

地盤調査方法の過去10年を振り返って

Review of Geotechnical and Geoenvironmental Investigation Methods for the Last Decade

福 江 正 治 (ふくえ まさはる)

東海大学教授 海洋学部海洋土木工学科

1. はじめに

『地盤調査法』(青本)が、『地盤調査の方法と解説』として2004年6月に刊行された。1995年刊行の旧版の改訂時には、28もの試験・調査方法の基準化とSI単位導入が大きな課題であった。したがって、2004年の改訂にあたっては、これらの基準の不備な点の改正が大きな目的であった。

『青本』と『土質試験の方法と解説(赤本)』が姉妹本といわれるように、地盤調査に対して土質試験があると考えられがちである。しかし、地盤調査を大きく捉えると、表1のように分類されよう。つまり、土質試験は地盤調査の一つの分枝である。その意味では、土や地下水の化学分析も同様である。

確立された調査・試験方法がすぐ変わるようでは、規格・基準を制定する意味がないが、かといってまったく変わらなければ進歩がないということにもなる。全体的にみれば、調査・試験において精度、簡便・利便さ、経費に関することが問題点として挙げられる。表1の化学分析のためのサンプリング¹⁾は比較的新しい分野であるが、原位置試験の多くは、その原理がほとんど変わっていない。物理探査・検層および測定方法は、そのセンサーやデータの伝達機器や処理技術などの進歩によって、測定器、解析方法、表示などが徐々に変わりつつある。一方、乱れをできるだけ少なくするためのサンプリング技術の向上はほぼ永久的な課題であろう。

地盤調査や土質試験の技術の進歩が、青本や赤本にすぐ反映されるとは限らない。これは、基準化委員会にお

いて調査・試験方法を基準化する場合に、クリアすべき点がいくつかあるからである。例えば、基準化に値するかどうかはもちろんであるが、その技術がオープンになっているか、複数の企業が使っているか、および使用する場合に制約はないか、などである。したがって、良い技術が開発されても、それがすぐ基準になるかという、現在の基準化のプロセスでは必ずしもそうはいかない。

発注者が率先して新しい調査技術や試験を採択すれば、学会として基準化は早まると思われる。一方、発注者は基準化されている方法を採用しがちである。したがって、新しい技術が利用されるようになるために若干の時間が必要になってしまう。このことは、技術進歩の観点から、基準化することのマイナス面となるかも知れない。

では、調査・試験方法が基準化されれば、それらの技術が実際に普及すると言えば、必ずしもそうではない。例えば、コーン貫入試験(CPT)のように、なかなか普及しない技術もある。これは、これまで標準貫入試験(SPT)がもっぱら使用されていることが一つの原因となっていると思われる。SPTによって得られたデータが豊富であり、 N 値が設計定数として使用されているという現状がある。

過去約10年間に調査部に設置された研究委員会および調査委員会を分野別に見ると、地震・地盤災害に関するものが約半数を占める。これは後に述べるように、災害が頻繁に発生していることと、委員会設立の際、地盤災害の調査・研究の必要性には説得力があるということであろうか。

最近の地盤工学研究発表会において、「調査・分類」関連のセッションでの発表は約50～70件である。これは全発表件数の約3.8～5.2%になる。

過去10年を振り返ってみると、地盤調査技術は、次の三つの点から変化・発展してきたと思われる。それらの具体的な例をいくつか述べてみたい。

- 1) ほぼ確立された技術の手直し
- 2) 要素技術の進歩による調査技術の改良
- 3) 新しい社会的ニーズへの対応

2. 確立された調査技術の手直し

2.1 確立技術の改良・手直し

確立された地盤調査技術はほとんど変わらないといっ

表1 地盤調査の分類

調査項目	目 的	問題点	対 応
物理探査・検層	地層・埋設物・空洞・遺跡・旧地形	精度 解析技術 多様化	種々の技術・センサーの適用、高度化、3D
ボーリング調査・サンプリング	観察 土質試験	試料乱れ 経費	サンプラーの改良
	化学分析 (地下水・ガス含む)	経費・サンプリング方法	間接的方法の開発
測定	地盤変位 地下水 間隙水圧	精度 簡便・利便さ 経費	通信機器、センサーの開発 伝達方式
原位置試験	設計定数 現場管理 透水性	簡便・利便さ 精度 経費	不備な点の改良 表示方法

総 説

がないわけではない。標準貫入試験方法（SPT）は、1995年版の青本が出版された直後に、JISの大幅改正が行われた。この改正の本質的な目的は、測定における人為的誤差を無くし、精度を上げるために、落下高 76 ± 1 cmを厳密に設定できるハンマー落下装置と貫入量測定の事項などが規定された（JIS A 1219）。

スウェーデン式貫入試験は、地震災害への対応の一つとして、住宅用の敷地の地盤調査に頻繁に使われるようになった。その結果、種々の形状のスクリーポイントが出回ることになった。これは、それまでスクリーポイントの最大径と長さのみが規定されており、その他の部分が不明確であったことによる。このころからスウェーデン式サウンディング試験に関する研究が多くなった。例えば、2003年の地盤工学研究発表会では、スウェーデン式貫入試験のセッションが設けられ、10編の研究が発表されている。なお、スクリーポイントの形状については、その検討のための委員会が組織され、スクリーポイントの形状が規定された（JIS A 1221）。

2.2 サンプルングと供試体

試料の乱れの問題は、技術が進歩すれば「乱れない試料」となるはずであった。しかし、この問題は簡単に解決できるものではない。例えば、サンプルから供試体を作製する際には必ず応力解放を伴い、その影響は不明確である。現在は、サンプルの品質向上は永続的な課題である、とされている。そのため、「乱さない試料」という用語は廃止され、「乱れの少ない試料」という用語を使うことになった。

一方で、社会情勢から調査経費が削減されたこともあり、サンプルの品質を下げないで、いかに安価にサンプルングを行うかが新たな課題となった。このような問題に対して、サンプラー径を小さくし²⁾、当然ながら供試体をも小さくすることが試みられている。サンプルングと一連の試験結果からは、むしろ小サイズの供試体の方が良好といえる結果も得られているようである。

3. 要素技術の進歩とシステム開発まで

地盤の調査技術の中には、電気・電子計測器、サンプルに対して化学分析機器などを使うことが多い。規格や基準では、これらの要素技術が進歩すると思われる場合には、極力それらを規定しないというのが基本である。かつて、ロードセルが力計に取って代わり、試験データの整理・管理にPCを使うのが当たり前となった。

3.1 通信技術の進歩

通信技術の進歩には目覚ましいものがある。図や写真が電子情報で伝達できるとは、20年間には想像できなかった。現在は、調査・試験結果やデジタル写真がインターネットを通して電子情報として通信されることが当たり前前の時代である。

同様に、測定データを蓄積し、その高度な利用を目指す試みが国家プロジェクトとして建設CALS/EC（Continuous Acquisition and Life-cycle Support/Electronic Commerce）が進行中である。地盤調査と土質試験成果

の納品については「地質・土質調査成果電子納品要領（案）」³⁾が準備されている。学会では、このような電子化の妨げになるかもしれない試験・調査用データシートの著作権の行使をすでに放棄してある。

3.2 探査・検層技術の多様化

探査・検層技術の開発が進み、多様化している。それらを逐一紹介できないが、主として次のキーワードに代表されるであろう。

リモートセンシング、GIS、比抵抗、弾性波、P波、S波、レイリー波、表面波、熱赤外線、光ファイバー、電磁波レーダー、超音波、常時微動計測、高密度、トモグラフィ、3D、自動化、モニタリングシステム

3.3 システム化

以前に比べてモニタリングシステムという用語が頻繁に用いられるようになった。通信技術の進歩と個々の計測機器の自動化などによって、インターネットを通して遠隔から土砂災害を監視するシステムなどが考案されている。また、原位置計測システムを光ファイバー計測、またはそれによる伝達によって、観測精度を上げるとともに、従来発生していた測定中のトラブルを避けようとする試みもなされている。また、モニタリングシステムには、可視化という要素が加わることが多い。

4. 社会的ニーズへの対応

4.1 地盤災害調査

我が国では毎年のように地盤災害が発生している。表—2に、過去10年間に発生した主な地震・火山災害、また表—3に過去5年間に発生した土砂災害の数を示す。

1995年の兵庫県南部地震では、比較的近代적と思われた護岸や橋桁などの被害が大きいこともあって、地盤調査についてもいろいろな機関が行っている。これらによって、調査方法や技術の進展というより、地盤災害のデータが多く蓄積されたといえる。この点は、『青本』にも反映されている。また、2004年には、新潟県中越地震が発生した。この被害調査等は、今後の地盤災害対応策、および地盤災害調査技術に反映されるものと考えられる。

土石流、地すべりおよび崖崩れの発生数は毎年相当数

表—2 我が国における過去10年の地震・火山災害

年	月/日	地震・火山発生
1995	1/17	兵庫県南部地震 M7.2
2000	8/18	三宅島マグマ水蒸気爆発 火山弾 岩片
2000	10/6	鳥取地震 M7.3
2001	3/24	芸世地震 M6.4
2002	—	—
2003	5/26	宮城県沖地震 M7.0
	7/26	宮城県北部地震 M6.2
	9/26	十勝沖地震 M8.0
2004	10/23	新潟県中越地震 M6.8

表—3 過去5年間の土砂災害⁴⁾

年	土砂災害（発生件数）		
	土石流	地すべり	崖崩れ
2000	180	137	291
2001	48	96	365
2002	46	218	275
2003	57	128	712
2004	565	461	1511
	(4)	(131)	(90)

() 内は新潟県中越地震による災害

に上っている（表—3）。また、年によって発生数が大きく異なる。これは気象変動や地震の発生の有無等が影響していると思われる。このような災害時の調査記録が残されていくこと自体、地盤調査が社会的に重要な役割を果たしている証となる。それだけに、調査技術に進展が見られなくてはならない。

4.2 ISO と地盤環境調査

地盤工学の分野に地盤環境工学が組み込まれて十数年が経つ。国際的に見ると、ISO で地盤環境と関係の深い土の品質（Soil Quality）に関する規格が議論され始め、我が国でもその対応が迫られるようになったのが1999年頃である。そのとき、ISO 委員会への即時的な対応、ヨーロッパへの会議出席、その活動のための経済的支援、学会員・社会への啓発などをどうするかが問題となった。その結果、次の三つのことが決められた。

1) 我が国特有の協議方法や上申・承認方式では間に合わない。したがって、即時的な対応を可能にするために、ISO 検討委員会が独自に判断対応できるようにする。

2) ISO の専門委員会にはできる限り学会員を委員として派遣する。また、将来この分野を担える人材を育てる。

3) 学会誌『土と基礎』に ISO だよりを掲載する。

ちなみに、現在は、TC182（Geotechnics）、TC190（Soil Quality）、TC221（Geosynthetics）の三つの国内専門委員会が活動中である。

第1回環境地盤工学シンポジウムが開催されたのが1995年である。その後、3年ごとに回を重ねている。また、2002年に土壌汚染対策法⁵⁾が施行されたこともあり、一挙に地盤環境分野が地盤工学の中でクローズアップされてきた。

地盤に関わる環境調査は、捉え方によって、きわめて広い分野にまたがる。これは、本来土木工学が生活環境の創造と整備を目的としているからであろう。したがって、『地盤調査の方法と解説』では、どちらかと言えば地盤災害、広域地盤沈下、地盤汚染など、広義の地盤環境を一つの編で扱っている⁶⁾。

狭義の地盤環境は地盤汚染に関わるもので、具体的には廃棄物処分問題、および土壌と地下水汚染が主たるテーマである。これらに関わる調査法は、それまでの調

査法を改良したもの、または新たな視点から開発されたものである。

例えば、環境コーンと呼ばれる調査器具は、コーン貫入を使うという意味では従来の調査法の延長にあり、測定項目が比抵抗の場合には、電気検層の延長上にもある。土壌中では有害な溶質や溶媒が粒子表面に吸着されることが多く、また電気は粒子表面電導によって流れることから、比抵抗法では増幅値として測定できる利点がある。そのために、土質判別法として、また重金属などは ppm オーダーまで判定可能であるので環境調査として適用可能である⁷⁾。

地盤汚染用のサンプリング方法¹⁾が新しく基準化された。汚染調査では、ppm または ppb のオーダーで化学分析を行うことから、作業中のサンプルの汚染（contamination）を防ぐ必要がある。したがって、汚染物質の種類とサンプル容器またその洗浄方法などが、これまでのサンプリングとは異質である。また、化学分析用の機器類は、地盤工学者にとっては目新しいものである。

5. 地盤調査法に関わる今後の課題

地盤調査に関わる今後の課題は数多くあると思われるが、ここでは国際的な観点から述べたい。

基準化されている原位置試験や調査技術の多くは海外で開発されたものである。これは、調査機器や試験機は買うものであるとの認識が強いことと、一企業が開発した機器類は、容易には受け入れ難いものとされてきた過去が影響していると考えられる。また、土質試験が土の性質・挙動を調べるための研究に頻繁に使われるのに比較して、原位置試験は経験的であるとの認識からやや学識的には嫌われる傾向がある。しかし、冒頭部分に述べたように、地盤工学および地盤環境工学の分野では、土質試験は地盤調査の部分である。今後、我が国の土質に適合した調査技術や原位置試験が開発され、それが ISO・JIS・JGS 等として制定されることが、我が国の地盤工学や地盤環境工学の発展のための戦略の一つにもなり得ると思われる。また、そのような環境を作ることが重要と思われる。

参 考 文 献

- 1) 地盤工学会編、地盤調査法、第11編、2004。
- 2) Shougaki, T. and Sakamoto, R.: The applicability of a small diameter sampler with a two-chambered hydraulic piston for Japanese clay deposits, Soils and Foundations, Vol. 44, No. 2, pp. 113~124, 2004.
- 3) <http://www.nilim-ed.jp/calsec/tekiyou.htm>
- 4) <http://www.mlit.go.jp/river/sabo/>
- 5) <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H14/H14HO053.html>
- 6) 前掲1), 第12編、2004。
- 7) Fukue, M., Minato, T., Matsumoto, M., Horibe, H. and Taya, N.: Use of resistivity cone for detecting contaminated soil layers, Engineering Geology 60, pp. 361~369, 2001.

(原稿受理 2005.12.5)