

各論

小規模建築物基礎設計のための
地盤調査・試験法の最近の動向

高田 徹*

1 はじめに

今回、「小規模建築物基礎設計のための地盤調査・試験法の最近の動向」という内容で執筆する機会を頂戴した。しかしながら正直に申し上げると、大きな動きはなく、今も昔も我が国ではスウェーデン式サウンディング試験（以下、SWS試験と記す）が王道の調査法として位置付けられている。

したがって、論じることままならないのが小生の本心である。しかしながら、小さな動きは少なからずある。具体的には、SWS試験の技術的な課題を解決しようとする研究や、SWS試験で基礎設計が困難と判断した場合の安価な追加調査法が開発されていたりする。

本稿では、まず、小規模建築物基礎設計の概要について述べた後、上記で示した最近の動向について解説する。

2 小規模建築物基礎設計の流れと歴史

図-1は、日本建築学会発行の小規模建築物基礎設計指針（以下、小規模指針と記す）¹⁾に示された地盤調査フローの抜粋である。これを見て分かるように、事前調査（資料による調査）後にSWS試験が実施され、自沈

層の有無に関する条件に該当する場合は、追加調査を行って基礎計画へと進む。なお、図中の自沈層の有無に関する条件は、2001年国土交通省告示1113号でSWS試験による地盤の許容応力度を定める方法に準じている。

図-1は2008年に発行されたものであるが、小規模建築物の基礎設計および地盤調査は、今もこの流れに沿って概ね進められている。

小規模建築物では、かつては地盤調査すら実施しない場合も少なくなかった。SWS試験が小規模建築物の地盤調査として用いられ始めたのは、住宅の着工戸数が急激に伸び始めた1970年頃だといわれている。これは、住宅の着工戸数の増加に伴って、造成地盤での着工が増えたことで、住宅の不同沈下が問題視されたことと関係している²⁾。その後、1988年に木造建築士の制度化とともに、日本建築学会から「小規模建築物基礎設計の手引き」が発刊され、この手引書では小規模建築物の地盤調査として「SWS試験」が推奨されている³⁾。しかし、本格的にSWS試験が定着して全国的に広まったのは、建築基準法の改正や「住宅の品質確保の促進等に関する法律」が施行された2000年頃だといわれている。

SWS試験は簡便な調査であるがゆえ、多くの業者が住宅地盤業界に参入した。しかし、SWS試験が導入された頃は技術者養成の受け皿がなく、各調査会社は独自の基準で調査や地盤判定を行い、地盤に関わるトラブルは一向に減少しなかったようである。

このような状況の中、1999年、住宅地盤の専門調査工事会社の地位の確立と技術の発展を目的として、「NPO 住宅地盤品質協会（以下、住品協と記す）」が誕生した。現在、住品協の会員は462社（2018年12月時点）に至り、

全国の住宅地盤に関わる専門業者の大半が加盟している。住品協では、設立当初から技術者教育として資格試験制度を掲げ、試験に合格した技術者が調査や工事ならびに地盤判定の業務に携わるよう遂行している。現在では、6,428名の資格者が住宅地盤業務で貢献している。また、会員の技術基準を「住

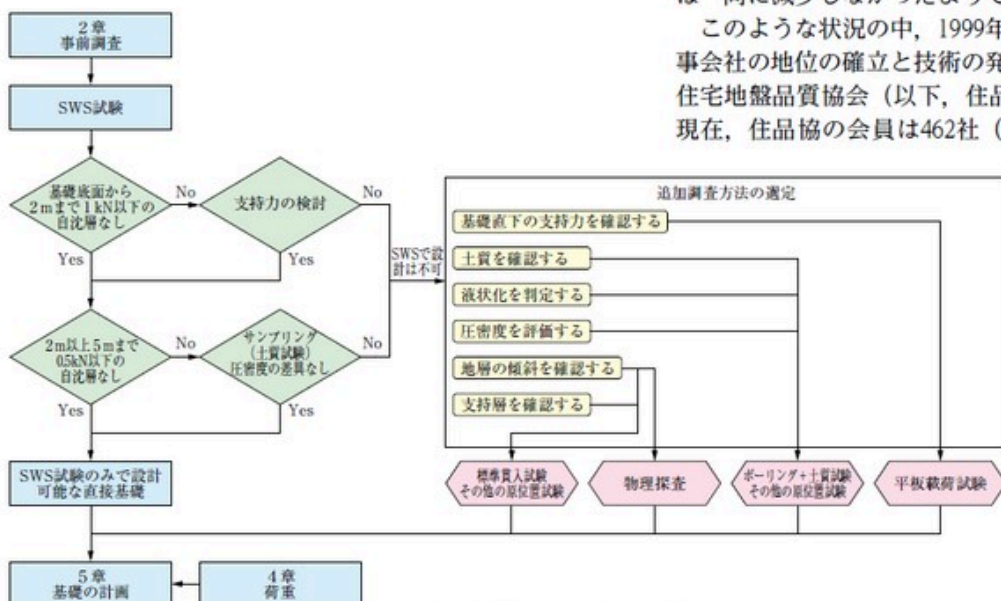


図-1 小規模建築物を対象とした地盤調査の流れ¹⁾

*TAKATA Tōru (株)設計室ソイル 代表取締役 社長、博士(工学) 技術士(建設部門) | 東京都中央区日本橋3-3-12 E-1ビル4F

宅地盤の調査・施工に関わる技術基準書⁴⁾と題して発行し、技術の変遷とともに随時改訂しながら、会員に業務基準の周知を徹底している。

以上の流れからすると、小規模建築物の地盤調査の現状や最近の動向を述べるには、関連した学会の基準類や論文などはもちろん参考になるが、実業務の動向を知るうえでは、専門家すなわち住品協の情報は極めて有益だと思われる。以下、主に住品協の資料類をもとに考察したい。

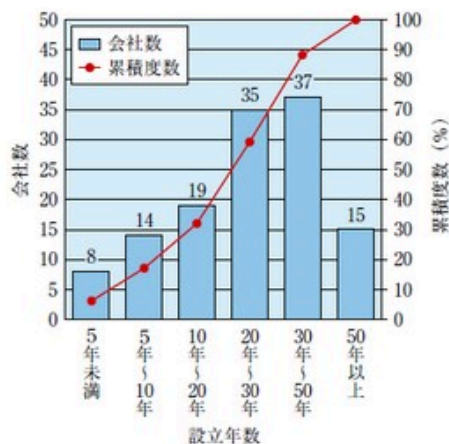


図-2 住品協会員会社の設立年数⁵⁾

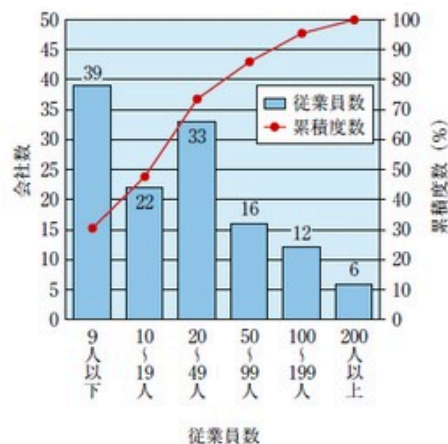


図-3 住品協会員会社の従業員数⁵⁾

3

小規模建築物を対象とした地盤調査の実際

本年1月、住品協の会員に対して住宅地盤業務に関するアンケートを実施した。アンケートの回答率は27%と低めであったが、回答数としては128社あり、まずまずだといえる。このうち、地盤調査の実態が把握できると思われる設問をピックアップして考察する。

図-2は、アンケートに回答した住品協会員会社の設立年数を示す。図より、設立50年未満の会社が88%あり、設立20年～50年の間が最も多く72社（35+37社：55%）であった。これはアンケートに回答した会社であり、会員全社を網羅しているわけではない。ただし2章で述べたように、この結果は、住宅の地盤調査が始まって定着化された1970～2000年代に設立した会社が多いことが分かる。また20年未満の会社も32%（19+14+8社）と比較的多かった。

図-3は、アンケートに回答した住品協会員会社の従業員数を示したものである。これを見て分かるように、49人未満の会社が94社（39+22+33社：73%）あり、このうち9人以下の会社でも39社（30%）あった。これは、全従業員数であって、このうち技術社員となるとさらに少なくなる。このような中小規模な会社が主体となって、住宅の地盤調査が行われている。そして、このような多くの小規模な会社に、ある一定の基準を守って地盤調査を行ってもらうことは、極めて重要でかつ難しい課題を抱えていると思われる。

図-4は、「地盤調査による補強の有無や工法選定は主に誰が行いますか？」という問いに対するアンケート結果である。最も多いのは自社、すなわち住品協会員会社（専門家）で75社（63%）あった。そして、得意先（ハウスメーカーなど）と回答した会員は5社（4%）と少なかった。

この結果は極めて残念で、ここに小規模建築物特有の問題が垣間見える。すなわち、建物の設計者の大半は、地盤補強の有無や工法選定に関与していないことが分かる。時折、設計者は専門性が強い地盤については専門者に任せているという。仕事を分業化することは間違っ

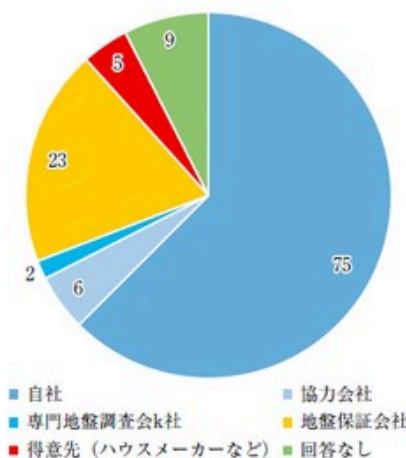


図-4 「地盤調査による補強の有無や工法選定は主に誰が行いますか」のアンケート結果⁵⁾

いないし、アンケートどおり96%もの設計者が下請け任せになっているとも思わない。調査会社にも工法選定を行ってもらい、それを参考にして設計者が最終判定していることを願いたい。しかし、住宅地盤の不同沈下に関する訴訟では、必ずしもそのようになっていない訴訟案件も少なくない。

そこで増えつつあるのが、地盤保証会社の存在で23社（19%）あった。地盤による不具合が生じた場合に保証してくれればよいとした保証ありきの工法選定である。また最近では、地盤保証会社同士の競合も激化しており、低価格で保証、すなわち地盤補強率を低く保って顧客数の増大を目指す風潮があったりする。

地盤保証会社にも技術者はいるが、一般から見れば保険会社であり、調査工事会社でも建物の設計者でもない。例えば、ガン保険に加入したからといって、これまで以上に安心して喫煙する人はいない。あくまでも保証だという認識を設計者にも持ってほしいし、保証会社のいいなりになるなど論外である。

図-5は、「地盤調査はどんな方法で実施していますか」という問いに対するアンケート結果である。これを見て分かるように、SWS試験は、回答数120に対し117社と98%の実施率であり、これは図-1で示した地盤調査の流れに準じて進められていることが伺える。

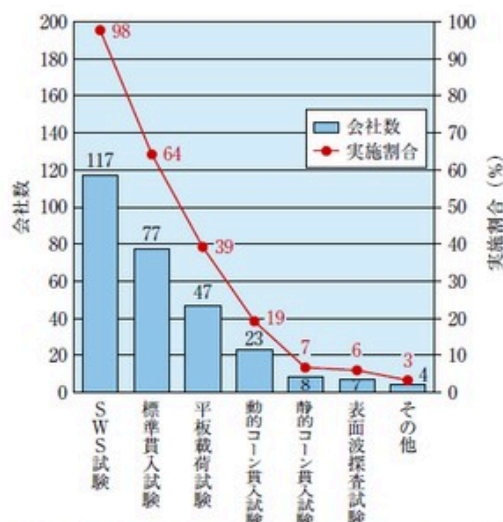


図-5 「地盤調査はどんな方法で実施していますか」のアンケート結果⁵⁾

SWS試験以外の調査法は、概ね追加調査法として利用する割合だと予想するが、その中でも平板載荷試験が47社（39%）と、そこそ利用頻度が高いという印象を受けた。SWS試験で浅層部に自沈層が存在する場合、補強を行わずに直接基礎で建設できるかを見極めるのに利用されていると推測する。

次に標準貫入試験は、支持層を見極めるほかボーリング調査を伴うことから、土質を目視判別するのに利用できるため、実施割合は77社（64%）と比較的高いといえる。これは、ある程度納得できる結果で、特に集合住宅などは比較的建築面積も大きくなることから、SWS試験以外にボーリング調査を併用するといったハウスメーカーも増えつつある。このような傾向がアンケート結果に含まれていると考える。

そして、動的コーン貫入試験も23社（19%）とそこそ利用されている。動的コーン貫入試験はボーリングを併用しないので、比較的安価に支持層を見極めるのに有効な調査法である。SWS試験だと硬質層で貫入不能になって、支持層の厚さが確認できないケースや、浅層部の盛土層で高止まりして下部が調査できないケースで、標準貫入試験よりも安価に支持層を見極めることができる。地盤補強を行うことが予想される地盤であれば、有用な調査法だと考えられる。

4 SWS試験の課題と最近の動向

4.1 調査機の自動化と調査データの電子化

SWS試験は、調査の自動化とデータの電子化に関して飛躍的に進歩した調査法である。住宅において地盤調査実施の普及促進が図られた時代に、もともと手動式のSWS試験は重労働を強いられ作業手間も多かった。特に住宅着工件数の多い大手ハウスメーカーでは、調査の自動化は必要不可欠な開発テーマだったといえる。

またSWS試験機は貫入の自動化のみならず、最近ではデータ取得やデータ処理も容易になっている。試験機に保存された調査データは、現場から直接事務所やクラ

ウド上に送信され、データ処理の迅速化や改ざん防止に繋がっている。このような機械式の作業が最近では圧倒的に多く、手動式の装置は自動式の機械が持ち込めない場合など、限られた現場条件でしか用いない傾向にある。この機械開発が調査人員の省力化や調査コストの低減に繋がったのは間違いない。

しかしながら、その代償もあり、1つは技術者が育ちにくいことである。機械のセットとロッドの継足し作業を行えばよいと思う勘違いした調査者もいる。中には機械で貫入している間に、調査の終えた貫入ロッドを引き抜く作業が普通に行われており、これでは貫入音を聞くとか、沈降速度を的確に把握するなど無理である。

手動式の装置は、少なからず調査者がハンドルを回して貫入の感触を掴み、曲って入れれば貫入しにくいとか、自沈速度を見ながら錘を加えるなど地盤をイメージしながら調査に専念できる。しかし、自動式から入った若手調査者は、地盤に興味もなく調査している節があり、機械やセンサーを過信する傾向がある。高額で高精度な装置だから正しく調査できると思い込んでいるが、キャリブレーションや日常の点検があって、初めて調査機器の精度が維持される。また得られた調査データに対して疑問に思わないせいか、あるいは調査コストの低価格化が進んだゆえに、1日に2～3現場かけもちして調査するといったことが至極当然に行われるせいか、補足して調査してあればと思うデータも多くなっている。

もう1つは、手動式に比べ機械式の方が労災事故が生じやすくなる点である。SWS試験が軽作業という認識でいる方も多いと思うが、機械式による労災事故も少なからず生じており、十分注意が必要である。

4.2 バラツキを考慮したSWS試験結果の評価手法

SWS試験は、簡便な調査がゆえバラツキの多い調査法であることは周知の事実としてある。

これに対し、「2018年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針」⁶⁾では、設計上の考慮として、測定された貫入抵抗値 (W_{sw} , N_{sw}) から N 値、一軸圧縮強さ q_u を推定する際、従来の推定式に低減係数0.8を掛ける手法が示された (式(1), (2))。この数値の根拠は示されていないが、バラツキを踏まえた下限値だと予想する。

$$N = (2W_{sw} + 0.067N_{sw}) \times 0.8 \quad \cdots \cdots (1)$$

$$q_u = (45W_{sw} + 0.75N_{sw}) \times 0.8 \quad \cdots \cdots (2)$$

(W_{sw} 単位: kN, N_{sw} の上限値は150とする)

また自沈層に関しては、原則として $N=0$, $q_u=0$, すなわち改良体の周面摩擦力を見込まないことが示されている。そして、自沈層の摩擦力を見込む場合、ならびに改良体先端部を自沈層で止める場合は、 W_{sw} の各荷重段階における沈降速度の様子を的確に把握するとともに、建築物の沈下または変形について十分留意することが示されている。

自沈層に関しては、2001年国土交通省告示1113号の告示式でも、自沈層は支持力の評価対象にしていないことから、さほど目新しいことではない。これらの詳細については、参考文献6)ならびに次回以降の特集号で解説されると思うので、ここでは考察を控えるが、将来的にはこのような自沈層の調査がより精度よく測定できる機械

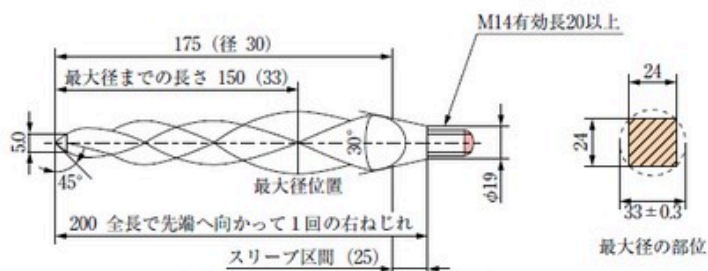


図-6 スクリューポイントの例⁸⁾ (単位: mm)

開発が進めば、評価対象になっていく可能性はあると考えている。

なお、このようなSWS試験結果のバラツキへの対応については、住品協においても古くから理解して検討課題にしておき、技術基準書⁴⁾ならびに教育セミナーなどを通じて会員に伝えている。具体的には、以下のような低減を加えて改良体の周面摩擦力の設計を行っている。

- ① 経過年数の少ない盛土層の摩擦は評価しない。
- ② 有機質土層ならびに有機質土層以浅の摩擦は評価しない。
- ③ 礫やガラなどの影響で、過度に回転したと予想される測定値は低減して評価する。
- ④ 自沈層に挟まれた50cm以下の回転層は、低減して評価する。

上記の項目は、SWS試験結果でバラツキが生じやすい地盤データや、過去の沈下事故データの蓄積と分析により作成された指標であり、十分参考になると考えている。

これらの低減を行えば、購入者に対してより安全を与えることはできるだろうが、一方では購入者に過剰な経済的負担を強いることにも繋がりがかねない。これに対し、今後必要な検討課題としてあるのが、深い深度における自沈層の評価手法である。例えば、軟弱な沖積粘性土層が深度20～50mと深くまで連続するような地盤(自沈層)で木造住宅を建設するのに、その深度まで改良長とするのは正しいことだろうか。現状では、この提案以外に、①深度5mまでを建物荷重の影響範囲として見る、②ボーリング調査を実施して適切な改良長を見極めて設計するなどあるが、いずれも一長一短がある。

これに対して小川・加藤⁷⁾は、沖積層におけるSWS試験結果と室内力学試験を行った現場データを収集し、同じ自沈荷重でも深度方向で異なる強度結果が得られていることを分析している。今後、このような研究が進めば、現状より進展した解釈の手法ができると思われる。

4.3 スクリューポイントの摩耗について

SWS試験の規格(JIS A1221:2013)では、スクリューポイントの形状を図-6のように規定している。スクリューポイントの摩耗が進むと、一般に自沈荷重は小さくなり、回転数は大きくなる傾向にある。

この摩耗に関してJISの解説では、摩耗して角のとれたもの(最大径で3mm程度以上減少したもの)を使用しない方がよいとし、この判定はリングゲージまたはノギスによることが示されている。



写真-1 リングゲージによる判定

スクリューポイントをリングゲージで測定して判定することは十分行われているが、単純に最大径の管理のみで使用可能かを判定することがある。写真-1はその判定例で、両スクリューポイントとも3mm以上の摩耗には至っていない。しかし、写真-1の②は、①に比べて明らかに角がとれ、ほぼ円錐状の形状を示している。これでは角のあるスクリューポイントと比較して、ねじりによる貫入能力に差があるため、回転数に大きな差が生じてしまう可能性がある。住品協では次回の基準書⁴⁾の改訂においてリングゲージの判定以外に、このような明らかに摩耗したものは使用しないよう推奨していくようである。

5 おわりに

小規模建築物では、SWS試験は有用な調査法として、そのバラツキを考慮した様々な改善策が提案されている。今後も利用価値は高まるだろうが、我々SWS試験を利用する技術者は、万能な調査法など存在しないことを今一度理解したい。そして、造成地盤を含め地形・地質によっては、SWS試験以外の調査法で評価する流れが一般化するとよいと思ったりする。

参考文献

- 1) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針，p. 30，2008。
- 2) 藤井衛，田村昌仁，伊集院博：小規模建築物の地盤を対象としたスウェーデン式サウンディング試験方法の評価と問題点，日本建築学会構造系論文集，第557号，pp. 121～128，2002.7。
- 3) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計の手引き，1988。
- 4) NPO住宅地盤品質協会：住宅地盤の調査・施工に関わる技術基準書，第3版，2016。
- 5) NPO住宅地盤品質協会：委員会報告(研究・情報収集委員会)，住品協技術報告会発表概要集，2019.2。
- 6) 日本建築センター，ベターリビング：2018年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針，2018.11。
- 7) 小川正宏，加藤清次，他7名：沖積層におけるスウェーデン式サウンディング試験と土質試験の結果比較(その1：結果概要，その2：一軸圧縮強さと圧密降伏応力の推定)，日本建築学会大会学術講演梗概集，2017.8。
- 8) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，2013。