

## 戸建住宅の地盤調査の現状と課題

須々田 幸治\*

\* SUSUDA Koji, (株)アースリレーションズ 技術管理部 東京都台東区寿 3-15-15

### 1. はじめに

連載「沈下修復事例」の後に続く連載シリーズとして「戸建住宅で行われる各種地盤調査法とその留意点」と題して本号からスタートする。

ご存じのように我が国の戸建住宅は、木造2階建または3階建が中心であり、構造物の重量が軽いこともあり新築時の地盤調査は、スウェーデン式サウンディング試験（以下SWS試験）が行われることが多い。SWS試験は、戸建住宅の9割以上<sup>1)</sup>で実施されており、本協会で毎年実施している市場規模把握アンケートの結果では、協会の市場占有率は約8割と推定され、本協会および協会員が、実務における地盤調査の品質を担っているといっても過言ではない。

本協会は、SWS試験の品質向上、ペーパーロケーションの重要性などを唱え、不同沈下事故の撲滅を目指してきた。しかし、近年の地震や豪雨による地盤災害等から顧客ニーズの変化も予想され、多様なニーズに合わせた地盤調査・解析方法を選択する必要がある、すべて事象をSWS試験の結果から説明するのは難しい場合がある。

本連載は、SWS試験をはじめ小規模建築物の計画時に行われている地盤調査法を毎号取り上げ、各調査方法の特徴を分かりやすく解説し、留意するべきことや不得意とすることを挙げ、可能ならば対策方法も記述することになる。本号は、戸建住宅の地盤調査の現状と課題について思いつくままに書かせていただいた。次号以降は表-1に示す執筆予定者の方々に詳細な解説を頂きます。

### 2. 戸建住宅における地盤調査

住宅地盤では、長く戸建住宅の不同沈下が問題としてあげられてきた。不同沈下の問題に対しては、地盤調査の実施と地盤補強対策の基準化によって、その発生は減少している実感がある。一方で地震時に生じる地盤の変状などが近年の地震によってクローズアップされている。具体的には、砂地盤の液状化現象、丘陵地の谷埋め盛土の滑動、擁壁・土留めの変状などがあげられる。

戸建住宅の不同沈下については、SWS試験の結果を中心に解説する基準や書籍が多いが、地震時に発生する地盤の変状については、どこまで調べ、どこまで対策するかは、明確には示されていない。地盤の液状化の判定法に

ついては、より精度の高い地盤調査やSWS試験と別の試験・調査を付加するなど情報量を増やす必要がある。

表-1は、戸建住宅で利用されている主な地盤調査法とその特徴を示したものである。SWS試験以外の試験の実施頻度は高くないが、その事例は増えてきている。

また、ポーリング柱状図のデータベース化が進みWeb上でのデータ閲覧が可能になり、土地条件図などの各種地形図やハザードマップの公開も進んだことから、顧客のニーズと地盤構成を考慮した地盤調査計画の立案が可能になった。今後は、事前調査の結果から調査計画を提案することも多くなるかと思う。写真-1～9には表-1に示す各種調査方法の調査機材の一例を示す。

### 3. 戸建住宅の地盤調査の課題

#### 1) 適用範囲

表-1には、調査方法毎に試験深度の適用範囲も示しているが、調査目的に応じてこの範囲を超えて実施されていることは云うまでもないが、SWS試験のように深度を増すごとにロッドに加わる摩擦力が大きくなる試験方法の場合は試験結果の評価は慎重に行う必要がある。また、SWS試験はN値との相関性を $N_{sw} \leq 150$ を上限としている<sup>2)</sup>。これは、SWS試験に限ったことではなく、試験から得られた値を各種換算式に利用する場合には適用範囲内で活用しなければならない。

#### 2) 地盤判定

SWS試験結果から許容応力度を求める方法が、国土交通省告示1113号に示されたが、実際の地盤判定（補強工事の要不要の判定）では、「沈下」の取り扱いに多様な考え方があり、多くの判定フローが提案されているが、誰もが納得する判定フローは存在していない。

これは、SWS試験の結果だけでは、沈下を評価が難しいことと、住宅メーカー・工務店や地盤調査会社が、それぞれの立場と各社の地盤リスクへの対応が異なっていることが原因としてあげられる。

しかしながら安易に地盤補強工事の件数を少なくするためにSWS試験結果から機械的に沈下量を計算し、地盤判定を行う企業が現れている。研究成果をもとにSWS試験結果から沈下量を推定することは判断基準の一つとして有効な方法であるが、他の要因も含めた総合的な地盤評価を行うことが肝要である。地盤調査を行う者としては、地盤

表-1 戸建住宅で利用されている主な地盤調査法とその特徴

名称 ( )内は略称	規格、基準※	試験方法の概略	試験の特徴と戸建住宅における利用	得られる測定値とその利用	適用範囲	執筆 予定者
スウェーデン式 サウンディング試験 (SWS)	JIS A 1221	スクリーボイントをロッド先端に取り付け、載荷段階 50N、150N、250N、500N、750N、1000Nのおもりを載荷し、荷重段階毎のロッドの貫入量を記録する。 1000Nで貫入が止まった場合はロッドを回転させ 0.25m毎の半回転数を測定する。	試験器具は手動式、半自動式、全自動式に分類される。軽量、コンパクトであることが最大の特徴で小規模建築物の地盤調査に広く普及している。欠点として、概略的な土質判定しかできないことがあげられているが、土質試料を採取する機材が開発され、同時に土を観察することが可能になった。	$W_{sw}$ : 貫入に必要な荷重の最小値 $N_{sw}$ : 測定した半回転数と貫入量から換算した 1m あたりの半回転数 $W_{sw}$ 、 $N_{sw}$ から $N$ 値の換算式、一軸圧縮強さの換算式、支持力の推定式などの提案がされている。	10m 程度	高田 設計室 ソイル
電気式コーン貫入試験 (CPT) [三成分コーン貫入試験]	JGS 1435	電気式コーン貫入試験は、先端角 60° 直径 35.7 mm (面積 1000mm <sup>2</sup> ) の形状のコーンを地盤に静的貫入させる。一般に普及している三成分コーン貫入試験は深度と共にコーンの先端抵抗と間隙水圧、周面摩擦の 3 つの成分を同時に測定する。この 3 成分の他に P 波、S 波加えて測定するサイミックコーンもある。	試験結果から土質分類、粘性土の非排水せん断強さおよび液状化抵抗の評価などが精度よく得られる。また、短時間に解析結果が得られる。貫入装置の小型化により戸建住宅の地盤調査に利用されている。	$qc$ : 測定コーン貫入抵抗、 $fs$ : 測定周面摩擦抵抗 $u$ : 間隙水圧 $qc$ 、 $fs$ 、 $u$ から土質分類、力学特性、圧密特性、液状化判定などの関係式が提案されている。	30m 程度	廣部 アキュ テック
平板載荷試験 (PLT)	JGS 1521	地盤面に直径 300mm の載荷板を設置し、5～8 段階の段階式載荷方法で載荷することが多い。載荷板に変位計を 4 つ設置して載荷時の沈下(変位)を測定する。荷重の保持時間は初期載荷 30 分、再載荷 5 分程度の一定時間とする場合が多い。	直接地盤の支持力を測定する試験であるが、試験結果は、試験地盤面から載荷板直径の 1.5～2 倍程度の深さ方向の地盤が影響していることから、実際の基礎幅と深度方向の地盤構成を考慮する必要がある。戸建住宅の基礎の検討では利用されることは多くはないが、SWS 試験などの深度方向の調査と併用すると有効である。	支持力特性: 極限支持力度 変形特性: 地盤反力係数	試験深度の 限界はない。	中村 兼松日 産農林
スクレイドライバー式 サウンディング試験 (SDS)	-	最大 7 段階の荷重による連続的な回転貫入を行い、各荷重段階におけるトルク、ロッド 1 回転当りの貫入量を測定する。先端トルクの値を求めるために 25cm 貫入後にロッドを 1cm 引き上げた時のトルクを測定し、先端部以外のトルクの値を測定する。	一部の全自動式 SWS 試験機に機能を付加したものを用いている。SWS 試験より精度よく土質判定が可能で砂と砂以外に判別でき、 $N$ 値を精度よく推定できる。試験機は、SWS 試験機的应用であり、戸建住宅の地盤調査に適しており、特徴も多く共有している。	$T$ : 先端トルク $W_{0.25}$ : 25cm に貫入に要する荷重 砂と砂以外では、回転トルクと荷重の関係を表す $dT/d_{wp}$ と $W_{0.25}$ の値に違いがあり、判別が可能となる。	10m 程度	深谷 ジャパン ホーム シールド
表面波探査	-	表面波(レイリー波)探査は物理探査の一種である。地盤にカケヤによる打撃や起振器により人工的に発生させた弾性波を地表面に設置した受信機によりひろい、速度を測定する。起振器と直線上に受信機を 2～3 個設置して測定する方法と長い測線上に 24～48 個の受信機を設置する多チャンネル式で測定する方法がある。	波の周波数によって伝播する深さが違うことから深度方向の速度構造を求めることができる。地盤を伝播する弾性波(S波)は、 $N$ 値との相関性が比較的高く、戸建住宅の地盤評価が可能である。ただし、地中の構造物や瓦礫などの影響を受けることもあり、解析には注意を要する場合もある。	表面波(S波)速度の深度分布 $N$ 値の推定	10m 程度 (多チャンネルの 場合は 20m 程度)	渡邊 ビック
標準貫入試験 (SPT)	JIS A 1219	SPT サンプラーを用いて動的貫入を行う試験で、一般にはボーリング孔を利用して行う。試験は、質量 63.5kg のハンマーを 760 mm の高さからアンビルに落下させ SPT サンプラーを地盤に打ち込む試験で、300 mm 打ち込むのに必要な打撃回数( $N$ 値)を求める。	$N$ 値は、土の硬軟、縮まり具合を示す指標である。 SPT サンプラーで採取された試料を観察し、土質区分、色調の情報が得られ、物理特性を求める試験試料に用いられることもある。 戸建住宅の基礎の検討では鋼管の支持層確認などに利用されることがある。	$N$ 値 $N$ 値と砂の相対密度や $N$ 値とせん断抵抗角の関係など $N$ 値と多くの地盤定数との推定式が提案されているが、一部に相関性が高くない式もあり、推定式などが提案された背景などを十分考慮した上で式を利用をされることが望まれる。	深度の限界について明確なものはない。打撃効率や有効土載圧による補正が提案されている。	渡辺 トラ バース
ラムサウンディング ○オートマチックラムサ ウンディング (SRS) ○ミニラムサウンディ ング(MiniRS)	ISO 22476-2	SRS: 外径 45mm (底面積 1590 mm <sup>2</sup> )、先端角 90° のコーンを質量 63.5kg のハンマーを 500 mm の高さから自動落下させる。また、ロッドに加わる周面摩擦を回転トルクにより測定する。 MiniRS: 外径 36.6mm (底面積 1052 mm <sup>2</sup> ) のコーンを質量 30kg のハンマーを 350 mm の高さから自動落下させる。	現在、ラムサウンディング試験は、JIS、JGS の規格基準には定められていない調査方法であるが、 $N_d$ 値は $N$ 値との相関性が高く、SWS 試験では貫入困難となる地盤や鋼管等の支持層確認に用いられている。 SRS と MiniRS では打撃エネルギーが異なり貫通能力に違いがある。	$N_d$ : 補正された打撃回数 $N_d$ は、測定された打撃回数 ( $N_d$ $m$ ) から周面摩擦相当の打撃回数を引いた値である。 $N_d$ 値と $N$ 値の関係は $N_d = N$ がほぼ成り立っている。	SRS: 30m MiniRS: 20m	望月 ジオソ リユー ション
その他	各種サンプリング方法(ハンドオーガーボーリング SWS 試験孔を利用したサンプリングなど)、地下水位測定方法(SWS 試験孔内の水位測定など)、土質試験方法など、地盤調査に関連した課題がある。					小川 報国E
備考	※JIS: 日本工業規格、JGS: 地盤工学会基準、ISO: 国際規格(国際標準化機構)					



事故を起こさないことを前提に合理的な地盤判定フローが早期に確立されることを望む。

### 3) 目的に応じた調査方法

SWS試験が小口径鋼管やコンクリートパイルの支持層の層厚確認に不向きなことは明らかであるが、現実にはSWS試験による調査のみで、支持層の層厚の確認することもなく補強工事が行われている場合もあるようである。もちろんこのような場合でも近隣の施工実績やペーパーロケーションによる確認を行った上での設計・施工である。

当然のことであるが、地盤調査は、地盤判定（補強工事の要否の判定）ができるだけでは不十分で、地盤補強が必要な場合には、地盤補強の設計が可能な地盤データを得る必要がある。

調べる目的に応じた適切な調査方法を提案するためには、調査方法の特徴を把握しておく必要がある。

小口径鋼管の支持層確認であれば、SPTやSRSが適しているといえるが、先端地盤の土質まで確認したい場合などは、SPTが適している。

また、液状化に対する抵抗率 $FL$ は、ボーリング孔から砂の乱さない試料を採取し、繰返し非排水三軸試験などの液状化強度試験から求める方法が精度の高い結果を得られる。一方、CPTは単独の試験結果で十分な液状化判定が可能な試験法で、 $FL$ を推定する方法も提案されている<sup>3)</sup>。この2つの方法で $FL$ を求めた場合、繰返し非排水三軸試験から得られた $FL$ はCPTで得られた $FL$ より精度が高いが、地表面の変状など建物の被害の程度を示す $D_{cy}$ の値は、深度方向に連続的にデータが得られるCPTと液状化強度試験を比較した場合、一概に繰返し非排水三軸試験の方が高い精度で得られるとはいえない。

試験機の貫入能力や機器の持つ特徴による優位性や深度方向に連続的にデータが得られる試験と任意の深度で精度の高い値が得られる試験のそれぞれから得られた値は調査や解析目的に応じて調査方法を選定することが大切である。

### 4) 試験機の点検整備

以前、SWS試験は手動式が主流の時代があった。ハンドルから伝わる感触を大事にしようと言っていた時代があったが、今では、全自動式の試験機が主流となり、重労働であった錘の上げ下げから調査員は解放された。しかし、手動式の時には感じた100kgの質量が、全自動式ではまったく伝わってこない。すべて機械を信じ、正しく機械が動いていることを前提に試験を行っているのが現実である。

SWS試験の自動試験機に限らず、多くの調査機がデジタル化されていることから、調査機が毎回正しく作動するかを確認することと誤った測定結果に早く気が付く仕組みが重要である。試験機器のキャリブレーションや日常点検、定期的な点検は調査機器の精度を維持する上で重要である。



写真-1 SWS 試験機（全自動式）



写真-2 電気式コーン貫入試験機

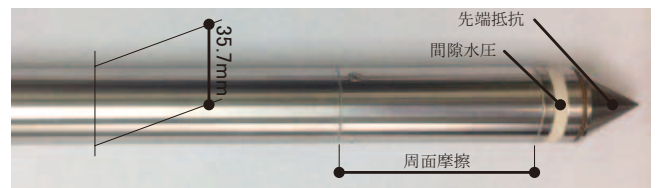


写真-3 三成分コーン



写真-4 平板载荷試験の試験状況



写真-5 平板载荷試験の測定装置





写真-6 SPT 試験状況

写真-7 土質試料採取の状況



写真-8 オートマチックラムサウンディング試験機



写真-9 表面波探査の試験状況

## 4. SWS試験器の点検整備

先に試験機の点検整備で述べたことと重複するが、SWS試験の自動記録装置は、2013年改正のJISにおいて、あらかじめ作動確認及びキャリブレーションを行う必要があると規格の解説に示された。

取材させていただいた自動試験機メーカーでは、定期点検を推奨している。定期点検では、荷重の確認が行われ、一部のメーカーでは基準値に対して+0.03kN以内を出荷基準に定めて整備を行っている。一方で、メーカーは日常点検・月次点検のチェックリストをユーザーに提供して、日常的な点検を推奨している。また簡易的ではあるが荷重確認ができるよう手順を示している。写真-10はジオカルテⅡの荷重確認装置、写真-11はジオカルテⅢの荷重確認状況である。両タイプとも500Nと1000Nの荷重を確認できるよ

う試験機にプログラムされている。

日々行われているSWS試験の信頼性を確保するためには、調査員が継続的に行う点検が重要で、日常点検、月次点検と共に荷重確認を日常的に行い、 $W_{sw}$ が基準値内であることを確認するとともに値の変化に早い時期に気が付き対処することが重要である。

また、SWS試験機の急な故障で現場のやり繰りに困ったことはないだろうか。制御ボックス内の雨水等の侵入による故障の修理費は高額になることを知っている方は多いと思う。日常点検の実施は調査機器の信頼性の向上と機器の不具合の早期発見につながり、試験機器の寿命を延ばすことになり、調査機器毎の状態を日常点検の状況から把握した上で、メーカーの定期点検の時期を決定することを提案したい。



写真-10 ジョカルテⅡの荷重確認状況



写真-11 ジョカルテⅢの荷重確認状況

## 5. おわりに

戸建住宅における地盤調査は、事前調査（ペーパーロケーション）により宅地が有する地盤リスクをある程度、予測することも可能になり、宅地のリスクに応じた地盤調査計画が、各種調査方法を活用した提案がなされることが望まれる。ただし、大半の宅地はSWS試験のみで評価可能あり、今後もSWS試験が戸建住宅の地盤調査の中心的な試験法であることに間違いはない。したがって、SWS試験方法の問題点を把握した上で、それを補う対策が望まれる。またSWS試験機以外にも自動化された試験機が多く、機器の保守点検や試験精度を維持するためのキャリブレーションを定期的に行うことは重要である。

<参考文献>

- 1) 藤井他：調査の現状、建築技術、N678、pp100-101、2006.7
- 2) 国土交通省：国土交通省告示1113号、2001.7
- 3) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針pp64-65、2001.10