

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

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)。

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。

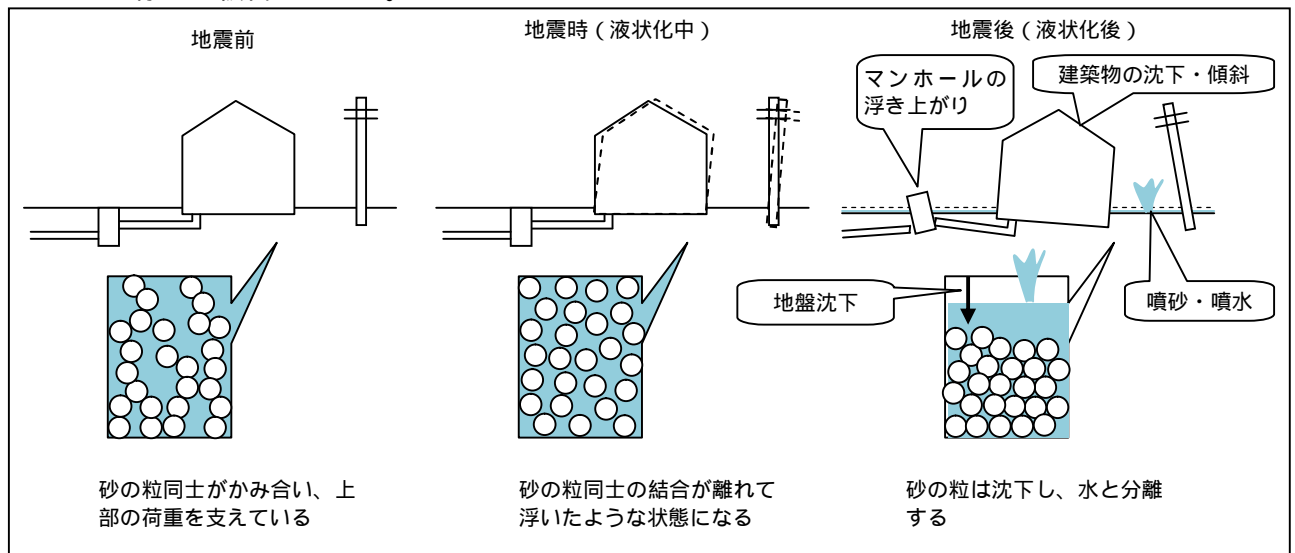


図 1-1-1 液状化発生の様式図

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。

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。
- ・ 地下水位以深にあって、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こりやすい土地の判定方法

1 - 2 . 液状化が起こりやすい土地の判定方法

液状化が起こりやすい土地であるかどうかは、次の 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 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、 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。

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。

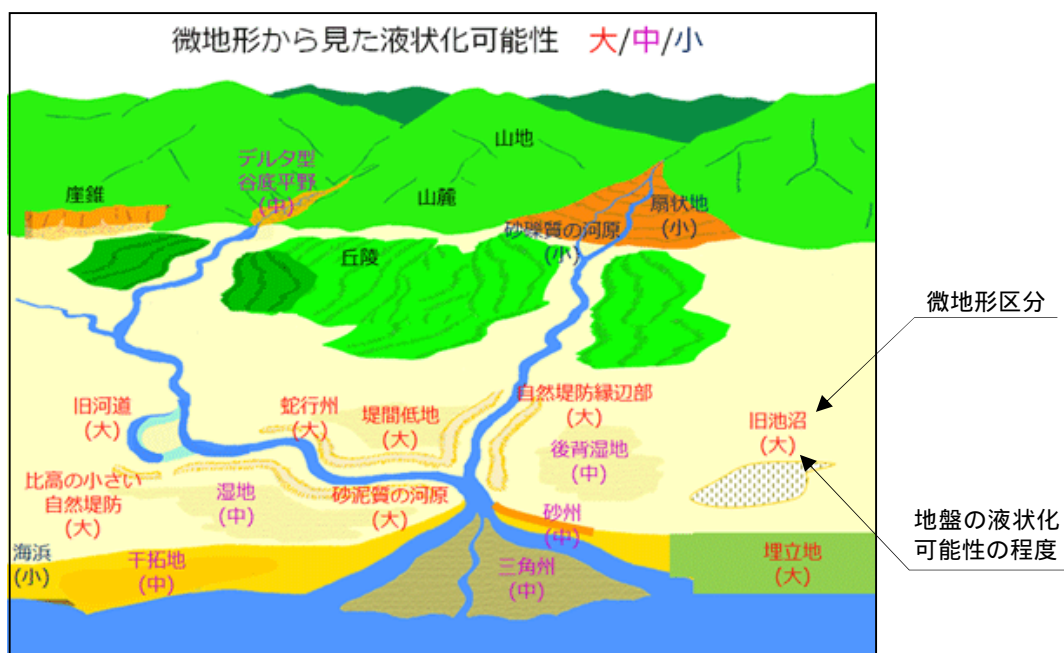


図 1-2-1 地形模式図による微地形区分
（復旧・復興支援WG「液状化被害の基礎知識」
（日本建築学会ホームページ）より）

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)。

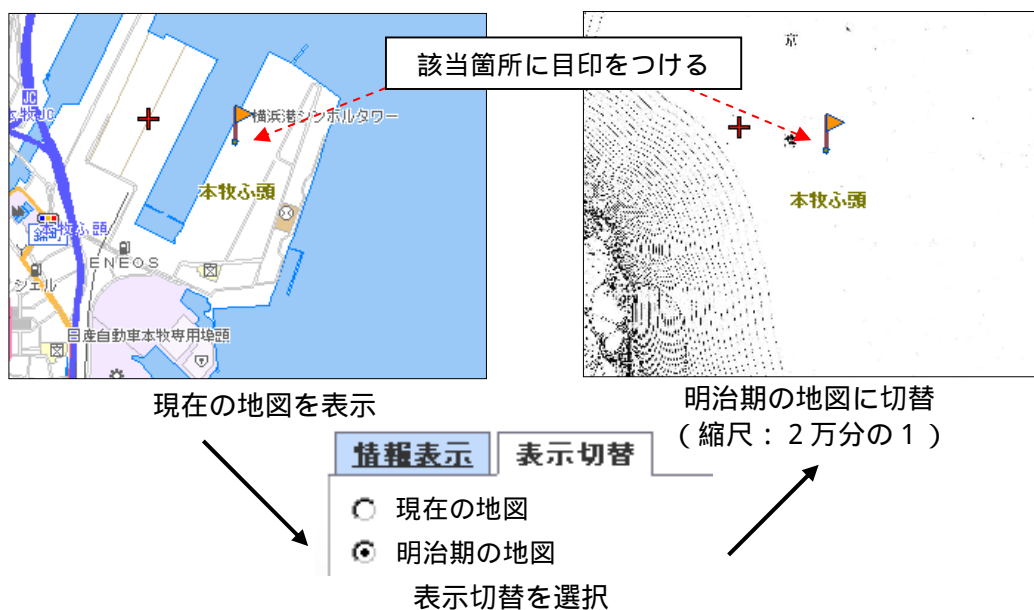


図 1-2-3 土地履歴情報マップのイメージ

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

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こ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。

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)

地図の見た位置をクリックする

想定地震動の種類を選択

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	黄
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る、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.atsugi.kanagawa.jp/shiminbenri/anshinanzein/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.minamiashigara.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ある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

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 ~ 75 mm 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、締め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）。

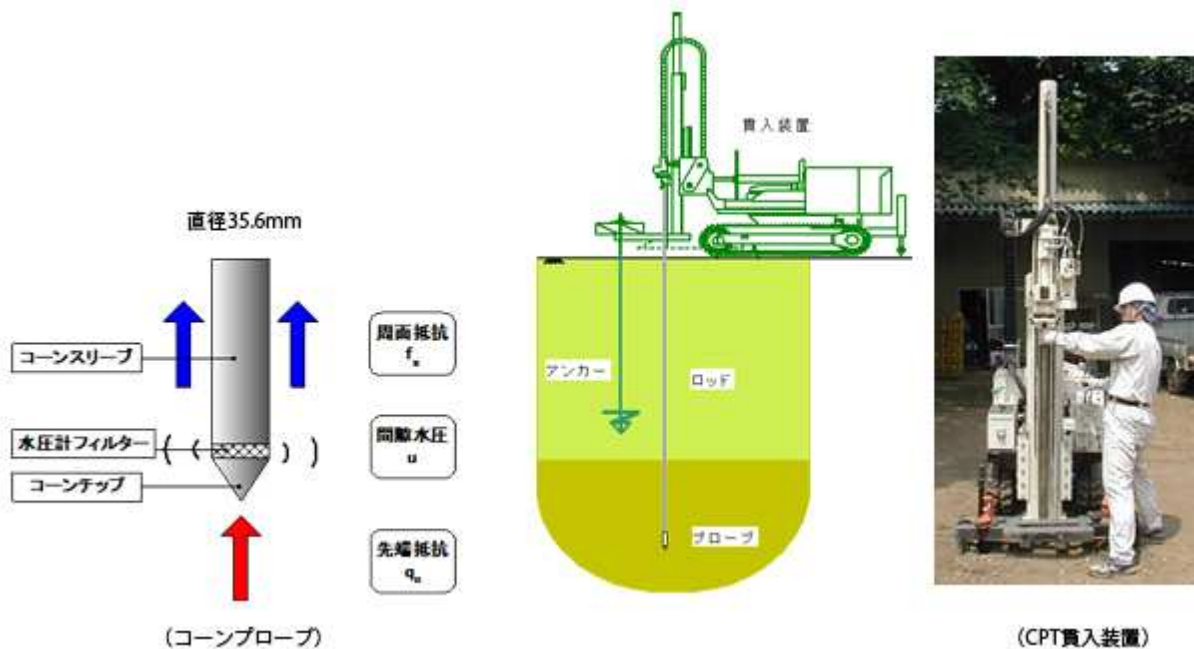


図 1-2-6 電気式静的コーン貫入試験のイメージ

（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）

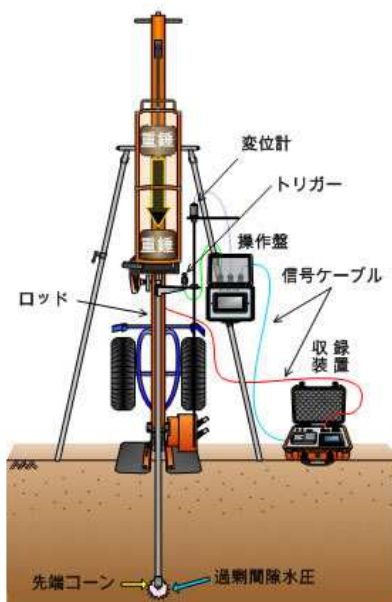


図 1-2-7 動的コーン貫入試験のイメージ

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）

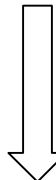
1. 液状化現象の概要と液状化が起こりやすい土地の判定方法

(工) 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）