

各論 宅地の液状化危険度評価と対策

真島 正人* / 松下 克也**

1. はじめに

過去、大きな地震が発生するたびに戸建住宅では液状化による沈下障害を被ってきたが、被害が限られた地域であったことや死傷者が出なかったことから、クローズアップされることはなかった。しかし、東北地方太平洋沖地震では東北地方から関東地方南部までの広い地域で大規模な液状化現象が発生し、被害の惨状や修復に苦慮している住民の姿がテレビや新聞でたびたび報道され、社会問題となっている。これまで、住宅では地盤調査や地盤補強対策に多くの費用を割くことができないため、液状化に対して十分な検討や対策を実施しないまま計画を進めることが多かったが、今回の地震を教訓として技術基準などを見直す時期にきていると思われる。

2. 液状化に関する現行の法制度・技術基準

2.1 液状化に対する法制度

平成13年国土交通省告示1113号二項には、「地震時に液状化のおそれのある地盤では建築物に有害な損傷、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」ことが明記されている。また、2007年版建築物の構造関係技術基準解説書には、建築基準法施行令93条の解説文として、「建物基礎の影響範囲内に液状化のおそれのある土層が存在する場合には、液状化による沈下等の影響が軽微であることが確認できない限り、地盤の短期許容応力度を設定することはできない」ことが記述されている。上記条文では適用を受ける建物規模や地震力が明記されていないが、戸建住宅でも建築基準法の適用を受けることを考えれば、一般の建物と同等の対策は難しいとしても、液状化の検討を避けて通ることできないと思われる。

2.2 日本建築学会指針

基礎構造設計指針¹⁾や建築基礎のための地盤改良設計指針案²⁾には、標準貫入試験やコーン貫入試験に基づく地盤の液状化判定法と液状化対策が示されている。ただし、戸建住宅ではスウェーデン式サウンディング試験（SWS試験）による地盤調査が主体であるため、 N 値や細粒分含有率 F_c による液状化判定は難しい。この点に配慮して、小規模建築物基礎設計指針³⁾には微地形に基づく概略判定と液状化の影響が地表面に及ぶか否かの判定

法⁴⁾が示されている。後者の判定法では 200cm/s^2 程度の地震動を想定し、表層部に非液状化層が3m以上存在すれば地表面への影響は小さいと判定され、これが液状化を考慮するか否かの目安となっている。しかし、新潟中越沖地震や東北地方太平洋沖地震では、地表面から盛土や粘性土を含む非液状化層が3m以上存在したにも関わらず、過大な不同沈下が生じ沈下修正工事を余儀なくされた被災事例も多い。また、同指針には液状化対策の図例も示されているが、住宅設計者にとって十分な技術情報とはいえない。

3. 宅地の液状化危険度評価

宅地を対象とした液状化調査から対策工設計までのフローを図-1に示す。まず、既存の資料と通常実施するSWS試験（サンプリングや地下水位調査を含む）に基づいて液状化の可能性を大まかに評価し、これらでは判断できない場合に限り、液状化判定が可能な地盤調査を実施する。次に、地盤調査結果に基づいて液状化判定と液状化危険度評価を行ない、液状化による被害が予想される場合には、液状化の程度や基礎条件に応じて対策工の選定と設計を行なう。

なお、想定する地震力と要求性能は表-1を目安とする。

3.1 液状化の調査フロー

図-2に既存資料とSWS試験、サンプリング、地下水位測定結果に基づく液状化の調査フローを示す。同図は

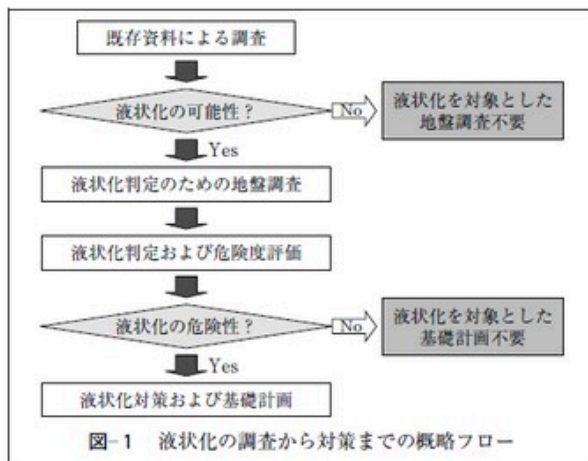


図-1 液状化の調査から対策までの概略フロー

* MAJIMA Masato 株式会社設計室ソイル 取締役社長 | 東京都中央区日本橋 3-9-12 第六中央ビル7F
 ** MATSUSHITA Katsuya 株式会社ミサワホーム総合研究所 | 杉並区高井戸西 1-1-19

概略調査であり、以下の手順で進める。

- ① 地形・地質図、地盤図、近隣ボーリングデータ、地方公共団体が発行する液状化危険度マップなどから、

表-1 想定地震力と要求性能

想定する地震	マグニチュード	a_{max} (cm/s^2)	要求性能
中地震 建物の存在期間中に1回～数回程度遭遇する地震	7.0～7.5	150～200	有害な沈下・変形・損傷なし ↓ 軽微な補修ですむ
大地震 数百年間に1回程度発生する最大級の地震	8.0～(9.0)	300～350	修復不能な損傷を受けない ↓ 修復すれば継続使用可能

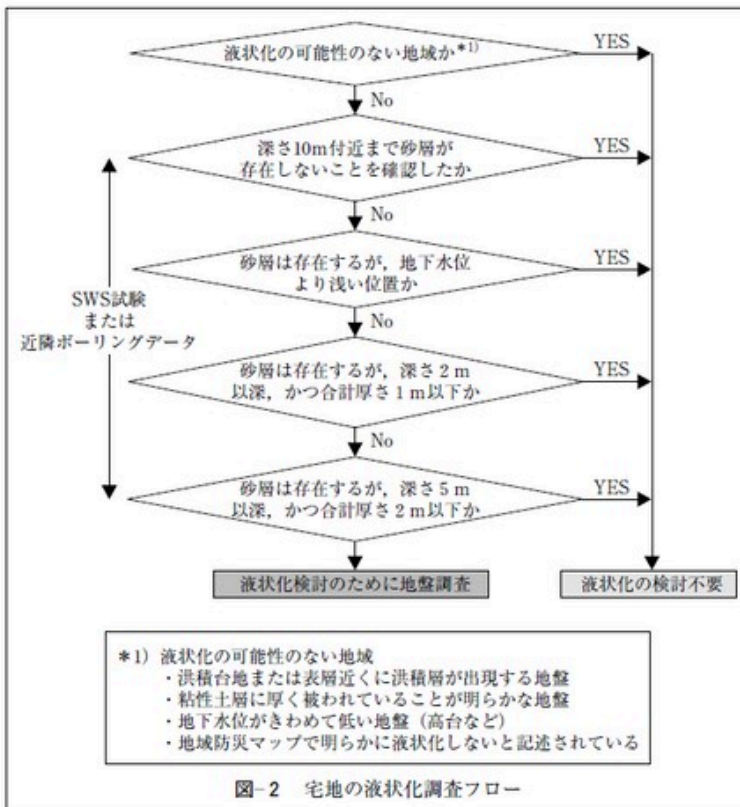


図-2 宅地の液状化調査フロー

同図の*1)の項目に該当するか否かを判断する。

- ② 地下水位、砂層の厚さや深度などから液状化危険度を大まかに判断する。土質種別や地下水位が明らかな場合には、図-3を利用して液状化に伴う

地表面への影響の程度を判定する。なお、砂層が液状化するか否かの判断は図-4に示す限界換算 N 値を利用してもよい。同図は基礎構造設計指針の方法により $F_L=1.0$ となる限界 N 値を求め、この値をSWS試験による換算 N 値に変換したものである。

- ③ 液状化検討を要する地盤に対しては、図-5の液状化の判定から対策工の選定・設計までのフローへと進む。

3.2 液状化の判定

基礎構造設計指針の方法に基づき、標準貫入試験あるいはコーン貫入試験の結果を利用して液状化の判定を行なう。具体的には、地震時に地盤中に生じるせん断応力比とその土固有の液状化強度を求め、それらの値から液状化に対する安全率 F_L を求める。

3.3 液状化危険度の評価

地盤中の1深度のみ液状化するからといって、それがただちに地盤や建物の被害に結びつくわけではない。液状化の影響あるいは被害は液状化層が厚く、また浅い位置に存在するほど顕著になる。したがって、液状化の程度、液状化層厚、液状化深さなどに応じて、基礎並びに上部建屋への影響を検討する必要がある。具体的には、地盤の液状化に伴う地盤変状や剛性低下が基礎に与える影響および基礎の沈下量について、以下3種類の方法で検討し、影響度を評価する。

- ① 液状化指数 P_L を用いる方法⁵⁾
- ② 地表面動的変位 D_G を用いる方法¹⁾
- ③ 地表付近の非液状化層の存在を考慮する方法⁴⁾

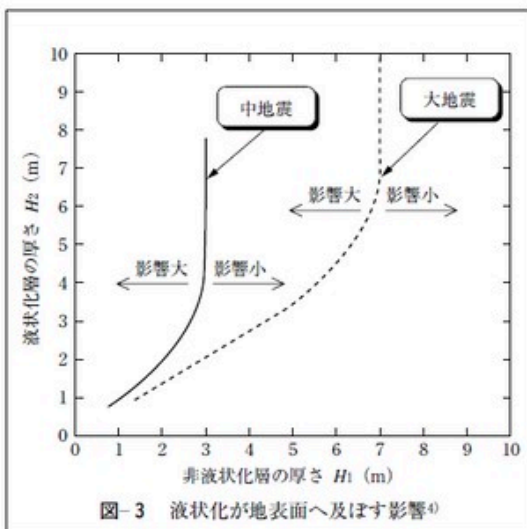


図-3 液状化が地表面へ及ぼす影響⁴⁾

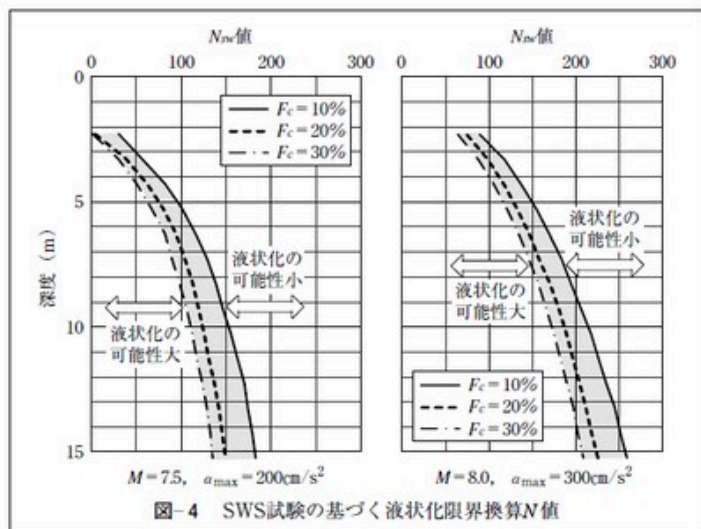


図-4 SWS試験の基づく液状化限界換算 N 値

①, ②の詳細は紙面の都合上省略するが、 P_L と D_{50} の判定指標は表-2、表-3を、③の評価基準は図-3を使用する。

4. 液状化対策

危険度評価の結果をもとに、図-5のフローに従って液状化対策の必要性、あるいは対策が必要な場合には対策方法を選択する。ただし、液状化に伴う大規模な地盤流動化や地滑りなどは対象としていない。

4.1 液状化防止対策

適用可能な工法としては、締固め工法、格子状固化工法、地盤注入工法がある。ただし、戸建住宅では経済性や施工環境、隣地への影響などの制約を受け、現時点で問題なく適用可能な工法は格子状固化工法である。その適用概念図を図-6に示す。

4.2 液状化を許容した対策

本来は支持力増加や沈下抑制対策として採用されたべた基礎や表層地盤改良、柱状地盤改良、小口径鋼管による地盤補強を行なった戸建住宅では、周辺地盤は液状化によって沈下したものの、建物の被害は軽微であったとの報告もある。このような経験を踏まえると、液状化層厚や液状化危険度に応じて適切な工法選定と設計を行えば、上記の基礎や地盤補強でも戸建住宅のような軽量建物であれば、液状化対策として適用可能と思われる。図-7は戸建住宅の液状化対策として適用可能な基礎・地盤補強方法を、表-4はこれら対策工の選定および設計上の目安を示したものである。

- ① 基礎からべた基礎への変更：基礎剛性を高めて不同沈下を抑制することを目的とした対策。液状化層が薄くかつ浅く、液状化しても地表面への影響小と判定されれば対応できる。
- ② 表層地盤改良：液状化層の一部または全体を層状改良することにより、液状化層厚を減少させ、かつ地盤剛性の向上（不同沈下抑制）を目的とした対策。液状化深さが3m以内、改良厚さが2m以内であれば、対応可能である。
- ③ 柱状地盤改良：過去の被災事例や振動台による液状化実験によれば、建屋の応答加速度は液状化直前が最大となり、液状化後は地盤のエネルギー吸収効果により低下するという報告に基づいた考え方である。つまり、液状化後は建屋から基礎への慣性力がきわめて小さいことを前提として、水平力に対する検討は液状化前の水平地盤反力を用いて行ない、液状化後は鉛直支持性能のみ確保することを目的としたものである。改良体先端地盤が液状化せず、かつ液状化層の周面摩擦抵

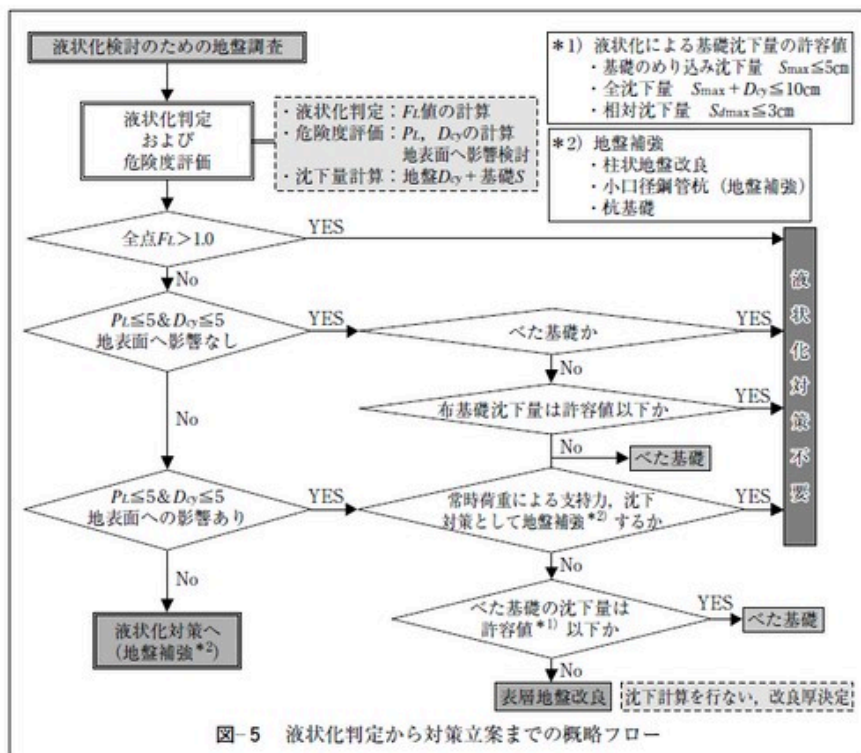


図-5 液状化判定から対策立案までの概略フロー

表-2 P_L による判定区分⁵⁾

区分	液状化の影響の程度	P_L 値	
		レベル1地震動	レベル2地震動
(a)	液状化による影響は小さい	$0 \leq P_L \leq 5$	$0 \leq P_L \leq 5$
(b)	液状化による影響は大きい	$5 \leq P_L \leq 15$	$5 \leq P_L \leq 20$
(c)	液状化による影響は非常に大きい	$15 < P_L$	$20 < P_L$

表-3 D_{50} による判定区分¹⁾

D_{50} (cm)	液状化の程度
0	なし
5	軽微
5~10	小
10~20	中
20~40	大
40	甚大

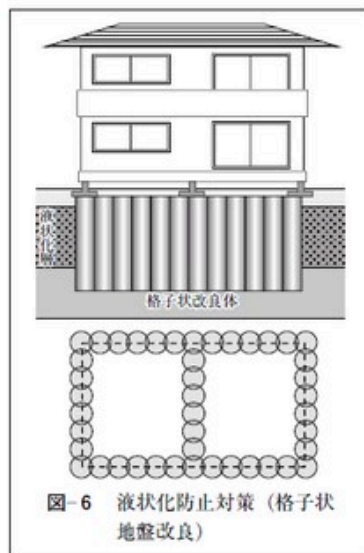


図-6 液状化防止対策（格子状地盤改良）

抗を無視しても鉛直支持力を確保できれば、対応できると考えられる。

- ④ 小口径鋼管：柱状改良と同様な考え方で対応するものである。ただし、杭材は柱状改良体よりより極端の細長いので、座屈に対する配慮が必要となる。
- ⑤ 杭基礎：杭基礎を採用するのは戸建住宅の中でも比

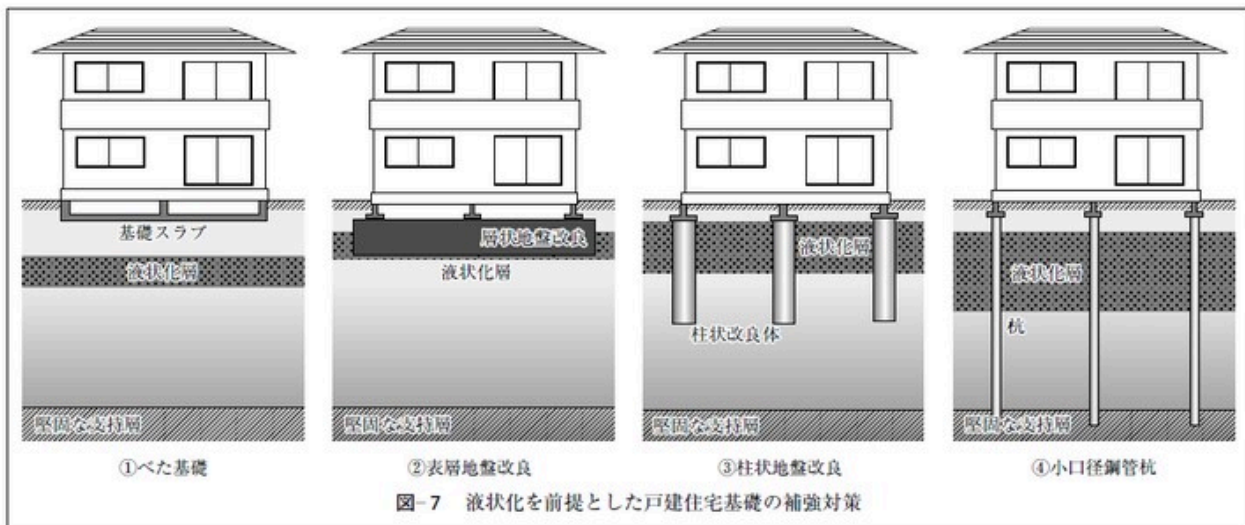


図-7 液状化を前提とした戸建住宅基礎の補強対策

表-4 液状化対策の選定および設計上の目安

対策方法	選定および設計上の目安
①べた基礎	・液状化層が深さ3m以内、改良厚が2m以内。
②表層地盤改良	・沈下量が許容値以内。
③柱状地盤改良	・液状化層が深さ5m以内。 ・改良体の先端地盤が液状化しない。 ・液状化層の摩擦抵抗を無視しても、作用軸力が短期許容支持力以下。 ・改良長を液状化深さの1.5倍以上確保できる。
④小口径鋼管杭 ⑤杭基礎	・杭先端地盤が液状化しない ・液状化層の摩擦抵抗を無視しても、作用軸力が短期許容支持力以下。 ・液状化層の水平地盤反力を無視しても、杭の曲げモーメント、せん断力が許容値以下。

較的重い3階建やRC系の建物と予想される。一般の建物と同様、建築基礎設計指針に準じた考え方で設計する必要がある。

4.3 液状化による不同沈下を前提とした対策

建築基準法上は中地震に対して液状化被害を軽微に抑えるための対策を講じなければならないが、大地震までを想定して液状化対策を行なうとなると、地盤条件によっては居住者が負担可能な金額を大幅に上回る工事費に達することも少なくない。したがって、中地震程度までを上記4.1、4.2の方法で対策し、それ以上の地震に対しては構造耐力の低下や漏水などの重大な機能障害が生じない程度の(不同)沈下を許容しつつ、地震によって不同沈下が生じた場合には、簡便かつ低コストで沈下修正可能な対策を講じておく方法も選択肢の1つである。考えられる対策としては以下のような方法がある。

- ① 表層改良を行ない(または柱状改良を併用し)、不同沈下が生じた場合には改良部を反力として建物を沈

下修正する。

- ② 基礎を二重構造とし、不同沈下が生じた場合には下部の基礎スラブを反力として建物を沈下修正する。
③ 基礎と建物とを簡単に切離せる構造としておき、不同沈下が生じた場合には基礎を反力として建物を沈下修正する。

5. おわりに

戸建住宅では、液状化検討のための地盤調査や液状化対策に多くの費用を割くことは難しいが、大切な財産を守るためにも居住者に液状化の可能性や建物の被害程度を伝え、予算の許す限り被害程度を極力抑える対策を行なうべきと思われる。特に、表層に3m以上の非液状化層が存在しているからといって大地震の液状化検討を省略するのではなく、どの程度の地震力で液状化の可能性があり被害が予想されるのか、あるいは対策の必要性があるか否かを居住者にわかりやすく伝え、居住者との話し合いによって対策の採否や方法を決定することである。今後、この手順を怠れば設計責任を追及されても仕方がない。巨大地震までを対象とした対策を居住者が希望するようであれば、当然居住者の負担すべき金額も増えることになる。

参考文献

- 1) 日本建築学会編：建築基礎構造設計指針，2001，10。
- 2) 日本建築学会編：建築基礎のための地盤改良設計指針案，2006，11。
- 3) 日本建築学会編：小規模建築物基礎設計指針，2008。
- 4) 都市再生機構：宅地耐震設計マニュアル(案)，2003。
- 5) 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。