426	1.070						
3.30	6.0	10.7	0.135	0.241	0.560	0.03	0.030	0.422	0.320	0.03	0.030	0.297	0.455	0.03	0.030	0.445	0.303	0.03	0.030				
4.30	2.8	13.0	0.150	0.245	0.612	0.03	0.030	0.429	0.350	0.03	0.030	0.302	0.497	0.03	0.030	0.453	0.331	0.02	0.020				
5.30	4.7	11.6	0.141	0.247	0.571	0.02	0.020	0.432	0.326	0.03	0.030	0.304	0.464	0.02	0.020	0.455	0.310	0.03	0.030				
6.30	7.7	10.3	0.132	0.246	0.537	0.03	0.030	0.430	0.307	0.03	0.030	0.303	0.436	0.03	0.030	0.454	0.291	0.03	0.030				
7.30	18.0	22.4	0.313	0.244	1.283	0.01	0.005	0.426	0.735	0.01	0.005	0.300	1.043			0.450	0.696	0.005	0.005				
8.30	17.0	19.9	0.235	0.241	0.975	0.01	0.005	0.422	0.557	0.01	0.010	0.297	0.791	0.01	0.005	0.445	0.528	0.01	0.010				
9.30	36.0	39.8	0.600	0.238	2.521			0.416	1.442			0.293	2.048										
10.30	27.0	28.4	0.600	0.235	2.553			0.411	1.460			0.289	2.076										
11.30	42.0	42.2	0.600	0.231	2.597			0.405	1.481			0.285	2.105										
12.30	38.0	36.7	0.600	0.228	2.632			0.398	1.508			0.280	2.143										
13.30	50.0	46.3	0.600	0.223	2.691			0.391	1.535			0.275	2.182										
14.30	48.0	42.7	0.600	0.218	2.752			0.382	1.571			0.269	2.230										
15.30	50.0	42.8	0.600	0.213	2.817			0.373	1.609			0.263	2.281										
16.30	43.0	35.5	0.600	0.209	2.871			0.365	1.644			0.257	2.335										
17.30	23.0	18.4	0.205	0.204	1.005			0.357	0.574	0.01	0.010	0.251	0.817	0.01	0.010	0.376	0.545	0.01	0.010				
18.30	28.0	21.7	0.285	0.199	1.432			0.349	0.817	0.005	0.005	0.245	1.163			0.368	0.774	0.005	0.005				
19.30	50.0	37.6	0.600	0.195	3.077			0.341	1.760			0.240	2.500										
20.00																							
地盤変位量(Dcy)総計(cm)							12						15.0						12.5	14.0			

液状化の程度: 中

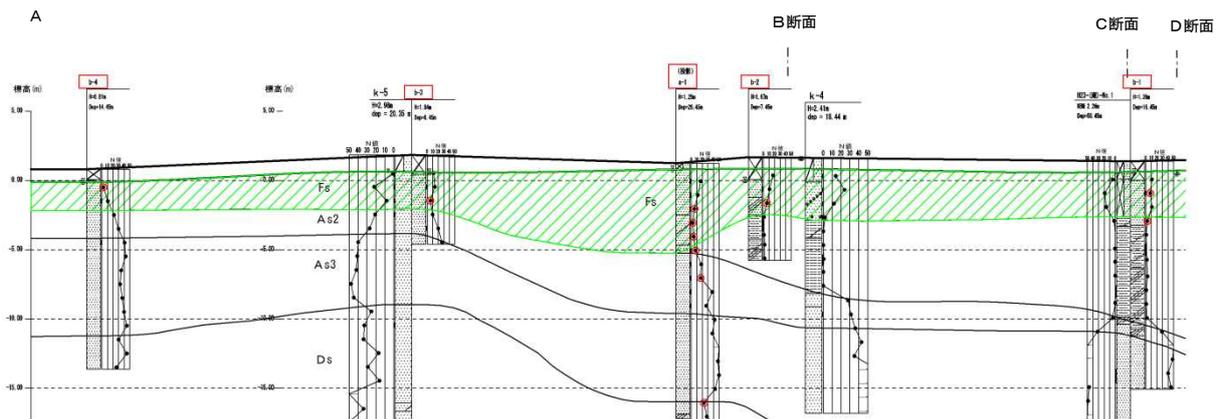


図 4-16 震災前における液状化予測断面図例-1 (IH 地区)

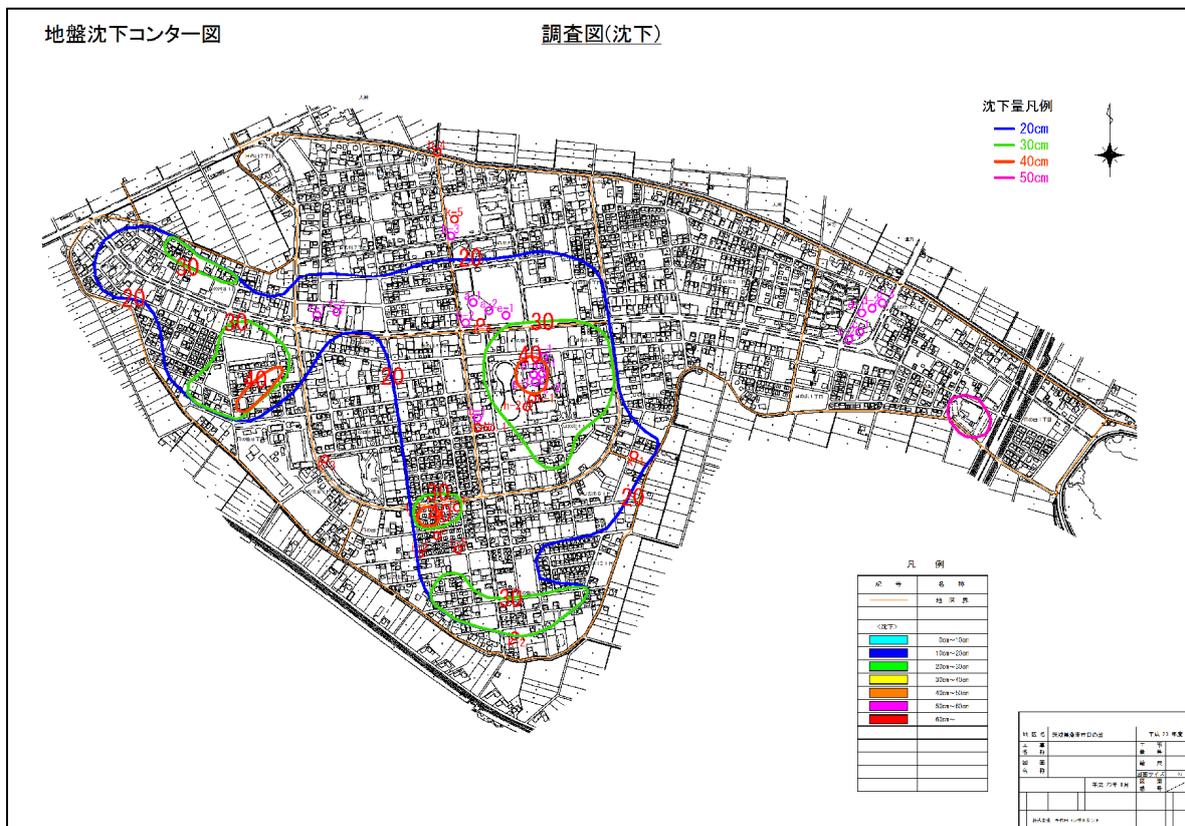


図 4-17 液状化被害 (地盤沈下) コンター図例-1 (IH 地区)

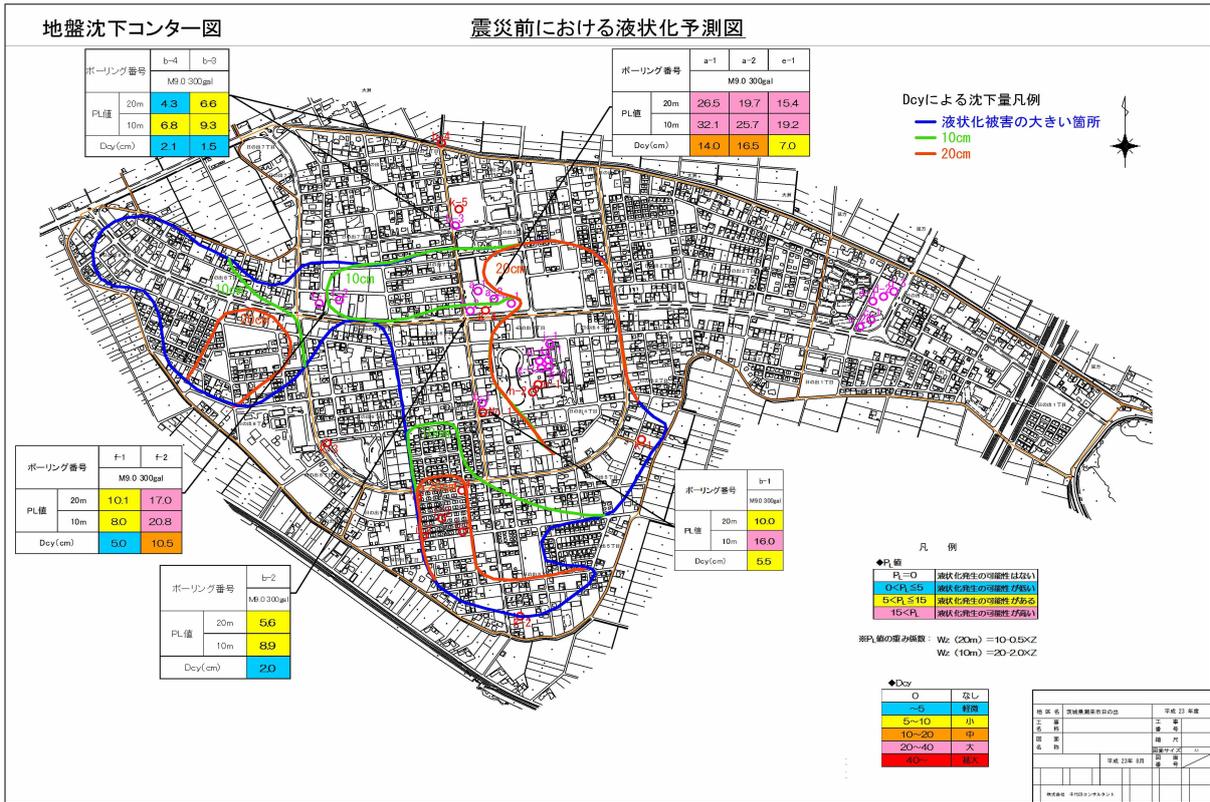


図 4-18 震災前における液状化判定による地盤沈下量 (Dcy) コンター図例-1 (IH 地区)

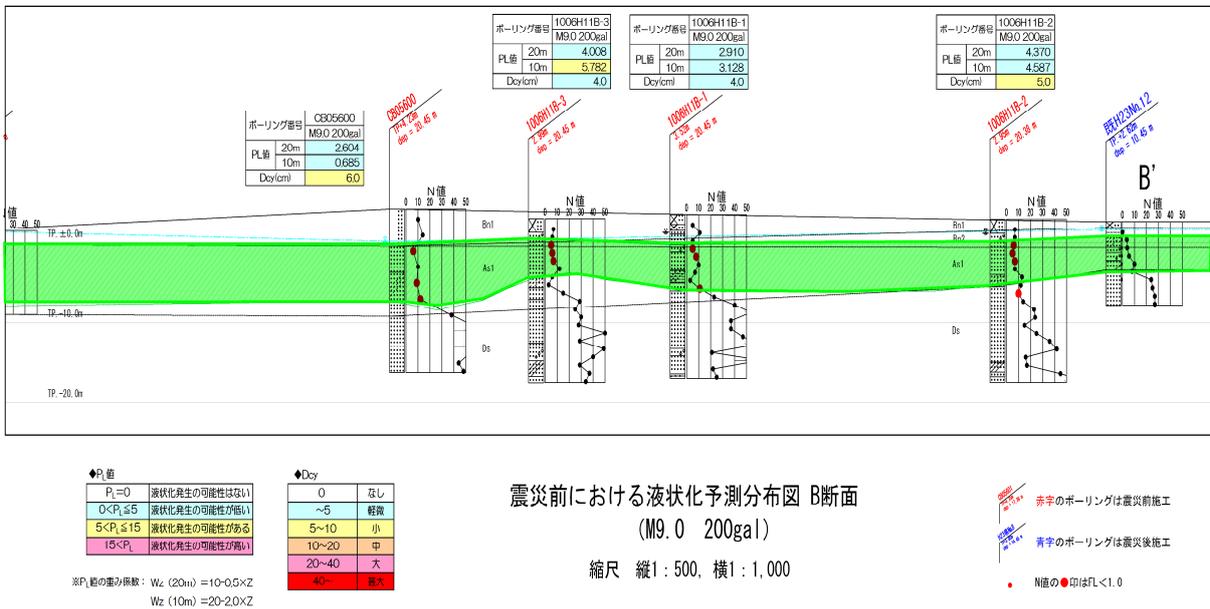


図 4-19 震災前における液状化予測断面図例-2 (NK 地区)



図 4-20 液状化被害（地盤沈下）コンター図例-2（NK 地区）

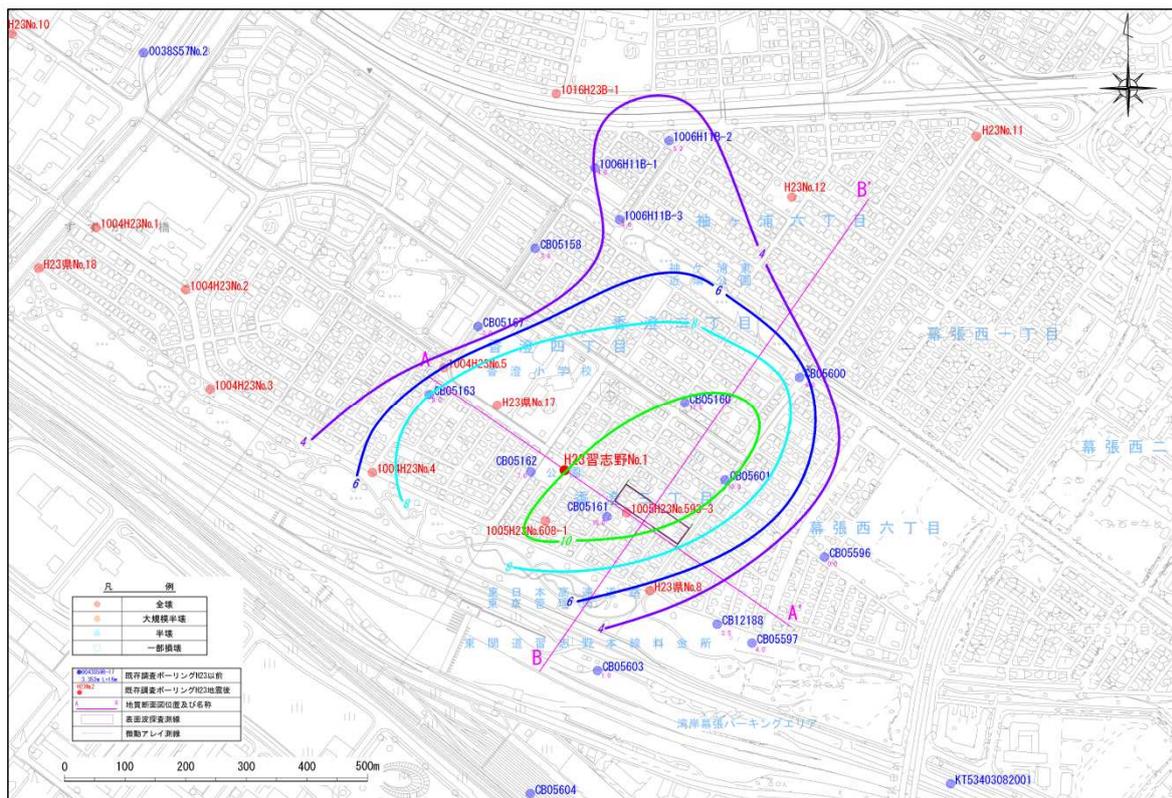


図 4-21 震災前における液状化判定による地盤沈下量（Dcy）コンター図例-2（NK 地区）

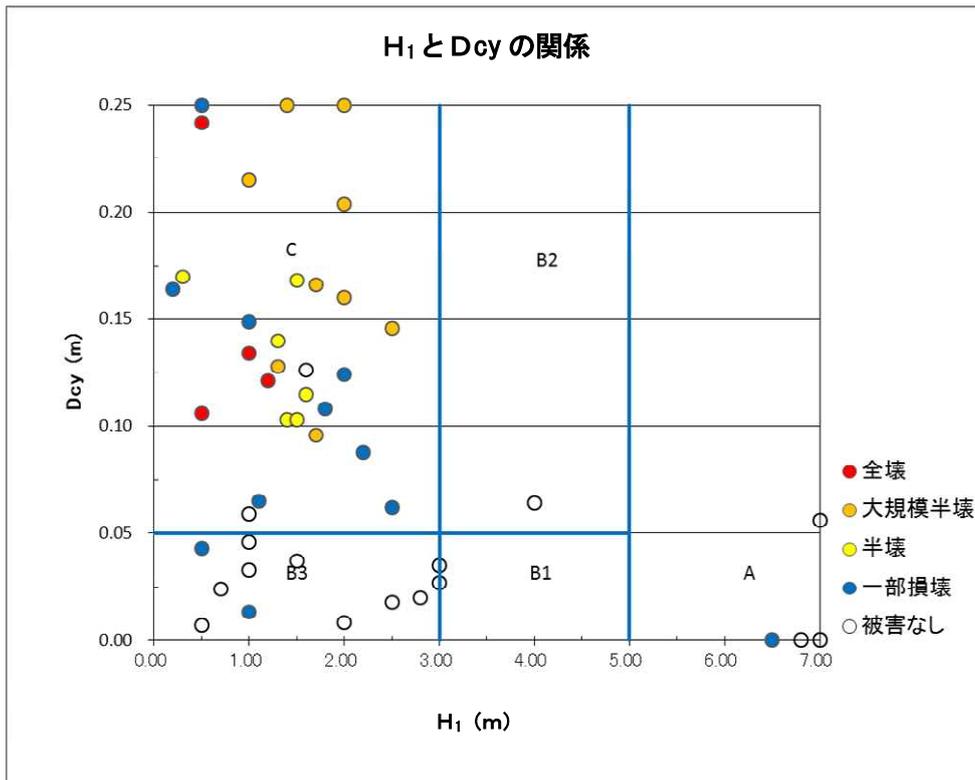


図 4-22 液状化被害（建物被害）と「H₁～Dcyの関係」例

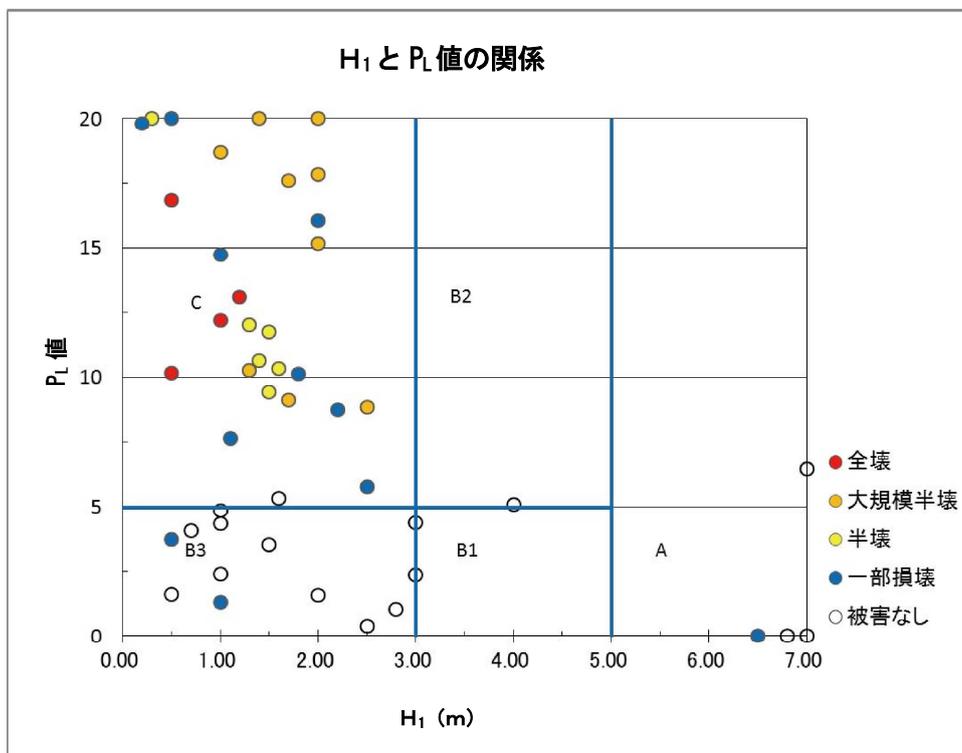


図 4-23 液状化被害（建物被害）と「H₁～PL値の関係」例

(4) 対策工法の選定

公共施設・宅地一体型液状化対策において、既存建築物を存置したまま効率的に実施できる工法として、現時点で以下の2工法を検討することが望ましい。

- ① 地下水位低下工法
- ② 格子状地中壁工法

地下水位低下工法は、①排水管方式（開削工法、推進工法）と、②井戸方式の工法があり、施工性、長期的な維持管理コストについて十分に調査・検討して工法を採用する必要がある。この工法には深層にある粘土層の圧密沈下による建物やライフラインの不具合を招くおそれがあるので、事前に圧密沈下量が少ない地盤であることを確認しておく必要がある。ポンプを設置して地下水を排除する場合には、ポンプ稼働に必要な電気代や維持管理にコストがかかる。これを受益者負担として住民求める場合には、工法の検討段階から十分な説明を要する。

格子状地中壁工法は、地下水位低下工法に比べ、施工性、施工コストについて十分に調査・検討して工法を採用する必要がある。本工法の施工にあたり、改良壁の一体性の確保が重要な要求性能の一つとなり、機械剛性や改良方式の違いなどを考慮し、改良杭の鉛直精度ならびに接合部の品質面において、要求性能を満足できるよう留意する必要がある。

格子状地中壁を設置するためには、宅地内での工事が必要になることから、事業区域内の住民等には宅地内工事の実施内容と受益負担を求める場合、その負担額について同意を得ることが必要であり、十分な説明と事業区域の住民等の意向を段階的に確認しながら進めることが重要である。

格子状地中壁により、街路や各敷地が仕切られることになるため、街区一体型の格子状地中壁で一定の水準までの液状化対策を施した後、更に高度な対策については、箇々の敷地所有者の判断と負担によって行い得るようになるので、行政的・権利関係的にわかりやすい状態が実現される。なお、狭い隣棟部分では大型機械での施工ができないおそれがある。

こうした対策工法の選定に当たっては、施工法が改良されたり、新工法が開発されることがあるので、最新の技術動向を収集することも重要である。また、選定した工法は、解析等により道路等の公共施設と宅地の一体的な液状化対策として十分な効果があることを確認する必要がある。工法の選定や解析等の妥当性については技術検討委員会等に諮りながら検討を進めることが望ましい。

4-3 検討組織の設置

(1) 専門家を含む委員会の設置

液状化対策事業計画の策定にあたっては、液状化による被害実態等の把握、液状化判定手法の検証及び発生メカニズムの確認・解析等の各社会基盤施設等に共通する技術的事項について、液状化対策検討委員会を設置し、意見を聴くことが重要である。

1) 液状化対策委員会の設置の目的

液状化は地盤条件等によってその発生状況や被害形態が異なるため、図4-26のように中・大規模な地震における地震動、地盤の液状化の被害について、学識経験者の専門的見地からの意見を聴取し、被災市が実施する調査方法等に反映する。また、液状化対策事業計画を策定する場合には、調査結果を基に経済的かつ効果的な液状化対策の方法を検討し、検討委員会の意見を聴くことが重要である。

2) 委員会での検討内容

- ①各種調査計画・方法に関すること
- ②調査結果の検証及び今後の対策に関すること
- ③事業計画の効果的な運用に関すること
- ④その他必要な事項に関すること

3) 依頼する委員の選任及び任期について

依頼する委員は、液状化対策に詳しい（公社）地盤工学会・（一社）日本建築学会・（公社）土木学会、（公社）地震工学会等関係学会の推薦者、地元の大学等の学識経験者、都市計画審議会等から各分野の専門家を選任する。また、依頼する委員の任期は、原則として委嘱の日から市街地液状化対策事業の完了日までとする。

4) 委員会の開催

委員会の開催は、調査・事業計画の進行に合わせて、原則として2～3か月に1回の頻度で年間3～4回程度の委員会を予定する。

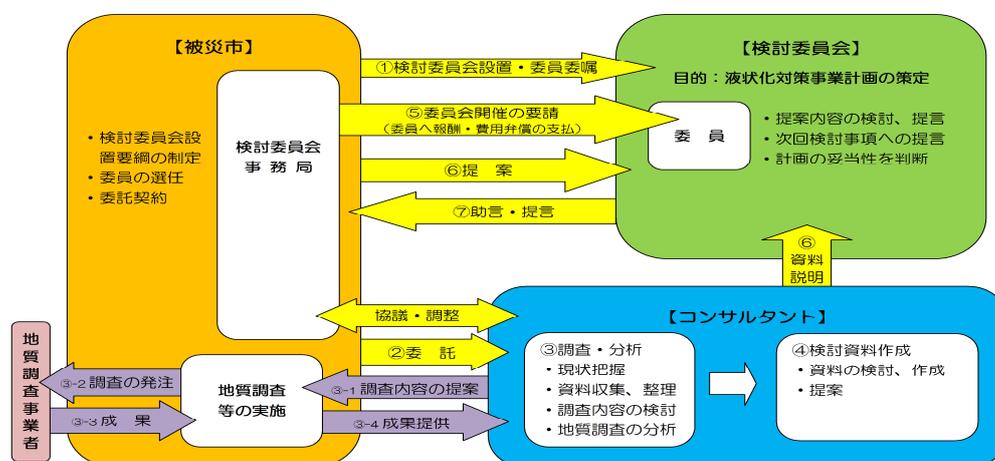


図4-24 液状化対策検討委員会のスキーム

(2) コーディネーター制度の活用

液状化対策事業において、宅地の液状化対策等に伴う個人負担等に関する調査・相談、事業化に向けた意向把握、合意形成等に資するため、地盤改良や建築物の修繕等に関する知識及び液状化と被害の発生メカニズムに関する知識を有し、まちづくり事業に精通した専門家、実務者等が中心となり、被災者、事業者、行政等の調整役を果たすコーディネーター制度を活用することができる。

ただし、コーディネーターは、学識経験者等から構成される液状化対策検討委員会の検討内容について熟知しておくことが必要であり、液状化被災市街地の復興に向けた被災者への説明に不整合や情報不足等がないように留意する必要がある。

1) コーディネーター制度の趣旨

液状化対策推進事業において、宅地の液状化対策等に伴う個人負担等に関する調査・相談、事業化に向けた意向把握、合意形成等に資するため、**図4-25**のようにコーディネーター制度を活用することが可能である。コーディネーターは、地盤改良や建築物の修繕等に関する知識及び液状化と被害の発生メカニズムに関する知識を有し、まちづくり事業に精通した専門家、実務者等が中心となり、被災者、事業者、行政等の調整役を果たすことが期待される。

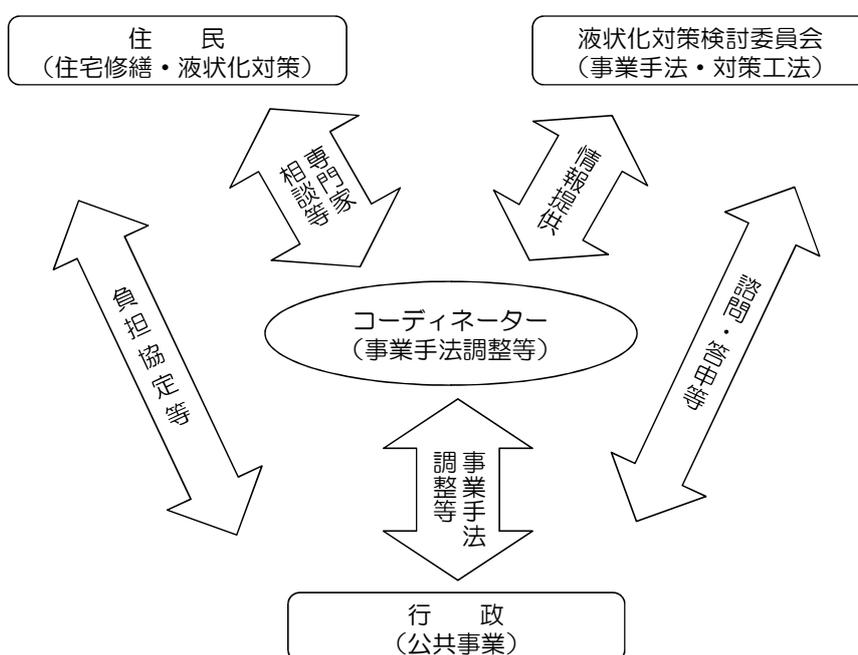


図4-25 コーディネーター制度を活用した復興対策の検討体制の例

2) コーディネートの進め方

宅地液状化対策は、原則宅地所有者負担により行われるものと考えられる。また、被災者は宅地の液状化対策とともに住宅の再建等も行うこととなるため、液状化対策の事業化を図るには、被災者に対し個別の被害状況に応じた液状化対策に要する個人負担に関する情報等を提供することが望ましく、そのための各種調査等を支援する。

①個別家屋の被害に関する調査

家屋毎の被害状況を把握する。この調査により、家屋の補修方法や概ねの補修費用等を被災者に提供できるようになる。

②各宅地の地盤状況に関する調査

地域のボーリング調査や地盤解析等をもとに、宅地の地盤状況を想定し、宅地の傾斜修正や地盤改良など各種の液状化対策方法や個人の対策経費を整理する。なお、道路等の公共施設の液状化対策のために必要な民地における対策が発生する場合は、被災者負担分と公共負担分を区別できるようにしておく。

③事業化に向けた合意形成

①と②の調査に基づいて、被災者に液状化対策に要する個人負担の情報等を提供し、それらの相談対応に応じつつ、事業化する場合の理解の促進、意向把握、合意形成の見込み等の把握を行う。

その際、以下の概要について説明することが考えられる。

- ・現状の説明（被災状況、地盤状況等）
- ・復興構想、基本方針（公共施設の復旧等）
- ・液状化対策の説明（地盤対策の効果、住宅・宅地の対策）
- ・各種個別再建方法（自力再建への助成、公営住宅の提供等）

また、再建の場合の補助制度や融資制度等の情報提供や、家屋の被害が著しく解体を余儀なくされた場合で、個人負担額によっては自力再建が困難な場合等も想定されることから、公営住宅等の扱いについて説明することも考えられる。

3) 液状化対策検討委員会との関係

液状化対策事業は、学識経験者等から構成される液状化対策検討委員会の意見を踏まえて決定される。コーディネーターも同委員会の検討内容について熟知しておくことが必要であり、液状化対策推進事業に向けた被災者への説明に不整合や情報不足等がないように留意する。

なお、同委員会に対しても、今後の地域の復興の基本方針等を判断する上で、適時情報提供が行える体制とされていることが望ましい。

4) コーディネーター制度を活用した事例（浦安市）

浦安市において平成24年5月から平成27年3月までの3年間、専門相談員によるアドバイス等を行う無料相談会を実施した。そして、木造住宅の耐震診断や液状化による傾斜した家屋の復旧方法、液状化対策を目的とした地盤改良工法などについて相談の対応をした。

（平成24年度：144件、平成25年度：52件、平成26年度：23件）

(3) 地域住民意向調査と合意形成

液状化被災市街地の復興にあたっては、被災状況、地盤の状況、立地条件・土地利用等の地区特性により対応が異なるので、多岐にわたる検討が必要である。

また、住宅・宅地を含めた復興に際しては、当該所有者の金銭的な負担等を伴う場合もあるから、事前に被災者の生活再建の観点を踏まえ、被災者に対して主な液状化対策の選択肢と検討の流れを示し、住民の意向を踏まえた検討を進めていくことが必要である。

【解説】

図4-26は、住宅・宅地に係る対応を中心とした想定される主な選択肢と検討の流れについて整理したものである。

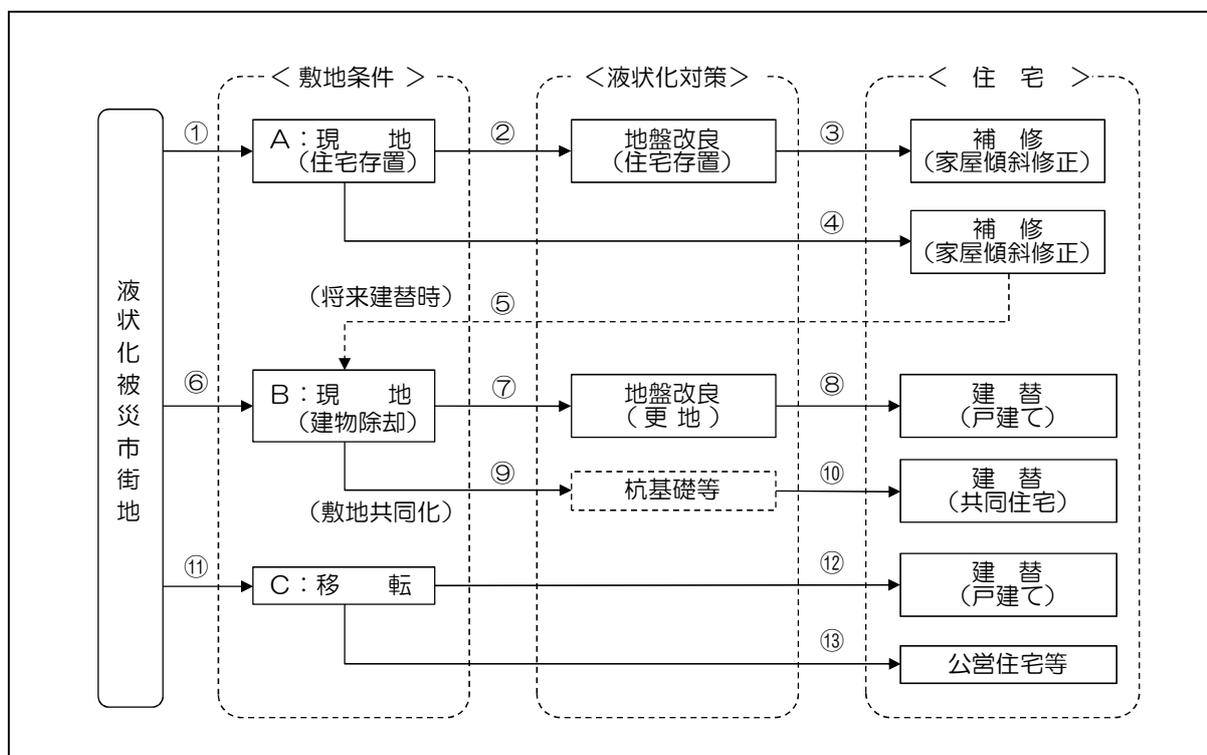


図4-26 液状化被災市街地の復興に向けた検討フロー

表4-7は図4-24の具体的な液状化被災市街地の復興に向けた対応例及び関連助成制度等であり、以下にその考え方を述べる。

- 1) 液状化被災市街地の復興にあたっては、当該家屋・宅地等の被害状況、地盤特性等を勘案しつつ、まず、現地での生活再建を基本として検討することとなる。家屋に傾斜は見られるものの構造耐力上の著しい支障がない場合にあつては、家屋は存置したまま傾斜修正等を行い、生活上支障のない状態に補修することが考えられる（フロー①）。
- 2) その際、当面の生活上支障のない状態に復旧するだけでなく、付加的に、将来における再液状化

被害の抑制対策を施すことを希望する場合には、当該宅地等における地盤改良等を併せて実施することが検討される（フロー②-③）。

3) 家屋の補修にあたっては、家屋の被害状況、補修等の内容に応じて、被災者生活再建支援制度や災害復興住宅融資等の活用が想定される。また、液状化対策としては、市街地液状化対策推進事業を活用し、被災市街地の一定の地区について、隣接する公共施設と共同して液状化対策を施すことも考えられる。

4) ただし、一般的に、家屋を存置したまま当該家屋の基礎地盤に対して、地盤改良を施すには、

- ・ 工事の作業スペースが限定され、使用できる重機等の大きさが制約
- ・ ライフライン等の地下埋設物や電線等の上空架線等による施工上の制約
- ・ 敷地内で建物を存置する場所とオープンスペースとで対策に不均質
- ・ 住宅街における作業中の騒音・振動、周辺工作物等への影響への配慮

等の観点から、敷地規模や当該地盤に最も効果的に作用する工法によって、更地において地盤改良を行う場合よりも相当程度割高になる場合等には、当面は家屋の傾斜修正だけを行い生活上支障のない状態を保ちつつ、将来的な家屋の建替時等にあわせて、地盤改良工事を行う選択も考えられる（フロー④-⑤-⑦-⑧）。

5) 一方、家屋の被害が著しく建替を余儀なくされた場合等にあつては、家屋を除却した後に一旦更地とした上で地盤改良を行い、現地で再建する場合や（フロー⑥-⑦-⑧）、立地ポテンシャルが高い場合等では、複数の敷地で共同化して建替えることで再建に係る個人負担の低減が図られたり、支持地盤まで基礎杭を打つなど、再液状化により家屋の傾斜が発生しづらい構造とすることも考えられる（フロー⑨-⑩）。

6) 同じく家屋の被害が著しい場合、現地での再建ではなく、一定の地盤の安定が見込まれている地区に移転し、住宅市街地を形成するケースも想定される。

従前の被災地が一定のまとまりを持った地域で、当該被災地を災害危険区域として指定することが見込まれる場合等にあつては、防災集団移転促進事業により被災者が集団で移転し、新たに住宅団地を形成し住宅を再建するケースやフロー⑪-⑫）、家屋の被害が著しく、解体を余儀なくされた場合で、自力での住宅再建が困難な場合等にあつては、公営住宅等を活用することも想定される（フロー⑪-⑬）。

表4-7 液状化被災市街地の復興に向けた対応例及び関連助成制度等

フロー		対応例	主な関連助成制度等
A-1	①-②-③	<ul style="list-style-type: none"> ・家屋に傾斜は見られるものの、構造耐力上の著しい支障がない場合は、<u>現地での生活再建</u>を基本として検討。 ・当面の生活上支障のない状態に復旧するだけでなく、将来における再液状化被害の抑制対策を併せて実施する場合には、<u>家屋を残したまま当該宅地における地盤改良等を施した後、家屋の傾斜を修正</u>。 	<液状化対策> ・市街地液状化対策事業 <住宅対策> ・被災者生活再建支援制度 ・災害復興住宅融資・災害復興宅地融資
A-2	①-④-⑤ -⑦-⑧	<ul style="list-style-type: none"> ・敷地規模や当該地盤に効果的に作用する工法によって、家屋を残したまま地盤改良を行うと更地において地盤改良を行う場合よりも相当程度割高になる場合等には、<u>当面、家屋の傾斜修正</u>だけを行い生活上支障のない状態を保ちつつ、<u>将来的な建替時等にあわせて地盤改良</u>を実施。 	<住宅対策> ・被災者生活再建支援制度等
B-1	⑥-⑦-⑧	<ul style="list-style-type: none"> ・家屋の被害が著しく、建替を余儀なくされた場合等では、<u>家屋を除却した後に一旦更地とした上で地盤改良</u>を行い、<u>現地で再建</u>。 	<液状化対策> ・市街地液状化対策事業 ・土地区画整理事業 <住宅対策> ・被災者生活再建支援制度等
B-2	⑥-⑨-⑩	<ul style="list-style-type: none"> ・立地ポテンシャルが高い場合で、複数の敷地で<u>共同化して建替</u>えることで再建に係る個人負担の低減が図られたり、支持地盤まで基礎杭を打つ等により再液状化による家屋の傾斜が発生しづらい構造とする。 	<液状化対策> (基礎杭等による住宅傾斜抑制) <住宅対策> ・被災者生活再建支援制度等
C-1	⑪-⑫	<ul style="list-style-type: none"> ・家屋の被害が更に著しい場合等、現地での再建ではなく、<u>一定の地盤の安定が見込まれる地区に移転</u>し、住宅市街地を形成。 ・従前の被災地が一定のまとまりを持った地域で、当該被災地を災害危険区域として指定することが見込まれる場合等にあつては、<u>防災集団移転促進事業</u>により被災者が集団で移転し、新たに住宅団地を形成。 	<集団移転> (防災集団移転促進事業等) <住宅対策> ・被災者生活再建支援制度等
C-2	⑪-⑬	<ul style="list-style-type: none"> ・家屋の被害が著しく、解体を余儀なくされた場合で、自力での住宅再建が困難な場合等にあつては、公営住宅等を活用。 	<住宅対策> ・被災者生活再建支援制度等 ・災害公営住宅整備事業等

4-4 液状化対策の目標値

公共施設・宅地一体型液状化対策における目標値は、街区全体での液状化被害を抑制するために必要かつ整合のとれたものとする。

その際には、想定する地震動として中地震は下回らないものとし、今次災害の規模等を考慮し、地域の社会的、経済的状況を踏まえ液状化対策の目標値を設定するものとする。

公共施設・宅地一体型液状化対策において液状化被害を抑制するための目標値としては、原則として「宅地液状化被害判定指針」における「顕著な被害の可能性が低い」を指し、指針判定図における A ランクの範囲とし、液状化対策後に B1 ランクの範囲になる場合も「顕著な被害の可能性が低い」と同等の扱いとする。

ただし、技術面や経済性において目標値を満たすことが困難と想定される場合には、地域の合意を経て、液状化被害を軽減するために個別の目標値とすることができる。

液状化対策においては、公共施設や宅地が地震発生後でも確保すべき性能を考慮し、街区全体で性能を確保するために必要かつ整合のとれた地盤の目標値を設定することが重要である。

なお、宅地に求める地震に対する目標性能は、宅地防災マニュアルによると以下のように定められている。

中地震相当：宅地の機能に重大な支障が生じない

大地震相当：人命及び宅地の存続に重大な影響を与えない

1. 想定地震動の大きさ

液状化対策の目標値を定める場合、対象とする地震動の大きさとこの荷重に対する応答値として何を対象とするかを決めておく必要があり、東日本大震災の液状化被害の実態も考慮すると、震度5程度から被害が発生していることから、中地震に相当する地震動を下回らないものとする。ただし、想定した地震動を大きくすると液状化対策に要する費用もまた大きくなるため、経済性も考慮し、民生安定上必要があれば今次災害規模等とすることができる。

想定する地震動の検討例として、以下のものを示す。

- ・タイプ1（最低限の地震動）：200gal、M7.5

（宅地液状化被害判定指針に示す想定地震動）

- ・タイプ2（今次災害を考慮した地震動）：200gal、M9.0

（東日本大震災による東京湾岸における地震動）

- ・タイプ3（地域防災計画に定める地震動、既往最大の地震動等）：350gal、M7.5

（今後想定される直下型地震による大きな地震動）

※galは「想定地表面最大加速度」、Mはマグニチュードを示している。

なお、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場合もあるため、対策の想定地震動の設定は、専門家からなる委員会で計算条件等を慎重に検討した上、費用対効果も考慮して設定する必要がある。

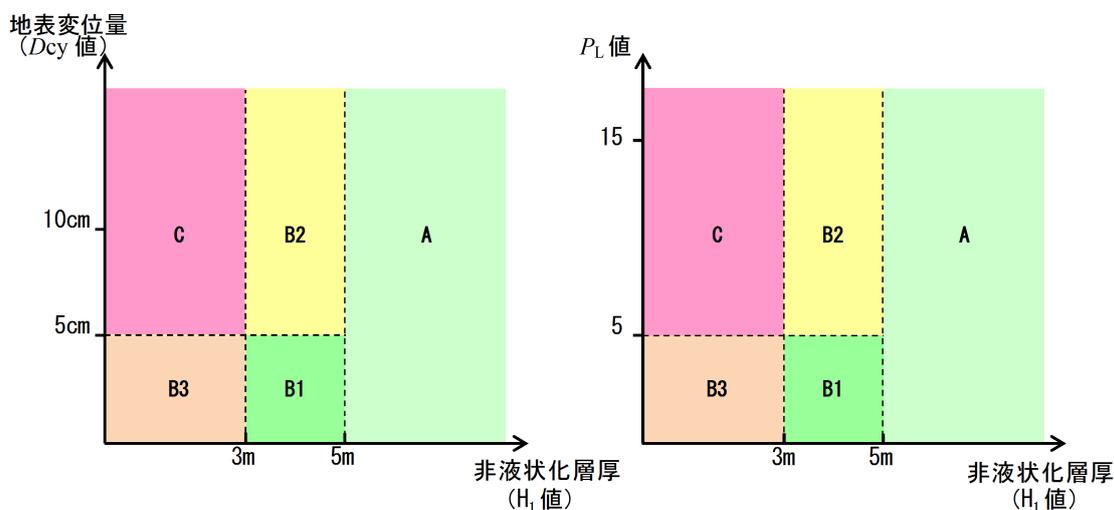
2. 液状化対策の目標値に対する基本的な考え方

液状化対策の目標値を設定するに当たっては、原則として宅地液状化被害判定指針における、マグニチュード7.5、200galの条件下で、「顕著な被害の可能性が低い（Aランク）」の範囲に相当する非液状化層厚 $H_1 \geq 5.0\text{m}$ を目標とする。また、公共施設・宅地一体型液状化対策の目標値に限り、図4-27に示すB1ランクの範囲をAランクと同等に「顕著な被害の可能性が低い」として扱うこととする。これは、対策工事を行った場合、自然地盤に比べて一様に非液状化層厚 H_1 が確実に確保されることが想定されるためである。

また、タイプ1を上回る地震動における液状化対策の目標値設定に当たっては、宅地液状化被害判定指針の判定図が東日本大震災の液状化被害を分析した結果設定されたしきい値であることから、そのしきい値はマグニチュード9.0、最大加速度 $a_{\max}=200(\text{gal})$ の地震動まで用いることができるため原則に従ったタイプ1の設定が可能である。

なお、タイプ1を上回る地震動で原則によらない目標値とする場合は、専門家からなる委員会等での検討を行うことが望ましい。

例えば、東日本大震災の被災地においてはタイプ2の地震動を想定としており、専門家の意見を聴いた結果、非液状化層厚 $H_1 \geq 3.0\text{m}$ を確保しつつ、表4-8のように建築基礎構造設計指針（2001年、日本建築学会）に定める地表変位量（ D_{cy} ）と液状化の程度を用い、液状化の程度を「小」となる地表変位量 $D_{cy} < 10\text{cm}$ を目標値としていることが多い。



(a) $H_1 \sim D_{cy}$ 判定図 (b) $H_1 \sim P_L$ 判定図
 図4-27 公共施設・宅地一体型液状化対策工法の判定基準

表 4-8 地表変位量（ D_{cy} ）と液状化の程度の関係⁶⁾

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

ただし、技術的実現性や経済性を考慮した場合、B1ランクの範囲であっても液状化対策の目標値を設定する場合が困難なことがあるため、特例として液状化被害を軽減するための目標値を図4-27に示すB2ランクの範囲に相当するものとするができる。このB2ランクの範囲は、宅地液状化被害判定指針における「顕著な被害の可能性が比較的低い」に相当するため、何らかの液状化被害が発生する可能性は否定できない。そのため、液状化対策の目標を設定するに当たっては、専門家の意見を聞くとともに、液状化対策効果の限界に対する地域住民の理解と合意が必要である。

なお、建築被害と液状化可能性の関係（液状化被害地区における実態調査）については、＜資料編4-8＞を参照とされたい。

3. 工法ごとの液状化対策効果の目標値の考え方

現在のところ、公共施設・宅地一体型液状化対策工法としては地下水位低下工法と格子状地中壁工法があるが、図4-27による液状化対策効果の目標値の設定については表4-9のとおりとする。各工法の概要については、「5-1 地下水位低下工法の考え方」及び「6-1 格子状地中壁工法の考え方」を参照されたい。

表4-9 公共施設・宅地一体型液状化対策工法における効果の目標値の設定

判定結果	H ₁ の範囲	D _{cy} の範囲	P ₁ 値の範囲	地下水位低下工法	格子状地中壁工法
C	3m 未満	5cm 以上	5 以上	不可	不可
B3		5cm 未満	5 未満	不可(※)	不可
B2	3m 以上	5cm 以上	5 以上	液状化被害軽減の 目標として可	不可
B1	5m 未満	5cm 未満	5 未満		
A	5m 以上	—	—	液状化被害抑制の目標として可	

(※) 原則不可であるが、専門家からなる委員会等で詳細、且つ、高度な検討を行った結果の判断についてはこの限りではない。

(1) 地下水位低下工法

地下水位低下工法では、Aランク及びB1ランクの範囲について液状化被害を抑制するための目標値とする。

また、液状化層が非常に厚い等の特殊な場合は、一様に非液状化層厚H₁が確実に確保され、めり込み沈下の液状化被害を軽減するための目標値をB2に設定を行うこともできる。

なお、現地状況等から目標値をB3とする場合には、専門家からなる委員会等で詳細、且つ、高度な検討を行うなど慎重に判断することが必要である。

(2) 格子状地中壁工法

格子状地中壁工法においても、Aランク及びB1ランクの範囲について液状化被害を抑制するための目標値とし、2次元地震応答解析等を用いてF₁値が1以上となる層厚を非液状化層厚として確保することとする。目標値の設定に当たっては、計算方法を明記し、地層の条件や設定定数については、各自自治体の専門家からなる委員会等で別途設定を行うことが望ましい。

また、格子状地中壁工法を実施した場合でも、地下水位の高さは対策前と同程度であったり地中壁の上端まで上がってきたりするので、地下水位が高い地域にあつては、めり込み沈下に対する影響についても十分に考慮する必要がある。

(参考)

タイプ1を上回る地震動を設定した場合、マグニチュード9.0、最大加速度 $\alpha_{\max}=200(\text{gal})$ の地震動まで図4-27のしきい値を用いることができる(図中の点線ラインは動かない)ものの、液状化に対する安全率 F_L の計算に当たってマグニチュードが変数となっているため、地盤条件によっては同一地点であっても液状化に対する安全率 F_L 値の計算値が変わり、それに従い非液状化層厚 H_1 や地表変位量 D_{cy} の計算値も変わること留意されたい。具体的には以下のような計算例となる。

地点 A の計算例：

M7.5 200gal の場合： $H_1=3.0\text{m}$ 、 $D_{cy}=4.5\text{cm}$

M9.0 200gal の場合： $H_1=2.0\text{m}$ 、 $D_{cy}=11.5\text{cm}$

想定地震動が大きくなれば、非液状化層厚 H_1 は小さく、地表変位量 D_{cy} は大きくなるため、目標値の範囲内に納めるためには対策の工事費が大きくなったり、場合によっては技術的に対策困難となったりする場合もあるため、地震動の設定に当たっては対策の費用対効果や技術的な実現性も十分考慮されたい。

4-5 新規ボーリング等地質調査の実施

新規ボーリング箇所計画にあたっては、再液状化の検討において地盤沈下量予測や液状化対策範囲選定の目安とするため、調査対象地区を200~500m程度のメッシュ状に分割し、必要に応じてボーリング調査を追加・実施する。また、地震前後の地盤の状況を比較するために既往のボーリング位置と重複させた位置での実施も必要である。

新規ボーリング箇所の計画は、再液状化検討において地盤沈下量予測や液状化対策範囲選定の目安とするため、既往調査位置を勘案し必要に応じて新規のボーリング箇所を計画する。

液状化被害箇所を対象に、図4-28に示すようなメッシュ状に分割し、200~500m程度の割合で、新規ボーリング調査箇所を検討する。200~500m間隔で地盤状況を把握した後に、メッシュ間を詳細に追加調査することも必要である。この場合、地層構成の連続性が把握されている際には、費用対効果より安価な調査方法として静的貫入試験（三成分コーン貫入試験やスウェーデン式サウンディング試験等）で補足することも有効な調査法である。

なお、地震前後の地盤状況を比較するために既往のボーリング位置と重複させた位置での実施も必要である。

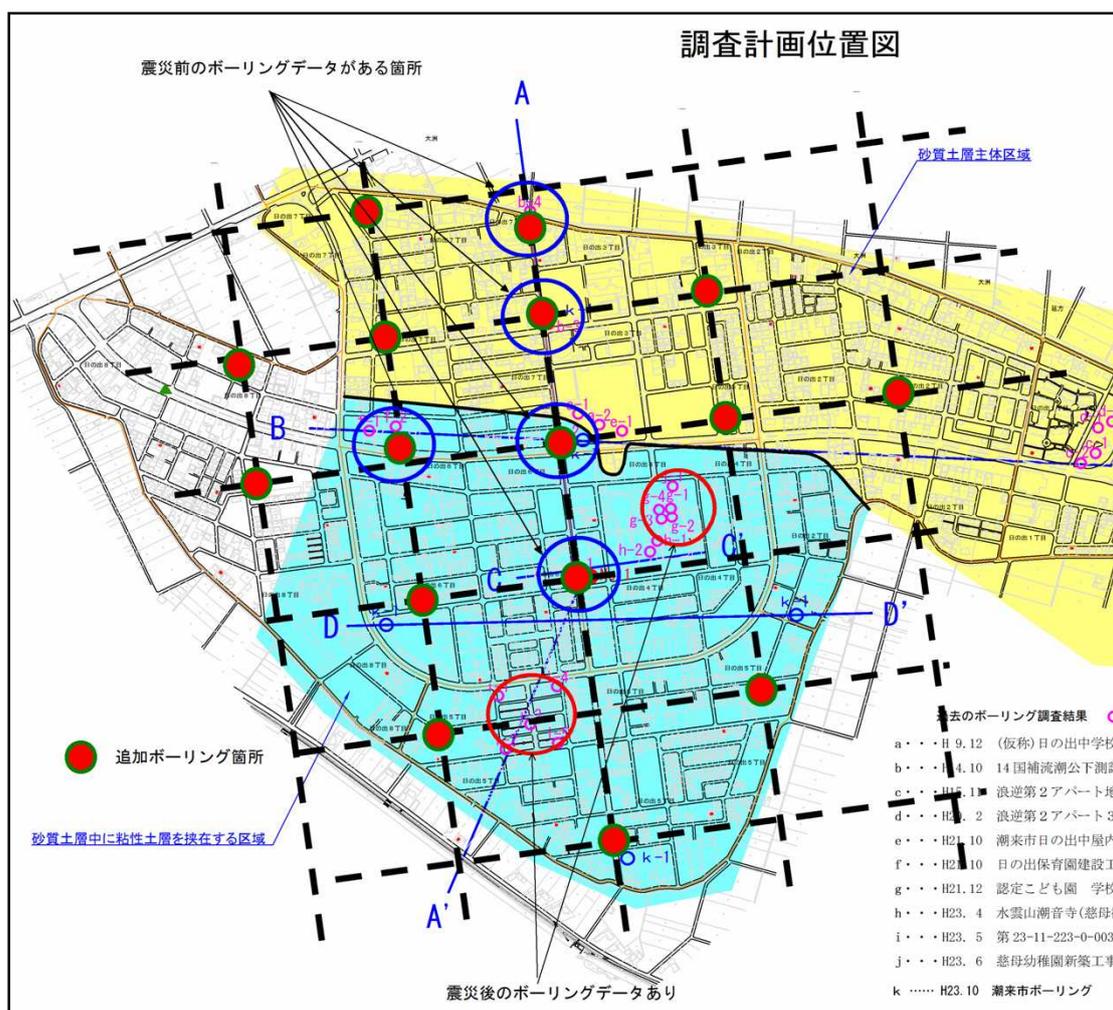


図 4-28 新規ボーリング箇所位置図

(1) ボーリングの調査深度及び各種試験の考え方

ボーリングの調査深度及び各種試験は以下の考え方で行うことが望ましい。

①ボーリング調査深度：

液状化に対する安全率 (F_L 値) を算出するため深度20mを基本とする。ただし、既往のボーリング調査結果等により液状化層の深度分布がある程度予測されている場合には、調査の費用対効果を考慮して一部の調査箇所を砂層の予測深度までとすることも考えられ、必ずしも全箇所を20mまで行う必要はない。

②室内土質試験（物理試験）：

深度ごとに物理試験を実施し液状化に対する安全率 (F_L 値) 算出の資料とする。

砂質土の場合の粒度試験は一般的に「ふるい分析」までとなるが、液状化判定においては細粒分含有率 (F_c) の内訳（シルト分、粘土分の含有率）も有効な液状化層の特性値となり得ることから「沈降分析」まで実施するのが望ましい。

また、細粒分含有率 (F_c) が $F_c=35\%$ 以上の場合は、「液性限界試験、塑性限界試験」を実施し塑性指数 (I_p) を算出する必要がある。

③室内土質試験（力学試験）：

液状化層以深に軟弱層（シルト）が分布した場合、地下水位低下工法や盛土を行う際に増加応力に伴う圧密沈下量が懸念されるため、不攪乱試料を採取し圧密試験を実施するのが望ましい。

④現場透水試験：

液状化対策案として第一に地下水位低下工法が挙げられる場合、砂質土層を対象に現場透水試験を実施して、平衡水位や地盤の透水係数を把握する必要がある。特に液状化対象層以深に軟弱層が分布する場合には、軟弱層下部の被圧地下水によっては圧密沈下量も軽減される可能性があるため、軟弱層下部においても実施するのが有効である。

(2) 調査数量

液状化対策案として地下水位低下工法が考えられる場合、地盤状況のタイプとしては、大まかに分類すると以下の2タイプが考えられる。

①タイプ1：液状化層以深に軟弱層が分布する場合

②タイプ2：砂質土層単一層となる場合

タイプ2では通常は圧密の検討は不要である。

この場合の調査数量は図4-29、図4-30に示した数量や試験項目を参考にするとよい。

また、液状化対策案として格子状改良等が想定される場合は、詳細な数値解析（二次元等価線形地震応答解析や三次元FEM解析等）を行う必要があるため、**図4-31**に示すように調査地区を代表する地点で**図4-32**や以下に示すような調査・試験項目が必要となる。

- ①ボーリング調査：耐震設計上の基盤層（ $N > 50$ ）を把握するまで掘削する必要がある。
- ①高密度地表面探査：地区全体の地層の連続性を面的に把握する。
- ②PS検層・密度検層：地盤のせん断波速度を直接測定する。（サスペンション式PS検層が有効）
- ③室内力学試験（動的試験）：分布する地層毎に不攪乱試料を採取し動的特性試験を実施する。
 - ・分布する地層の動的変形特性試験（粘性土・砂質土）
 - ・液状化対象層の液状化強度試験（砂質土）
 - ・液状化対象層の三軸圧縮試験

なお、詳細な数値解析を行う場合は、被災地の近傍の観測点K-NETやKiK-net等で観測された強震記録を用いることから、耐震設計上の工学的基盤面を把握する必要がある。耐震設計上の工学的基盤面はせん断波速度 $V_s \geq 300\text{m/s}$ となる層を確認することが望ましいが、便宜的に砂質土で N 値 ≥ 50 、粘性土で N 値 ≥ 25 となる層とすることも想定される。地盤のせん断波速度は**図4-33**、**図4-34**のような高密度表面波探査や、PS検層により直接測定して求めることが望ましいが、次式に示すように N 値から簡易に推定する方法⁸⁾もある。

①粘性土の場合： $V_s = 100 \cdot N^{1/3} \quad (1 \leq N \leq 25)$

②砂質土の場合： $V_s = 80 \cdot N^{1/3} \quad (1 \leq N \leq 50)$

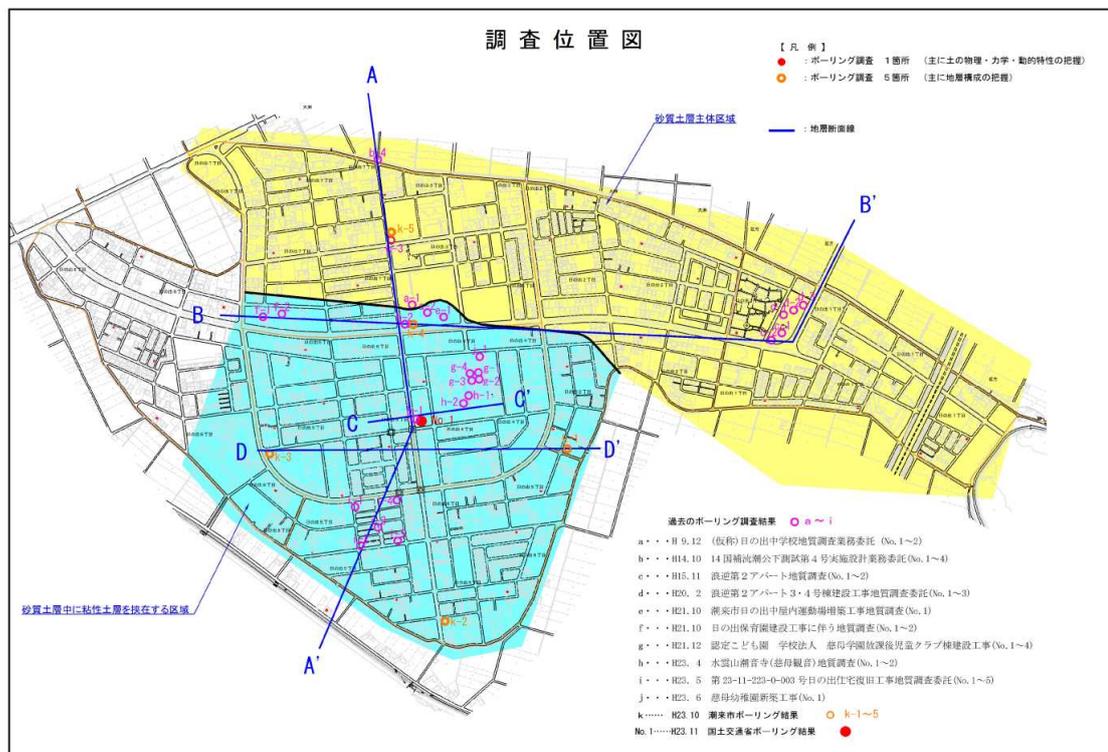


図 4-31 数値解析を用いる場合の調査計画図



図 4-33 表面波探査測線位置図例

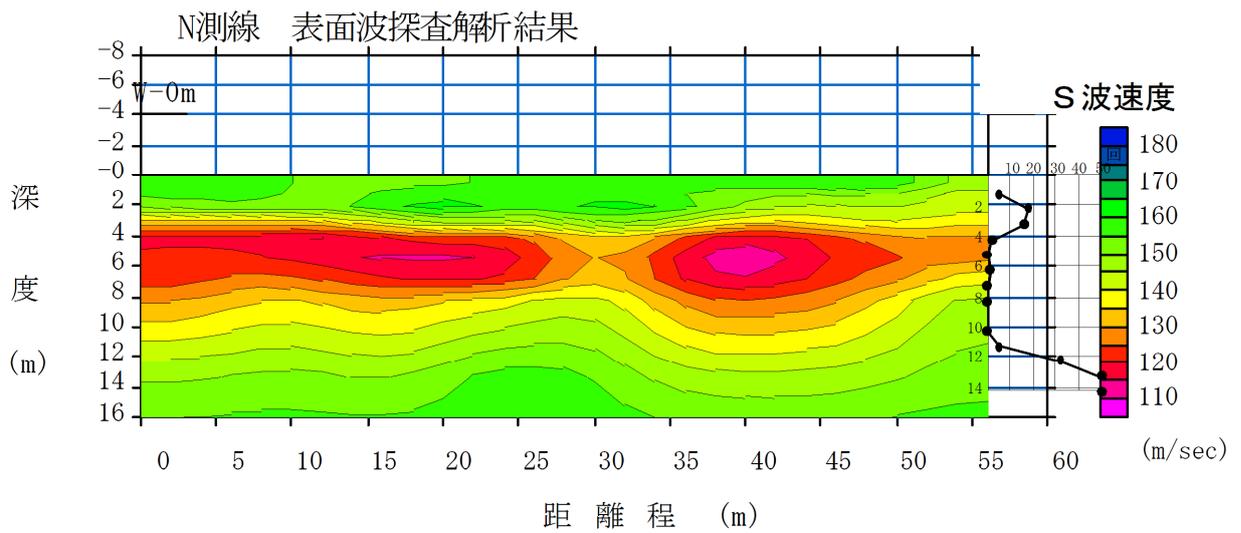


図 4-34 表面波探査結果図例

4-6 再液状化における被害可能性予測

「4-4 液状化対策の目標値」で想定した地震動等により「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針」の計算シートを用いて、再液状化による地盤沈下量を予測する。また、予測結果から再液状化層と再液状化予想範囲を特定し、震災後における液状化予測断面図、及び震災後における液状化に伴う P_L 値や D_{cy} のコンター図を作成する。再液状化診断結果について全体の考察を行い、その後の要対策区域設定の根拠とする。

1. 再液状化における地盤沈下量予測

再液状化における地盤沈下量予測は、以下の手順が想定される。

- ① 震災前と同様に液状化判定を行い再液状化範囲を明確にする。（表4-10及び図4-35参照）
- ② P_L 値（液状化指標値）及び D_{cy} 値（地盤変位量）を算出し地盤沈下量の予測を行う。

D_{cy} 算出は、「建築基礎構造設計指針（日本建築学会）」の「資料編4-3 液状化に伴う地盤物性と地盤変形量の予測」に準拠して行う。ここでは、 D_{cy} は本来水平方向のせん断ひずみによる水平変位差であり、それを沈下量に読み替えている。

表 4-10 液状化安全率 F_L を用いた再液状化可能性の予測

孔番	試験中心深度 (GL-m)	地層名	N値	Fc (%)	D ₅₀ (%)	液状化係数及び判定				沈下予測 種別	沈下量予測					
						M7.5 200gal	判定	M7.5 350gal	判定		M9.0 200gal	判定	M7.5 200gal	M7.5 350gal	M9.0 200gal	
No. 1	1.30	Fs	5.0	6.0	0.170	0.868	○	0.496	○	0.470	○	PL値	20m	1.5	4.0	4.2
	2.30		19.0	7.0	0.250	2.890	×	1.652	×	1.566	×		10m	1.3	4.8	5.1
	3.30		16.0	7.0	0.250	2.694	×	1.540	×	1.459	×		Dcy(cm)	3.3	4.6	4.6
k-1	1.30	Fs	10.0	13.6	0.235	3.417	×	1.953	×	1.851	×	PL値	20m	0.5	1.8	1.9
	2.30		14.0	10.0	0.239	2.854	×	1.651	×	1.546	×		10m	0.0	0.0	0.0
	3.30		30.0	10.2	0.176	2.652	×	1.516	×	1.437	×		Dcy(cm)	1.0	1.0	1.0
k-2	1.30	Bk	6.0	10.9	0.192							PL値	20m	3.4	7.4	7.7
	2.30		18.0	10.1	0.174	3.655	×	2.088	×	1.980	×		10m	1.6	3.1	3.2
	3.30		16.0	10.1	0.174	3.219	×	1.840	×	1.744	×			Dcy(cm)	3.0	4.5
	8.30	As2	4.0	17.4	0.147	0.645	○	0.368	○	0.349	○	Dcy(cm)	3.0	4.5	4.5	
	9.30		8.0	17.4	0.147	0.795	○	0.454	○	0.431	○					
	10.30		23.0	17.4	0.147	2.702	×	1.544	×	1.464	×					
	11.30		32.0	17.4	0.147	2.722	×	1.556	×	1.474	×					
12.30	33.0	17.4	0.147	2.748	×	1.570	×	1.488	×							
k-3	1.30	Fs	6.0	9.1	0.172	1.320	×	0.755	○	0.715	○	PL値	20m	0.8	3.3	3.7
	2.30		17.0	15.5	0.148	3.083	×	1.762	×	1.670	×		10m	0.0	3.8	4.5
	3.30		9.0	34.3	0.125	2.012	×	1.150	×	1.090	×		Dcy(cm)	2.0	4.1	4.1
k-4	1.30	Fs	14.0	11.9	0.264	3.832	×	2.189	×	2.075	×	PL値	20m	0.0	0.0	0.0
	2.30		24.0	24.5	0.137	3.115	×	1.780	×	1.687	×		10m	0.0	0.0	0.0
	3.30		12.0	30.4	0.117	2.853	×	1.630	×	1.546	×	Dcy(cm)	0.0	0.0	0.0	
	4.30		2.0	82.8	0.007											
k-5	1.35	Fs	1.0	17.0	0.218	0.915	○	0.523	○	0.496	○	PL値	20m	0.5	6.6	7.2
	2.30		22.0	13.2	0.151	3.451	×	1.972	×	1.869	×					
	3.30		8.0	13.9	0.152	1.177	×	0.672	○	0.637	○					
	4.30	As2	21.0	15.1	0.153	2.916	×	1.666	×	1.579	×	Dcy(cm)	1.6	4.9	4.4	
	5.30		27.0	15.1	0.153	2.821	×	1.612	×	1.528	×					
i-1	1.30	Fs	4.0	24.7	0.140	1.017	×	0.581	○	0.551	○	PL値	20m	5.7	22.8	24.1
	2.30		9.0	33.0	0.100	2.511	×	1.435	×	1.360	×					
	3.30		8.0	16.2	0.128	1.159	×	0.662	○	0.628	○					
	4.30		8.0	9.8	0.138	0.833	○	0.476	○	0.451	○					
	10.30	As2	7.0	38.0	0.095	0.768	○	0.439	○	0.416	○	Dcy(cm)	4.0	9.1	9.1	
	11.30		8.0	46.1	0.083	0.890	○	0.503	○	0.477	○					
	12.30		4.0	48.9	0.077	0.681	○	0.389	○	0.369	○					
	13.30		4.0	46.8	0.081	0.681	○	0.389	○	0.369	○					
	14.30		4.0	52.1	0.062											
	15.30		8.0	35.9	0.111	0.803	○	0.459	○	0.435	○					
i-2	1.30	Fs	13.0	9.2	0.188	3.218	×	1.839	×	1.743	×	PL値	20m	1.7	6.0	6.7
	2.30		8.0	12.6	0.169	1.490	×	0.851	○	0.807	○					
	3.30		8.0	7.4	0.191	0.796	○	0.455	○	0.431	○					
	4.30		15.0	12.2	0.160	2.498	×	1.427	×	1.353	×					
	9.30	As2	14.0	30.4	0.127	1.919	×	1.097	×	1.040	×	Dcy(cm)	1.0	2.0	1.5	
	10.30		19.0	23.9	0.128	2.442	×	1.395	×	1.323	×					
	11.30		24.0	21.5	0.147	2.482	×	1.418	×	1.344	×					
	12.30		30.0	18.2	0.135	2.523	×	1.442	×	1.367	×					
	13.30		38.0	14.1	0.134	2.567	×	1.467	×	1.391	×					
	14.30		30.0	15.2	0.137	2.614	×	1.494	×	1.416	×					
	15.30		19.0	13.4	0.140	1.672	×	0.956	○	0.906	○					

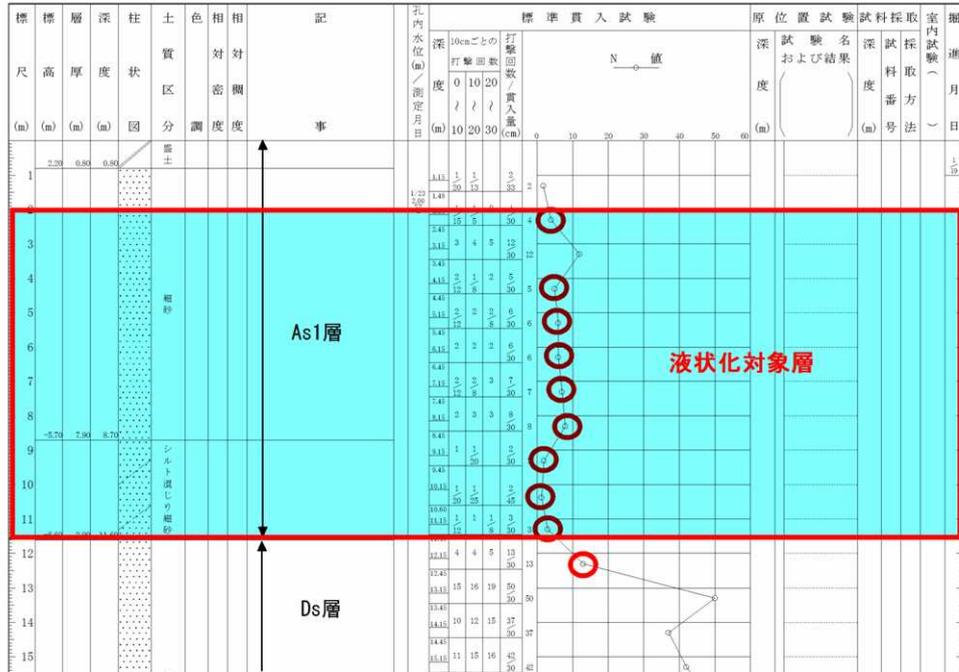


図 4-35 液状化対象層の特定

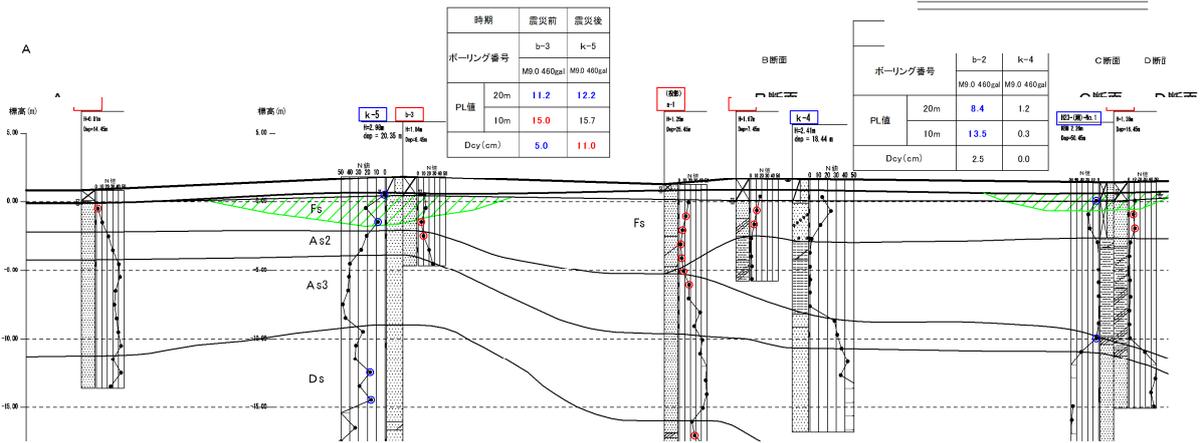


図 4-36 再液状化予測断面図例-1 (IH 地区)

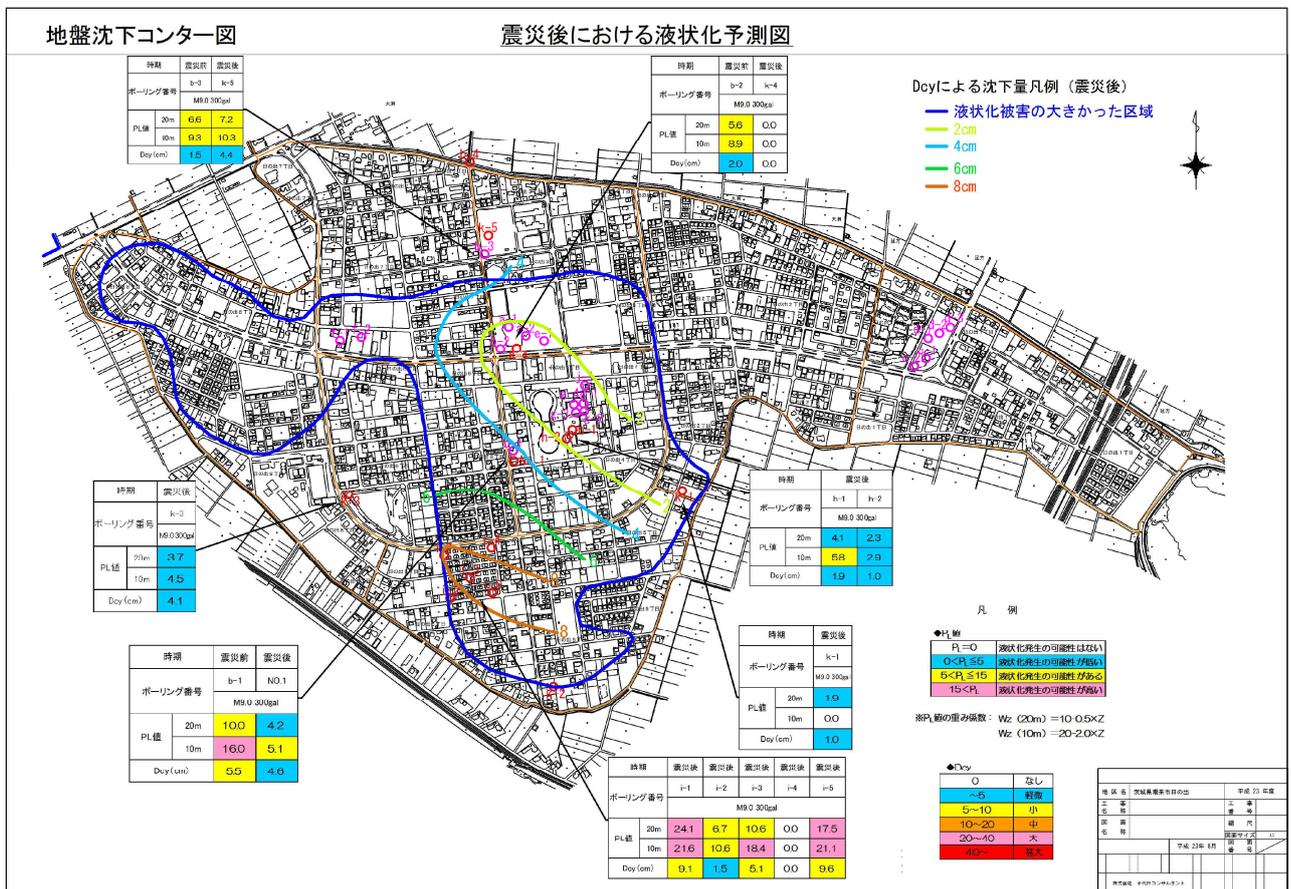
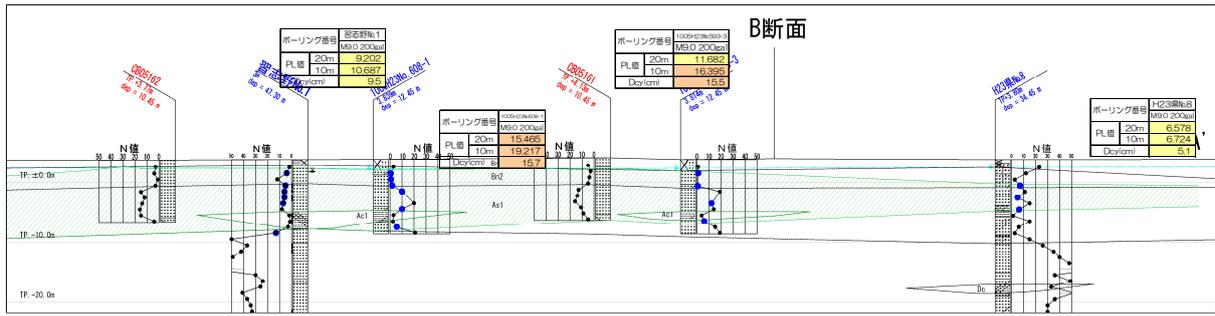


図 4-37 再液状化判定による地盤沈下量 (Dcy) コンター図例-1 (IH 地区)



震災後における液状化予測分布図 A断面 (M9.0 200gal)
縮尺 縦1:500, 横1:1,000

◆P _v 値	◆Dcy
P _v =0 液状化発生の可能性はない	0 なし
0<P _v ≤5 液状化発生の可能性が低い	~5 軽微
5<P _v ≤15 液状化発生の可能性がある	10~20 中
15<P _v 液状化発生の可能性が高い	20~40 大
	40~ 特大

※P_v値の算定係数: Wz (20m) = 10-0.5×Z
Wz (10m) = 20-2.0×Z

赤字のボーリングは震災前施工
青字のボーリングは震災後施工
N値の●印はFL<1.0
●は震災前の液状化予測
●は震災後の液状化予測

図 4-38 再液状化予測断面図例-2 (NK 地区)

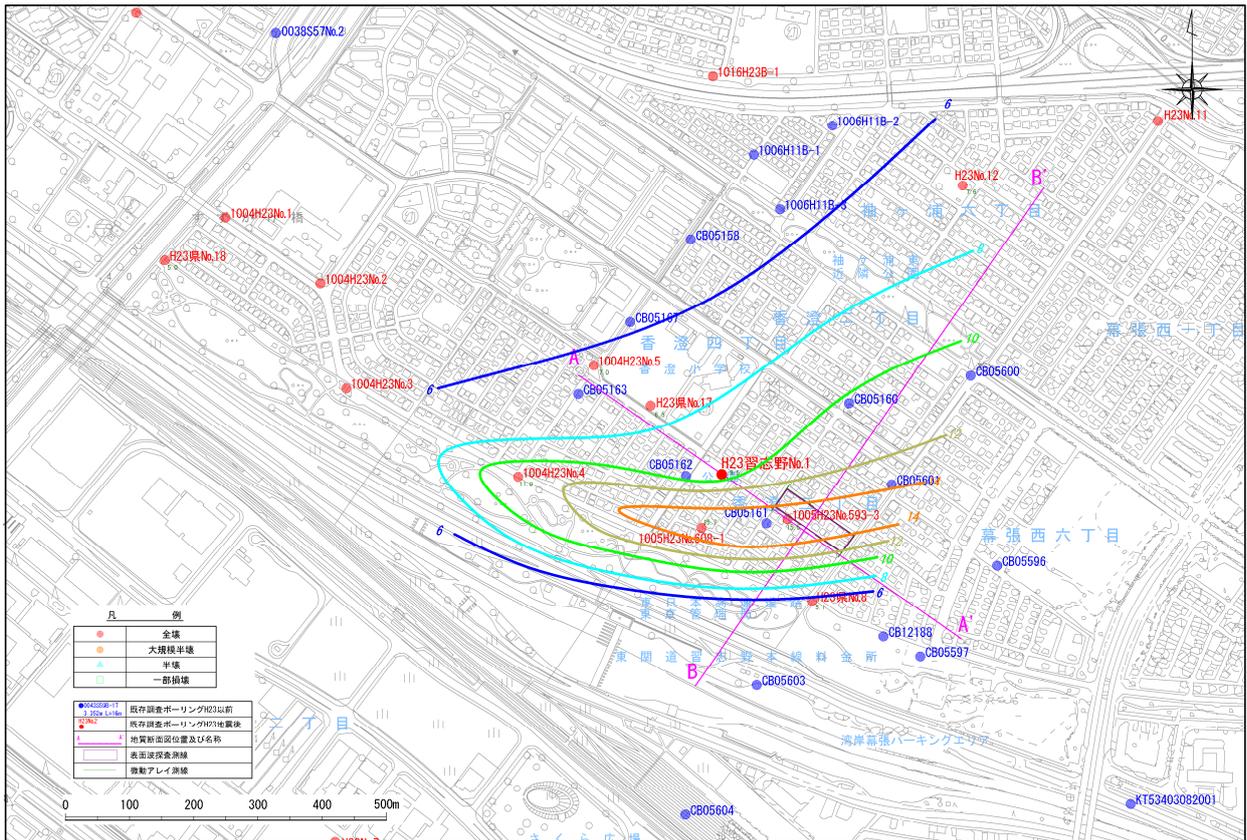


図 4-39 再液状化判定による地盤沈下量 (Dcy) コンター図例-2 (NK 地区)

<参考文献>

- 1) 国土交通省関東地方整備局, 公益社団法人 地盤工学会: 東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明報告書 別冊資料(調査票No.118) pp.5, 2011.8
http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000043554.pdf
- 2) 国土交通省都市局: 宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針・同解説(案),
<http://www.mlit.go.jp/common/000993757.pdf>. (2014年1月7日閲覧)
- 3) 国土交通省・国土技術政策総合研究所: 宅地の液状化被害可能性判定計算シート,
<http://www.nilim.go.jp/lab/jbg/takuti/downloads.html> (2014年1月15日閲覧)
- 4) 田口雄一, 東畑郁生, 青山翔吾: 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, 第47回地盤工学研究発表会(八戸), pp.1603-1604, 2012.7.
- 5) UR都市機構: 宅地耐震設計マニュアル(案)、2008.4.
- 6) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 2001. 10
- 7) Ishihara, K. and Yoshimine, M.: Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes, Soils and Foundations, Vol. 32, No.1, pp.173-188, 1992.
- 8) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, 2012.3.
- 9) 田野井雄吾, 有田智一, 糸井川栄一, 梅本通孝, 太田尚孝: 公有地・民有地の一体的な液状化対策事業の実態と課題-東日本大震災液状化被災12自治体を対象として-, 日本都市計画学会都市計画論文集, Vol.50, No.3, 2015.10

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

地下水位低下工法は、地下水が抜けた浅層部の非液状化層の厚さを増大させるとともに、地下水位以深についても有効上載圧が増すことで液状化しにくくなる効果を有し、地盤条件によっては効果の高い液状化対策となる。また、地下水位の低下は、官民境界を越えて道路・宅地の区別なく及ぶことから、公共施設と宅地の一体的な液状化対策の枠組みになじみやすい工法である。

この工法には深層にある粘土層の圧密沈下による建物やライフラインの不具合を招くおそれがあるので、事前に圧密沈下量が少ない地盤であることを確認しておく必要がある。また、施工後に観測を行い事業効果の確認を行う必要がある。

地下水位低下工法には、大別して、①排水管方式と、②井戸方式の工法があり、地下水位低下に伴う圧密沈下に及ぼす影響に配慮して、施工性、維持管理コストについて十分に調査・検討して工法を採用する必要がある。

1. 地下水位低下工法の特徴

地下水位低下工法は、住宅地や道路部分の地下水位の高さを強制的に低下させて液状化による被害を軽減させたり、地表面下の数メートルを非液状化層とすることにより、液状化が発生する可能性を軽減し、液状化の被害を抑制する工法である。液状化は、地下水に浸かっている砂が、地震の振動で高まった水圧に耐えきれずに破壊されて発生する現象である。このため、地下水が抜けた層では、水がないために液状化の発生が抑制されるとともに、その下の層も従前の浮力相当分の重さが砂粒子を抑えつける力として加わるため、液状化し難くなる。また、工事は基本的に道路などの公共施設の区域内で行うことが可能であるため、宅地内の工事が無くても実施することが可能である。このため「公共施設・宅地一体型」事業の枠組みになじみやすい工法である。

本工法による改良効果は、図5-1に示される。

① 表層部非液状化層厚の増加

地下水位を低下させることにより、表層が不飽和層となり、表層部の非液状化層厚が増加するため、下部の層が液状化しても地表での被害が軽減される。

② 液状化対象層の有効上載圧の増加

地下水位を低下させることにより、液状化対象層の有効上載圧が増加し、地盤内での発生せん断応力比が小さくなるため、液状化の発生する可能性が少なくなる。

このように、本工法は低下した地下水面より浅い地盤のみならず、地下水面以深の地盤の液状化をしにくくする効果がある。

一方、このようなメリットがある反面、この工法には、有効上載圧の増加によって深層にある粘土層の圧密沈下を引き起こすことがあり、圧密沈下量が大きい場合には建物やライフラインの不具合を招くおそれがあるというデメリットがある。

図5-1は、地下水位低下による圧密沈下対象層の有効上載圧の増加量（増加量は平行移動）を示したものであり、地下水位の低下によって間隙水圧が深さ方向に一律に低下すると仮定した(b)では、この増加量によって粘土層の圧密沈下が大きく発生する。しかし、東北地方太平洋沖地震後に各地区で実施された市街地液状化対策事業による実証実験¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾では、間隙水圧を考慮しない(b)の仮定で推定した圧密沈下量より小さい沈下量を示している。その理由としては(c)に示すように、圧密沈下対象層下部に砂礫層や砂層がある場合、地下水が流れており被圧もしているため、圧密沈下対象層下部の間隙水圧が変化し難く、水圧は深さ方向に一律に下がらないので、有効上載圧の増加量も多くないことから小さい沈下量になるものと考えられる。

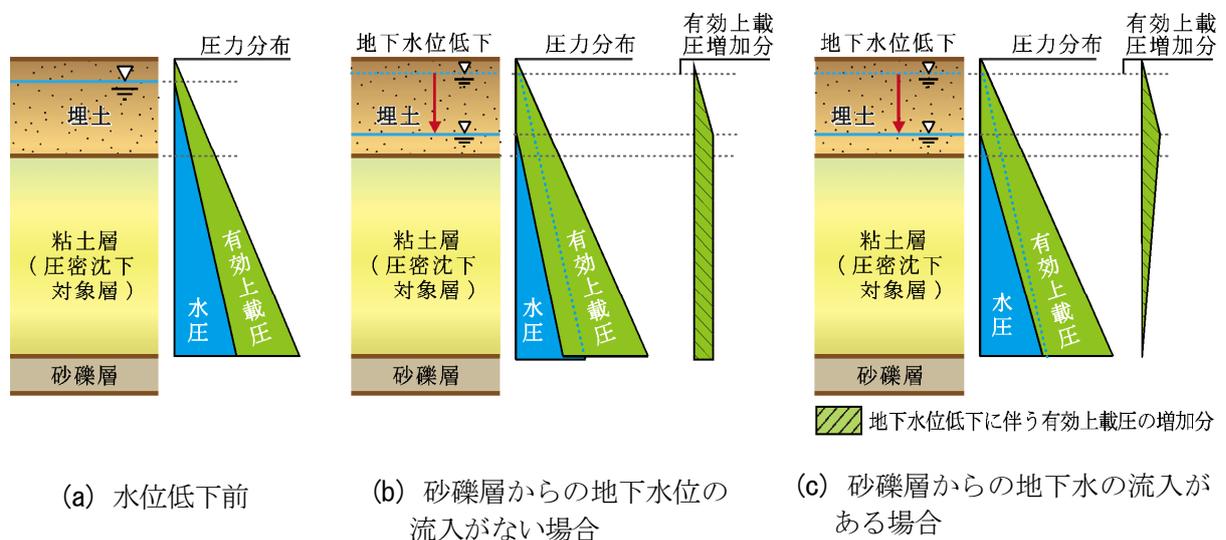


図 5-1 地下水位低下による有効上載圧の増加概念図

地下水位低下工法を工法別に区分した場合は以下の工法に代表される。

- ①排水管方式 → 開削工法「自然流下およびポンプアップ (流末)」（※以降、開削工法と呼ぶ）
→ 推進工法「自然流下およびポンプアップ (流末)」（※以降、推進工法と呼ぶ）
- ②井戸方式 → 井戸「ポンプアップ」
→ 井戸による不飽和化「ポンプアップ」

2. 地下水位低下工法の流れ

地下水位低下工法の検討においては、**図5-2**のように液状化対象層の透水試験や揚水試験を実施し、適用可能な地盤条件に対して、**<資料編 5-3 液状化被害軽減策の考え方>**を参考に工法タイプの選定を行う。

地下水位低下工法の設計にあたっては、液状化判定をもとに適切なる地下水位低下量を決定する。ただし、下部に軟弱粘土層がある場合には地下水位低下に伴う地盤沈下量も推定し、水位低下によって有害な沈下が生じないことを確認しておく必要がある。

地下水位低下工法の事業効果の確認方法は、地下水位が想定通り低下しているか、それに伴う地盤沈下等が生じていないか、地下水位が予定よりも下がらない場合の対処方針や地下水位低下工法の留意事項を参考にして、事業の効果について確認する必要がある。

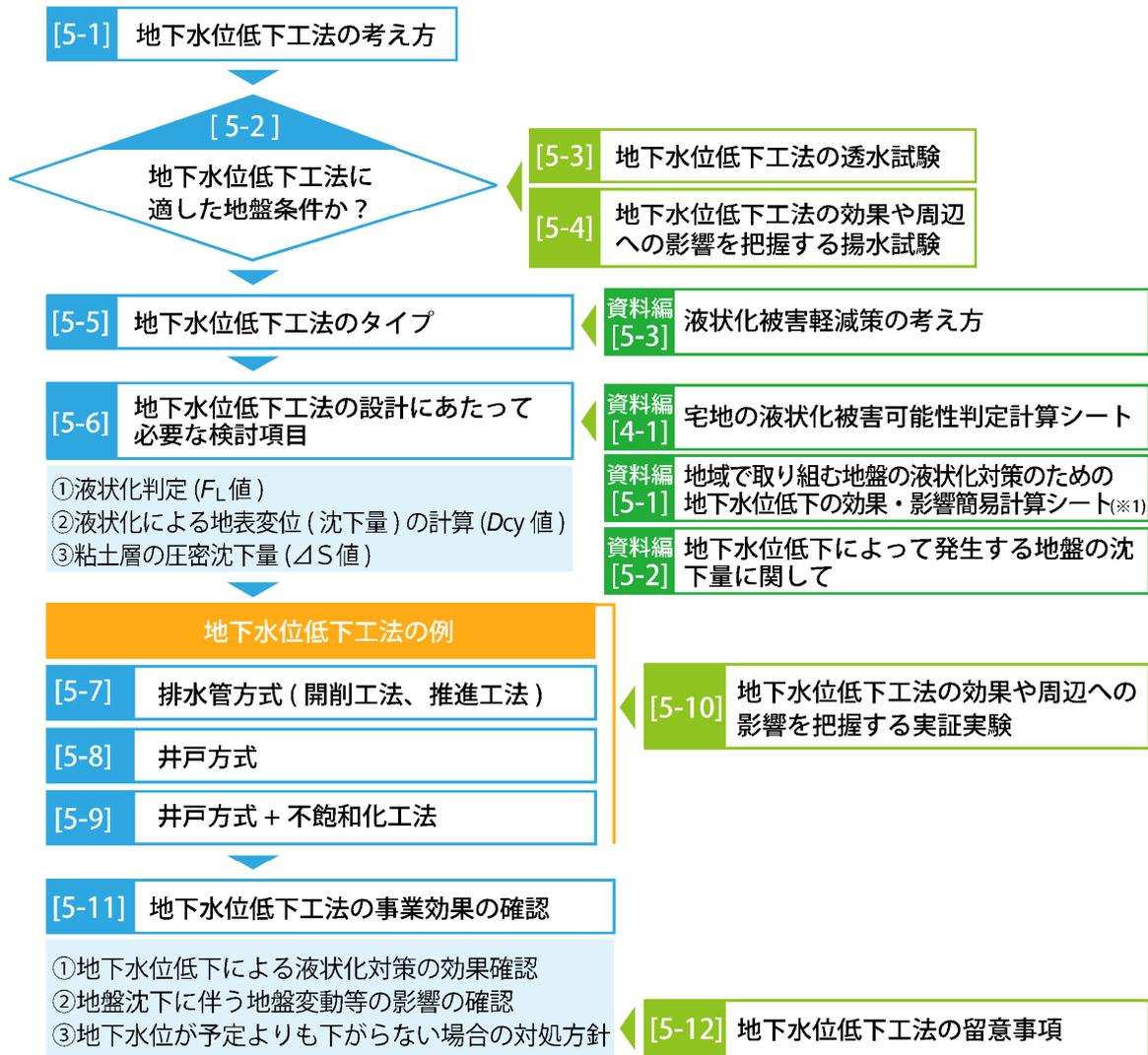


図5-2 地下水位低下工法の全体フロー

(※1)本シートでの圧密沈下量は「5-6 地下水低下工法の設計にあたって必要な検討項目」で後述するように地下水位低下によって間隙水圧が深さ方向に一定値減少すると仮定しており、実際より大きな沈下量を示す場合もあることに留意する必要がある。

また、地下水位低下工法の設計・施工にあたっては、この他に以下の項目の検討をしておく必要がある。これらは東日本大震災の後の復興でいくつかの都市で行われてきている「市街地液状化対策事業」によって、設計、施工方法が明らかになってきており、茨城県潮来市、神栖市、鹿嶋市、等の事例を参考にすると良い。

- ①排水管や井戸の設置間隔
- ②排水開始時の地下水位低下の時間変化
- ③排水量
- ④降雨と地下水位の関係
- ⑤施工時の周囲への影響

5-2 地下水位低下工法に適した地盤条件について

地下水位低下工法は、以下のような地盤条件に適した比較的安価な液状化対策工法である。

- ①液状化層（地下水位）が比較的浅いところにある地盤
- ②下層部に軟弱な粘性土層が厚く堆積していない地盤
- ③液状化対象層の透水係数が高い地盤

1. 液状化層（地下水位）が比較的浅い地盤

ボーリング調査を行い、液状化層が比較的浅い地盤であることをあらかじめ確かめておく。液状化層が深い場合の地下水位低下工法は、非液状化層の厚さを増し、地震時のめり込み沈下や建物の傾斜には有効ではあるが、下部の液状化層が残り大きな沈下を及ぼす恐れがある。特に砂利や砂鉄の採掘跡地において緩い砂で深く埋戻しがなされているなど適用が困難な場合もある。

2. 下層部に粘性土層が厚く堆積していない地盤

液状化層の下部に軟弱な粘性土層が厚く堆積していると、地下水位が低下した層の地盤の浮力が低下し、上載荷重が増加することで、地域一帯において圧密沈下が生じるおそれがある。ボーリング調査によって、下層部の粘性土層の厚さを確認し、不攪乱試料の圧密試験等により圧密沈下量の推定をする必要がある。ただし、以前に造成時点でサーチャージ工法やプレロード工法の圧密沈下対策工法が施工されていた場所や、工場等の建物が存在した場所で地下水の汲み上げによって既に荷重のかかった状態であった過圧密地盤等となっている場合には、地下水位の低下に伴う圧密沈下による影響が小さく、地下水位低下工法が有効な場合もある。

3. 液状化対象層の透水係数が高い地盤

地下水位低下工法を検討する場合には、表5-1～3に示すように地下水位面を特定するためのボーリング調査や砂質地盤の透水試験により透水係数 $k \geq 1 \times 10^{-5}$ (m/s)であることを確認する必要がある。この値は、地下暗渠排水管の配置等の検討にも影響する。また、地下水位は経年変化をするため、簡易な観測井戸を設けることが望ましい。ボーリング孔を利用する場合は、途中で沖積粘性土層で地下水位面が上部砂層と下部砂層に分かれて異なる値を示すので注意しなければならない。一般的に、浅層と深層で地下水の流れが異なっていることがあり、液状化対策としての地下水位の低下は3～4mの深さまでなので、観測井戸の深さは地表面から3～4m程度の深さが想定される。

表 5-1 粒径と透水係数の関係例²⁾

	粘土	シルト	微細砂	細砂	中砂	粗砂	小砂利
粒径 (mm)	0 ~ 0.01	0.01 ~ 0.05	0.05 ~ 0.10	0.10 ~ 0.25	0.25 ~ 0.50	0.50 ~ 1.0	1.0 ~ 5.0
k_0 (m/s)	3.0×10^{-8}	4.5×10^{-6}	3.5×10^{-5}	1.5×10^{-4}	8.5×10^{-4}	3.5×10^{-3}	3.0×10^{-2}

表 5-2 土質と透水係数の関係例²⁾

k_0 (m/s)	1.0	10^{-2}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}
土壌の種類	きれいな砂利		きれいな砂、 きれいな砂利 まじりの砂	細砂、シルト、 砂とシルトの混合砂		難透水性土 粘土

表 5-3 土質と透水係数の関係例³⁾

透 水 度	透水係数の範囲 k (m/s)	土 質
高 い	10^{-3} 以上	レ キ
中 位	$10^{-3} \sim 10^{-5}$	粗砂、中砂、微砂
低 い	$10^{-5} \sim 10^{-7}$	極微砂、シルト質砂、ゆるいシルト
きわめて低い	$10^{-7} \sim 10^{-9}$	かたいシルト、粘土質シルト、粘土
不 透 水	10^{-9} 以下	完全な均一粘土

5-3 地下水位低下工法の透水試験について

地下水位低下工法は、以下のような砂地盤の調査を行い、透水係数の算出を行う必要がある。

- ①現場透水試験方法
- ②粒度試験より透水係数を算出する方法
- ③不攪乱試料を採取して室内透水試験を行う方法

1. 現場透水試験方法

現場透水試験は、地盤の自立性や地下水の状況により、図5-3のように、試験孔の測定用パイプの有無や透水試験部分の形状などによって試験方法や透水係数の算出方法も異なる。図5-2(b)のピエゾメーター法（別名ケーシング法）が一般的に実施される。

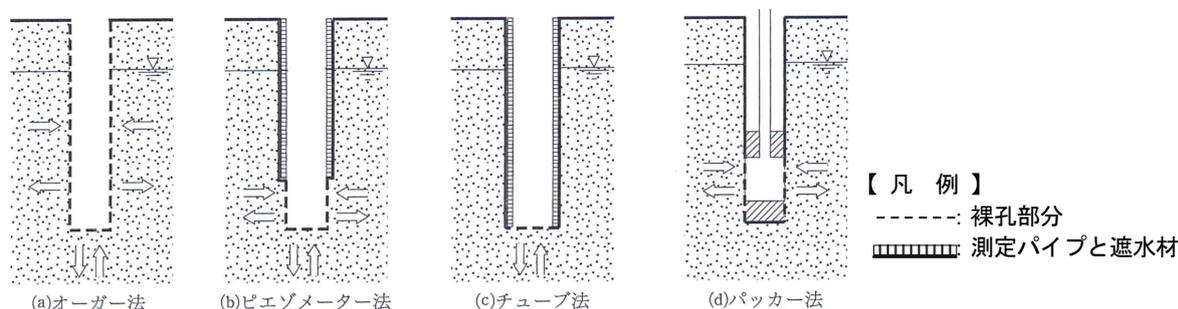


図 5-3 試験孔仕様による試験法の分類⁴⁾

測定は以下の手順で行う。

- ①試験区間上部まで掘削及び遮水し、測定パイプを挿入する。
- ②測定パイプの先端から必要な試験区間を掘削し、清水を用いて十分洗浄する。
- ③測定パイプ内の水位を、ベラーを用いて汲み上げ、測定パイプ内の水位上昇を水位測定器で経時的に測定する。（回復法）

透水係数は図 5-4 のようにプロットした後、次式により算出する。

- ① 不圧帯水層

$$k = \frac{0.66d^2 \log(2L/D)}{L} m$$

d ：測定用パイプの内径 (cm)

D ：試験区間(孔)の直径 (cm)

L ：試験区間の長さ (cm)

t ：経過時間 (s)

m ：log s - t 曲線の直線部の勾配 (s^{-1})

- ② 被圧帯水層

$$k = \frac{0.66d^2 \log(4L/D)}{L} m$$

$$m = \frac{\log(s_1/s_2)}{t_2 - t_1}$$

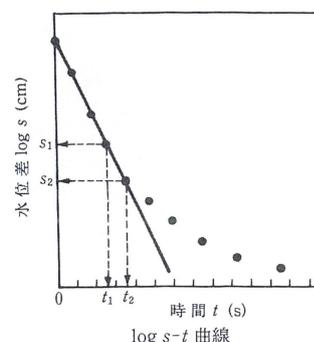


図 5-4 透水係数の算出方法⁵⁾

2. 粒度試験より透水係数を算出する方法

粒度試験より透水係数を求める推定式は、表5-4に示すように土の有効径より透水係数を簡単に求める方法がいくつかある。そのうちCreager（クレーガー）の関係式がよく用いられる。

表 5-4 透水係数を求める推定式⁶⁾

関係式名	推定式 (m/s)	適用条件
Hazen の関係	$k = D_{10}^2$ $D_{10} : (\text{cm})$	①均等係数 $U_c < 5$ の砂 ②普通に締まった砂
Creager の関係	$k = 0.00036 D_{20}^{2.37}$ $D_{20} : (\text{mm})$	① $D_{20} > 0.03 \text{mm}$ ②砂分含有率 70%以上
Hough の関係	$k = 0.065 D_{20}^{0.5}$ $D_{20} : (\text{cm})$	① $D_{20} > 0.3 \text{cm}$ ②砂礫

3. 不攪乱試料を採取して室内透水試験を行う方法

締め固めた試料および不攪乱試料を用いた室内透水試験により、ダルシーの法則に基づき飽和状態における透水係数を求めることができる。現場透水試験は水平方向の透水性を計測しているが、下層からの地下水の流入を検討する場合には鉛直方向での透水係数となることから、図5-5を用いて水平方向と鉛直方向の両方について透水係数を試験しておく必要がある。

試験は、定水位透水試験と変水位透水試験に区分される。前者は透水性の高い土($k=10^{-5} \sim 10^{-3} \text{m/s}$)に、後者は透水性の低い土($k=10^{-9} \sim 10^{-4} \text{m/s}$)に適用される。

試験方法は JIS A 1218 に規定されている。

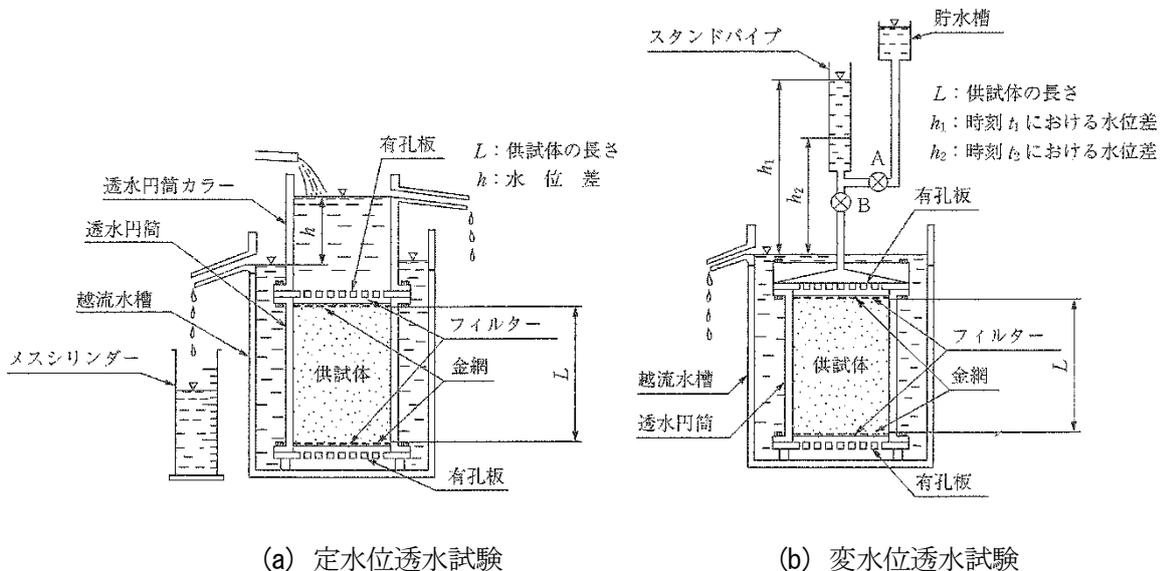


図 5-5 不攪乱試料を用いた室内透水試験

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

揚水試験は、地下水位低下工法を液状化対策とする場合に課題となる、以下の点を把握するために実施する。

- ①現位置での水位低下の可能性の確認及び水位低下影響圏の把握
- ②水位低下量を算定するために必要な透水係数 k 、貯留係数 S など水理定数の把握
- ③地下水位低下による周辺地盤の沈下影響の把握

1. 現位置での地下水位低下工法の可能性の確認及び水位低下影響圏の把握

地下水位低下工法を採用するためには、現地地下水位を低下出来るか否かを把握することが必要である。また、地下水位低下工法の効果の影響範囲を把握することが重要となる。現地に設置する揚水井と観測井で、段階揚水試験や連続揚水試験を実施し、揚水量と観測孔の水位低下量を確認することにより、揚水井の配置間隔など基本緒元に関する情報を得ることができる。

2. 水位低下量を算定するために必要な透水係数 k 、貯留係数 S などの水理定数の把握

透水係数は、ボーリング孔での透水試験でも求められるが、ピンポイントでの値となるのに対し、揚水試験での透水係数は層としての値であり、より現実に近い値となる。また、貯留係数は、地下水位低下の時間的変化を算定する場合に必要な値である。また、浸透流解析などの計算を実施する場合には、解析に必要な値を揚水試験の実施で得ることができる。

3. 地下水位低下工法による周辺地盤の沈下影響の把握

液状化対象層の下部に軟質なシルト層が分布する場合には、地下水位低下に伴う圧密沈下発生が大きさが課題となる。この沈下量は、室内の圧密試験結果等を用いて算定することとなるが、揚水試験時に地表の高さを計測し、実際に生じる沈下量を把握しておくことが望ましい。

4. 揚水試験実施手順

揚水試験は、①試験準備、②予備試験、③本試験、④連続揚水試験、⑤解析の各段階に分けて、 5-6の手順で行う。

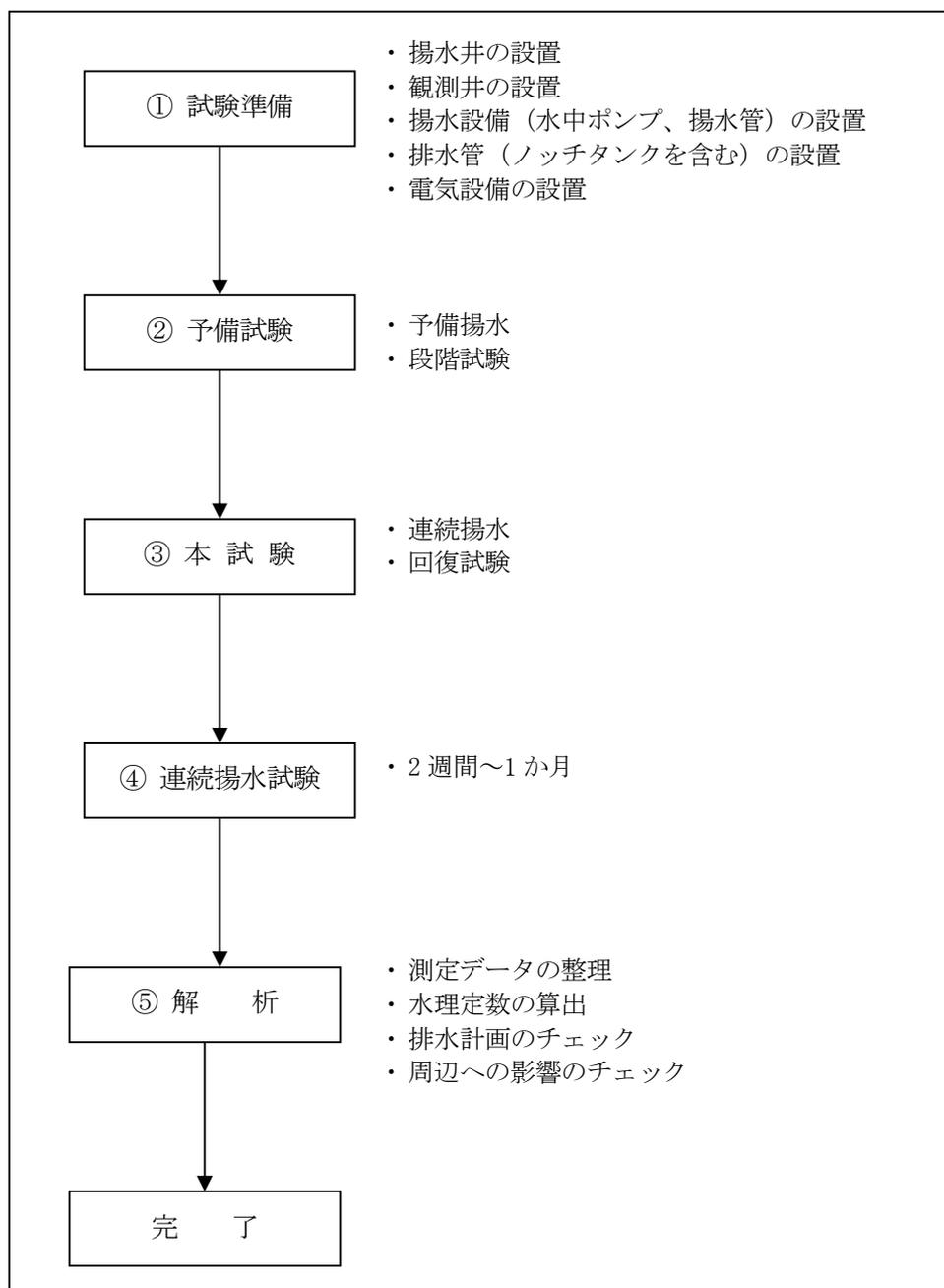


図 5-6 揚水試験フロー

5. 揚水井・観測井設置例

仮に液状化対象層厚が3.0m程度とした場合、液状化層厚や低下水位を考慮し、揚水井の掘削深度は概ね5m程度と想定される。また水位観測井の設置位置は、揚水井の影響圏半径を考慮し、揚水井戸を中心に3m、9m、及び27mの位置に十文字の配列とする。その深さは、液状化対象層の水位低下を確認するために約3.0mとする。

地下水位の観測は、季節変動があるので、渇水期だけでなく梅雨期まで長期的な変動を観察する必要がある。ボーリング孔を利用する場合は、途中で沖積粘性土層があると地下水位面が上部砂層と下部砂層に分かれて異なる値を示すので注意しなければならない。したがって、観測井戸の深さは、地表面から3~4m程度の液状化対策層とすることが想定される。また、液状化層の下部に沖積粘性土層がある場合は、地下水位低下に伴う圧密沈下が生じる。そこで、あらかじめ各地層に沈下計を設置してどの層がどれだけ沈下しているかを観測しておくことも想定される。

以下の諸元の揚水井及び水位観測井の配置図例を示すと図5-7のようになる。

- ①揚水井 掘進工：φ350mm×5m×1か所 計5m
- ②井戸仕上げ：φ200mm仕上げ（仕様ストレーナー2m、ケーシング3m SUS管）
- ③水位観測井 掘進工：φ116mm×3m×12か所 計36m
- ④観測井戸設置：3m×6か所(仕様 有孔管2m、無孔管1m)

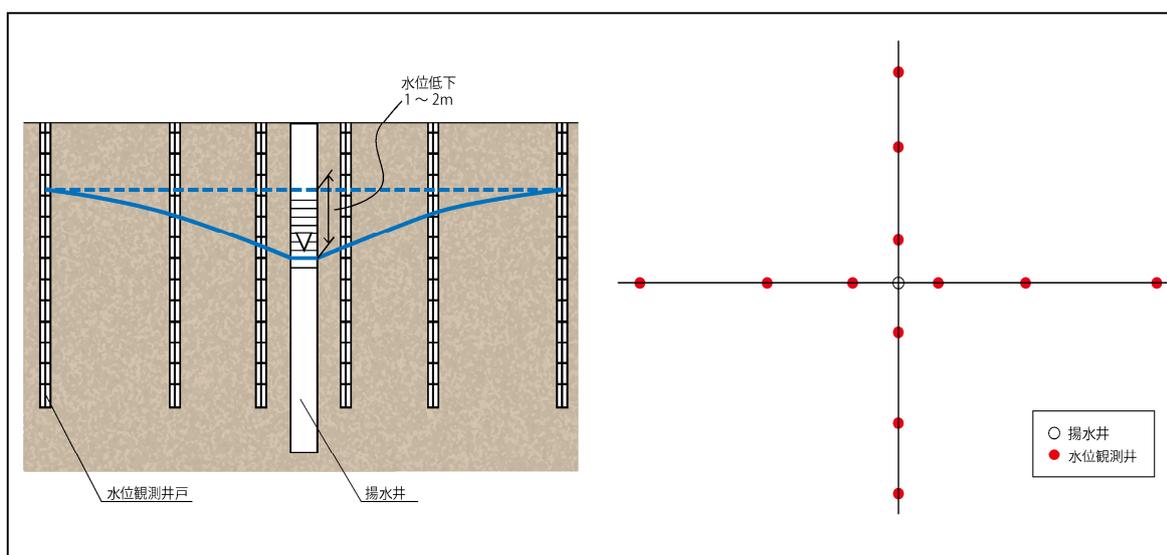


図 5-7 揚水井・観測井配置図

6. 予備試験（予備揚水・段階試験）

本試験に先立って予備試験を行い、本試験に使用する揚水量を決定する。予備試験は段階揚水試験法により、後述の一定試験を行う際の妥当な揚水量を推定するために行う。段階試験は揚水量をいくつかの段階に分け、一つの段階の揚水で水位が安定した後、揚水量を次の段階に上げて引き続き揚水を行う方法である。段階揚水試験の結果を参考に一定試験の揚水量を決定する。

各段階の測定時間は、水位安定が確認された時点で次の段階に移るものとする。測定間隔は、最初は短い間隔で測定し、水位変化速度が小さくなったら次第に広げる。揚水量は三角堰で計測し、揚水井と揚水井周辺に設置した観測井12か所で同時に水位測定を行う。

7. 本試験（連続試験・回復試験）

本試験は、段階試験の結果を参考に、2種類の揚水量で本試験を行うと、適正な影響半径の把握が可能となる。連続試験によって生じる水位効果と時間の関係を揚水井、観測井とも測定し、水位の観測方法は段階試験と同様に行う。連続試験終了後、直ちに回復試験を行う。回復試験は、水位上昇が少なくなるか、ほぼ安定した状態をもって終了とする。

5-5 地下水位低下工法のタイプについて

地下水位低下工法のタイプには、①排水管方式（開削工法、推進工法）と、②井戸方式の2つのタイプがある。さらには、流末の排水施設での処理により、自然流下排水方式とポンプアップ排水方式の2つがある。工法の選定にあたっては、それぞれの特徴と地域の状況を踏まえ、検討を行う必要がある。

①排水管方式は、一般に道路の路面下数メートルの位置に排水管を配置して、管路より上方の地下水を浸透により集めて排水させる方法で、維持管理コストが安く済む自然流下排水方式が可能かを検討する。ポンプアップ排水方式は地区単位で集めた水が行き着く流末にのみ必要な場合に設置する。ただし、水位低下量が現状路面から3m程度の範囲であれば築造しやすいが、大幅に低下させる場合は、その分、管路を深く設置する必要があり、工事費のコストが大きくなる。

②の井戸方式のメリットは、地下水位の低下幅を任意に設定することができ、比較的大きな低下幅も可能であり、この場合、複数のポンプの働きを調節して、地下水の水位や低下速度を調整することも比較的容易である。また、この方式は、局所的に採用可能なほか、当初地下水位を目標高（深度3.0m～5.0m）よりも余分に引き下げて間隙に空気のある一定期間取り入れた後、水位を目標値に戻すことによって残留空気による不飽和化を図り、地下水位以深の液状化強度を増加させる工法をあわせて講じることができるというメリットもある。

デメリットは、ポンプ稼働の電力や器具の維持管理コストが継続的に発生すること等であり、ポンプ機器の更新周期は10年～15年とされている。なお、地下水位低下工法を導入する際に、住宅の建替え時には地盤改良工事等を実施する考えることもあり得る。これにより、一定期間の経過後にはポンプを稼働させなくても個々の宅地で液状化対策が講じられたものとなる（参考：図2-2）。

上記の①排水管方式と、②井戸方式のいずれの工法を採用する際にも、施工性、維持管理コストについて十分に検討し、計画案の作成を行う。

さらに、住民に対してどの位の期間でどの程度の沈下が生じるかの説明を行い、住民側に維持管理を含めた費用負担を求める場合には、同意形成を図る際に十分な説明を要する。

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

地下水位低下工法の設計にあたっては、液状化判定をもとに適切な地下水位低下量を決定する。ただし、下部に軟弱粘土層がある場合には地下水位低下に伴う地盤沈下量も推定し、水位低下によって有害な沈下が生じないことを確認しておく必要がある。

1. 検討が必要な項目と簡易計算シートの利用方法

地下水位低下工法の設計にあたっては、まず、液状化の判定を行い、適切なる地下水位の低下量を決定する。さらに、下部に軟弱な粘土層がある場合には、水位低下によって軟弱粘土層が圧密し地盤沈下が生じて家屋やライフラインなどに害を及ぼすことも懸念されるため、地盤の沈下量も推定しておく必要がある。これらの値は国土交通省・国土技術政策総合研究所ホームページから「地域で取り組む地盤の液状化対策のための地下水位低下の効果・影響簡易計算シート」⁷⁾等により、その概略値を簡易に試算することができる。この計算シートは、地盤調査の結果と想定する地震規模をExcelに入力することで、地下水位低下の量（現状より何メートル低下させるか）に対応した液状化対策の概略の効果、及び副作用である下部粘土層の圧密沈下量を簡易に求めることを支援するツールである。簡易シートの作成手順は、図5-8に示すように、地盤定数等のパラメータを入力すると、①液状化簡易判定結果（ F_L 値の深度分布と P_L 値）、②建築基礎構造設計指針による液状化による沈下量計算（ D_{cy} 値）、③粘土層の圧密沈下量（ ΔS 値）が算出される。

ただし、この計算シートは、東日本大震災による液状化被災市街地における迅速な対応を支援するため、概ねの対策効果を簡易に把握するために作成したシートであり、対象地区の具体的な対策の検討にあたっては、地盤調査・土質試験を実施し、圧密解析などを行って、液状化の判定、被害軽減のために必要な水位低下量、水位低下による地盤沈下量とそれによる障害の有無を詳細に検討する必要がある。

液状化の判定方法に関しては「4-1 震災前地盤状況の再現及び液状化発生の確認」に、また、被害軽減のための地下水位低下量に関しては「4-3 液状化対策の目標値」に示してあるので参照されたい。

2. 粘土層の圧密による地盤沈下量の推定方法の留意点

粘土層の圧密沈下量の算出は地盤工学で確立されている圧密理論に従って行えば良いが、地下水位を3m程度の深さまで下げるだけの場合には「5-1 地下水位低下工法の考え方」に示したように水位の深度分布に関して特別な留意が必要である。過去に地下水を汲み上げた時や、埋立を行った時に大きく沈下したとかといった事例をもとに、ここで扱っている地下水位低下でも大きく沈下するのではないかと懸念されているが、これらにおける水圧分布の変化や有効応力の増加はメカニズムが異なる。これに関しては、図5-1を参照されたい。上述した簡易計算シートでは、図5-1に示した水圧の深度分布のうち図5-1(b)のように地下水位低下にともなって水位は深度方向に一定値で減少すると仮定してある。ところが、東日本大震災後に行われた実証試験では図5-1(c)のように深い所では水圧は減少しなかったため、有効上載圧の増加量が少なく地盤沈下量も簡易シートで計算した値より少なかった。このように、簡易シートで計算するよりは小さい地盤沈下量となることがあるので、地下水位

の深度分布の仮定には留意する必要がある。対象地盤で地下水位低下の現場実験を行えば、地盤沈下量や水圧の深度分布が直接求まるが、それが出来ない場合には東日本大震災後に行われた実証実験¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾での結果を参照すると良い。

3. 粘土層の圧密に伴う地盤沈下が建物に与える影響に関して

地下水位低下に伴う圧密沈下により、建物の不同沈下による傾斜が生じないようにする必要がある。

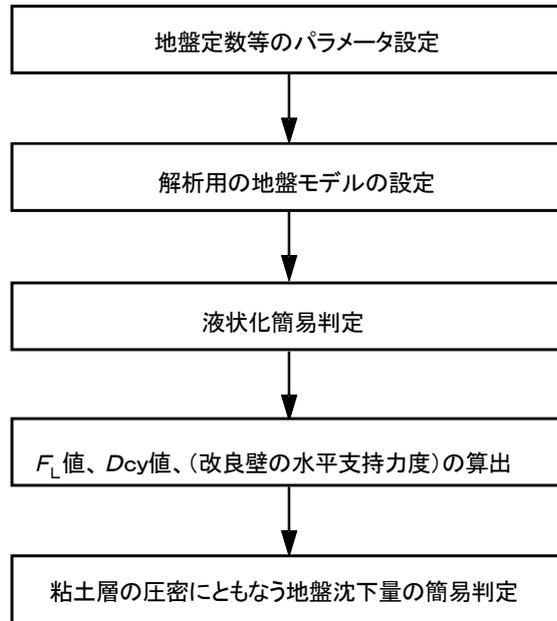


図 5-8 簡易シート作成フロー

日本建築学会の「建築基礎構造設計指針」⁸⁾及び「小規模建築物基礎設計指針」⁹⁾では、表 5-5 に示す通り、沈下の種類、基礎形式などに応じて、限度とする沈下量の値が示されているので、地盤の圧密沈下量がこれらを上回らないことをまず確認することが必要である。ただし、地下水位低下に伴う粘性土地盤の圧密沈下の影響は、敷地単位または公共施設用地と宅地にまたがるため、均等に圧密沈下が生じる場合においては、傾斜または高低差による機能障害等への影響は比較的小さいと想定される。

次に、地盤の沈下による構造物への影響や支障を検討する際には、複数の地点において推定した圧密沈下量 (ΔS) の平面分布より地表面の傾斜または高低差を推定し、表 5-6 を参照して、これらの傾斜量等による構造物への影響が生じないか、あるいは生じても軽微であることを確認する必要がある。この場合、例えば地質状況が比較的広域に均質な状態であることが期待される地域については、工法の選択にあたり確認したボーリングデータ等から傾斜量等を推定することが考えられるが、地質状況が複雑であったり、不連続が発生していることが想定される場合等にあっては、必要に応じてより精度の高いボーリングデータから傾斜量等を推定するなど、入念な調査が行われることが望ましい。

表 5-5 沈下量の限度値の参考値^{8), 9)}(cm)

沈下の種類	即時沈下		圧密沈下	
	布基礎	べた基礎	布基礎	べた基礎
標準値	2.5	3~ (4)	10	10~ (15)
最大値	4	6~ (8)	20	20~ (30)

標準地：不同沈下による亀裂がほとんど発生しない限度値

最大値：幾分か不同沈下亀裂が発生するが障害には至らない限度値

()：剛性の高いべた基礎の値

表 5-6 傾斜角と機能的障害程度の関係⁹⁾

傾斜角	障害程度	区分
3/1,000 以下	品確法技術的基準レベル-1 相当	1
4/1,000	不具合が見られる	2
5/1,000	不同沈下を意識する 水はけが悪くなる	
6/1,000	品確法技術的基準レベル-3 相当。 不同沈下を強く意識し申し立てが急増する。	3
7/1,000	建具が自然に動くのが顕著に見られる	
8/1,000	ほとんどの建物で建具が自然に動く	4
10/1,000	配水管の逆勾配	
17/1,000	生理的な限界値	5

なお、傾斜角と健康障害については、日本建築学会の住まいづくり支援建築会議の復旧・復興支援 WG「液状化被害の基礎知識」¹⁰⁾でこれまでに報告された学術研究を調査され、床の傾斜角と健康障害の対応が表 5-7 のようにまとめられている。ここでは、床の傾きだけではなく、柱や壁の傾き、窓や窓の外に見える景色の傾きなどの視覚的刺激からも生理的・精神的影響を判断するようになっている。これによると、6/1,000 を超えると不同沈下を意識し始め、8/1,000 を超えると傾斜に対して強く意識、1/100 程度では、めまいや頭痛が生じることになり、健康障害から判断した場合、傾斜角の限界値は、8~10/1,000 程度と考えられる。なお、この調査の中にも含まれている 2,000 年鳥取県西部地震における液状化被災住宅の調査では、沈下量や傾斜角と復旧の関係について、傾斜角が 10/1,000 程度以上になると生活に支障が現れて水平化復元工事をせざるを得なかった旨の報告もある¹¹⁾。

表 5-7 床の傾斜角と健康障害¹⁰⁾

傾斜角		健康障害	文献
度	分数 (ラジアン)		
0.29°	5/1,000 (=1/200)	傾斜を感じる。	藤井ほか(1998)
0.34°	6/1,000 (=1/167)	不同沈下を意識する	藤井ほか(1998)
0.46°	8/1,000 (=1/125)	傾斜に対して強い意識、苦情の多発。	藤井ほか(1998)
0.60° 程度	1/100 程度	めまいや頭痛が生じて水平復元工事を行わざる得ない	安田・橋本(2002) 安田(2004)
~1°	~1/60	頭重感、浮動感を訴える人がある。	北原・宇野(1965)
1.3°	1/44	牽引感、ふらふら感、浮動感などの自覚症状が見られる。	宇野・遠藤(1996)
1.7°	1/34	半数の人に牽引感。	宇野・遠藤(1996)
2° ~3°	1/30~1/20	めまい、頭痛、はきけ、食欲不振などの比較的重い症状。	北原・宇野(1965)
4° ~6°	1/15~1/10	強い牽引感、疲労感、睡眠障害が現れ、正常な環境でも、ものが傾いて見えることがある。	北原・宇野(1965)
7° ~9°	1/8~1/6	牽引感、めまい、はきけ、頭痛、疲労感が強くなり、半数以上で睡眠障害。	北原・宇野(1965)

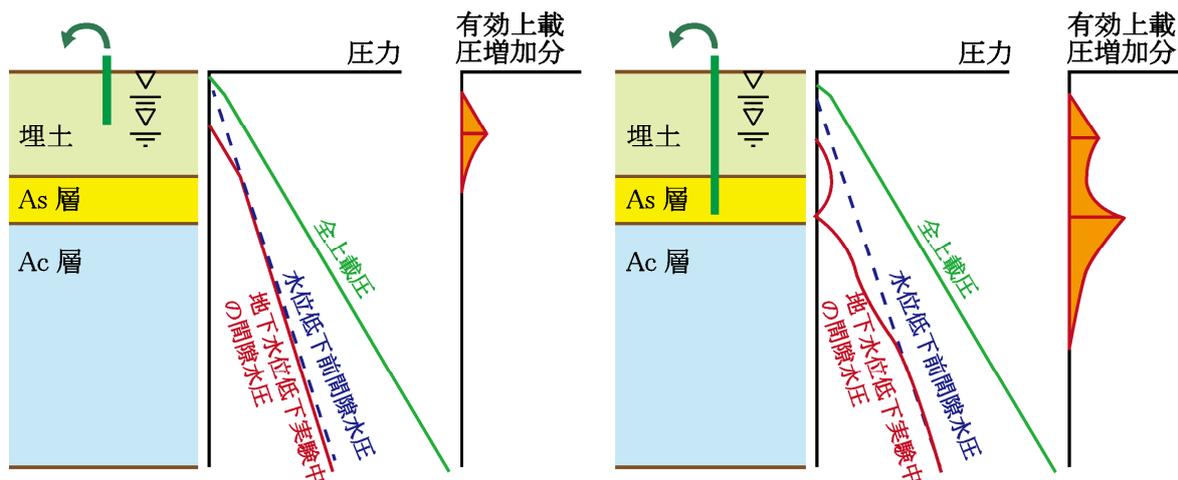
4. 地下水位低下の実証実験方法

市街地液状化対策事業において地下水位を低下することを検討するため、いくつかの地域で地下水位低下の実証実験が行われており、以下の2種類の 방법으로水位を低下させている。

<排水管方式>：深さ4m程度の溝を掘り、そこに有孔管を入れて地下水位を低下させる。

<井戸方式>：井戸を掘り、地下水を汲み上げて地下水位を低下させる。

これらのうち、排水管方式では液状化層だけを対象にしており、尼崎や柏崎で行われた工事と同じ方法になる。したがって実験結果そのものから地盤の沈下量や地下水の排水量が分かることになる。これに対し、井戸方式の場合には井戸の深さに留意する必要がある。液状化対象層より深くまで地下水を汲み上げると間隙水圧の分布が実工事と異なってくる可能性がある。図5-9に浅い所と深い所に井戸を設置した場合の水圧および有効上載圧の増加量の違いの模式図を示す。ここではAs層に地下水が流れている場合を想定している。図5-9(b)のように地下水位を下げる深さより深い位置に井戸を設置すると、有効上載圧の増加量が大きく、地下水位を同じ値だけ下げたといえども、地盤の沈下量を過大に見積もる可能性があるので注意が必要と考えられる。



(a) 浅い位置に井戸を設置して地下水位低下実験を行った場合

(b) 深い位置に井戸を設置して地下水位低下実験を行った場合

図 5-9 井戸による地下水位低下実験時における井戸の深度の影響 (As 層を地下水が流れている場合)

5. 地下水位低下工事の方法

排水管方式で3、4mの深さにパイプを設置する場合、下水道管理設工事と同様の方法で施工すれば良い。ただし、開削方法では掘削時や埋戻し時に近接した構造物に悪影響を与えないように留意する必要がある。集めた地下水はポンプで汲み上げるのが一般的であるが、自然流下で放水できれば維持費が安くなる。一方、井戸方式では道路を掘り返す必要がなく、小口径の浅い井戸を沢山設置して側溝に放流するといった方法だと施工は簡単になる。ただし、それぞれの井戸でポンプが必要となる。

なお、地下水位低下に伴う地盤の沈下に関して、上述したように、①地表面の絶対沈下量、②家屋の傾斜角、つまり地表面の不同沈下量に留意する必要がある。例えば地表面を水平に保ちながらある区域で圧密沈下させた場合には、家屋に被害を与えないので、①よりは②の不同沈下量で地盤の沈下が家屋に与える影響を評価する必要がある。この観点から、地盤の沈下が発生する場合でも、溝や井戸の配置を工夫することによって、圧密による地盤の沈下の家屋への影響を軽減することが出来るであろう。また、埋立地といえども周囲の海水面より地下水位の標高が高く、表層の地下水は雨水によって供給されるのが一般的であるため、地下水位低下のために必要な排水量は降雨量に関係すると考えられる。尼崎市築地地区における排水量の実績としては降雨量の約1/4程度であった。ただし、地域の地形、地盤の影響により排水量が定まるので、あらかじめ実施、実験によって確認しておく必要がある。必要な排水量は降雨量の約1/3程度とも考えられている。

ただし、ある区画を矢板で仕切って地下水位を下げる場合、矢板先端深さ付近の層から地下水が流入してこないことも検討する必要がある。不透水の粘土層が矢板先端付近にあれば問題ないが、砂質シルト層のように完全に不透水層でない場合には、鉛直方向の透水係数を試験して下部からの流入量を検討するといったことが必要である。

5-7 排水管方式による地下水位低下工法

道路内に暗渠管等を埋設する排水管方式による地下水位低下工法には、排水管の埋設手法により①開削工法と②推進工法の2つの工法があり、3m程度の非液状化層の確保に適した工法である。

いずれの工法も、道路の下に深さ3m程度の位置に排水管を敷設し、ネットワークにして末端に流下させるものである。流末では自然流下排水方式で河川へ放流できる場合とポンプアップ排水方式により地区外へ放流する場合がある。

なお、①開削工法の場合は開削における施工性より深さ3m程度を超えると対策が大がかりとなるが、②推進工法は深さ3m以深での設置も可能である。

1. 基本仕様

排水管方式による地下水位低下の主工法は表5-8に示すように、道路の下に深さ2～3m程度の位置に排水管を敷設し、ネットワークにして末端に流下させるものである。副工法としては、建替え時に1.0m程度の盛土を行うことなどが想定される。

表 5-8 公共施設と宅地部分における地下水位低下工法

	公共施設部分	宅地部分
主工法	道路の下に排水管を敷設	—
副工法	—	建替え時に若干の盛土
	低下後の下部地下水層の不飽和化	

2. 地盤条件

地盤条件は、下記の条件を満足することを確認する。

- ①透水係数 $k \geq 1 \times 10^{-5}$ (m/s) 程度の透水性が高い地盤であること
- ②水が速やかに流れる砂層・細砂層の均一な地盤で粘性土地盤でないこと
- ③細粒分の含有が少なく、透水管の目詰まりを起こしにくいこと
- ④下部に軟弱な粘土層がある場合でも圧密沈下量が大きくないこと

3. 組合せ工法

浅層部の非液状化層を厚くするため、1m程度の盛土を組み合わせる方法が考えられる。この場合、宅地部分については、住宅の建替え時に順次盛土を施していくことにより、20～30年程度かけて地区全体の防災性の向上を図る方法も考えられる。

4. 主な得失

一般的に、流末が自然流下排水方式の場合はポンプを使わないため、維持管理費が小さく、ランニングコストがほとんどかからない。逆に、流末がポンプアップ方式の場合は、ポンプの点検・補修が必要となるためランニングコストが発生する。施工は基本的には道路部分のみとなるため、宅地所有者の負担が比較的小さくなることが想定される。ただし、宅地の盛土により浅層部の非液状化層厚を

増す対策を行う場合には、原則として個々の宅地所有者による対応となるとともに、下部粘土層の圧密沈下について、あらかじめ予測し住民の理解と協力を得ることが必要である。

5. 開削工法における実施例

1995年兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）の際に尼崎市築地地区は液状化によって甚大な被害を受けた。その復旧にあたって、地下水位低下と盛土によって液状化の対策が施された<資料編5-6>。地下水位低下工法としては図5-11(a)に示すように開削して透水管を設置し、流末でポンプアップする方法がとられた。これが宅地において地区全体の地下水位を低下することが行われた初めての例である。

2番目は柏崎市山本団地の例である。この団地は2007年新潟県中越沖地震で液状化により被害を受け、その復旧にあたっては図5-11(b)のように排水パイプが設置された<資料編5-7>。この地区は砂丘背後の緩やかな斜面に位置し、下方には川が流れているため、自然流下排水方式で川に放流する方法がとられた。

2011年東北地方太平洋沖地震により液状化で被災した都市のうち、「市街地液状化対策事業」によって地下水位低下による液状化対策を施しつつある茨城県潮来市・神栖市・鹿嶋市地域¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾では、図5-12(a)(b)(c)のように開削により暗渠排水管を設置する工法が採用されている。

開削工法によって暗渠排水管を設置する一般的な方法や長・短所などを表5-9に示す。この表に示すように道路に幅約1.3m、深さ約3.5mの溝を掘削し、基底部にφ200mmの暗渠パイプを設置した後、深度1mまで単粒度砕石で埋め、その上は発生土などで埋め戻す。ある間隔ごとにマンホールも設置し、排水管全体のネットワークを組む。そして終末にピットを設置しポンプにより水を汲み上げて川や海に放流する。柏崎市山本団地のように自然流下で川や海に放流できるとポンプ代が不要になる。なお、鹿嶋市では、図5-10に示すように暗渠排水管周りの砕石層の範囲については既設管や土留切梁等による施工の困難性より暗渠排水管上1.0mまでとしている。

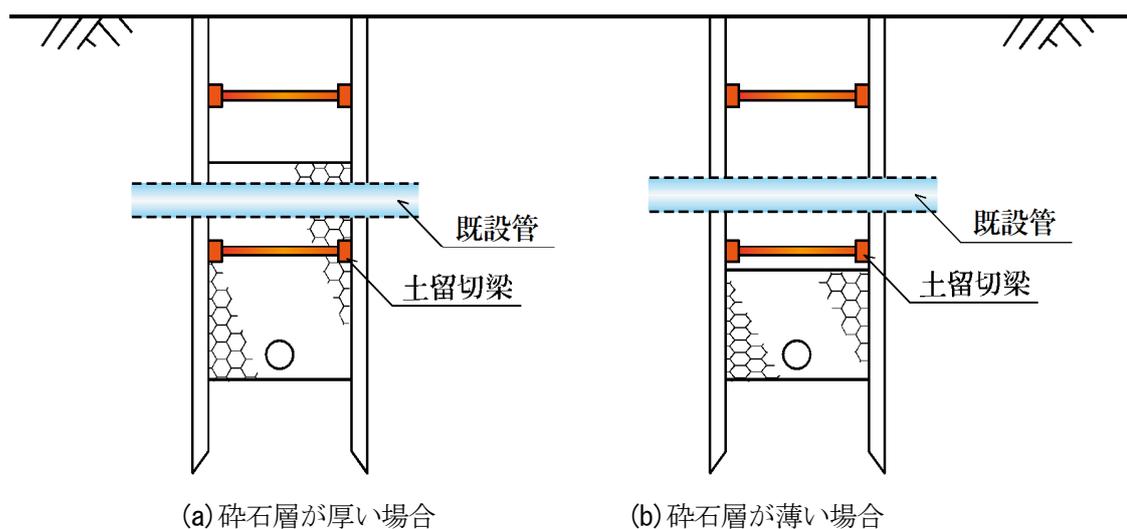
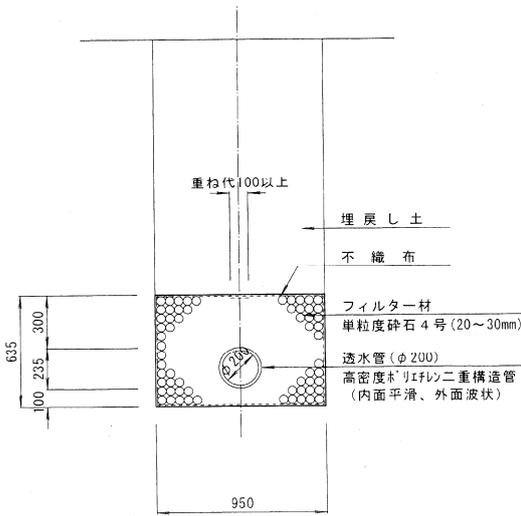
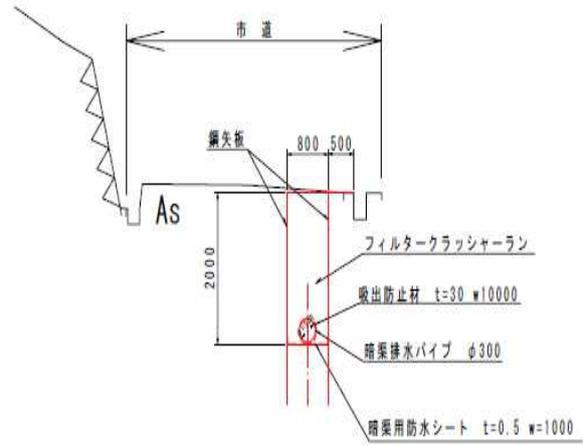


図5-10 暗渠排水管の砕石層が厚さの違いによる施工性
注) 砕石層が厚いと既設管と土留切梁が重なる

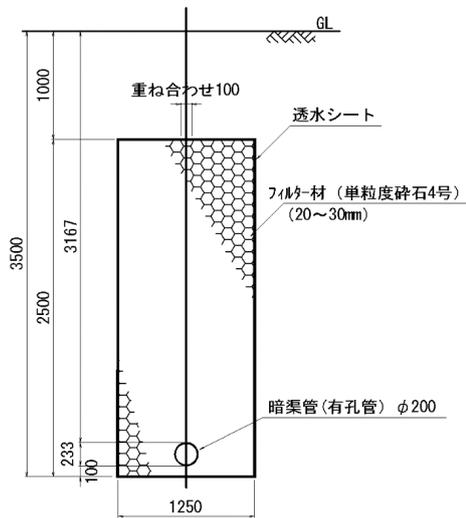


(a) 尼崎市 (阪神・淡路大震災後)

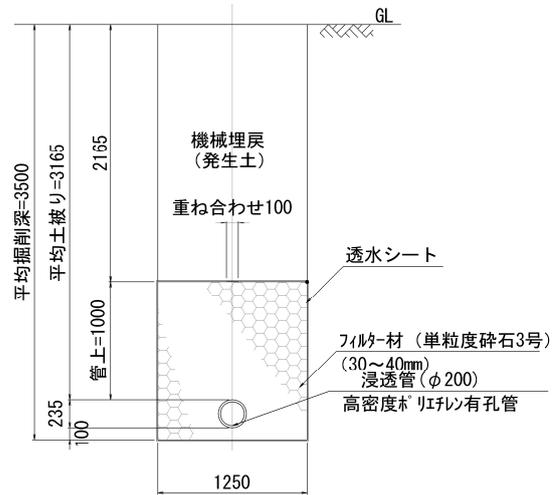


(b) 山本団地地区 (新潟県中越沖地震後)

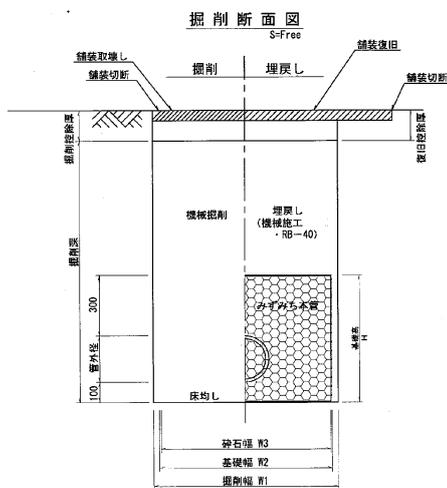
図5-11 開削工法による地下水位低下工法の実施例



(a) 神栖市



(b) 鹿嶋市



(c) 潮来市

図5-12 東日本大震災後における開削工法による地下水位低下工法の実施例

液状化で被害を受け易い地盤は一般に地下水位が浅く地盤も緩いことが考えられる。このため、開削により暗渠排水管を設置する際には簡易土留めや土留鋼矢板を用いて掘削する必要があるが、掘削時に土留め壁が変形して近傍の地盤に変状を生じたり、土留壁撤去時に地盤を緩めたりといった懸念がある。このように工事中に地盤変状を生じさせ、周辺構造物（宅地や宅地擁壁）に悪影響をもたらすことがないように留意しつつ施工する必要がある。

表5-9 開削工法による地下水位低下工法の概要

開削工法	
概念図	<p style="text-align: center;">■ 開削による暗渠管設置概念図 ■</p> <p style="text-align: center;">注) 写真の出典：和歌山市建設局下水道部HPより</p>
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> 土留工（鋼矢板等）を打設し全路線を埋設深度まで掘削し暗渠排水管を設置する方法である。 切梁の設置や暗渠排水管の設置、埋戻し転圧など人力による作業が主体となる。
長 所	<ul style="list-style-type: none"> 地中の障害物等に柔軟に対応できる。 砕石層による壁を構築するため地層条件に左右されず集水が可能である。 採用実績がある。
短 所	<ul style="list-style-type: none"> 土留工（鋼矢板等）を設置するため引抜時の緩みによる周辺影響が懸念される。 設置区間全線の舗装を撤去する必要が生じ、住宅地道路の開削工事となることから、工事期間は通行止が必要である等生活環境への影響が大きい。 埋設区間全路線にわたり地中埋設管の切り廻しが必要となる場合もある。 雨天時は作業できない。
地下水位低下の効果	<ul style="list-style-type: none"> 実証実験や施工実績より地下水位低下の効果は認められている。

6. 推進工法における実施例

推進工法による地下水位低下工法は、立坑を掘削し立坑間を推進工法で連結させ道路掘削を最小限に止めた工法である。

(1) 試験施工の概要

東北地方太平洋沖地震で液状化により被害が発生した千葉市美浜区磯辺4丁目では、市街地液状化対策事業の液状化対策として「地下水位低下工法」の適用が可能と判断された。しかし、開削工法による地下水位低下工法では、設置する道路幅や宅地との離隔距離を考慮すると開削に伴う周辺家屋への影響が懸念された。そこで家屋への影響を最小限に止めるために、道路下に透水性パイプ(φ300mm)を設置する推進工法による地下水位低下工法について試験施工²⁾を行い、その排水効果及び周辺への影響を検証した。その結果、開削工法による暗渠排水管の地下水位低下工法と同様に排水効果があり、かつ、建物への沈下・傾斜等の影響が少ないことが明らかとなった。

(2) 工法の概要

表5-10に推進工法による暗渠排水管の地下水位低下工法の概要や長・短所を示す。この工法では下記のような特殊なドレーン管と立坑を使用する。

①ドレーン管

推進工法による暗渠排水管(ドレーン管)を設置するが、暗渠排水管の材料は写真5-1及び写真5-2のとおりである。



写真5-1 ドレーン管

(立体網目状集排水管：自立管)



写真5-2 ドレーン管(挿入前、立体網目状集排水管に透水シート、ジオテキスタイルを巻いた状況)

②立坑

実証実験では、立坑から推進工法によりドレーン管を地中に埋設し、ドレーン管から排出された地下水を立坑から汲みだすことで周辺の地下水位を低下させた。しかし、本施工では立坑をドレーン管で連結させ、流末において自然流下排水方式で河川へ放流するか、ポンプアップ排水方式により地区外に放流することで地下水位を低下させることになる。

なお、立坑の直径は推進機材や作業空間より以下の大きさが想定される。

- ・両側発進立坑：φ2500mm
- ・片側発進立坑：φ2000mm
- ・到達立坑：φ1500mm

試験施工で行った推進工法によるドレーン管設置の施工手順を図5-13に示す。本施工でもこの手順に従って行われる予定である。

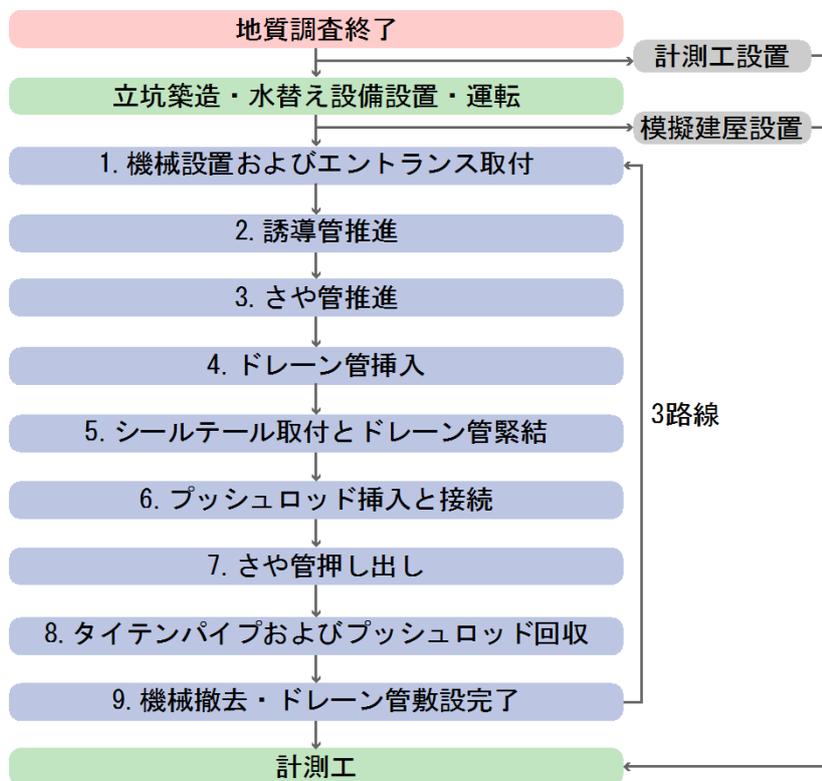


図5-13 試験施工で行った施工の手順

(3) 留意事項

本工法の工事費は開削工法より高いが、施工性に優れることから工期短縮が図れ、地下埋設物の移設費用が抑えられるため全体工事費の低減が図られる。また、周囲の掘り乱しが少ないため、掘削時の周辺地盤変形や土留鋼矢板撤去時の地盤の緩みによる周辺構造物（宅地や宅地擁壁）に影響をもたらす懸念が少なくなるのが特徴である。ただし、その採用に当たっては、集水断面が小さいことから土質条件として均一な砂地盤で粘性土を含まないことが望ましい。

表 5-10 推進工法による地下水位低下工法の概要

推進工法	
概念図	<p style="text-align: center;">■ 推進工法によるドレーン管設置概念図 ■</p> <p style="text-align: center;">注1) 写真の出典：和歌山市建設局下水道部HPより</p>
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> 立坑を構築し推進工法によってさや管とドレーン管を同時に推進し、到達後にさや管を引抜く方法である。 掘削は立坑だけでありオールケーシングのバケット掘削となる。
長 所	<ul style="list-style-type: none"> 工事中の振動、騒音が少ない。 舗装撤去は立坑設置区間に限られ、道路通行止めは部分的であり、夜間は通行止め解除が可能であることから生活環境への影響が少ない。 地下埋設物の移設工事が少ない（立坑掘削箇所に限られる）。 天候による工事遅延が少ない。 工期短縮が図れる。
短 所	<ul style="list-style-type: none"> 地中障害物にあたると対処に時間を要する。 ドレーン管敷設として、施工実績がない。 均一な砂地盤である必要がある。 集水断面が小さいことから目詰まりが起こりやすく長期的な維持管理が必要。
地下水位低下の効果	<ul style="list-style-type: none"> 実証実験により開削による暗渠排水管設置と同等の地下水位低下効果が認められている²¹⁾。

5-8 井戸方式による地下水位低下工法

井戸方式による地下水位低下工法は、地下水の汲み上げ区画を鋼矢板等で囲った上で、公園・広場等を利用して地下水の井戸（ポンプ付き）を数か所に設置して、汲み上げた地下水を道路側溝に流すものである。また、排水管方式による地下水位低下工法において、対策効果が少ない場合には本工法を追加対策として実施する場合もある。

ただし、工法選定に当たって、事前に所定の地下水位に低下させても圧密沈下量が少ない地盤であること等を確認しておく必要がある。

1. 基本仕様

井戸方式にする地下水位低下工法は地下水の汲み上げ区画をシートパイル等で形成した上で、表 5-11に示すように公園・広場等を利用して地下水の井戸（ポンプ付き）を数か所に設置して、汲み上げた地下水を道路側溝に流すものである。副工法としては、低下後の下部地下水層の不飽和化、または宅地部分の盛土等が想定される。

表 5-11 公共施設と宅地部分における地下水位低下工法

	公共施設部分	宅地部分
主工法	公園等に井戸+ポンプ	—
副工法	—	盛土
	低下後の下部地下水層の不飽和化	

2. 地盤条件

地盤条件は、下記の条件を満足することを確認する。

- ①比較的水が速やかに流れる透水性が高い地盤であること
- ②揚水試験などにより井戸と井戸の間の地盤までの水位が低下することを確認できていること
- ③下部に軟弱な粘土層がある場合でも圧密沈下量が大きくないこと

また、井戸の深さは地下水位を下げる深さまでで留めることが大切である。必要以上に深くすると圧密層まで達したことで地盤沈下を誘発してしまうので注意が必要である。

3. 組合せ工法

地下水位低下後になお残る下部液状化層について、ポンプを使って地下水位を短期的に上下させて不飽和化（空気混入状態）を図ることにより、液状化強度を増す方法を組み合わせることも考えられる。あるいは、宅地部分の住宅周りについては、この下部液状化層までドレーンパイプを挿入することにより、水圧消散により支持力の低下を抑制する方法も考えられる。

4. 主な得失

井戸とポンプの設置となるため、工事費用は比較的安いですが、井戸を密に掘る必要がある場合には、そのための場所の確保が必要となる。水位低下はポンプに依存するため、ランニングコストが必要である。また、ポンプは消耗するため、10～15年程度の周期で取り換え費用も発生する。公共施設を含む地区全体を対象とした地下水汲み上げとなるため、比較的、宅地所有者の負担が少ないものの、宅地部分において盛土やドレーンパイプの設置といった対策を付加する場合等にあっては、原則として個々の宅地所有者による対応となる。また、下部粘土層の圧密沈下という副作用について、あらかじめ予測し、理解と協力を得ることが必要である。ただし、各井戸の汲み上げ速度の調節により、不同沈下とならないような制御を検討することも想定される。

5. 実施例

実施例としては、川崎市の臨海埋立地のコンビナートにおいて井戸方式による地下水位低下工法実施例があるので、＜資料編5－13＞を参照とされたい。

5-9 井戸方式における不飽和化工法との組合せ

不飽和化工法は土粒子内に空気を注入し、飽和度を90%程度にすることで、土粒子内の空気が液状化発生時の過剰間隙水圧を低下させ、液状化の発生を抑制する工法である。

宅地と公共施設の一体型液状化対策工法における不飽和化工法は、「井戸方式による地下水位低下工法」と同様に、区画を鋼矢板等で囲い地下水位を低下させ、地盤内に空気を注入し地盤を不飽和化し、その後地下水位を戻す工法が想定される。したがって、地下水位を低下させ続ける維持管理が不要で、シートパイルも撤去することができる。しかしながら、実用における施工実績がほとんどないことから、施工実績の蓄積等が必要な工法である。

1. 基本仕様

不飽和化工法は、表5-12に示すように「井戸方式による地下水位低下工法」と同様な施設設置に加え、空気吸引と注入のための施設が必要である。副工法としては、低下後の下部地下水層の不飽和化、または宅地部分の盛土がある。

表 5-12 公共施設と宅地部分における不飽和化工法

	公共施設部分	宅地部分
主工法	・公共施設部分に井戸+ポンプ+空気注入(一時的に利用)	・道路間隔が広い場合は、公共施設部分と同様に井戸+ポンプ+空気注入(一時的に利用)
副工法		・盛土
	低下後の下部地下水層の不飽和化	

2. 地盤条件

地盤条件は、下記の条件を満足することを確認する。地下水位を数メートル低下させても圧密沈下量が小さい地盤であること等を確認しておく必要がある。

- ①比較的水が速やかに流れる透水性が高い地盤であること
- ②揚水試験により井戸から十分に遠方までの水位低下効果が確認できていること
- ③下部粘土層が薄いか、比較的締まっていること

3. 組合せ工法

宅地部分の住宅周りについては、この下部液状化層までドレーンパイプを挿入することにより、水圧消散により支持力の低下を抑制する方法も考えられる。

4. 主な得失

井戸とポンプの設置となるため、工事費用は比較的安いですが、排水管方式による地下水位低下工法より高価で、井戸を密に掘る必要がある場合には、そのための場所の確保が必要となる。公共施設を含む地区全体を対象とした地下水汲み上げとなるため、比較的宅地所有者の負担が少ないものの、民間家屋部分において盛土やドレーンパイプの設置といった対策を付加する場合等にあつては、原則として個々の宅地所有者による対応となる。また、下部粘土層の圧密沈下という副作用について、あらかじめ予測し、理解と協力を得ることが必要である。ただし、各井戸の汲み上げ速度の調節により、不同沈下とならない制御を検討することも想定される。

また、実用における施工実績がほとんどないので、施工技術や不飽和状態の継続方法などの蓄積が必要な工法である。

5. 実施例

実用における施工実績が少ない。

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

液状化対策工法として地下水位低下工法を採用した場合、地盤性状によっては粘土の圧密沈下や砂の短時間の沈下が生じる可能性がある。工法の選定にあたっては、周辺地盤への影響を把握する目的で実証実験を行う必要がある。

実証実験で確認すべき項目は、以下の通りである。

- ①地下水位の低下
- ②地盤の沈下
- ③排水量

1. 実証実験の目的

地下水位低下工法は下層にある粘土層の圧密沈下を引き起こさせることがあると共に、砂層でも短時間の沈下を生じさせることがある。そして、圧密沈下量が多い場合には建物やライフラインの不具合を招くおそれがあるというデメリットがある。したがって、本工法の採用を検討するにあたっては、実証実験を行い、地盤の圧密沈下量や地下水位の低下量、その際の排水量などを把握し、工法の適否を判断することが望まれる。

2. 実証実験での計測箇所

地盤の透水性、圧密特性などは側方変化があるため、実証実験の計測箇所は地下水位低下工法を採用する街区内、あるいは、地盤性状が同一とみなせる箇所で実施するものとする。

3. 計測機器

(1) 水位計

地盤の水位変化を把握するため、図5-14のように水位観測孔を設けて水位計を設置して地下水位を計測する。

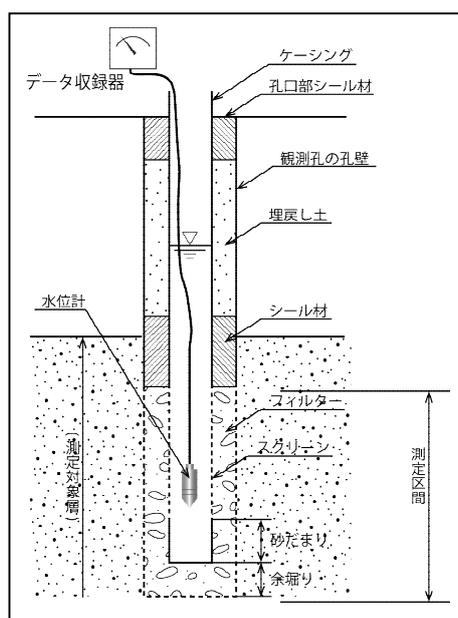


図5-14 水位計

(2) 間隙水圧計

地層中の間隙水圧の変化を把握するため、図 5-15 のように地層毎に間隙水圧計を設置する。粘性土は間隙水圧計を地中に押し込み、砂質土では埋め戻す。

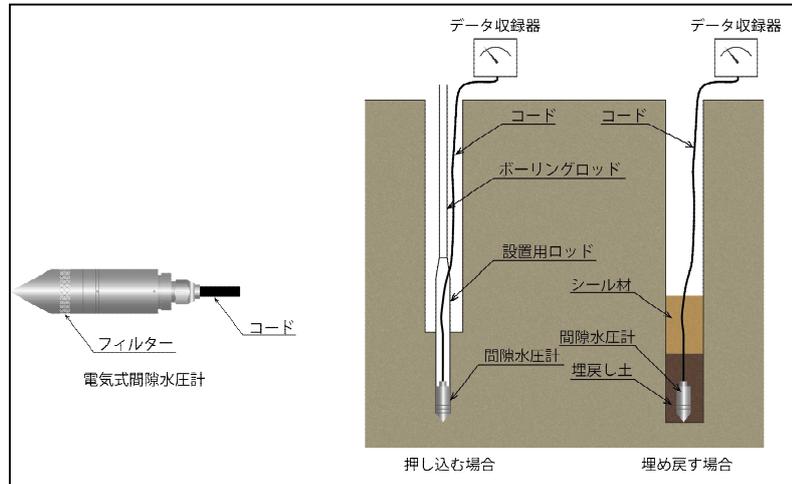


図 5-15 間隙水圧計

(3) 層別沈下計

地層の沈下を把握するため、図 5-16 のように層別沈下計を設置する。水圧式アンカーを地層境界に固定し、地表とアンカーを結ぶ測定ワイヤーの長さを計測して、地層の縮み（沈下量）を求める。

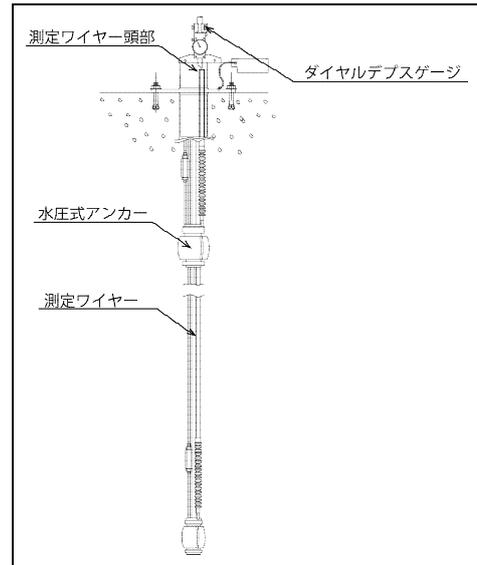


図 5-16 層別沈下計

(4) 変位杭

地表面の沈下量を把握するため、図 5-17 のように変位杭を設置する。試験区域外に基準点を設け、水準測量により変位杭の水平変位を求める。

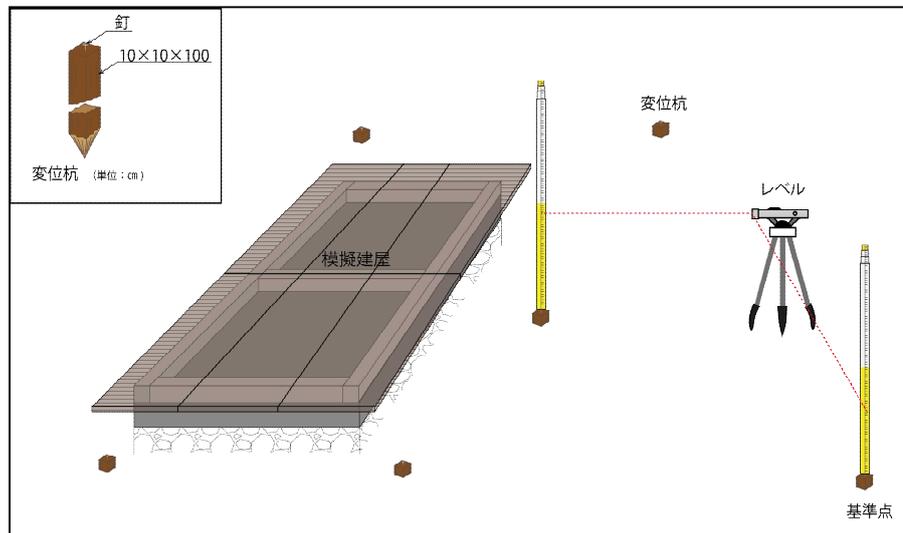


図 5-17 変位杭

(5) 雨量計

近年、ゲリラ豪雨の多発により、アメダスなどの観測点と試験区域の降雨量が異なることがある。試験区域の降雨と排水量の関係を正確に把握する目的で図 5-18 のように雨量計を設置する。

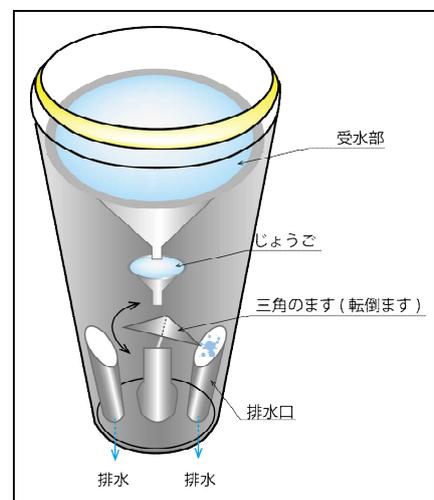


図 5-18 雨量計

4. 模擬建屋

(1) 模擬建屋の設定の考え方

模擬家屋の仕様は、戸建て住宅に用いられる「布基礎」と「べた基礎」を構築し、基礎上に実際の建物荷重に相当する“荷重”を載荷するものとする。この“荷重”の例として、偏載が自在で撤去も容易な敷鉄板が有効である。

(2) 敷鉄板枚数の設定

模擬家屋では、基礎部分について実際の建築基礎を再現し、基礎上には建物荷重に相当する“敷鉄板”を載荷することで、実際の荷重状況を再現する。この荷重値の設定には、表5-13のように日本建築学会の「小規模建築物基礎設計指針」に記載されている参考値を適用する。

日本建築学会の「小規模建築物基礎設計指針」に記載されている基礎設計荷重のならし荷重の参考値は屋根や壁の仕様により幅がある。

表5-13 上部構造ならし荷重の参考値⁹⁾

荷重条件		重い屋根 +重い外壁	軽い屋根 +軽い外壁	
平屋	屋根	1.53	0.83	平屋建て 3.49kN/m ² ~5.27kN/m ²
	外壁	1.78	0.70	
	床	1.96	1.96	
	一般地域	5.27	3.49	
	多雪区域 (積雪 1m)	7.37	5.59	
2階建	屋根	1.53	0.83	二階建て 6.85kN/m ² ~10.79kN/m ²
	外壁	5.34	2.10	
	床	3.92	3.92	
	一般地域	10.79	6.85	
	多雪区域 (積雪 1m)	12.89	8.95	
3階建	屋根	1.53	0.83	
	外壁	8.01	3.15	
	床	5.88	5.88	
	一般地域	15.42	9.86	
	多雪区域 (積雪 1m)	17.52	11.96	

これより、戸建て住宅の単位床面積当りの荷重を以下の様に設定すると、荷重用敷鉄板の枚数は、表5-14に示す通りとなる。

表 5-14 鉄板の枚数

戸建て住宅の単位床面積当り荷重		戸建て住宅の面積当り荷重相当の鉄板 (t=22mm)
平屋建て	5.00kN/m ²	5.00kN/m ² ÷ 1.7kN/m ² = 3 枚
二階建て	10.00kN/m ²	10.00kN/m ² ÷ 1.7kN/m ² = 6 枚

実荷重に準じた二階を偏載する部分では、基礎面積部6枚の敷鉄板を載荷し、他の平屋相当部には、3枚の敷鉄板を載荷することにより偏載する建築状況を再現する。

(3) 簡易的な方法

現場条件等の制約から簡易的に実験を行う場合は、大型土嚢（10kN/m²）を設置し沈下量のみ計測する。

5. 排水管方式による実験手順

(1) 実験の手順

図5-19は排水管方式の模式図である。実験の基本的な手順は以下の通りとする。

- ①試験区域の設定
- ②試験計画の立案
- ③試験区域外の地下水位観測、変位杭観測の実施
- ④止水矢板の打設
- ⑤立坑及び暗渠排水管の設置
- ⑥模擬建屋の設置
- ⑦試験区域内の地下水位観測、変位杭観測の実施
- ⑧立坑から地下水位の汲み上げ

なお、実験終了後は計測機器、立坑、暗渠排水管、止水矢板等を撤去し、現況復旧する。

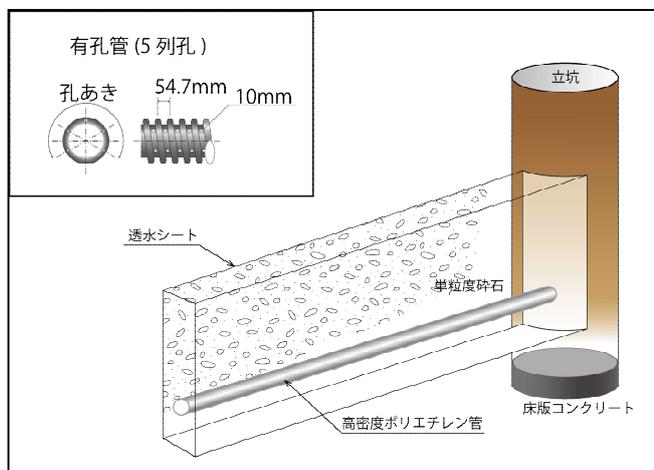


図 5-19 排水管方式の模式図

(2) 実験の事例

東北地方太平洋沖地震後に行われた茨城県神栖市鰯川地区と千葉県千葉市美浜区磯辺地区で行われた地下水位低下の実証実験事例を<資料編5-12>、<資料編5-11>に示す。このうち千葉市における実証実験の平面配置図を図5-20に示す。



図 5-20 排水管方式による実証実験の平面図（千葉市）

なお、前述したように排水管方式による地下水位低下工法実施例として、1995年阪神・淡路大震災の尼崎市築地地区<資料編5-8>と2007年新潟県中越沖地震の山本団地地区<資料編5-9>があるので参照されたい。

6. 井戸方式による実験手順

図5-21は井戸方式の模式図である。

(1) 実験の手順

- ①試験区域の設定
- ②試験計画の立案
- ③試験区域外の地下水位観測、変位杭観測の実施
- ④止水矢板の打設
- ⑤井戸の設置
- ⑥模擬建屋の設置
- ⑦試験区域内の地下水位観測、変位杭観測の実施
- ⑧井戸から地下水位の汲み上げ

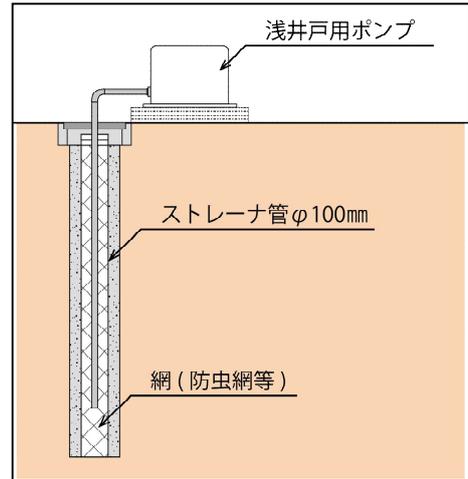


図 5-21 井戸の模式図

なお、実験終了後は計測機器、井戸、止水矢板等を撤去し、現況復旧する。

(2) 実験の事例

東北地方太平洋沖地震後に行われた千葉県我孫子市布佐東部地区で行われた実験の平面配置図を図5-22に示す。

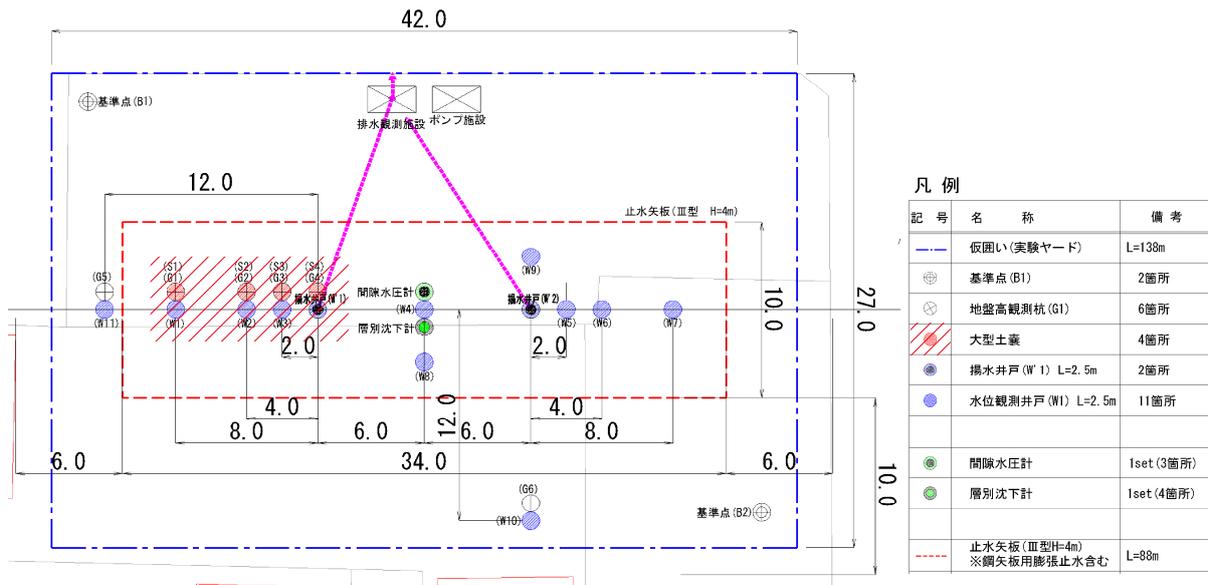


図 5-22 井戸方式による実証実験の平面図 (我孫子市)

なお、井戸方式による地下水位低下工法実施例としては、前述したように川崎市の臨海埋立地のコンビナートで行われた例があり<資料編5-13>を参照されたい。

7. 実証実験結果の整理および利用方法

(1) 計測結果の整理方法

- ①水位計、間隙水圧計の計測結果を整理する。
- ②層別沈下計、変位杭の計測結果を整理する。
- ③雨量計の計測結果を整理する。

④上記3項目を時系列に整理し、その因果関係を把握する。

(2) 実証実験結果の利用方法

①地下水位の低下量に関して

水位低下した後の地下水位の季節変動、降雨量との関係をもとに、設定した地下水位の低下量の妥当性を確認する。

②地盤の沈下量に関して

地下水位低下にともなう地盤沈下の時間変化に関して、予め土質試験結果を用いて行っていた圧密解析値と層別沈下量の実測値を比較し、圧縮係数や圧密係数の修正を行い、地区全体の圧密解析などに用いる。

③排水管のネットワークおよびポンプによる汲み上げ量に関して

地下水位低下量の空間分布をもとに排水管や井戸の設置間隔の設計を行う。また、排水量の実験結果をもとに地区全体の地下水位低下に必要な排水量を推定し、終末で汲み上げるポンプの容量などに用いる。

5-1-1 地下水位低下工法の事業効果の確認

液状化対策工事の地下水位低下工法により地下水位を低下させた場合には、その地下水位が想定通り低下しているか、それに伴う地盤沈下による家屋への影響が生じていないかなど、一定期間、モニタリング調査を行い、事業実施による効果等について確認する必要がある。

そのために、市街地液状化対策事業の工事前やポンプ稼働前の地下水位・地盤高について観測し、ポンプ稼働後のデータと比較することで地下水位低下による液状化対策効果の確認及び地盤沈下に伴う地盤変動等の影響の検証を行う。

1. モニタリング調査の必要性

液状化対策事業として実施する地下水位低下工法については、地下水位低下による非液状化層厚の増加を目的としたものであり、場所によっては不均質な地盤等によって地下水位が想定通り低下しないという事象も想定されることから、排水後に地下水位低下工法により確保された非液状化層厚の確認や地区毎に発現した事業効果の確認をする必要がある。その検証にあたっては、液状化のメカニズムやその対策工法について検討してきた学識経験者等からなる検討委員会で検討することが重要である。

モニタリング調査で確認する主な事項は、以下のものがある。

- 1) 工事により発現した効果を確認するための事項 ⇒ 地下水位観測
 - ①非液状化層厚の確認（ポンプ稼働後の地下水位低下の確認）
- 2) 地下水位低下前後における地盤沈下に伴う地盤変動を確認するための事項 ⇒ 沈下観測
 - ①地下水排水管設置工事中における沈下量の確認（工事中の沈下量）
 - ②地下水排水開始後の沈下量の確認（地下水位低下後の沈下量）

検討委員会は、図5-23のように一般的にモニタリング調査後に開催し、事業効果の確認を行い、必要に応じて追加対策工事の要否の検討を行う。追加工事が必要な場合は、工事後に再度、事業効果の確認等を行う。

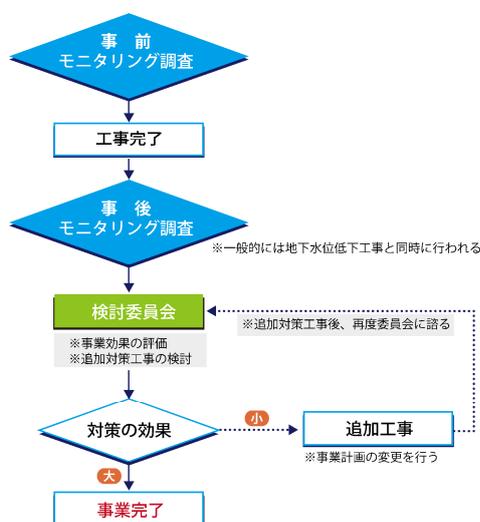


図5-23 事業完了までのフロー（イメージ）

2. 事業効果の確認等の仕方

地下水位低下工法については、地区毎に対策によってどのような事業効果が面的に得られたか一定期間の観測データに基づいた検証が必要である。

(1) 施工後の事業効果の確認の目的

地下水位低下工法の事業効果の確認の目的としては、主に以下の3つがある。

- ①地下水位がどの程度低下し、地区単位にどのような事業効果が発現しているかの確認
- ②粘性土地盤がある場合に圧密沈下による地盤沈下が生じていないかの確認
- ③発現した事業効果が想定より小さい場合の対応の検討

そのため、その施工後の効果検証としては、表5-15に示すような計測管理による各調査項目の確認を行い、それでも効果が得られない場合は技術指針に基づく判定において、判定基準や評価方法の見直しを行い総合的な検討を行う。

表5-15 地下水位低下工法施工後の事業効果の確認

確認が必要な事項	確認方法	計測・対応等
地下水位低下状況	どの程度地下水位が低下しているかを確認するための地下水位観測を行う。	自記水位計 降雨量
地下水位低下に伴う地盤沈下状況	施工時および地下水位低下に伴う地盤沈下状況を確認するための沈下量の観測を行う。	地盤沈下計 間隙水圧計 ^{注1)}
想定していた効果が得られない場合の対応策	<ul style="list-style-type: none"> ・モニタリング調査結果を基に詳細に検討を行う。 ・技術指針に基づく判定において他の地震動により評価を行う。 ・地区として必要な効果が得られない場合はその原因を推定し、追加対策の検討を行う。 	判定方法の見直し 簡易井戸等の設置

注1) 実証実験を実施していない地区は設置するのが望ましい。

(2) 地下水位等の観測・収集

地盤特性によって地下水位の低下状況が異なるため、地区毎に地下水位観測や降雨量（近接のアメダスや公共観測箇所）の収集、地盤沈下観測を行う。

(3) 地下水位観測期間と頻度

地下水位観測期間は、降雨量等の季節変動等を考慮し、図5-24に示すように地下水排水開始前から地下水位の低下が落ち着いた後1年間の観測を行うことを基本とする。

- ①地下水位及び地盤沈下量の観測頻度は、数時間単位又は同一時間に日単位で計測する。
- ②地盤のクラックや沈下など異常な変状が発生した場合には、地下水位への降雨量の影響の確認や、排水量の調整、計測間隔の調整（例えば1時間毎にする）など、状況に応じて家屋等への影響が出ないように排水量や観測の仕方を調整する。

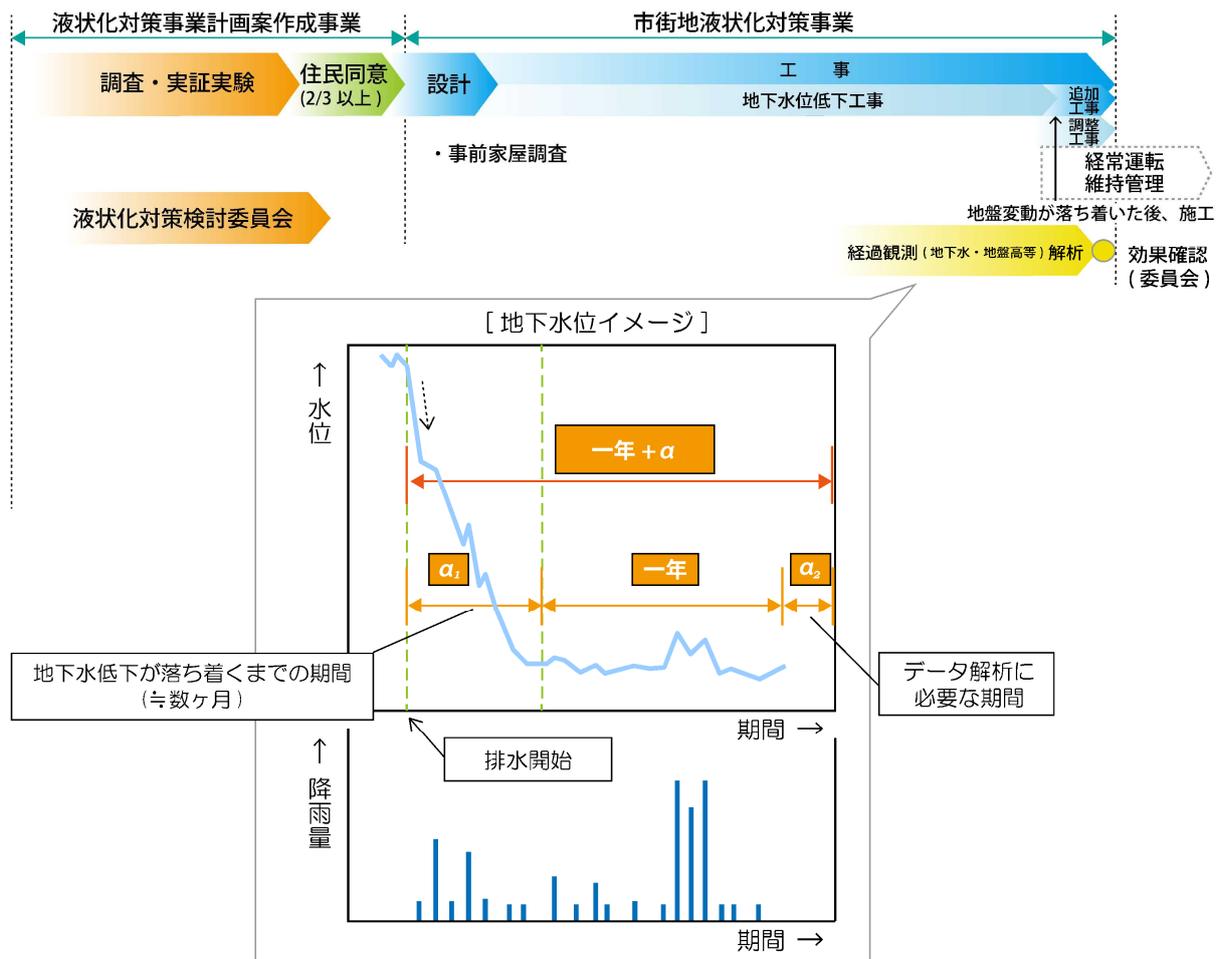


図5-24 事業完了までの流れと地下水水位低下工事施工後の経過観測方法（イメージ）

（４）地下水水位等の観測

施工後の地下水水位や地盤沈下の状況の経過観測を行うためには、施工前の観測もしておく必要がある。ただし、施工前は必ずしも施工後と同じ観測点でなくても良く、近傍のボーリングデータが活用できるものがあればそれを用いて観測する。

図 5-25 は、地下水水位低下工法の効果およびその影響を確認するための地下水水位観測孔と地盤沈下計の設置計画例である。地下水水位観測孔と地盤沈下計の設置間隔及び位置については、各地区の地盤条件が異なるために各検討委員会で効果の確認に必要な箇所や方法手段等を検討し、地盤の均一性や長期的な観測が可能な地点などを考慮して設定する。計器の設置箇所は、図 5-26 に示すように排水管から離れた地点の地下水水位の低下、排水管近くの地盤の沈下量などを確認する。

なお、自動計測システムについては、＜参考編 5-10＞を参照して設置間隔、設置場所、観測頻度等、異常値発生時の対応及び、地下水水位低下時の対処等を考慮して設置の検討を行う。

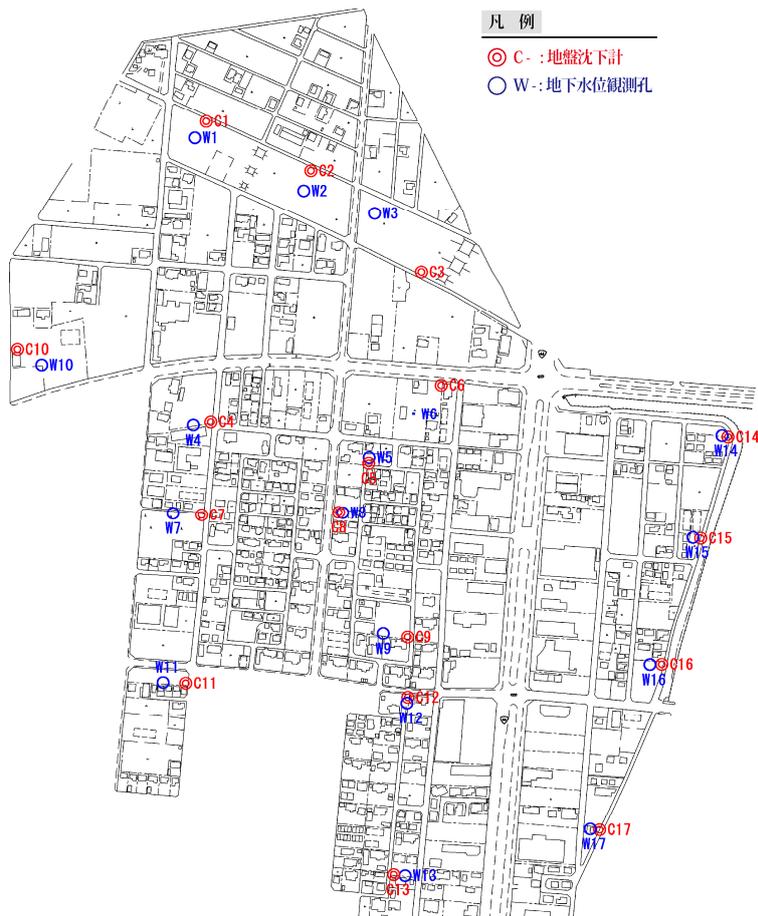


図 5-25 地下水位低下工法の効果検証のための観測位置例（神奈川市）

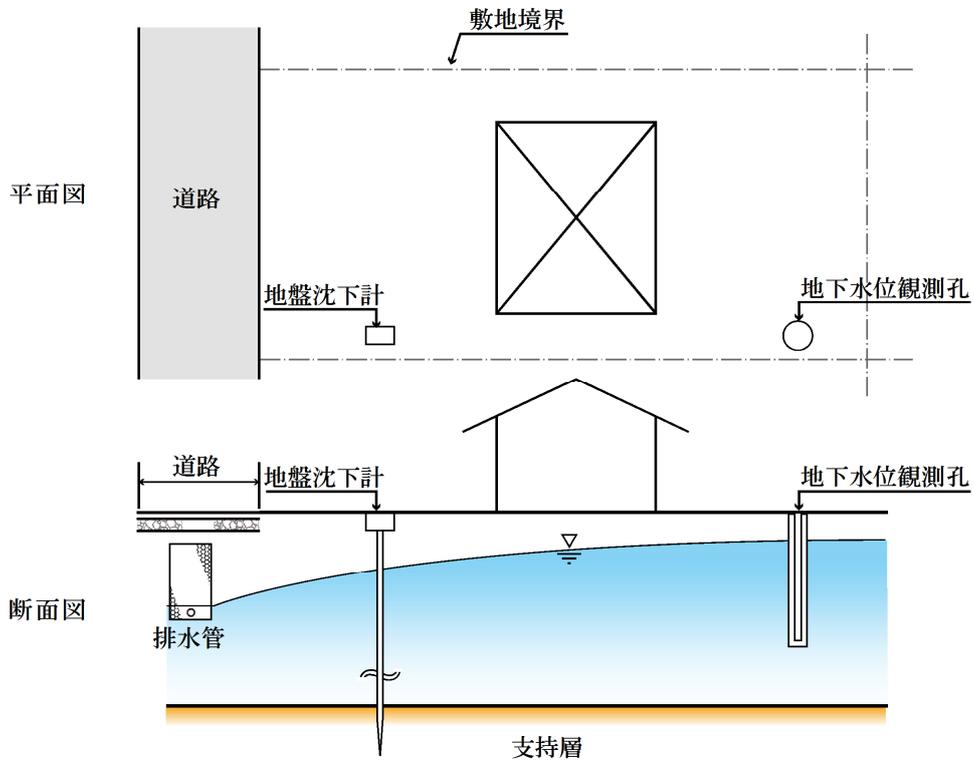


図 5-26 地下水位観測孔と地盤沈下計の設置計画のイメージ

注 1) 地下水位観測孔は排水路間の中央部（宅地の背割側）に設置するのが望ましい。

注 2) 地盤沈下計は排水管近傍に設置するのが望ましい。

1) 地下水位測定

地下水位観測にあたっては、図 5-27 に示すようにボーリングで削孔した孔にスクリーン加工したケーシングを建て込み、スクリーンの周囲にフィルター材（豆砂利）を挿入し、その上位をシール材により止水して地下水位観測孔を作製する。そして、ケーシング内の水位を触針式水位計で定期的に測定するか、あるいはケーシング内に自記水位計を設置して地下水位の連続観測を行う。

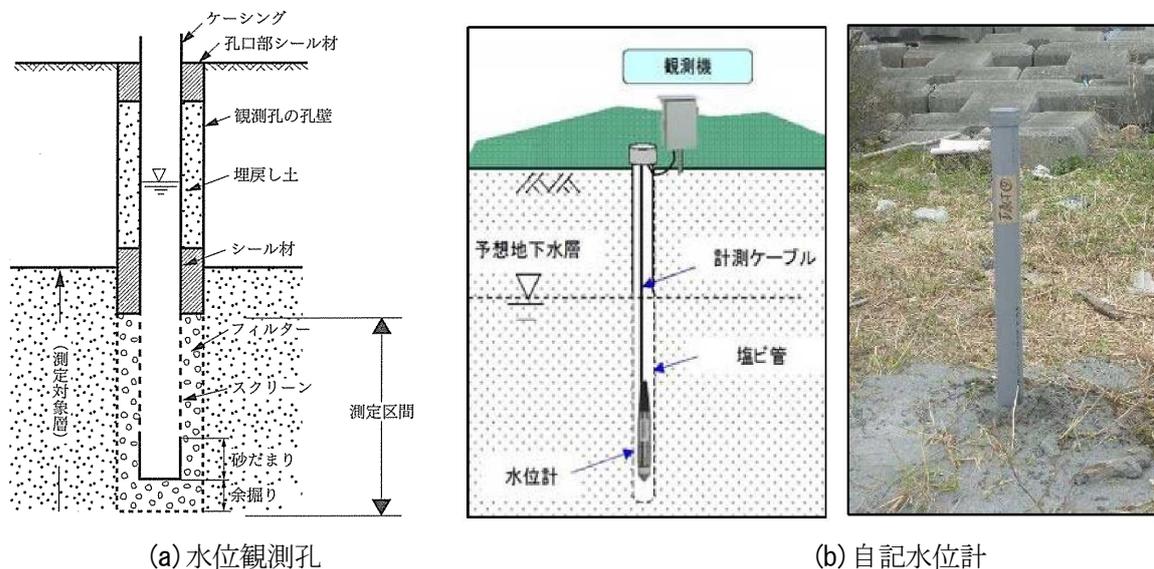


図 5-27 地下水位観測孔及び自記水位計の設置例

- 注 1) : 地下水位観測孔用の必要掘削径は直径 12cm 程度であり、水位低下させる深度の数 m 下まで観測孔を設置する。
 注 2) : ケーシングには直径 5cm 程度の塩ビ管にスクリーン加工をしたものを用いる。

2) 地盤沈下計

地盤沈下量の計測にあたっては、ボーリングで支持層上端まで削孔した孔の先端から、図 5-28 に示すように基線ロッドにスクリーアンカーを接続したものをねじ込んで支持層に固定する。そして、基線ロッドの動きを地盤沈下計で測定して地盤沈下量を求める。また、支持層が深い場合でもスクリーアンカーを支持層に設置する方法が最も精度が高く適切であり、測定ロッドの高さを不動点からレベル測量を行って沈下量を求め数値チェックを行うこともある。

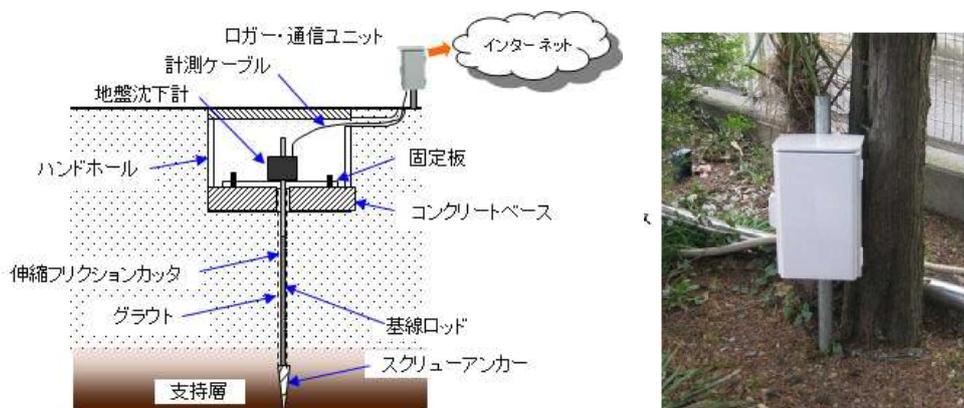


図5-28 地盤沈下計の設置例

- 注 1) : ボーリングで必要な直径は直径 7cm 程度により支持層上端まで削孔する。

3) 間隙水圧計

地下水水位低下工法により地下水位を下げることに伴い、下部の粘性土の間隙水圧が下がり有効上載圧が増すために圧密沈下を生じる。ただし、5-1で前述したように、東北地方太平洋沖地震後に行われた実証実験結果によると、従来仮定していた有効上載圧の増加の仕方と実際は異なったり、軟弱粘土層といえども少し過圧密になっていたりと、予測した地盤沈下量より少ない結果が得られていたりしている。このため、実証実験で間隙水圧計を設置していない地区は、間隙水圧計を設置して計測したデータを基に、実際の間隙水圧の分布の変化を考慮して圧密沈下量を推定することが望ましい。間隙水圧を考慮した圧密沈下量の推定手法は<資料編5-14>を参照されたい。

間隙水圧計の設置例を図5-29に示す。まず、間隙水圧計を設置する深度より50cm浅い深度までボーリングにより削孔する。その後、ボーリングロッドに間隙水圧計を設置し孔底まで静かに沈めていく。孔底に達した所で、間隙水圧計の計器チェックのため、地上の指示器に接続しチェック測定を行う。チェック測定終了後、ボーリング機械によりゆっくりと力を加え所定の深度まで間隙水圧計器を圧入する。

計器の埋戻しについては、以下のとおりである。

- ① 圧入後、計器天端+1.0m程度まで孔内に小礫を投入する。
- ② 孔内にベントナイトペレットを投入する（小礫天端+50cm程度）。
- ③ 膨張性グラウト材を地表まで投入する。

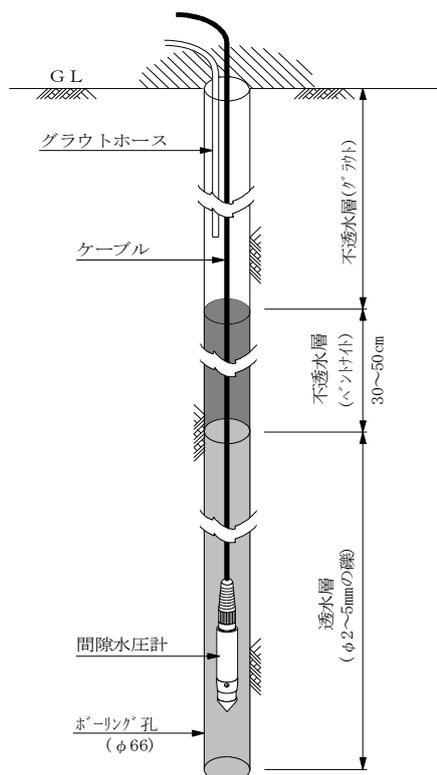


図5-29 間隙水圧計の設置例

3. 検討委員会による対策効果の評価

検討委員会では、対策により確保された非液状化層厚や事業の効果等について以下のように評価する。

- ①各観測点の評価だけでなく、地区全体としての評価
- ②地下水位及び地盤沈下の観測データを利用した総合的な評価
- ③地下水位が予定よりも下がらなかった場合、他の地震動による評価や判定方法の見直し
- ④地下水位が予定よりも下がらなかった場合の原因の推定、追加対策の検討（効果が出るかどうかの確認は必要）

地下水位低下工法の対策効果は、例えば図5-30に示すように降雨・降雪の影響を除いた平均低水位等（年平均水位以下の日平均した水位）で比較し、地下水位低下が図られたことを確認して判断する。その結果、目標とする地下水位まで安定した低下等が図られたことを確認し、検討委員会による最終判断をもって液状化対策事業の完了とする。

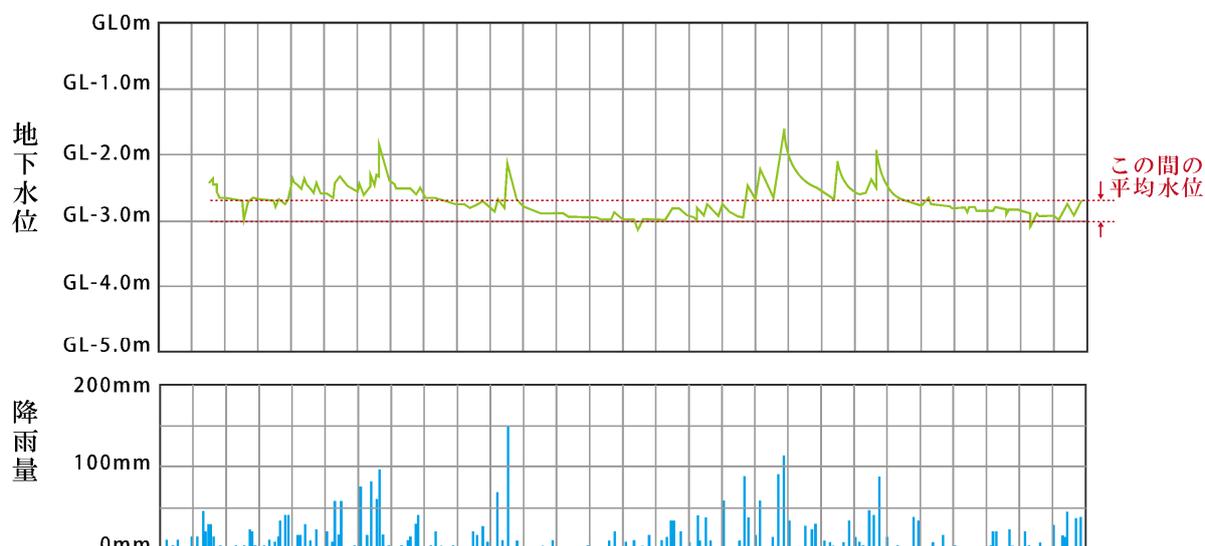


図 5-30 平均低水位算出例

4. 検証結果の説明

検証結果については、住民にわかりやすく説明し、個々の対策に活用する。

5. 地下水位が予定よりも下がらない場合の対処方針

モニタリング調査結果から、地下水位が想定よりも下がらない場合は、観測期間の延長や追加調査、判定基準・評価方法等の見直しを行う。想定していた効果が得られない場合にはその原因を推定するとともに必要に応じて別の対策工法の検討を行う。

そのためには、全ての観測地点において、地下水位が目標まで下がりきらない場合（ばらつきがあっても）においても、面的に地区全体の評価を行い、その効果について総合的に確認することが重要である。

(1) 他の地震動による評価

想定する地震動の検討例としては、大きく以下の3つのタイプがある。

①タイプ1 (最低限の地震動) : 200gal、M7.5

(宅地液状化被害判定指針に示す想定地震動)

②タイプ2 (今次災害を考慮した地震動) : 200gal、M9.0

(東日本大震災による東京湾岸における地震動)

③タイプ3 (地域防災計画に定める地震動、既往最大の地震動等) : 350gal、M7.5

(今後想定される直下型地震による大きな地震動)

※galは「想定地表面最大加速度」、Mはマグニチュードを示している。

表5-16は建築基礎構造設計指針(2001年、日本建築学会)による地表変位量(Dcy)と液状化の程度の関係であり、これによればDcy<5.0 cmでは軽微な液状化の程度と示されている。

液状化対策の目標値を設定するに当たっては、原則として「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針」の想定する「タイプ1(最低限の地震動)のマグニチュード7.5、200gal」の条件下でDcy<5.0 cmを採用している。タイプ1のDcy<5.0 cmは「タイプ2(今次災害を考慮した地震動):200gal、M9.0」のDcy<10.0 cm程度に相当するため、タイプ2の地震動以上でDcy<5.0 cmとして検討されている場合は、かなり厳しい条件となっている可能性もあることから、他の地震動による総合的な評価を行う。

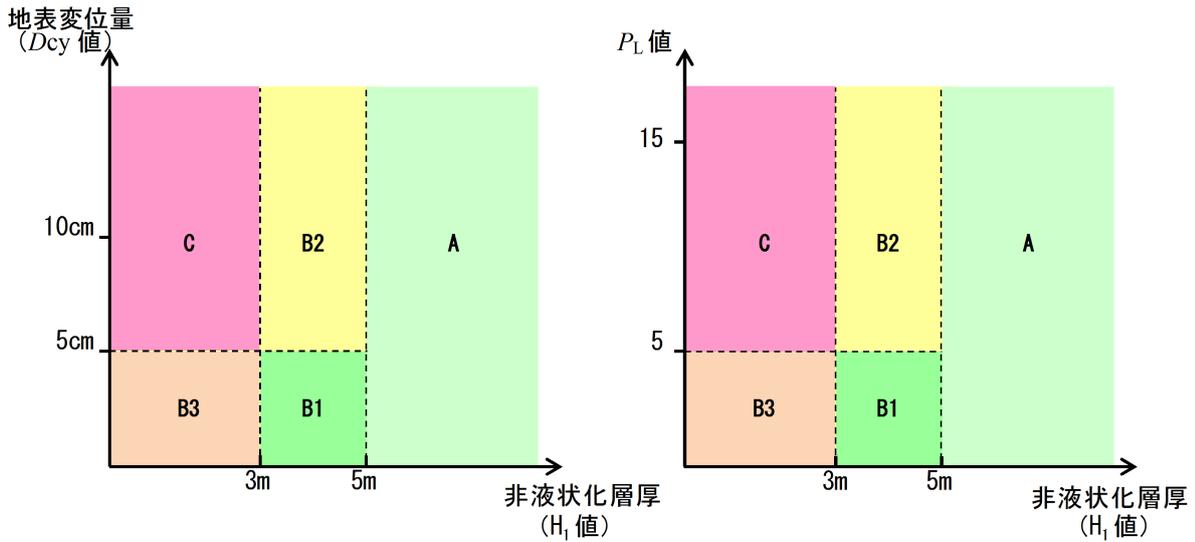
(2) 判定基準(B3)の判定方法の見直し

図5-31は公共施設・宅地一体型液状化対策工法の判定基準であり、表5-17は、その際の効果の目標値の設定である。図5-32、図5-33は東北地方太平洋沖地震(タイプ2:今次災害)で液状化被害が顕著であった5地区(我孫子市、潮来市、神栖市、習志野市、千葉市美浜区:計62本の被災前ボーリング結果)の判定結果である。この図を見ると若干のバラツキは認められるものの、B3に分布する家屋は「一部損壊か被害なし」となっており、B3に分布しても被害が少ないことが想定される。

そこで、タイプ2で検証しDcy<5.0 cmのB3に入らない場合の対応策としては、タイプ1の想定地震動で検証しDcy<5.0 cmのB3であることを確認して、その効果について検討委員会で評価すると良い。

表5-16 地表変位量(Dcy)と液状化の程度の関係⁸⁾

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



(a) $H_1 \sim D_{cy}$ 判定図 (b) $H_1 \sim P_L$ 判定図
 図5-31 公共施設・宅地一体型液状化対策工法の判定基準²²⁾

表 5-17 公共施設・宅地一体型液状化対策工法における効果の目標値の設定

判定結果	H_1 の範囲	D_{cy} の範囲	P_L 値の範囲	地下水位低下工法	格子状地中壁工法
C	3m 未満	5cm 以上	5 以上	不可	不可
B3		5cm 未満	5 未満	不可 (※)	不可
B2	3m 以上 5m 未満	5cm 以上	5 以上	液状化被害軽減の 目標として可	不可
B1		5cm 未満	5 未満		
A	5m 以上	—	—	液状化被害抑制の目標として可	

※専門家からなる委員会等で詳細、且つ、高度な検討を行うなど、慎重な判断が必要。

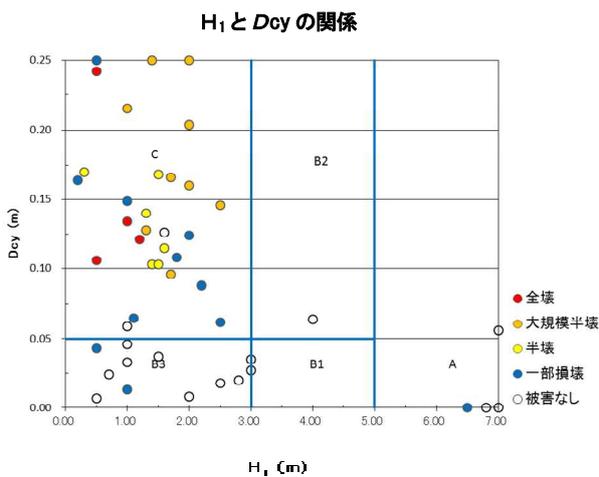


図5-32 H_1 と D_{cy} の関係^{23) 24) 25)}

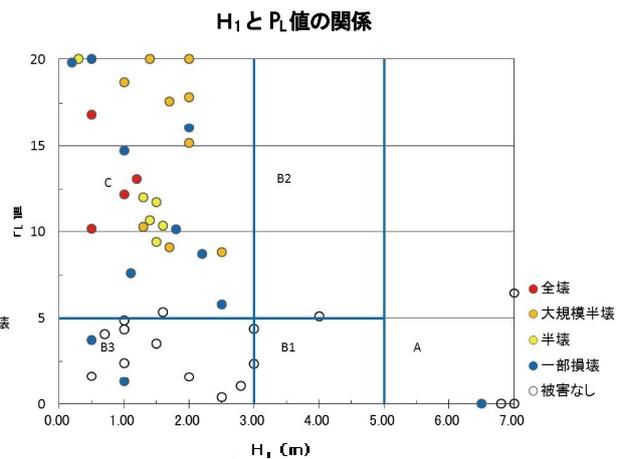


図5-33 H_1 と P_L の関係^{23) 24) 25)}

(3) 非液状化層厚 H_1 と液状化層厚 H_2 の関係による判定方法の見直し

図 5-35 は、小規模建築物基礎設計指針に示されている簡易判定法で、沖積層を対象として土質と地下水位を確認することにより、液状化によって発生する地表面の変状の程度を推定しようとするものである。具体的には、確認した土質と地下水位によって図 5-35 (b)に基づき、非液状化層厚 H_1 とその下部の液状化層厚 H_2 を設定し、図 5-35 (a)によって液状化の影響が地表面に及ぶ程度を判定する。ここで、非液状化層とは地下水位より浅い砂層、または粘性土（細粒分含有率 $F_c > 35\%$ の粒度の土層）であり、液状化層とは非液状化層下面から地表面下 5m までの砂層をいう。この図から、少なくとも非液状化層厚 H_1 が 2.0m あれば「タイプ 1（最低限の地震動）：200gal、M7.5」相当の地震で、液状化による地表面に被害がおよぶ程度は中または小である。液状化による地表面の変状が建物の被害に大きな影響をおよぼすことを考えれば、この判定方法は簡易判定方法として有効であるため、この図を用い地下水低下工法の効果について各液状化対策委員会において評価・検討する。

なお、図 5-34 は図 5-32、図 5-33 の判定結果を H_1 と H_2 の関係に表わしたものである。この図から東北地方太平洋地震（タイプ 2：今次災害）においても、 H_1 が 3.0m あれば家屋の被害が「一部損壊か被害なし」となっている。

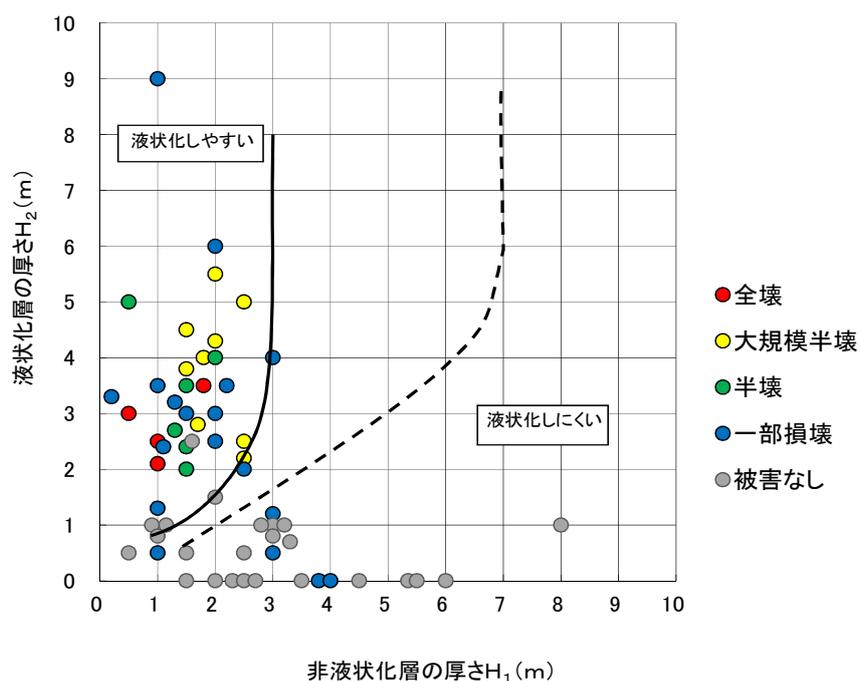
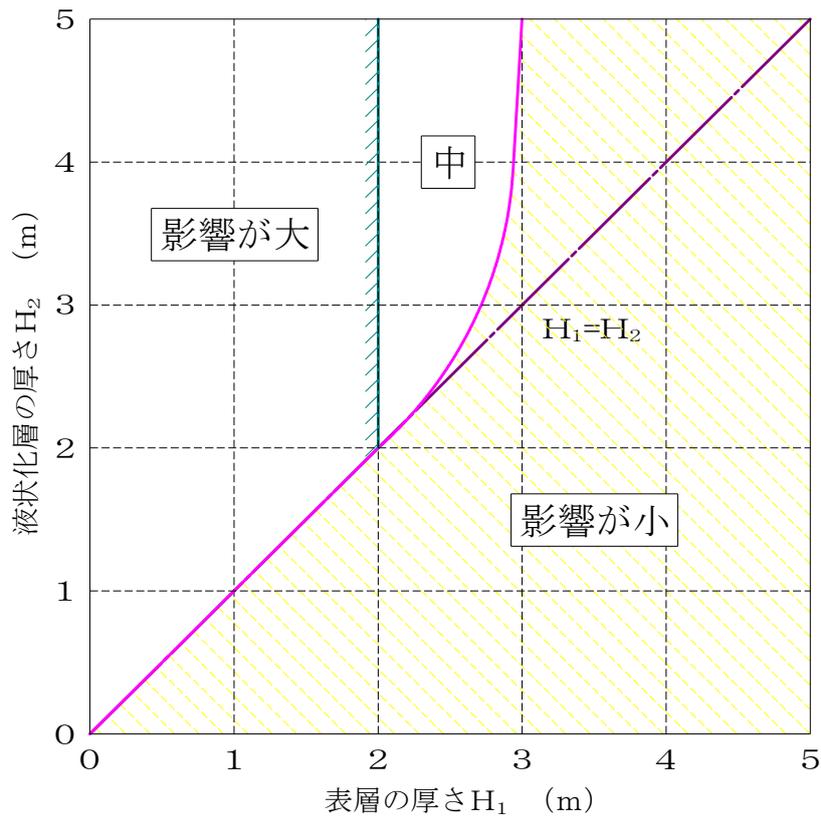
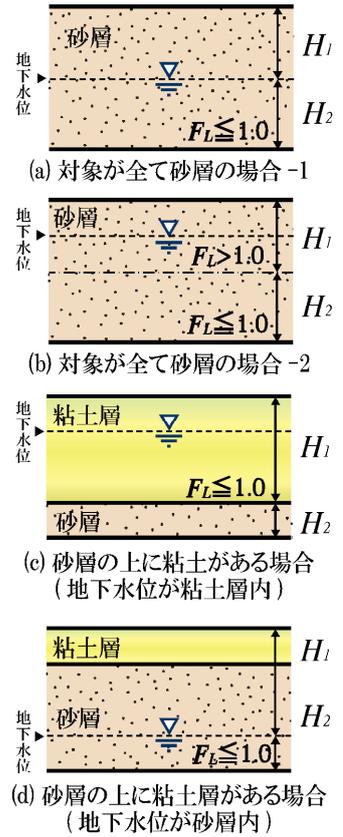


図 5-34 H_1 と H_2 の関係^{23) 24) 25)}



(a) H_1 と H_2 の関係



(b) 設定方法

図5-35 液状化の影響が地表面に及ぶ程度の判定⁹⁾

注1) 地表面水平加速度値 200cm/s^2 相当する。

(4) 対策工法の追加

上記(2)～(3)の判定基準評価方法の見直しでも地区として必要な効果が得られない場合は、その原因を推定し、簡易井戸の設置等の追加対策の検討を行う。住宅地における井戸の設置に関しては前述したように我孫子市で実証実験が行われ¹⁸⁾¹⁹⁾それをもとに設置計画の検討が行われたため、以下に紹介する。ここでは図5-36に示すような平面配置で以下に示すように浅井戸を設置することが検討された。

- ①実証実験の結果から、1本の揚水井戸で地下水位低下が見込める範囲は、半径20mとなる。
- ②区域内に設置する井戸は、面積(ha)÷半径20m/箇所×1.5（設置場所が限られるため一部重複する箇所を想定）＝設置箇所で設ける。
- ③約1平方メートルの敷地、ポンプ設備、揚水井戸、電源引き込み柱を設置する。
- ④具体的に井戸を設置する箇所と使用するポンプとしては、i)道路内の側溝下などに井戸を設置し水中ポンプで汲み上げるか、ii)宅地内に井戸を設置して家庭用浅井戸で汲み上げる。両者の比較をすると表5-18となる。

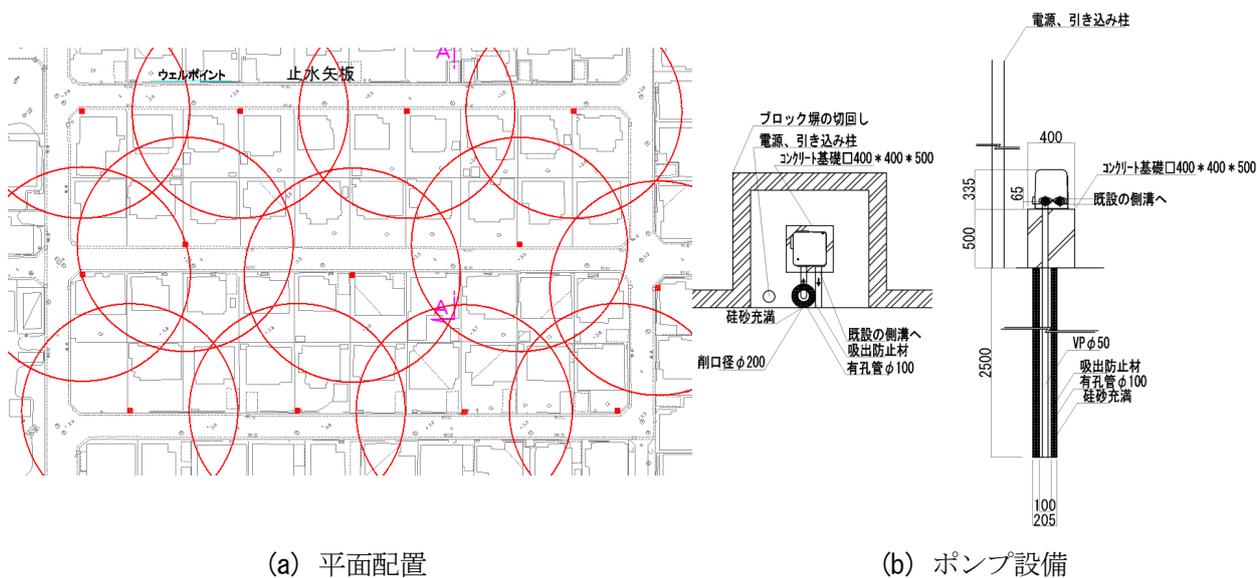


図 5-36 揚水井戸の設置

表5-18 水中ポンプと家庭用浅井戸の比較

①水中ポンプ(道路内に設置)	
概略図	
耐用年数	一般的に3年程度
メンテナンス	1年に1度定期点検、3年に1度製品交換
設置	消乱φ300、揚水井戸φ250を施工し、上部の集水升から排水する。
電源	箇所毎に引き込み柱を設置し電源供給
制御	井戸内に水が無くなれば単体で自動停止
②家庭用浅井戸(宅地内に設置)	
概略図	
耐用年数	一般的に7年程度
メンテナンス	1年に1度定期点検、4年に1度製品交換
設置	消乱φ75
電源	箇所毎に引き込み柱を設置し電源供給
制御	水位センサーを設置し、別途制御が必要(引き込み柱に制御板設置)

5-12 地下水位低下工法の留意事項

地下水位低下工法を採用する場合、開削工法で土留めをする際には、簡易土留めや土留網矢板を用いて掘削する時に家屋等への影響が生じる恐れがあることから、予め施工計画には地下水位及び沈下量を監視する基準値を設定し、基準値を超過した場合には、施工計画等を見直す必要がある。

地下水位を低下させる際に、その地下水位を急激に低下させると、排水管近傍と離れた所に水位差が生じ、圧密沈下量が異なって不同沈下が発生して家屋等への影響が生じるおそれがある。そのために、排水を開始した場合には、この沈下を緩和させるためにモニタリングを行いながら段階的に時間をかけて地下水を低下させる等、初期排水量を調整することも考慮する必要がある。

一方、地下水位は降雨・積雪により季節変動し、粘性土が厚い場合には長期的な圧密沈下が生じることも考えられるため、長期的なモニタリングにより地下水位や地盤沈下量を計測することが望ましい。

また、ポンプや排水管の維持管理を行い、必要な機能を維持できるよう留意する。

1. 施工時の留意点

開削工法で土留め工をする際に、ボーリング、パイピング、盤膨れ対策としてウェルポイント等により地下水を低下させる場合、地下水の低下により周辺地盤の不同沈下が発生して家屋などの周辺構造物に影響を与える恐れがある。また、簡易土留めや土留網矢板を用いて掘削する時に土留め壁が変形して近傍の地盤に変状が生じたり、土留め矢板撤去時に地盤を緩めたりして家屋などの周辺構造物に影響を与える恐れがある。

このため、施工計画には予め地下水位と沈下量の基準値を設定するとともに監視体制を定めておく必要があり、施工時において基準値を超えた場合には、直ちに施工を中止し、土留め工法の変更や土留め矢板の存置など施工計画を見直す必要がある。

図5-37に地下水位低下工法における確認事項のフローを示す。

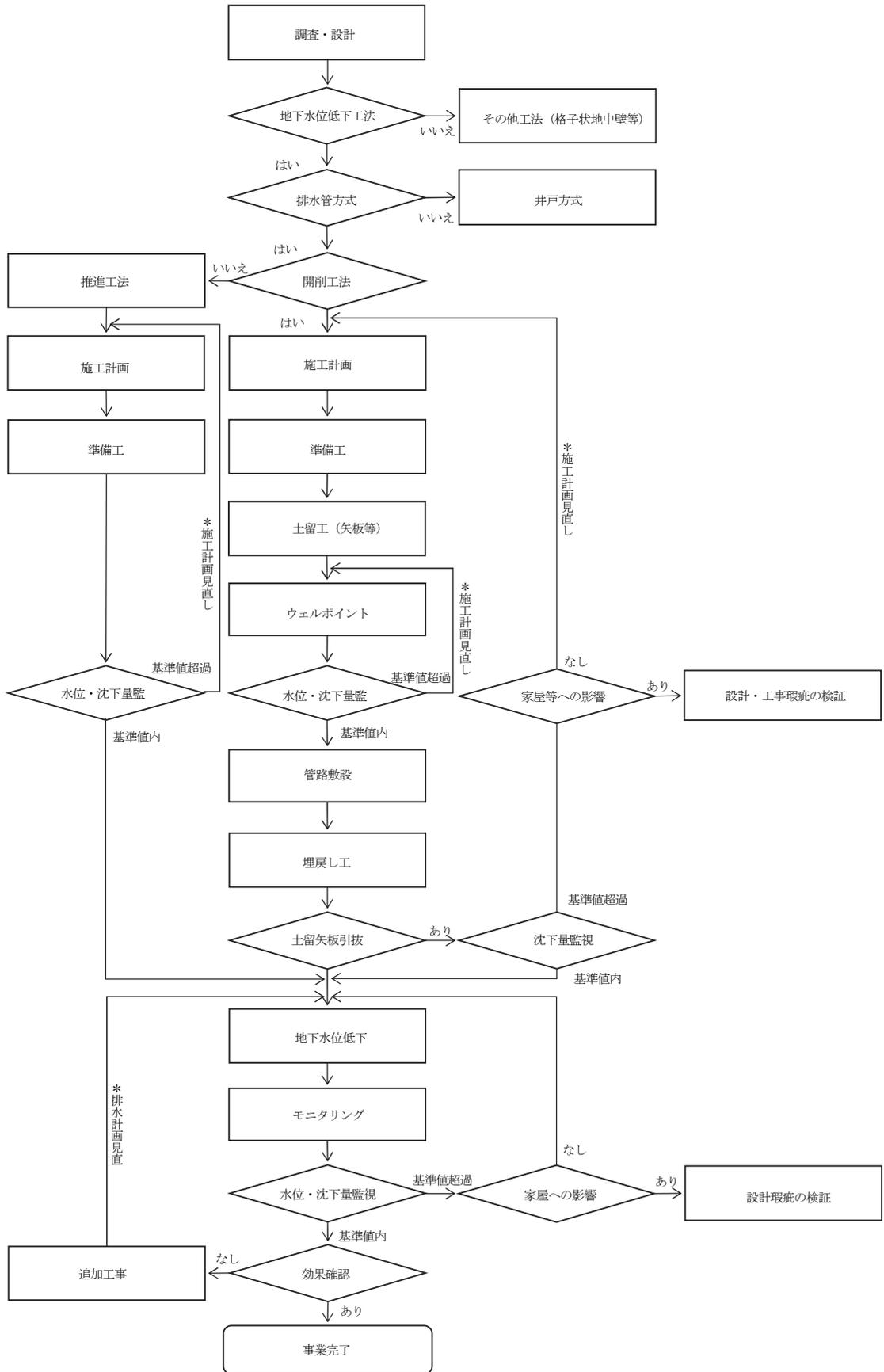


図 5-37 地下水低下工法における確認事項 (本体工事および効果確認)

2. 排水時の留意点

地下水位低下工法は地下水位を低下させることによって地盤の沈下が発生し、建物の不同沈下に影響を及ぼすおそれがある。この影響を軽減するためには、不同沈下量を少なくさせることが重要となる。つまり、水位低下開始初期は、急激な地下水位低下に伴って排水管近傍と離れた所に水位差が生じ、圧密沈下量が異なって不同沈下が発生して家屋等が影響を受ける可能性があるため、**図5-38**及び**図5-39**に示すように段階的に地下水位を低下させる等、地下水位と地盤の変位を確認しながら初期排水量を調整することが望ましい。自然排水の場合においてもマンホール内に新たに排水量調整器具を設置する等地下水位の低下量を調整することが望ましい。

なお、地下水位低下にかかる時間や調整方法等については、各液状化対策事業地区で地盤の特徴が異なることから、検討委員会による検討を行い、その目安等を検討することが重要である。

また、急激な地盤の沈下等が確認された場合、排水を中断して検討会で確認することや、当初目標とする地下水位に達しなくとも、これ以上水位を低下させると地盤沈下等が生じる場合には、その影響と液状化対策効果について再検討し、目標とする地下水位を状況に応じたものとするとも考えられる。

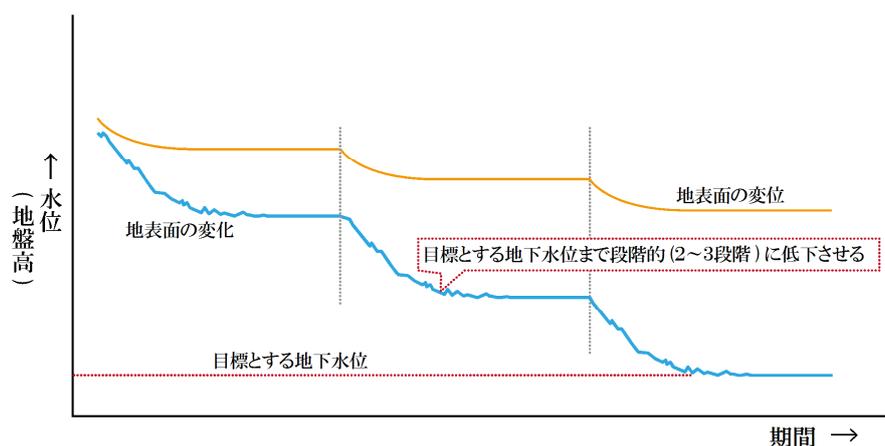
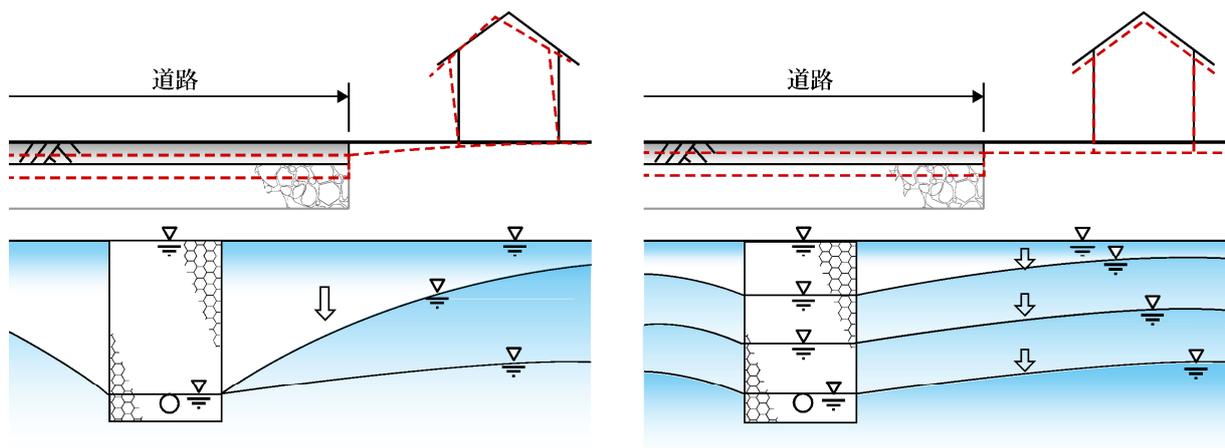


図 5-38 段階的な地下水位低下のイメージ



(a) 急激に水位低下させた場合

(b) 段階的に水位低下させた場合

図 5-39 地下水を急激に下げた場合と段階的に下げた場合のイメージ

注) 家屋への影響をできるだけ少なくするために段階的に地下水を下げるのが望ましい

2. 施設等の調整工事について

不同沈下に留意しながら地下水位を下げた場合でも、地盤の条件によっては地盤の変位は生じる可能性もあることから、地表面や配管等の施設に生じた段差や勾配等の解消については、地盤変動が落ち着いた後、事業完了に向けて工事等により対応するのが望ましい。

3. 事業完了後の施設管理のあり方

地下水位低下工法の事業完了後の施設管理は、地下水位の低下状況や集水管の清掃タイミングなどの確認のため、長期的モニタリングを継続して行うことが望ましい。長期的な観測にあたっては、それまでの観測データや土地利用状況を考慮し、具体的な密度や頻度について、かかるコストにも十分配慮し、メンテナンスの実施時期等判断できるよう将来の管理方法とその費用、管理者についても検討しておくことが望ましい。

<参考文献>

- 1) 地盤工学会：液状化対策工法、第3章、pp.345、2004.
- 2) 雨水貯留浸透技術協会：雨水浸透施設技術指針【案】調査・計画編、第3章、pp.25、2006.
- 3) 山海堂：実例・経験に基づく掘削のための地下水調査法、1990.
- 4) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説、第6章、pp.381、2004.
- 5) 地盤工学会：地盤調査法、pp.289～290、1996.
- 6) 鹿島出版会：土質調査の基礎知識、第5章 pp.37、1986.
- 7) 国土交通省・国土技術政策総合研究所：宅地の液状化被害可能性判定計算シート、
<http://www.nilim.go.jp/lab/jbg/takuti/downloads.html> (2014年1月15日閲覧)
- 8) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、2001.
- 9) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針、2008.
- 10) 日本建築学会の住まいづくり支援建築会議の復旧・復興支援 WG「液状化被害の基礎知識」、
<http://news-sv.ajj.or.jp/shien/s2/ekijouka/>
- 11) 安田進、橋本隆雄：鳥取県西部地震における住宅の液状化による沈下について、土木学会第57
回年次学術講演会、pp.1029-1030、2009.
- 12) 橋本隆雄・安田進・伏見修：我孫子市における汲み上げ方式による地下水位低下工法の実証実
験について、地盤工学会関東支部第11回地盤工学会関東支部発表会、2014.10
- 13) 橋本隆雄・安田進・伏見修：我孫子市における地下水位低下工法による液状化対策の実験、第
59回地盤工学シンポジウム 2014.11
- 14) 安田進・橋本隆雄：水位低下による液状化対策における地盤の沈下量と水圧低下、第50回地盤
工学研究発表会平成27年度発表講演集、CD-ROM、2015.9
- 15) 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、
土木学会第70回年次学術講演会講演概要集、CD-ROM、1015.10
- 16) 橋本隆雄・安田進・山田 恭央・和田 陽介：鹿嶋市平井東部地区の砂利採取跡地における液状
化軽減対策、第14回日本地震工学シンポジウム、CD-ROM、2014.12
- 17) 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：造成宅地の耐震対策に関する研
究小委員会報告書-液状化から戸建て住宅を守るための手引き-、 2013.5
- 18) 橋本隆雄：神栖市地下水位低下液状化対策工法の実験について、Geo-Kanto2013 第10回地盤工
学会関東支部研究発表会発表講演集、CD-ROM、2013.10
- 19) 橋本隆雄・安田進・内田秀明：地下水位低下による液状化対策地盤における降雨と水位の関係、
地盤工学会関東支部第12回地盤工学会関東支部発表会、地盤工学会関東支部第12回地盤工学会
関東支部発表会、1015.10
- 20) 橋本隆雄・安田進：液状化対策としての広域な地下水位低下方法と排水量、第50回地盤工学研
究発表会平成27年度発表講演集、CD-ROM、2015.9
- 21) 橋本隆雄・森口 剛・清水敏孝：非開削敷設型（推進）集排水管による地下水位低下工法実験
の検証、地盤工学会関東支部第12回地盤工学会関東支部発表会、1015.10
- 22) 国土交通省都市局：宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針、
<http://www.mlit.go.jp/common/000993582.pdf>

- 23) 橋本隆雄・宗川清・明石達生・大橋征幹：東北地方太平洋沖地震における宅地の液状化被害可能性の簡易判定手法の検証、土木学会 第 33 回地震工学研究発表会講演論文集、CD-ROM、2013.10
- 24) 橋本隆雄・宗川清・明石達生・大橋征幹：東北地方太平洋沖地震における宅地液状化被害可能性の検証、日本地震工学会第 10 回年次大会梗概集、CD-ROM、2013.11
- 25) 橋本隆雄・宗川清・明石達生・大橋征幹：液状化ハザードマップのための液状化被害可能性簡易判定手法の研究－東北地方太平洋沖地震における検証－、「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-」論文集、2014.5
- 26) 橋本隆雄・安田進・山口亮：東北地方太平洋沖地震による液状化被災地区における住宅の傾斜とめり込み沈下量の関係、第 47 回地盤工学研究発表、pp.1487-1488, 2012.

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

格子状地中壁工法は、セメントなどの改良材を地中に供給し、原地盤の軟弱土と改良材を強制的に混合攪拌することで、地中に柱列状の固化壁を造成し、これらを格子状に配置し液状化地盤を囲い込むことで、地盤のせん断変形を抑止し液状化を抑制する工法で、施工性について十分に調査・検討して工法を採用する必要がある。本工法の採択にあたっては、地下水位低下工法と比較して、施工性、施工コストについても十分に考慮しつつ調査・検討を進める必要がある。

特に、施工にあたっては、地中壁全体としての設計強度を確保するため、改良体の一体性を確保することが重要な要求性能の一つとなり、地中壁の改良方式の違いや強度などを考慮しつつ、その鉛直精度ならびに接合部の品質面においても要求性能を満足できるよう留意する必要がある。

1. 格子状地中壁のメカニズム ^{1),2),3),4)}

本工法は、図6-1のようにセメントなどの改良材を地中に供給し、原地盤の軟弱土と改良材を強制的に混合攪拌することで、図6-2のように地中に柱列状の固化壁を造成し、これらを格子状に配置し液状化地盤を囲い込むことで、地盤のせん断変形を抑止し液状化を抑制する工法である。また本工法は、低騒音、低振動であること、早期強度が得られること、粘性土と砂質土の双方に適用できることなどの特徴を有している。

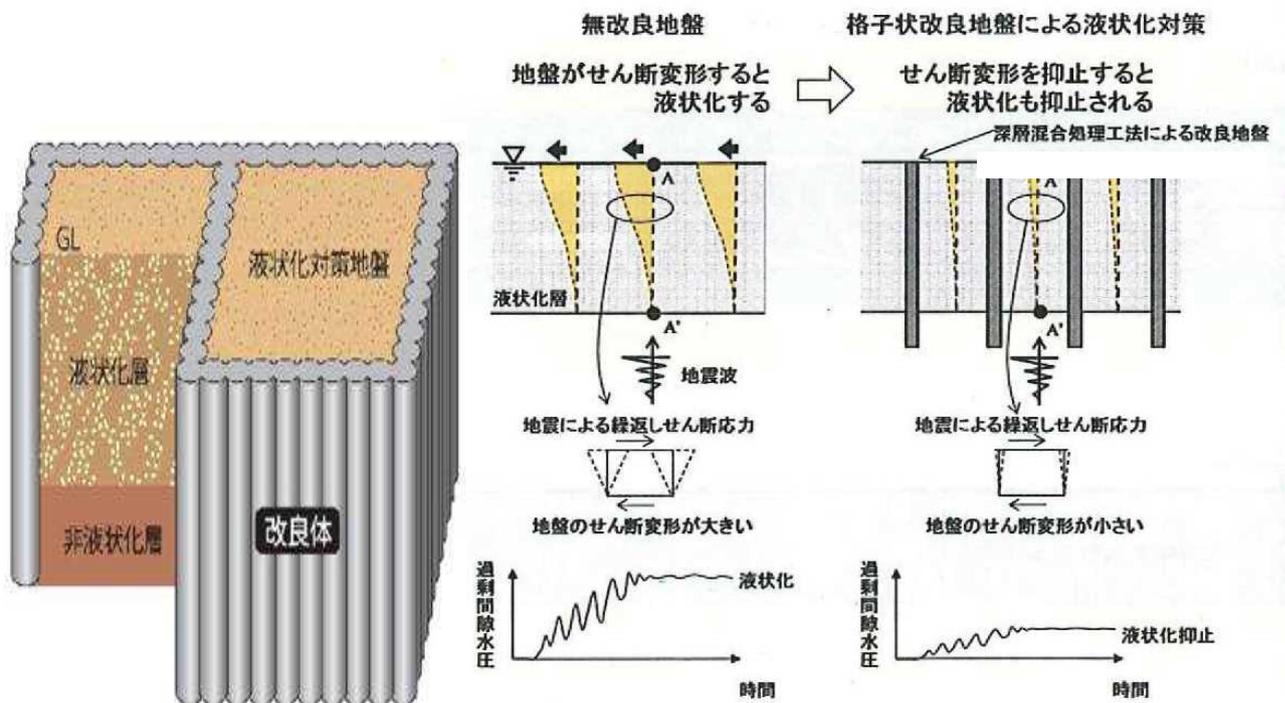


図 6-1 格子状地中壁のイメージ

図 6-2 格子状地中壁の液状化抑制メカニズム

2. 格子状地中壁の種類

格子状地中壁工法は、機械攪拌式と高圧噴射式に大別される。

- ①機械攪拌式は、スラリー状の改良材と原地盤の軟弱土を機械攪拌式翼により攪拌混合して改良体を造成する方法である。
- ②高圧噴射式は、高圧の空気、水及びグラウト材で改良範囲の原地盤を粉碎し、切削部分にセメント系改良材を充填あるいは改良材と切削土の一部を混合する方法である。

3. 宅地における格子状地中壁

本工法の施工にあたり、改良壁の一体性の確保が重要な要求性能の一つとなる。元来、本工法は機械攪拌式の大型施工機の使用を前提に開発された工法であり、改良体の鉛直精度や接合性については、これまでの数多くの研究や実施工において実証がなされている。

機械攪拌式地盤改良工法は、**図6-3(a)**に示すように地中に円柱状の改良体を非液状化層まで連続して造成する液状化対策工法である。小型の施工機械は、自走可能なクローラータイプのベースマシンに単～複数軸の掘削・攪拌ロッドを装備し、セメントスラリーを吐出しながら掘削・攪拌することで原地盤を柱状に地盤改良するものであり、騒音・振動など環境面にも配慮した工法である。現存する宅地向け小型機の大きさは、幅1.9～2.5m、長さ4.5～7m、高さ8～10m程度であり、更地は勿論であるが、道路部や比較的隣棟間隔が広い(3m程度)住宅境界部への使用に適している。機械攪拌式は、安定した改良体の品質(改良強度・均質性・一体性)が得られ、コストも高圧噴射式に比べ低く抑えられることから、施工条件(施工スペース、埋設物など)が許す限り機械攪拌式工法の適用が望ましい。

一方、高圧噴射式地盤改良工法は、**図6-3(b)**に示すように既存宅地など施工スペースが確保しにくい場所での地盤液状化対策に有利な工法である。同工法は、機械式の掘削・攪拌翼に代わって、地中でセメントスラリーなどの硬化材を超高圧で噴射し、地盤を切削しながら改良体を造成するものであり、円柱状、壁状、扇形、格子状などさまざまな改良体を造ることができるほか、最大で半径4メートルの大口径の改良体が構築できる。超小型の施工機械は、例えば長さ80cm、幅60cm、高さ1m70cm程度の大きさで、塀や駐車場、植栽、軒下を極力撤去せずに一戸建て住宅の周囲に改良体を構築することが可能となる。一般的な柱状改良体を柱列状に造成する場合、その排泥の多さから機械攪拌式に比べコスト高となるが、壁状に改良すること等によるコスト縮減が期待されている。ただし、高圧噴射工法は建築基礎を目的とした格子状地盤改良工法として適用した実績が少なく、建築の視点から見た要求品質の確認(改良強度・ばらつきの確認、有効壁厚の確保、ラップ部の一体性確認)及び、それらを確保するための品質管理手法の確立、また、浅層部の改良に伴う周辺地盤への影響確認なども必要である。

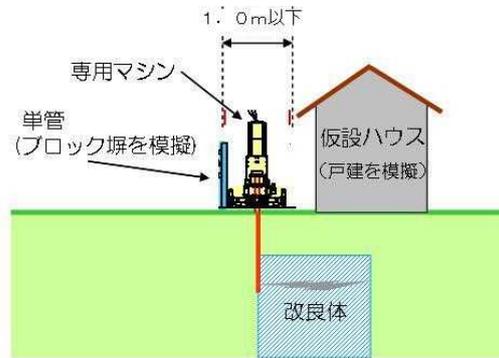
戸建て住宅地における施工においては、コスト縮減及び施工条件により、異なる種類の施工機械を利用することになるため、改良方式の違いなどを考慮し、改良体の鉛直精度ならびに接合部の品質面において、要求性能を満足できるよう留意する必要がある⁵⁾。



(a) 小型機械攪拌式地盤改良機



(b) 高圧噴射式地盤改良機-1



(c) 高圧噴射式地盤改良機-2

図 6-3 格子状地中壁の各種施工機械

6-2 格子状地中壁工法に適した地盤条件等について

格子状地中壁工法は、基本的に地盤条件等に応じて格子状改良体を設計することになるが、以下のような地盤条件等に適した液状化対策工法である。

- ①一定のN値が確保されている地盤
- ②敷（画）地割が比較的整形であり、高低差が小さい土地利用
- ③敷（画）地割が大きすぎず、一定の隣棟間隔が確保されている家屋配置

格子状地中壁工法は、地中に柱列状の固化壁を造成し、これらを格子状に配置し液状化地盤を囲い込むことで、地盤のせん断変形を抑え地盤の液状化を抑制し、地震時における宅地地盤の沈下量の軽減を図る工法である。

初期投資はかかるものの、施工時の品質管理を十分に行えば施工後の長期的な維持・管理に要する経費が比較的小さく、地下水位低下工法で懸念されるような水位低下に伴う下部粘性土層における圧密沈下等の影響も小さい工法である。また、改良体設置後は、格子状に囲まれた宅地ごとに個別の対策を追加的に施すことで、隣接する宅地への影響を抑えつつ、居住者の個別のニーズに即した対策が比較的取りやすくなる工法である。

1. 一定のN値が確保されている地盤

格子状地中壁工法は、基本的に地盤条件等に応じて格子状改良体の設計を行うこととなり、液状化層の深さや砂の透水係数による制約は比較的小さいが、一般的に、N値が小さくなると格子の間隔を狭くする必要が生じる。液状化被災市街地において同工法を適用する場合には、既存の家屋を残したまま、敷地境界等の下部又は近傍に地中壁を設置することが多いものと想定されることから、格子の間隔は、既存の敷（画）地割を前提とすることが求められ、N値が小さい場合には、格子状改良体による地盤のせん断変形の抑止効果の発現が得られにくくなる場合が生じるものと考えられる。

2. 敷（画）地割が比較的整形であり、高低差が小さい土地利用

格子状地中壁工法は、その改良体を既設の家屋直下を避けて配置するように設計を行うことから、通常の場合、隣接地との境界下部に設置することが多い。このことから、隣接地との境界面である敷（画）地割が比較的整形であり高低差が小さい地盤でない場合、格子の形状が複雑になり、地盤のせん断変形を均一に抑止し、液状化を抑制することが困難となる可能性がある。

3. 敷（画）地割が大きすぎず、一定の隣棟間隔が確保されている家屋配置

格子状地中壁工法は、地盤の模型振動実験を用いた検討等によると、一般的に、格子間隔Lと格子深さHとの比L/Hが小さいほど格子壁内の過剰間隙水圧の低減効果が高いものとされている。このことから、敷（画）地割が大きくなれば、改良体を設置する深さについても深くする必要が生じることが想定され、費用対効果が低減するものと考えられる。

また、敷地境界の下部に改良体を設置することも想定されることから、敷（画）地の背割部分を含め、家屋相互の隣棟間隔についても、施工機械の設置が可能となる程度のスペースが確保されていることが望ましい。

6-3 格子状地中壁工法の調査・試験について

格子状地中壁工法の設計、施工を行うにあたり、調査・試験が必要となる。
 調査・試験には、事前、施工中、事後の調査があり、事前調査は主に設計及び配合計画のために行い、施工中調査は周辺への影響、事後調査は出来上がった改良体の出来形や品質を確認するために行うものである。戸建て住宅地での検討に際しては、要求性能に応じて、その調査・試験の項目や範囲を適切に決定する必要がある。

格子状地中壁のための調査・試験⁶⁾は、事前・施工中及び事後に行う調査があり、事前調査には以下のようなものがある。

- ①原地盤の土質調査
- ②室内配合試験
- ③水質調査（事前・施工中・事後）
- ④地盤改良の土質調査（事後）
- ⑤掘起こし調査（事後）

表6-1に格子状地中壁を含む固結工法の検討で行われる調査・試験の項目について主要なものをまとめて示す。また、必要とされる強さを把握するための安定剤の添加率を求めるために行う②室内配合試験について図6-4に一般的なフローを示す。

表 6-1 固結工法のために必要な試験・調査項目

調査時期	調査・試験の種類	調査・試験の項目	設計時	施工時	
事前調査	原地盤の基礎資料の調査	土質区分	○	○	
		障害物の有無		○	
		土粒子の密度	ρ_s	○	
		粒度	D_{50}, U_c	○	
		単位体積重量	γ	○	
		pH(水素イオン濃度)	pH		○
		含水比	w		○
		弾性波速度	V_s	△	
		N値	N	○	○
		透水係数	k	△	
		強熱減量	Li		△
		有機炭素含有量	C_o		△
		地下水位	GL	○	○
		室内配合試験	一軸圧縮試験	q_u	○
	六価クロム溶出試験	六価クロム溶出量		○	
事前・施工中・事後調査	水質調査	pH(水素イオン濃度)	pH	△	
		SS(浮遊物質)	ss	△	
	既設構造物等への影響の調査	地盤変位、構造物変位	$\Delta x, y, z$		○
事後調査	改良地盤の調査	単位体積重量	γ	△	
		含水比	w	△	
		弾性波速度	V_s	△	
		一軸圧縮試験	q_u	○	
		三軸圧縮試験	C、 ϕ	△	
		繰返し三軸試験	G、h	△	
	出来形の確認	掘起こし調査		△	

○: 必須 △: 必要に応じて実施

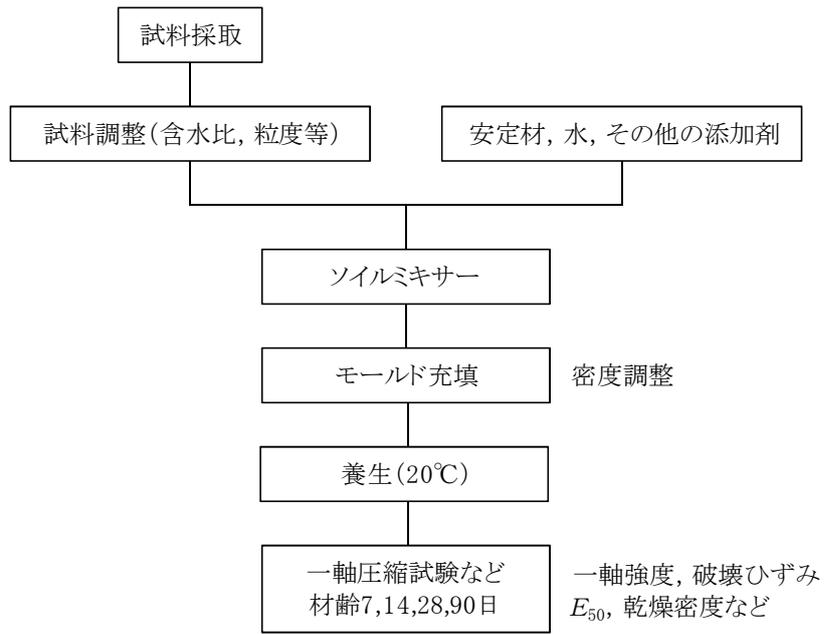


図 6-4 室内配合試験フロー

6-4 格子状地中壁工法の検討について

格子状地中壁工法の適用可能性の検討は、電算解析によることを基本とする。対策効果の評価は、下記①～③の指標を算出して行う。

具体的には、 F_L 値や D_{cy} 値の算出は2次元等価線形地震応答解析によって算出する方法が考えられる。この解析は改良壁による拘束効果をモデル化した地盤の地震応答解析であり、解析結果から地盤の液状化に対する安全率（ F_L 値）を算出し液状化の発生の有無について評価ができる。なお、より詳細な2次元や3次元の有効応力解析を行うと、過剰間隙水圧比の分布が求まり、液状化の発生の有無について、より精度の高い評価を行うことができる。

①液状化判定指標（ F_L 値）

②液状化による地表変位量（ D_{cy} 値）の計算

③改良壁の水平支持力度の計算

なお、格子状地中壁工法の適用可能性の初期の検討に当たっては、概ねの対策効果を簡易に把握するために、簡易評価シート（国土交通省・国土技術政策総合研究所）が活用できる。

1. 地域で取り組む地盤の液状化対策のための格子状地中壁工法の効果の簡易評価シート

ここでは、当該専門的な解析を行うに先立ち、同工法の適用可能性について、簡易に検証するため、**<資料編6-1>**の国土交通省・国土技術政策総合研究所において公表されている簡易評価シート⁸⁾の活用について示す。

格子状地中壁工法は、地盤状況や街区構成、敷地の大きさ等により個別性が高く、その設計にあたっては、**<資料編6-2>**の2次元等価線形地震応答解析での検証等が必要となる。

この簡易評価シートは、地域で取り組む液状化対策の有力な工法である「格子状地中壁工法」について、各地区の地盤状況（N値、液状化層厚、細粒分含有率など）と、対策として適用する地中壁の格子の大きさや強度をプルダウンメニューから選択することによって、液状化判定指標（ F_L 値）と液状化による地表変位量（ D_{cy} 値）を簡単に算定するための支援ツールである。東日本大震災による液状化被災地の自治体において、「格子状地中壁工法」の適用の可否を検討するための支援を目的に作成されている。

「計算シート（解説）」に基本となる条件で計算した結果が表示されており、ツールの機能を確認することができる。なお、この計算結果は、概括的な予測を目的として、一定の条件を前提にして2次元等価線形地震応答解析を行った計算値を示したものである。

簡易評価シートは、東日本大震災による液状化被災市街地における迅速な対応を支援するため、概ねの対策効果を簡易に把握するために作成したシートであり、当該計算結果について再液状化の発生の有無や沈下量等について保証するものではない。従って、工法を実際に適用する場合には、各地域の詳細な地盤状況や、住宅地の敷地割りなどを考慮した設計・施工方法の具体的な検討が必要である。また、工法を実際に適用した場合の詳細は、地盤調査の精度、設計・施工管理の方法、地盤状態の経年的な変動及び遭遇する地震波の特性などの影響を受けることになるので注意が必要である。

このシートの計算条件は、**図6-5**のような道路と宅地の配置を想定している。

①地表から液状化層となる砂層が続く地盤

②少なくとも4戸以上の住宅が連続してあり、その周囲には幅4～9mの道路がある宅地

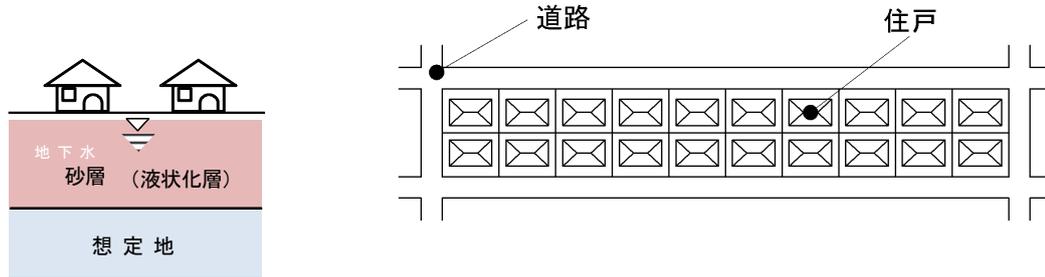


図 6-5 道路と宅地の配置イメージ

格子状地中壁のモデルは、図6-6に示すように住宅敷地の多様な規模・形状を想定して、表6-2の18ケースを設定し、地中壁の強度については、機械攪拌式を想定した $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ を標準とする4種類を想定して解析計算を行っている。

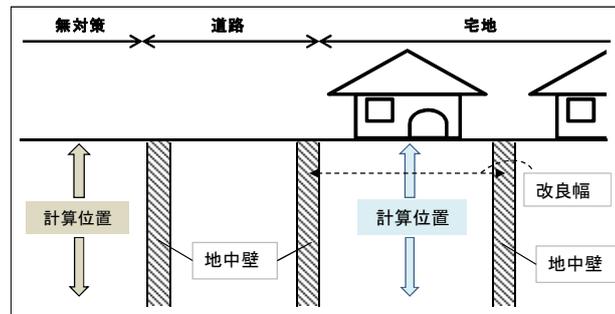


図 6-6 解析断面モデル

表 6-2 住宅敷地（格子形状）と地中壁強度の設定ケース

敷地の奥行き	敷地の幅
10m	6m、8m、10m、12m、14m、16m、20m
15m	6m、8m、10m、12m、14m、16m、20m
30m	15m、20m、30m、40m
地中壁の強度	0.75、1.0、1.5、3.0 (N/mm^2)

また、地盤モデルと地盤定数については、液状化のおそれのある宅地地盤の条件が多様なため、多様な地域が各々の状況に比較的近い条件による計算結果を得ることができるように、液状化層厚（4種類）、砂層地盤の N 値（4種類）、細粒分含有率（4種類）、地下水位（2種類）を設定している。

表6-3は解析計算を行った地盤モデルの断面パターン、表6-4は地盤状況の設定ケースを示している。

表 6-3 地盤状況の設定ケース

地盤の状況	設定ケース
液状化層の厚さ	5m、10m、15m、20m
N 値	3、5、10、15
細粒分含有率	0%、10%、20%、30%
地下水位	GL-1m、-2m

表 6-4 解析モデルの基本ケース

下端深度(m)	液状化層厚			
	5m	10m	15m	20m
5	砂			
10		砂		
15			砂	
20				砂
25	粘土(200)	粘土(200)	粘土(200)	粘土(200)
30				
35	砂(250)			
40		砂(250)		
45			砂(250)	
50				砂(250)
55	工学基盤(400)	工学基盤(400)	工学基盤(400)	工学基盤(400)
60				

()内は Vs 値 (m/s)

簡易シートの作成手順は、図6-7に示す様に、解析断面を設定し、地盤定数等のN値、液状化深さ、細粒分含有率 F_c 、地下水位、格子状改良間隔（幅×奥行）、道路幅、地中壁強度のパラメータを入力する。その結果、液状化の簡易判定により、以下を算出し検討を行う。

①液状化判定指標 (F_L 値)

②液状化による地表変位量 (D_{cy} 値)

簡易計算は、以下の手順により行われる。

①深度(地表面からの深さ)0.5m ごとに液状化判定指標 F_L 値を計算する。

②地下水位より浅い深度の計算は行っていない。

③ F_L 値が 1.0 より小さい場合は「液状化する」と判定され、液状化判定欄に「×」が表示される。

1.0 より大きい場合は「液状化しない」と判断され空欄となる。

④計算結果は、表 6-5 に示すように地震波 a と地震波 b の 2 つに対して行われる。

表6-5 入力地震動

地震動の種類	地震加速度	震源規模	波形
(a)巨大地震による中程度の揺れ	200gal	M9.0	東日本大震災の夢の島観測波
(b)直下型地震による大きな揺れ	350gal	M7.3	中央防災会議東京湾北部想定波

⑤対策効果の確認のため、無対策の場合の計算結果も表示される。

⑥格子状地中壁が地震により壊れる可能性がある場合は、改良壁の水平支持力度の計算結果から「検討対象外」である旨が表示される。この表示が出た場合は地中壁の強度を変更する。

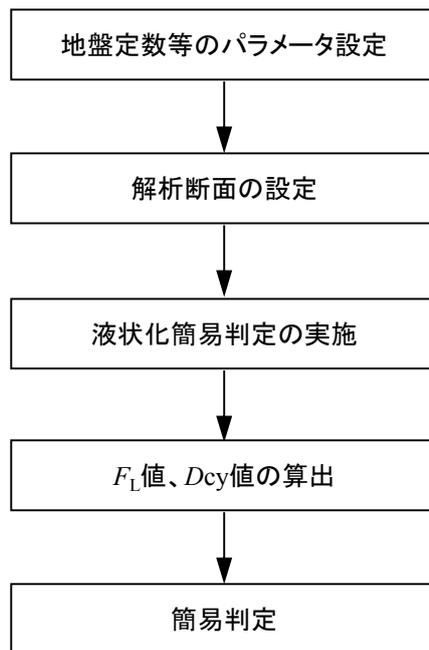


図 6-7 簡易シート作成フロー

2. 格子状地中壁工法の検討手順

格子状地中壁工法の検討は、全体一体挙動が確保できる範囲でその仕様を設定できれば、ブロック状の改良地盤の検討方法と基本的に同じである。図4-41に格子状地中壁工法の検討フローチャートを示す。また、改良壁の検討フローを図6-8に示す。格子状地中壁工法は、全体一体挙動を保てるだけの全体としての高い剛性が必要なため、格子壁の面内剛性を高めるべく、格子壁をラップ配置の連続体に施工しておく必要がある。格子状地中壁工法を検討する場合は、格子状の壁で囲まれた宅地地盤（格子内原地盤）が液状化に対して戸建て住宅の沈下量や傾斜角などの許容値の要求性能を満足するように抑制できるかで判断する。

なお、2次元や3次元での有効応力解析の検討方法は、ある程度確立されているが明確になっていないために、その地域の地盤条件等に応じて専門家を含む委員会で選択することが望ましい。

注) : この改良壁の検討内容は、国土交通省・国土技術政策総合研究所ホームページから「地域で取り組む地盤の液状化対策のための格子状地中壁工法の効果の簡易評価シート」⁸⁾をダウンロードして簡易判定が代用できる。

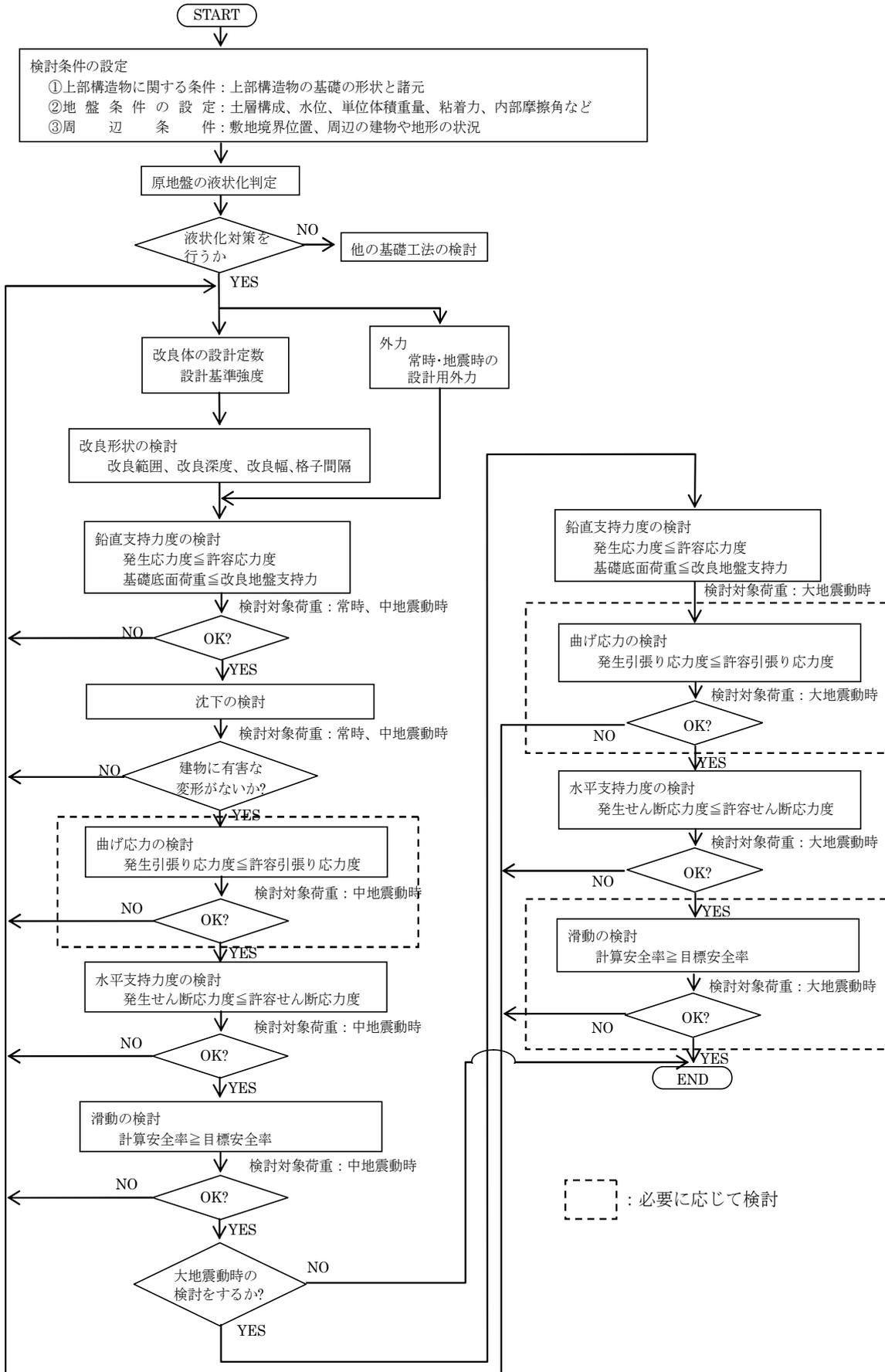


図 6-8 改良壁の検討フロー

3. 格子状改良工法の検討事例

格子状地盤改良工法では、通常は格子内原地盤を液状化させないことを目的として設計する。

一般的に、格子状地盤改良の改良率は20～50%程度とされ、改良地盤全体のせん断剛性は、格子内の液状化していない原地盤と改良体の複合地盤全体のせん断剛性として評価する。従って、格子内原地盤の液状化を抑止するために格子間隔を適切に設定する必要がある。格子間隔の設定法には、実験や解析結果から、格子間隔と液状化抑止効果の関係を図表化し、それらを基に格子間隔を設定する簡易的なものと、有限要素法による地震応答解析結果により検討を行う詳細法があり、実務においては後者による検討が推奨される。諸事情により簡易法のみで設定する場合には、十分な余裕を見込むことが重要である。

以下に上述の方法についての検討例を紹介する。

1) 模型振動実験による検討事例

格子状地中壁地盤の模型振動実験（中型・大型模型振動実験及び遠心模型振動実験）は、過去に行った実験実施例が国土交通省・国土技術政策総合研究所においてホームページに掲載されているので参照されたい。

2) 有限要素法解析による検討事例

有限要素法を用いて格子状地中壁地盤の地震応答解析を行い、格子状地中壁地盤の液状化抑止機能の検討及び格子状地中壁地盤の改良仕様から格子内原地盤の液状化判定をするための検討の報告^{9)～13)}が、地表面加速度 300cm/sec^2 を超える大地震時に対する場合も含めて¹⁴⁾されており、3次元形状を有する格子状地中壁地盤の解析手法として、2次元有限要素法で表現する手法の研究¹⁵⁾や、3次元FEM動的有効応力解析による詳細な研究^{16)、17)}がなされている。

有効応力解析が有効であるが、全応力解析を行う場合は、壁際の地盤の斜めのせん断力の向きに注意が必要である。

6-5 格子状地中壁工法と他工法との組合せについて

格子状地中壁工法は、街区の外周と敷地境界に地中壁（セメント系の改良体、深さは地下水位から液状化層下部まで）を設ける工法である。

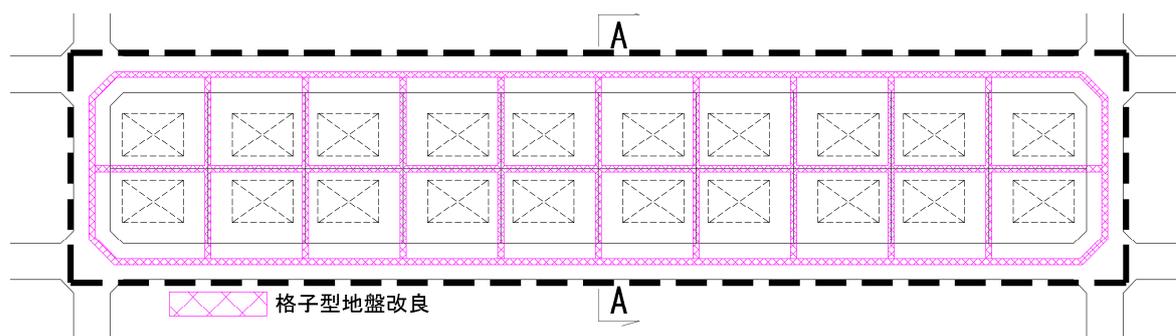
地中壁により、街路や各敷地が仕切られることとなるため、街区一体型の格子状地中壁で一定の水準までの液状化対策を施した後の付加的な対策については、個々の敷地所有者の判断と負担によって、隣接地と独立して対策を施すことが比較的容易となることから、個々の建物更新等に合わせた更なる対策も想定される。

なお、狭い隣棟部分では大型機械での施工が困難となるおそれがある。

1. 基本仕様

格子状地中壁工法は、図6-9のように街区の外周と敷地境界に地中壁を設ける。地中壁のセメント系の改良体深さは、地下水位から液状化層下部までとし、非液状化地盤に定着させることが考えられる。表6-6は、公共施設と宅地部分における主工法となる格子状地中壁工法と副工法の組み合わせである。

(街区平面図)



(街区断面図(A-A))

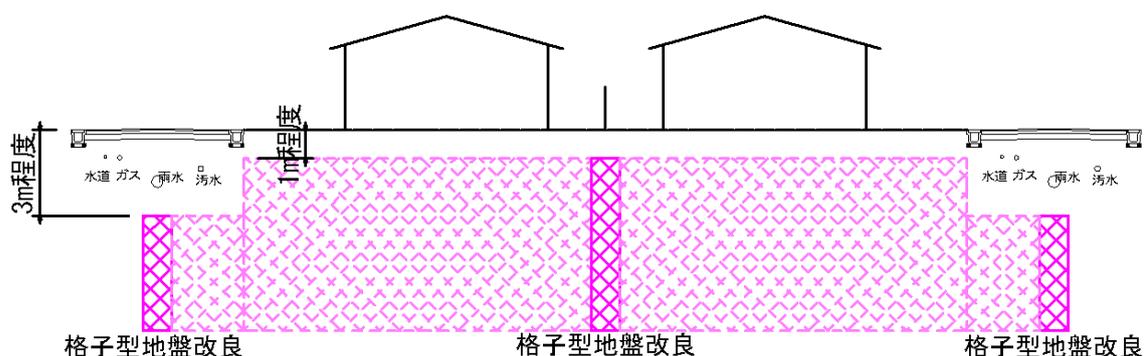


図 6-9 格子状地中壁工法概念図

表 6-6 公共施設と宅地部分における格子状地中壁工法

	公共施設部分	宅地部分
主工法	側溝下等の地中壁で街区を格子状に囲む	敷地境界下にも地中壁を設ける
(副工法)	—	地中壁で囲まれた敷地内は、敷地所有者の個々の判断により、浅層部の締固めや盛土等を適宜行う

2. 組合せ工法

地中壁で個々の建築敷地が仕切られるため、土地所有者各々の判断によって、浅層部の締固めや盛土など、多様な方法を任意に組み合わせることが考えられる。

3. 主な得失

地中壁により、街路や各敷地が仕切られることになるため、街区一体型の格子状地中壁で一定の水準までの液状化対策を施した後、更に高度な対策については、個々の敷地所有者の判断と負担によって行い得るようになるので、追加的な対策の効果が判断しやすい状態が実現される。狭い隣棟部分では大型機械での施工ができないおそれがある。

4. 実施例

広い敷地ではなく建物下に適用した例であるが、格子状地中壁の実施例としては、＜資料編 6-3＞神戸市埠頭地区（旅客ターミナル・ホテル建築物の基礎補強）があるので、参照されたい。なお、東北地方太平洋沖地震における格子状地盤改良を施した建築基礎の挙動については、＜資料編 6-4＞を参照とされたい。

6-6 格子状地中壁工法の施工方法

設計上要求される地中壁の品質を確保するためには、施工前、施工中、施工後に適切な品質管理を行うことが必要となる。品質管理としては、配合管理、施工管理及び品質検査がある。格子状地中壁地盤は軟弱地盤を格子状に改良した上で①複合地盤としての支持力の増大をはかること②改良地盤の液状化を抑制することが要求されている。

改良体の品質は改良体の築造に使用する材料の選定・配合の管理やセメント系固化材スラリーの製造・吐出・混合、改良杭の打設位置、鉛直精度、接合時間等の施工中の施工管理に大きく影響を受ける。このため、さまざまな管理が必要となる。

1. 品質管理

設計の要求する改良体の品質を確保するため、施工前、施工中、施工後に適切な品質管理を実施する。品質管理としては、配合管理、施工管理及び品質検査がある。

格子状地中壁地盤は軟弱地盤を格子状に改良した上で以下のことが要求されている。

①複合地盤としての支持力の増大をはかる

②改良地盤の液状化を抑制する

この設計の要求を確保するためには、格子状地中壁体の品質、強度のばらつきを考慮した所要の平均強度が得られていること、局所的な未改良土の混入部、改良体のラップ部が弱点部にならないこと、六価クロム有害重金属の溶出が無いことが特に厳しく要求される。改良体の品質は改良体の築造に使用する材料の選定・配合の管理やセメント系固化材スラリーの製造・吐出・混合、改良体の打設位置、鉛直精度、接合時間等の施工中の施工管理に大きく影響を受ける。このため、以下の配合管理、施工管理及び品質検査が必要となる。また、図6-10に品質管理の全体フローを示す。

(1) 配合管理

配合管理では、改良対象エリアの推定や土層断面を描くために必要な基礎資料（地盤調査資料）を収集し、収集した資料から地盤区分図と土層区分図を作成する。次に土層区分ごとに室内配合試験を行い、配合条件と強度の関係を把握する。この関係から試験施工または本工事で採用する配合を最終的に決定する。

(2) 施工管理

施工管理には、施工開始前に行う施工前管理と施工中に行う施工中管理がある。施工前管理では、施工中に使用する各計器類の動作状況を確認するほか、試験施工を行い着底判定基準を決定する。また、施工中管理では、施工計画において決められた施工管理項目とその規格値を満足した施工が行われていることを各計器類により管理する。

(3) 品質検査

品質検査では、築造された改良体が要求品質を満足していることを確認する。検査の種類には以下のものがある。

①改良体コアの採取率の検査

②改良体コアの一軸圧縮強さの検査

③改良体コアからの六価クロムの溶出量の検査（ただし、対象土が火山灰質粘性土の場合のみ実施）

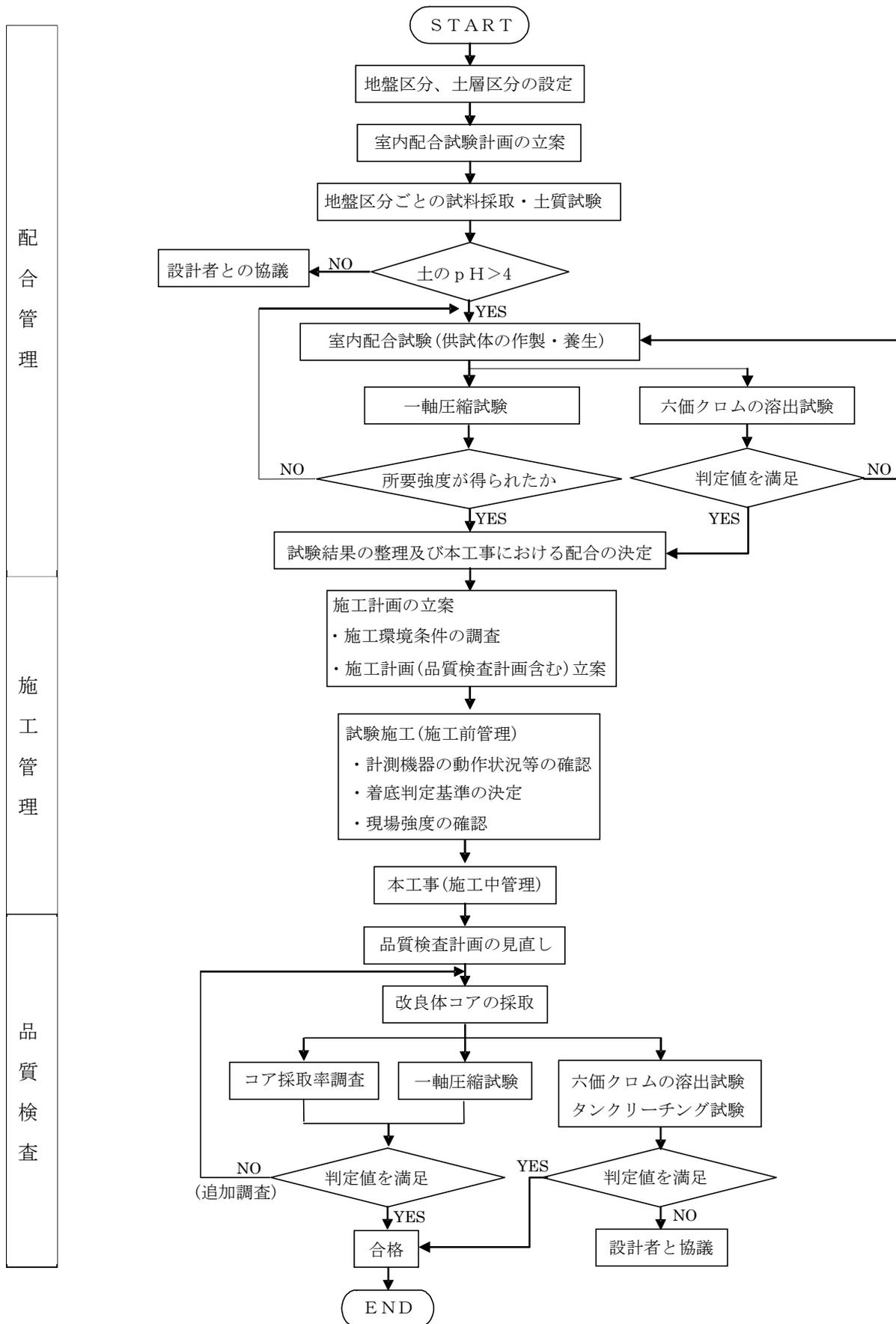


図 6-10 格子内原地盤の品質管理の全体フロー

2. 施工方法

格子状地中壁の一般的な機械攪拌式による施工手順について紹介する。標準的な施工手順及び打設サイクルを図6-11に示す。改良材の吐出方法には、貫入時吐出方式と引抜き時吐出方式がある。

貫入時吐出は、土と改良材の攪拌が貫入時と引き抜き時の両方で行うことが可能なため、攪拌の均質性が向上する。しかし、土質条件によっては貫入速度に応じた改良材の吐出量の調整の問題や、改良深度が深く時間を要すると、攪拌翼引き抜き時に固化が始まるといった問題があり、その場合は引き抜き時吐出にする。吐出方法は、土質条件や改良深さ、改良仕様を考慮して決定することが必要である。

スラリー系では、一般に貫入時吐出方式が採用されることが多いが、地盤が不均質で硬い層が介在する場合や、大深度の施工の場合は引き抜き時吐出方式としている。

なお、施工方法の詳細については、「建築基礎構造設計指針」¹⁾、「建築物のための地盤改良の設計・施工マニュアル」⁴⁾並びに「陸上工事における深層混合処理技術マニュアル」³⁾に記してあるので、参照されたい。

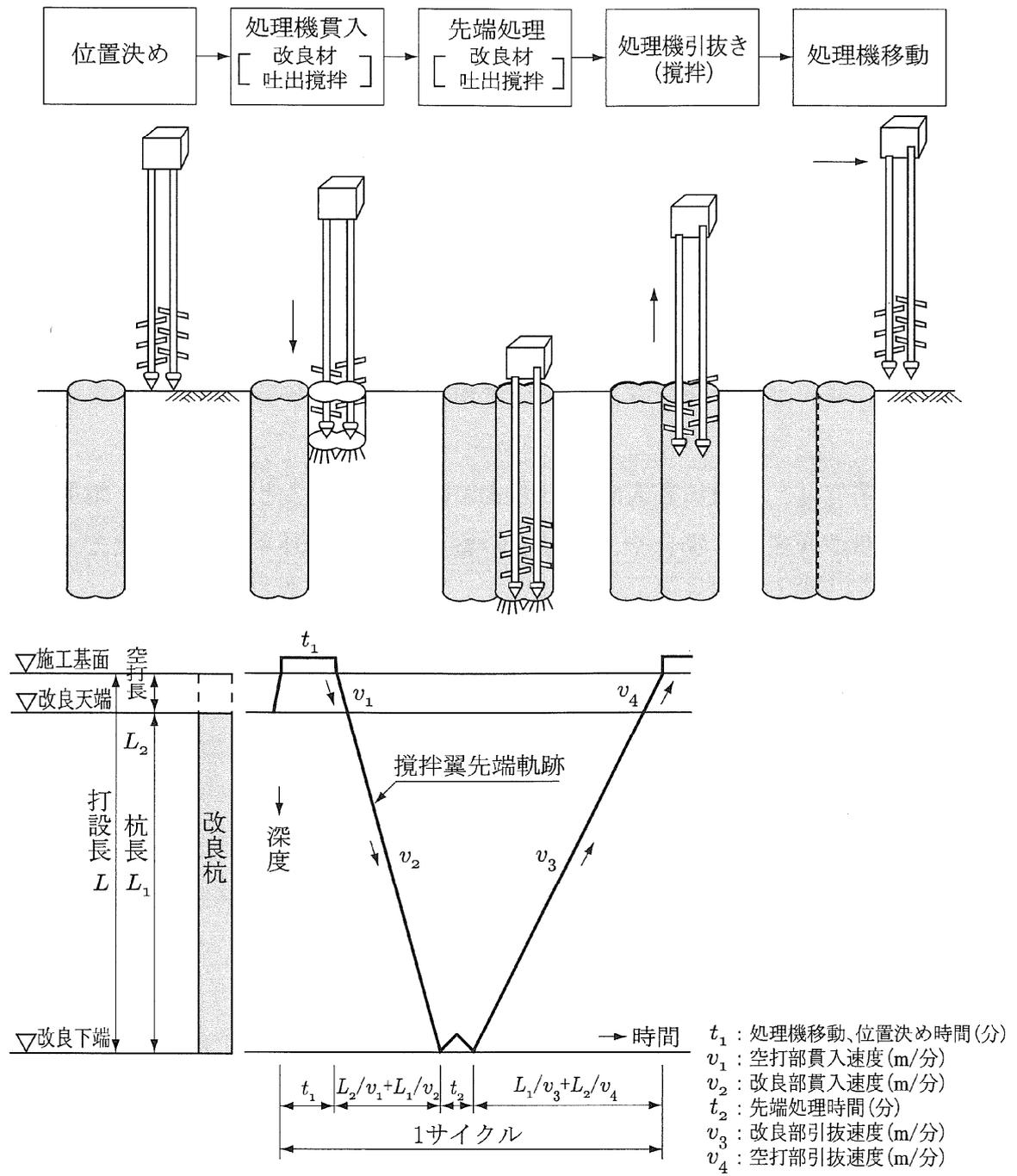


図6-11 格子状地中壁の標準的な施工手順及び打設サイクル³⁾

<参考文献>

- 1) 日本建築学会：建築基礎のための地盤改良設計指針案，第4章、第5章，pp.33～264，2006.
- 2) 地盤工学会：液状化対策工法，第2章，pp.299～317，2004.
- 3) 土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル，2004.
- 4) 日本建築センター：改訂版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針ーセメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法ー，2002.
- 5) 小西一生・内田明彦：格子状地盤改良工法の液状化対策効果と工場内での施工，日本建設機械施工協会「建設の施工企画」，pp.36-39，2012.8.
- 6) 土質工学会：軟弱地盤対策工法ー調査・設計から施工までー，pp.156～159，1988.
- 7) 沿岸開発技術研究センター：海上工事における深層混合処理工法技術マニュアル，pp.68～88，1999.
- 8) 「地域で取り組む地盤の液状化対策のための格子状地中壁工法の効果の簡易評価シート」
- 9) 足立有史・三原正哉・浦野和彦・渦岡良介：液状化対策としての格子状固化改良の改良効果に関する検討，第35回地盤工学研究発表会概要集，pp.2297-2298，2000.6.
- 10) 神原隆則・古賀恭之・谷口栄一：液状化対策としての深層混合処理工法に関する3次元応解析，土木学会第42回年次学術講演会講演概要集第I部門，pp.1116-1117，1987.9.
- 11) 古屋 弘・佐藤 清・松田 隆：液状化対策工法としての格子状地盤改良の解析的検討，第25回地震工学研究発表会論文集，pp.397-400，1999.7.
- 12) 花岡和弘・宮田 章：格子状地盤改良による液状化対策効果の解析的検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造I，pp.801-802，1999.9.
- 13) 馬場崎亮一・内田明彦・山下 清・塩見忠彦・吉澤睦博・鬼丸貞友・津國正一・田屋裕司：深層混合処理工法による格子状地中壁地盤における液状化抑制のための格子状間隔簡易算定法，公開特許公報，特開 2001-355229，2001.12.26.
- 14) 小竹 望・北出圭介・青木一二三・米澤豊司・畑 英一・松雪光明：L2地震動に対する格子状固化改良による液状化対策工，土木学会第58回年次学術講演会，III-625，pp.1249-1250，2003.9.
- 15) 福武毅芳・大槻 明・藤川 智：液状化問題における二次元解析の適用限界と三次元解析の利点，土質工学会「地盤破壊の三次元評価に関するシンポジウム発表論文集」，pp.229-236，1995.3.
- 16) 福武毅芳・大槻 明：三次元液状化解析による部分改良地盤の効果の予測，土質工学会「地盤の液状化対策に関するシンポジウム発表論文集」，pp.205-210，1991.1.
- 17) 宮本 誠・清田芳治・宮田 章：マルチ・サーフェース理論を用いた格子改良地盤の三次元有効解析，第32回地盤工学研究発表会発表講演集，No.2-1，pp.1087-1088，1997.5.

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

液状化対策工事の要因により生じた各種の不利益とか損失或いは損害については、その損害等の発生が事業施行を原因とし、かつ、生活することが通常の社会生活において受忍の範囲を超えると判断される場合に、事業損失補償が生じる。

そのために、市街地液状化対策事業を始める前に事前家屋調査を行い、その後の地盤変動や損害等が生じた場合には、事後家屋調査による確認により事務処理を行う必要がある。

1. 事務処理要領

基本的な事柄については、＜資料編7-1 公共事業に係る工事の施工に起因する地盤変動により生じた建物等に係る事務処理要領の制定について＞（昭和61年4月1日建設省経整発第22号）により事務処理を行う。

①事前調査

液状化対策工事による建物等に影響のおそれがあると認められるときは、事前に建物等の調査を行うものとする。

②地盤変動の原因等の調査

液状化対策工事の周辺地域の建物等に損害等の発生が申出があったときは、地盤変動による損害等と工事との因果関係について、速やかに調査を行うものとする。

③損害等が生じた建物等の調査

建物等の損害等が液状化対策工事に係る工事の施行に起因により生じたものであると認められるときは、当該損害等が生じた建物等の状況について、速やかに調査を行うものとする。

④費用負担の請求期限

費用の負担は、建物等の所有者又は使用者（使用貸借もしくは賃貸借による権利に基づき建物等を使用する者）から当該公共事業に係る工事の完了の日から一年を経過する日までに請求があった場合に限り行うことができるものとする。

⑤費用負担の方法

費用の負担は、原則として、建物等の所有者又は使用者（使用貸借もしくは賃貸借による権利に基づき建物等を使用する者）に各人別に金銭をもって行うものとする。金銭負担は、渡し切りとするものとする。

2. 補償対象の範囲

判断基準については、＜資料編7-2 構造部を矯正する要否の判定基準＞に基づくものとする。

①矯正の要否の判定

「構造部を矯正する要否判定基準表」のⅠ類及びⅡ類の各分類から1項目以上で、かつ、合計3項目以上が確認された場合について適用できるものとする。

②変形・傾斜量の判断

要否の判定基準表における数値については、事後調査終了後における数値を示し、被害発生後に

おける傾斜量・変形量等が、判定基準の数値を上回り、かつ、その変形・傾斜した量の概ね6割以上が、当該工事の原因となる場合に適用する。

③減額方法

要否の判定基準表に示す基礎及び軸部の変形量・傾斜量の基準値を超え、さらに、変形・傾斜量の増加数値が事前と事後の比較において、増加数値が6割に満たない場合には、全体矯正及び部分矯正に要する費用から、「減額方法」により算定した額を減額するものとする。

3. その他補償対象

①庭木

補償対象外とする。

②井戸

飲料水として使用している場合のみ補償対象とする。

③塀

建物等と同様に取り扱うものとするが、既存の変形・傾斜量が最大で7/1,000を超えるものについては、対象外とする。

<参照>

○工損調査等標準仕様書（国土交通省各地方整備局）

7-2 事業完了後の維持・管理

事業完了後、液状化対策施設についても、その機能を維持するためには適切に維持・管理が必要であり、その管理の主体については、施設の機能、設置場所、工事の費用負担の割合等を考慮して決定するとともに、維持・管理費用についても受益の度合いを勘案して設定することが望ましい。

また、施設の耐用年数も考慮し、将来の建替え時における所有者等による住宅の液状化対策を計画的に促すような取り組みが望ましい。

公共施設・宅地一体型液状化対策が完了した後、液状化対策施設が将来起こる地震の際に機能を発揮するためには、日常の維持管理が必要となってくる。

その際の管理者については液状化対策施設が法的な位置付けは無いため、液状化対策施設の設置者、公共施設の管理者、住民等の合意の下に適切に管理者を決定されたい。また、維持・管理の費用についても、液状化対策施設の設置者、公共施設の管理者、住民等の受益の割合を勘案して適切に設定されたい。

また、特に地下水位低下工法については暗渠管の劣化や排水ポンプの耐用年数もあるため、更新時期が来る前に、個人の自助努力による住宅の液状化対策が建替え時等に促進されるような取り組みも必要となってくる。

以下に工法ごとの維持管理の留意点を示す。

1. 地下水位低下工法

地下水位低下工法については、暗渠の排水機能を維持するために定期的な清掃が必要である。特に地下水に鉄分の多い地盤では暗渠の目詰まりが起りやすいため排水管や流末のマンホールまた排水施設のポンプの定期点検を行い、排水管の高圧洗浄等やポンプを引き上げてオーバーホールしパッキン等の交換が必要になる。また、マンホールまた流末の排水施設は、排水量に必要なポンプ台数に予備のポンプも設置し、非常事態に備えておく必要がある。

(参考) 尼崎市築地地区の維持管理の例¹⁾

2011年度の電気代と電話代(機器の管理に電話回線を利用)の年間総額約44万円で、当初想定した金額と大きな差異はない。図7-1は2011年度の月ごとの電力使用量と降雨量を対比したものである。電気使用量と降雨がよく対応しており、地下水の補給源としては当初想定したとおり、降雨の影響が一番大きいことの証拠といえる。また、ポンプは流入量が増えれば流入量に反応してポンプが適切に稼働していることも示している。

ポンプ等の維持管理についての実績を以下に示す。

①透水管末端部分に設置されているマンホールポンプの電気代が必要となる。

電気代実績(H16年度)200,000(円)x2台=400,000(円)

②マンホールポンプ2台分の維持管理代が必要となる。

南浜に設置したポンプの新設費(脱着式水中ポンプ2台、φ80mm)

機械設備5,300,000(円)

電気設備4,800,000(円)

③マンホールポンプの定期点検

年1回のメンテナンスと簡単な清掃:1箇所100,000(円)

- ・水中ポンプ2基分のフレックスケーブルの絶縁測定
- ・フロート(3箇所)作動状況の確認
- ・電流値のチェック(ポンプに負荷がかかると電流値が大きくなる)

④おおよそ10年に1回ポンプを引き上げてオーバーホールしパッキン等の交換が必要:1箇所約1,000,000(円)

※ポンプの耐用年数は約40年

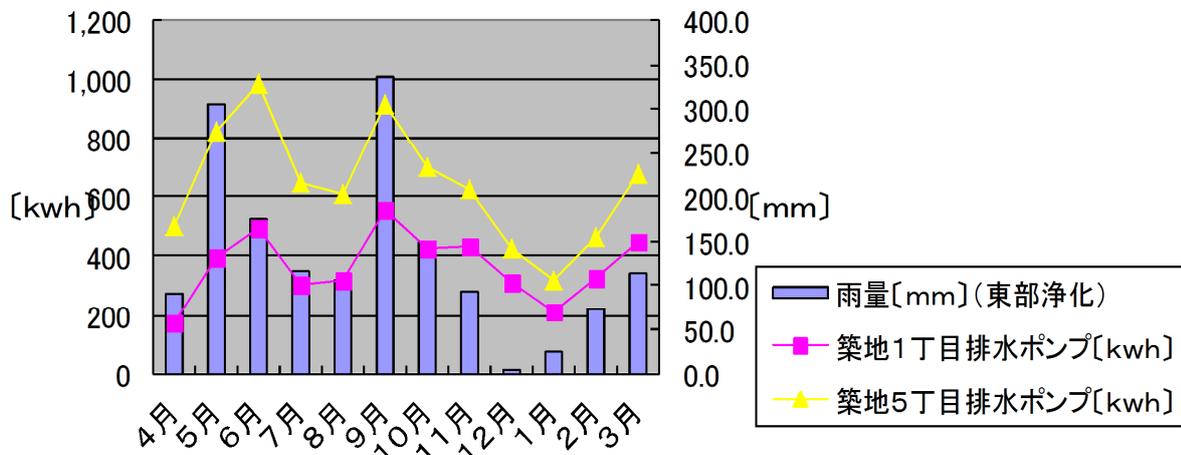


図7-1 電気使用量と雨量の関係¹⁾

2. 格子状地中壁工法

格子状地中壁工法については、安定的な地盤に作られた改良体であれば、基本的に地中壁の維持管理はほとんど必要ないと考えられるが、公共施設に対する液状化被害を抑制する機能を維持するためにも、隣接する宅地の液状化被害を抑制する機能を維持するためにも、民有地内に作られた地中壁についても公益性を持つ部分があり、その形状を壊さないよう住民の協力が必要である。

以下に現在考えられる住民協力の促進策を示す。

- ・宅地の掘削の際に注意を払う、土地の売買の際には地中に地中壁がある旨を明示、格子状地中壁を壊したり直接荷重をかけたりするような土地利用は行わない等の協定を住民と結ぶ。
 - ・液状化対策施設設置者による地上権の設定
 - ・地区計画に位置付け、建物の建て方を規定
 - ・液状化対策施設を条例化
- など

(参考)

造成宅地滑動崩落緊急対策事業は、東日本大震災で発生した大規模盛土造成地の滑動崩落被害に対して再度災害を防止するために実施するものであり、大規模盛土造成地の滑動崩落を防止するために

民有地内に杭や地盤改良体を設置するとともに、個人の擁壁であっても滑動崩落を防止するために必要がある場合、改築や補強も行われる。公共施設・宅地一体型液状化対策と同様、公益性のある施設が民有地内に設置されているものと考えられる。

この事業を実施している仙台市においては、**図7-2**のように民有地内に設置してある対策施設を「滑動崩落防止施設」と位置付け条例化し、滑動崩落防止施設付近における掘削については届出制としている。

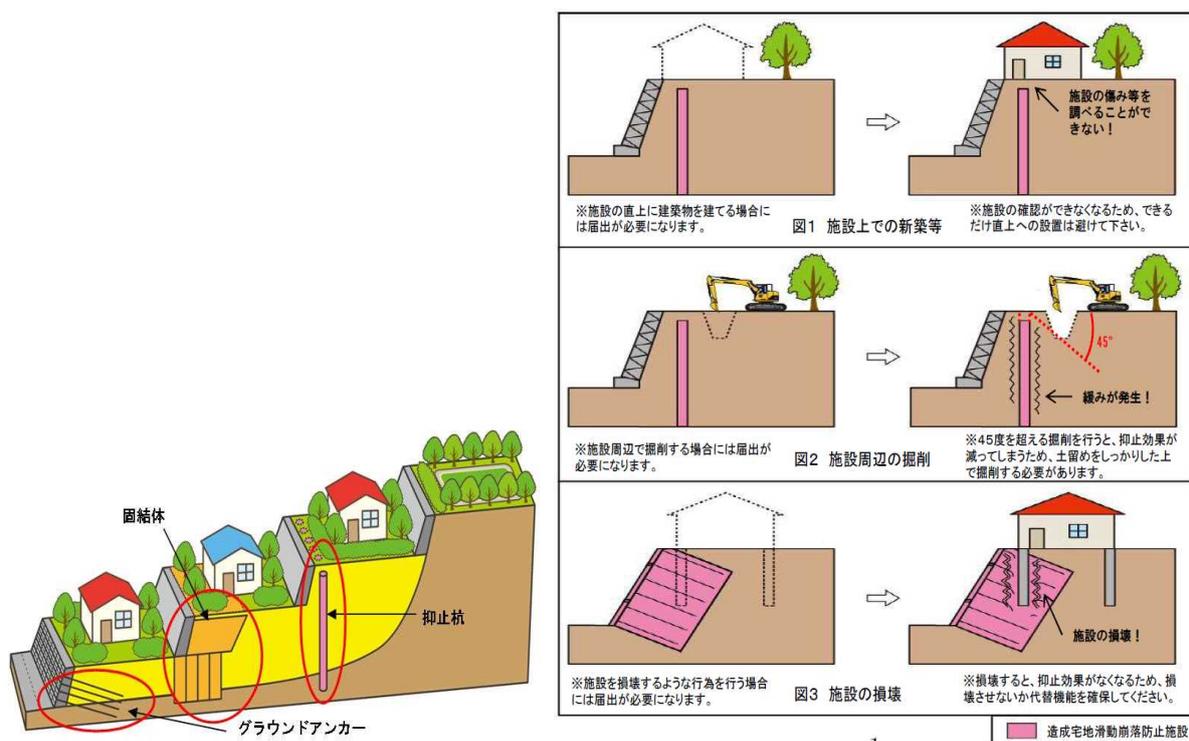


図 7-2 滑動崩落防止施設と届け出が必要な行為の解説（出典：仙台市パンフレット）

<参考文献>

- 1) 諏訪靖二, 福田光治: 地下水位低下工法による液状化対策の実施例, 日本材料学会, VOL.63 NO.1, JAN, 2014.