

各種サンプリング方法、 地下水位測定方法、土質試験

小川 正宏*

* OGAWA Masahiro、報国エンジニアリング株式会社 技術部 東京都江東区福住 1-17-11 ML 門前仲町 301

1. はじめに

現在、住宅地盤の調査は、スウェーデン式サウンディング試験（以下、SWS試験）が主流となっている。しかし、SWS試験結果から得られるのは荷重 W_{SW} (kN) と N_{SW} (回) の貫入抵抗値のみであり、精度の良い地下水位測定や土質確認ができないのが現状である。

そこで補足調査として、SWS試験実施時に各種サンプリングや地下水位測定が行われているが、ここではその方法と留意点について述べる。

2. SWS 試験時に行われる補足調査の目的

建築計画地の地下水位と土質の情報は、地盤補強工法の選定、液状化判定における非液状化層と液状化層の判別、圧密沈下の検討において重要な情報となる。さらに、地盤変形の原因となりやすい腐植土や人工的な盛土の有無を確認することで、建物沈下のリスクを予測することができる。SWS試験の貫入抵抗値が同等でも、沖積層と洪積層では安定度が異なり、特に自然堆積のローム地盤（洪積層）であることが確認できれば、地盤補強が不要となる場合がある。

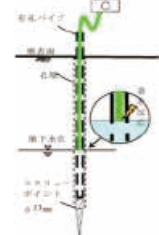
地下水位測定および土のサンプリングを実施する際には、何を目的として実施するのか正しく理解した上で実施する必要がある。

3. SWS 試験孔を利用する地下水位測定方法

SWS試験孔を利用する地下水位測定法を表-1に示す。SWS試験後に引き抜いたロッド、あるいは試験孔に挿入・引き抜いたスケールや測定棒に付着した水の位置から地下水位を推定する簡単な方法もあるが、注意深く行わないと地下水位を見誤る可能性がある。精度の良い地下水位方法として、試験孔に気圧式水位計を挿入して測定する方法や、通電式水位計を用いる方法がある。通電式を用いる場合は、試験孔に中空有孔管を挿入し、側面の穴から管内に地下水位を流入させ、管内の地下水位を測定する方法もある。この地下水位測定方法は、有孔管内の地下水位が安定してから測定するため、測定誤差が少ない。

地下水位の情報は、前述の通り地盤補強工法の選定、液状化判定、地盤の圧密沈下を検討する際に重要であることから、精度の良い方法で測定することが望ましい。

表-1 SWS 試験孔を利用する地下水位測定方法¹⁾編集

名称・写真	特 徴
コンベックス 	* SWS試験孔にコンベックスを挿入し、コンベックスの濡れ具合で地下水位を測定する。 * SWS試験孔が自立しないと測定できない。
水位測定棒 	* SWS試験孔に水位測定棒（丸鋼棒など）を挿入し、棒の濡れ具合で地下水位を測定する。 * 強度のある鋼棒を使用するため、ある程度孔壁が閉塞していても貫入が可能である。
気圧式水位計 	* SWS試験孔に気圧式水位計を挿入し、地下水位を測定する。 * チューブ内の気圧の変化を感知するため、水位の誤認は少ない。 * 強度のあるスチールロッドを使用するため、ある程度閉塞していても計測が可能である。 * 適用深度は5 m程度。
通電感知式水位計 	* SWS試験孔に水位計を挿入し、地下水位を測定する。 * 試験孔が閉塞している場合は測定不可能になるため、SWS試験孔に中空有孔塩ビ管または中空有孔鋼管を挿入し、管内の地下水位を測定する方法もある。 * 有孔管を挿入して測定する場合は、地下水位が安定してから測定するため、測定誤差が少ない。
通電比抵抗式水位計 	* SWS試験孔に中空有孔鋼管を挿入し、管内の地下水位を比抵抗水位計により測定する。SWS試験と同じ径の有孔管を用いるため、SWS試験機による貫入が可能である。 * 有孔管を挿入し、地下水位が安定してから測定するため、測定誤差が少ない。 * 地下水の比抵抗値を測定するため、塩分濃度および大まかな水質の判別が可能である。 * 適用深度は10 m程度。

4. SWS 試験時に行われるサンプリング方法

SWS試験時に行われるサンプリング方法は、SWS試験孔を利用して採取する方法と、SWS試験孔とは別孔で採取する方法とに分けられる。ここでは、サンプリング方法について、その種類と注意点について示す。

(1) SWS試験孔を利用するサンプリング方法

SWS試験孔を利用するサンプリング方法を表-2に示す。SWS試験孔が閉塞し目標深度までの貫入が困難になることや、別深度の土の混入に注意しなければならない。また、地下水位以深にある緩い砂を採取する場合、サンプラー引上げ時に試料が落下する可能性があるため、十分に注意して実施しなければならない。

SWS試験孔を利用するサンプラーは径が小さく、SWS試験後の孔に貫入しやすくなっているが、その分試料採取量が少なくなっている。そのため、土質試験を実施するために必要な量が取れない場合があるので、土質試験を行う場合は別のサンプリング方法の検討も必要である。

(2) SWS試験孔と別孔で実施するサンプリング方法

SWS試験孔と別孔で実施するサンプリング方法を表-3

表-2 SWS 試験孔を利用するサンプリング方法²⁾ 編集

名称・写真	特 徴
開閉式サンプラー 	* サンプラーの回転蓋を閉じた状態で任意の深度まで挿入し、ロッドを回転させることで蓋が開き、更に回転させることで周囲の地盤を掻き取り試料を採取する。逆回転により蓋を閉じてから引き抜く。 * 先端にスクリーポイントをつけることで、貫入力を高めているサンプラーもある。
開放型 回転掻き取り式 サンプラー 	* 採取したい深度部分にサンプラーを複数取付け、無回転にて任意の深度まで挿入する。所定の深度に到達した後、正回転させることで周囲の地盤を掻き取り、サンプラー孔に試料が充填される。深い深度の試料を採取する場合は、サンプラー孔にのりを充填し、挿入時に周辺地盤が混入しないよう配慮している。 * 一度に複数の深度の試料を採取出来る。
打ち込み式 サンプラー 	* 所定の深度直前までSWS試験を実施しその後引き抜く。試験孔にサンプラーを挿入し所定の深度直前まで打ち込む。回転により外管を残した状態で内管を引き上げ、上部でロックする。再度所定の深度まで打ち込み後、サンプラーを引き上げる。 * 乱されていない地盤で採取するため、採取深度以外の土試料を巻き込みにくい。

に示す。スパイラル式サンプラーや開閉打ち込み式サンプラーは、SWS試験機を利用することができるが、バイプロサンプラーは別の機械が必要なため、必要性を十分に検討しておく必要がある。

(3) 土の判別方法の例

現場で採取した試料の目視・触感での判別方法の例を表-4に示す。あくまで例なので、現場での判別が困難な場合は、土試料を持ち帰り熟練者に判別してもらうか、土質試験を実施し判別を行う。特に、シルト質砂～砂質シルトを砂質土か粘性土に判別するには、相当な経験が必要である。孔内水位やサンプラー形状の影響で、判別に必要な試料を得ることができない場合は、試料採取を再度実施することが望ましい。

表-3 別孔で実施するサンプリング方法²⁾ 加筆・編集

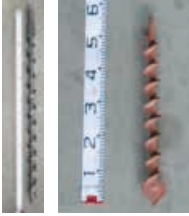
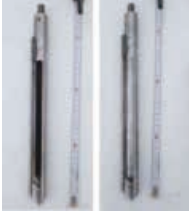
名称・写真	特 徴
素掘り 	* 比較的軟らかい表層部を、剣先スコップやダブルスコップで土を掘り採取する方法。
ハンドオーガ ボーリング 	* ロッドの先端にオーガと呼ばれる刃先を取り付け、人力で回転させながら地中に押し込んで試料を採取する。 * あまり硬くない地盤であればロッドをつなぐことにより、2～5m程度の深さまで掘進が可能である。
スパイラル式 サンプラー 	* スパイラルのピッチに合わせてサンプラーを回転貫入させ、所定の深度にサンプラーが貫入したことを確認した後、無回転で引き抜きサンプラーに付着した試料を採取する。 * 全層サンプリングのため、地層境界および層厚を把握しやすい。地下水位以深のゆるい砂地盤では採取量が低下する。
開閉打ち込み式 サンプラー 	* 所定の深度直前まで正転により貫入し、逆転により内側ポケットを開き、打撃貫入させ試料採取する。正転して蓋を閉じ引き上げる。 * 乱されていない地盤で採取するため、採取深度以外の土試料を巻き込みにくい。
バイプロサンプラー 	* 試料採取長1mのサンプラーをバイプロサンプリングにより地盤中に貫入させ、連続的に土試料の採取を行う。手動式または自動式サンプラーがある。 * 全層サンプリングのため、地層境界および層厚を把握しやすい。

表-4 土の判別方法の例

土質・土層	判別方法
砂質土	* 土粒子を肉眼で見ることができる。 * 触るとざらざらしており、手につきにくい。 * 「だんご」や「ひも」を作ろうとしてもすぐ崩れる。 * 乾燥させた土塊は簡単に崩れる。
粘性土	* 土粒子が肉眼で見えない。 * 手のひらに粘性土を乗せて振動を与え、水が浮いてきたらシルト。 * 手のひらにつきやすい。 * 「だんご」や「ひも」を簡単に作ることができる。 * 乾燥させた土塊は強い指圧を加えないと崩れない。
ローム	* 赤褐色など赤みがかった明るい色。
盛土	* 色調にムラがある。 * ボソボソしている土が多い。 * 礫、砂、粘土が混在しており、ガラやゴミを含む場合がある。
ガラ	* SWS試験孔を利用するサンプラーでは採取困難である。 * コンクリートやレンガはスクリュポイントに少し付着する場合がある。
有機質土	* 暗色系または黒色で有機物を含む。 * 暗褐色で未分解の植物繊維が残っていることがある。 * 有機物臭あり。 * 同体積の砂質土、粘性土に比べ軽い。 * pHを測定すると酸性値を示す。 * 含水比が100%を超える。
沖積層	* 暗灰～青灰～灰など、全体として暗い色。 * 貝殻、植物繊維など生物遺骸を含むことがある。
洪積層	* 暗青～青緑～褐～褐灰など、全体として明るい色。 * 火山灰、浮石、凝灰質のものを含むことがある。

5. 土質試験の種類と目的

土質試験で求められる土の性質は、「物理的性質」「力学的性質」「化学的性質」である。SWS試験時に行うサンプリング方法では「乱した試料」を採取するので、「乱れの少ない試料」が必要な「圧密試験」や「三軸圧縮試験」は行うことができない。そのため、SWS試験時に採取した試料は、土の状態や種類がある程度判別できる「土の含水比試験」や液状化判定計算に必要な「土の粒度試験」を実施することが多い。ここでは、SWS試験時に採取した試料を用いて実施する試験と、その概要および留意点について述べる。

(1) 土の含水比試験³⁾

土の含水比 w とは、土中水の質量と土の質量との比で、式1により算定される。含水比試験の詳細については、「住品協だより Vol.15」⁴⁾にも掲載されているので、そちらも併せてご確認願いたい。

$$w = (m_a - m_b) / (m_b - m_c) \quad (\text{式1})$$

ここに、 m_a ：試料と容器の質量(g)

m_b ：乾燥試料と容器の質量(g)

m_c ：容器の質量(g)

試験方法は下記の通りであるが、これ以外にも電子レンジを用いた方法もある。

- ① 容器の質量 m_c (g)を測定する。
- ② 試料を容器に入れ、(試料+容器)の質量 m_a (g)を測定する。
- ③ 容器ごと恒温乾燥炉に入れ、 $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ で乾燥質量が一定になるまで乾燥する。
- ④ 乾燥試料をデシケータに入れ、ほぼ室温になるまで冷まし、(乾燥試料+容器)の質量 m_b (g)を測定する。

SWS試験時に採取した試料はよほど少なくない限り、含水比試験を実施することができる。およその目安は、最大粒径2mm以下の湿潤土で1試料30g程度(試験容器3個で1組とした場合、1容器あたり約10g)あれば試験を実施することができる。

採取した試料は密閉袋に入れ、持ち帰る間に含水比が変わらないように注意が必要である。特に砂礫などの粗粒土では、夏の車内など暑くなる場所に放置すると、含水比が減少する可能性が高いので注意しなければならない。粘性土においても表面が乾燥し、試験結果にバラツキが生じる可能性がある。

(2) 土の細粒分含有率試験⁴⁾

土を構成する土粒子の粒径の分布状態を粒度という。粒度は横軸に粒径を、縦軸にその粒径より小さい粒子の質量百分率を示した粒径加積曲線で表される。粒径加積曲線の例を図-1に示す。図-1中の曲線Aは粒度分布の範囲が広い土、曲線Bは細粒分(シルト分+粘土分)が多い土、曲線Cは細粒分が少なく砂分が多い土である。

SWS試験時に採取した試料を用いて粒度試験を行う場合、液状化層の判別または液状化判定計算に必要な細粒分含有率を求めることが多いと考えられる。土粒子は粒径0.075mm(75 μm)を境に細粒分と粗粒分に区分されるため、土試料全体の質量と、75 μm ふるいに残留した土の質量から細粒分含有率を求める。

細粒分含有率 F_c は、式2によって算出する。

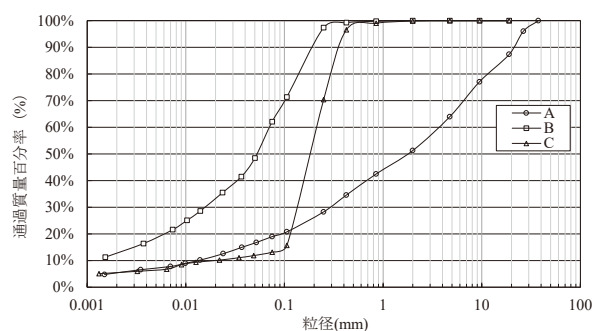


図-1 粒径加積曲線の例

$$F_c = (m_s - m_{0s}) / m_s \quad (\text{式2})$$

ここに、 F_c ：細粒分含有率(%)

m ：試料の質量(g)

m_s ：試料の乾燥質量(g)

$m_s = m / (1 + w/100)$

m_{0s} ：組ふるいに残留した乾燥質量(g)

w ：試料の含水比(%)

試験方法は下記の通りである

(1) 試験準備

- ① 試料の乾燥質量 m_s (g)をはかる。
- ② 試料を完全に水浸させ、2時間以上放置する。
- ③ 2mm、425 μ m 及び75 μ m ふるいを重ねた組ふるいを準備する。

(2) 試料のふるい分け

- ① 水浸試料を十分に攪拌し、直ちに組ふるいに注ぐ。
- ② 組ふるいに残留した試料の全量を再度水浸させる。
- ③ ①、②の操作を、攪拌直後の水が無色透明になるまで繰り返す。
- ④ 組ふるいに残留した試料の全量を、一定質量になるまで乾燥し、その質量 m_{0s} (g)をはかる。

液状化層の判別に用いる場合、小規模建築物基礎設計指針では、非液状化層について「…非液状化層とは、地下水位より浅い砂層、または粘性土（細粒分含有率 $F_c > 35\%$ の粒度の土層）であり、…」とあるが、近年 $F_c > 35\%$ の地層でも液状化した事例が報告されているので、地形等から総合的に判断して頂きたい。

液状化判定計算においては、細粒土含有率 F_c に応じた補正 N 値増分 ΔN_f を求める際に用いられる。図-2に細粒土含有率と N 値の補正係数のグラフを示す。

表-2に示したようなSWS試験孔を利用したサンプリング方法では、所定の深さの試料を正確に採取することが難しい場合がある。標準貫入試験試料とSWS試験サンプラーによる細粒分含有率 F_c の比較データを図-3に示す。この関係よりSWS試験孔を利用したサンプリング方法で採取した場合において、式3による補正 F_c にて液状化判定を行うことを推奨している⁶⁾。

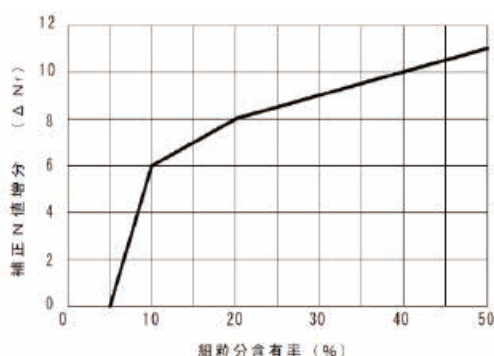


図-2 細粒土含有率と N 値の補正係数⁵⁾

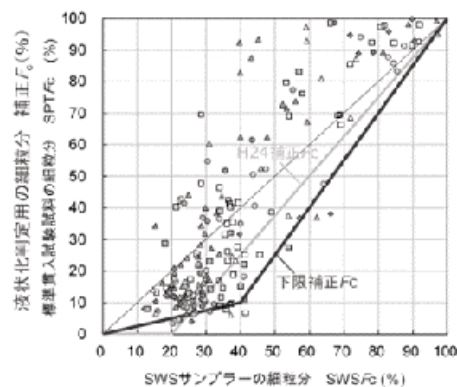


図-3 細砂地盤における標準貫入試験サンプラーとSWSサンプラーによる F_c の関係⁶⁾

$$\text{補正}F_c = \begin{cases} 0.25 \cdot F_c & \text{for } (0\% < F_c \leq 40\%) \\ 1.5 \cdot F_c - 50 & \text{for } (40\% < F_c) \end{cases} \quad (\text{式3})$$

6. おわりに

SWS試験は住宅地盤調査として広く行われているが、SWS試験結果のみでは十分な地盤情報が得られない場合が多い。そこで、紹介した地下水位測定法やサンプリング方法による土試料採取を実施することで、必要な情報を補うことが可能である。

本連載を含め、住品協だよりには様々な地盤調査・試験方法が紹介されている。SWS試験結果のみから地盤を判断するのではなく、必要に応じて適切な補足調査を立案し、十分な地盤情報を得ることができる調査を実施して頂きたい。また、現地で地盤調査を実施される方には、「地下水位を測定する」「試料を採取する」ことが目的ではなく、正しい地盤の判断をすることが地盤調査の目的であることを再度ご確認頂きたい。

6. 参考文献

- 1) (一社)住宅地盤リスク普及協会：住宅を対象とした液状化調査・対策の手引書、p.39、2017
- 2) (一社)住宅地盤リスク普及協会：住宅を対象とした液状化調査・対策の手引書、p.40、2017
- 3) (公社)地盤工学会：土質試験 基本と手引きpp.27-38、2014
- 4) (非営)住宅地盤品質協会：土の細粒分含有率試験方法(案)、<https://www.juhinkyo.jp/wp-content/uploads/2013/12/T002-2011.pdf>
- 5) (一社)日本建築学会：建築基礎構造設計指針、p.63、2001
- 6) (株)東京ソイルリサーチ、旭化成ホームズ(株)、三井ホーム(株)、大和ハウス工業(株)、ミサワホーム(株)、(独法)建築研究所：小規模建築物に適用する簡易な液状化判定手法の検討、平成25年度建築基準整備促進事業報告会資料、2014