

サウンディングによる地層の深さ変化の面的把握技術

浅井健一

1. はじめに

自然地盤には地質・地盤の状態そのものに起因する不確実性が存在し、それらの不確実性は土木などの事業に影響を及ぼす（当初の想定と設計条件が乖離し、結果として工期や工費に変更が生じたり、最悪の場合事故が生じたりする）ことから「地質・地盤リスク」と呼ばれている¹⁾。地層の傾斜・不陸（深さ変化）も地質・地盤リスクの1つであり、例えば杭基礎の支持層の深さの面的変化の把握不足によって杭先端の支持層への未到達が生じるといった不具合の問題も指摘されている^{2),3)}。

このような地層の深さ変化はボーリング調査地点を密に配置することにより面的に把握可能であるが、ボーリング本数が増加した分だけ調査費用が増大する。それに対し、ボーリング地点間をボーリング不要なサウンディングで補完する形で調査できれば、全数をボーリングのみで調査するのに比べてより経済的な調査が可能になると考えられる⁴⁾。

このような観点のもと、土木研究所では、サウンディングによる地層の深さ変化の面的調査の適用性について現地試験による検討を行った。なお、本研究は（国研）土木研究所、（一社）コンクリートパイル建設技術協会、（一社）鋼管杭・鋼矢板技術協会、（一社）日本基礎建設協会および（一社）全国地質調査業協会連合会で行った「岩を支持層とする杭基礎の設計・施工法に関する共同研究」の一環として実施したものである。

2. サウンディングの種類

JIS A 0207「地盤工学会用語」⁵⁾ではサウンディングは「原位置試験の一つで、抵抗体を地盤中に挿入し、貫入、回転又は引抜きをするときの抵抗力を計測して地盤の硬軟、縮まり具合などを調べる試験」と定義されている。サウンディングには

様々な種類があり⁶⁾、適用可能な地盤の種類や調査可能な深さも様々であることから、地質・地盤の状態、構造物基礎の想定深さ等を考慮して手法を選定する必要がある。例えば岩盤を支持層とする杭基礎の支持層の深さ変化を調査する場合には、杭基礎が想定される程度の調査可能な深さと岩盤風化部等へのある程度の貫入力を有する方法が必要である⁴⁾。

本研究では、杭基礎が想定される深さまで調査可能な手法としてオートマチックラムサウンディングに着目し、地層の深さ変化を面的に把握するための現地試験を行って適用性を検討した。オートマチックラムサウンディングは質量63.5kgのハンマーの連続打撃（落下高さ500mmの自由落下による打撃を連続して行う）によりロッドの先端に装着した直径45mmのコーン（写真-1）を地盤中に鉛直に貫入させて貫入量200mmごとの打撃回数を測定する試験で、本手法を小型軽量化（ハンマー、ロッド、先端コーンの小型化など）したミニラムサウンディングとともに、地盤工学会基準JGS 1437「動的コーン貫入試験方法」⁷⁾という名称で基準化されている。試験装置の例を写真-2及び3に示す。

オートマチックラムサウンディングは以下の理由により標準貫入試験⁸⁾に比べてより経済的な調査が可能である。

(1)標準貫入試験では試験を行う深さごと（1mごとに行う場合は1mごと）に「ボーリング孔掘削→掘削用ビットを地上まで引き上げ→ロッドから掘削用ビットを外して標準貫入試験用のサンプラー（SPTサンプラー）を装着→ボーリング孔底までSPTサンプラーを下ろし打撃装置を取り付ける→標準貫入試験を実施→打撃装置を外してSPTサンプラーを地上まで引き上げ→ロッドからサンプラーを外して掘削用ビットを装着→掘削用ビットボーリング孔底まで下ろす→ボーリング孔掘削（以下「同様の繰り返し」



先端コーン：直径45mm、本写真例では使い捨て（引き抜き時に地中に残す）
 ロッド：直径32mm、20mmごとに目盛り、本写真例では1mごとに継ぎ足す

写真-1 オートマチックラムサウンディングのロッド及び先端コーン



キャタピラによる自走式のタイプ
 打撃回数を自動で記録する装置を内蔵

写真-3 オートマチックラムサウンディングの試験装置の例(2)



人力で移動するタイプ：移動時は横に倒す、車輪付き
 打撃回数はカウンターで測定し人が読み取る

写真-2 オートマチックラムサウンディングの試験装置の例(1)

という。)という工程が必要であるが、オートマチックラムサウンディングでは打撃を一時中断してロッドを継ぎ足すだけで、所定の試験終了深さまでロッドを引き上げることなく連続的に貫入を行うことが可能であるため、1mあたりの試験時間が短い。

(2)オートマチックラムサウンディングではボーリング孔の掘削が不要であるため、ボーリング

表-1 オートマチックラムサウンディングと標準貫入試験の費用比較
 (市場価格、文献9)及び10)による)

標準貫入試験			
積算資料2019年2月号			
貫入試験	ボーリング(φ66mm)		
	ノンコア	オールコア	適用
6,100 円/m	10,700 円/m	11,700 円/m	粘性土・シルト
8,140 円/m	12,500 円/m	13,700 円/m	砂・砂質土
建設物価2019年2月号			
貫入試験	ボーリング(φ66mm)		
	ノンコア	オールコア	適用
5,990 円/m	10,600 円/m	11,600 円/m	粘性土・シルト
7,860 円/m	13,300 円/m	14,600 円/m	砂・砂質土
オートマチックラムサウンディング			
積算資料2019年2月号			
6,880 円/m			
建設物価2019年2月号			
記載なし			

- ・標準貫入試験は「試験回数は1mあたり1回」及び「ボーリング孔径66mm」を想定
- ・費用はすべて直接調査費分
- ・仮設費、諸経費等は別途必要
- ・標準貫入試験の費用は貫入試験とボーリングの合算

孔の掘削が必ず必要となる標準貫入試験に比べて1mあたりの費用が概ね半分以下に抑えられる(表-1)。例えば文献9)の価格で比較した場合、粘性土地盤で1mにつき1回の標準貫入試験

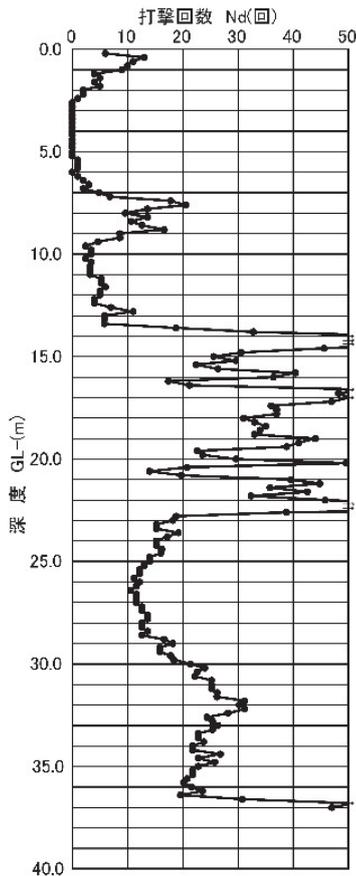


図-1 試験結果例(1)

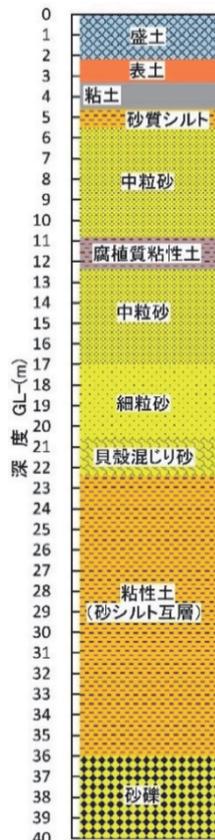


図-2 図-1の試験地のボーリング柱状図例

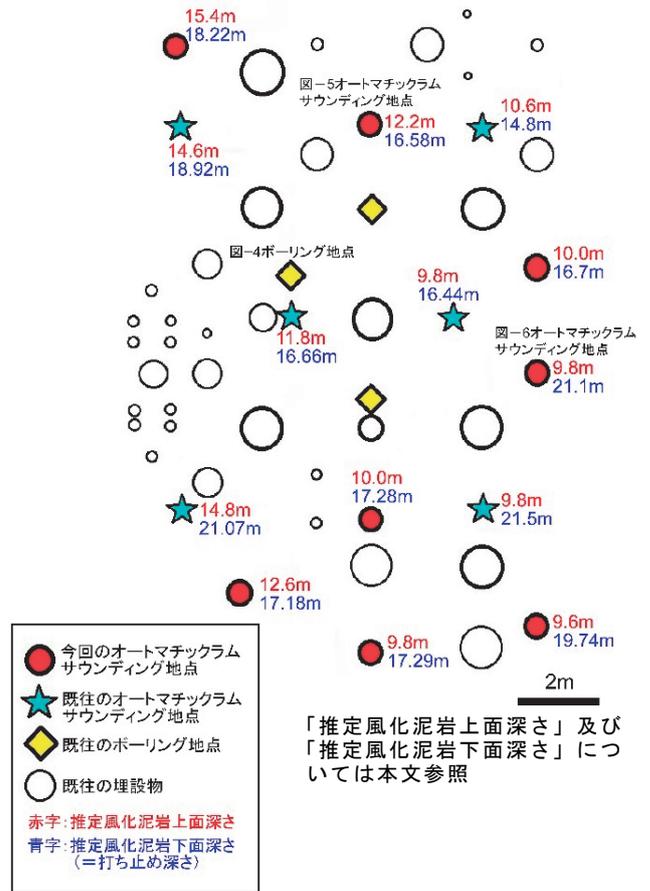


図-3 試験結果例(2)及び(3)の試験地の測点配置図⁴⁾

を行う費用（直接調査費分）は、1mあたり6,100円+10,700円×0.7m（1mのうち貫入試験分0.3mを除いた長さ、ノンコア掘削の場合）=13,590円/mで、オートマチックラムサウンディングの費用（6,880円、直接調査費分）は標準貫入試験の約5割となる

3. 現地試験による適用性の検討

複数の現場においてオートマチックラムサウンディングによる現地試験を行い、地層の深さ変化の面的調査への適用性を検討した。

図-1はオートマチックラムサウンディングの一般的な適用範囲（30m）⁶⁾を超える深さまでの試験を試みた例である。試験地は更新世の地層からなる台地で、試験地の地盤構成は図-2に示すボーリング柱状図のとおりである。このボーリングは図-1の試験地に最も近い既往ボーリングで、オールコアで掘削され標準貫入試験は未実施であるが、文献11)によれば、36m以深の砂礫層に相当する地層はN値50以上、その上位の粘性土層に相当す

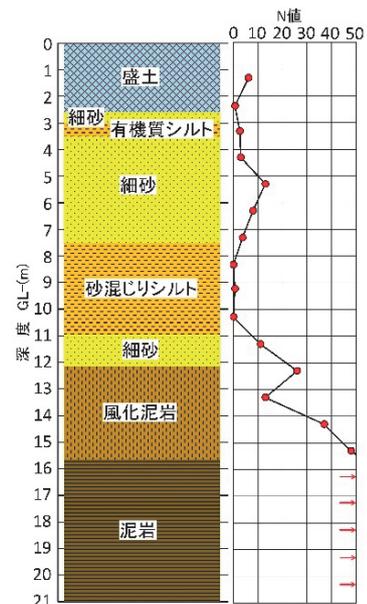


図-4 図-3の試験地の既往ボーリング例⁴⁾

る地層はN値10～30とされている。

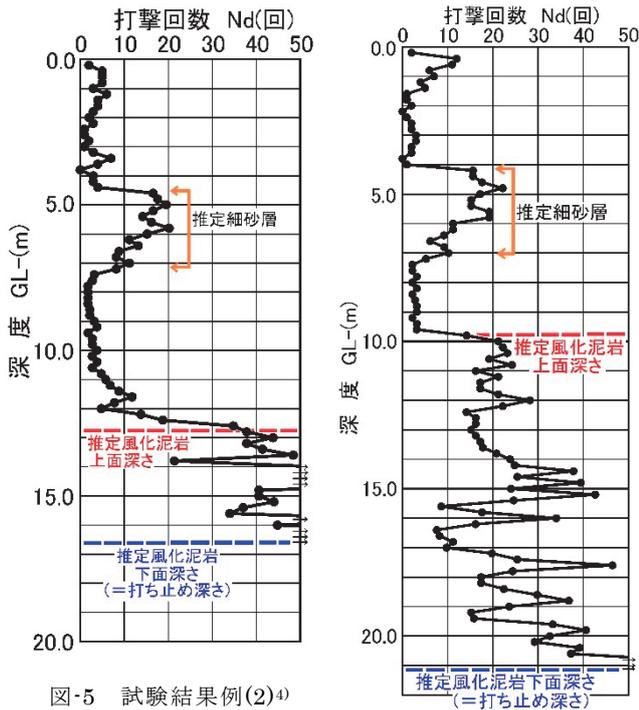


図-5 試験結果例(2)⁴⁾

図-6 試験結果例(3)⁴⁾

本試験例では深さ23~36m

30で推移した後、Nd値が急激に上昇して37m付近でNd値50付近に達したので打ち止めとし、結果として37mまで打撃貫入を行うことができた。図-2の柱状図及び文献11)の記述から、図-2の砂礫層に相当する地層に達したと判断した。なお、貫入可能な深さは途中の地盤の性状にも依存すると考えられ、当該試験地において深くまで貫入可能であった理由としては、砂礫層よりも上位の地層が軟らかく、かつ貫入の障害となる砂礫がほとんど含まれていないことが考えられる

図-3~6は中新世の泥岩の上位に完新世の地層が載る地盤において面的に測点を配置して試験を実施した例⁴⁾である。当該試験地は海岸平野に位置する15m四方程度の平坦地であるが、試験地における既往のボーリング及び周辺のボーリングデータ (KuniJiban) から基盤となる泥岩の深さにある程度の変化が想定されることから、試験に適する箇所として選定した。

当該試験地は共同研究者の協力により試験地として提供いただいたものであるが、過去にオートマチックラムサウンディング、ボーリング、杭の打設試験、地盤改良試験等が行われており、杭や地盤改良体等が地中に残置されている。したがって、既往のオートマチックラムサウンディング及びボーリングの地点と重複しないように、また各

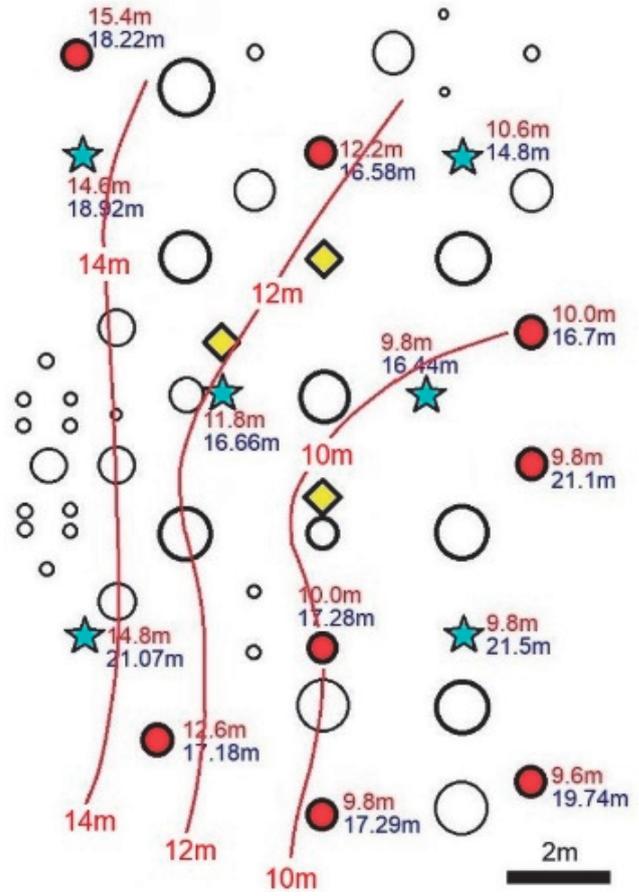


図-7 風化泥岩上面の推定深さの等深線図 (図-3に加筆、等深線以外の凡例は図-3に同じ)

種試験による既往の埋設物 (残置された杭や地盤改良体等) を避けながら測点を配置 (図-3) して試験を行い、既往のボーリング調査結果と比較しながら適用性を検討した。試験地の地盤構成は図-4に示すボーリング柱状図のとおりである。本試験地における打ち止めは本試験地における既往の試験結果を参考に、打撃回数200回で貫入量が200mmに達しない時点とした。

試験結果の代表例を図-5及び6に示す。図-5の試験例では、深さ4.6~7.2m付近でNd値が10~20付近と上位及び下位 (Nd値5程度またはそれ以下) に比べてやや高く、この部分は図-4の深さ3.5~7.5mの細砂層付近と推定される。Nd値は深さ12.0mで5を記録した後に上昇して深さ12.8mから38、44、38、41と推移したことから、本試験例では深さ12.8mを風化泥岩の上面と推定した。深さ14.4mではNd値100まで上昇したがその後再度40前後まで下がったことから、風化泥岩が続いていると判断し、貫入を続けた。打ち止

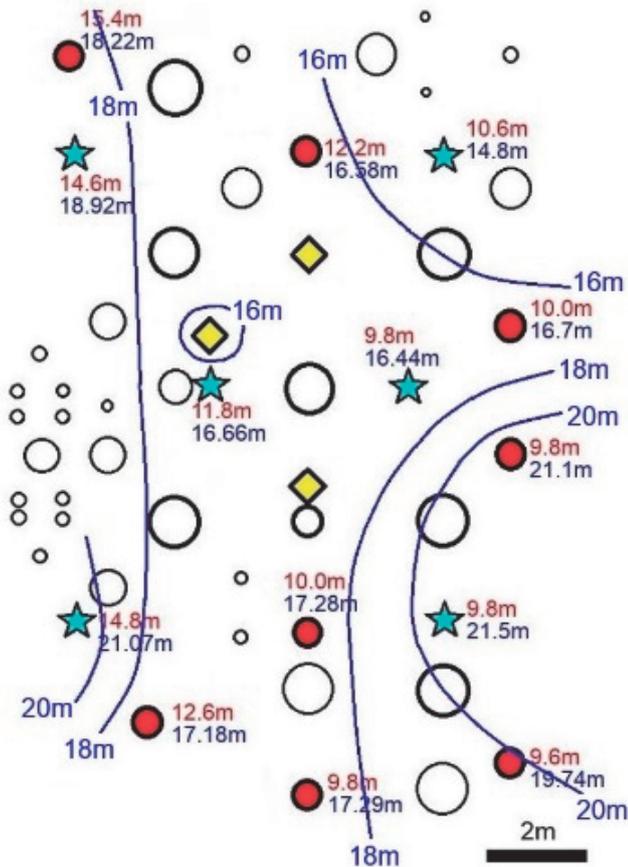


図-8 風化泥岩下面の推定深さの等深線図
(図-3に加筆、等深線以外の凡例は図-3に同じ)

めとしたのは打撃回数200回で貫入量が200mmに達しなかった16.58mである。図-4のボーリング柱状図との比較から、概ね風化泥岩の下面に達したと判断した。

図-6の試験例では、深さ4.2~7.0m付近でNd値が10~20付近と上位及び下位(Nd値5程度またはそれ以下)に比べてやや高く、この部分は図-4の深さ3.5~7.5mの細砂層付近と推定される。Nd値は深さ9.6mで3を記録した後上昇して深さ9.8mで15、それ以降はNd値20前後で推移したことから、本試験例では深さ9.8mを風化泥岩の上面と推定した。ただし本試験例では図-5の試験例と異なり、Nd値30~40と10~20(部分的には10以下)の区間が繰り返し見られる。想定としてこの部分は泥岩の風化部が乱されていることが考えられる。打ち止めとしたのは打撃回数200回で貫入量が200mmに達しなかった21.1mである。上位の区間に比べて明らかに堅いことから、概ね風化泥岩の下面に達したと判断した。

これらの試験例で示されている、Nd値が上昇し始める深さ(概ね風化泥岩の上面)、打ち止め

深さ(概ね風化泥岩の下面に相当する)を図-3に数値で、また図-7及び8に等深線図(図-3に示す各オートマチックラムサウンディング地点での深さの数値と下記に示すボーリング地点での深さの数値を用いて作成)で示す。図-7では、風化泥岩上面の推定深さは本図の右下部では概ね10m前後であるが、本図の左上に向かって次第に深くなり、本図の左上端では15mを超える。図-4のボーリングでは図-4のボーリングでは風化泥岩の上面は深さ12.15m、他の2本のボーリングでは深さ10.35m(図-7の中央上のボーリング)及び深さ9.8m(図-7の中央下のボーリング)である。風化泥岩上面の深さの面的変化があることはこれら3本のボーリング結果のみからもわかるが、本図に示される面的な深さ変化の状況と5mに達する深さ変化の量はオートマチックラムサウンディングによる補完を行うことで初めて判明したものである。

図-8では、図-4のボーリング柱状図と図-5その他のオートマチックラムサウンディング結果との比較から、打ち止め深さが概ね風化泥岩の下面に相当すると推定して示したものである。図-4のボーリングでは風化泥岩の下面は深さ15.65mで他の2本のボーリングでは示されていない(風化部・未風化部を一括して泥岩とされている)。風化泥岩下面の推定深さは本図の右上~中央部では概ね15~16mであるが、本図の右下及び左下では局所的に深さ20mを超える場所が存在する。このような局所的に風化が深い場所は図-4のボーリングのみで推定することはできないもので、オートマチックラムサウンディングによる補完を行うことで初めて判明したものである。この部分のオートマチックラムサウンディング結果は図-6の例に示すように、打ち止めに至る前にNd値数10以上と10前後またはそれ以下が繰り返す結果が見られ、例えば風化泥岩が局所的に乱されている可能性が想定できる。

このような岩盤の深さ変化は地質・地盤の不確実性の1つであり、例えば図-8の試験地で杭基礎を構築することを想定した場合、図-4のボーリングのみでは風化層の下の基盤の深さの局所的な変化を把握できないまま設計が行われ、結果として杭の一部について支持層への未到達が生じ、構造物の沈下・傾斜等の不具合が生じるおそれがある。

それに対して当該試験地のようにボーリングを補完する形でオートマチックラムサウンディングによって地盤の深さの面的変化を把握することにより、杭を支持層に確実に根入れする設計を行って基礎の不具合を避けることが可能となるなど、地質・地盤の不確実性による影響の低減すなわち地質・地盤リスクの低減に貢献することができると考えられる。

なお、当該試験地におけるオートマチックラムサウンディングでは岩盤風化部への打撃貫入が可能であったが、これはボーリング調査結果とオートマチックラムサウンディングの試験結果を比較したことにより判断できたことであり、ボーリング調査結果なしでオートマチックラムサウンディングの試験結果のみで適切に判断することは不可能と考えられる。また、岩盤風化部の性状は現場によって大きく異なることが想定されることから、当該試験地での結果は必ずしも全国すべての岩盤の風化部の調査が可能であることを意味するわけではなく、各現場の岩盤の性状に依存すると考えられる。

したがって、オートマチックラムサウンディングの試験結果の評価にあたっては、各現場においてボーリング調査結果と比較を行いながら慎重に行うことが必要である。ボーリングを行うことなくオートマチックラムサウンディングのみの調査で地盤を評価するのは地盤の性状を見誤る可能性があり、最悪の場合には構造物の不具合や事故に至るおそれもあるため避けなければならない。これは他のサウンディング手法によって調査を行う場合でも同様と考えられ、このような面的な地盤調査にサウンディングを適用する際には必ずボーリング調査と組み合わせて行うことが適切な調査及び評価を行うために重要である。

4. まとめ

オートマチックラムサウンディングによる地層の深さ変化の面的調査の適用性を現地試験によって検討し、支持層等の地層の深さ変化を面的に調査できることを事例として示すことができた。

今回試験を行ったオートマチックラムサウンディングやその他のサウンディング手法をボーリング調査と組み合わせて実施することにより、現場における地質・地盤リスクをより一層低減させ

ることが期待される。

なお、このようなサウンディング手法を地盤の面的調査に適切に適用するためには、必ずボーリング調査と組み合わせて行うことが重要である。

謝 辞

本研究にあたり、試験地及び既往のボーリング調査・オートマチックラムサウンディング結果を提供いただいた共同研究者の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 阿南修司：地質・地盤リスクマネジメント技術の開発 ―アセスメントからマネジメントへ―、土木研究所講演会講演集、土木研究所資料第4383号、pp.27～30、国立研究開発法人土木研究所、2018
- 2) 七澤利明：岩盤を支持層とする基礎の設計・施工、基礎工、Vol.44、No.12、pp.2～5、2016
- 3) 柳浦良行、浅井健一：岩盤を支持層とする杭基礎の地盤調査方法に関する取組み、基礎工、Vol.44、No.12、pp.23～26、2016
- 4) 浅井健一：杭基礎支持岩盤の深さ変化の面的調査のためのサウンディングの適用性検討、日本応用地質学会平成29年度研究発表会講演論文集、pp.287～288、2017
- 5) 日本工業標準調査会：JIS A 0207:2018 地盤工学用語、p.12、日本規格協会、2018
- 6) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説 第6編サウンディング、pp.277～470、公益社団法人地盤工学会、2013
- 7) 地盤工学会：新規制定地盤工学会基準・同解説 動的コーン貫入試験方法 (JGS 1437-2014)、公益社団法人地盤工学会、2014
- 8) 日本工業標準調査会：JIS A 1219:2013 標準貫入試験方法、日本規格協会、2013
- 9) 一般財団法人経済調査会：積算資料、2019年2月号、pp.932～937、2019
- 10) 一般財団法人建設物価調査会：建設物価、2019年2月号、pp.845～847、2019
- 11) 建設省筑波研究学園都市営繕建設本部：筑波研究学園都市地盤図、1985

浅井健一



土木研究所地質・地盤研究グループ
上席研究員
Ken-ichi ASAI