

建築物の液状化対策マニュアル (平成 25 年度版)

神奈川県県土整備局建築住宅部建築指導課

はじめに・改訂作業にあたって

作成の背景と目的

平成 23 年 3 月に発生した東日本大震災では、我が国で観測史上初となるマグニチュード 9.0 を記録し、想定外の大きさによる大津波により、東北地方から関東地方に至る東日本の太平洋岸全体にわたり、壊滅的な被害をもたらしました。液状化に関しては、震源から遠く離れた県内において臨海部だけでなく内陸部でも発生し、道路、港湾、住宅関係の施設で被害が発生しました。

こうしたことを踏まえ、本県では、「神奈川県地域防災計画（地震災害対策計画）（平成 24 年 4 月）」第 2 章「都市の安全性の向上」第 7 節「液状化対策」において、「県は、県民や事業者の『自助』による取組を推進するために、液状化の可能性がある地域や対策工法の啓発に努めます。」としています。

本県では現在、昭和 39 年の新潟地震、昭和 58 年の日本海中部地震における液状化被害を受けて、昭和 60 年に作成した「建築物の液状化対策マニュアル」により、建築物の液状化被害と対策に関する情報提供と啓発を行うとともに、平成 21 年 3 月に作成した液状化想定図により、広く県民の皆様に情報提供を行っています。

今回、東日本大震災により県内で発生した液状化現象について県が調査、検討を行った「液状化対策検討プロジェクトチーム」の報告書（平成 24 年 2 月）や、国土交通省が公表している「液状化対策技術検討会議」検討成果（平成 23 年 8 月 31 日）をはじめとした各報告書など、新たな情報を盛り込むことで、建築物の液状化対策について、よりの確かな情報提供と一層の啓発を行うことを目的として「建築物の液状化対策マニュアル」を改訂することとしました。

活用方法

① マニュアル編

地盤の液状化に備えるためには、建築主や建築物の所有者が専門家に相談し、地盤の状況を把握し、液状化対策を行う必要があります。本マニュアルは、建築主や建築物の所有者の皆さんが参考にできるように情報提供を行うものです*。

② 資料編

液状化判定や対策工法について、さらに詳しい情報を提供するものです。

※ 本マニュアルは一般県民の皆様が参考にできるよう、出来るだけわかりやすい表現とし、専門用語については出来るだけ 5. 用語の解説（P 40～）を加えるよう心がけていますが、マニュアルの性質上、一部専門的な表現が含まれることをご容赦下さい。なお、本文中の記号 ** につきましては、5. 用語の解説 をご参照ください。

目次

<マニュアル編>

1. 液状化の概要と液状化が起こりやすい土地の判定方法 P1
 - 1-1. 液状化とは
 - 1-2. 液状化が起こりやすい土地の判定方法
2. 東日本大震災による液状化被害とその原因 P14
 - 2-1. 東日本大震災の概要
 - 2-2. 県内における液状化被害とその原因
 - 2-2-1. 県全域の被害状況
 - 2-2-2. 主な被害の内容
 - 2-2-3. 土地の改変履歴と液状化層の考察
3. 建築物の液状化対策工法 P16
 - 3-1. 液状化の発生そのものを抑える対策（事前対策）
 - 3-2. 建築物への被害を抑える対策（事前対策）
 - 3-2-1. 戸建住宅に対する地盤対策
 - 3-2-2. 木造建築物
 - 3-2-3. 非木造建築物
 - 3-2-4. コンクリートブロック塀
 - 3-2-5. 擁壁
 - 3-2-6. 建築設備
 - 3-3. 戸建住宅における液状化の被害を受けた後の対策（事後対策）
 - 3-3-1. 対策工の考え方
 - 3-3-2. 対策工法の検討
4. 液状化についての相談窓口等 P38
 - 4-1. 県の相談窓口
 - 4-2. 専門家団体の窓口
5. 用語の解説 P40

<資料編>

- 資料1. 液状化判定方法について P42
- 資料2. 建築物の液状化被害例 P46
- 資料3. 擁壁の取扱い（抜粋） P52

建築物の液状化対策マニュアル
(マニュアル編)

1. 液状化の概要と液状化が起こりやすい土地の判定方法

1-1. 液状化とは

① 液状化とは

地下水位が高く緩い砂地盤では、地震が発生すると、その衝撃をきっかけに地盤の体積が収縮しようとすることで地下水の水圧が上昇し、それにより砂の粒同士の結合が離れることで、地盤が液体状になる。この現象のことを「液状化」という（図 1-1-1）。

② 液状化による被害

「液状化」が発生し、地下水の地盤内の水圧が上昇することで、噴砂・噴水が生じるばかりでなく、構造物を支える地盤の力が低下することで、建築物や電柱のような重い構造物は沈下・傾斜し、中空で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など、様々な被害が生じる。

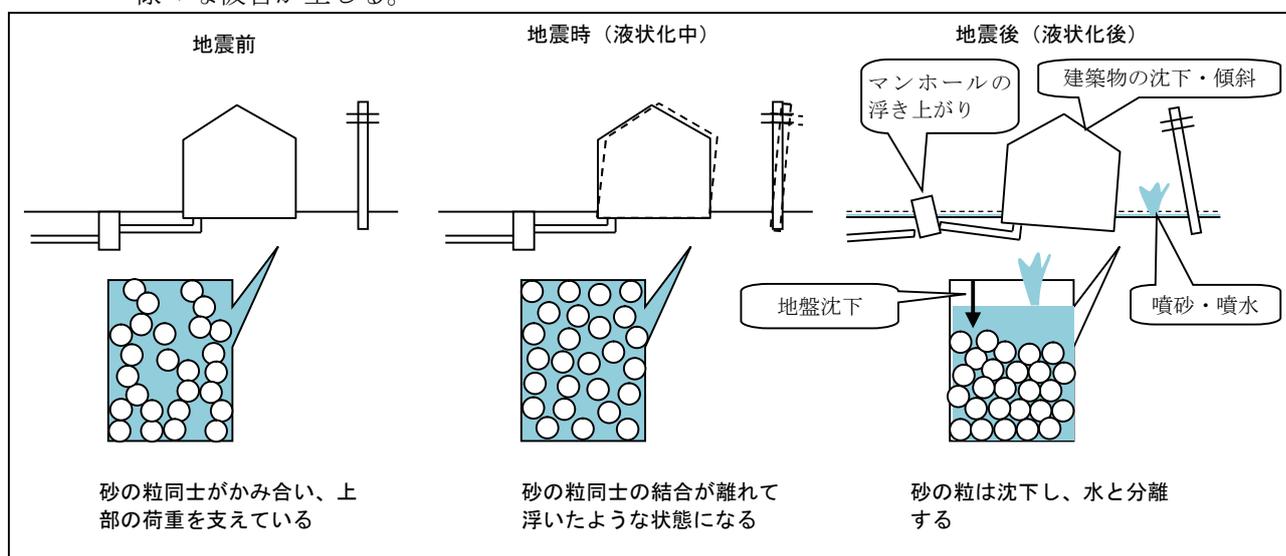


図 1-1-1 液状化発生の様式図

③ 液状化と地震の大きさ

液状化は震度がおおむね5以上の地震に伴って発生することが多く、地震規模（マグニチュード）が大きいほど液状化の地域は広域に及ぶ。また、地震動の継続時間も液状化の発生に影響するものと考えられている。

④ 液状化しやすい地盤の特徴

液状化しやすい地盤として、一般的に次の特徴が挙げられる。

- ・ 地表面からの深さが15～20メートルより浅い。
- ・ 砂質土で粒径が比較的均一で粒の粗さが中程度の砂（中粒砂）からなる*。
- ・ 地下水位が深にあって、水で飽和**している。
- ・ N値**が20以下程度である。

※ただし、地震動や排水条件によっては、粒の粗さが細かい土（細粒土）や粗い土（粗粒土）でも液状化が発生することがある。

1. 液状化現象の概要と液状化が起りやすい土地の判定方法

1-2. 液状化が起りやすい土地の判定方法

液状化が起りやすい土地であるかどうかは、次の①に示すような、地質など詳細な情報を取り入れた地形の区分（以下、「微地形区分」という。）や、古い地図などの土地の履歴情報、並びに②に示す各自治体の液状化想定図等が参考になるが、個別の土地について具体的な判定を行う際は、専門家に相談を行い、③に示す地質調査の方法と判定により判断する必要がある。

① 微地形区分、土地履歴情報による概略判定

地質など詳細な情報を取り入れた地形の区分（微地形区分）や、古い地図などの土地の履歴情報（改変履歴）を調べることにより、液状化の可能性について大まかな判断をすることができる（図 1-2-1）。

また、文献^{1,2)}によると、「埋立地、旧河道・旧池沼（昔川や池、沼があった場所）等で集中して液状化現象が発生した。」「埋立等の造成年代が新しい地盤が、古い地盤より液状化しやすい傾向が見られた」と報告されている。

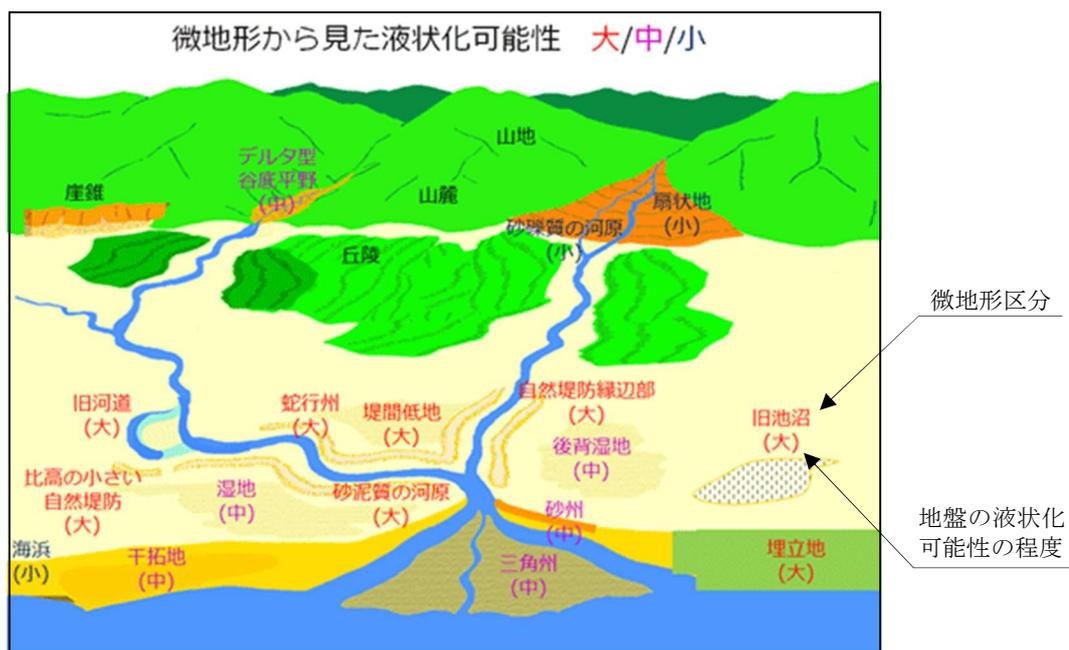


図 1-2-1 地形模式図による微地形区分
（復旧・復興支援WG「液状化被害の基礎知識」
（日本建築学会ホームページ）より）

1. 液状化現象の概要と液状化が起こりやすい土地の判定方法

(ア) 土地条件図 (国土地理院)

地形の調査にあたっては、国土交通省が公表している「ハザードマップポータルサイト」 (<http://disaportal.gsi.go.jp>) により、国土地理院が作成した土地条件図 (主に地形分類 (山地・丘陵, 台地・段丘, 低地, 水部, 人工地形など) について示した地図) が公開されており参考となる (図 1-2-2)。



図 1-2-2 土地条件図の例 (国土交通省ハザードマップポータルサイトより)

(イ) 県の土地履歴情報マップ

土地の履歴情報を調べるために、県のホームページにおいて、現在の地図と古地図 (明治期の地図) を閲覧できる「土地履歴情報マップ」を公開しており、調査しようとする土地の改変履歴を確認できるシステムとして整備した (<http://www2.wagamachi-guide.com/pref-kanagawa/enter.asp>) (図 1-2-3)。

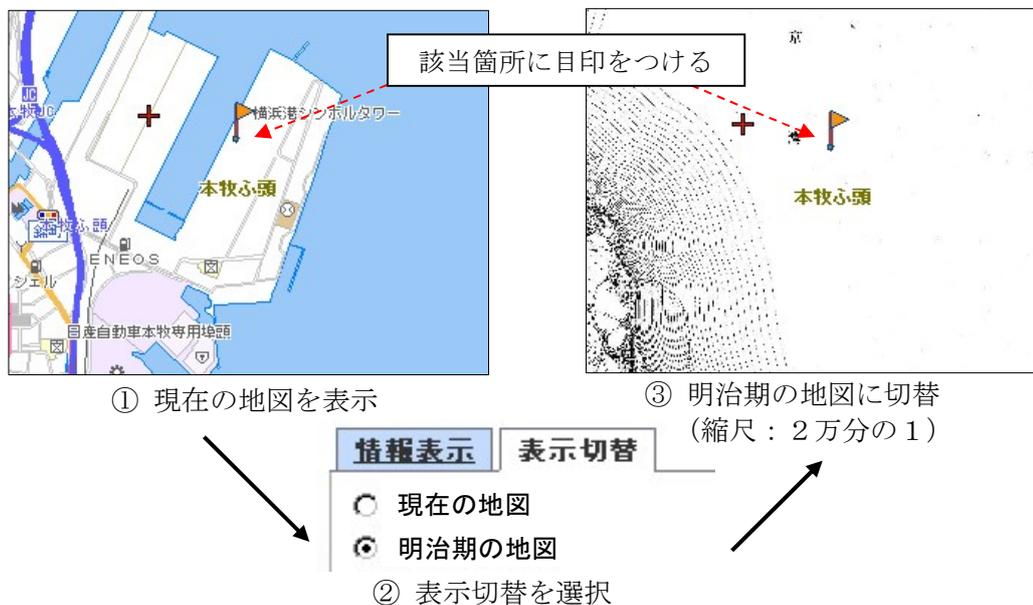


図 1-2-3 土地履歴情報マップのイメージ

1. 液状化現象の概要と液状化が起こりやすい土地の判定方法

② 液状化想定図の活用

県内の液状化想定図は、国、県をはじめ、各自治体より公開されている。これらを利用するにあたっては、それぞれの想定地震動などの条件に留意し、一般的には想定される被害が最も大きい想定図を参考にして液状化対策を検討することが考えられる。県内において現在公開されている液状化想定図等と、それぞれの特徴を次に示す。

(ア) 国による想定図等

国土交通省により、「ハザードマップポータルサイト」(<http://disaportal.gsi.go.jp/bousaimap/index.html?code=1>)が公開されており、各自治体による液状化想定図等の作成、公開状況が確認できる。

また、平成24年8月に内閣府が作成した「南海トラフの巨大地震モデル検討会(二次報告)」においては、東日本大震災により得られた知見と教訓をふまえ、想定される最大クラスの地震で検討した液状化の可能性や沈下量が公表されている。

(<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/index.html>)

(イ) 県の液状化想定図

県では、平成21年3月に神奈川県地震被害想定調査委員会で検討した成果をまとめた「神奈川県地震被害想定調査報告書」に基づき、神奈川県全域における液状化想定図を作成・公表するとともに、e-かなマップ(インターネットを通じて神奈川県内の地図情報を発信するサイト)により、住所を入力することで、各地震動による各地点の液状化想定図を閲覧できるようにしている(図1-2-4)。

「神奈川県地震被害想定調査報告書」では、8種類の想定地震動により、液状化想定図を作成している。想定地震動と液状化被害想定を概要を表1-2-1に示す(想定図の作成条件や、より詳しい予測結果の概要は資料1(P42)を参照)。

表1-2-1 想定地震動と被害想定概要(神奈川県地震被害想定調査報告書より抜粋)

想定地震動	被害想定概要
東海地震	横浜市、川崎市、横須賀市の海岸沿いと多摩川、相模川、酒匂川の流域では、液状化の可能性が想定される。
南関東地震、南関東地震と神縄・国府津-松田断層帯の連動地震	東京湾の沿岸部や相模川沿いの低地部を中心に液状化の可能性が高い地域が広がる。
三浦半島断層群の地震、東京湾北部地震、神奈川県東部地震	東京湾の沿岸部で液状化の可能性が高い。
神縄・国府津-松田断層帯の地震、神奈川県西部地震	相模川沿いの低地部などで液状化の可能性がやや高くなると予測される。

県の液状化想定図の掲載URL：<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f5151/p15579.html>
(神奈川県地震被害想定調査報告書)

<http://www2.wagamachi-guide.com/pref-kanagawa/enter.asp>
(e-かなマップ)

1. 液状化現象の概要と液状化が起りやすい土地の判定方法

なお、県が現在公表している液状化想定図は平成 21 年 3 月に作成されたものであるため、(ア) に示した南海トラフの巨大地震など、その後新たに公表された地震動は反映されていない。県では今後これらを踏まえ、想定図の見直しを行う予定である。

①住所、施設名から検索する(右側の地図をクリックして探すこともできる)

②想定地震動の種類を選択

③液状化想定図を選択

液状化想定図の凡例

可能性が極めて高い	赤
可能性が高い	オレンジ
可能性が低い	緑
可能性が極めて低い	青
なし	白

図 1-2-4 e-かなマップにおける液状化想定図の例 (県ホームページより)

1. 液状化現象の概要と液状化が起こりやすい土地の判定方法

(ウ) 県内市町村による液状化想定図等

県及び県内市町村における、液状化想定図等の公開状況を表 1-2-2 に示す。県内市町村の想定図は、県の液状化想定図より細かいメッシュで作成されているものや、各地域の地質の特性について解説されているものがある。利用にあたっては、市町村ごとの調査方法、想定地震動など作成条件の違いを考慮する必要があり、同じ地域であっても、想定結果が異なる場合があることに注意が必要である。

1. 液状化現象の概要と液状化が起こりやすい土地の判定方法

表 1-2-2 各市町村の液状化想定図等の公表状況（平成 24 年 12 月 県建築指導課調べ）

市町村名	公開状況(URL等)	公開時期	想定地震動	想定地震加速度(gal) もしくは想定地震の大きさ	判定方法
神奈川県	http://www2.wagamachi-guide.com/pref-kanagawa/	平成 21 年 10 月	南関東地震 神縄・国府津－松田断層帯の地震 南関東地震と神縄・国府津－松田断層帯の連動地震 三浦半島断層群の地震 東京湾北部地震 東海地震 神奈川県東部地震 神奈川県西部地震	南関東地震:M7.9 神縄・国府津－松田断層帯の地震:M7.5 クラス 南関東地震と神縄・国府津－松田断層帯の連動地震:M7.9 クラス 三浦半島断層群の地震:M7.2 東京湾北部地震:M7.3 クラス 東海地震:M8 クラス 神奈川県東部地震:M7 クラス 神奈川県西部地震:M7 クラス	PL 法
横浜市	http://www.city.yokohama.lg.jp/somu/org/kikikanri/ekijouka-map/h24ekijoukamap.html	平成 24 年 10 月	元禄型関東地震 東京湾北部地震 南海トラフ巨大地震		PL法
川崎市	http://www.city.kawasaki.jp/160/page/0000017669.html	平成 22 年 3 月	川崎市直下の地震 南関東地震 東京湾北部地震	川崎市直下の地震及び東京湾北部地震はM7.3、南関東地震は M7.9	PL法
藤沢市	http://www.city.fujisawa.kanagawa.jp/bousai/page100061.shtml	平成 24 年 3 月	南関東地震		PL値 (県+市)
厚木市	http://www.city.atsumi.kanagawa.jp/shiminbenri/anshinanzon/bousai/daijishin/d020705.html	平成 24 年 4 月	東海地震 南関東地震 東京湾北部地震	M8.0 M7.9 M7.3	PL法
平塚市	http://www.hirahaku.jp/web_yomimono/geomado/jiban00.html	平成 19 年		250,400gal(現在 400gal の結果を公開)	
茅ヶ崎市	http://www.city.chigasaki.kanagawa.jp/bosai/jishin/001898.html	平成 22 年 1 月	東海地震		
南足柄市	http://www.city.minamiasahira.kanagawa.jp/kurashi/bouan/shinsai/shinpaisareru_jishin.html	平成 6 年 6 月	東海地震 南関東地震 県西部地震	東海地震:M8 クラス 南関東地震:M7.9 県西部地震:M7 クラス	PL法 FL 法
座間市	http://www.city.zama.kanagawa.jp/www/contents/1331708616729/index.html		南関東地震と神縄・国府津－松田断層帯の連動地震		
逗子市	窓口にて配布	平成7年 10 月	逗子市直下の地震(M7.0)	400gal	

1. 液状化現象の概要と液状化が起こりやすい土地の判定方法

市町村名	メッシュ (m)	備 考	担当部署	電話
神奈川県	250	地震被害想定調査で作成した液状化想定図では、土地所有者等が実施した地盤改良等の液状化対策は考慮していません。	安全防災局危機管理部 災害対策課 計画グループ	045-210-3425
横浜市	50	(注1) 液状化危険度の判定には、PL 値を用いました。PL 値とはその地点での液状化の危険度を表す値です。 (注2) 西区のみなとみらい21地区のように、あらかじめ広い範囲が、地盤改良などにより液状化対策が行なわれているところは、液状化判定から除外しています。 (注3) 50メートルメッシュ周辺の代表的な地盤ボーリングデータに基づき液状化判定していることから、そのメッシュの中には液状化の起こりにくい地盤が含まれている場合があります。 (注4) 液状化危険度が高い地域においても、既に、液状化しやすい地盤を改良して土地利用されている場所や、建築物等に液状化対策が実施済みのところもありますが、今後建築予定の箇所等については、個々に地盤調査を実施していただき対策の検討を行っていただくことを推奨しています。	消防局危機管理室 情報技術課	045-671-3458
川崎市	250	・250mメッシュ微地形区分の山地、山麓地、丘陵、火山地、火山山麓地、火山性丘陵、岩石台地、砂礫質台地、ローム台地、水面は判定対象から除外しています。 ・原則としてボーリングデータに基づく計算をしていますが、ボーリングデータがないメッシュについては、S波速度層モデルを用いて、各数値を設定し、PL値を算出しています。	総務局危機管理室	044-200-2850
藤沢市	250 50	県地震被害想定調査により250m単位で算出された液状化指数(PL 値)と、地形・ボーリングデータ(約3,000か所)等の資料を参考に地震動の強さに応じた液状化指数(PL 値)を50mメッシュ単位で予測し、危険度を判定。	総務部 災害対策課	0466(25)1111(代表) (内線) 8501
厚木市	50		危機管理課	046-225-2190
平塚市		県の判定方法に基づいて平塚市域の液状化の可能性の予測	平塚市博物館	0463-33-5111
茅ヶ崎市		内閣府作成の「地震被害想定支援マニュアル(平成13年10月10日更新)」により判定した液状化危険度のデータに基づき作成されたマップの提供を受け、本市の「地震防災マップ」に掲載しています。 (注) 液状化の起こる可能性を表しているもので、必ず液状化になるものではありません。	市民安全部 防災対策課 防災危機担当	0467-82-1111
南足柄市	250	市独自調査による。 平成4、5年度調査実施	防災安全課 防災安全班	0465-73-8055
座間市		神奈川県地震被害想定調査(21.03)より 神奈川県地震被害想定調査で最も被害が大きいとされている、南関東地震と神縄・国府津－松田断層帯が連動した地震が発生した場合の震度及び液状化危険度予測図	安全防災課災害対策係	046(25)7395
逗子市		M=7.0 の場合の液状化危険度をA(極めて高い)、B(高い)の2分類で示したものです。	防災課	046-873-1111

1. 液状化現象の概要と液状化が起こりやすい土地の判定方法

③ 地質調査の方法と液状化判定

(ア) ボーリング調査等による調査

個別の敷地において精度の高い液状化判定を実施するためには、土層構成（地盤の層ごとの土の種類構成）、地下水位、地盤の固さや締まり具合、土の粒の大きさなどを調査、試験により調べる必要があり、具体的にはボーリング調査、標準貫入試験、土質試験等が必要となる。

a) ボーリング調査

掘削機を用いて地盤にボーリング孔をあける調査。ボーリング孔から土のサンプルを採取して、土の性状の目視観察や、粒度試験や各種力学試験などの土質試験が行われ、ボーリング孔を用いて標準貫入試験や地下水位の測定が行われるのが一般的である。

b) 標準貫入試験

地盤の硬さ、締まり具合を表すN値**を求めるために、あらかじめ所定の深度まで掘り進めたボーリング孔を利用して、63.5kgのハンマーを75cm自由落下させ、先端部が30cm貫入するのに要する打撃回数（N値**）を求める試験。



図 1-2-5 ボーリング調査の作業状況

(イ) 電気式静的コーン貫入試験等による液状化判定

電気式静的コーン貫入試験（以下、「CPT」という。）は、先端の角度が 60° のコーンの形をしたコーンプローブと称される計測器（図 1-2-6 参照）を、油圧や手動により徐々に地盤に圧入し、地盤の先端の抵抗、周面の摩擦、間隙水圧**の3成分を深さ方向に測定するもの^{1.1)}であり、ボーリング調査、室内土質試験に比べて簡便に実施することができ、貫入する際の抵抗に加え、間隙水圧**、周面の摩擦を測定することにより、地盤の支持力や分類など、液状化判定等に必要な地盤の情報を得ることができる。ただし、土質分類については、サンプリング（試料採取）を行わずに推定するため、技術者の解釈に大きく依存する。また、現状では礫（粒径が2mm～75mmの土粒子）等が混入

1. 液状化現象の概要と液状化が起こりやすい土地の判定方法

する地盤においては、貫入する能力に課題があり、今後これらの課題が解決できれば期待できる調査方法である^{1.1)}。

なお、先端にコーンをつけたロッドをハンマーの打撃により打ち込み、地盤の硬さ、締まり具合等を調べる動的コーン貫入試験も、ボーリング調査、標準貫入試験に比べて低コストで実施できる地質調査方法として今後の活用が期待されている（図 1-2-7）。

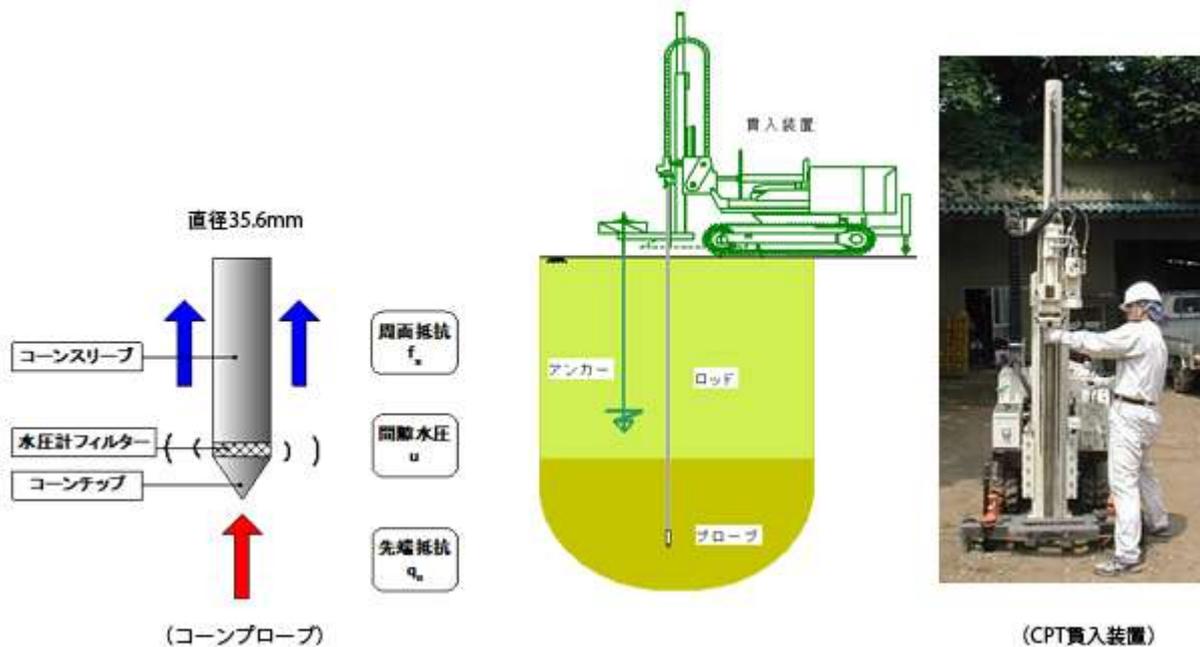


図 1-2-6 電気式静的コーン貫入試験のイメージ

（復旧・復興支援WG「液状化被害の基礎知識」（日本建築学会ホームページ）より）

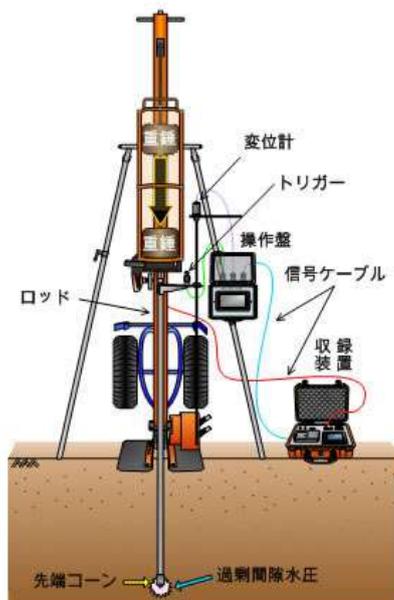


図 1-2-7 動的コーン貫入試験のイメージ

1. 液状化現象の概要と液状化が起こりやすい土地の判定方法

(ウ) 簡易な調査（スウェーデン式サウンディング試験など）

木造住宅など小規模建築物においては、ボーリング調査や標準貫入試験、土質試験などの各種試験が行われることはまれであり、地盤調査として、スウェーデン式サウンディング試験（以下、「SWS」という）のみが行われるのが一般的である。

SWSは、先端にスクリーポイントを付けたロッドを垂直に立て、上部に錘を載せることで土を静的に貫入する際の抵抗を測定し、その硬さまたは締まり具合を判定するとともに、概略の地層構成を把握するものである。

SWS単独では土質、地下水位が判らないため、液状化判定はできないが、小規模建築物基礎設計指針（日本建築学会）では、SWSを実施した試験孔を利用して資料を採取して土質の判定と簡易な粒度分析を行い、地下水位を測定することで、液状化の影響が地表面に及ぶ程度を簡易的に判定する方法が紹介されている。ただし、SWSの試験結果より換算したN値**は、ばらつきが大きく、SWS試験孔を利用した地下水位の測定、土質の判定もボーリング調査に比べて精度が低いため、必要に応じて土質資料採取、室内土質試験などの追加調査を行う。



手動式



半自動式



自動式

図 1-2-8 スウェーデン式サウンディング試験の試験風景

（復旧・復興支援WG「液状化被害の基礎知識」（日本建築学会ホームページ）より）

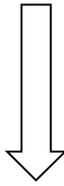
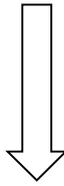
1. 液状化現象の概要と液状化が起こりやすい土地の判定方法

(エ) 調査費用の比較

土質調査方法と、それぞれの調査費用、調査精度について次に示す。SWS を利用して液状化判定を行う場合は、資料採取、室内試験を追加して精度を高めることが望ましい。

表 1-2-3 地質調査の方法と液状化判定の精度

(復旧・復興支援WG「液状化被害の基礎知識」(日本建築学会ホームページ)より抜粋、※は加筆)

調査方法	調査精度	費用
ボーリング調査 (標準貫入試験、室内試験)	高	高
電気式静的コーン貫入試験 動的コーン貫入試験※		
SWS+液状化判定 (試料採取、室内試験)		
SWS 試験		
	低	低

1. 液状化現象の概要と液状化が起こりやすい土地の判定方法

(オ) 液状化判定の手法

地質調査の結果等に基づき液状化発生の可能性の有無を判定する代表的な方法として、FL 法^{※1}が挙げられる。東日本大震災を受け、液状化対策について検討を行った文献^{1,2)}によると、「FL 法は今回の地震についても液状化発生を概ね整合して判定できる」とされている。また、ある地点の液状化危険度を判定する方法としては、FL 値を深さ方向に重みづけして足し合わせた PL 値を用い、表 1-2-4 に示すような判定区分により判定を行う PL 法^{※2}が一般的である。

なお、東日本大震災を受けて、国土交通省においても、宅地に適した新しい調査方法、試験方法の開発を進めているところであることから、調査、判定にあたっては、国土交通省や、公益社団法人地盤工学会等による最新の情報を収集することも有効である。

表 1-2-4 PL 値による液状化危険度判定区分

	PL=0	0<PL≤5	5<PL≤15	15<PL
PL 値による液状化危険度判定	液状化危険度はかなり低い。液状化に関する詳細な調査は不要	液状化危険度は低い。特に重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要。	液状化危険度が高い。重要な構造物に対してはより詳細な調査が必要。液状化対策が一般に必要。	液状化危険度が極めて高い。液状化に関する詳細な調査と液状化対策は不可避

岩崎ら(1980)による

- ※1 FL 法：「土の液状化に対する強さ」と「地震によって作用する力の大きさ」を計算により求め、「地震によって作用する力の大きさ」が「土の液状化に対する強さ」を上回れば液状化するとみなす方法。
- ※2 PL 法：FL 法により求めた「土の液状化に対する強さ」の「地震によって作用する力の大きさ」に対する割合（FL 値）を深さ方向に重みをつけて足し合わせ、ある地点での液状化危険度を表す数値（PL 値）を求め、表 1-2-4 に示すような判定区分により判定を行う方法。
なお、FL 法、PL 法の具体的な計算方法は資料 1-2（P44）に示したので参考にされたい。

<参考文献等>

- 1.1) 復旧・復興支援WG「液状化被害の基礎知識」（日本建築学会ホームページ）
- 1.2) 「液状化対策技術検討会議」検討成果 平成 23 年 8 月 31 日（国土交通省）

2. 東日本大震災による液状化被害とその原因

ここでは、東日本大震災により県内で発生した液状化被害とその原因を示す。

2-1. 東日本大震災の概要

平成23年3月11日に発生した東日本大震災では、神奈川県県内においても、横浜市中区で震度5強を記録するなど、広範囲かつ長時間にわたって震度5以上の揺れを観測し、県内においても液状化による被害が見られた。

2-2. 県内における液状化被害

2-2-1. 県全域の被害状況

平成23年の東日本大震災に伴う液状化現象により県内で被害が報告された主な箇所は以下のとおりである。

- ① 横浜市港北区小机町：住家等の被害
- ② 川崎市川崎区東扇島：公共施設（道路、公園）の被害
- ③ 横浜市中区錦町：マンション敷地内のマンホールの浮き上がりの被害
- ④ 横浜市金沢区柴町：住家等（マンション）の被害



図 2-2-1：液状化現象による被災箇所位置図

2-2-2 主な建築物等の被害の概要

神奈川県内で見られた建築物等への主な被害の内容を以下に示す。

- ① 住宅の基礎や門、塀の沈下
- ② 建物周囲の地盤の沈下：マンションは杭基礎構造であったため沈下していないが、周囲の地盤が最大 60cm 沈下
- ③ ピット式駐車場の浮き上がり

【状況写真】



建物周囲の地盤沈下



駐車場ピットの浮き上がり

図 2-2-2：液状化現象による被災状況写真

2-2-3 土地の改変履歴と液状化層の考察

建築物等の液状化による被害があった地区の土地の改変履歴と液状化層に関する考察結果の概要を示す。

① 土地の改変履歴

被害があった土地の改変履歴を調査すると、人工海浜や旧水田の埋立地であることが確認されている。

② 液状化層に関する考察

液状化発生後のボーリング調査や室内試験の結果から、液状化が発生した地層は、地表面から 8m 程度の範囲にある砂質土を主体とした埋土であると推測されている。

今回の地質調査結果による液状化判定で、液状化の危険性が高いと判定された地区について、以前は「一旦液状化が生じた地盤では、地盤が締まるので、再液状化の可能性は低い」と考えられていたが、液状化が起こった地域は、海や川などの埋立などによってできた地盤であることが多いことから、現在ではむしろ「過去に液状化した箇所は再液状化するところが多く、液状化の履歴を把握することが重要」との考えに変わっており、再液状化に備えた対策を検討する必要がある。

3. 建築物の液状化対策工法

建築物の液状化対策工法は、「液状化の発生そのものを抑える対策（事前対策）」、液状化の発生は許すが、「建築物への被害を抑える対策（事前対策）」、「液状化の被害を受けた後の対策（事後対策）」に大きく分類される。本章では、それぞれに採用される工法とその特徴を示す。

3-1. 液状化の発生そのものを抑える対策（事前対策）

ここでは、液状化の発生そのものを抑える事前対策として、地盤に対する一般的な工法を①に、対策の費用と施工面積との関係を②に示す。

① 地盤に対する液状化対策工法

地盤に対する液状化対策として、公益財団法人 地盤工学会により次のような工法が提案されているが、騒音、振動などの近隣への影響、既存建築物への適用の可否などもあることから、敷地や建築物の状況に適した工法を選定する必要がある。次に示す図 3-1-1 中には「既存建築物に対しても一般的に適応可能といわれる工法」について太枠で示した。

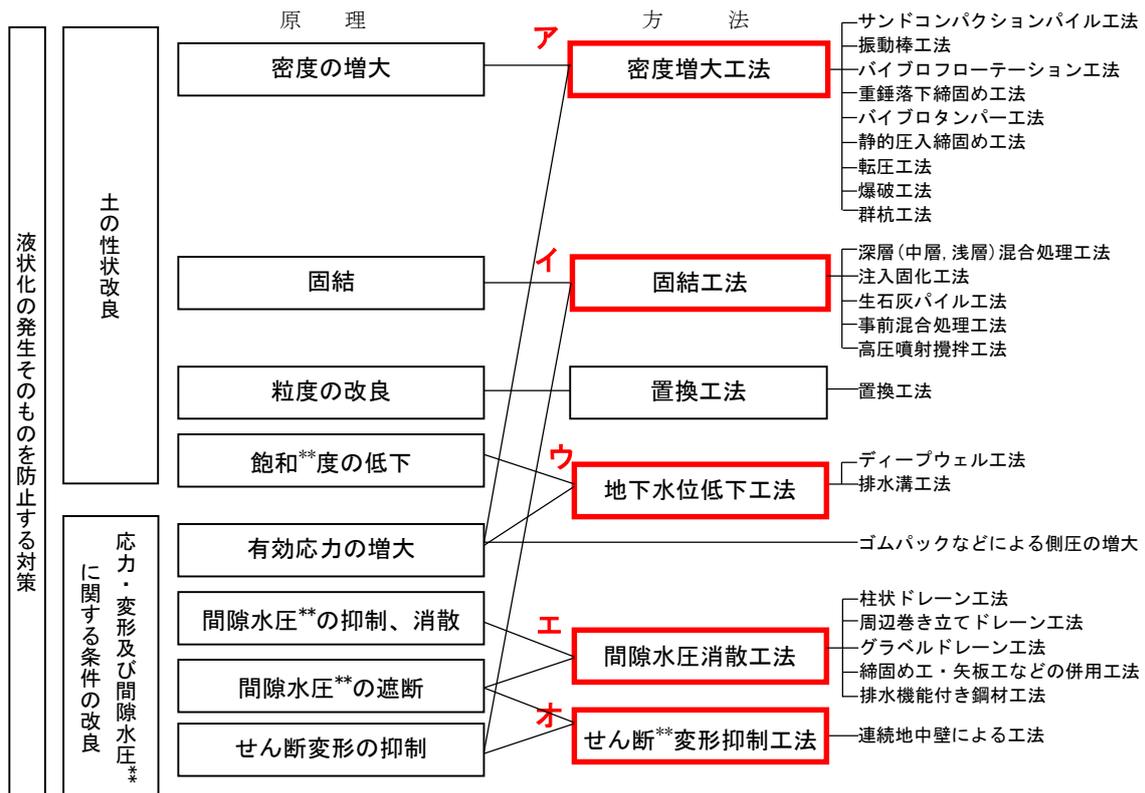


図 3-1-1 液状化対策の原理と方法

(液状化対策の調査・設計から施工まで（公益社団法人 地盤工学会）より、一部加筆）

図 3-1-1 において太枠で示した各工法の特徴を次に示す。

ア. 密度増大工法

地盤を締め固めて密度を増加させることにより液状化を防止する工法であり、地盤に砂を圧入して砂杭を造成することによって地盤を締め固める「サンドコンパクションパイル (SCP) 工法」や砂地盤を噴射水で飽和**させて強制的に振動を与えながら砕石等を挿入・沈下させることにより地盤を締め固める「バイブフローテーション工法」などが代表的である^{3.1)}。多くの工法は振動による周囲への影響が大きいですが、流動性の低いモルタルや、泥状(スラリー状)にした砂を圧入して密度を増加させる「静的圧入締め固め工法」については、騒音や振動を伴わない工法として、近年、住宅地においても施工実績が多くなっている(図3-1-2)。

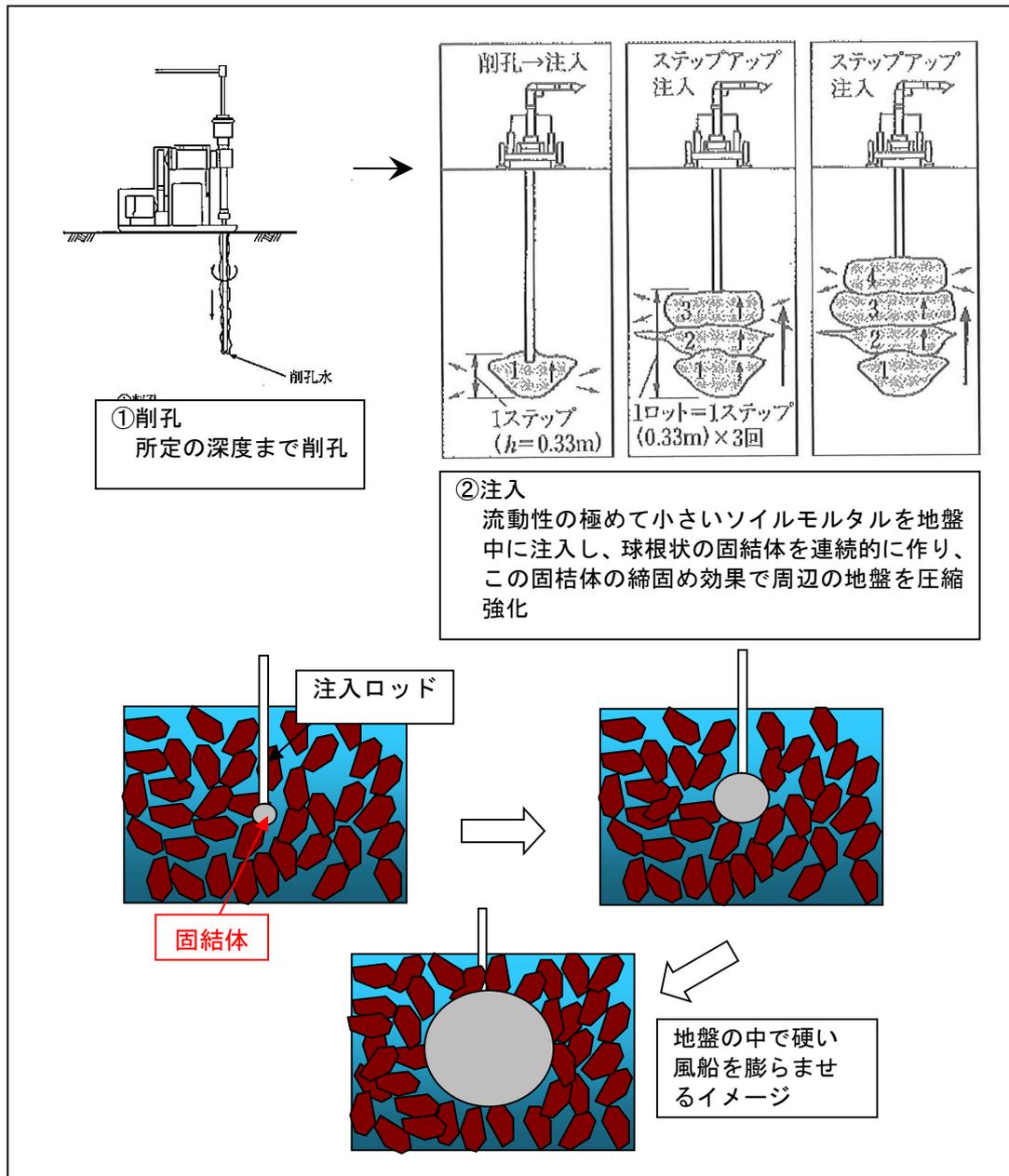


図3-1-2 密度増大工法(静的圧入締め固め工法)の例

イ. 固結工法

地盤にセメントや薬液を注入して混合し、固結させることで液状化を防ぐ工法。セメント系固化材と砂地盤を攪拌、混合して地盤を固結する「深層混合処理工法」や「中層混合処理工法」、浸透性の高い薬液を注入して間隙水（土の粒子の間にある水）と置き換えることにより砂粒子を固結させる「注入固化工法」、固化材を混合した高圧の水を地盤内に噴射して地盤を切削し、固化材の混合、攪拌を行うことにより地盤を固結する「高圧噴射攪拌工法」（図3-1-3）などがある^{3.1)}。建築工事における液状化対策の一つとして、戸建住宅を対象とするような小規模施工も可能である。

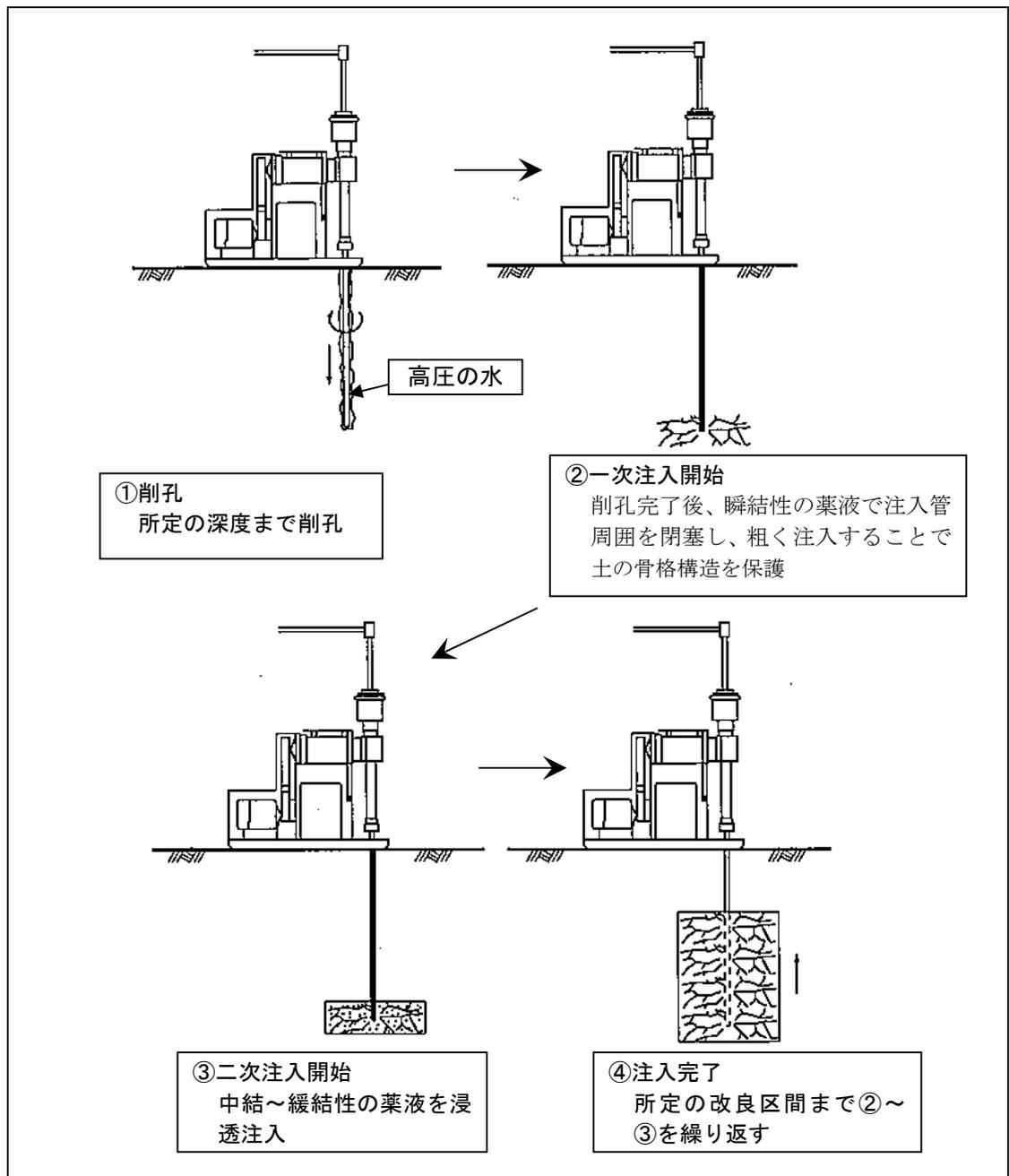


図 3-1-3 固結工法（高圧噴射攪拌工法）の例

ウ. 地下水位低下工法

地下水位を低下させ、地盤を不飽和**状態（土粒子の隙間が水で満たされていない状態）にすることによって液状化を防止する工法^{3.1)}。地下水位の低下により浮力が無くなり、地下水よりも下の層に対して見掛け上、荷重が大きくなる。そのため、広域的に地盤沈下を引き起こす可能性があるなど、周辺環境へ及ぼす影響を考えると、個別の建築物への対策工法としては注意が必要である。

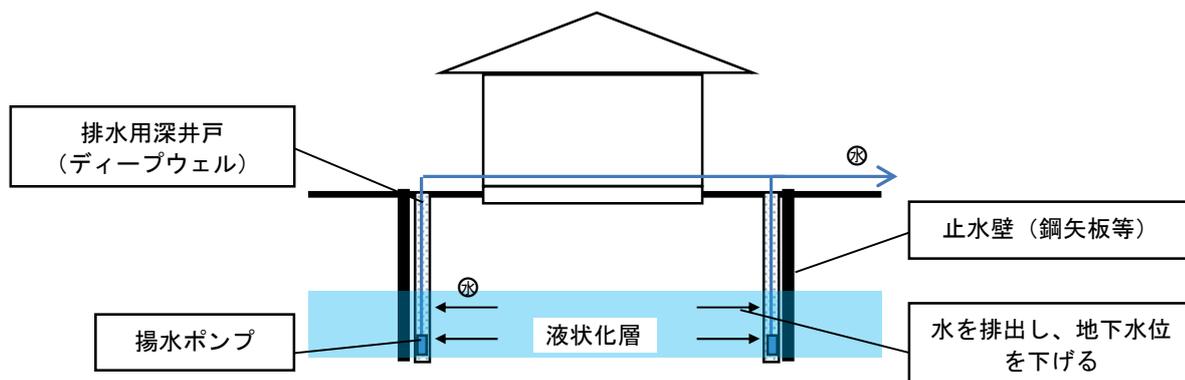


図 3-1-4 地下水位低下工法のイメージ図（ディープウェル工法）

エ. 間隙水圧消散工法

砕石や透水性材料などの水を吸収しやすい材料を投入することで、過剰間隙水圧**（土粒子の隙間にある水の過剰な水圧）を低減、消散させる工法。地盤に透水性の良い砕石による柱（杭）を一定間隔で造成することによって、地震時に発生する過剰間隙水圧**を消散させ、液状化の拡大を抑制する「グラベルドレーン工法」や他の透水性の材料を用いる工法がある。工法の性質上、過剰間隙水圧**の消散に伴って排水されるため、地盤沈下を引き起こす可能性があるが、グラベルドレーン工法の場合には、砕石による柱を一定の間隔で造成する際に砂地盤を締め固める効果が期待できる場合がある^{3.1)}。

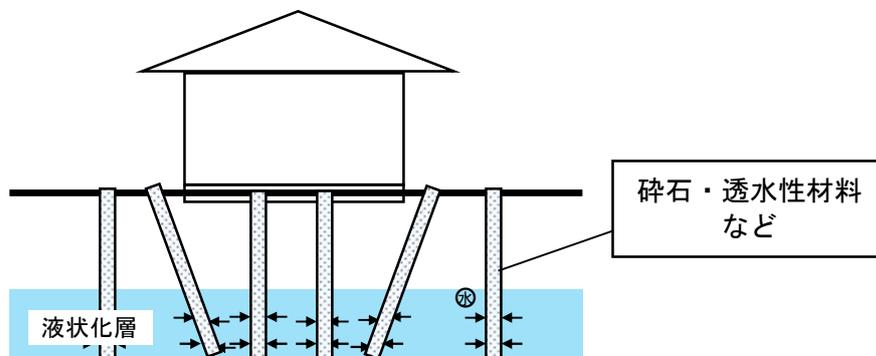


図 3-1-5 過剰間隙水圧消散工法のイメージ図

オ. せん断**変形抑制（連続地中壁）工法

液状化の恐れのある地盤に強い剛性**の仕切りを設け、地盤の変形を抑制する工法^{3.1)}。周辺で液状化は発生してしまうが、その被害を最小限に抑える工法である。地中に壁を造成することにより、地下水の遮断による地下水位の変化や施工中や施工後に埋設物が破損してしまう恐れがあるなどの問題があるため、十分留意する必要がある。

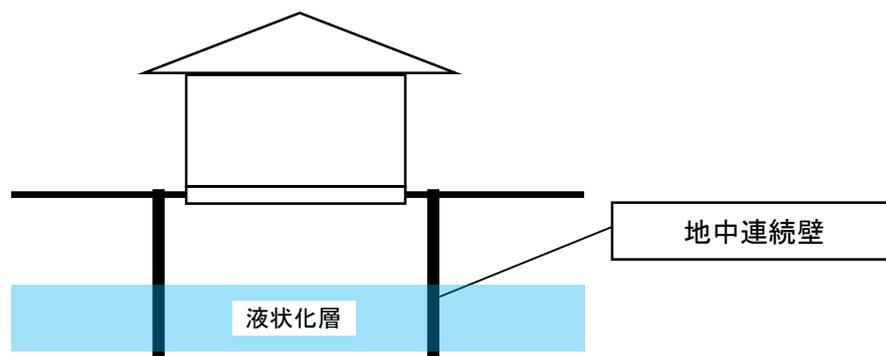


図 3-1-6 せん断変形抑制工法のイメージ図

・参考資料等

国土交通省の新技术情報提供システム（NETIS）（<http://www.s-netis.mlit.go.jp/>）は震災復旧・復興に資する技術を NETIS 申請者より募り、広く情報提供することで、震災復旧・復興の現場における活用を支援するサイトであり、具体的な液状化対策工法が多数紹介されている。

② 液状化対策の費用と施工面積

①に示した液状化対策工法には、施工面積によって対策費用の単価が変わってくるものがある。ここでは、代表的な工法に対して、液状化対策費用と施工面積の適用範囲を図 3-1-7に示す。

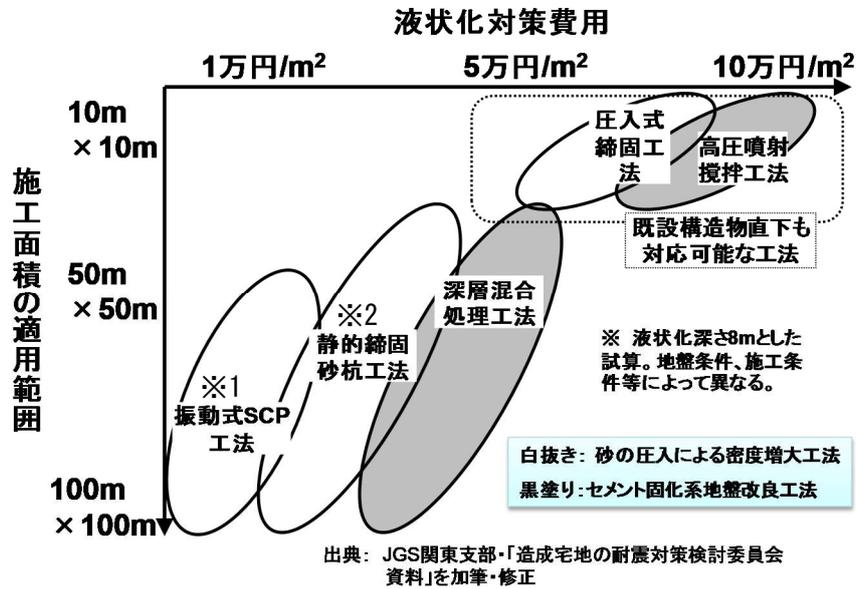


図 3-1-7 液状化対策費用と施工面積の適用範囲

(平成 23 年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書より)

- ※1 従来型の「サンドコンパクションパイル工法」。
- ※2 「サンドコンパクションパイル工法」の一種であり、従来型に比べ施工中の騒音や振動が小さいく、無振動低騒音型や回転圧入式などがある。

3-2. 建築物への被害を抑える対策（事前対策）

ここでは、液状化の発生は許すが、建築物の補強等を行うことで建築物への被害を抑えるための事前対策について、建築物の構造別に示す。

3-2-1. 戸建住宅に対する地盤対策

戸建住宅に適用可能と考えられる液状化対策工法を次に示す。これらの液状化対策工法は、沈下そのものを防ぐものではなく、不同沈下**の発生やその影響をできるだけ抑制しようとするものである。

表 3-2-1 戸建住宅に対する液状化対策

（復旧・復興支援WG「液状化被害の基礎知識」（日本建築学会ホームページ）より 一部修正

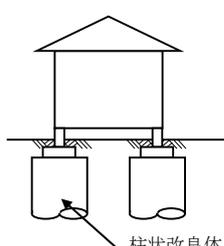
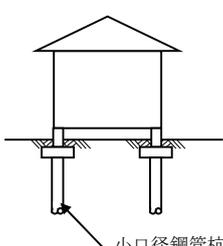
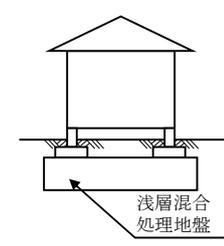
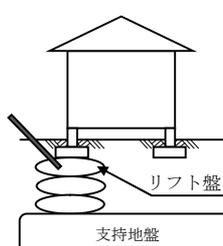
工法名		深層混合処理工法 (柱状改良工法)	小口径杭工法	浅層混合処理工法 (表層改良工法)	注入工法
工法の概要		 <p>柱状改良体</p> <p>改良径：500mm、600mm 程度 改良長さ：2m～8m 程度</p>	 <p>小口径鋼管杭</p> <p>杭径：114mm、165mm 程度 杭長さ：2m～15m 程度</p>	 <p>浅層混合処理地盤</p> <p>改良厚さ：1m～2m 程度</p>	 <p>リフト盤</p> <p>支持地盤</p>
対策の狙い		沈下軽減	沈下軽減	沈下軽減	沈下軽減
新築時	工期	2～3 日	2～3 日	1～2 日	1～2 週間
	工事費	100～200 万円程度	150～250 万円程度	80～150 万円程度	500～800 万円程度
既設有	工期				1～2 週間
	工事費		500～800 万円程度		500～800 万円程度
備考			既設の場合は沈下修正工法と同様に基礎下を掘削し短尺の鋼管を圧入する。		新築の場合も注入のための反力確保のため、べた基礎**などの工事終了後に施工

表 3-2-1 におけるに工事費積算の条件は以下の通りである^{3.3)}。

1. 対象建築物は建坪 50～70 m² (15～20 坪) の総 2 階建てを想定。
2. 施工上必要なスペースは確保していると仮定。
3. 使用する材料は、周辺環境を害するものではないもの。

各工法の概要を次に示す。

ア. 深層混合処理工法（柱状改良工法）

「①地盤に対する液状化対策工法 イ. 固結工法」（P16 参照）の一種。支持力の増加と沈下量の低減を目的として、円形断面を有する柱状の改良体を、基礎スラブ**または基礎フーチング**直下に杭のように配置する工法。地盤と固化材を攪拌、混合して固結する方法として機械攪拌や噴射ジェット式攪拌などがあり、泥状（スラリー状）の固化材を用いた機械式攪拌混合工法が多用されている^{3.3)}。

イ. 小口径杭工法

支持力は基礎フーチング**で確保し、沈下量の低減を目的として、鋼管杭を回転貫入または圧入によって設置する工法である^{3.3)}。

ウ. 浅層混合処理工法（表層改良工法）

支持力の増加と沈下量の低減を目的として、セメント系固化材を使用し、基礎スラブ**または基礎フーチング**直下の地盤を薄く改良する工法。改良深さは、基礎スラブ**直下 2 m より浅い範囲である^{3.3)}。なお、地下水位より下の液状化層を 3 m 程度盤状に固化することで、沈下量の低減や、不動沈下の抑制にも効果が期待される。

エ. 注入工法

支持力の増加と沈下量の低減を目的として、基礎下へグラウト**や薬液等を注入する工法^{3.3)}。

前記の液状化対策工法は、基本的には新築住宅を対象としているが、小口径杭工法、注入工法は既存住宅に対しても適用は可能である。ただし、小口径杭工法を既存住宅に採用する場合は、実質的に事後対策である「沈下修復工法」（P35 参照）と同様な工事を行うため、新築住宅に採用する場合と比べ多額の費用がかかる。

戸建住宅における液状化対策の実施にあたっては、軟弱地盤の補強対策と同等の費用がかかるので、費用対効果を十分に考えて、対策実施の可否及び工法の選定を慎重に行うことが大切である^{3.3)}。

3-2-2. 木造建築物

木造建築物を建築、または既存の木造建築物を補強する場合の対策工法の例を次に示す。

① 基礎の破壊対策

- ・鉄筋コンクリート造のべた基礎**とする。
- ・布基礎**とする場合
 - a) 立ち上がり部分の丈を高くし、かつ、底版幅を広くした鉄筋コンクリート造とするほか、外周部を連続閉鎖型とし、内部の布基礎**も外周部まで延ばす布基礎**とする
 - b) 隅角部や床下換気孔の位置は、水平ハンチ(斜めにコンクリートを増し打ち)や補強筋で補強する

② 上部構造部の布基礎**からの遊離対策（アンカーボルト**やホールダウン金物の抜け出し対策）

- a) 基礎コンクリートの硬化前にアンカーボルトなどのナットを締めない
- b) アンカーボルトやホールダウン金物は基礎コンクリート内に十分な長さ確保して定着**させ、端部にはフックを設ける
- c) ナットの締め付けの際には、座金を用いるとともにナットの締め代を十分確保する
- d) コンクリートから露出しているアンカーボルト**やホールダウン金物は防錆処理を施す
- e) 筋かいや構造用合板など、耐力壁**の端部附近、土台の継手附近にアンカーボルト**を設置し緊結するとともに、その他の部分は2 m以下の間隔で緊結する

③ 上部構造部の傾斜、変形、倒壊対策

- a) 上部構造部に釣り合い良く剛性**を持たせる
- b) 偏在荷重**となる計画は避ける
- c) 建築物の重量を軽くする

④ 1階床下の傾き対策

- a) 鉄筋コンクリート造のべた基礎**とする
- b) 鉄筋コンクリート造の布基礎**とした場合は、周囲の基礎と一体化する
- c) 大引きを支える土台の間隔が短い場合には床束を用いず、丈の大きい大引きを用いる

【解説】

① 基礎の破壊対策

布基礎**の破壊は、基礎底版における支持地盤の沈下、陥没やふくれ上りに起因するせん断**の力や曲げ力による破壊、地盤の水平流動や地割れ、地すべりに起因する引張り力による破壊などが単独又は、競合して起こると考えられる。

基礎が液状化に耐えるためには、鉄筋コンクリート造のべた基礎**とし、鉛直・水平両方向から働く力に耐え得る耐力と剛性**を高めることが最も有効である。布基礎**とする場合は、その立ち上がり部分の丈を高くし、かつ、底版幅を広くした鉄筋コンクリート造とするほか、外周部の基礎は建物内部を囲うように連続させるとともに、内部の基礎も外周部まで延ばして連続させることにより、基礎全体が一体となるようにすることが効果的である。なお、この場合、隅角部や床下換気孔は、耐力上の弱点となるため、水平ハンチや補強筋で補強しておく必要がある。

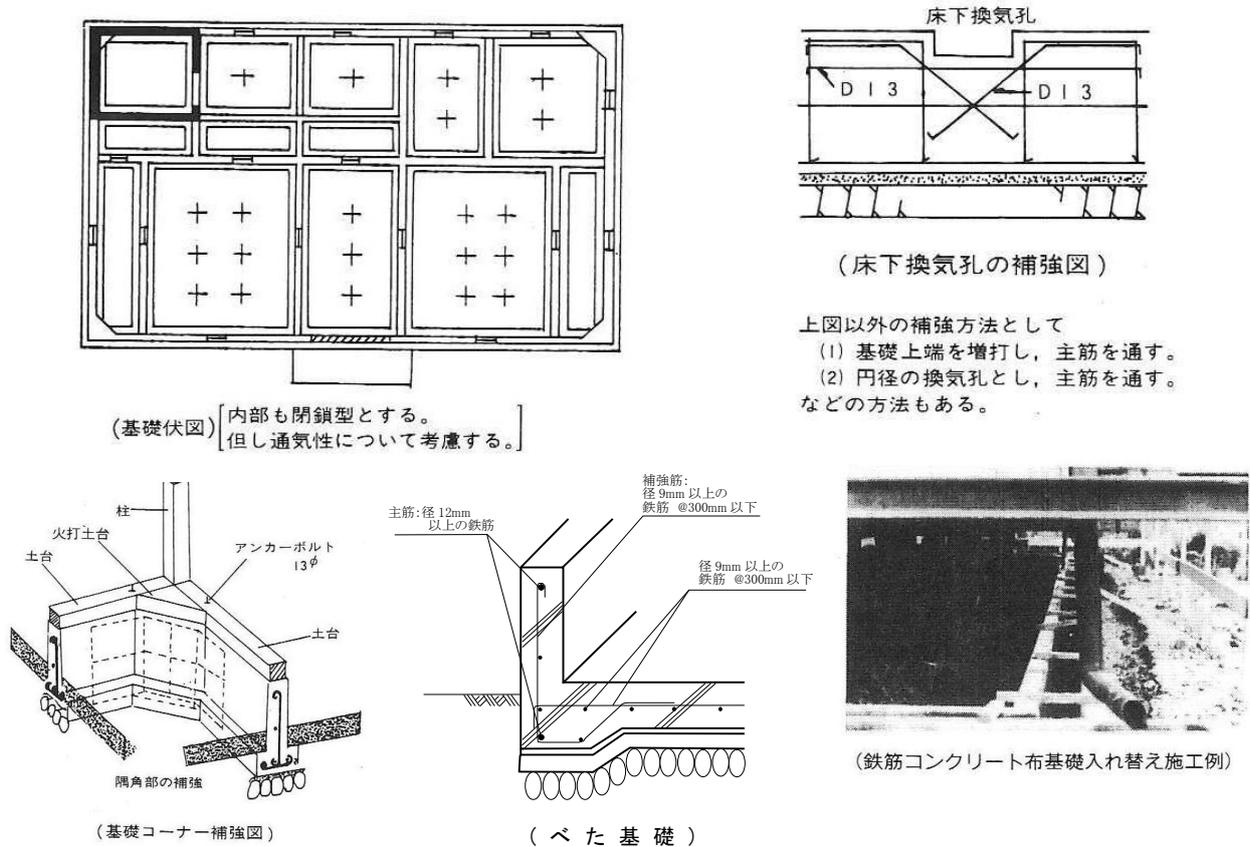


図 3-2-1 木造建築物における基礎の対策の例

② 上部構造部の布基礎**からの遊離対策（アンカーボルト**やホールダウン金物の抜け出し対策）

大地震の際、アンカーボルト**やホールダウン金物が基礎や土台から抜け出す被害が発生することがあるが、その原因の多くは基礎の破壊に伴うものであり、これらが基礎や土台から抜け出さないよう防止するには、次のような対策を行う。

- a) コンクリートは硬化に伴って収縮する現象が起こるため、基礎コンクリートの硬化後にナットが緩む現象などが生じる。そのため、アンカーボルト**などが基礎にしっかりと固定されるように基礎コンクリートの硬化前にナットを締めない。
- b) アンカーボルト**などは基礎コンクリート内に十分な長さを確保して定着**させ、必要な引張り耐力の確保を補助するために端部にはフックを設ける。
- c) ナット締めには座金を用いるとともに、ナットの締め代を十分確保する。
- d) 錆によりアンカーボルト**などの耐力が低下しないように、コンクリートから露出している部分に防錆処理を施す。
- e) 基礎から上部構造部に伝わる地震が、効率よく耐力壁**に伝わるよう、筋かいや構造用合板などが設置されている壁の軸部付近にアンカーボルト**などを設置し緊結する。また耐力上の弱点を補うために土台の継手付近にもアンカーボルト**を設置し、その他の部分は 2 m 以下の間隔で設置する。

③ 上部構造部の傾斜、変形、倒壊対策

a) 上部構造部に釣り合い良く剛性**を持たせる

上部構造部の剛性**が高ければ、基礎やその土台との緊結部が破壊しても上部構造部は大きな被害を受けず、基礎の補修により修復できる可能性がある。

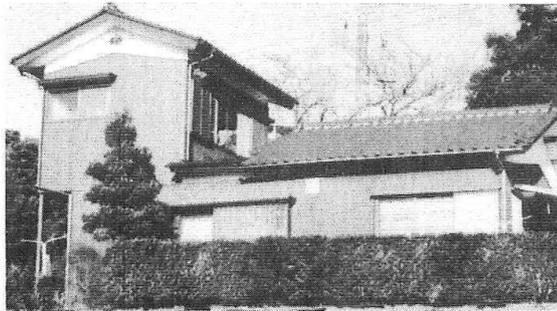
上部構造部の剛性**を確保する方法としては、例えば次の措置がある。

- (ア) 十分な量の耐力壁**を釣り合い良く配置するとともに、梁材を剛強なものとし、小屋組み**には小屋筋違いを設ける。
- (イ) 十分な火打ち梁（地震などにより発生した水平力による変形を防止するために設ける斜材）、火打ち土台を釣り合い良く配置するとともに、小屋組み**や床組みに構造用合板等の野地板、床板を用いることにより水平剛性**を高める。
- (ウ) 構造部材の接合部は、その部位に適した補強金物により緊結する。

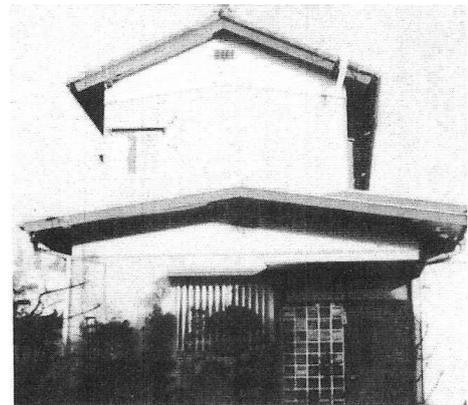
b) 偏在荷重**となる計画は避ける

基礎底版下の地盤が液状化し支持力を失うと建築物は沈下を起こすが、2階部分が偏在するなど重量に偏りがある場合は、その重い部分の沈下が大きくなり建築物が傾くこともあるので、次の点に注意する。

- (ア) 2階部分を設ける場合には、2階部分を出来るだけ中央に配置し、バランスの良い建築物とする。
- (イ) 平面形状や立面形状を整形にする。



(荷重に偏在がある例)



(バランスの悪い例)

図 3-2-2 木造建築物における2階部分の配置の例

c) 建築物の重量を軽くする

地震により建築物が受ける力の大きさは、基本的に建築物の重さに比例するので、建築物の重量を軽減することは、基礎の耐力や上部構造の剛性**を高めることと同様の効果を持つ。特に、屋根の軽量化は建築物の耐力や剛性**を落とさずに構造部材の負荷や基礎の沈下量を減らす効果があるため、建築物の傾斜は小さくなり、地震に対しては効果的である。しかし、上部構造が軽くなりことにより建築物を抑える効果が減少するため、強風時に対しての十分な検討が必要となる。

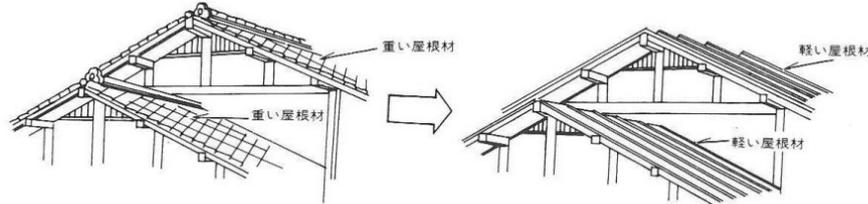


図 3-2-3 屋根の重量軽減の例

④ 1階床下の傾き対策

束石は独立して設けられているため、地震時の地盤の動きによる直接的な影響に加え、上部構造との揺れ方の違いによる影響も受けるので、比較的損傷を受けやすい部分である。一方で、束石の損傷による影響は1階の床に限定されることが多く、甚大は被害には直結しないが、1階の部屋の用途や仕上げ、家具の転倒による危険性なども考慮することが望ましい。

束石の被害には、沈下や突き上げ、又は押し流される現象などがあるが、これを排除するため、束石に代えて次の措置を講ずる。

a) 鉄筋コンクリート造のべた基礎**とする。

①に記述した基礎の破壊対策と同様に、鉄筋コンクリート造のべた基礎**にする方法が最も効果的である。

b) 鉄筋コンクリート造の布基礎**とし、周囲の基礎と一体化する。

束石に代えて鉄筋コンクリート造の布基礎**を配置して周囲の基礎と一体化する方法も効果的である。この方法は布基礎**の間隔が狭くなり、施工面で効率が悪くなるので、c)の方法と併用することが効果的である。

c) 大引きを支える土台の間隔が短い場合には床束を用いず、丈の大きい大引を用いる

部材サイズの大きい大引を用いることにより、できるだけ束石の配置を少なくし、シンプルな平面計画とすることが望ましい。

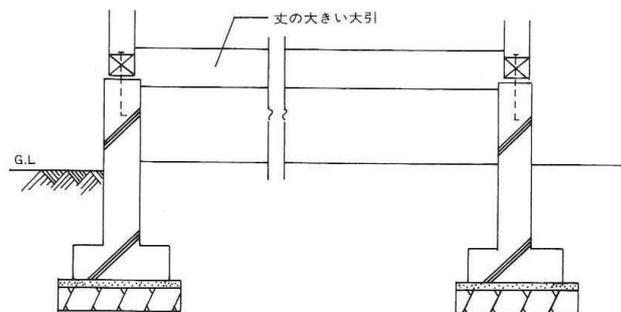


図 3-2-4 1階床下の傾き対策の例

3-2-3. 非木造建築物

非木造建築物を建築、または既存の非木造建築物を補強する場合の対策工法の例を次に示す。

- ① 支持杭基礎工法とする
- ② 地階**を設ける
- ③ 地中梁**等の基礎部の耐力と剛性**を高める
 - ・断面の大きい地中梁**や地中小梁を有効かつ高密度に配置し、その鉄筋量を増やす
 - ・整形性の良い平面計画とする
 - ・地盤の変形の影響を受けにくいべた基礎**や2重スラブ**とする
- ④ 本体建築物と付属物との取り合いをエキスパンションジョイント**とする

鉄骨造の渡り廊下や下屋などの付属物を、鉄筋コンクリート造の建築物につなげて設けようとする場合には、その接合部をエキスパンションジョイント**とすること。

【解説】

① 支持杭基礎工法とする

建築物の沈下や傾斜、不同沈下**に対し、最も一般的な対策工法として支持杭基礎工法がある。これは液状化の発生する恐れのある地盤に杭を貫通して設置し、その下方の液状化しない堅固な地盤に先端で支持させる方法である。この場合、杭頭は基礎に十分定着**させておく必要がある。

杭の支持力は、平成13年国土交通省告示第1113号の規定に基づき、液状化による支持力の低下を考慮して算定する必要がある。また、液状化した地盤は杭の周面にもたらす横方向の反力が減少又は消失するので、曲げ力や・座屈**荷重に対する耐力の大きい杭を用いる必要がある。

② 地階**を設ける

液状化層が比較的浅く、その直下に堅固な地盤が存在する場合は、液状化の発生する恐れのある地盤を貫通して地階**部分を設け、液状化しない堅固な地盤に直接支持させる方法も有効である。

③ 地中梁**等の基礎部の耐力と剛性**を高める

液状化による不同沈下**に対して、支持力の低下部分や陥没が局所的な場合は、基礎部の引張り力、せん断**の力、曲げ力などに対する耐力と剛性**を高めておくことが有効である。引張り力、せん断**の力、曲げ力などに対する耐力や剛性**を高める方法として、断面の大きい地中梁**や地中小梁をバランス良くかつ高密度に配置し、その主筋**やあばら筋**の鉄筋量を増やすことや、べた基礎**や2重スラブ**などを設けることも有効であると考えられる。

不整形の平面計画による建築物においては、入隅や出隅部に力が集中することが考えられるため、できるだけ整形な平面計画にすることが効果的である。

④ 本体建築物との取り合いをエキスパンションジョイント**とする

鉄骨造の渡り廊下や下屋などの付属物を鉄筋コンクリート造の建築物につなげる計画とする場合には、それぞれの建築物の沈下や移動に伴う強制的な変形により接合部が損傷を受ける場合が多い。これらの被害を防止又は緩和するため、その接合部をエキスパンションジョイント**とすることが有効である。

3-2-4. コンクリートブロック塀**

コンクリートブロック塀**を築造する場合の対策工法の例を次に示す。

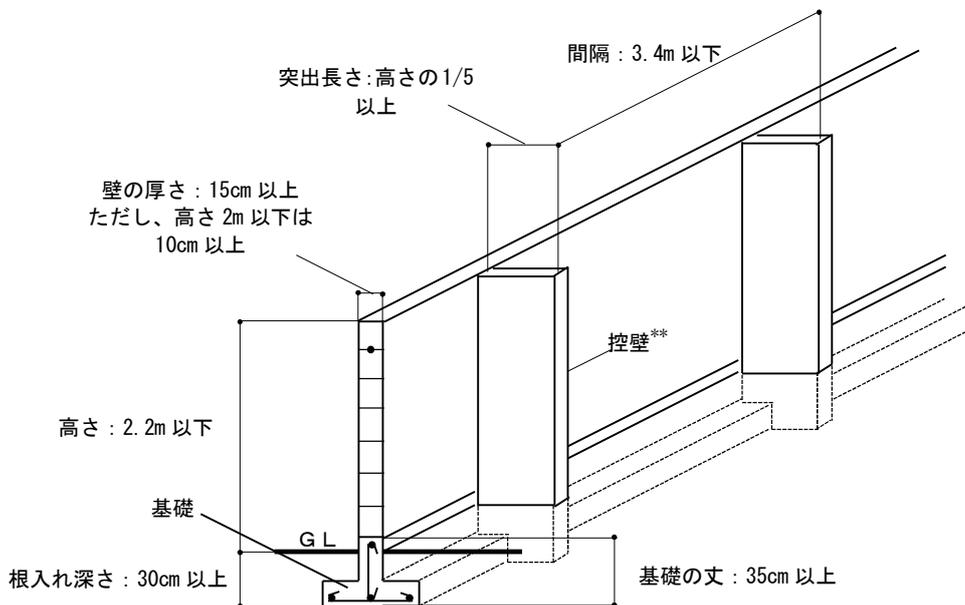
- ① 建築基準法令等の技術基準に適合させる
- ② 基礎を底版幅の大きい逆T字形又はL字形の鉄筋コンクリート造で造り、根入れを深くする

【解説】

コンクリートブロック塀**の被害例は、特に基礎が無筋で底版を有しておらず、また根入れ不足のものに顕著にあらわれている。(資料2-3. コンクリートブロック塀**の被害例参照) まずは建築基準法令等の技術基準に適合させる必要がある。建築基準法における補強コンクリートブロック塀の構造方法は、図3-2-5に示すように、高さ、壁の厚さ、配筋、控壁**、鉄筋の定着**及び基礎について規定されている。

コンクリートブロック塀の築造にあたっては、特に、基礎を底版幅の大きい逆T字形又はL字形の鉄筋コンクリート造で造り、根入れを深くするよう心がけるべきである。なお、コンクリートブロック塀**はその形態や費用対効果の面で液状化に対して万全の対策は困難なため、できるだけ被害を小さくし、倒壊などによる人的被害が発生しないように対策することが必要である。

既存のブロック塀についても、その安全性に関し個々に点検と診断を行い、必要な補強工事などを行うことが望ましい。



鉄筋	
壁頂、基礎	横筋：径9mm以上
壁の端部、隅角部	縦筋：径9mm以上
壁内	縦横筋：径9mm以上間隔80cm以下
備考	縦筋は壁頂及び基礎の横筋にフックで定着** (40d以上基礎に定着**させる場合を除く) 横筋はそれらの縦筋にフックで定着**

図3-2-5 補強コンクリートブロック塀**の規定

3-2-5. 擁壁

擁壁を築造する場合の対策工法の例を次に示す。

- ・ 建築基準法や関係法令等の技術基準に従って堅固に築造すること。

① 鉄筋コンクリート造擁壁

- 基礎底版の下に2列以上の支持杭を液状化する恐れのある地層を貫通して設け、杭頭を底版に十分に定着**させる。また、基礎の根入れをできるだけ深くする
- 隅角部を水平ハンチ(斜めにコンクリートを増し打ち)で補強する
- 伸縮目地**は図3-2-6に示す隅角部に設けるほか、擁壁の長さ20m以内ごとに一箇所設ける

② 間知石又は間知ブロック練積み造擁壁

- 基礎底版は幅を広くし下端側の鉄筋を密に入れた鉄筋コンクリート造とする。また、基礎底版下に①鉄筋コンクリート造擁壁 a) と同様の支持杭を用いる
- 隅角部を水平ハンチ(斜めにコンクリートを増し打ち)で補強する
- 伸縮目地**は図3-2-6に示す隅角部に設けるほか、擁壁の長さ20m以内ごとに一箇所設ける
- 必要に応じて5m程度の間隔に鉄筋コンクリート造の控え壁を設ける

【解説】

擁壁の被害例は、法令などの規定に適合していない構造のものに多く現れていることから、建築基準法や宅地造成等規制法など関連法令の技術基準に従って堅固に築造する必要がある。しかし、これだけでは地盤の液状化に抗することが困難であるので、擁壁の構造に応じて上記のような対策を講ずることが考えられる。なお、擁壁の安全性の確保については、資料3に示す神奈川県建築行政連絡協議会が作成した「擁壁の取扱い(平成24年4月1日決定)」も参考となる。

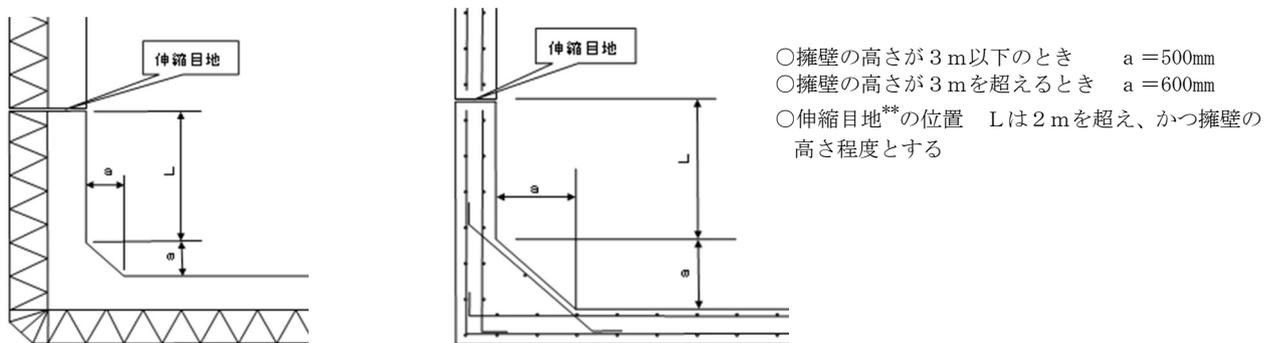


図3-2-6 擁壁のコーナー補強、伸縮目地**設置例(左は練り積み造擁壁、右は鉄筋コンクリート造擁壁)

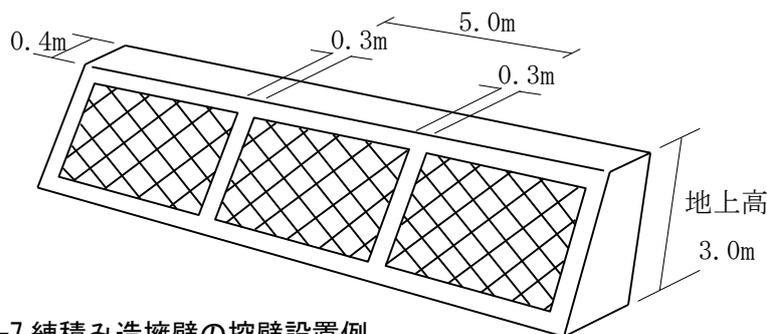


図3-2-7 練り積み造擁壁の控え壁設置例

3-2-6. 建築設備

浄化槽、上下水配管等の建築設備を設置する場合の対策工法の例を次に示す。

① 浄化槽の浮上防止

家庭用などの小型槽は、槽の周囲に碎石を入れる方法が考えられる。

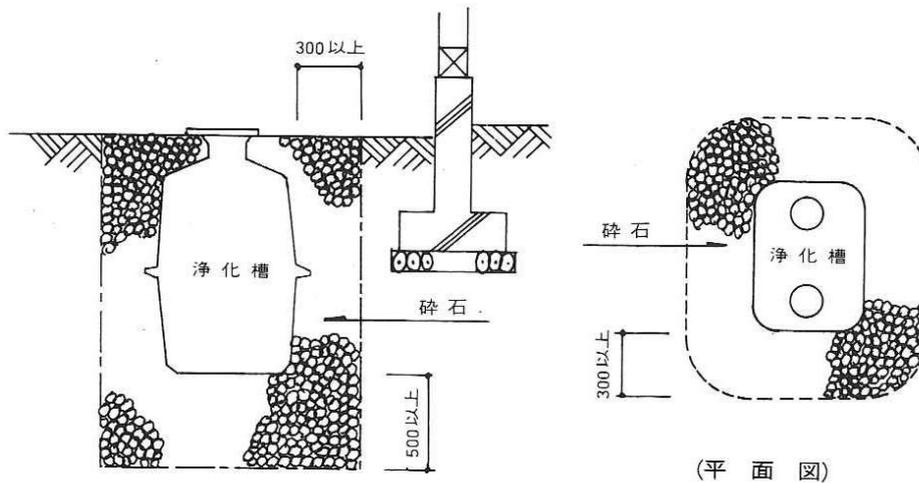
② 排水管の傾き、切断の防止

排水管の継手は変位を吸収し、抜け出しを防止できる構造とし、浄化槽や中継柵**への取付部にも抜け出し防止策を講ずる。

【解説】

① 浄化槽の浮上防止

次に示す図 3-2-9 は 3-1. ①地盤に対する液状化対策工法で示した置換工法の一つである。周辺の土砂を、碎石などの液状化の発生しにくい材料と入れ換えることにより、液状化による浮き上がりを防ぐ。



(断面図)

図 3-2-9 浄化槽の浮上防止例

② 排水管の傾き、切断の防止

排水管等の建築設備と本体建築物は、それぞれの形状や材質の違いから液状化発生時に同じ挙動を起こすとは考えにくい。そのため、①浄化槽の浮上防止で示した置換工法以外にも、次に示す図 3-2-10、図 3-2-11 のように、それぞれの沈下や移動に追従できる回転エルボやフレキシ管などを用いることも考えられる。

「戸建住宅敷地内で損傷した排水管から液状化した土砂が流入することによって下水道本管へ多大な影響を与えた」との報告がある^{3.1)}。そのため、建築設備と本体建築物との接合部だけでなく中継柵や下水道本管等への接合部も配慮することが望ましい。



※液状化に伴う沈下対策への適用には別途検討が必要

図 3-2-10 排水管の対策イメージ※（伸縮継手）
（平成 23 年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書より）



※液状化に伴う沈下対策への適用には別途検討が必要

図 3-2-11 排水管の対策イメージ※（可とう継手**）
（平成 23 年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書より）

3-3. 戸建住宅における液状化の被害を受けた後の対策(事後対策)

3-3-1. 対策工の考え方

戸建住宅の液状化被害に関する対策工の考え方は、「建築物の修復」と「地盤の再液状化への備え」という二つの視点で整理すると理解しやすい。

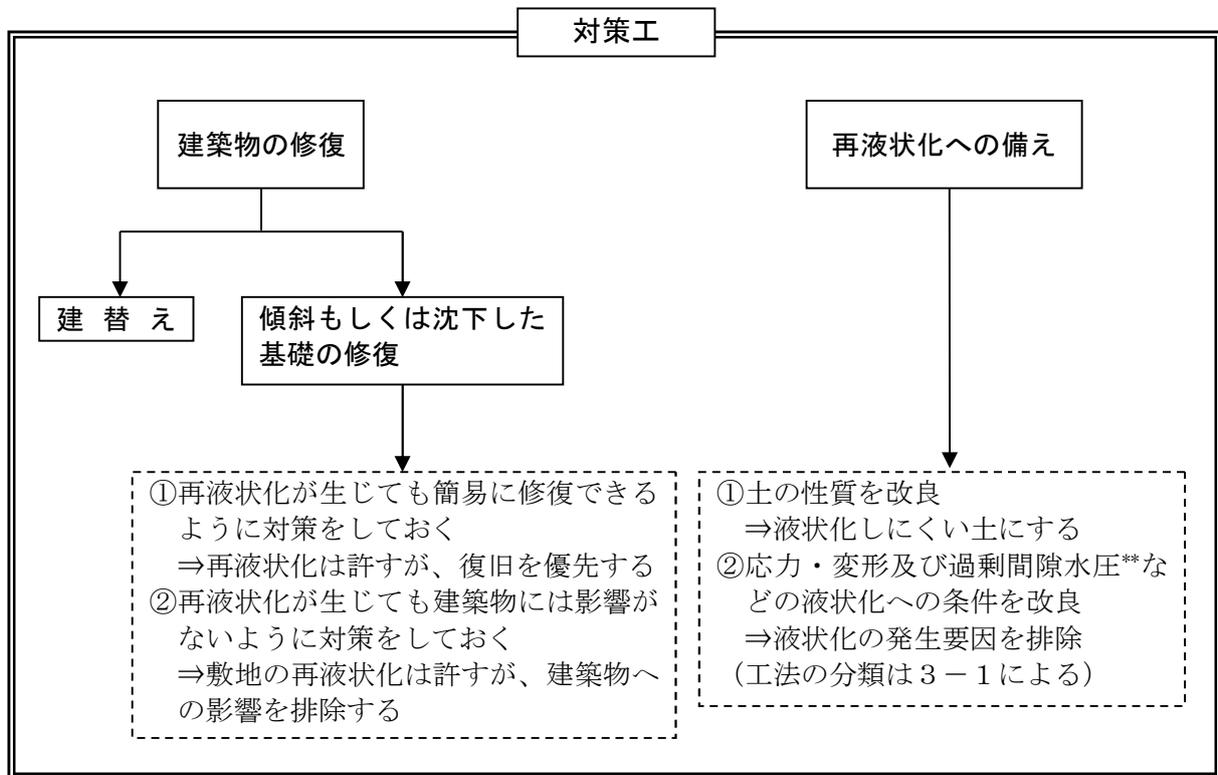


図 3-3-1 戸建住宅の液状化被害に関する対策工の考え方

3-3-2. 対策工法の検討

図 3-3-1 に示す考え方を踏まえ、専門家と相談し、建築物などの被害状況や液状化した地盤のボーリング調査などの詳しい調査を行い、被災した建築物の被害の傾向・特徴により、液状化被害に関する対策工法の検討を行うことが必要である。

<調査事項の例>

- 1) 液状化した地盤のボーリング調査や標準貫入試験などの詳細な調査結果
- 2) 被災した建築物や工作物の被害状況(傾き、亀裂、沈下量など)
- 3) 敷地境界から建築物までの距離や周辺状況などの条件
- 4) 重機等の搬入や使用の可否(工法選択に必要な条件)

① 基礎の修復工法について

基礎の修復工法は、修復目的によって「基礎躯体修復工法」と「沈下修復工法」に大別され、修復工法などの考え方の手順については、図 3-3-2 に示すフローチャートが参考となる。「基礎躯体修復工法」は、接着効果の高いエポキシ樹脂などの閉塞させるための材料を使用する損傷補修のほか、図 3-2-1 木造建築物における基礎の対策の例 に示した躯体補強（補強例参照）もこの工法の一つである。また、「沈下修復工法」の主な工法、条件、費用などについては表 3-3-1 に示す。

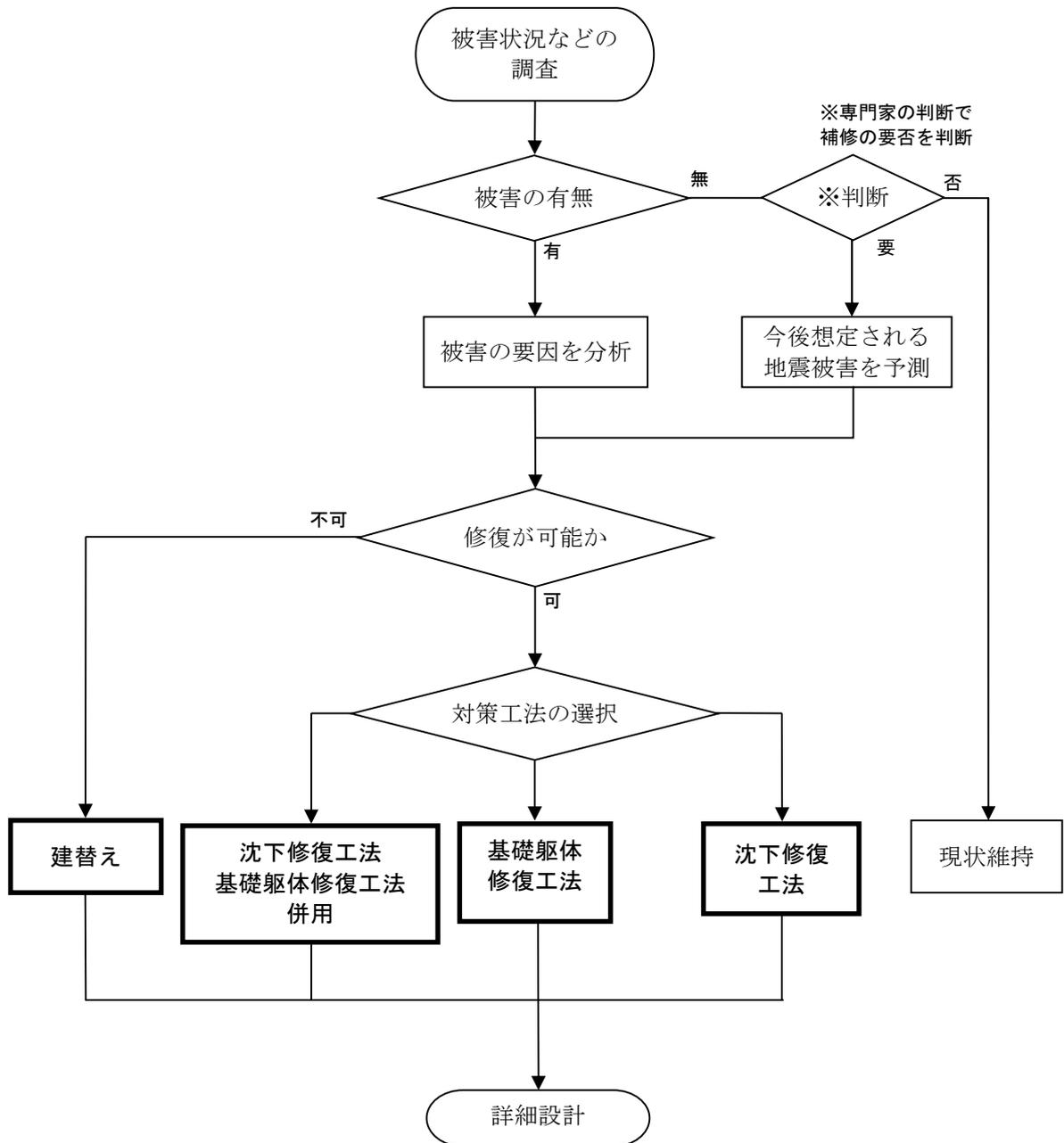


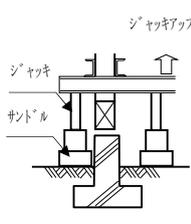
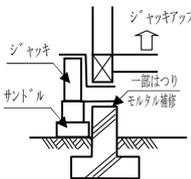
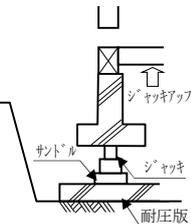
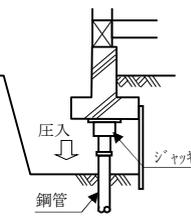
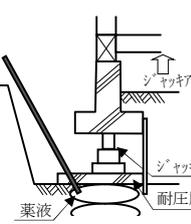
図 3-3-2 液状化対策工の考え方

3. 建築物の液状化対策工法

・沈下修復工法について

小規模建築物基礎設計指針(日本建築学会)等を参考に、対策工法の工法概要、適用条件等をまとめた。

表 3-3-1 沈下修復工法 (一部修正)

分類	工法(別名)	模式図	工法概要	適用条件		
				①適用沈下量	②基礎形状	③隣地までの距離
土台から嵩上げ	根がらみ工法		基礎と土台から上の部分を切り離し、土台の下にレールを渡し、上部構造を1m以上ジャッキアップしたうえで、基礎のうちかえ又はモルタル等で水平調整して上部構造を再定着させる。	20cm 以下	べた基礎 布基礎	0.5m 程度
	ポイントジャッキ工法(土台上げ工法・ブッシュアップ工法)		基礎と上部構造を緊結するアンカーボルトを切断又ははつり出し、土台下に爪付きジャッキを挿入しジャッキアップする。既存基礎を再利用する。	10cm 以下	べた基礎 布基礎	0.5m 程度
基礎から嵩上げ	耐圧版工法(ラップル工法)		基礎下を25~50cm程掘削し、耐圧版(鉄板、コンクリート等)を設置し、既存地盤及び耐圧版を反力にしてジャッキアップする。	20cm 以下	べた基礎 布基礎	1.0m 程度 (埋設管に抵触しなければ0.5m程度)
	鋼管圧入工法(アンダーピーニング工法)		基礎下を掘削して建物荷重により約0.8~1mの鋼管杭を継ぎ足しながらジャッキで鋼管を地盤に圧入する。建物荷重を支持できる層まで貫入後、これを反力にしてジャッキアップする。	50cm 以下	べた基礎 布基礎	1.0m 程度 (埋設管に抵触しなければ0.5m程度)
	薬液注入+耐圧版併用工法		基礎下へ薬液(グラウト)を注入して支持力を上げたのち、改良地盤及び耐圧版を反力にしてジャッキアップする。薬液注入の周辺への影響を抑えた支持力アップにより耐圧版数を減らすことができる。	20cm 以下	べた基礎 布基礎	1.0m 程度 (埋設管に抵触しなければ0.5m程度)

適用性：◎非常に高い、○高い、△適する、×不適

※1：概算費用は、建物形状や敷地状況により異なります。また、既存配管等の改修費や、基礎のひび割れや、壁面クラック、目地ずれ等の補修費は別途必要です。

建物形状は単純な長方形を想定しています。形状により概算費用は異なります。

3. 建築物の液状化対策工法

分類	工法 (別名)	適用条件			その他の条件		概算費用(※1) 工法仕様(荷重 20kN/m ² 、 建築面積 80 m ² (8m×10m) 程度を想定)
		④周辺への影 響	⑤液状化対 策	⑥反力	⑦既存建物 の一部取り 壊し	⑧工期	
土台から嵩上げ	根がらみ 工法	なし	再液状化し た場合は傾 く可能性有 り	盛土層 ジャッキア ップ時に盛 土層の即時 沈下の恐れ 有り	一部取り壊し の必要有り 耐震性低下の 恐れがある	15 日以上	<ul style="list-style-type: none"> ・工法仕様：基礎切断・土台形成後ジャッキアップ ・概略数量：2.7m 交点計 20 箇所 ・概算費用：約 350 万円以上 (アップ後の基礎と建物の緊結費用を除く)
		◎	×	△	△	—	
	ポイント ジャッキ 工法 (土台 上げ工法・ プッシュ アップ工 法)	なし	再液状化し た場合は傾 く可能性有 り	盛土層 ジャッキア ップ時に盛 土層の即時 沈下の恐れ 有り	一部取り壊し の必要有り 耐震性低下の 恐れがある	10 日以上	<ul style="list-style-type: none"> ・工法仕様：基礎切断及びジャッキアップ(外周 1.8m、内部 3.6m 交点計 32 箇所) ・概算費用：約 250 万円以上
		◎	×	△	△	—	
基礎から嵩上げ	耐圧版工 法 (ラッ プル工 法)	地盤掘削を伴 うが、掘削深 度は非常に浅 いため影響な し	再液状化し た場合は傾 く可能性有 り	盛土層 耐圧版	なし	15～20 日 以上	<ul style="list-style-type: none"> ・工法仕様：基礎下掘削後、耐圧版設置及びジャッキアップ(2.7m 交点計 20 箇所) ・概算費用：約 350～500 万以上
		○	×	○	○	—	
	鋼管圧入 工法 (アン ダー ピー ニング 工 法)	地盤掘削を伴 うが、影響な し	再液状化し た場合は傾 かないが周 辺地盤は液 状化する	支持層	なし	20～30 日 以上	<ul style="list-style-type: none"> ・工法仕様：基礎下掘削後、鋼管杭 11m 圧入及びジャッキアップ(3.6m 交点計 12 箇所) ・概算費用：約 700～1000 万以上
		○	○	○	○	—	
	薬液注入 +耐圧版 併用工 法	地盤掘削・薬液 注入が伴うが、 薬液注入工法 よりも量が少 ないため、大 きな影響なし	薬液注入し た部分は液 状化せず、建 物にも影響 はないが、周 辺地盤は液 状化する	改良体 耐圧版	なし	15～20 日 以上	<ul style="list-style-type: none"> ・工法仕様：薬液注入後、基礎下掘削、耐圧版設置及びジャッキアップ(外周 2.7m 計 14 箇所) ・概算費用：約 400～500 万以上
		△	○	○	○	—	

② 再液状化への備え

再液状化への備えについては、地盤の液状化対策（「3-1. 液状化の発生そのものを抑える対策（事前対策）」）参照と同様の対策が考えられる。建築物の建替えを行わない場合は、個別の条件に見合うような工法を図 3-1-1 にて太枠で囲った「既存建築物に対しても一般的に適応可能といわれる工法」から選択する必要がある。

<参考文献等>

- 3.1) 平成 23 年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書（浦安市）
- 3.2) 小規模建築物基礎設計指針（日本建築学会）
- 3.3) 復旧・復興支援WG「液状化被害の基礎知識」（日本建築学会ホームページ）

4. 液状化についての相談窓口等

建築主は、建築物を建築する場合、あらかじめ計画した計画物の安全性等※が建築基準法に適合することの確認（建築確認）を受ける必要がある。

また、建築物敷地における液状化被害のおそれの有無、液状化対策を行うにあたっては、行政窓口における情報収集、専門家への相談を行うことなどが考えられる。本章では、これらに関連する行政機関、専門家団体の窓口等を紹介する。

※建築物の基礎の安全性について、建築基準法施行令第 38 条に「地盤の沈下又は変形に対して構造耐力上安全なものとしなければならない」と規定されており、構造計算が必要な大規模な建築物は、液状化のおそれのある地盤において「有害な損傷、変形及び沈下が生じないことを確かめなければならない」とされ、具体的な計算方法が定められている。

4-1 県の相談窓口

① 本庁の窓口

所属名	電話番号	担当内容
県土整備局建築住宅部 建築指導課	045-210-6244	本マニュアル及び建築物の液状化対策一般について
くらし安全防災局防災部 危機管理防災課	045-210-5945	県作成の液状化想定図について

② 各土木事務所の窓口

県が所管する各地域における建築基準法の施行については各土木事務所が担当している。また、各窓口には神奈川県建築物等耐震相談コーナーが設けられている。

事務所名	担当課	所在地・電話番号	所管地域
横須賀土木事務所	建築指導課	横須賀市公郷町 1-56-5 046-853-8800	逗子市・三浦市・葉山町
平塚土木事務所	建築指導課	平塚市西八幡 1-3-1 (平塚合同庁舎内) 0463-22-2711 (代表)	伊勢原市・大磯町 二宮町・寒川町
厚木土木事務所	まちづくり・ 建築指導課	厚木市田村町 2-28 (厚木南合同庁舎内) 046-223-1711 (代表)	愛川町・清川村
厚木土木事務所 東部センター	まちづくり・ 建築指導課	綾瀬市寺尾本町 1-11-3 0467-79-2800	海老名市・綾瀬市・座間市
県西土木事務所	まちづくり・ 建築指導課	足柄上郡開成町吉田島 2489-2 (足柄上合同庁舎内) 0465-83-5111 (代表)	南足柄市・中井町・大井町・ 松田町・山北町・開成町 箱根町・真鶴町・湯河原町

4-2 専門家団体の窓口

液状化に対する調査や対策を検討するにあたり、専門家に具体的な相談やアドバイスを受けることが有効である。次に、建築、地質調査等の専門家で構成されている団体の一覧を示す。

① 建築関係の団体

団体名	概要	電話番号	ホームページ
一般社団法人 神奈川県建築士 事務所協会	建築設計事務所 (建築士事務所) で構成される 団体	045-228-0755	http://www.j-kana.or.jp
一般社団法人 神奈川県建築士会	建築士を会員と する団体	045-201-1284	http://www.kanagawa-kentikusikai.com
一般社団法人 日本建築家協会 関東甲信越支部 JIA 神奈川地域会	建築の設計監理 を行う建築家の 団体	045-663-2745	http://www.jia-kanto.org/kanagawa/

② 地質調査、地盤関連の団体

団体名	概要	電話番号等	ホームページ
一般社団法人全国地 質調査業協会連合会	地質調査技術の進歩改善、 技術に関する調査研究及 び啓発事業等を行う団体	03-3518-8873	http://www.zenchiren.or.jp
関東地質調査業協会 神奈川支部 (神奈川県地質調査 業協会)	総合的な判断が可能な地 盤・地質の専門家として、 よりの確な助言を提供す る団体 (全国地質調査業 協会連合会の支部)	045-826-4747	http://www.kanto-geo.or.jp

5. 用語の解説

本章では、第1章から第4章において使用した用語について解説を行う。

用語 (アイウエオ順)	解 説
あばら筋	鉄筋コンクリート梁の上下主筋を囲んで巻いた鉄筋。
アンカーボルト	構造物の柱や土台をコンクリート基礎に定着するために基礎に埋め込んで用いるボルト
エキスパンション ジョイント	温度変化による伸縮、地震時の振動性状の違いなどによる影響を避けるために、建築物をいくつかのブロックに分割して設ける相対変位に追従可能な接合部。
N値	地盤の標準貫入試験において、63.5kg のハンマーを 75cm 自由落下させ、先端が 30cm 貫入するのに要する打撃回数。地盤の固さを表す指標となる。
偏在荷重	構造物が外部から受ける力を荷重といい、この荷重がアンバランスであること。
可とう継手	たわみ継手。配管の変位、伸縮、振動などを吸収できる可とう性のある継手。
間隙水圧	土中の間隙に存在する水による圧力。
グラウト	地盤、各種構造物の空げき、目地、ひび割れなどにセメントペースト、モルタルなどの結合材料を注入あるいは充填すること。
剛性	外力が作用する構造物または構造部材の弾性変形に対する抵抗の度合い。「剛さ」ともいう。
小屋組み	比較的大張間の構造物に用いられる架構。屋根自重や屋根面に作用する風圧力、積雪荷重などの外力を柱や壁に伝える。
座屈	構造部材が外力を受けたとき、その外力が単調増加してゆくと、ある点で急にいままでの変形様式を変える様式をいう。
主筋	鉄筋コンクリート部材で、軸方向力、または曲げモーメントを負担する鉄筋。
伸縮目地	躯体、仕上げ材が地震などの振動、温度および湿度の変化、不動沈下などで生ずる挙動による応力を緩衝するために設けられる目地。
伸縮継手	温度変化や相対変位による配管の軸方向、軸直角方向の変位や変形角を吸収し、配管の破壊を防止するための継手。
スラブ	鉛直荷重を支える床版。 2重スラブとは、ある空間を挟んで床板を二重に張った床。防音、防寒、配線、配管などのために用いられる。
せん断	物体に外力が作用した場合、物体内部の任意の面を境としてその両側の部分が相互に逆方向にずれようとする現象。
耐力壁	鉛直荷重または水平力に抵抗させる目的で造られる壁体で間仕切り壁と区分される。
地階	床が地盤面下にある階。

5. 用語の解説

用語 (アイウエオ順)	解 説
地中梁	基礎梁。構造物を強固にするための梁。最下階の柱の脚部を繋いで、柱脚の移動、沈下、回転を拘束する。木造建築でも鉄筋コンクリート造の基礎梁を設けることが多い。
直接基礎	上部構造からの荷重に対して杭などを用いずに基礎板から直接地盤に伝える基礎。
束立形式	伝統的方法による木造の最下階床。束石の上に束を立て、大引を支えその上に根太を架けて床を張る。
定着	構造物同士あるいは構造物に他の物を緊結すること。例えば、鉄筋端部をコンクリートに、機械をコンクリート構造に緊結すること。
布基礎	直接基礎の一種。壁下に設ける場合には壁の長さ方向に連続した同一断面の基礎とする。
ハンチ	梁せいあるいは梁幅を梁の端部で柱に向けて直線的に大きくした部分。
控壁	長く連続した壁の強度、剛性を増すために間隔をおいて壁から直角に突出してつくる壁。
フーチング	基礎の底版部分。
不同沈下	構造物の基礎の沈下が一様でなく、場所により異なった沈下量を示すこと。
不飽和	土中の間隙に部分的に水が存在している状態。（不飽和土＝不飽和状態にある土）
べた基礎	直接基礎の一つ。建築物の底面積全体を占める板状の基礎。
飽和	土中の間隙がすべて水で占められている状態をいう。
補強コンクリートブロック塀	鉄筋により補強されたコンクリートブロックによる塀
摩擦杭基礎	杭の周面摩擦力（土とくいの接触面の摩擦によって生ずる力）にその支持力を期待している杭。
柵（ます）	屋外排水の合流点、分岐点、起点または管径、流量の変化しやすい所に設ける掃除・点検用装置。排水柵という。

<参考文献>

- ・ 建築大辞典(彰国社)
- ・ 建築学用語辞典（岩波書店）

建築物の液状化対策マニュアル (資料編)

資料 1. 液状化判定方法について

資料 1-1. 神奈川県液状化想定図について

「1-3. 液状化が起こりやすい土地の判定方法」で示した神奈川県地震被害想定調査報告書による液状化想定図について、作成の基となる地震動や、想定結果の概要を示す。

① 地震についての想定方針

各震源の想定方針と想定地震の概要を表 1-1-1 に示す。

表 資 1-1-1 地震についての想定方針と概要
(神奈川県地震被害想定調査報告書(平成 21 年 3 月)より)

震源	震源モデル想定方針	想定地震の規模・発生間隔(確率)
東海地震	中央防災会議「東海地震に関する専門調査会」の想定に準ずる。	<ul style="list-style-type: none"> 駿河トラフを震源域とするマグニチュード 8 クラスの地震。 平均発生間隔：118.8 年(参考値)。 30 年以内の発生確率：87%(参考値) 切迫性が指摘されている。
南関東地震 (大正型関東地震)	大大特の成果である Sato et al. (2007) のインバージョン結果を参照して断層モデルを設定する。	<ul style="list-style-type: none"> 相模トラフ沿いを震源域とし、想定規模はマグニチュード 7.9 平均発生間隔：200～400 年。 30 年以内の発生確率： ほぼ 0～1% 今後 100 年から 200 年先には、発生の可能性が指摘されている。
神縄・国府津－松田断層帯の地震	中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」の想定に準ずる。	<ul style="list-style-type: none"> 今後 30 年の間に地震が発生する可能性が我が国の主な活断層の中では高いグループに属する。 30 年以内の発生確率：0.2%～16% マグニチュード 7.5 クラス
南関東地震と神縄・国府津－松田断層帯の連動地震(参考)	神縄・国府津－松田断層帯が南関東地震の分岐断層であるものとして震源モデルを設定する。	<ul style="list-style-type: none"> マグニチュード 7.9 クラス 南関東地震との連動であるため、今後 100 年から 200 年先に発生する可能性が高い。
三浦半島断層群の地震	中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」の想定に準ずる。	<ul style="list-style-type: none"> 今後 30 年の間に地震が発生する可能性が我が国の主な活断層の中では高いグループに属する。 マグニチュード 7.2
東京湾北部地震	中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」の想定に準ずる。	<ul style="list-style-type: none"> 中央防災会議の「首都直下地震対策専門調査会」で検討された「フィリピン海プレートと北米プレートとの境界の地震のうち、ある程度切迫性が高く被害が大きい地震。 M7.3
神奈川県西部地震	前回調査の想定に準ずる。	<ul style="list-style-type: none"> 「神奈川県西部地震被害想定調査報告」(平成 5 年)で石橋(1988)の「西相模湾断裂」に基づく断層モデル。 マグニチュード 7 クラス 切迫性が指摘されている。
神奈川県東部地震	前回調査の想定に準ずるが、断層面積を大きく設定。	<ul style="list-style-type: none"> 中央防災会議の「南関東地域直下の地震対策に関する大綱」で検討されたフィリピン海プレート境界面で発生する地震の検討結果をふまえ、前回調査で新たに設定した県庁直下を震源とした断層モデル。 マグニチュード 7 クラス 危機管理的に設定。

② 液状化判定の手法

液状化予測計算は、①の方針により想定した地震動予測結果を用いて、「道路橋示方書」(道路協会, 2002)²に代表される F_L 法及びこれを深度方向に積分した P_L 法により行った。予測単位は、250mメッシュとし、予測結果は、岩崎ほか(1980)³による液状化危険度判定 (P_L 値によるランク判定) をもとにメッシュ単位で整理した。

③ 液状化予測結果の概要

各想定地震における液状化予測結果の概要を表1-1-3に示す。具体的な想定図については、県が公表している神奈川県地震被害想定調査報告書又はe-かなマップを参照されたい(P4参照)。

なお、今回の調査では、微地形区分やボーリングデータを用いて、地質の構成分布や地下水の分布をモデル化し、液状化の可能性を判定しているため、土地所有者等が実施した地盤改良等の液状化対策は、考慮していない。

表 資 1-1-3 液状化予想結果の概要 (神奈川県地震被害想定調査報告書より)

東海地震	横浜市、川崎市、横須賀市の海岸沿いと多摩川、相模川、酒匂川の流域では、液状化の可能性が想定される。
南関東地震(大正型関東地震)	横浜市、川崎市、横須賀市の海岸沿いでは、液状化の可能性がかなり高いと想定される。小田原市、平塚市、茅ヶ崎市、藤沢市の海岸沿いや低地、多摩川、相模川、酒匂川の流域でも液状化の可能性が想定される。
神縄・国府津－松田断層帯の地震	横浜市、横須賀市の海岸沿い、平塚市、茅ヶ崎市、藤沢市の海岸沿いや低地、多摩川、相模川の流域で液状化の可能性が想定される。
南関東地震と神縄・国府津－松田断層帯の連動地震(参考)	横浜市、川崎市、横須賀市の海岸沿いでは、液状化の可能性がかなり高いと想定される。小田原市、平塚市、茅ヶ崎市、藤沢市の海岸沿いや低地、多摩川、相模川、酒匂川の流域でも液状化の可能性が想定される。
三浦半島断層群の地震	横浜市、川崎市、横須賀市の海岸沿いでは、液状化の可能性がかなり高いと想定される。多摩川、相模川の流域でも液状化の可能性が想定される。
東京湾北部地震	川崎市の海側で、かなり液状化の可能性が高いと想定される。横浜市、横須賀市の海岸沿いや多摩川流域でも液状化の可能性が高く、相模川の流域でも液状化の可能性が想定される。
神奈川県西部地震	相模川、酒匂川流域の低地と横須賀市の海岸沿いの低地の一部で液状化の可能性が想定される。

神奈川県東部地震	川崎市の海側で、液状化の可能性がかなり高いと想定される。横浜市、横須賀市の海岸沿いや多摩川流域でも液状化の可能性が高く、相模川上流の流域でも液状化の可能性が想定される。
----------	--

資料 1 - 2. 液状化判定の計算方法について

液状化判定の計算方法について、参考文献（「液状化対策技術検討会議」検討結果（国土交通省））によると、「FL法は今回の地震についても液状化発生を概ね整合して判定できる」とされている。

次に、FL法、PL法それぞれの計算方法について解説する。

① FL法

液状化に対する抵抗率FLを下の式により求め、この値が1.0以下のとき、すなわち、「地震によって作用する力の大きさ」と「土の液状化に対する強さ」を比較し、前者が上回るときは液状化が発生するとみなす。

$$FL = R / L$$

道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（平成14年3月）によると、この液状化判定法では次のとおり、RとLを計算することとなっており、土層構成、地下水位、標準貫入試験結果、細粒分含有率が分かれば、深度ごとのFLを求めることができる。

$$R = c_w R_L$$

$$L = r_d k_{hg} \sigma_v / \sigma_v'$$

$$R_L = \begin{cases} 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7} + 1.6 \times 10^{-6} (N_a - 14)^{4.5} & (14 \leq N_a) \end{cases}$$

$$N_a = c_1 N_1 + c_2$$

FL：液状化に対する抵抗率

R：土の液状化に対する強さを表す

L：地震によって作用する力を大きさを表す

c_w ：地震動特性による補正係数

R_L ：繰返し三軸強度比

r_d ：地震時せん断**応力比の深さ方向の低減係数

k_{hg} ：地盤面における設計水平震度

σ_v ：全上載圧

σ_v' ：有効上載圧

N_a ：粒度の影響を考慮した補正N値**

N_1 ：有効上載圧100kN/m²相当に換算したN値**

c_1, c_2 ：細粒分含有率によるN値**の補正係数

② P L 法

各深度での FL 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、地点での液状化危険度を表す PL 値を算出し、この PL 値によって液状化危険度判定を行う。液状化危険度判定は、岩崎ら(1980)による表 資 1-1-2 に示すような関係により判定を行う。

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

ここで、 PL : 液状化指数

FL : 液状化に対する抵抗率

x : 地表面からの深さ(m)

表 資 1-1-2 PL 値による液状化危険度判定区分

	PL=0	0 < PL ≤ 5	5 < PL ≤ 15	15 < PL
PL 値による液状化危険度判定	液状化危険度はかなり低い。液状化に関する詳細な調査は不要	液状化危険度は低い。特に重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要。	液状化危険度が高い。重要な構造物に対してはより詳細な調査が必要。液状化対策が一般に必要。	液状化危険度が極めて高い。液状化に関する詳細な調査と液状化対策は不可避

岩崎ら(1980)による

資料 2. 建築物の液状化被害例

本章は、昭和 58 年の日本海中部地震を受けて昭和 60 年度に作成された「建築物の液状化対策マニュアル」において紹介した被害例に、平成 23 年の東日本大震災による被害例を加え、建築物、工作物の構造別にまとめたものである。

資料 2-1. 木造建築物の被害例

① 基礎の破壊

(推定される主な原因)

- ・ 隅角部及び床下換気孔廻りの剛性（剛さ）が不足している。
- ・ 無筋や鉄筋の量が不足している。

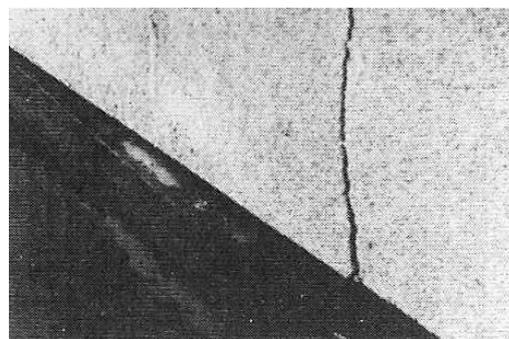


(木造住宅の基礎の破壊)

② 上部構造部の布基礎からの遊離

(推定される主な原因)

- ・ アンカーボルトの緊結状態が不良である。

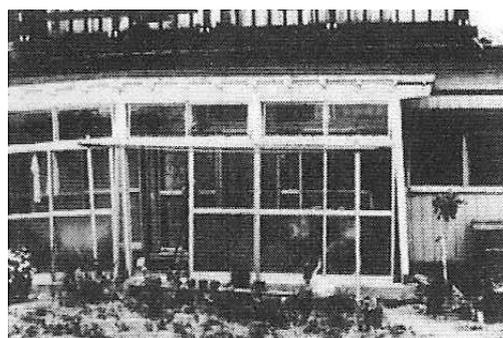


(アンカーボルトの布基礎からの抜け出し)

③ 上部構造の移動、傾斜、変形倒壊

(推定される主な原因)

- ・ 剛性（鉛直、水平）が低い。
- ・ 屋根重量が大きい。
- ・ 老朽化が著しい。
- ・ 耐力壁が偏在している。



(凸字形に変形した住宅)

④ 1階床の不陸大破

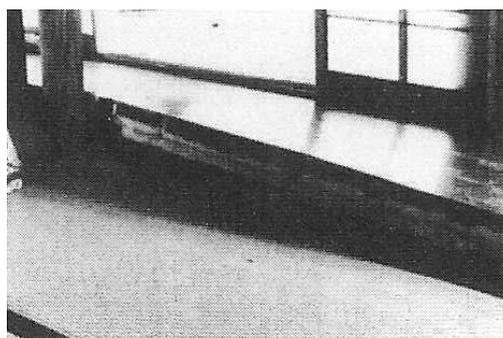
(推定される主な原因)

- ・ 床の支持が束立形式である。

⑤ 非構造部材の被害

(推定される主な原因)

- ・ 構造部材の変形に伴い内・外装材が落下損傷したもの。



(1階床の不陸)

資料 2 - 2. 非木造建築物の被害例

① 建築物の沈下・傾斜

(推定される主な原因)

直接基礎又は摩擦杭基礎とした建築物で壁式鉄筋コンクリート構造など剛性の高い建築物では、上部構造部に亀裂などの損傷がないまま、地盤の液状化による支持力の低下やその不均一化に伴い、建物重量やその重心位置に関係なく沈下や傾斜を起こしているものがある。



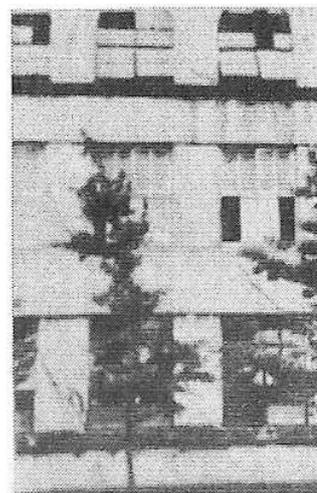
壁式構造の新潟県営住宅の傾斜(新潟地震, 新潟市川岸町)。上部構造部分は亀裂などの損傷のないまま傾斜している。基礎は直接基礎。

② 建築物の不同沈下とこれに伴う構造体のせん断**、ねじれ等の損傷

(推定される主な原因)

直接基礎又は摩擦杭基礎とした建築物で、地盤の液状化による支持力の不均一な低下や陥没などに起因する不同沈下を受け、これによる強制変形に伴って構造体にせん断**、曲げ又はねじれなどの破壊が生じたものがある。この被害は鉄筋コンクリートラーメン構造や、鉄骨造の建築物に見られる。

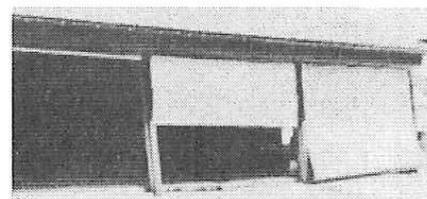
また、鉄筋コンクリート造の学校や病院などに接合している鉄骨造の渡り廊下などで、本体の沈下、傾斜、移動などにより強制変形を受けたものがある。



不同沈下による剪断亀裂(新潟地震, 白山小学校)。強制変形による亀裂線が一方向に平行して走っている。



ポーチの沈下(平成 23 年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書より)

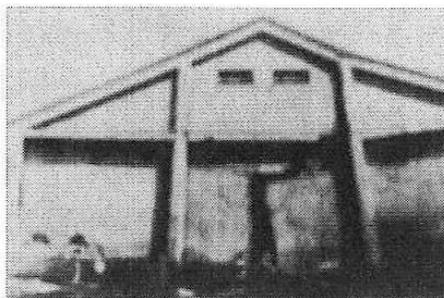


鉄骨造倉庫の柱の傾斜(日本海中部地震)。基礎の沈下及び水平移動により架構に強制変形が生じている。

③ 地中梁**の引張破壊

(推定される主な原因)

地盤の液状化に伴う水平流動や地割れ・地すべりにより、流動方向に基礎部分が押しやられ、これにより地中梁**に引張亀裂が生じたものがある。また、この地盤変動が激しい場所で、建築物の底部が引き裂かれてしまったものがある。



建築物の引き裂かれ（新潟地震，新潟市北埠頭）。地盤が海側に流れたため倉庫の妻壁が縦に引き裂かれた。

④ 杭頭の亀裂、破壊

(推定される主な原因)

地震時には、建築物に地震加速度による地震力が導入され、杭基礎の場合はこれが杭頭に作用して杭体にせん断**の力をもたらす。また地盤の液状化に伴う水平流動や地割れ・地すべりによる横方向力がこれと競合することも考えられる。

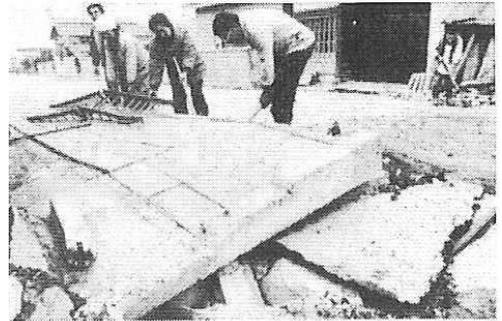
一方、杭は周面地盤の液状化に伴う横方向反力の低下又は消失により、上述の地震力などによって大きな曲げを受け易くなることが想定される。

このようなせん断**の力及び曲げに起因すると思われる亀裂が杭頭に認められたものがある。

資料2-3. コンクリートブロック塀の被害例

① 基礎と共に沈降、傾斜、転倒したもの
(推定される主な原因)

- ・ 控壁がない。
- ・ 横筋がない。
- ・ 底版がなく根入れ不足である。



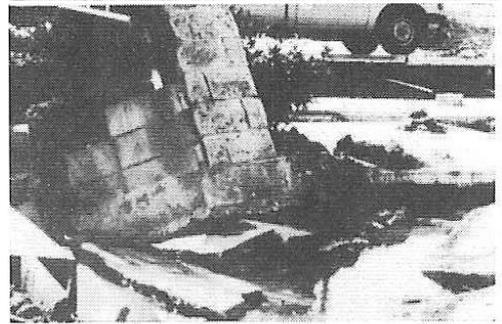
② 壁体部分の傾斜、転倒
(推定される主な原因)

- ・ 縦筋の定着長さが不足である。

③ 壁体の破壊

(推定される主な原因)

- ・ 頂部横筋がない。
- ・ 頂部横筋への縦筋のかぎ掛けがされていない。
- ・ 鉄筋の量が不足である。



(頂部横筋への縦筋のかぎ掛けの省略、
その他によるブロックの分離)

④ 隅角部の分離・破損

(推定される主な原因)

- ・ 横筋が有効に配筋されていない。
- ・ 控壁横筋が壁体鉄筋にかぎ掛けがなされていない。



ブロック塀の倒壊 (千葉県香取市ホームページより)



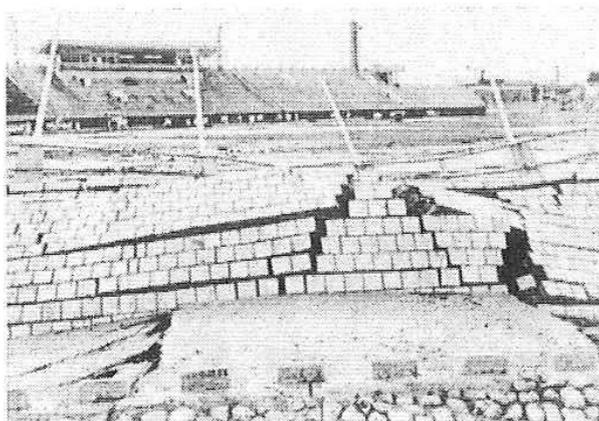
(横筋のないブロック塀の隅角部での分離
向う側の塀は沈降、傾斜している。)

資料2-4. 擁壁の被害例

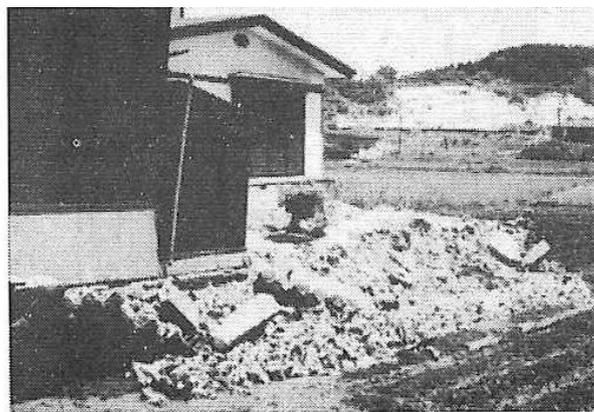
① 擁壁の崩壊、壁体の破壊

(推定される主な原因)

地盤の液状化による被害は、支持力の不均一な低下、陥没やふくれ上がりなどによる壁体のせん断**、曲げ、ねじれ等によって生じる。また地割れ、地すべり等により壁体が引き裂かれる場合もある。



(間知ブロック擁壁が大規模に崩壊したもの)



(雑割石が部分的に崩壊したもの)

資料 2 - 5. 建築設備の被害例

① 浄化槽の浮上、傾斜

(推定される主な原因)

地盤の液状化による浮力、噴砂・噴水、ふくれ上がりなどにより浄化槽が浮上したり傾斜したりし、これに伴い機能低下や機能喪失を起こす。

② 排水管の不陸、切断

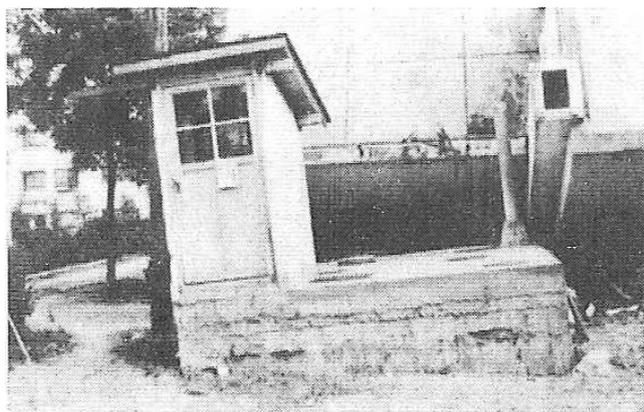
(推定される主な原因)

浄化槽、マンホールの浮上、建物周辺地盤の沈下などに伴い、排水管が不陸を起こし、切断や破損を生じたものがある。

また、文献^{資 2.1)}によると、「損傷により液状化した土砂が汚水管内に流入することにより下水道本管を閉塞させたことが、応急復旧を遅らせた要因の一つにもなった」と報告されている。

<参考文献>

資 2.1) 平成 23 年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書 (浦安市)



浄化槽の浮き上がり



浄化槽の浮き上がり



排水管の破断 (平成 23 年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書より)



排水管の破断 (平成 23 年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書より)

資料3. 擁壁の取扱い（抜粋）

ここで示される技術基準は建築基準法に基づき神奈川県建築行政連絡会議にて平成24年4月1日決定されたものであり、建築基準法は「建築物の敷地、構造、設備及び用途に関する最低の基準」である。そのため、擁壁の安全性の確保については、地域性や安全性上の重要度等、諸条件によって個別の検討が必要となる。

資料3-1. 鉄筋コンクリート造擁壁設計施工上の注意点

(1) 地盤（地耐力等）

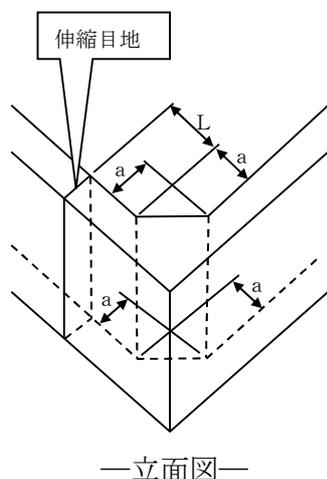
擁壁を設置する場所の土質（地耐力等）が、支持地盤として設計条件を満足するか確かめること。

(2) 伸縮目地

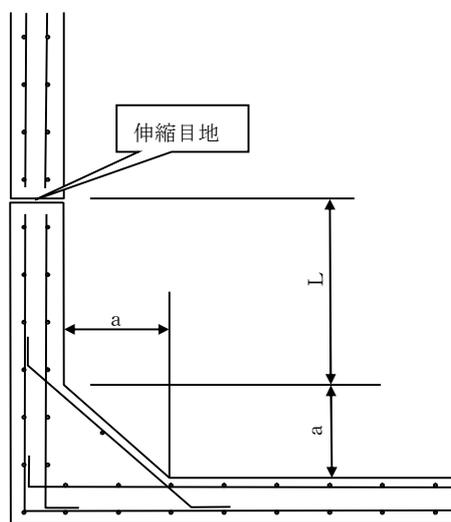
伸縮目地は、原則として、擁壁の長さ20m以内ごとに一箇所設け、特に地盤が変化する箇所、擁壁高さが著しく異なる箇所、擁壁の材料・構法を異にする所は、有効に伸縮目地を設け、基礎部分まで切断すること。また、擁壁の屈曲部においては、隅角部から擁壁の高さ分程度避けて設置すること。

(3) 隅角部の補強

擁壁の屈曲する箇所は、隅角をはさむ二等辺三角形の部分コンクリート又は鉄筋コンクリートで補強すること（宅地防災マニュアルの解説等を参照）。二等辺の一辺の長さは、擁壁の高さ3m以下で500mm、3mを超えるものは600mmとする。



- 擁壁の高さが3m以下のとき $a = 500\text{mm}$
- 擁壁の高さが3mを超えるとき $a = 600\text{mm}$
- 伸縮目地の位置
Lは2mを超え、かつ擁壁の高さ程度とする。



—平面図—

鉄筋コンクリート造擁壁の隅部は、該当する高さの擁壁の横筋に準じて配筋すること。

図3.1.1 隅角部の補強方法及び伸縮目地の位置

(4) 根切り

基礎の根切り工事は掘り過ぎによって基礎地盤を乱さないこと。

(5) 排水関係

①透水層

ア 擁壁の裏面全体に透水層を設けること。

イ 透水層は、一般的に栗石・砂利または砕石を用いる。ただし、高さ5m以下の擁壁では、石油系素材を用いた「透水マット」を使用する場合には、擁壁透水マット協会より認定を受けていることを確認するとともに、「擁壁用透水マット技術マニュアル」（平成3年4月）及び「設計施工要領書」等に基づき設計を行うこと。

②水抜穴

ア 水抜穴は、擁壁の下部地表面近くおよび湧水等のある箇所に特に重点的に配置すること。

イ 水抜穴は、千鳥配置とし、排水方向に適当な勾配をとること。

ウ 水抜穴は、壁面の面積3㎡以内ごとに内径75mm以上の耐水材料を使用して設けること。

エ 水抜穴の入口には、水抜穴から流出しない程度の大きさの砕石等を置き、砂利、砂、背面土等が流出しないように配慮すること。

オ 地盤面下の壁面で地下水の流路にあたっている壁面がある場合は、有効に水抜穴を設けて地下水を排水すること。

カ 水抜穴に使用する材料は、コンクリートの圧力で潰れないものを使用すること。

③その他

擁壁の天端、下端には排水側溝を設け地表水の処理を行うことが望ましい。

(6) 埋戻し土

埋戻し土は擁壁の安定性の向上のため、設計条件に適合し、できるだけ良質な土・砂利等を用いるよう考慮する。

①締固めた後の強さが大きく圧縮性が少ないこと。

②透水性がよく、浸水による強度低下が少ないこと。

③締固めの施工が容易なこと。

資料3-2. 練積み造擁壁施工上の注意点

(1) 地盤（地耐力等）

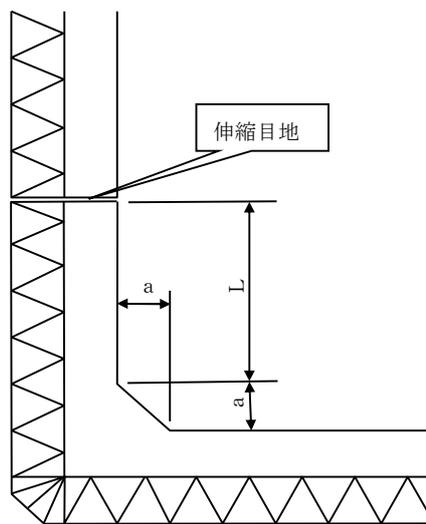
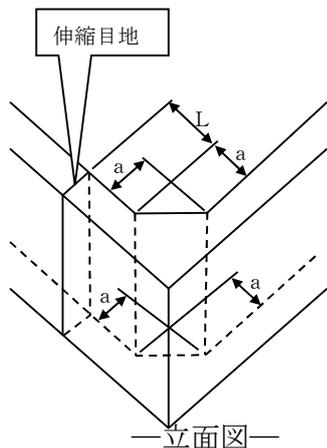
間知石練積み造擁壁及びその他の練積み造擁壁の構造は、勾配、背面の土質、高さ、擁壁の厚さ、根入れ深さ等に応じて適切に設計するものとする。

(2) 伸縮目地

伸縮目地は、原則として、擁壁の長さ 20m以内ごとに一箇所設け、特に地盤が変化する箇所、擁壁高さが著しく異なる箇所、擁壁の材料・構法を異にする所は、有効に伸縮目地を設け、基礎部分まで切断すること。また、擁壁の屈曲部においては、隅角部から擁壁の高さ分程度避けて設置すること。

(3) 隅角部の補強

擁壁の屈曲する箇所は、隅角をはさむ二等辺三角形の部分コンクリート又は鉄筋コンクリートで補強すること（宅地防災マニュアルの解説等を参照）。二等辺の一辺の長さは、擁壁の高さ 3 m 以下で 500mm、3 m を超えるものは 600mm とする。



- 擁壁の高さが 3 m 以下のとき a = 500mm
- 擁壁の高さが 3 m を超えるとき a = 600mm
- 伸縮目地の位置
- L は 2 m を超え、かつ擁壁の高さ程度とする。

建築物の液状化対策マニュアル（平成 25 年度版）

平成 25 年 6 月 20 日

作成：神奈川県県土整備局建築住宅部 建築指導課