

宅地の液状化予測や対策は必要か

1. はじめに

新潟中越地震や新潟中越沖地震をはじめ、大地震が起きるたびに戸建住宅では液状化により貴重な財産が損害を受けている。戸建住宅の分野では、建物自体の耐震化や免震化は進められているものの、地盤・基礎の耐震化、とりわけ液状化の予測・対策については、それに多くの費用を割くことができないため、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い。しかし、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」ことが記述されている。また、2007年版建築物の構造関係技術基準解説書¹⁾にも、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。戸建住宅といえども建築基準法の適用を受けるわけであり、一般の建物と同等の液状化検討や対策をできないまでも、液状化の可能性がある場合には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。

2. 液状化を発生しやすい地盤と被害

図-1に、液状化を発生しやすい地盤条件、液状化発生のメカニズムと液状化による構造物の被害を示す。地盤が液状化すると、一種の地盤免震効果により建物の揺れ（加速度）は小さくなる。戸建住宅など軽量かつ基礎構造が比較的脆弱な小規模建物では、地盤変状や擁壁変状の影響を大きく受けやすく、また地盤の支持力不足や液状化後の地盤沈下によって不同沈下を生じ、居住性や機能性に障害を起こす。さらに、不同沈下が過大になると基礎や上屋など構造的な障害も発生する。

3. 宅地を対象とした液状化調査のフロー

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-2に示す。まず、既存の資料と通常実施するSWS試験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を評価し、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。

図-3に、既存資料とSWSに基づく液状化危険度の調査フローを示す。同図は概略調査であり、まず地形・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地域防災マップなどから、同図の*1)の項目

に該当するか否かを判断する。次に地下水位、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。なお、土質種別や地下水位が明らかな場合には、図-4を利用して液状化に伴う地表面への影響の程度を判定してもよい。ただし、図-4は中地震程度を想定したものであり、明らかに

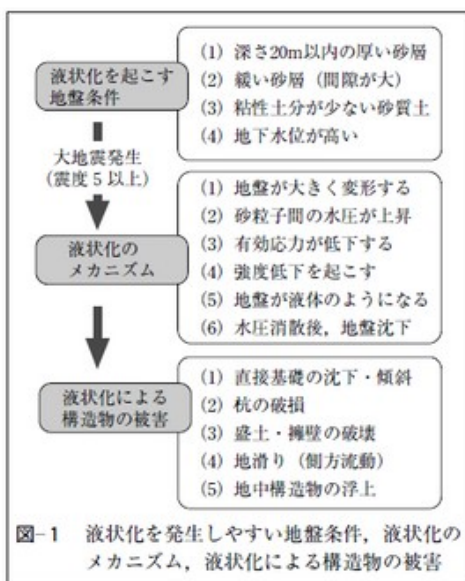


図-1 液状化を発生しやすい地盤条件、液状化のメカニズム、液状化による構造物の被害

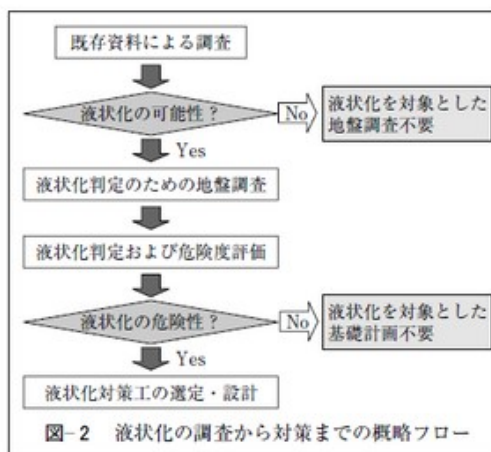
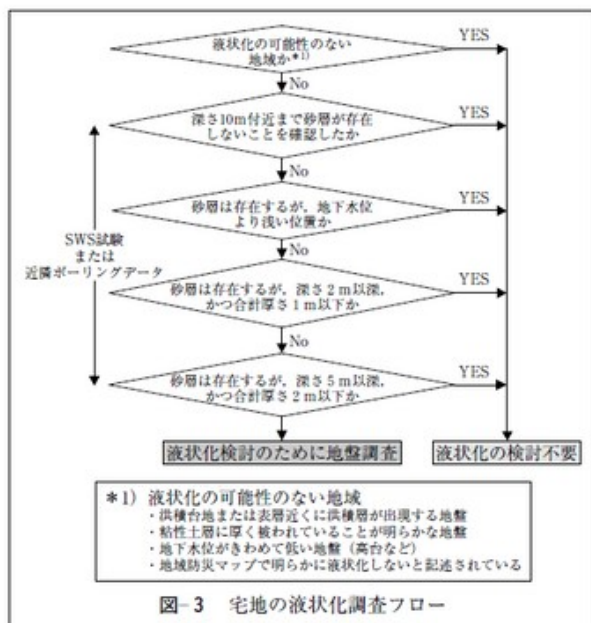


図-2 液状化の調査から対策までの概略フロー



地表面への影響が小さい場合を除いて、詳細な検討を行なうのが望ましい。次に、図-3で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。

4. 詳細な液状化予測と危険度評価

4.1 液状化の判定

液状化検討では、まず日本建築学会基礎構造設計指針の方法³⁾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。標準貫入試験に基づく液状化判定は広く知られているので、ここでは、コーン貫入試験の結果を用いた液状化判定法を示しておく。

4.1.1 液状化抵抗比 R の算出

式(1)を用いて補正コーン貫入抵抗値 q_{c1} を定義し、文献2)の図4.5.5より液状化抵抗比 R を推定する。

$$q_{c1} = F(I_c) \cdot q_c \cdot C_N \quad (1)$$

ここに、

q_{c1} : 補正コーン貫入抵抗値

$F(I_c)$: 土の挙動特性に関する補正係数

q_c : 測定されたコーン貫入抵抗値

I_c : 土の挙動特性指標

f_s : 原位置で測定された周面摩擦抵抗

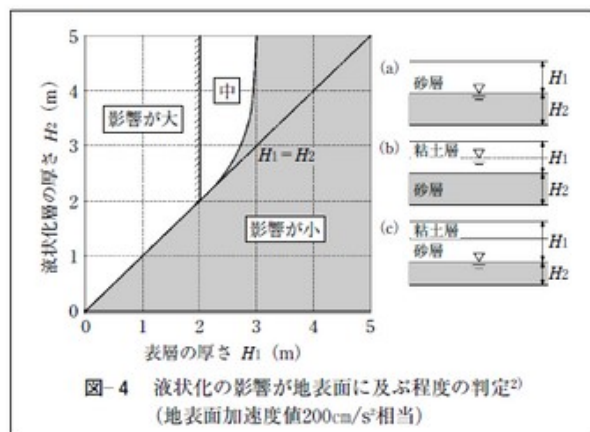
C_N : 拘束圧に関する換算係数

$$I_c = \{ (3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_R + 1.22)^2 \}^{0.5}$$

$$Q_t = (q_c - \sigma'_z) / \sigma'_z$$

$$F_R = f_s / (q_c - \sigma'_z) \times 100$$

$$C_N = \sqrt{98 \sigma'_z} \quad (2)$$



4.1.2 液状化判定 (F_L の計算)

繰返しせん断応力比 L を式(3)により求め、式(4)より F_L を計算する。

$$L = \frac{\tau_d}{\sigma'_z} = r_n \frac{\alpha_{max}}{g} \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} r_d \quad (3)$$

$$F_L = R / u \quad (4)$$

ここに、

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)

r_n : 等価な繰返し回数に関する補正係数で0.1 (M-1)

M: マグニチュード

α_{max} : 地表面最大加速度 (cm/s²)

g : 重力加速度980 (cm/s²)

σ_z : 全土被り圧 (kN/m²)

r_d : 低減係数で1-0.015Z

Z: 深度 (m)

4.2 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

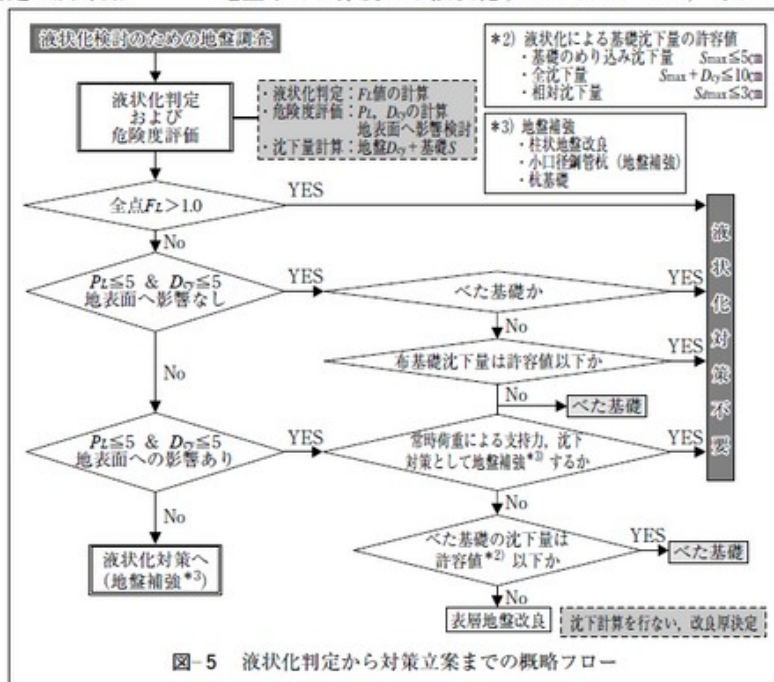


表-1 P_L による判定区分

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	$5 < P_L \leq 15$	$5 < P_L \leq 20$
(c)	液状化による影響は非常に大きい	$15 < P_L$	$20 < P_L$

表-2 D_{50} による判定区分

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

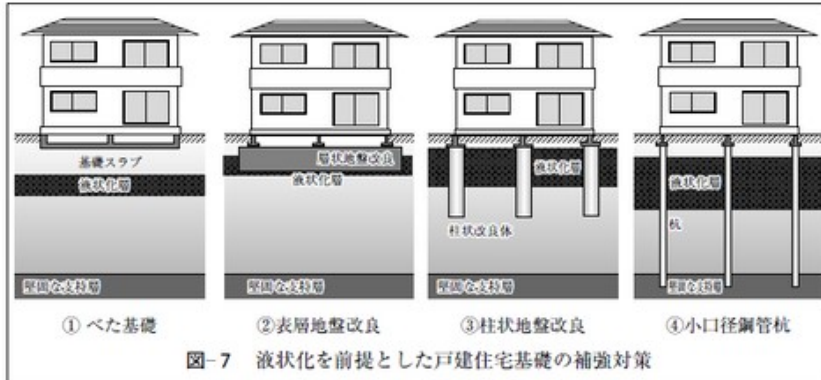


図-7 液状化を前提とした戸建住宅基礎の補強対策

表-3 液状化対策の選定および設計上の目安

基礎・補強工法	項 目
①べた基礎 ②表層地盤改良	・液状化層が深さ3m以内、改良厚さが2m以内。 ・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。

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、以下の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⁴⁾
- ②地表面動的変位 D_{50} を用いる方法³⁾
- ③地表付近の非液状化層の存在を考慮する方法

①②の詳細は紙面の都合上省略するが、 P_L と D_{50} の判定指標を表-1・表-2に、③の評価基準を図-6に示す。

5. 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。

戸建住宅では経済性や敷地の制約上、液状化の発生を防止するような抜本的対策（例えば、締固め工法や格子状固化工法など）は採用しにくい。一方、本来は支持力増加や沈下抑止対策として採用されたべた基礎、セメン

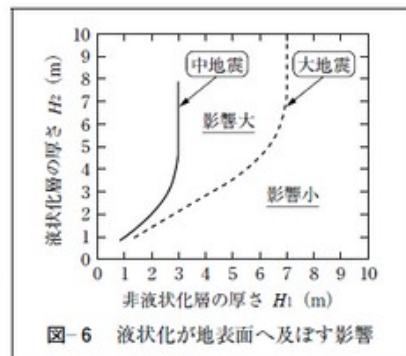


図-6 液状化が地表面へ及ぼす影響

ト系地盤改良、小口径鋼管杭を採用した戸建住宅では、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-3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べた基礎は基礎剛性を高めて不適同沈下を抑制し、②表層地盤改良は液状化層の一部または全体を改良して液状化層厚を減少させ、かつ地盤剛性の向上による不同沈下抑制を目的とする。①、②は液状化層が薄い場合や地表面への影響が小さい場合に適用できると考えられる。③柱状地盤改良、④小口径鋼管など杭状地盤補強は、戸建住宅用の補強長さが5~10m以下となることが多く、建物が軽量である（1本当りの負担軸力や水平力が小さい）ことを考慮すると、杭状体先端地盤が液状化せず、かつ液状化層の周面摩擦抵抗を無視しても鉛直支持力を確保できれば、適用可能と考えられる。ただし、通常鋼管杭を採用する場合は、柱状改良よりも深くまで設置することが多く、長さ径比、杭頭部で生じる水平変位、基礎スラブとのずれに対して十分な配慮が必要となる。⑤杭基礎は、一般の建物と同様、建築基礎設計指針³⁾に準じた考え方で設計する必要があると判断される。

6. 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。しかし、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。

■参考文献

- 1) 国土交通省住宅局建築指導課：2007年版建築物の構造関係技術基準解説書，2007。
- 2) 日本建築学会編：小規模建築物基礎設計指針，2008。
- 3) 日本建築学会編：建築基礎構造設計指針，2001。
- 4) 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。