

宅地の地盤調査法の高精度化と液状化判定手法の開発に関する研究

A study on improvement of precision of sounding tests for residential land and development of liquefaction judgement method

地盤工学分野 平田拓也

本研究では、まず動的コーン貫入試験（SRS、MRS、PDCPT）とスウェーデン式サウンディング（SWS）試験を対象に、ロッド周面摩擦と打撃エネルギーの補正方法に着目して、各種サウンディング試験結果を相互に比較して試験結果の高精度化を検討した。次に、別途実施した簡易サンプリング（SP）による粒度試験結果と組み合わせて液状化判定を行った。その結果、本研究で対象とした試験からも液状化判定が可能であることが示された。

This research shows improvement of precision of sounding tests (SRS, MRS, and SWS) by comparing outcome of each sounding tests. It is focused on accurate correction on the surface friction and the potential energy. Moreover, this research reviews the liquefaction judgement by using results both above tests and particle size distribution test from SP. Finally it was revealed that it is possible to detect the potential of liquefaction from each sounding test results on this research.

1. まえがき

2011年の東北地方太平洋沖地震では、千葉県浦安市を始めとして、東北・関東地方で多くの宅地が液状化被害を受けた。通常、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は、標準貫入試験（Standard Penetration Test、SPT）による N 値と採取試料の粒度から行われるが、宅地に対しては調査費用が高すぎる。一方、宅地の標準的な地盤調査法であるスウェーデン式サウンディング（Swedish Weight Sounding、SWS）試験の結果のみでは液状化判定はできない。したがって、これまで宅地に対して地盤調査結果に基づく液状化判定と対策は行われていないのが実情であった。しかし、今後想定される大地震に備え、宅地を対象とした低コスト・高精度な液状化判定技術を開発することは喫緊の課題となっている。

そこで本研究では、宅地の地盤調査法として、標準的試験であるSWS試験と最近利用が増えている大型動的コーン貫入試験（Swedish Ram Sounding、SRS）、中型動的コーン貫入試験（Mini Ram Sounding、MRS）を対象とした。まず、全6地点の現場でこれらの試験とSPTによる地盤調査を行い、それらの相互比較から得られる地盤強度を高精度化する。次に、これらの試験に組み合わせる簡易サンプリング（SP）装置を開発し、採取試料の粒度試験から土質判定ができるようにする。以上から、低コストのまま高精度な液状化判定手法を開発することが本研究の目的である。

2. 各種サウンディング試験の仕様と補正方法

2.1 各種サウンディング試験の仕様

表-1に本研究で対象とした各種サウンディング試験の仕様をまとめた。

SRSは、質量63.5kgのハンマーを高さ50cmから自由落下させ、ロッド先端のコーンが20cm貫入するのに要する打撃回数、 N_d 値を測定する。SPTと単位貫入量当たりのエネルギーが同じなので、 N_d 値 $\approx N$ 値とされている。また、単管のロッドの周面には常に地盤との摩擦力が作用するため、ロッドの回転トルクを測定して N_d 値を補正する方法が取られる。ただし、従来型のSRS-Y1は打撃装置自重（177.5kg）が過大であり、地盤評価に影響を及ぼすことが懸念される。そこで、打撃装置自重を77.5kgに低減したのが自重低減型SRS-Y2である（ただし、1打撃の追従ストロークは60mm）。さらにアンビル径を小さくし、1打撃の追従ストロークを200mmに改造したのが自重低減型SRS-Y3である。本研究では、土質ごとの N 値と従来型、自重低減型SRSの N_d 値の対応関係を検討した。

次に、コーン単位面積当たりの打撃エネルギーがSRSの1/2となるMRSでは、SRSと同様に周面摩擦補正を行い、エネルギーの補正を行うことでSRSと同等の N_d 値が得られるとされている。しかし、その補正方法には現在2種類あるので、その補正方法の妥当性をSRSとの比較から検証する。

さらに、SWSとSPTの対応関係も再検討する。

表-1 各種サウンディング試験の仕様

試験名	SRS-Y1	SRS-Y2	SRS-Y3	MRS	SPT	SWS
メーカー	YBM			OYO	JIS仕様	JGS仕様
ハンマーガイドロッド径 (mm)	101.6	48.6	20	40.5	-	-
ハンマー直径 D_h (mm)	246		160	180	-	-
アンビル直径 D_a (mm)	175	120	90	71	-	-
アンビル直径/ハンマー直径 D_a/D_h	0.71	0.49	0.22	-	-	-
打撃装置総質量 (kg)	177.5	77.5	62	63.5	-	-
ハンマー質量 m (kg)	63.5		30	63.5	100	-
落下高 H (mm)	500		350	750	-	-
コーン先端角 (°)	90		90	非閉塞 ^{#1}	閉塞 ^{#2}	S.P.
コーンマントル長 (mm)	90		69	外径51	外径51	200
コーン直径 D_c (mm)	45		36.6	内径35	-	33
コーン断面積 A ($\times 10^4$ m ²)	15.9		10.5	10.8	20.4	8.6
ロッド直径 D_r (mm)	32		28	40.5	19	-
コーン直径/ロッド直径 D_c/D_r	1.41		1.31	-	1.74	-
トルクによる周面摩擦補正係数 β	0.040		0.139	-	-	-
単位面積当たりのハンマー質量 m/A (kg/m ²)	3.99		2.85	5.88	3.11	11.69
単位面積当たりのエネルギー $E=mgH/A$ (kJ/m ²)	195.8		97.9	432.6	229.0	-
SRSに基づくエネルギー比	1.00		0.500	2.21	1.17	-
打撃回数測定貫入量 L (m)	0.20		0.20	0.30	0.30	-
単位貫入量当たりのエネルギー $E=mgH/AL$ (kJ/m ² /m)	979.2		489.5	1442.0	763.4	-
SRSに基づくエネルギー補正係数 α	1.00		0.500	1.47	0.780	-

2.2 測定トルクによる周面摩擦の補正方法

図-1 に動的コーン貫入試験の概要を示す。土とロッドの周面摩擦に費やされるエネルギー E_{skin} を式(1)で定義する。ここで f_s はロッドと土の周面摩擦応力 (N/m²)、 L は地中のロッド長さ (m)、 D_r はロッド直径、 P は N_d 値測定時の貫入量 (m) である。

$$E_{skin} = f_s (\pi D_r L) P \quad (1)$$

E_{skin} は測定トルク M_v (N・m) ($=f_s \cdot (\pi D_r L) \cdot D_r/2$) から求められる。この E_{skin} を 1 打撃当たりのエネルギー mgH で除すことで周面摩擦による打撃回数の補正值 N_{skin} が求められる。よって式(2)のように測定打撃回数 N_{dm} から N_{skin} を差し引くことで、補正打撃回数 N_d が求められる。

$$N_d = N_{dm} - N_{skin} = N_{dm} - \beta \cdot M_v \quad (2)$$

ここに、 β は周面摩擦補正係数である (表-1 参照)。

2.3 エネルギー補正方法

表-1 に示したように、各種動的コーン貫入試験では打撃エネルギー mgH 、コーン断面積 A 、打撃回数測定の貫入量 P がそれぞれ異なるが、式(3)に示す単位面積・単位貫入量あたりのエネルギー $mgH/A/P$ で換算すれば結果を相互に比較できると言われている。そこで、SRS 試験の $mgH/A/P$ を基準とすれば、各試験の N_d 値から式(3)でエネルギー補正した打撃回数 N_d' 値を求めることができる。

$$N_d' = \left(\frac{mgH}{AP} \right) \left(\frac{mgH}{AP} \right)_{SRS} \times N_d = \alpha \cdot N_d \quad (3)$$

ここに、 α は SRS を基準としたエネルギー補正係数である (表-1 参照)。式(2)、式(3)より、周面摩擦とエネルギー補正は式(4)にまとめられる¹⁾。

$$N_d' = \alpha (N_{dm} - \beta \cdot M_v) \quad (4)$$

以下では式(4)で補正した N_d' を用いて各試験の比較を行う。

3. 各種サウンディング試験の結果と比較

3.1 SRS と SPT の比較

本研究で現場調査を行ったのは、大阪市大正区鶴町、千葉県浦安市港、佐賀県唐津市岸山、唐津市原、千葉県香取地点 1、香取地点 2 の 6 地点である。なお、自重低減型の SRS-Y2 と Y3 は唐津市原で比較し、 N_d 値に違いがなかったため、両者は同じものとして扱った。

図-2 に代表例として鶴町、浦安市港、香取地点 2 における従来型 SRS-Y1、自重低減型 SRS-Y2, Y3 の N_d 値と SPT の N 値の深度分布を示す。SRS の N_d 値と SPT の N 値は砂層では比較的整合性が高く、粘土層では SRS の N_d 値の方が大きい (その傾向は特に自重低減型 SRS に強く表れている) ことがわかる。この理由は、SRS の先端は中実のコーンであるのに対し、SPT の先端が中空のサンプラーであることにある。この先端形状の違いにより、土質ごとに SPT の N 値の出方は変化すると考えられる。表-1 では、SPT について閉塞時 (SPT サンプラーの先端シューが閉塞せずに土が内部に入る状態)、非閉塞時 (SPT サンプラーの先端シューが完全に閉塞した状態) の 2 つの場合に分けた値を示した。貫入する土質によってサンプラーの閉塞状態はこの間で変化すると考えられる。すなわち、柔らかい粘土層では非閉塞状態で貫入するため (エネルギー補正係数 $\alpha=1.47$) N 値 $< N_d$ 値に、密な砂礫層では閉塞状態となり ($\alpha=0.78$)、貫入しにくく N 値 $> N_d$ 値に、砂質土では中間の状態となり ($\alpha \approx 1$)、 N 値 $\approx N_d$ 値になると考えられる。

そこで、図-3、4 に粘性土と砂質土に分けて N_d 値と N 値の相関を示す。粘性土では SRS の N_d 値は N 値の約 2.0~1.8 倍、砂質土ではほぼ一致する結果となった。以上より、砂質土では $N_d \approx N$ が成立するが、粘性土では N_d 値の方が大きくなるといえる。なお、粘性土については N_d 値と一軸圧縮強さ q_u との対応関係を見出しているが、紙面の都合でここでは省く。

次に、図-5 に従来型 SRS と自重低減型 SRS の N_d 値との対応関係を示す。図(2)の砂質土では、両者による違いは少ない (厳密には自重低減型の N_d 値の方が若干大きい) が、図(1)の粘性土では、自重低減による効果が大きく、従来型に比べて全体に 2~4 程度 N_d 値が大きくなる。

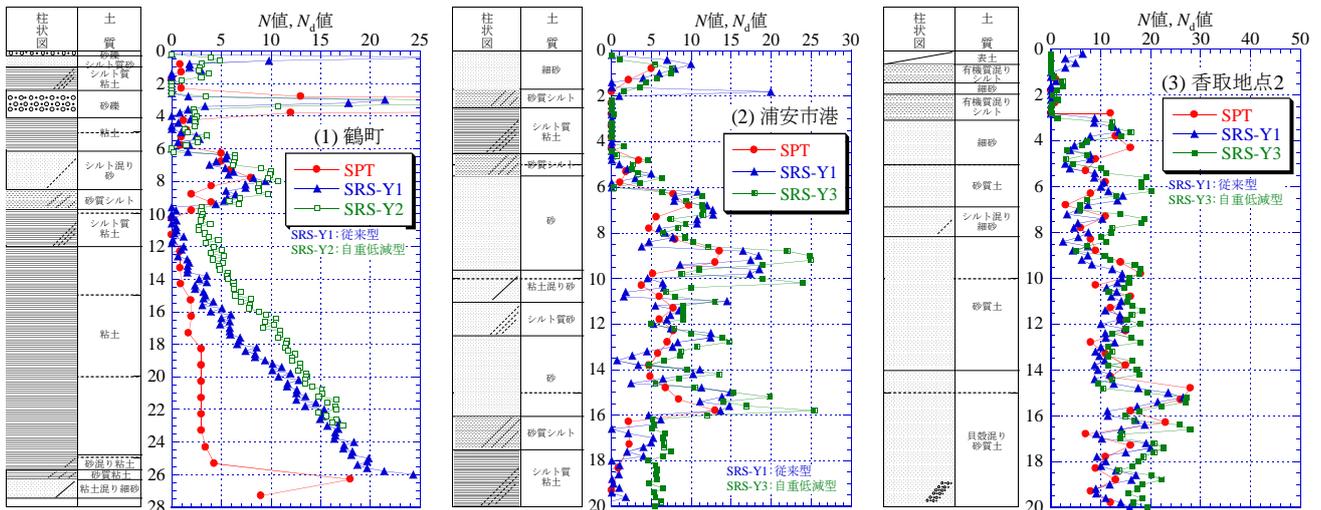


図-2 各地点での SRS の N_d 値と SPT の N 値の深度分布

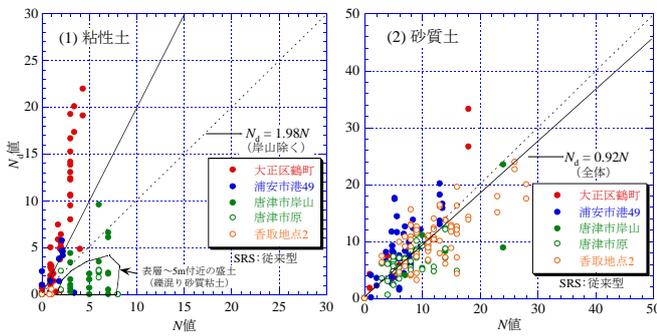


図-3 土質別の N 値と N_d 値の関係(従来型 SRS)

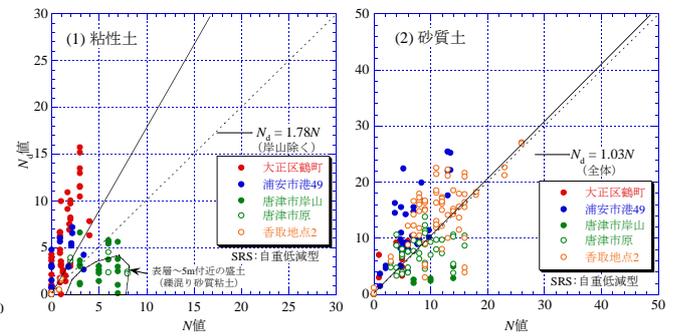


図-4 土質別の N 値と N_d 値の関係(自重低減型 SRS)

3.2 SRS と MRS の比較

表-1 で示したように MRS におけるエネルギー補正係数 α 、周面摩擦補正係数 β はそれぞれ 0.50、0.139 である。しかし、一般に MRS は菅原ら²⁾による式(5)の方法でエネルギーと周面摩擦の補正が行われる。

$$\text{従来補正: } N_d = N_{dm}/2 - 0.16M_v \quad (5)$$

ここに、トルク摩擦補正係数 $\beta=0.16$ は SRS の N_d 値と合うように、これまでの試験結果から経験的に求められた値である。さらに、先にエネルギー補正するのは順序が逆と考えられる。よって式(4)で示した補正式に $\alpha=0.50$ 、 $\beta=0.139$ を代入して得た式(6)のように、先に周面摩擦補正し、その後でエネルギー補正するのが正しいと考えられる。

$$\text{新補正: } N_d' = (N_{dm} - 0.138M_v)/2 \quad (6)$$

式(5)は周面摩擦補正量が式(6)の 2.3 倍になり、従来の補正方法は過大な周面摩擦補正をしていると考えられる。ここでは補正方法の違いによる影響を検討した。

図-6、7 に代表例として、鶴町、香取地点 2 での 2 つの補正方法による結果を示す。図-6 の鶴町では、MRS の新補正の N_d' 値は深度 10~20m の粘性土地盤で深度方向に漸増しており、自重低減型 SRS の N_d 値に整合している。また、深度 6~10m の砂層では局所的に N_d' 値は増加しており、その増加傾向も自重低減型

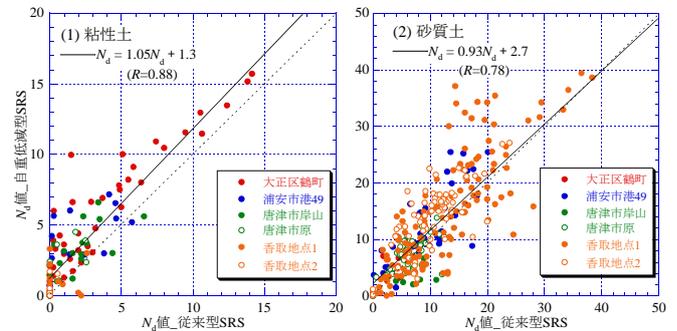


図-5 従来型 SRS と自重低減型 SRS の N_d 値の関係

SRS の N_d 値に対してよく整合する結果となった。図-7 の香取地点 2 では、深度 14m までは MRS 新補正の N_d' 値が SRS 自重低減機の N_d 値よく整合しているが、深度 14m 以深では N_d' 値がやや過大となる。

図-8、9 に全地点の MRS の N_d' 値と従来型 SRS の N_d 値、自重低減型 SRS の N_d 値との対応関係を示す。自重低減型 SRS については昨年度実施した滋賀県守山市のデータも加えている。図-8 の従来型 SRS との比較では、従来補正の MRS の方がよく一致しており、先に述べた菅原らによる SRS に合うように決めた補正方法の有効性が確認できる。一方、図-9 の自重低減型 SRS との比較では、新補正の MRS の方がよく一致している。今後、自重低減型が標準装置となることを考えると、新補正の方が妥当であると考えられる。

3.3 SWS と SPT の比較

図-10 に、代表例として鶴町、浦安市港、香取地点2 で実施した SPT の N 値と SWS 試験結果を稲田式³⁾ (式は図-11 内参照) を用いて換算した N 値の深度分布の比較を示す。

図(1)の鶴町では、SWS の換算 N 値は深度 4~10m の粘土層と砂層の互層になっているところで SPT の N 値と概ね一致しているが、深度 10m 以深の粘土層では推定 N 値の方が大きい。図(2)の浦安市港では、換算 N 値は

N 値と概ね一致しているが、深度 6~10m 付近にかけて SPT の N 値が換算 N 値に比べて過小に得られている。この原因は SPT 実施時のハンマー打撃の不具合によって N 値が過小となったためと考えている。図(3)の香取地点2 では、SWS の推定 N 値が SPT の N 値と比べてややばらつきが目立つが、概ね深度方向に同様の変化を捉えていることがわかる。

図-11 に全 5 地点 (鶴町、浦安市港、唐津市岸山、唐津市原、香取地点2) での W_{sw} 、 N_{sw} と N 値の関係を

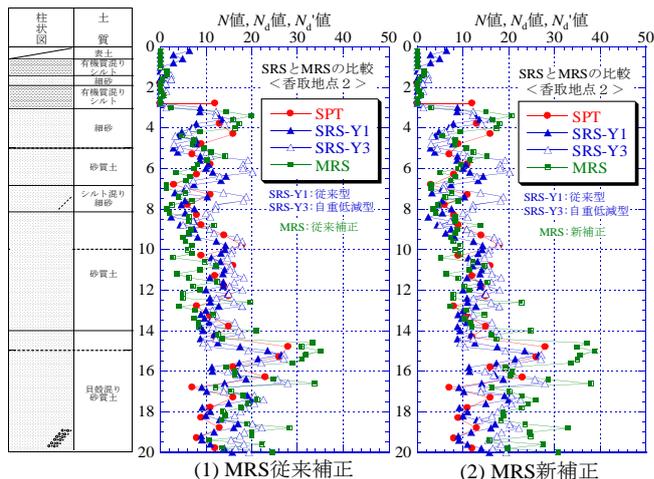
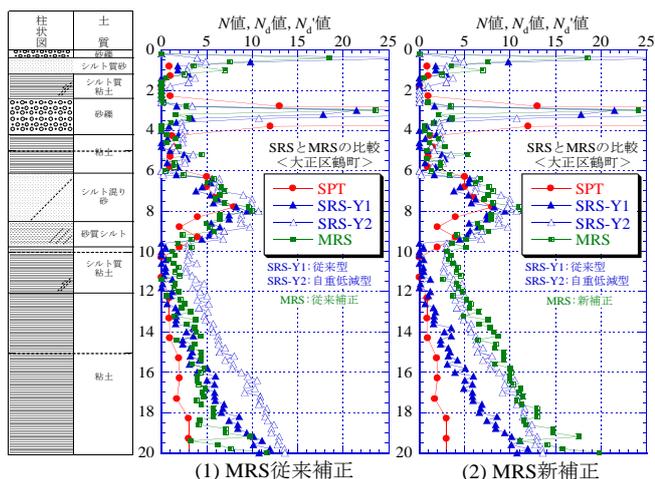


図-6 鶴町の SRS の N_d 値と MRS の N'_d 値の深度分布

図-7 香取2の SRS の N_d 値と MRS の N'_d 値の深度分布

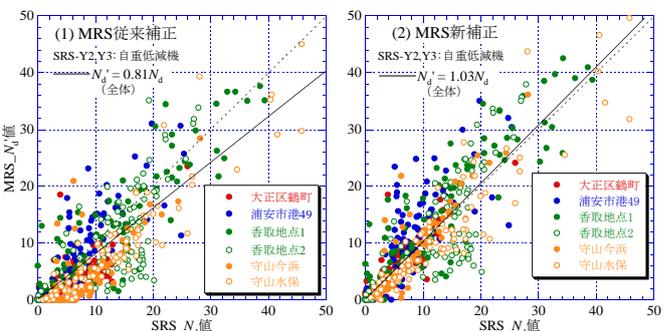
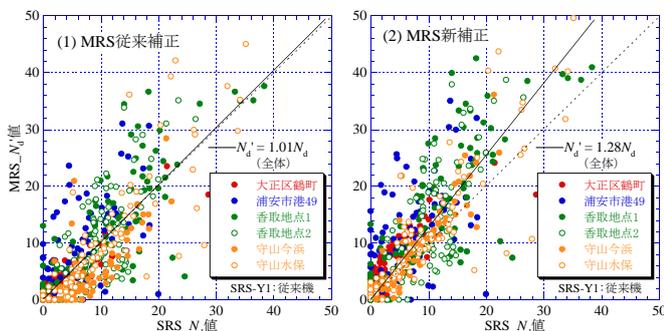


図-8 従来型 SRS の N_d 値と MRS の N'_d 値の関係

図-9 自重低減型 SRS の N_d 値と MRS の N'_d 値の関係

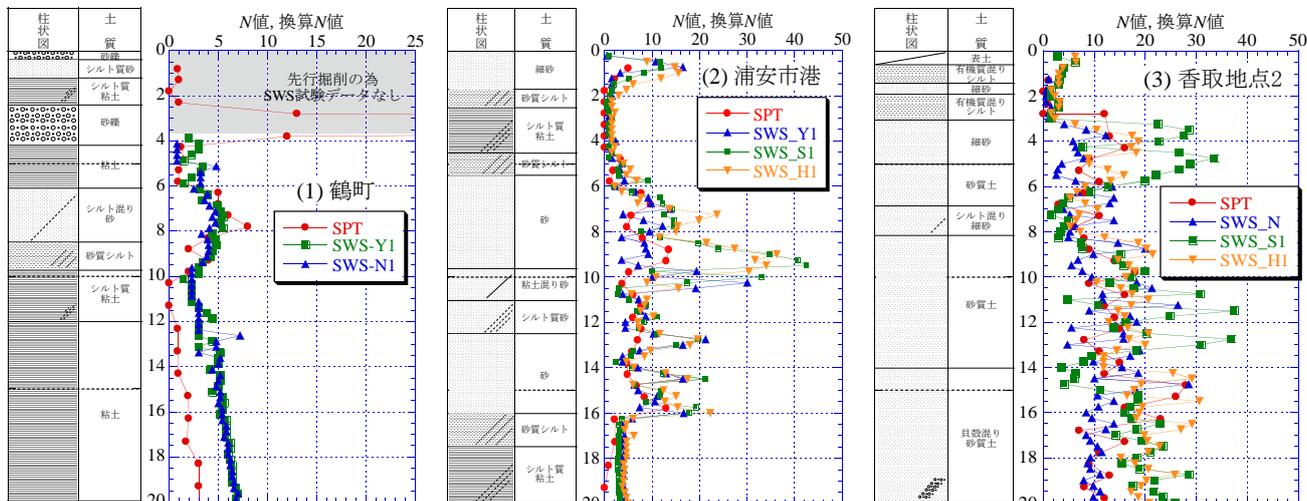


図-10 各地点での SWS の換算 N 値と SPT の N 値の深度分布

示す。 N_{sw} 、 W_{sw} と N 値の関係は粘性土、砂質土ともに大きくばらついている。ただし、唐津市岸山は盛土層であり、地盤のばらつきが影響していることが考えられる。青線で囲った唐津市岸山の粘性土のデータを除くと、粘性土では稲田式による回帰線がデータの上限値を示していると見ることができる。一方、砂質土については、浦安市港の赤線で囲ったデータは深度6m～10m付近のものであり、先に述べた理由で N 値が過小となった箇所である。それがSPTによる N 値に従来とは異なる影響を与えていると考えられる。この赤線で囲ったデータを除いた場合、砂質土では稲田式による回帰線がデータの間限值を示していると見ることができる。

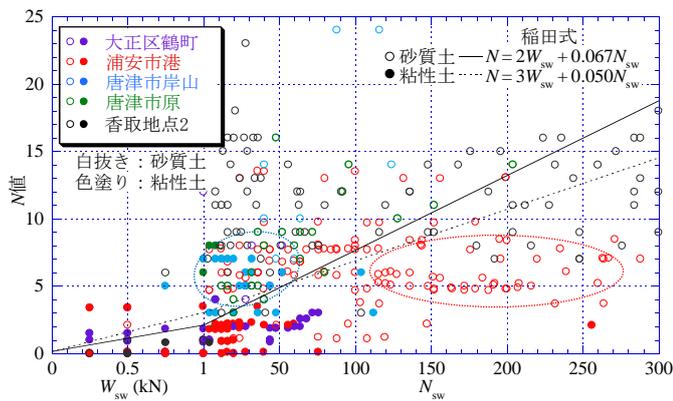


図-11 全5地点のSWSによる W_{sw} 、 N_{sw} と N 値の関係

4. 簡易サンプリングによる土質判定

液状化判定のためには、土質判定（特に細粒分含有率 F_c ）が必要である。本研究ではSRS、MRS、SWS試と組み合わせるための簡易サンプリング（SP）装置を用いて土試料を採取し、その粒度（ F_c ）をSPT試料による結果と比較した。写真-1に当地で実施したSRS新型開閉式SP、手動VibroSP、SWS開閉式SPを示す。

SRS新型開閉式SPは、SRSの試験孔を利用して、任意の深度で部分サンプリングを行うことができる。このSP装置は、サンプラー内に内管を入れて閉塞状態で貫入し、所定の深度で内管を引き上げてサンプラーを回転させ、土試料を採取する。

VibroSPは、MRSと合わせて別孔で実施され、土試料を連続サンプリングできること、資機材が少なく済むことが利点とされている。また、所定の深度まで降ろす際、サンプラーを塞ぐロッドを取り付けてあり、途中の土が混入しない構造になっている。

SWS開閉式SPは、SWSの試験孔を利用して土を採取する。開閉部は15cmであり、所定の深度直前で逆回転し、蓋を開き、15cm打撃貫入することで所定深度の土を採取する。その後、正回転して蓋を閉じ、地盤中からサンプリング装置を引き上げてくる。

図-12(2)と図-13(2)に、これらの簡易SPを用いて採

取した試料の粒度試験の結果を示す。SPT試料による結果と比較しても、簡易SP試料による粒度試験結果は概ね整合していることがわかる。



(1)SRS 新開閉式 SP (2)手動 VibroSP (3) SWS 開閉式 SP
写真-1 各種簡易 SP 装置

5. 液状化判定結果

ここでは、今年度の調査地点で実施したSRS、MRS、SWS試験による換算 N 値とSPTによる N 値、簡易サンプリング試料による粒度試験によって得られた細粒分含有率 F_c を比較し、深度10mまでの液状化判定を行った結果を示す。液状化判定は建築基礎構造設計指針⁴⁾により以下の2通りで行った。

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

今回は統一的な相互比較をするため、各地点の地下水位はSPTによる値を用いた。表-2に5地点の液状化判定による P_L 値をまとめた。

図-12、13に、代表例として浦安市港と唐津市原で実施した自重低減型SRS、MRS、SWS試験による換算 N 値と簡易SP試料による F_c 、それらに基づき算出した F_L 値の深度分布を示す。 F_L 値の深度分布のプロットデータは白抜きが加速度 $\alpha_{max}=200gal$ 、色塗りが350galの場合の算出値である。同時に比較対象として、各図にSPTによる N 値と粒度試験結果 F_c 、それらに基づき算出した F_L 値の深度分布図も併記する。

この結果から、各種サウンディング試験と簡易SPを併用して液状化の判定を行い算定した F_L 値の深度分布は、いずれの地点においても概ねSPTによるものと整合している。ただし、簡易SPによるデータが少ない箇所は、 F_L 値のデータを線形で補間して P_L 値を算出しているため、最終的な P_L 値はSPTによる P_L 値と比べて安全側に算定される傾向にあるが、全体に簡易SPを用いた液状化判定は可能であると考えられる。各種サウンディング試験の換算 N 値とSPTによる N 値の対応関係については前述したように確立されつつあるため、今後さらに簡易SPを用いた精度の高い液

状化判定を行うためには、少なくとも 1m 毎に土試料を採取すること、そして簡易 SP 装置のさらなる高精度化を図ることが必要であると考えられる。

6. 結論

本研究から以下の結論が得られた。

- 1) SRS の N_d 値と SPT の N 値の比較から、粘性土では N_d 値 $>$ N 値、砂質土では N_d 値 \approx N 値となることがわかった。これは両者の貫入メカニズムの違いによる。
- 2) 従来型 SRS の N_d 値と自重低減型 SRS の N_d 値の比較から、粘性土、砂質土地盤のいずれの場合も自重低減効果が表れており、その傾向は軟らかい粘性土地盤に強く表れる結果となる。ただし、硬質な砂質土地盤 (N_d 値 $>$ 30) になると両試験の N_d 値はほぼ一致した。
- 3) MRS の新補正法による N_d' 値は自重低減型 SRS とほぼ一致し、新補正法の妥当性が確認できた。
- 4) 本研究で対象とした SRS、MRS、SWS 試験と簡易 SP を併用することにより、液状化判定が可能であることを示した。

[参考文献] 1)大島:浦安一斉試験における各種サウンディング試験の比較、浦安地盤調査一斉試験報告会論文集、2012 2)菅原ら:小型動的貫入試験の開発とその利用、全地連「技術フォーラム'97」講演集 3) 稲田倍穂:スウェーデンサウンディング試験結果の使用について、土と基礎、vol.8, No.1, pp13~18, 1960 4)日本建築学会:建築基礎構造設計指針

表-2 建築基礎構造設計指針に基づく液状化判定結果

P_L 値 (0~10m)		自重低減型 SRS	MRS	SWS	SPT
鶴町	$a_{max}=200$ gal	0.0	0.1	2.4	1.0
	$a_{max}=350$ gal	0.5	5.8	7.8	7.5
	簡易SP装置	SRS旧開閉式	手動Vibro	手動Vibro	SPT-SP
浦安港	$a_{max}=200$ gal	10.0	8.4	8.7	7.9
	$a_{max}=350$ gal	27.3	28.3	28.7	24.6
	簡易SP装置	SRS新開閉式	手動Vibro	手動Vibro	SPT-SP
唐津原	$a_{max}=200$ gal	1.5	-	0.8	3.0
	$a_{max}=350$ gal	16.6	-	10.2	18.0
	簡易SP装置	SRS新開閉式	-	SWS開閉式	SPT-SP
香取1	$a_{max}=200$ gal	4.8	6.6	-	-
	$a_{max}=350$ gal	18.9	19.6	-	-
	簡易SP装置	SRS新開閉式	手動Vibro	-	-
香取2	$a_{max}=200$ gal	0.2	2.8	6.0	4.6
	$a_{max}=350$ gal	9.0	10.4	18.4	16.3
	簡易SP装置	SRS新開閉式	手動Vibro	SWS貫入式	SPT-SP

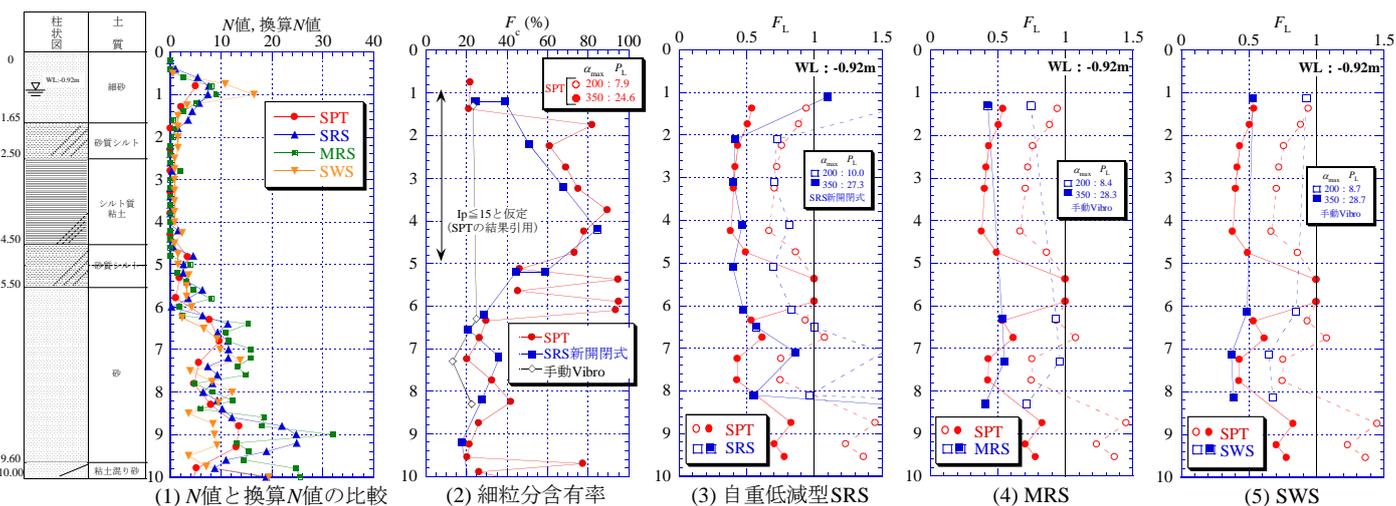


図-12 簡易 SP を用いた液状化判定結果 (浦安市港)

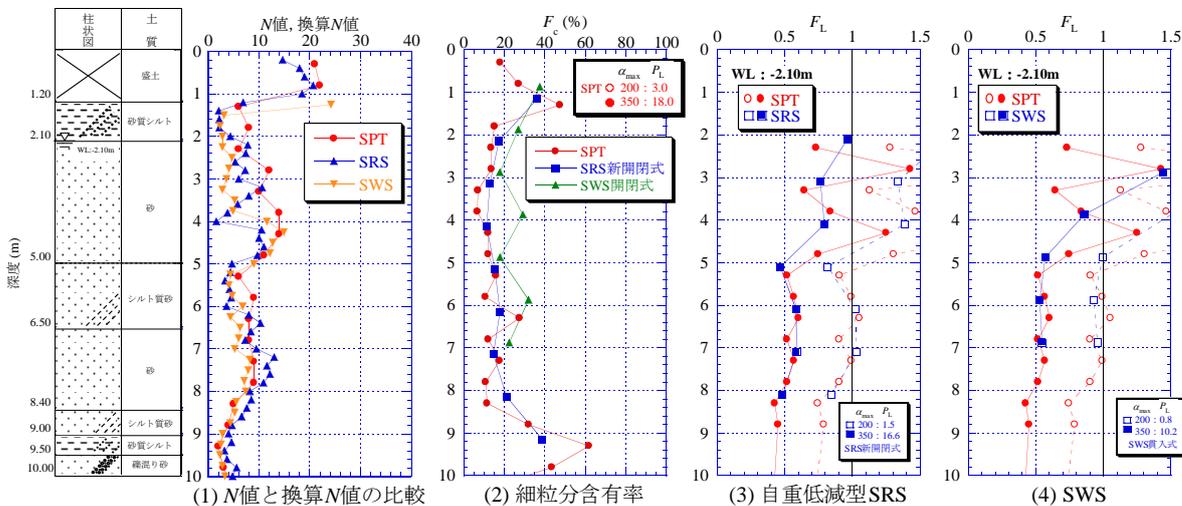


図-13 簡易 SP を用いた液状化判定結果 (唐津市原)

討議

討議 [谷池 先生]

各種サウンディング試験（SRS、MRS、SWS）と簡易 SP を併用した液状化判定手法が宅地に対して有効であることは分かったが、その簡易な液状化判定手法は大型構造物にも適用できるのか？

回答

結論から述べると、簡易 SP を用いた液状化判定手法は大型構造物に適用できない。その理由として、今回の研究では宅地を対象としており、表層～10m までの地盤が液状化判定に含まれる（宅地の場合、液状化対策として深度 3～4m までの表層改良を行うことが多い）。一方で、大型構造物の場合は深度 20m までの地盤を液状化判定の対象とする必要があり、簡易 SP の適用範囲外となる。そのため、本研究で紹介した簡易な液状化判定手法は、現時点では大型構造物に適用することはできない（※ただし、今後簡易 SP 装置の改良が進めば、大型構造物への適用も可能となると考えている）。

討議 [谷池 先生]

液状化は、 N 値以外も関係するのでは？ N 値と粒度試験の結果さえあれば、液状化判定を行うことができるのか？

回答

液状化判定を行う際、 N 値と粒度試験の結果以外にも考慮すべき指標はいくつか存在する。今回は建築基礎構造設計指針に基づき判定を行ったが、表層からの地下水位の位置や地盤に加わる地震加速度なども考慮して液状化の危険度を算定している。

討議 [角掛 先生]

N 値は正しい値をとっているのか？精度の問題として、 N 値と N_d 値の相関図のデータがばらついて見えるが、ばらつきを見る指標はないのか？相関係数の値がどのくらいあれば、両者の対応関係がよく一致すると判断しているのか？

回答

いくつか存在する試験機のなかでも、SPT の N 値を真値と仮定するならば（本研究ではそのように仮定）、砂質土では N 値は正しい値を算定しており、粘性土では過小となる傾向がある（先端サンプラーの貫入メカニズムの影響）。

また、 N 値と N_d 値の相関図について、粘性土では相関係数 R が 0.7 程度、砂質土では 0.8 程度となる。各試験の対応関係を検討する際、相関係数 R が 0.8 を越えていれば、整合性の高いものとして判断している。

ただし、今回の最終発表では原点を強制通過させて回帰線を算出した図を掲載しているため、相関係数 R に関する情報は記載していない。

討議 [松村 先生]

浅い地点の方が N 値と N_d 値の相関図データのばらつきは大きいですが、どのように解釈するのか？

回答

N 値と N_d 値を比較する際、浅い地点の方が両者の対応関係がばらつくということはない。「データのばらつき＝各試験機の信頼性が低さ」を表しているのではなく、各々のデータは打撃貫入時の貫入メカニズムに基づき正確な地盤強度を算定していると考えている。ただし、試験機によって装置の仕様が異なるため、打撃エネルギーの伝搬効率（ハンマー打撃によって入力されるエネルギーが地中の先端のコーンに伝達する割合）が異なると考えられる。各試験のエネルギー伝搬効率に関するデータを今後蓄積し、試験結果に反映させることで、相関を検討する際のデータのばらつきは小さくなると考えている。