

戸建住宅を対象とした地下水位測定に基づく液状化の概略判定

金 哲鎬^{*1} 藤井 衛^{*2} 小川 正宏^{*3}

Primary Judgment of Liquefaction Possibility Based on Groundwater Level for Detached Houses

by

Chol-Ho KIM^{*1}, Mamoru FUJII^{*2} and Masahiro OGAWA^{*3}

(Received on Apr. 20, 2011 and accepted on July. 13, 2011)

Abstract

In Japan, the Swedish Weight Sounding (SWS) test is a popular and essential method for evaluating the ground bearing strength of housing sites. Measurement of groundwater level using a SWS test hole is applicable only when a groundwater sensor or a rod with tapeline for eye measurement can be installed into the hole. However, the method of eye measurement using a tapeline is susceptible to inaccuracies. Therefore, we introduced a new groundwater measurement technique using a SWS test hole, a foraminate pipe and an alternating current (AC) resistivity sensor. The excellent performance of the new technique means that it may become an effective tool for the primary judgment of liquefaction possibilities of housing sites.

Keywords: Measurement, Swedish weight sounding (SWS) test, Liquefaction, Groundwater level, Elapsed time

1. 目的

日本では、スウェーデン式サウンディング試験(以後、SWS 試験と呼ぶ)から宅地地盤の支持力を算定する方法は、国土交通省告示第 1113 号で規定されている。同告示では、地震時に液状化するおそれのある地盤の場合は、建築物に有害な変形や沈下が生じないことを確かめることを義務づけている。また、日本建築学会の「小規模建築物基礎設計指針」¹⁾では中地震動に対し、微地形などからの概略判定と併せ、簡易粒度分析と地下水位に基づく簡易判定法が示されている。

最近の調査研究の結果から、地表面から深さ 5m 程度までの飽和した砂層が液状化することによって、建物に障害を及ぼすとされている。また、液状化層上に非液状化層が概ね厚さ 3m 以上存在すると、小規模建築物では被害が一般に軽微と考えられている。よって、地下水位が 3m 以浅か以深であることを確認することは、液状化判定を行う上で重要である。そこで、宅地地盤の液状化判定のための地下水位測定法に着目し、新たに SWS 試験孔を利用した測定法と、土のサンプリング装置を開発し液状化の概略判定を試みた。

250mm 間隔で空けた、外径 $\phi 19\text{mm}$ 、内径 $\phi 7\text{mm}$ 、長さ 1m の中空の鋼製ロッドである。中空ロッドの先端にスクリーポイントを装着し、SWS 試験機で貫入試験を実施する要領で地中に貫入した状態で水位を測定した。測定

された水位が正確かどうかを判断するため、予め水位観測孔を設置しておき、観測孔の水位と同様となった測定水位を地下水位とし、それに要した時間を収束時間とした²⁾³⁾。

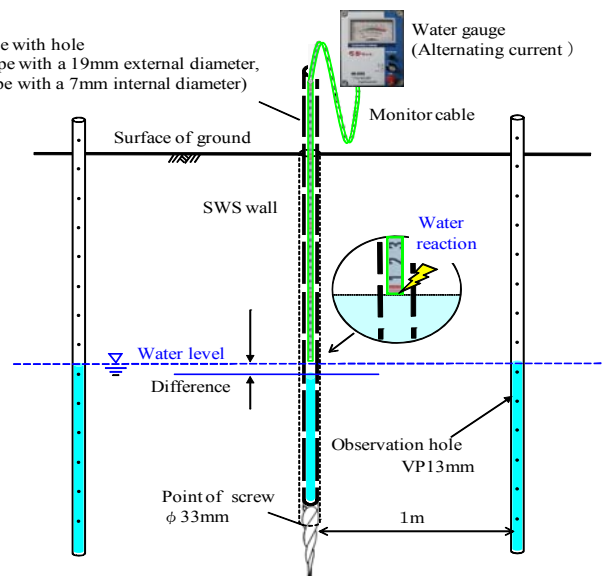


Fig.1 Method of the in-situ experiment⁴⁾

*1 総合理工学研究科総合理工学専攻

*2 工学部建築学科教授 工博

*3 報国エンジニアリング株式会社

2. 実験結果

Fig.2 に、土質別の測定水位と収束時間の結果を示す。Fig.2(a)は砂質土、Fig.2(b)は粘性土の結果である。土質別では、砂質土の方が収束時間の早い傾向にあり、シルト質の比較的透水性の低い土質において時間がかかっている。また、Fig.3 にボーリング調査 A~G の N 値と実験結果の地下水位の関係性を、Fig.4 に A~G の地下水位と収束時間の関係性を示す。

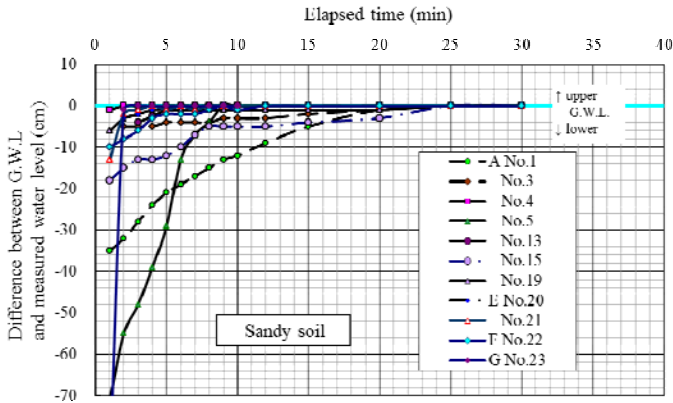


Fig.2 (a) Measured water level and elapsed time (Results of sandy soil)

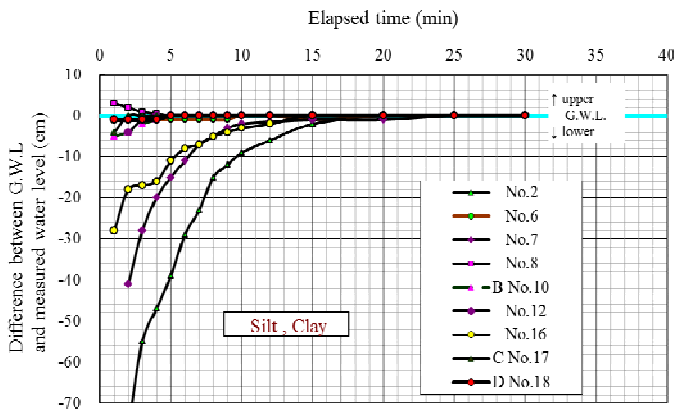


Fig.2 (b) Measured water level and elapsed time (Results of silt, clay soil)

Fig.3 の A と F は同じ砂質地盤であるが、F が収束時間 5 分に対して、A は 25 分を要している。これは土質だけではなく、地盤の締めや硬さが関係していると考えられるので、N 値に注目した。地下水面下の N 値を見ると、B~F は N 値 5 以下の緩い砂地盤であるため、収束時間が早いと考えられる。G は N 値 10 程度であるが、透水係数が高いとされる礫混じり砂のため収束時間は 3 分と早くなったと考えられる。このような収束時間の比較から、透水係数と地盤の緩みが推測できるのではないかと考えられる。よって、微地形区分により液状化の可能性が「大」と判断される A は締まった地盤のため、「大」の中では液状化の可能性が低く、F は緩い砂地盤のため、

「中」の中でも液状化の可能性が高いと言える。本測定法において、地盤状態の違いによって収束時間が異なることを確かめるため、2 次元浸透流解析(FEM)により数値解析を行うことで比較した。

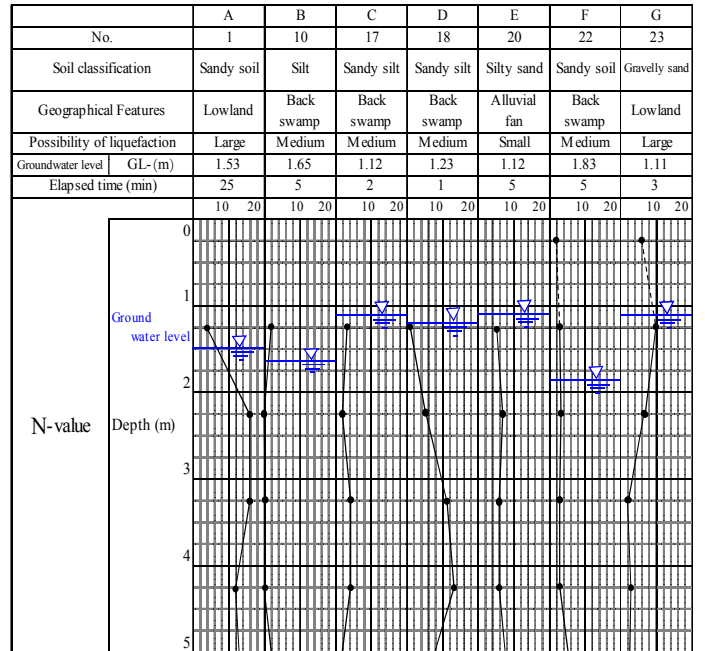


Fig.3 Groundwater level and N-value of borehole log

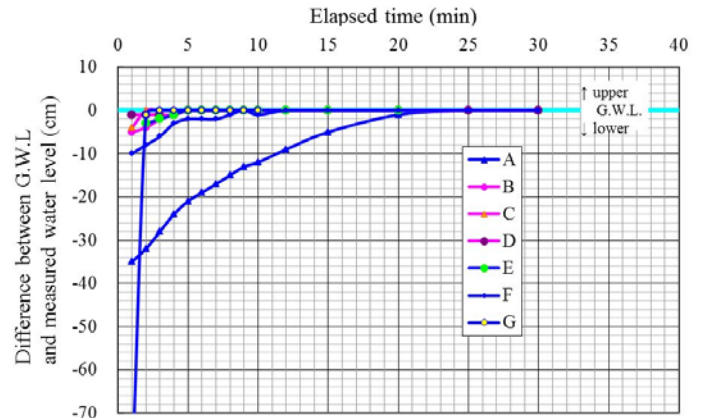


Fig.4 Measured water level and elapsed time (Results of A~G)

3. 浸透流解析

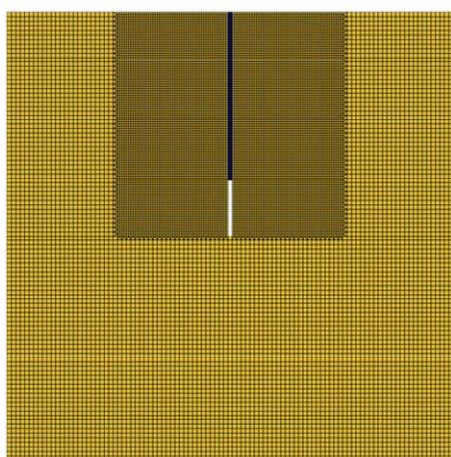
Fig.5 に、砂質土と粘土の現場試験を再現するために作成した、2 次元浸透流(FEM)モデルを示す。非定常飽和-不飽和浸透流解析法により解析を行った。解析に使用したソフトは「midas GTS」である。水分特性曲線は、経験的によく用いられている「van Genuchten のモデル」を用いている。

$$S_e = \frac{S_w - S_r}{1 - S_r} = \{1 + (\alpha\phi_c)^n\}^{-m} \dots (1) \quad m = 1 - \frac{1}{n}$$

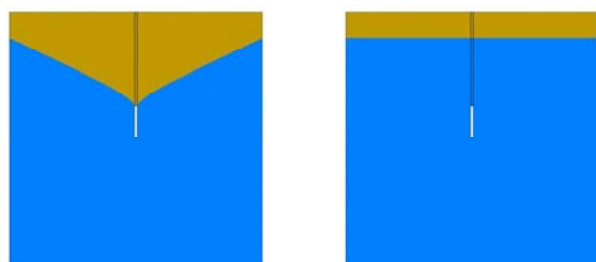
$$k_r = S_e^\epsilon \left\{1 - (1 - S_e^{1/m})^m\right\}^2 \dots (2)$$

ここで、 S_e :有効飽和度、 S_r :残留飽和度、 α, n, m :土質によって定まる定数、 k_r :比透水係数、 e :土質定数(=1/2)、外径 $\phi 19\text{mm}$ 、 $L=1\text{m}$ の有孔パイプを均一な地盤中にモデル化した。

Table 1 に示す地盤(砂質土と粘土) と有孔パイプの透水係数は、Creager の表と試験データから決定した。解析において時間が経過すれば、有孔パイプ周辺の地下水位が初期段階から最終段階まで徐々に変化する。最終段階においては Fig.6 に示すように、有孔パイプ周辺の水位が元の位置まで回復する。



Mesh model



Initial stage ⇒ Final stage

Fig.5 Model of the seepage flow analysis

Table 1 Coefficient of permeability

	Coefficient of permeability (cm/sec)	Foraminate pipe's coefficient of permeability (cm/sec)	Elapsed time (sec)
Sandy soil	$1.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^{-6} (1.0 \times 10^{-4})$	3.0×10^{-9}	60
Clay	$1.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-8} (1.0 \times 10^{-7})$	3.0×10^{-12}	300

試験結果と浸透流解析から得られた経過時間と地下水位の関係のグラフを Fig.6 に示す。ここで、収束時間の傾向を調べるため、Fig.3 に示される結果の中から、粘性土と砂質土それぞれの代表的な計測結果として No.18 と No.20 を選んだ。他の試験データと比較して、この二つは比較的均質な地盤(透水係数が均一) と考えることができるからである。Fig.6 の結果に示されるように、早い段階においてわずかに違いは見られるが、試験結果と浸透流解析から求められた収束時間は比較的良く一致している。このことから、SWS

試験孔を用いることにより、有孔パイプ周辺の地盤の透水性をおおよそにはあるが簡単に評価することができる。土質分類(粒度分布) と土の透水性には相関があることを考えれば、原位置試験から得られた地下水位の収束時間が、次章で述べる液状化の可能性を判断する上で有用な情報に成り得る可能性がある。

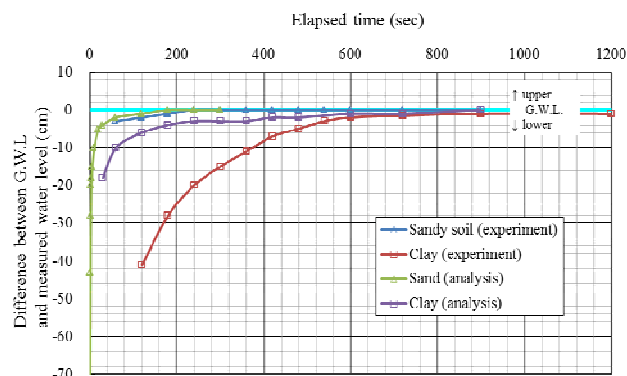


Fig.6 Comparison of the in-situ experiment and analysis

4. 液状化の概略判定

「小規模建築物基礎設計指針」¹⁾ の Table2 「地形区分から見た液状化の可能性」によれば、表層部地盤の液状化の可能性の程度は大、中、小の3つのカテゴリに分類される。Table 2 に地形区分から見た液状化の可能性を示す。日本では他に、液状化の簡易判定法として限界 N 値法がある。ボーリング調査によって得られた資料のうち、所定深度内の砂層の N 値が定められた限界 N 値と比較して小さく、かつ地下水位以下の場合には液状化する可能性があるとして判定する方法である。Fig.7 は限界 N 値と深度の関係を表したグラフである。Fig.8 は小規模建築物を対象として、地表面から深さ 5m までの範囲の表層の非液状化層の厚さ H_1 とその下部の液状化層の厚さ H_2 との関係によって、地表面に被害がおよぶ程度を示したものである。ここで、非液状化層とは地下水位より浅い砂層、または粘性土層(細粒分含有率 >35%)であり、液状化層とは非液状化層下面から地表面下 5m までの砂層をいう¹⁾。

Table2 Geographical features(AIJ,2008)

Possibility of liquefaction of the ground surface	Geographical features			
Large (L)	Edge of natural levee	Small natural levee	Shallow	Low land in dune
	Old river channel	Low land	Old swamp	Embankment
	Sand-muddy	Gentle in dune	Artificial shore	Inflow water
	Reclaimed land			
Medium (M)	Alluvial fan of gentle slope	Delta valley plain	Natural levee	Back swamp
	Swamp	Cusped delta	Bar	Polder
Small (S)	Sand-gravel banks	Alluvial fan	Shore	
	Delta plain of fan type	Gravel bar	Dune	

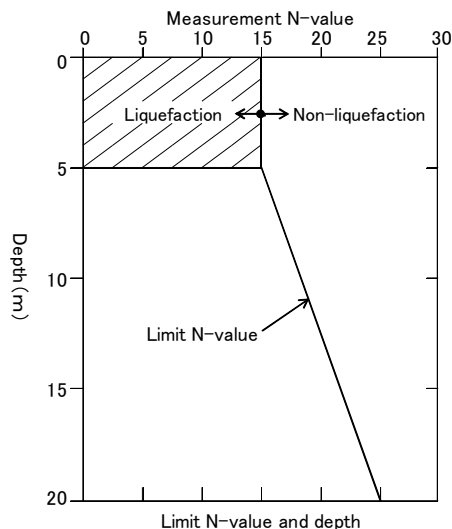


Fig. 7 N-value and liquefaction/Non-liquefaction possibility (Slightly modified⁵⁾)

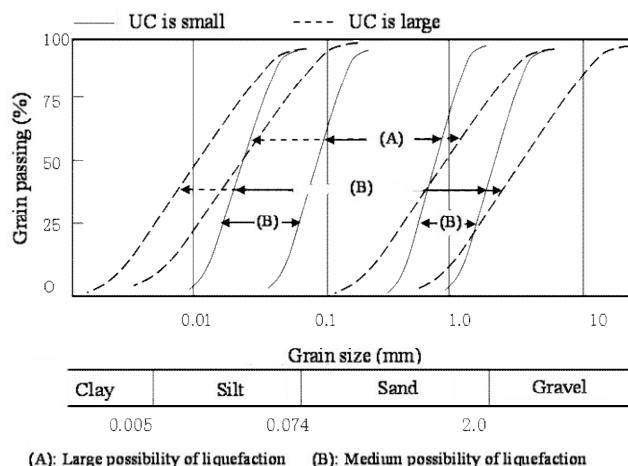
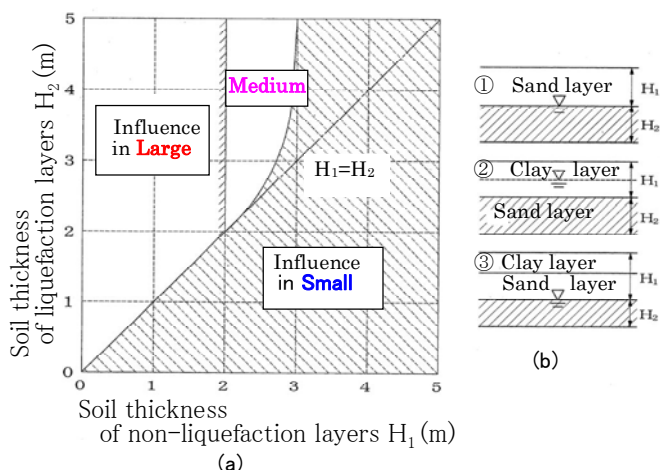


Fig.9 Grain size and possibility of liquefaction (Basic knowledge of technical engineering⁵⁾)



(200cm/s² accelerate at the ground surface)
Fig. 8 Influence of liquefaction to the ground surface (AIJ, 2008¹⁾)

液状化層であっても、粒度分布によって液状化の可能性は異なる。そのため、粒度分布も液状化の可能性の判断に加味して考える場合がある。液状化しやすい粒度分布の例を Fig.9 に示す。

小規模建築物を対象とした SWS 試験の場合、N 値 15 程度以下の比較的緩い地盤が対象であり、N 値 15 以下の地表面から 5m までの液状化層が全て対象となる。したがって、N 値による液状化の判定は考慮せず、SWS 試験で貫入可能な地盤は全て対象とみなしている。

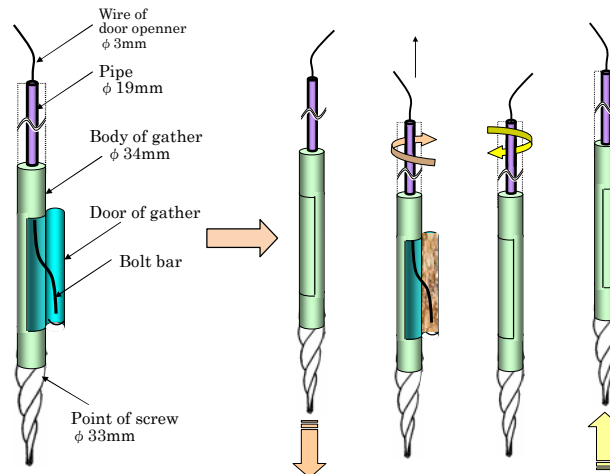


Fig.10 Method of the soil sampler

Fig.11 に既存資料と SWS 試験に基づく宅地の液状化判定フローを示す。地形区分・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、Fig.11 の*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の危険度の概略判定を行う。地下水位は、今回開発したスウェーデン式サウンディング孔を利用した地下水位の測定法と、Fig.10 のサンプリング装置により土質のサンプリングを行い、土質の判別、砂層の厚さの確認を行う。場合によっては、採取した試料に対し粒度試験を行い、細粒分含有率によって粘性土か砂質土かの確認をした上で液状化の判定を行う。小規模建築物の液状化概略判定では、地中応力の関係から建物に障害が起こらない範囲を GL-5m 以深としている。よって、地下水位が GL-2m の場合、GL-3m と GL-5m で土のサンプリングを実施し、砂層の厚さが 3m 以上存在する可能性があれば、液状化概略判定で液状化の検討不要にはならない。しかし、3m と 5m が粘性土であれば、砂質土層が薄い判断できるので、液状化概略判定で液状化の検討不要になる。よって、

本測定法では地下水位の測定、土質の確認が行えるため、液状化危険度を大まかに判断することができる。

Ground surface acceleration reference value: 150 to 200cm/s²

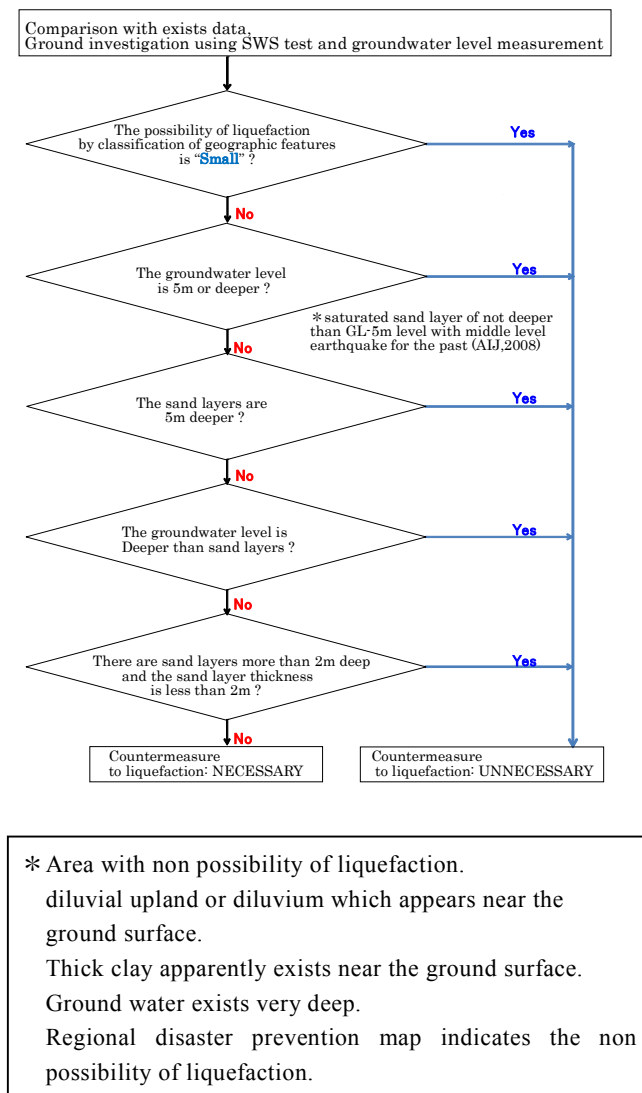


Fig.11 Flow-chart of liquefaction judgment (Slightly modified⁶⁾)

5. まとめ

地表面から GL-3m 程度まで非液状化層が存在すれば、中地震動での液状化の影響が地表面に及ばない¹⁾とされている。したがって、小規模建築物の場合、GL-3m 程度までの比較的浅い位置の地下水位が確認できれば、有効な判定手段となると考えられる。今回の実験では、地下水位の深さや土質の違いによる測定時間に若干の差があったが、SWS 試験によるサウンディング孔を使って、比較的短時間に地下水位の測定を行うことができ、液状化の判定に有効であることを確認した。また、建物に障害を及ぼす影響範囲の GL-5m 程度、SWS 試験の貫入が N 値 15 程度以下、地下水位の測定及び土のサンプリングが可能であれば今回提案する「宅地地盤の液状化判定フロー」による液状化の概略判定が可能である。今後液状化対策工法などの確立も必要であるが、宅地地盤が液状化の被害を受ける危険性が少ない=液状化の可能性が「小」と言える宅地地盤についての判定を実施していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針，(2008)，pp.88-92. (AIJ, 2008)
- 2) 金 哲鎬ら：スウェーデン式サウンディング試験孔を利用した有孔パイプによる地下水位の測定法，日本建築学会学術講演梗概集(東北)，(2009)，pp.635-636
- 3) CH, Kim : Measuring the Groundwater Level Using a Hole of the Swedish Weight Sounding Test, ISOPE-2010 Beijing, (2010), pp.789-792
- 4) 金 哲鎬ら：スウェーデン式サウンディング試験孔を利用した有孔パイプによる地下水位の測定法(その 2)，日本建築学会学術講演梗概集(富山)，(2010)，pp.701-702,
- 5) 済木幸平：地盤工学の基礎知識，鹿島出版会，(1987)，pp.62, 235
- 6) 高田 徹ら：「小規模建築物を対象とした液状化対策の設計法に関する研究(その 1)，日本建築学会学術講演梗概集(東北)，(2009)，pp.613-614