

各論

戸建て住宅などにおける地盤調査・液状化判定および対策に関する動向

高田 徹*

1 はじめに

筆者は、住宅基礎地盤の設計コンサルティング業務を通じて、ハウスメーカーや工務店などが実施した地盤調査データや地盤判定結果を見る機会が多くある。昔に比べると、液状化を調べるための調査や液状化判定結果の実施が増えた印象がある。しかし、増えたのは主に大手ハウスメーカーであり、中小規模の会社では未だ従前のままといった傾向もある。

液状化現象の研究は、古くは1948年の福井地震からあるが、国内で液状化が注目され、土質力学の分野でも研究が行われるようになったのは1964年の新潟地震だといわれている。その後、多くの地震による液状化被害、特に1995年の兵庫県南部地震での埋立地の大規模な液状化被害により、その危険性が認識されている。

しかし戸建て住宅の分野では、やはり2011年の東北地方太平洋沖地震によって大規模な液状化被害が生じたことが、この分野の大きな転換期だと思われる。これを契機に、2015年には住宅性能表示制度に新たに地盤調査の

記録など、液状化が起きる可能性に関する項目が加えられた。2011年以前は、液状化の危険度を説明しても軽視されていたが、震災後は液状化対策の設計や液状化に関する問い合わせが増えている。また最近だと2016年の熊本地震、2018年の北海道胆振沖地震で、液状化により不同沈下した案件に対する修復法の立案や、設計責任を問われているといった相談案件もいくつかある。

2011年以降、戸建て住宅の液状化に関して参考となる指針類^{1)~3)}が増えている。そして、本特集号である「2018年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針（以下、改良指針）」⁴⁾においても、戸建て住宅における液状化判定や液状化地盤での改良地盤の設計法が示されており、これらは大いに参考にできる。本書では、戸建て住宅などにおける地盤調査・液状化判定および対策に関する考え方や最近の動向について概説する。

2 液状化調査・判定に関する考え方と動向

図-1は、戸建て住宅における液状化調査から対策までの検討フローである。図を見て分かるように、まずは資料調査を実施し、原位置での地盤調査、そして液状化判定へと繋がっていく。資料調査（表-1）は、いわゆる液状化危険度の一次抽出であり、液状化危険度が大きめに把握できる。したがって、資料調査で液状化の危険性が低くても、原位置の地盤調査結果で液状化の危険性が低くなることもある。戸建て住宅の建設では、資料調査で液状化の危険性が明らかに低いとなれば、原位置でスウェーデン式サウンディング試験（以下、SWS試験）以外の追加調査や土質試料採取を行わないことも多い。これは経済的制約が大きな要因としてあるが、逆にいえば、資料調査を十分に行うことが、戸建て住宅の液状化調査にとって重要な作業だと考える。

表-2は、戸建て住宅を対象とした液状化調査として

表-1 資料調査による液状化判定

判定資料	判定内容
微地形区分	・微地形を調べ、液状化しやすい地形に該当するかを見る。
液状化履歴	・液状化履歴の有無を調べ、履歴のある区域に該当するかを見る。
液状化危険度マップ	・液状化危険度マップを収集し、危険性の高い区域に該当するかを見る。
その他（地歴、地名など）	・新旧地形図を比較し、埋立地や盛土地など液状化の危険性のある地歴を調べる。 ・地名に“水”、“砂”など液状化に関連しそうな名称かを見る。

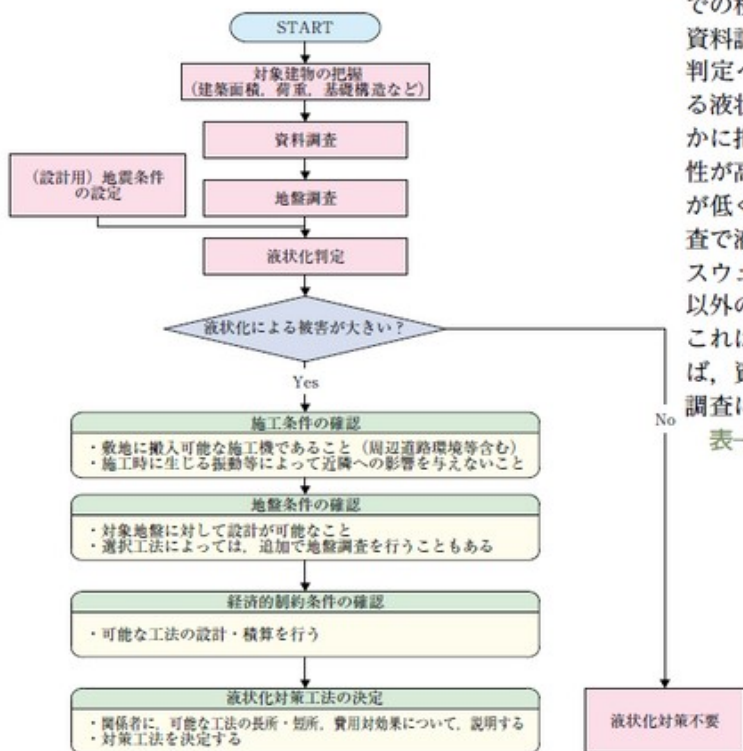


図-1 戸建て住宅の液状化調査から対策までの検討フロー¹⁾

*TAKATA Tōru (株)設計室ソイル、博士(工学)技術士(建設部門) | 東京都中央区日本橋3-3-12

表-2 液状化調査に有効な地盤調査法一覧¹⁾

分類	地盤調査法	略称	土質判別	地下水位測定
静的貫入試験	スウェーデン式サウンディング試験	SWS	別途調査※1	別途調査※2
	三成分コーン貫入試験	CPT	推定可	可
	スクリュードライバーサウンディング試験	SDS	推定可	別途調査※2
動的貫入試験	大型コーン貫入試験	SRS	別途調査※1	別途調査※2
	中型コーン貫入試験	MRS	別途調査※1	別途調査※2
	液状化ポテンシャルサウンディング試験	PDC	推定可	可
	標準貫入試験	SPT	可	可

備考

※1：土質試料採取器を試験孔に挿入して試料採取する。別途サンプリング調査を実施する。

※2：地下水位測定器を試験孔に挿入して測定する。

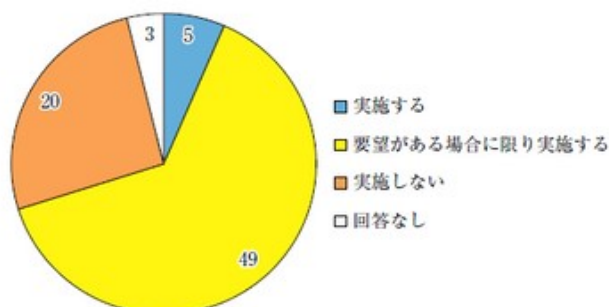
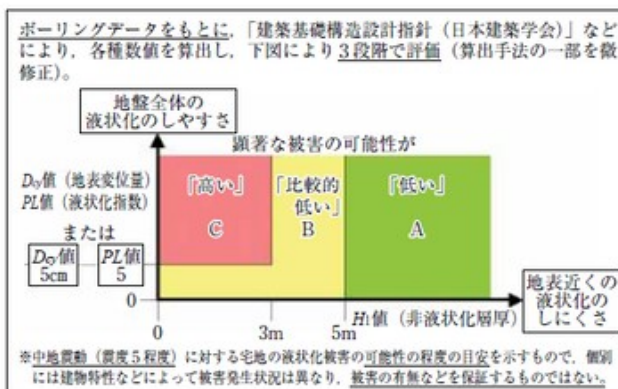
有効な地盤調査法の一覧である。SWS試験は、液状化調査に関係なく、支持力確認の調査として実施されるため、近年ではSWS試験孔を利用した土質試料採取機器や地下水位測定器が多く開発されており、簡易に液状化判定ができるようになってきている。これらの機器ならびにSWS試験による液状化判定手法は、改良指針⁴⁾でも示されているので参照されたい。

しかしながら、SWS試験による液状化調査は普及しているとは決していえない。むしろ実務的には、標準貫入試験による液状化判定の方が多く見受けられる。これは、液状化調査を実施しても液状化対策を行う可能性が高いようであれば、対策を念頭に支持層をボーリング調査で見極めてしまうという考え方があると予想する。また、SWS試験による液状化判定が普及しないのは、その認知度が低いことも一要因として考えられるが、それ以外にも以下の課題があると考えている。

- ・土質試料採取機器の挿入が地盤性状によっては困難になることがある。
- ・土質試料採取後、土の粒度試験を行うため費用と時間が付加される。
- ・SWS試験孔から得た土質試料で測定した細粒分含有率は、低減して液状化判定することが基準化されており、この低減により概ね液状化層になってしまう。
- ・ N_{50} は500回転まで用いて判定してもよいが、空転していないことを条件として結果を用いる必要があり、その確認が難しい。

この液状化調査の実態把握として、本年1月、「NPO住宅地盤品質協会（以下、住品協と記す）」の会員に対して住宅地盤業務に関するアンケートを実施した。アンケートの回答率は27%と低い、回答数としては128社あった。このうち液状化調査の実態が把握できる設問について以下に示す。

図-2は、地盤解析や工法選定を「自社」で実施するといった会員会社77社のうち、「液状化判定は実施されていますか」という設問に対するアンケート結果である。これを見て分かるように、要望がある場合に限り実施する会社が49社（63%）と圧倒的に多く、次に実施しない会社が20社（25%）であった。この要望とは、元請け（ハウスメーカー）だけでなく、確認申請機関からの指摘事項も含まれると思うが、いずれにせよ液状化を積極的に判断して工法選定していないことが分かる。

図-2 「液状化判定は実施されていますか」のアンケート結果（数字：会員会社数を示す）⁵⁾図-3 液状化判定図⁷⁾

なお、液状化判定を実施すると答えた5社についても、4社は「資料調査で判定する」、1社は「SWS試験結果から液状化による被害程度を求めて判定する」となっており、「SWS試験以外の調査を別途行って、液状化による被害程度を判定する」会社は0社であった。この結果には、液状化による宅地被害の責任の所在が不明瞭化していることや、液状化のための調査と対策が高価なことも背景にあると思われる。

3 液状化対策に関する考え方と動向

建築基準法や宅地防災マニュアルの解説⁶⁾によると、建築物および宅地に求められる耐震性能は、「中地震に対して、軽微な損傷程度以内」、「大地震に対して、人命に重大な影響を与えないように大規模な損傷を防ぐ」ことがあげられる。よって宅地の液状化に対する性能も、原則としてこれを満足するように設定するのが標準的である。

最近の液状化検討では、図-3を用いた液状化判定が多く見受けられる。それまでは、地表変位D₅₀や液状化指数PL値から液状化の地表面に表す影響程度を評価していた。図-3は、同じD₅₀やPL値でも非液状化層厚（H₁）との関係で被害程度が異なることを考慮した判定図となっている。また図-3は、液状化対策の設計で改良深度を求める際に、利便性が高く経済的な設計ができることからよく用いられるようになったと推測する。

大規模な造成宅地であれば、都道府県知事などの開発許可を受けることもあって、古くから液状化の検討と対

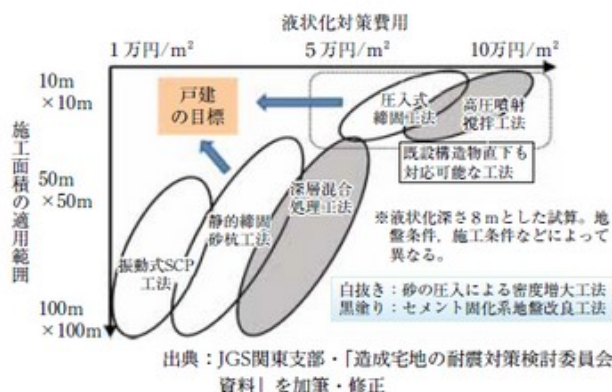


図-4 施工面積と液状化対策のコスト⁹⁾

策は行われている。あくまで私感だが、近年ではさらに十分な検討と対策が施されている。これは、2011年の東北地方太平洋沖地震の大規模な液状化被害を教訓として、デベロッパーは売主に必要十分な説明責任を果たすこととリスク回避が念頭にあると思われる。また大規模な造成宅地は大型な改良機が導入でき、工事費用も棟数分で分散できるメリットがあるため、対策しやすいこともあげられる。最近では、液状化対策の代表工法であるサンドコンパクションパイル工法以外に、木杭を用いるような対策⁸⁾や、より攪拌性能を高めて比較的深い深度まで混合できる中層混合処理工法なども大規模な造成地で採用されており、選択肢が広がってきたといえる。

一方、対策が難しいのは、1棟あるいは数棟を対象とした小規模な造成の液状化対策である。これは狭隘な施工条件になると、大型な改良機が持ち込めず工法が限定されてしまうからである。図-4は、液状化対策費用と施工面積の適用範囲を示したものである。図を見て分かるように、仮にある工法が施工可能だとしても、施工面積が狭くなるにつれ改良単価が高くなるため、なかなか実施に繋がりにくくなるといったことがあげられる。

1棟あるいは数棟の戸建て住宅を対象とした場合の液状化対策の一覧を表-3に示す。表中の地盤による対策の模式図を表-4に示す。表-3では、地盤による対策を「液状化を抑制する対策」と「液状化の発生を許容した対策」に区分している。液状化を抑制する対策は、原則として液状化を生じさせないことや大型機

表-3 1棟あるいは数棟の戸建て住宅を対象とした場合の液状化対策¹⁾

大分類	地盤による対策	建物基礎による対策
中分類	液状化を抑制する対策 [*]	液状化の発生を許容した対策
工 法	・ 締固め工法 ・ 固結工法 ・ 排水促進工法 ・ 変形抑制工法 ・ 地下水位低下工法	・ 杭基礎 ・ 剛性を高めた基礎 ・ 沈下修正可能な基礎
説 明	発生要因を取り除くことで液状化を防止したり、発生しにくくして、建物被害を抑制する地盤対策	液状化は発生するが、建物の不同沈下を抑制・低減することで建物被害を抑制する建物基礎対策

備考 * 1：液状化を生じさせない設計方法を原則とするが、液状化が生じても地表面への影響度を軽減する考え方も含める。

表-4 地盤による液状化対策の模式図¹⁾

工法名	①杭状地盤補強工法	②固結工法	③変形抑制工法
原 理	非液状化層による支持	土粒子の安定	せん断変形の抑制
概念図			
内 容	杭状補強体（鋼管、改良体）を非液状化層で支持させることで液状化による建物の不同沈下を軽減する。	液状化層へ改良材を注入または機械式攪拌により投入して非液状化層にする。	格子状に建物下部の地盤を開き、液状化時に生じるせん断変形を抑制する。
工法名	④締固め工法	⑤排水促進工法	⑥地下水位低下工法
原 理	密度増大	間隙水圧の消散	飽和度の低下
概念図			
内 容	地盤に改良体などを築造・圧入して液状化層を締め固める（密度を増大させる）。	液状化層にドレーン材を打設することにより、液状化時に発生する過剰間隙水圧を消散する。	建物周囲を止水壁（シートパイル、改良体）で囲んだ後、地下水を汲み上げ、飽和度を低下させる。

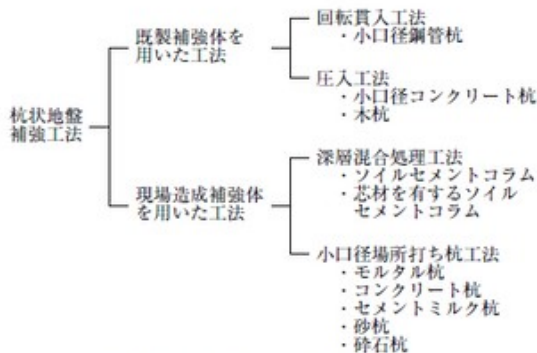


図-5 杭状地盤補強工法の分類¹⁾

を用いる工法が多いことから、小規模とはいえ施工条件が限られ、高額になりやすい対策である。また建物基礎による対策として、杭基礎、剛性を高めた基礎、沈下修正可能な基礎が示されているが、これに適した地盤条件が限定されることから、実施率は低いのが実状である。

1棟あるいは数棟の戸建て住宅を対象とした場合、圧倒的に多く検討されている液状化対策は杭状地盤補強工法である。杭状地盤補強工法は、液状化は発生するため、厳密には「液状化被害軽減対策」というのが適しているかもしれない。杭状地盤補強工法が多く用いられる理由として、以下の事項があげられる。

- ・杭状地盤補強工法は、常時の検討として行われている支持力増加や圧密沈下抑止を目的とした補強工法として汎用性が高く、工事可能な業者が多い。
- ・液状化を抑制する対策に比べて、安価になりやすい。
- ・比較的小型な施工機で工事ができる。
- ・杭種が数多く開発されている(図-5参照)。

その他、杭状地盤補強工法の設計の考え方も整備されており、改良指針⁴⁾もそのうちの1つである。図-6は杭状地盤補強工法の設計模式図である。これを見て分かるように、まずは液状化層の深度を見極め、液状化層下層の層で建物荷重を杭状補強体で支持する考え方である。よって長期(常時)の検討に短期(地震時・液状化時)の検討が加わるため、長期の検討のみの改良仕様と比べて、杭状補強体の長さや本数がやや増えるような仕様で、液状化被害軽減対策として補強することができる。

ここで留意すべきは、杭状地盤補強工法で対策した場合、液状化後には建物の水平は維持できても敷地レベルが下がるため、杭状補強体が抜け上がってしまうことがあげられる(写真-1参照)。これについては、杭状補強体が抜け上がっても直接基礎に与える影響が少ないことを応力照査にて確認しておくことが必要である。また基礎と地盤間の空隙の充填など、軽微な補修が生じることを事前に説明したうえで採用することが肝心である。この説明がされていないことで、後々トラブルになることも少なくない。十分注意が必要である。

4

おわりに

戸建て住宅の液状化対策は、経済的制約が大きく関与

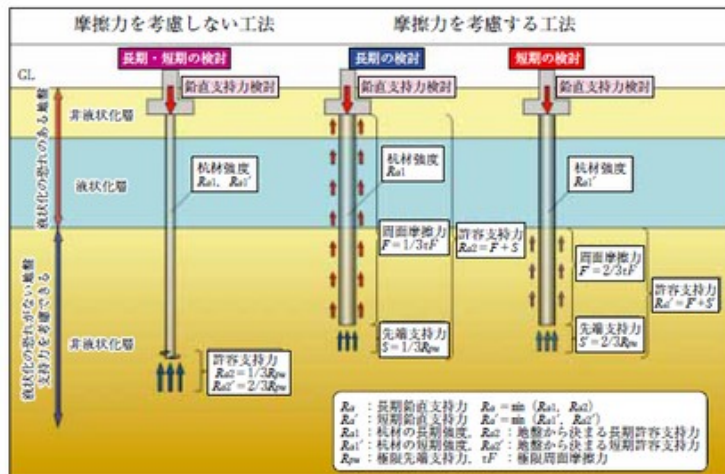


図-6 杭状地盤補強工法の設計模式図¹⁾



写真-1 ①直接基礎 ②杭状補強体
写真-1 杭状地盤補強工法で対策された建物基礎の液状化後の基礎状況

するため、対策に大きく費用がかかることが予想されると、受注に繋がらないせいか安易に考えて建設してしまうことがある。液状化対策は、支持力や圧密の検討に比べると高価であり、また対策の効果が地震の規模や震度・震源によっても変わり、保証も難しく目に見えにくい部分も多い。

しかし建設者として重要なことは、施主との対話であり、液状化リスクを開示し真摯に対応することが求められている。リスクを知らずに居住する施主がいなくなるような業界になっていくことが望まれる。

参考文献

- 1) 一般社団法人レジリエンスジャパン推進協議会：住宅を対象とした液状化調査・対策の手引書、2016.8.
- 2) 一般社団法人住宅精算団体連合会：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、2015.5.
- 3) 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報告書—液状化から戸建て住宅を守るための手引き—、2013.5.
- 4) 日本建築センター、ベターリビング：2018年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針、2018.11.
- 5) NPO住宅地盤品質協会：委員会報告(研究・情報収集委員会)、住品協技術報告会発表概要集、2019.2.
- 6) 宅地防災研究会：宅地防災マニュアルの解説 第二次改訂版、2007.12.
- 7) 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、2013.
- 8) 三輪滋他：丸太打設液状化対策工法の大規模戸建分譲住宅開発工事への適用、日本建築学会大会学術講演梗概集、2016.8.
- 9) 地盤工学会：浅層盤状改良による宅地の液状化対策の合理的な設計方法の研究、2012.9.