

第7章 低コスト・高精度な宅地の液状化被害予測手法の開発

7.1 概要

本章では、まず、第3章の動的コーン貫入試験（SRS、MRS）と第4章のスウェーデン式サウンディング試験（SWS）によって測定した地盤強度（換算 N 値）と簡易サンプラーによる土試料採取による土質判定（細粒分含有率 F_c ）を用いて、液状化判定した結果の比較を示す。

次に、その液状化判定結果に基づいて、液状化被害の予測手法を示す。被害予測は地盤の沈下量を予測し、それから住宅の傾斜角を予測する手法を提案する。また、本研究による地盤調査手法の導入効果についても言及する。

最後に、「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」に基づく実施マニュアルを示す。

7.2 各試験による液状化判定結果

7.2.1 指針による液状化強度と液状化試験の比較

3.2 で述べたように、神栖市堀割、浦安市運動公園、守山市水保、香取市地点2では乱れの少ない砂質土試料をサンプリングし、液状化試験（繰返し非排水三軸試験）を行った。その結果の R_{L20} ($DA=5\%$ 、 $N_c=20$) と標準貫入試験（SPT）による N 値と SPT 試料の物理試験結果（細粒分含有率 F_c 、塑性指数 I_p など）を用いて、2.3.2 に示した建築基礎構造設計指針¹⁾の方法で算定される液状化抵抗比 R の比較を図-7.2.1 に示す。同図には土木構造物で通常使われる道路橋示方書²⁾による方法で求めた R も示した。

図-7.2.1 から、4 地点ともに道路橋示方書よりも建築基礎構造設計指針の方が R は小さく算定されるが、これは一般的傾向である。浦安市運動公園以外の R は繰返し三軸試験の R_{L20} と比較的好く一致していることがわかる（運動公園の R_{L20} はやや過大に得られていると考えられる）。このことから、SPT の N 値と F_c 値に対して同程度の結果が SRS、MRS、SWS で得られれば、それらによる液状化判定が十分可能といえる。

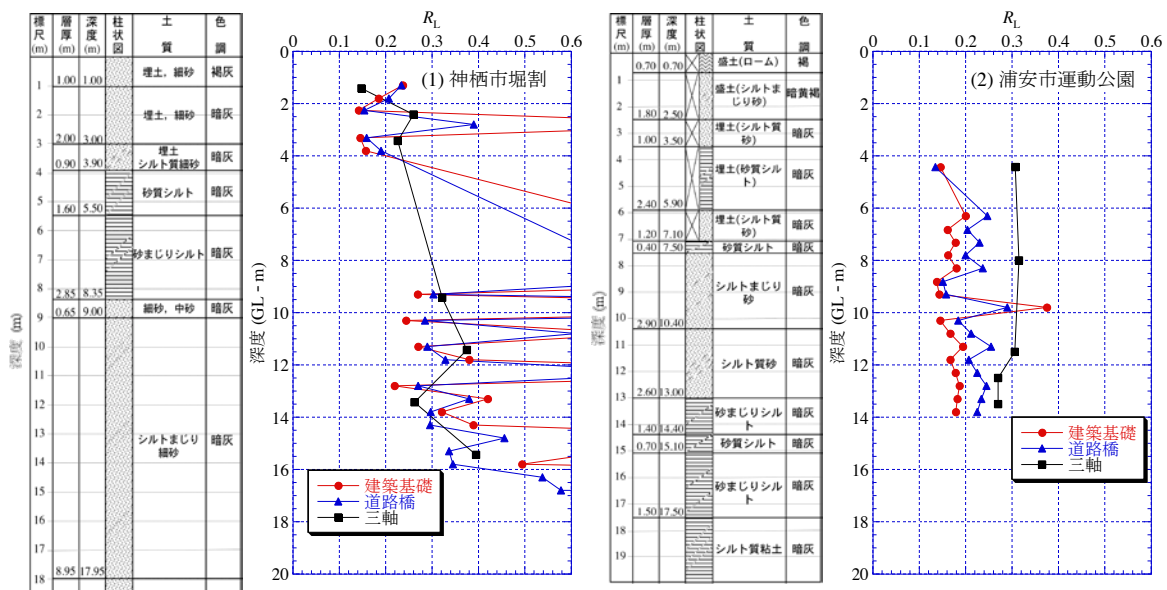


図-7.2.1 指針による液状化強度と液状化試験の比較（つづく）

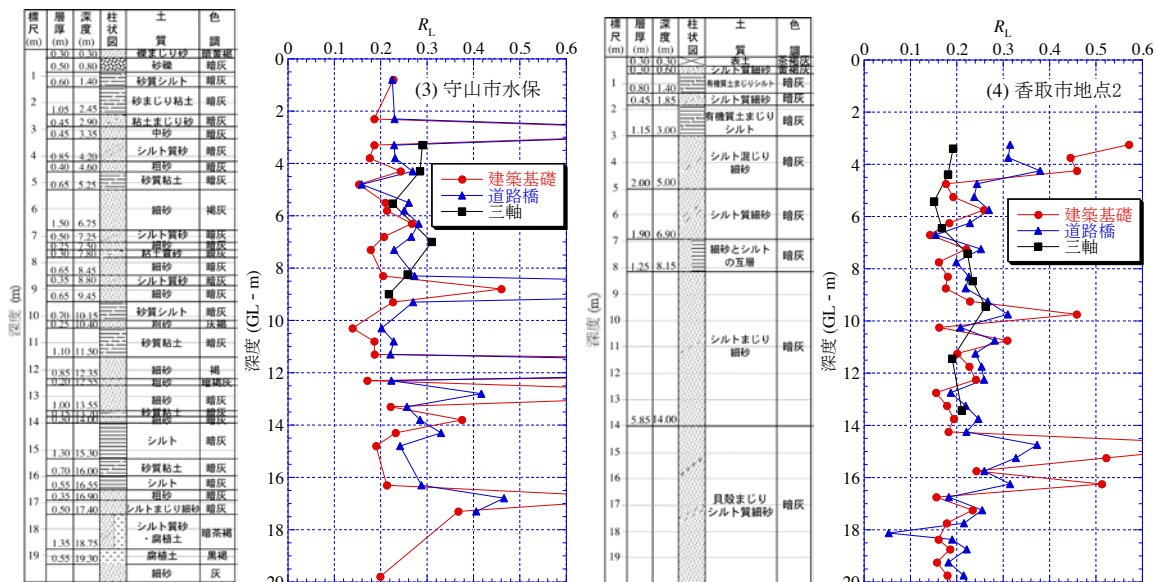


図-7.2.1 指針による液状化強度と液状化試験の比較 (つづき)

7.2.2 液状化判定手法

SRS、MRS、SWS は以下のようにして換算 N 値を求めた。

- ・ SRS : 自重低減機を対象とし、砂質土地盤では N_d 値 = N 値 (3.5.1 参照)
- ・ MRS : 式(3.3.2)による新補正による N_d' 値 = N 値 (3.5.3 参照)
- ・ SWS : 稲田式(4.4.1)、(4.4.2)から換算 N 値 (4.5.1 参照、ばらつきはあるものの採用)

次に、上記試験と組み合わせて実施した簡易サンプラー(SP)による土質判定結果(3.3.5、4.2.2)による細粒分含有率 F_c を用いて、深度 10m までの液状化判定を建築基礎構造設計指針¹⁾(詳細は 2.3.2 参照)に基づき、以下の2通りの条件で F_L 、 P_L を求めた。なお、土質判定に応じて各層の単位体積重量を推定し、土被り圧、有効土被り圧を算定している。

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

また、各調査地点の地下水位は、各試験でも測定されているが、それによるばらつきを排除し、統一的な比較を行うため、ボーリング調査における孔内水位(香取地点1はH社がSWS孔で測定した値)を用いた。

7.2.3 液状化判定結果

(1) 守山市今浜・水保

守山市今浜・水保での地盤調査一斉試験における各種サウンディングで求めた液状化指標 P_L 値を表-7.2.1にまとめた³⁾。液状化判定は建築基礎構造設計指針¹⁾と道路橋示方書²⁾を用い、ここでは原則として深度 20m までを対象としている。SPT と RI-CPT による結果はよく一致している。SRS (1m 毎に 20m まで試料を採取) による結果も SPT にほぼ一致している。MRS では簡易サンプラーによる採取深度が浅い(9m まで 6 深度の試料を採取)ので、 P_L 値を小さくなっている。PDC では深度 20m まで連続して F_c を推定して P_L 値は求めているが、350gal では SPT による値よりも小さい目に得られている。 μ PDC では深度 10m までを対象としているので、 P_L 値は小さい。一方、SWS では試料採取としていないので、土質柱状図記載の土質名に対して機械的に単位体積重量及び細粒分含有率 F_c を与えて求めているが、水保の P_L 値は過小に得られている。

表-7.2.1 守山市今浜・水保での液状化判定の比較²⁾

試験	建築基礎構造設計指針				道路橋示方書				備考
	今浜		水保		今浜		水保		
	200 gal	350 gal	200 gal	350 gal	$k_{hg}=0.20$	$k_{hg}=0.35$	$k_{hg}=0.20$	$k_{hg}=0.35$	
SPT	2.8	8.7	5.3	26.7	3.7	9.2	13.9	35.5	0.5m 毎に試料を採取、20m まで
RI-CPT	-	9.9	-	30.6	-	11.0	-	35.4	土質分類指標による、20m まで
SRS	-	-	9.3	24.6	-	-	-	-	1m 毎に試料を採取、20m まで
MRS	-	-	7.2	17.1	-	-	-	-	6 深度の試料を採取、9m まで
PDC	-	-	5.4	17.5	-	-	Type I 31.4	Type II 30.3	u/σ から F_c を推定、20m まで
μ PDC	-	-	1.8	10.0	-	-	Type I 27.6	Type II 26.2	u/σ から F_c を推定、10m まで
SWS	0.8	7.5	3.1	13.8	-	-	-	-	土質名から F_c を推定、20m まで

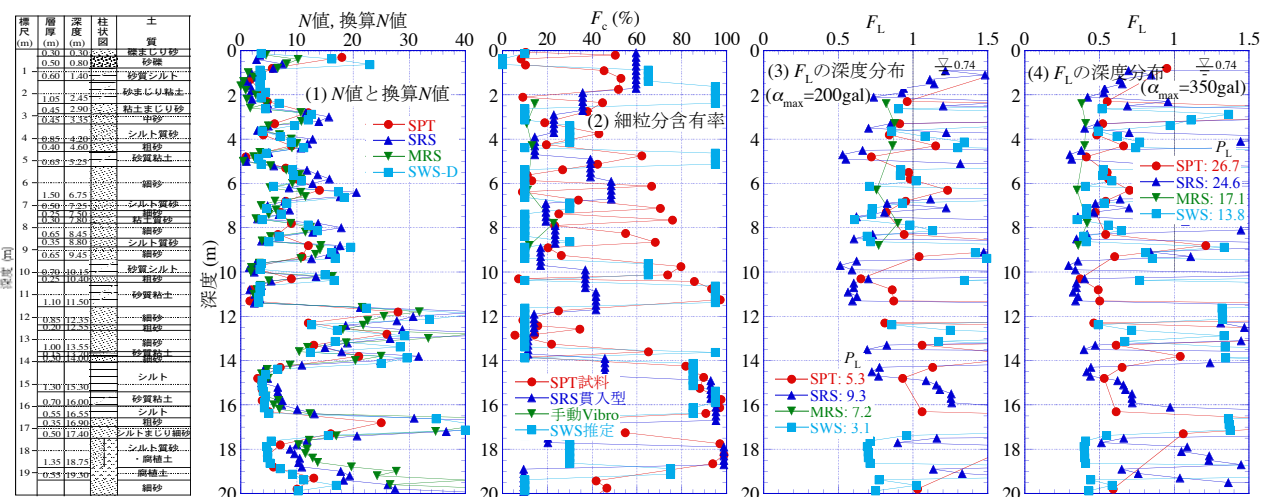


図-7.2.2 守山市水保における液状化判定結果

図-7.2.2 に守山市水保の SPT、SRS、MRS、SWS による液状化判定結果を示す。図(1)~(4)はそれぞれ換算 N 値、細粒分含有率 F_c 、 $\alpha_{max}=200gal$ 時の F_L 値、 $\alpha_{max}=350gal$ 時の F_L 値の深度分布を示す。

図(1)の各換算 N 値は N 値にほぼ一致している。図(2)の SRS 貫入型と SWS 推定は求めた F_c 値をそれぞれ 0.2m、0.25m 間隔で連続的に得られたものとして示している (F_L 値も同様)。各 F_c 値は必ずしも SPT 試料による値と整合はしていないが、砂質土と粘性土の区別はできている。図(3)より、当地は $\alpha_{max}=200gal$ では P_L 値は小さいが、SRS の F_L 値がやや大きく、SWS がやや小さい。なお、先に述べたように MRS は 9m までの判定なので P_L 値は小さい。図(4)より、各試験の F_L 値の深度分布形は SPT に概ね整合している。やはり MRS と SWS の P_L 値がやや小さい。

なお、各試験による液状化判定の詳細は文献 3)~8)を参照されたい。

表-7.2.2 5地点の建築基礎構造設計指針に基づく P_L 値（対象深度 10m）

地点	α_{\max} (gal)	SRS (自重低減機)	MRS	SWS			SPT	地下水位 WL (m)
	簡易 SP			N 社 (Y)	S 社 (N)	H 社 (H, N)		
大阪市 鶴町	200	0.0	0.1	1.7	-	-	1.0	-1.62
	350	2.2	5.8	7.6	-	-	7.5	
	簡易 SP	SRS 従来型	手動 Vibro	(手動 Vibro)*	-	-	SPT_SP	孔内水位
浦安市港	200	9.8	7.8	6.0	1.5	2.5	7.9	-0.92
	350	27.0	28.1	19.1	19.5	17.8	24.6	
	簡易 SP	SRS 新型	手動 Vibro	SWS 開閉式	(手動 Vibro)*	(手動 Vibro)*	SPT_SP	孔内水位
唐津市原	200	1.7	-	1.1	-	-	2.4	-2.10
	350	17.6	-	8.3	-	-	16.6	
	簡易 SP	SRS 新型	-	SWS 開閉式	-	-	SPT_SP	孔内水位
香取市 地点 1	200	4.5	6.6	-	7.2	5.2	-	-1.00
	350	16.9	19.6	-	14.6	19.2	-	
	簡易 SP	SRS 新型	手動 Vibro	-	SWS 貫入式	自動 Vibro	-	SWS_H 社
香取市 地点 2	200	0.2	1.8	3.2	1.5	1.0	4.7	-1.30
	350	7.9	8.4	13.1	5.4	5.6	16.2	
	簡易 SP	SRS 新型	手動 Vibro	SWS 開閉式	SWS 貫入式	自動 Vibro	SPT_SP	孔内水位

※試料採取が未実施又は不十分だったので、手動 Vibro_SP の結果を用いて P_L 値を求めた。

(2) 鶴町、浦安市港、唐津市原、香取市地点 1・地点 2

大阪市鶴町、浦安市港、唐津市原、香取市地点 1、香取市地点 2 の 5 地点では、SRS、MRS、SWS 試験結果と、同時に簡易サンプラーによる土試料採取によって土質判定（粒度）を行っている（対象深度は 10m）。ここではそれらを組み合わせて行った液状化判定 (F_L 、 P_L) を標準貫入試験 (SPT) による判定と比較した。

表-7.2.2 に 5 地点の SRS、MRS、SWS 及び SPT による液状化判定による P_L 値をまとめた。SPT の P_L 値と比較すると、各試験ともに比較的良好に整合していることがわかる。

図-7.2.3~7.2.7 にそれぞれ大阪市鶴町、浦安市港、唐津市原、香取市地点 1、香取市地点 2 における液状化判定結果を示す。各図(1)~(4)はそれぞれ換算 N 値、細粒分含有率 F_c 、 $\alpha_{\max}=200\text{gal}$ 時の F_L 値、 $\alpha_{\max}=350\text{gal}$ 時の F_L 値の深度分布を示す。

図-7.2.3 の大阪市鶴町では、図(1)の各換算 N 値は N 値にほぼ一致している。図(2)の SRS 従来型は 6m 以深で 3 点、手動 Vibro は 7m 以深で 2 点しか採取されていない。その F_c は SRS 従来型の方が SPT 試料に近く、手動 Vibro はやや大きめである。なお、深度 6.2~8.2m は SPT 試料で塑性指数 $I_p \leq 15$ となったため、その結果を簡易 SP 試料にも適用している。図(3)より、当地は $\alpha_{\max}=200\text{gal}$ では P_L 値はごく小さく、各試験の F_L 値の差は小さい。なお、SWS-N は手動 Vibro による F_c を用いて F_L 値を算定している。図(4)より、各試験の F_L 値の深度分布及び P_L 値は SPT に概ね一致している。SRS の P_L 値がやや小さいのは従来型 SP が 2 点のみの採取であるためである。

図-7.2.4 の浦安市港では、図(1)の各換算 N 値は N 値にほぼ一致している。図(2)の SRS 新型と手動 Vibro（深度 2~6m は抜け）の F_c は SPT 試料にほぼ一致しているが、SWS 開閉式はややずれている。なお、深度 1~5m は SPT 試料で塑性指数 $I_p \leq 15$ となったため、その結果を簡易 SP 試料にも適用している。図(3)、(4)より、各試験の F_L 値の深度分布及び P_L 値は SPT に概ね一致している（SWS-N は併用した SWS 開閉式が深度 7m までであったので、 P_L 値はやや小さい）。

図-7.2.5 の唐津市原では、図(1)の各換算 N 値は N 値にほぼ一致している、図(2)の SRS 新型の

F_c は SPT 試料にほぼ一致しているが、SWS 開閉式の F_c は全体に大きく得られている。図(3)、(4)より、各試験の F_L 値の深度分布及び P_L 値は SPT に概ね一致している (SWS-N の P_L 値がやや小さいのは、やはり SWS 開閉式が深度 7m までであったためである)。

図-7.2.6 の香取地点 1 では SPT を実施していないが、図(1)の各換算 N 値はほぼ一致している。図(2)の各 F_c はかなりばらつき、深度 7m では F_c に 40%の開きがある。ただし、図(3)、(4)より、結果的に各試験の F_L 値の深度分布及び P_L 値は比較的近い値が得られている (換算 N 値と F_c のずれが相殺したようである)。

図-7.2.7 の香取地点 2 は広い範囲で調査を行ったせいもあり、試験位置による地盤の不均一性の影響があったようで、図(1)の各換算 N 値はかなりばらついていてる。図(2)の各 F_c は概ねの SPT 試料の変化傾向を捉えているが、3m 以深ではやや大きめの値が得られている。図(3)、(4)の各試験の F_L 値の深度分布及び P_L 値は SPT より小さめに得られている。これはこの地点の調査が比較的広い範囲で行なわれたため、試験位置による地盤の不均一性の影響があったと考えられる。

以上から、SRS、MRS、SWS による換算 N 値と簡易サンプラー試料による F_c を併用すれば、液状化判定は十分可能と考えられる。ただし、簡易サンプラーの機構にはまだ改良の余地があり、深度 10m まで少なくとも 1m 間隔で採取することが必要である。

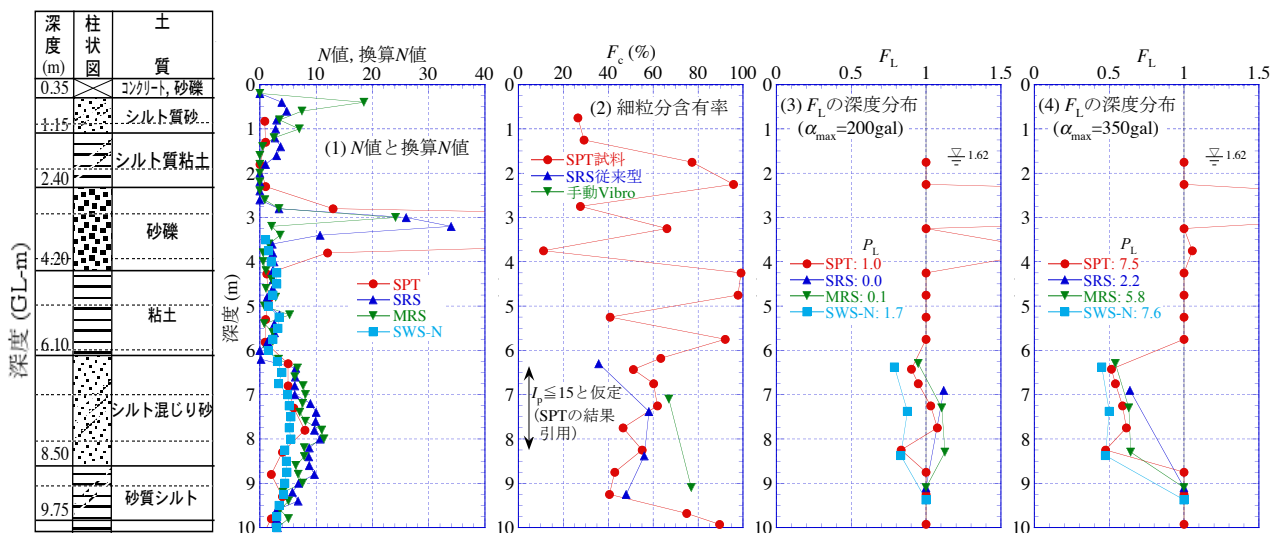


図-7.2.3 大阪市鶴町における液状化判定結果

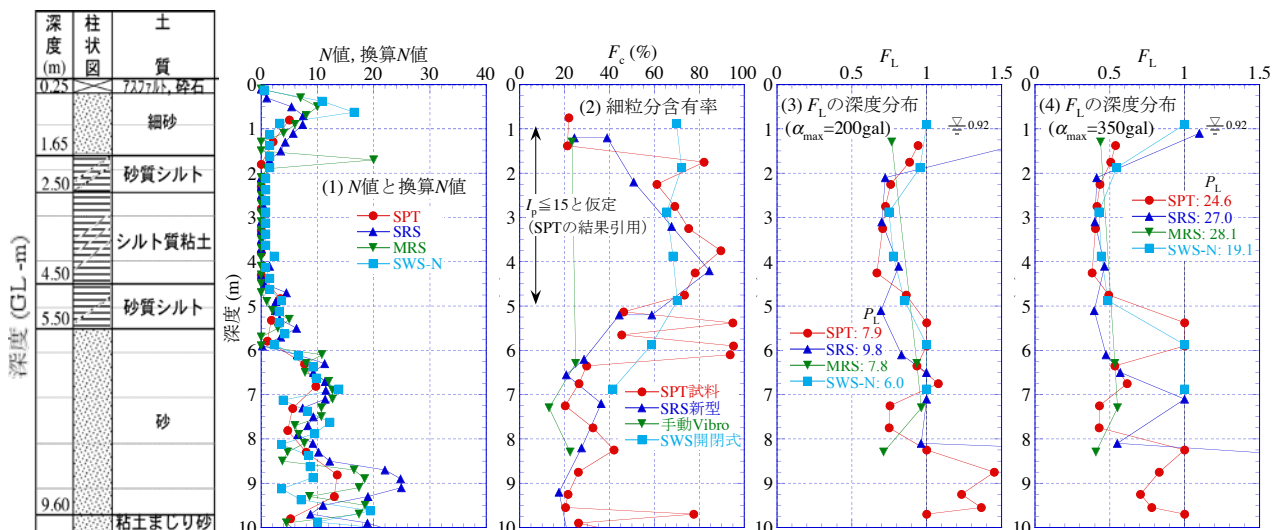


図-7.2.4 浦安市港における液状化判定結果

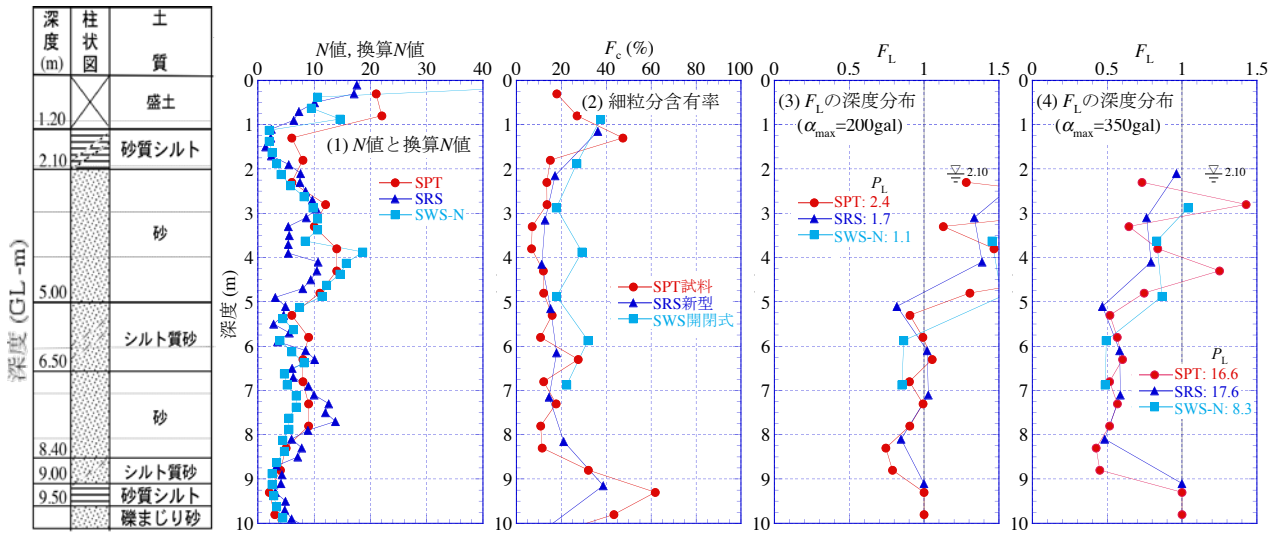


図-7.2.5 唐津市原における液状化判定結果

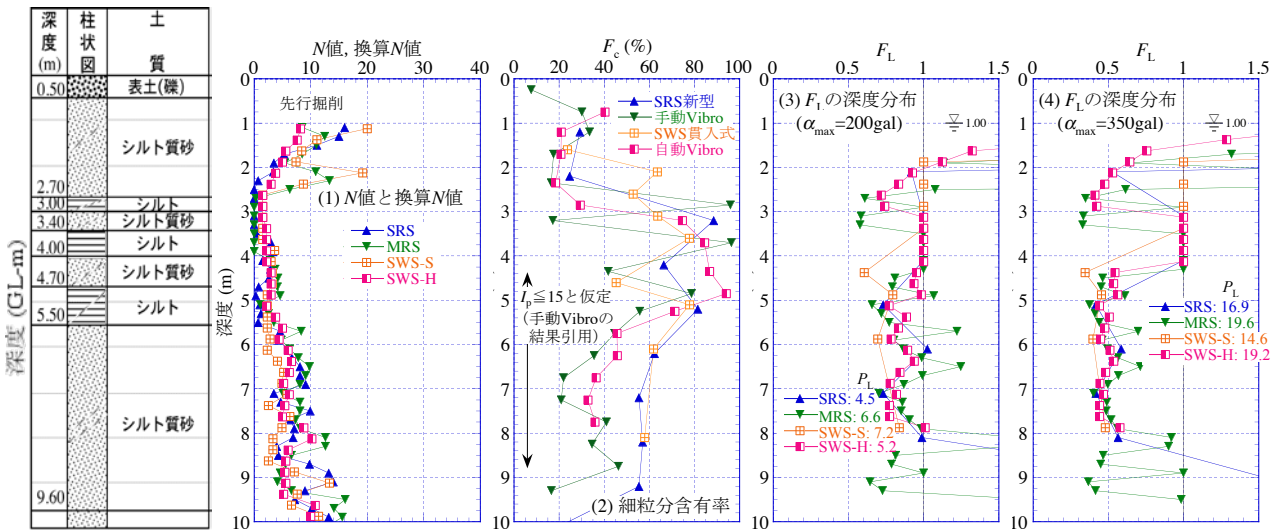


図-7.2.6 香取市地点1における液状化判定結果

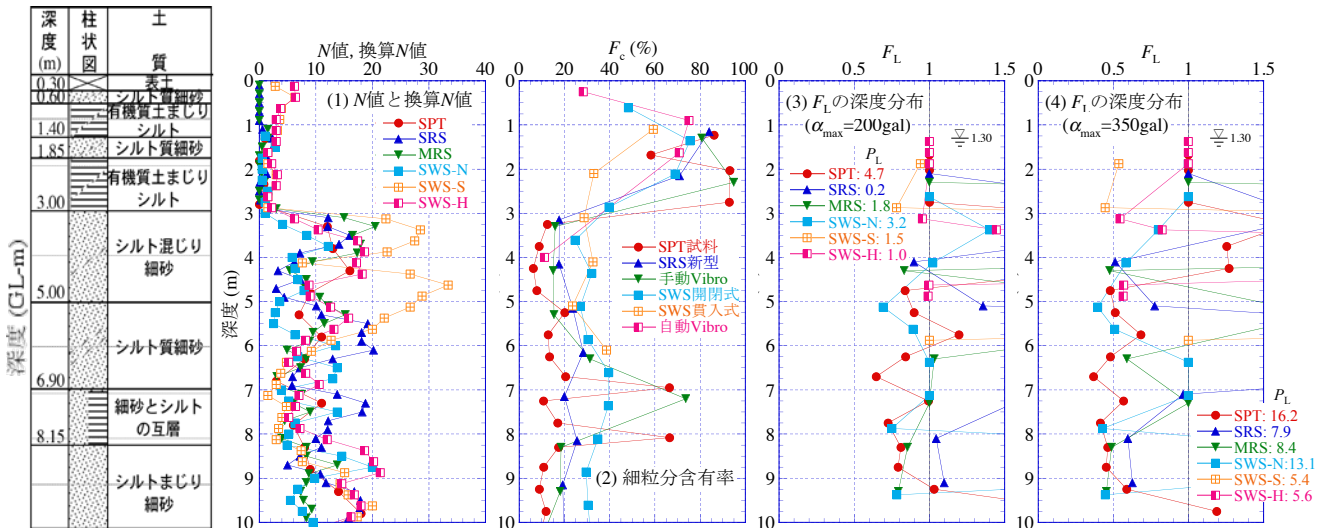


図-7.2.7 香取市地点2における液状化判定結果

7.3 宅地の液状化被害予測手法

7.3.1 宅地の液状化判定手法

本研究で開発する低コスト・高精度なスウェーデン式サウンディング試験（SWS）と大型・中型動的コーン貫入試験（SRS・MRS）から、それぞれ0.25m、0.2mピッチで地盤強度を表す指標として換算 N 値が連続的に得られる。また、簡易サンプラーによる土試料採取から細粒分含有率 F_c と単位体積重量 γ （土質名から推定）が得られ、同時に地下水位も測定される。両試験の使い分けは、SWS 試験の簡便さ・迅速性、SRS・MRS 試験の貫入能力の高さを考慮し、敷地状態や地盤性状に応じて行うことになるが、一般的な宅地の地盤調査の延長線上で液状化判定も行うことを想定すれば、宅地の4隅で通常の SWS 試験を行い、敷地中央で液状化判定のための本研究による調査を行うことが現実的と考えられる。

2.2.3 で述べたように、東日本大震災での宅地の液状化被害の大きさから、液状化判定は建築学会の小規模建築物基礎設計指針による深度 5m を対象とする簡易判定手法⁹⁾ (2.3.1 参照) では不十分と考えられる。今後は、宅地でも液状化検討深度は 10m までとし、細粒分含有率 F_c が高い土層の液状化検討も必要である。したがって、液状化判定は建築学会による建築基礎構造設計指針¹⁾ による FL 法を用い、液状化危険度は深度方向の F_L 値の分布を評価する液状化指標 P_L 値又は地表変位 D_{cy} 値、及び非液状化層厚 H_1 値で判断し、被害予測につなげる（各指標の詳細は 2.3 を参照）。なお、 H_1 値は地下水位より上の層厚と $F_L > 1$ となる層厚の合計として求める。

本研究に基づく液状化判定手法のフローを図-7.3.1 に示す。

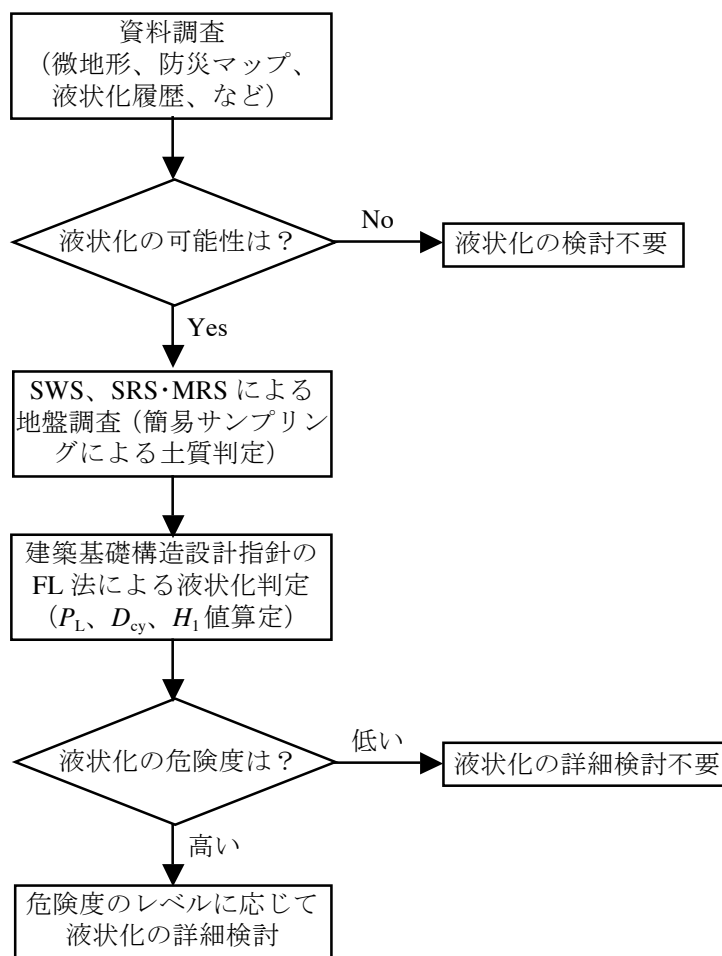


図-7.3.1 本研究に基づく液状化判定手法のフロー

7.3.2 宅地の液状化被害予測手法

本研究では、液状化被害の予測として、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)」¹⁰⁾の方法(2.3.3(3)参照)を採用した。その結果を基に、液状化による地盤沈下量、それから推定される住宅の傾斜角を予測する手法を提案する。

まず、先の液状化判定によって得られた P_L 値又は D_{cy} 値と H_1 値から、国土交通省都市局による指針を基に液状化被害の概略を予測する。この指針による判定は図-7.3.2 のようにまとめられ、 P_L 値又は D_{cy} 値と H_1 値によって A、B、C の 3 ランクの液状化被害の可能性を判定することができる。ただし、この指針は震度 5 程度の中地震 ($\alpha_{max}=200\text{gal}$ 、 $M=7.5$) を対象としているので、大地震 ($\alpha_{max}=350\text{gal}$ 、 $M=7.5$) の場合には、B ランクの範囲まで被害が高いと見なすことが想定される。

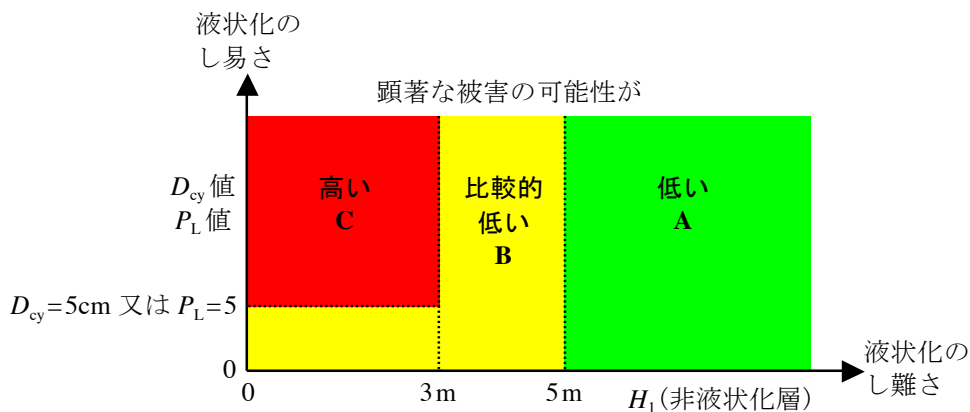


図-7.3.2 P_L 値又は D_{cy} 値と H_1 値による液状化被害の可能性判定図

ここで、 P_L 値と D_{cy} 値による液状化被害の程度は、それぞれ表-2.3.1、表-2.3.2 に示したが、表-2.3.1 の P_L 値は元々道路橋示方書によって算定された F_L 値に基づくものであることに注意しなければならない。一般に道路橋示方書に比べて建築基礎設計指針による F_L 値、 P_L 値は小さめに得られる。一方で、大阪府土木部による液状化判定法¹¹⁾では、兵庫県南部地震における液状化噴砂分布データなどを基にして表-7.3.1 に示す P_L 値と液状化程度の関係が提案されている。

そこで、本研究では P_L 値に関しては大阪府土木部によるものを採用し、表-2.3.2 の D_{cy} 値と組み合わせて、両者による液状化被害の程度を表-7.3.2 のようにまとめた。さらに、 D_{cy} 値を地表面沈下量 S と見なせば、2.2.3 に示した東日本大震災での住宅の傾斜角と不同沈下量の関係を参考にし、不同沈下量は絶対沈下量よりも小さくなることを想定すれば、次式によって傾斜角 $\theta(\text{rad})$ を近似できると仮定した。その関係を表-7.3.2 に示す。

$$\theta = 0.1S \quad (7.3.1)$$

表-7.3.1 大阪府土木部による P_L 値と液状化の程度の関係¹¹⁾

P_L 値	液状化の程度
0～5	液状化はほとんどなし、被害なし
5～10	液状化の程度は小さい、構造物への影響はほとんどない
10～20	液状化は中程度、構造物によっては影響の出る可能性がある
20～35	激しい液状化、噴砂が多く、直接基礎の建物が傾く場合あり
35以上	非常に激しい液状化、大規模な噴砂と構造物の被害

表-7.3.2 P_L 値、 D_{cy} 値と液状化の程度及び傾斜角の関係

P_L 値	D_{cy} (cm)	液状化の程度	傾斜角(rad)
0	0	なし	0
0~5	0~5	軽微	0~5/1000
5~10	5~10	小	5~10/1000
10~20	10~20	中	10~20/1000
20~35	20~40	大	20~40/1000
35~	40~	甚大	40/1000~

表-7.3.2 より、 P_L 値又は D_{cy} 値から住宅の傾斜角が予測できる。2.2.2 で示したように、傾斜角が 10/1000 を超えると健康障害が生じ、16.7/1000 を超えると液状化によって建物に有害な沈下・変形が生じて修復不能な大規模半壊以上の被害となる。したがって、中規模地震で傾斜角 10/1000 程度（地表面沈下量で 100mm）、大規模地震で傾斜角 16.7/1000 程度（地表面沈下量で 167mm）以上となる場合には、事前に液状化対策を取ることが肝要である。

なお、液状化による地盤の沈下量の推定は、第 5 章で提案した次式の数値計算に基づく回帰式も有効である。これらを用いて、式(7.3.1)から傾斜角も推定できる。

$$S = 0.178H_2^{0.9}A/N - 1.07 \times 10^{-4}H_1^{4.1} + 14.4 \quad (5.4.3)$$

ここに、 H_2 ：液状化層厚、 A ：加速度、 N ：液状化層の平均 N 値、 H_1 ：非液状化層厚である。

$$S = 0.294H_2^{0.6}A/N - 0.137H_1^2 - 20H_0^{0.3} + 35.5 \quad (5.4.4)$$

ここに、 H_0 ：地下水位以浅の非液状化層厚、 H_1 ：地下水位以深の非液状化層厚である。

式(5.4.4)のように、非液状化層厚 H_1 を地下水位以浅と以深に分けた方が回帰性はよいことがわかっているのので、この点は概略予測を含めて今後考慮すべき点と考えられる。

さらに、これらのルーチンを第 6 章で提案した宅地地盤情報データベースに取り入れれば、登録されている宅地の地盤情報から液状化判定・被害予測が可能となる。

7.3.3 導入効果

図-7.3.3 に本研究で対象とする地盤調査法の 1 宅地の調査費用を比較したものを示す（調査深度は 10m）。SPT（標準貫入試験と採取試料の粒度試験を含むボーリング調査）の費用は 1 箇所、SRS、MRS、SWS の費用は複数箇所実施することを想定したものである。SPT の調査費用はかなり高く、これを宅地調査に適用するのはやはりコスト的に無理がある。SRS、MRS、SWS は従来の調査費用に土質判定費用を上乗せしても SPT に比べればかなり安く、複数箇所実施してもなお 40%~60% のコスト縮減となる。また、調査に要する時間も SPT では数日要するが、SRS、MRS、SWS は 1 日で複数箇所実施できる。

さらに、本研究は戸建住宅の基礎地盤を対象としているが、開発する地盤調査法で高精度に地盤強度と土質判定が得られれば、逆に SPT の代替調査として、土木構造物や中規模以上の建築物の基礎地盤の液状化判定を含む地盤調査にも応用できると考えられる。

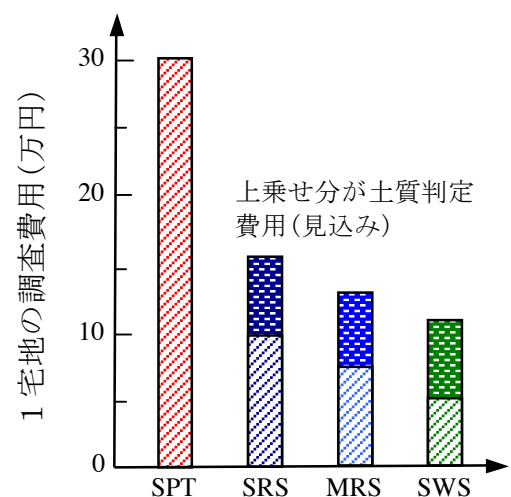


図-7.3.3 地盤調査法と調査費用

7.3.4 実施マニュアル

本研究で開発した「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」の実施マニュアルとして、以下に示す。

1) 事前調査

1-1) 現地での本調査を行う前に事前調査を行う。まず、資料調査として、対象敷地付近の地形図、地質図、地盤図、土地条件図などの各種既存資料を収集する。都市部のように土地改変が進んでいる地域では旧版地形図が役立つ。さらに、都市圏では既存の地盤調査データがデジタル化された地盤情報データベースを有効に使うことができる。特に液状化に関しては微地形区分、防災マップや液状化履歴図などが事前検討として参考になる。

1-2) 次に、現地踏査を行い、敷地近傍の地形、切土・盛土状況、周りの構造物や地盤の変状、地下水の状態などを観察し、チェックリストに記録する。経験豊富な技術者の現地踏査によって、地盤の概要がほとんど確定する場合も多い。

2) 本調査

2-1) 事前調査で液状化の可能性があると判定された場合には、敷地中央で液状化判定のための調査を行う（一般的な宅地の地盤調査としては敷地の4隅で通常のSWS試験を行う）。

2-2) 液状化判定のための地盤強度調査として、①～③のいずれかを実施して換算N値を求める。

①SRS試験：深度10mまでを対象として、0.2mピッチで打撃回数 N_{dm} 、トルク M_v を測定し、次式で補正打撃回数 N_d を求め、砂質土地盤では換算N値= N_d 値とする。

$$N_d = N_{dm} - 0.040M_v \quad (7.3.2)$$

②MRS試験：深度10mまでを対象として、0.2mピッチで打撃回数 N_{dm} 、トルク M_v を測定し、次式で補正打撃回数 N_d' を求め、砂質土地盤では換算N値= N_d' 値とする。

$$N_d = 0.5(N_{dm} - 0.139M_v) \quad (7.3.3)$$

（なお、式(7.3.2)、(7.3.3)の成立については付録A1を参照）

③SWS試験：深度10mまでを対象として、0.25mピッチで荷重 W_{sw} 、半回転数 N_{sw} を測定し、砂質土地盤では次式で換算N値を求める。

$$N = 2W_{sw} + 0.067N_{sw} \quad (7.3.4)$$

2-3) 液状化判定のための地下水位調査として、以下のいずれかの方法で地下水位を測定する。

①SRS・MRS試験：試験孔に通電型のロープ水位計を挿入して地下水位を測定する。

②SWS試験：試験孔に中空有孔管を挿入し、交流式比抵抗水位計で地下水位を測定する。

試験孔に測定棒を挿入し、そのぬれ具合から簡易的に地下水位を測定することもできる。

（なお、各測定方法については3.3.5、4.2.2を参照）

2-4) 液状化判定のための土質判定調査として、①～③のいずれかの方法で少なくとも1mピッチで土試料を採取し、細粒分含有率 F_c 値（JIS A 1204 土の粒度試験方法、又はJIS A 1223 土の細粒分含有率試験方法）を測定する。

①SRS試験：SRS用開閉式サンプラー（新型SPが望ましい）

②MRS試験：手動式バイブロサンプラー（連続サンプリングが可能）

③SWS試験：SWS用開閉式、貫入式サンプラー又は自動式バイブロサンプリング機

（なお、各測定方法については3.3.5、4.2.2を参照。また、手動式、自動式バイブロサンプラーは別孔で実施するので、試験の種類によらず、実施可能である。）

3) 調査結果に基づく液状化判定

3-1) 調査結果（換算 N 値、細粒分含有率 F_c 値）を用いて、建築基礎構造設計指針（詳細は 2.3.2 参照）に基づき、深度方向の F_L 値を求める。通常は中地震（ $\alpha_{\max}=200\text{gal}$ 、 $M=7.5$ ）を対象とする。

3-2) 地下水位と深度方向の F_L 値から、非液状化層厚 H_1 値を次式で求める。

$$H_1 \text{ 値} = \text{地下水位より上の層厚} + F_L > 1 \text{ となる層厚} \quad (7.3.5)$$

3-3) 液状化指標 P_L 値又は地表変位 D_{cy} 値を以下の方法で求める。

① 液状化指標 P_L 値：

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L) \cdot w(z) dz \quad (7.3.6)$$

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。

② 地表変位 D_{cy} 値：

図-7.3.4 から補正 N 値 (N_a)、繰返しせん断応力比 τ_q/σ'_z に対応する各層の繰返しせん断ひずみ γ_{cy} を求め、 γ_{cy} を鉛直方向に積分して（液状化層厚 H_2 を乗じる）地表変位 $D_{cy}(\text{cm})$ を求める。なお、 γ_{cy} を体積ひずみに読み替えば D_{cy} が地表面沈下量となる。

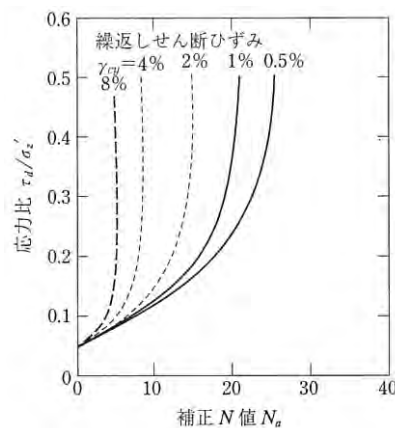


図-7.3.4 D_{cy} 値を求める元図

4) 液状化判定に基づく液状化被害予測

4-1) 液状化判定によって得られた P_L 値又は D_{cy} 値と H_1 値から、国土交通省都市局による指針による図-7.3.2 を基に A、B、C の 3 ランクの液状化被害の可能性を判定する。

4-2) C ランクの「顕著な被害の可能性が高い」と判定された場合には、表-7.3.2 より、 P_L 値又は D_{cy} 値から住宅の傾斜角を予測する。

4-3) 住宅の傾斜角が 10/1000 程度（地表面沈下量で 100mm）を超えると健康障害が生じ、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ので、事前に液状化対策を取る必要があると判断する。

7.4 まとめ

本章では、まず、第3章の動的コーン貫入試験（SRS、MRS）と第4章のスウェーデン式サウンディング試験（SWS）によって測定した地盤強度（換算 N 値）と簡易サンプラーによる土試料採取による土質判定（細粒分含有率 F_c ）を用いて、液状化判定した結果の比較を示した。その結果、SRS、MRS、SWS による換算 N 値と簡易サンプラー試料による F_c を併用すれば、液状化判定は十分可能と考えられた。ただし、簡易サンプラーの機構にはまだ改良の余地があり、深度 10m まで少なくとも 1m 間隔で採取することが必要である。

次に、その液状化判定結果に基づいて、液状化被害の予測手法を示した。被害予測は地盤の沈下量を予測し、それから住宅の傾斜角を予測する手法を提案した。また、本研究による地盤調査手法の導入効果についても言及した。

最後に、「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」に基づく実施マニュアルをまとめた。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，pp.61-65，2001.
- 2) 道路橋示方書・同解説，V 耐震設計編，pp.121-125，2002.
- 3) 大島昭彦：各種地盤調査法の一斉試験による比較，日本建築学会，小規模建築物の地盤調査法シンポジウム「宅地の液状化判定のための地盤調査法」，pp.7-16，2013.
- 4) 三村衛・後藤政昭・吉村貢・寺尾庸孝：滋賀県守山市における地盤調査一斉試験の比較(その2：RI-CPT)，第48回地盤工学研究発表会，No.87，pp.173-174，2013.
- 5) 奈須徹夫・武藤真幸・丸尾史郎・西田功・柴田芳彦・平田茂良・大島昭彦：滋賀県守山市における大型動的コーン貫入試験を用いた液状化予測調査，第48回地盤工学研究発表会，No.184，pp.367-368，2013.
- 6) 深井公・塩野敏昭・利藤房男・大島昭彦：滋賀県守山市における地盤調査一斉試験（その4：中型動的コーン貫入試験），第48回地盤工学研究発表会，No.89，pp.177-178，2013.
- 7) 山口恵美・利藤房男・澤田俊一・規矩大義：滋賀県守山市における地盤調査一斉試験（その5：PDC），第48回地盤工学研究発表会，No.90，pp.179-180，2013.
- 8) 市村仁志・平田茂良・山本明弘・深井公・金 哲鎬・西田 功・大島昭彦：滋賀県守山市における地盤調査一斉試験（その9：SWS），第48回地盤工学研究発表会，No.94，pp.187-188，2013.
- 9) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針，pp.88-92，2008.
- 10) 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.
- 11) 大阪府土木部：大阪府土木構造物耐震対策検討委員会報告書，1997.