

第2章 宅地の液状化判定・被害予測の評価手法の検討

2.1 概要

本章では、本研究開発の目的である「低コスト・高精度な地盤調査法に基づく宅地の液状化被害予測手法」のために、まず地震時に戸建住宅が地盤へ要求する性能（変形量、沈下量、傾斜角など）を明確にする。次に、液状化判定・被害の評価手法を既往の研究から検討する。さらに、既存の地盤調査法（静的、動的サウンディング試験）から得られる地盤情報を再検討し、宅地の液状化判定に必要な地盤特性（地盤強度と土質を表す指標）をまとめる。

2.2 既往の研究

2.2.1 宅地の性能評価

宅地では建物荷重に対して地盤の支持力が不足する場合は少なく、最も問題となるのは不同沈下である。建物の沈下は、**図-2.2.1**に示すように、(1)等沈下、(2)一体傾斜、(3)変形傾斜に分類することができる¹⁾。(1)は居住者の生活に大きな問題はなく、(2)と(3)が不同沈下として居住者の生活に支障をきたすこととなる。特に、(3)は建物に変形が生じ、建物壁体にひび割れなどの構造的障害が発生する。これらは液状化後の沈下に対しても同様である。

小規模建築物基礎設計指針¹⁾では、傾斜角および変形角（**図-2.2.2**参照）に対する設計目標値の参考値として**表-2.2.1**が示されている。外壁のひび割れなどの障害は、本来、変形角に起因するものであるが、その算定はかなり面倒である。そこで、総沈下量が大きければ相対沈下量も大きく、よって変形角も大きくなるので、最大沈下量に一定の限度を設け、これを許容沈下量として、これ以内に収まるように設計することが多い。**表-2.2.2**は、不同沈下による建物壁体の障害（有害なひび割れ）についての実測データを基に提案された許容沈下量である²⁾。

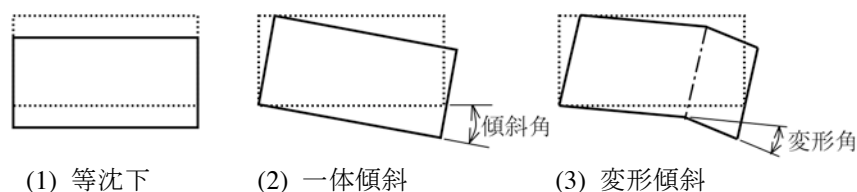


図-2.2.1 建物沈下の種類¹⁾

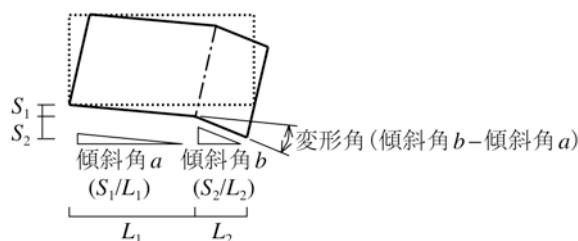


図-2.2.2 傾斜角と変形角¹⁾

表-2.2.1 不同沈下の設計目標値の参考値¹⁾

不同沈下	設計目標値
傾斜角	3/1000 以下
変形角	2.5/1000 以下

表-2.2.2 許容沈下量 (cm) の参考値²⁾

沈下の種類	即時沈下量		圧密沈下量	
	布基礎	べた基礎	布基礎	べた基礎
標準値	2.5	3~(4)	10	10~(15)
最大値	4	6~(8)	20	20~(30)

標準値：不同沈下による亀裂がほとんど発生しない限度値

最大値：幾分か不同沈下亀裂が発生するが障害には至らない限度値

()：剛性の高いべた基礎の値

表-2.2.3 住宅品確法による床の傾斜に関する基準

レベル	住宅の種類	構造耐力上主要な部分に瑕疵が存する可能性
	木造住宅，鉄骨造住宅，鉄筋コンクリート造住宅 又は鉄骨鉄筋コンクリート造住宅	
1	3/1000 未満の勾配（凹凸の少ない仕上げによる床の表面における 2 点 (3m 程度以上離れているものに限る) の間を結ぶ直線の垂平面に対する角度をいう。以下にこの表において同じ) の傾斜	低い。
2	3/1000 以上 6/1000 未満の勾配の傾斜	一定程度存する。
3	6/1000 以上の勾配の傾斜	高い。

一方、平成 12 年に制定された「住宅の品質確保の促進等に関する法律」（住宅品確法）では、住宅紛争処理の参考となるべき技術的基準として、不同沈下に関わる床の傾斜に関する基準を表-2.2.3 のように示されている。レベル 3 の 6/1000 以上の傾斜が発生したとき、「建物に瑕疵が存在する可能性が高い」と判断される。

2.2.2 液状化に対する宅地の性能評価

日本建築学会の住まい・まちづくり支援建築会議の復旧・復興支援 WG では、液状化による地盤沈下による床の傾斜角と健康被害の関係を表-2.2.4 のようにまとめている³⁾。傾斜角が 8~10/1000 を超えると健康障害が生じると言える。

表-2.2.4 床の傾斜角と健康障害³⁾

傾斜角		健康障害
度	ラジアン	
0.29°	5/1000	傾斜を感じる。
0.34°	6/1000	不同沈下を意識する。
0.46°	8/1000	傾斜に対して強い意識、苦情の多発。
0.6°程度	1/100程度	めまいや頭痛が生じて水平復元工事を行わざるを得ない。
~1°	~1/60	頭重感、浮動感を訴える人がある。
1.3°	1/44	牽引感、ふらふら感、浮動感などの自覚症状が見られる。
1.7°	1/34	半数の人に牽引感。
2°~3°	1/30~1/20	めまい、頭痛、はきけ、食欲不振などの比較的重い症状。
4°~6°	1/15~1/10	強い牽引感、疲労感、睡眠障害が現れ、正常な環境でもものが傾いて見えることがある。
7°~9°	1/8~1/6	牽引感、めまい、吐き気、頭痛、疲労感が強くなり、半数以上で睡眠障害。

日本建築学会：建築士のためのテキスト 小規模建築物を対象とした地盤・基礎，
p. 31, 2003 より引用・修正

また、内閣府による災害に係る住家の被害認定⁴⁾では、地盤の液状化等により損傷した住家の被害認定方法について、住宅の四隅の傾斜（基礎と柱が一体的に傾く不同沈下の場合）の平均で以下のように判定している。

- 1/100～1/60（10～16.7/1000）：半壊
- 1/60～1/20（16.7～50/1000）：大規模半壊
- 1/20以上（50/1000以上）：全壊

さらに、地震保険における地盤の液状化による建物損害認定方法の基準⁵⁾では、建物の傾斜角と沈下量によって以下のように認定している。

- 0.2°～0.5°（3.5～8.7/1000）、10～15cm：一部損（保険金額の5%支払い）
- 0.5°～1°（8.7～17.5/1000）、15～30cm：半損（保険金額の50%支払い）
- 1°以上（17.5/1000以上）、30cm以上：全損（保険金額の全額支払い）

以上のように、建物としては傾斜角が16.7/1000程度を超えると、大規模半壊、全損で修復不能と見なされている。

2.2.3 東日本大震災での宅地の液状化被害

(1) 被害の概要

東北地方太平洋沖地震は、2011年3月11日14時46分に三陸沖（牡鹿半島の東南東約130km）の深さ約24kmを震源として発生した。我が国観測史上最大のマグニチュードMw9.0の海溝型地震で、東北地方から関東地方にかけて甚大な被害をもたらした。本震及び余震による災害に対して「東日本大震災」と名付けられた。地盤災害としては、東北地方の沿岸部での液状化、丘陵部宅地での斜面崩壊・地すべり、道路・鉄道盛土の崩壊などが発生した。一方、関東地方では液状化による甚大な災害が発生した。

表-2.2.5に東北・関東地方の液状化による住宅被害数⁶⁾を示す。特に千葉県と茨城県の被害数が多いことがわかる。東北地方で被害数が少ないのは、津波によって液状化被害が掻き消され、津波被害にカウントされているためと考えられる。図-2.2.3に関東地方の液状化発生箇所⁷⁾の分布を示す。特に東京湾岸域と利根川下流域に集中していることが特徴であるが、茨城、千葉、埼玉県の内陸域でも発生していることがわかる。これらの範囲での本震の震度は6強から5強である。また、本震の29分後の15時15分に発生した茨城沖の余震（Mw7.7）でも震度6強から5弱となり、この余震によっても液状化したことが記録されている。関東地方の中でも千葉県浦安市の液状化被害が最も大きく、住宅の沈下・傾斜、杭基礎構造物の抜け上がり、ライフライン、道路などに大きな被害が発生し、多量の噴砂、電柱の沈下、マンホールの浮上なども至る所で見られた（写真2.2.1参照）。一方、利根川下流域の茨城県神栖市・潮来市・稲敷市、千葉県香取市・我孫子市でも浦安市に勝るとも劣らぬ液状化被害が発生していた（写真2.2.2参照）。

東日本大震災での関東地方の液状化被害は、東京湾沿岸域の埋立地、利根川下流域の旧河川・沼の埋立・干拓地、河川堤防、砂鉄や砂利の採取跡を埋め戻した箇所など、いずれも人工改変地で発生している。このことから人間が手を施した地盤の扱いが不十分であり、自然の地盤に対してもっと慎重に対処すべきであったことが教訓といえる。また、関東地方は震源から離れているため、地震動はそれほど大きくなかった（浦安市の最大加速度は150gal程度）ので、その発生原因は海溝型地震動による継続時間の長さの影響が大きいと考えられる。現在の液状化予測法では、その影響を必ずしも取り入れられていないので、今後検討する必要がある。

表-2.2.5 液状化による住宅被害数(2011/9/27 時点)⁶⁾

都県	被害数	県	市	被害数
岩手県	3 棟	千葉県	浦安市	8,700 棟
宮城県	140 棟	千葉県	習志野市	3,916 棟
福島県	1,043 棟	茨城県	潮来市	2,400 棟
茨城県	6,751 棟	千葉県	香取市	1,842 棟
群馬県	1 棟	茨城県	神栖市	1,646 棟
埼玉県	175 棟	千葉県	千葉市	1,190 棟
千葉県	18,674 棟	福島県	いわき市	1,043 棟
東京都	56 棟	千葉県	船橋市	824 棟
神奈川県	71 棟	千葉県	旭市	757 棟
合計	26,914 棟	千葉県	我孫子市	635 棟

(9 都県 80 市区町村) 住宅被害が多い上位 10 市



図-2.2.3 関東地方の液状化発生箇所⁷⁾



(1) 建物の抜け上がりと沈下



(2) マンホールの浮上

写真 2.2.1 千葉県浦安市の液状化被害例



(1) 我孫子市布佐



(2) 潮来市日の出

写真 2.2.2 千葉県我孫子市・茨城県潮来市の液状化被害例

(2) 傾斜角と不同沈下量の関係

図-2.2.4、2.2.5 に関東地方の液状化被害を受けた後、水平修復工事を実施したそれぞれ布基礎とべた基礎の戸建住宅(355 棟)の傾斜角と不同沈下量の調査結果を示す^{8),9)}。傾斜角で6~10/1000、不同沈下量で50~100mm を超えると、水平修復工事を実施していることがわかる。また、傾斜角と不同沈下量には相関があることもわかる。

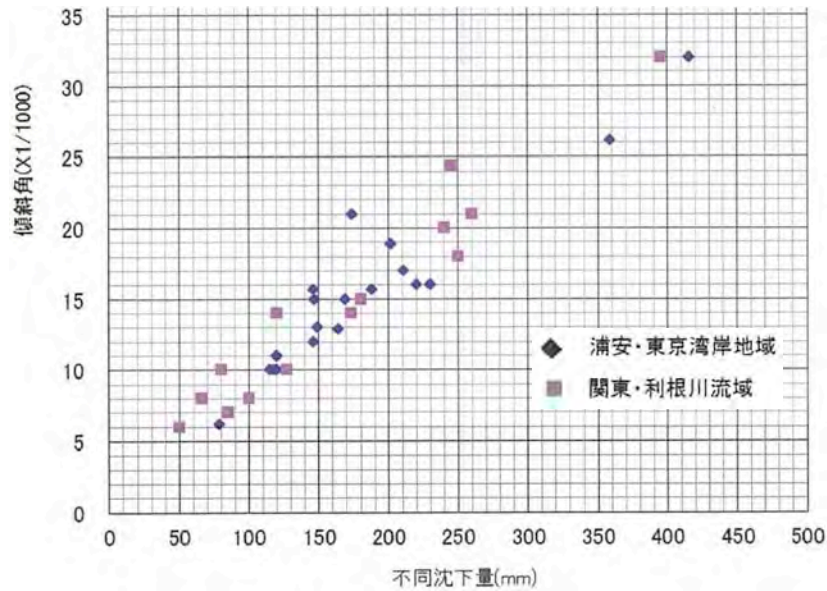


図-2.2.4 水平修復工事を実施した住宅の傾斜角と不同沈下量（布基礎の場合）^{8),9)}

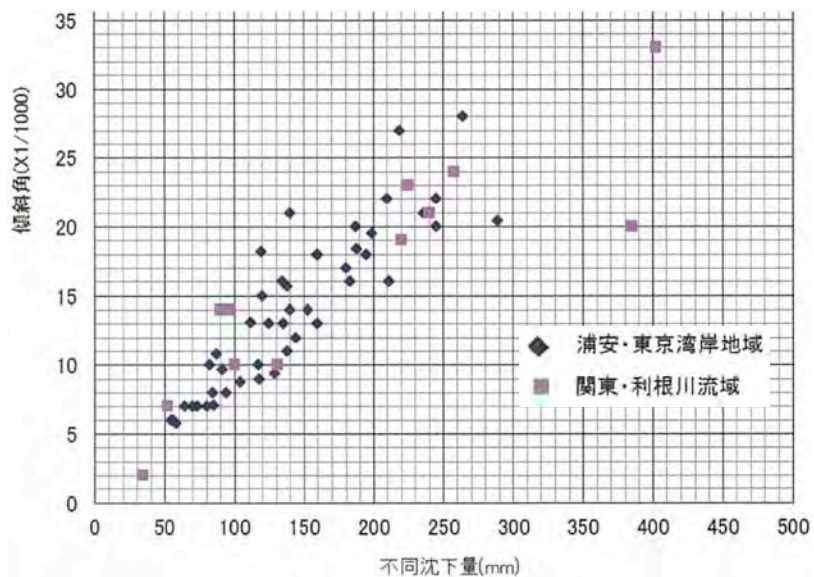


図-2.2.5 水平修復工事を実施した住宅の傾斜角と不同沈下量（べた基礎の場合）^{8),9)}

同様な調査結果として、図-2.2.6 に関東地方で液状化による沈下被害を受けた戸建住宅(160 件)の傾斜角と最大相対沈下量の関係を示す¹⁰⁾。ここで最大相対沈下量は住宅四隅の床面のある基準点からの最大沈下量であり、不同沈下量に相当する。それを測定間の短辺長さで除した値から傾斜角を算定している。傾斜角 θ と最大相対沈下量 ΔS には次式の関係が報告されている。

$$\theta = 0.0863 \Delta S \tag{2.2.1}$$

この関係は図-2.2.4、2.2.5 でもほぼ同じであることがわかる。

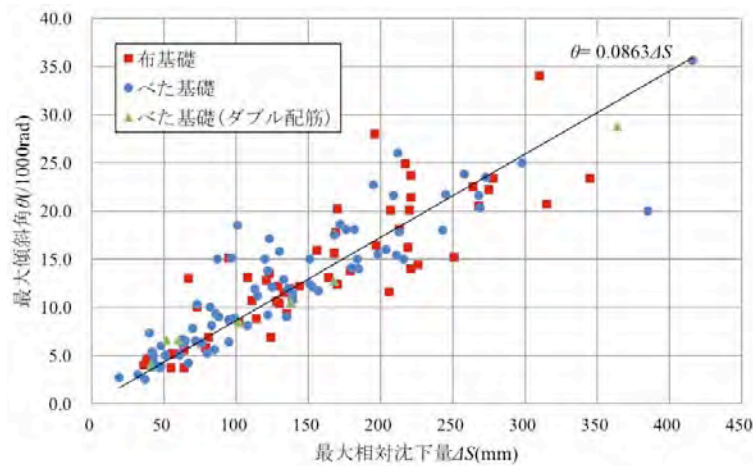


図-2.2.6 住宅の傾斜角と最大相対沈下量（不同沈下量）の関係¹⁰⁾

以上から、宅地の性能評価は傾斜角で判定するのが基本で、有害な沈下・変形を起こさない基礎構造としては、傾斜角で 10/1000 程度までと考えられる⁸⁾。しかし、傾斜角を事前に予測するのは難しいので、それに相関する不同沈下量で判定することに置き換えることができ、80~100mm を超えないことが妥当と考えられる⁸⁾。ただし、不同沈下量も事前予測は難しいので、液状化による地表面沈下量を予測することにより、液状化被害予測を行うこととなる。

2.2.4 液状化による宅地の沈下量の推定方法

液状化による宅地の沈下量の推定方法は表-2.2.6 のように分類される⁹⁾。

表-2.2.6 液状化による宅地の沈下量の推定する方法に分類⁹⁾

手法の分類	手法の概要	手法の特徴
経験に基づいて推定する方法	過去の被災事例や模型実験などから出された経験式により推定する方法	簡易ではあるが、適用できる構造物や地盤の条件が限られる。
解析を行って推定する方法	静的解析方法 (残留解析方法)	静的 FEM などを利用し、最終変形量だけを推定する方法
	動的解析方法	過剰間隙水圧の発生・伝播を考慮できる時刻歴地震応答解析を行って変形量の時刻歴を詳細に解析する方法

(1) 経験式により地表面沈下量の推定する方法

過去の被災事例や模型実験などから得られた経験式を用いる方法として、以下がある。

- ① 室内液状化試験結果をもとに作成された推定方法
- ② 建築基礎構造設計指針¹¹⁾での推定方法

①は繰返し三軸試験などの液状化試験を行った後に、排水状態として供試体の排水量から求められる体積ひずみから推定するもので、いくつかの提案がなされている^{12)~16)}。②は液状化に伴う地表変位 D_y (繰返しせん断ひずみ γ_y から求める) を地表面沈下量と見なすものである。

(2) 解析を行って地表面沈下量の推定する方法

動的解析では一般に液状化後の体積変化を考慮するので、自動的に地表面沈下量は計算される。また、静的解析でも残留変形の中に体積圧縮による沈下も考慮できる場合がある。動的解析による沈下量推定の詳細は第 5 章で述べる。

2.3 液状化判定・被害の評価手法

2.3.1 小規模建築物基礎設計指針による簡易判定手法

小規模建築物基礎設計指針¹⁷⁾では、沖積層を対象として土質と地下水位を確認することにより、液状化による地表面の変状を推定する方法が提示されている（地表面加速度 200gal を想定）。具体的には、図-2.3.1 に示すように、地表面から深さ 5m を対象として、非液状化層厚 H_1 とその下部の液状化層厚 H_2 を設定し、液状化の影響が地表面に及ぼす程度を簡易的に判定するものである。ここで、非液状化層とは地下水位より浅い砂層又は粘性土（細粒分含有率 $F_c > 35\%$ ）としている。したがって、この簡易判定でも試料採取による土質（粒度）判定と地下水位測定が必要となる。

ただし、この方法はあくまで深度 5m までが対象であり、東日本大震災の液状化被害の規模から見て不十分であり、宅地といえども液状化検討深度は 10m まで必要と考えられる。

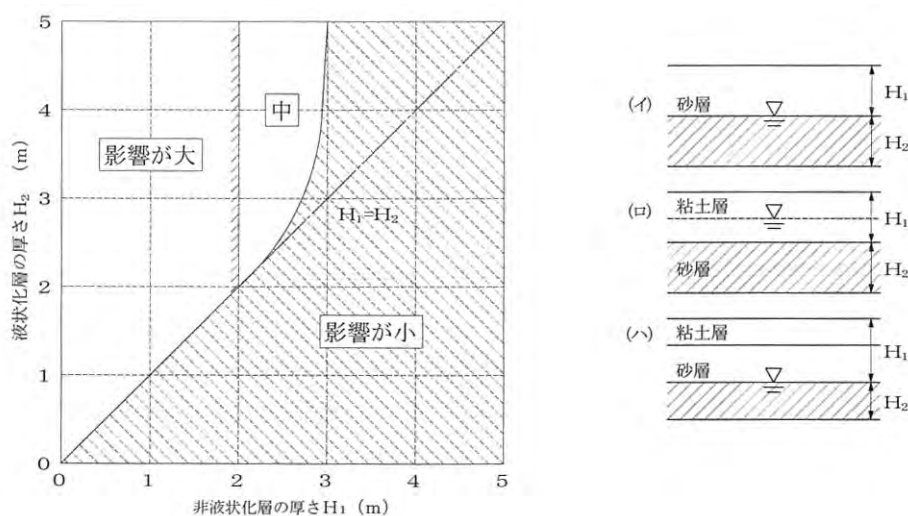


図-2.3.1 小規模建築物基礎設計指針による簡易判定手法¹⁷⁾

2.3.2 建築基礎構造設計指針による液状化判定手法

上で述べたように、今後の宅地に対する液状化検討深度は 10m まで必要であり、土木構造物や中規模以上の建築物の基礎地盤で使われている FL 法による液状化判定が必要と考えられる。

本研究では、大型・中型動的コーン貫入試験（SRS、MRS）とスウェーデン式サウンディング試験（SWS）の結果と簡易サンプラーによる採取土試料による粒度試験の結果を組み合わせ、液状化の判定を行うことを想定している。そこで、FL 法を用いた建築基礎構造設計指針¹¹⁾の液状化判定手法を以下に示す。

(1) 対象とすべき土層

液状化判定を行う必要がある飽和土層は、一般に地表面から 20m 程度以浅の沖積層で、考慮すべき土の種類は、細粒分含有率 F_c が 35% 以下の土とする。ただし、埋立地盤など人工造成地盤では、細粒分含有率が 35% 以上の低塑性シルト、液性限界に近い含水比を持ったシルトなどが液状化した事例も報告されているので、粘土分（0.005mm 以下の粒径を持つ土粒子）含有率が 10% 以下、又は塑性指数 I_p が 15 以下の埋立あるいは盛土地盤については液状化の検討を行う。細粒土を含む礫や透水性の低い土層に囲まれた礫でも液状化の検討を行う。

したがって、この手法を用いるためには土質判定（細粒分含有率 F_c 、粘土分含有率又は塑性指数 I_p ）が必要となる。

(2) 液状化に対する安全率 F_L

液状化の判定を行う必要のある土層に対して、次式で定義される液状化に対する安全率 F_L を算定し、 F_L 値が 1 以下の土層については液状化すると見なす。

$$F_L = \frac{R}{L} \tag{2.3.1}$$

ここに、 R ：液状化抵抗比、 L ：繰返しせん断応力比

1) R の算定

図-2.3.2 の限界せん断ひずみ振幅曲線 5%を用いて、補正 N 値 (N_a) に対する飽和土層の液状化抵抗比 $R = \tau_d / \sigma'_z$ を求める。ここで、補正 N 値 (N_a) は次式から求める。

$$N_a = N_1 + \Delta N_f \tag{2.3.2}$$

$$N_1 = C_N \cdot N \tag{2.3.3}$$

$$C_N = \sqrt{98 / \sigma'_z} \tag{2.3.4}$$

ここに、 N_a は補正 N 値、 N_1 は換算 N 値、 ΔN_f ：細粒分含有率 F_c に応じた補正 N 値増分 (図-2.3.3 による)、 C_N は拘束圧に関する換算係数、 σ'_z は検討深さにおける有効土被り圧 (kN/m²) である。

2) L の算定

検討地点の地盤内の各深さに発生する等価な繰返しせん断応力比 $R = \tau_d / \sigma'_z$ を次式から求める。

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = r_n \frac{\alpha_{\max}}{g} \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} r_d \tag{2.3.5}$$

ここに、 r_n は等価な繰返し回数に関する補正係数で $r_n = 0.1(M-1)$ 、 M は地震のマグニチュード、 α_{\max} は地表面における設計用水平加速度 (gal)、 g は重力加速度 (980gal)、 σ_z は検討深さにおける全土被り圧 (kN/m²)、 r_d は地盤が剛体でないことによる低減係数で、次式で与えられる。

$$r_d = 1 - 0.015z \tag{2.3.6}$$

ここに、 z はメートル単位で表した地表面からの検討深さである。

ここで、地表面水平加速度 α_{\max} は以下を用いるのが一般的である。

- ① $\alpha_{\max} = 200$ gal、 $M = 7.5$ (中地震：損傷限界)
- ② $\alpha_{\max} = 350$ gal、 $M = 7.5$ (大地震：終局限界)

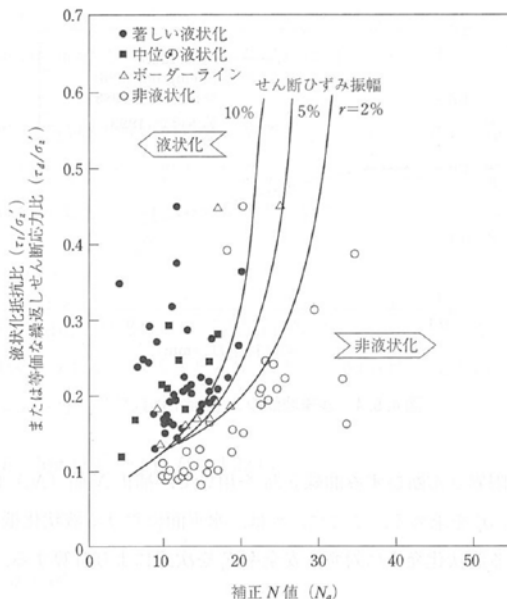


図-2.3.2 補正 N 値と液状化抵抗の関係¹¹⁾

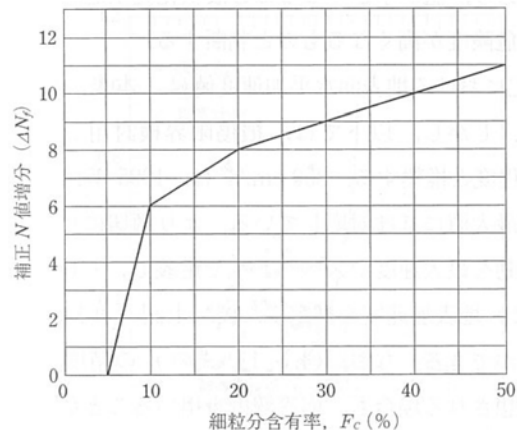


図-2.3.3 細粒分含有率 F_c と N 値の補正係数¹¹⁾

2.3.3 液状化被害の評価手法

(1) 液状化指標 P_L 値

P_L 値は液状化判定の安全率 F_L の深さ方向の変化から地盤の液状化の激しさの程度を表す指標として、岩崎・龍岡¹⁸⁾の式をもとに提案されたものである。 P_L 値は次式で算出される(図-2.3.4 参照)。

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L) \cdot w(z) dz \quad (2.3.7)$$

ここに、 $F_L > 1$ では $(1 - F_L) = 0$ とする。 $w(z)$ は深さ z に対する重み関数で、 $w(z) = 10 - 0.5z$ である。

過去の被害事例から P_L 値と液状化危険度の関係は、表-2.3.1 のように示されている。

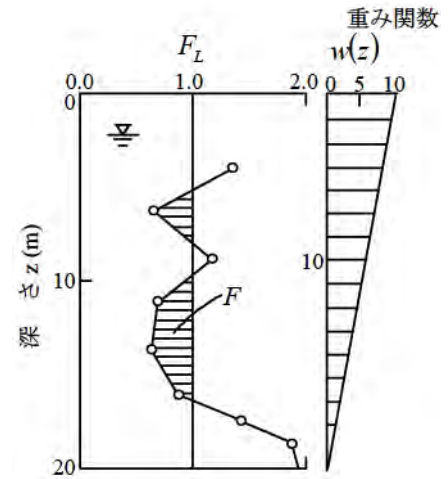


図-2.3.4 液状化指数 P_L の求め方¹⁸⁾

表-2.3.1 P_L 値と液状化危険度の関係¹⁸⁾

P_L 値	液状化危険度
$P_L = 0$	かなり低い。詳細な調査は不要。
$0 < P_L \leq 5$	低い。特に重要な構造物では詳細な調査が必要。
$5 < P_L \leq 15$	高い。重要な構造物に対して詳細な調査が必要。液状化対策が必要。
$P_L \geq 15$	極めて高い。詳細な調査と液状化対策が不可避。

(2) 地表変位 D_{cy}

建築基礎構造設計指針¹¹⁾では、液状化に伴う地盤変位の予測として、以下の手法を提示している。

- 1) 図-2.3.5 から補正 N 値 (N_a)、繰返しせん断応力比 τ_d/σ'_z に対応する各層の繰返しせん断ひずみ γ_{cy} を推定する。
- 2) 各層のせん断ひずみ γ_{cy} が同一方向に発生すると仮定して、これを鉛直方向に積分して(液状化層厚を乗じる) 振動中の最大水平変位分布とする。
- 3) 地表変位 D_{cy} とし、液状化程度の指標とする。液状化の程度は D_{cy} の値により表-2.3.2 のように評価する。

なお、沈下量は図-2.3.5 の γ_{cy} を体積ひずみに読み替えて求めてよいとしているので、 D_{cy} が地表面沈下量にもなる。

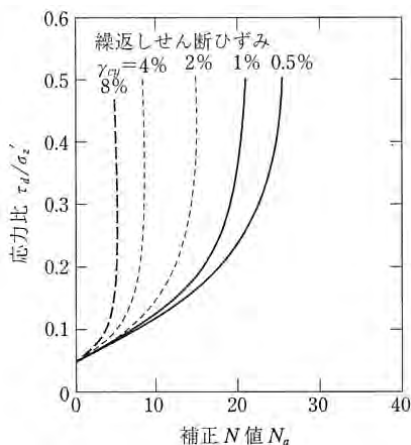


図-2.3.5 補正 N 値と繰返しせん断ひずみの関係¹¹⁾

表-2.3.2 D_{cy} と液状化の程度の関係¹¹⁾

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

(3) 国土交通省都市局の方法

国土交通省都市局による「宅地の液状化被害可能性判定の技術指針(案)」¹⁹⁾では、概ね平坦な地形が続く場所に位置する戸建住宅用の新規造成宅地及び既存宅地を対象として、震度5程度の中地震を対象に宅地の液状化被害の可能性を判定する指針を提示している。

液状化被害可能性の判定は、以下の(I)~(III)の手順で行うものとされている。

(I) 一次判定：地形データ等の既存資料等により、二次判定の要否を判定

(II) 二次判定：地盤調査結果に基づき、顕著な被害の可能性を3ランクで判定

(III) 三次判定：必要に応じて詳細な調査・解析により、顕著な被害の可能性を3ランクで判定

二次、三次判定における3ランクとは、各層の液状化に対する安全率 F_L 値を算定し、これを基に算定される非液状化層厚 H_1 と地表変位 D_{cy} 値又は液状化指標値 P_L 値から、図-2.3.6、表-2.3.3 判定図表を使用してA、B、Cの3ランクの液状化被害の可能性を判定するものである。なお、本指針は、震度5程度の中地震 ($\alpha_{max} = 200 \text{ gal}$ 、 $M=7.5$) を対象としている。

本指針による方法は、ボーリング調査結果に基づくことを前提としているが、本研究による簡易な地盤調査による結果で置き換えることも可能と考えられる。

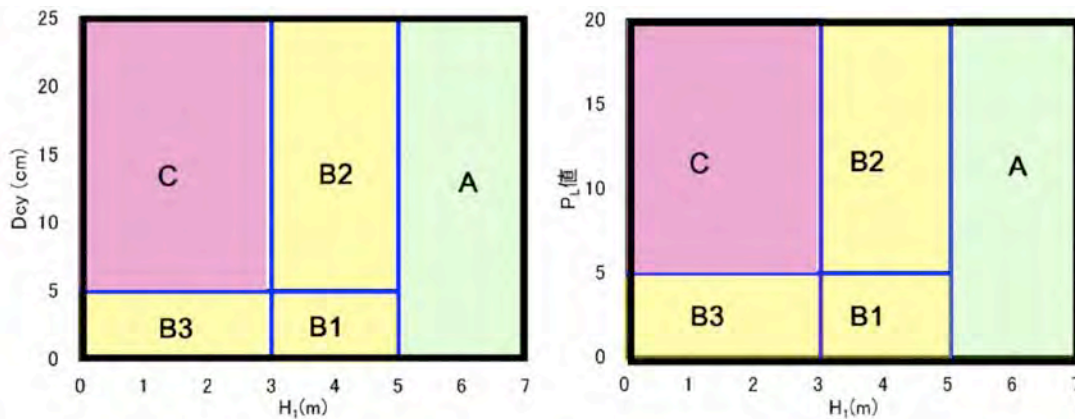


図-2.3.6 H_1 値、 D_{cy} 値、 P_L 値による判定図

表-2.3.3 判定図の数値表

判定結果	H_1 の範囲	D_{cy} の範囲	P_L 値の範囲	液状化被害の可能性
C	3m以下	5cm 以上	5 以上	顕著な被害の可能性が高い
B3		5cm 未満	5 未満	
B2	3mを超え、5m以下	5cm 以上	5 以上	顕著な被害の可能性が比較的低い
B1		5cm 未満	5 未満	
A	5mを超える	—	—	顕著な被害の可能性が低い

2.3.4 宅地の液状化判定に必要な地盤特性

以上の液状化判定手法や液状化被害予測の評価手法から、既存の地盤調査法（静的、動的サウンディング試験）で、宅地の液状化判定に必要な地盤特性（地盤強度と土質を表す指標）は以下のようになる。

- 1) 地盤強度としての N 値（各地盤調査結果から換算 N 値を求める）
- 2) 土質：サンプリングした土試料の細粒分含有率 F_c （粒度試験による）、粘土分含有率又は塑性指数 I_p （液性限界・塑性限界試験による）
- 3) 地下水位

4) 土被り圧、有効土被り圧：地盤内各層の単位体積重量 γ_i 、 γ_{sat} 、 γ'

本研究で対象としている大型、中型動的コーン貫入試験 (SRS、MRS) は 0.2m 間隔で N_d 値が、スウェーデン式サウンディング試験 (SWS) は 0.25m 間隔で W_{sw} 値、 N_{sw} 値が測定されるので、標準貫入試験 (SPT) よりも密に地盤強度が得られる (SPT は通常、1m 又は 2m 間隔で実施されることが多いため、かなり離散的である)。さらに、ピエゾドライブコーン (PDC) は 1 打撃毎にデータが整理される。

一方、土質判定は、PDC 以外では、簡易サンプラーを用いて試料採取を行うが、連続サンプリングが望ましいが、部分サンプリングを実施することも多いが、少なくとも 1m 間隔でサンプリングすることが望ましいと考えられる。本研究で扱った簡易サンプラーについては 3.3.5、4.2.2 で詳しく述べる。

2.4 まとめ

本章では、まず地震時に戸建住宅が地盤へ要求する性能 (変形量、沈下量、傾斜角など) を調べ、液状化判定・被害の評価手法を既往の研究から検討した。その結果から、既存の地盤調査法 (静的、動的サウンディング試験) から得られる地盤情報を再検討し、宅地の液状化判定に必要な地盤特性 (地盤強度と土質を表す指標) をまとめた。以上の結果をまとめると、以下となる。

宅地の性能評価は傾斜角で判定するのが基本で、傾斜角が 10/1000 を超えると健康障害が発生し、16.7/1000 を超えると建物に有害な沈下・変形が生じて修復不能な大規模半壊以上の被害となる。しかし、傾斜角を事前に予測するのは難しいので、それに相関する不同沈下量で判定することに置き換えることができ、80~100mm を超えないことが妥当と考えられる。ただし、不同沈下量も事前予測は難しいので、液状化による地表面沈下量を予測することにより、液状化被害予測を行うこととなる。

東日本大震災の液状化被害の規模から、宅地といえども液状化判定を目的とする宅地の調査深度は 10m までで、FL 法による液状化判定が必要である。

宅地の液状化判定に必要な地盤特性として、地盤強度としての N 値 (換算 N 値)、サンプリングした土試料 (少なくとも 1m 間隔が望ましい) の細粒分含有率 F_c 、粘土分含有率又は塑性指数 I_p 、地下水位及び地盤内各層の単位体積重量の情報が必要である。

参考文献

- 1) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針，pp.85-86，2008.
- 2) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，pp.156-163，1988.
- 3) 日本建築学会・住まい・まちづくり支援建築会議の復旧・復興支援 WG：<http://news-sv.aij.or.jp/shien/s2/ekijouka/health/index.html>，2011.
- 4) 内閣府防災対策制度，災害に係る住家の被害認定：<http://www.bousai.go.jp/taisaku/unyoku.html>，2013.
- 5) 日本損害保険協会：地震保険における地盤の液状化による建物損害の調査方法について，http://www.sonpo.or.jp/news/release/2011/1106_04.html，2011.
- 6) 国土交通省都市局市街地整備課：液状化対策推進事業について：<http://www.mlit.go.jp/common/000184390.pdf>，2011.
- 7) 国土交通省関東地方整備局・地盤工学会：東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明報告書，http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000043569.pdf，2011.

- 8) 地盤工学会・浅層盤状改良による宅地の液状化対策研究委員会：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) 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：液状化から戸建て住宅を守るための手引き，2013.
- 10) 金哲鎬・藤井衛・品川恭一・伊集院博・高田徹・松下克也・小川正宏：東北地方太平洋沖地震の液状化地域における戸建住宅の基礎の被害，地盤工学ジャーナル，Vol.7，No.1，pp.195-205，2012.
- 11) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，pp.61～72，2001.
- 12) 佐々木勉・龍岡文夫・山田真一：液状化による砂地盤の沈下予測法について，第17回土質工学研究発表会，pp.1661-1668，1982.
- 13) 国生剛治・長崎清：密な砂地盤の液状化後の沈下特性，第19回土質工学研究発表会，pp.563-566，1984.
- 14) 永瀬英生・石原研而・田部元太：多方向不規則荷重を受ける砂の沈下特性，第21回土質工学研究発表会，pp.615-616，1986.
- 15) Ishihara, K. and Yoshimine, M. : Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes, Soils and Foundations, Vol.32, pp.173-188, 1992.
- 16) Tukamoto, T., Ishihara, K. and Sawada, S. : Settlement of silty sand deposits following liquefaction during earthquakes, Soils and Foundations, Vol.44, No.5, pp.135-148, 2004.
- 17) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針，pp.88-92，2008.
- 18) 岩崎敏男・龍岡文夫・常田賢一・安田進：地震時地盤液状化程度の予測について，土と基礎，Vol.28，No.4，1980.
- 19) 国土交通省都市局：宅地の液状化被害可能性に係る技術指針(案)，http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi06_hh_000008.html，2013.