

軟弱粘性土のサンプリング技術

Sampling Techniques for Soft Clayey Soils

田 中 洋 行 (たなか ひろゆき)

独立行政法人港湾空港技術研究所

1. はじめに

今回筆者に与えられた本論文のテーマは、「海外への技術移転」である。しかしながら、筆者がこのテーマで執筆できるのは、軟弱粘性土に対する地盤調査、特にサンプリングである。本論文では、これらの調査を通じて日頃考えていることを述べてみたい。

筆者はこれまでに、海外の6カ所で地盤調査を行った。調査に必要な資金面の援助を受けるべく、調査地点のターゲットは発展途上国を考え、JICAを最初の交渉の相手とした。しかし、その反応は「地盤調査、しかもIT技術を駆使した地盤調査ならともかく、ボーリングのようなローテクな分野になぜ日本が技術援助しなくてはならないのか？ 相手国からクレームが来る」。海外援助は基本的には相手国の要請に基づくので、日本在住の大使館を通じて、いろいろ交渉したが、反応はJICAと全く同じであった。

筆者は、地盤工学会からの派遣委員として、CEN(ヨーロッパ標準化機構)のTC341/WG1とWG2の委員会に参加している。前者はボーリング・サンプリング、後者は静的コーン貫入試験を扱っている。WG2ではほぼドラフトが出来上がったのに、WG1ではいつドラフトが出来上がるのか見当がつかない。この原因は、サンプリングは対象とする地盤によって異なり、また各地域や国でそれなりに確立した技術を有しているからである。地域の事情を無視して一義的に決めること自体が大きな議論を呼んでいる。

2. サンプリングの違いによる試料の品質

筆者らは、世界で使われている主要なサンプラーを用いて、佐賀県の有明で試料の品質の比較を行った¹⁾。用いたサンプラーは表1に示すとおりで、サンプラーの内径や肉厚はかなりの差がある。これらのサンプラーの中で、品質の高い試料が採取されると国際的に評価が高いのは、Sherbrooke(シェルブルック)とLaval(ラバル)サンプラーである。これらのサンプラーはいずれもカナダのケベックにある大学で開発されたもので、サンプラーの名前にそれぞれの大学の名が記載されている。Sherbrookeサンプラーは他のサンプラーと採取方法を全く異にしており、原位置において水ジェットで試料を切り取る方法を用いている。したがって、しばしばブロックサンプリングとも呼ばれている。また、両者の方法

で採取される試料の直径は、それぞれ35 cm, 20 cmとかなり大きい。このため、サンプリングのコストは他のサンプリングと比べて高く、その用途は主として研究に限られている。その他のサンプラーは日本の標準サンプラーと同じようにサンプリングチューブを有している。この中で、世界中で使われている最も標準的な方法はシェルビーチューブで、ピストンはないオープンドライブ方式のサンプラーである。NGIサンプラーは日本と同じ固定ピストン式サンプラーであるが、外管と試料が収まる内管から成るコンポジットサンプラーであるので、肉厚が相当厚い。この形式のサンプラーはノルウェーだけではなく北欧で広く用いられている。このサンプラーの特徴は、Displacement(排土)方式と呼ばれる、ボーリング孔を掘らずにサンプラーを採取深度まで直接地盤に押し込む方法を採用している。品質の善し悪しは、用いるサンプラーだけではなく、ボーリングによる孔底の乱れによって決まる。この方式を用いると、オペレータによる腕の違いによる品質のばらつきを避けることができる。しかし、図1に示す比較実験では条件を他のサンプラーと同一とするために、NGI54サンプラーにおいても、ボーリング孔を設けてサンプリングを行った。ELE100サンプラー(口絵写真15)はイギリスで広く用いられているサンプラーで、日本のサンプラーより内径が大きい。固定ピストン式サンプラーであるが、NGI54サンプラーと同様に、孔底の乱れの影響を避けるために、ボーリング孔のある深度まで掘削した後、ピストンを固定した状態でサンプラーを10 cm程度押し込む方法を取っている。したがって、ピストンの形状は貫入を容易にするためにコーン状となっている。これらのサンプラーについての詳細な情報は文献¹⁾を参照していただきたい。人間による誤差を小さくするために、すべ

表1 用いたサンプラーの諸元

サンプラー	内径 (mm)	長さ (mm)	肉厚 (mm)	肉厚比 (%)	ピストン
日本	75	1000	1.5	7.5	有り
LAVAL	208	660	4.0	7.3	無し
Shelby	72	610	1.65	8.6	無し
NGI54	54	768	13	54.4	有り
ELE100	101	500	1.7	6.4	有り
Sherbrooke	350*	250*	—	—	無し

* 試料の寸法

論 文

でのサンプリングは同一のオペレータによって行われた。

図—1に、10 mの深度における一軸圧縮試験の結果を示す。一番大きな強度が得られたサンプラーは Sherbrooke で、次に Laval および日本の固定ピストン式である。我が国のサンプラーは、承知のように通常の調査に用いられているが、これら上記の二つのサンプラーで採取される品質と同等であることがわかる。すなわち、彼らが研究用に用いているほどの高品質の試料を、我が国では日常の調査で使っていることになる。最も試料の品質が悪いと判断されたのは、シェルビーチューブと ELE100 サンプラーである。これらの q_u 値は Sherbrooke で得られた値と比べて、半分以下である。日本のサンプラーが優秀な理由は、設計法に密接に関係していると思われる。日本では q_u 値の1/2を地盤の非排水せん断強さとしているが（三軸試験や直接せん断試験はほとんど使われていない）、この方法だけで地盤の強度を決めている国は日本以外にほとんどない。逆に、一軸圧縮試験は最も信頼の低い試験と評価されている。実際、試料の品質に対して最も敏感に影響するのは q_u 値であり、このため北米やヨーロッパでは早くから q_u 値を設計値に用いることをあきらめ、他の試験に移行した。一方、我が国は q_u 値にあくまでも固執し、いかに高品質の試料を得るかに努力した結果、このように小振りながらも高品質の試料が採取できるようになったと考えられる。

この調査結果は、国内外の関係者の間で少なからずの議論をもたらした。この中で、有明で行った結果は、日本人のオペレータで行った結果であり、日本のサンプラーに有利となるとの意見があった。筆者は、このような比較試験を、イギリスの Bothkennar（ボスケナー、口絵写真—7～16）とノルウェーの Drammen（ドラメン）で行った¹⁾。この結果を図—2と図—3に示す。図—2に示すように、Laval サンプラーと日本のサンプラーで採取された試料の q_u 値はほぼ同じであり、ELE100 は小さい。試料を採取したのは、ELE100 をいつも扱っているイギリスのオペレータである。しかし、図—3に示すように、Drammen での結果では、Sherbrooke と日本のサンプラーとでは q_u 値に2倍もの大きな

差が生じた。このように Drammen 粘土のような低塑性土の場合には、残留有効応力が低下するので品質に大きな差が生じる。しかしながら、結果は示さないが、このような地盤でも NGI54 サンプラーに対して、我が国のサンプラーは明らかに優位であることがわかった（Lunne, 他²⁾）。

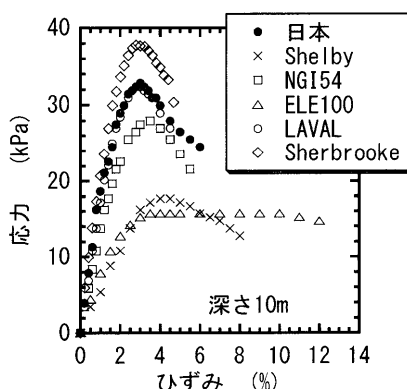
3. アジア地区でのサンプリング

アジア地区では、筆者が行った調査はシンガポール、バンコクと釜山である。前者の2地区で通常行われているボーリング方法は、ウオッシュボーリングと呼ばれる水ジェットでボーリング孔を掘削し、その後シェルビーチューブによって採取する方法が用いられているようである。韓国では、一般にケーシング掘と呼ばれている掘削ビットを用いない方法でボーリング孔を掘削する方法が用いられている。この方法は日本でも港湾を中心にして、軟弱粘土地盤で用いられている方法である。サンプラーは水圧サンプラーで、日本の地盤工学会が定めている基準とはほぼ同じである。材質は真鍮が多いようである。

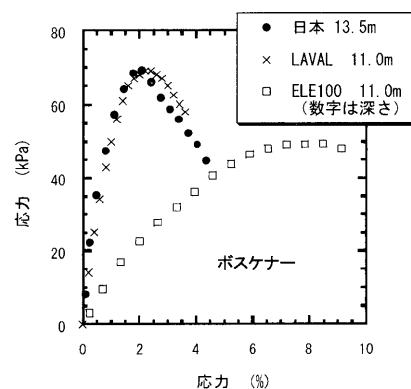
現地と日本のサンプリング方法に従って採取した試料の比較結果の1例を図—4に示す。図には、定率ひずみ試験で得られた e - $\log p$ 関係を示している。いずれの国でも、日本と比べて、現地の方法で採取された試料の品質はかなり悪い。筆者は、国際集会で先進国の結果を含めて、両者の方法で採取した試料との品質比較を示している。ここで注意をしなくてはならないのは、現地で雇ったオペレータがその地域や国の技術を本当に代表しているかである。また、国としてのプライドもあるので、時には、「我が国を侮辱するのか！」との抗議を受けることもある。一方、自国のサンプリング方法が悪いことを認めて、改善方法の助言を求める研究者もいる。

4. 技術移転

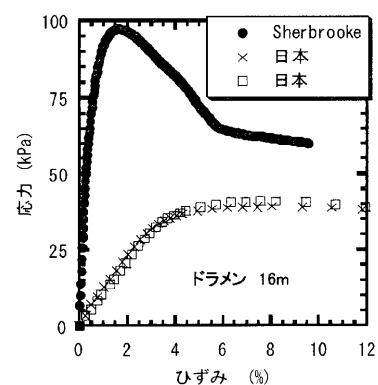
さて、本論文のテーマである技術移転について話を進めたい。現在、グローバル化の用語で代表されるように、世界規模で分業化が進んでいる。多くの部品の製造や組み立ては、低賃金の魅力に惹かれて中国やベ



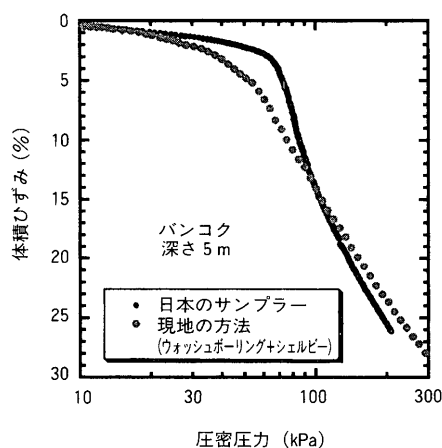
図—1 サンプラーの違いによる試料の品質（有明）



図—2 サンプラーの違いによる試料の品質（ボスケナー）



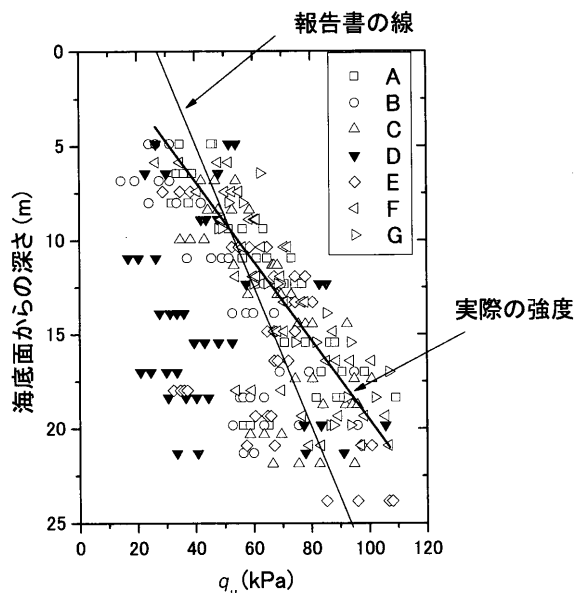
図—3 サンプラーの違いによる試料の品質（ドラメン）



図一4 バンコクでの定率圧密試験調査結果の比較

トナムなどの新興国にその重心を移している。筆者は経済には全く疎い人間であるが、それなりに思うに、このような技術が急激に移行した理由の一つに、多くの情報のデジタル化にあると考えている。アナログ技術の移転は難しいが、すべてのノウハウがデジタル化されると、CDレコードのコピーのように、容易に技術移転が可能となる。ボーリング技術は典型的なアナログ技術であり、しかもその担い手は必ずしも高等教育を受けていない技術者が多い。したがって、最新の情報の広まりが難しく、彼らは従来の技術に固執する傾向にある。例えば、泥水ひとつ取り上げても、国（あるいはオペレータ）によって全く違う。清水を使う場合もあれば、非常に濃い泥水を少量使ってボーリング孔を掘るオペレータもいる。地盤調査のマーケットはそれほど大きくはなく、さらに砂地盤と粘土地盤ではボーリング方法が異なるように、かなり地域性に即した技術が必要とされるので、工場で大量生産される製品のように技術をデジタル化することは難しい。

海外での調査では、サンプラーとビットを日本から持ち込み、オペレータを含めて他のボーリングに必要な機械・人は現地での調達とした。ねじなどのサイズは事前に調整しておくが、それでもいざ現地で始めると、「Oh, my God」となることが多々ある。部品のようなハードも大事であるが、もっと神経を使うのは現地のオペレータとの意志の疎通である。現地で初めて会う人であり、また言葉が通じないことが多い。蛇足であるが、イギリスで言葉のトラブルがなかったという、その逆である。一人とは何とか会話が成立したが、もう一人は全く何をしゃべっているかがわからなかった（相手もそうであろう）。したがって、多くの場合は英語がわかる学生や技術者が一緒に行き、通訳の役目をお願いする。しかし、今までサンプリングを見たこともない学生が通訳するのであるから、意志の疎通がはかれるわけがない。したがって、大抵の場合は、身振り手真似で直接オペレータと話すことになる。不思議なことに、技術的に優秀なオペレータほど言葉は不要である。しかし、日本人も含めて例外なく、彼らはプライドが高い。「これで我



図一5 我が国のある地点で得られた調査結果

々はやっているのだから、問題がない」と、こちらが言っていることをなかなか取り入れてくれない。ある国では、オペレータが怒って作業の途中で帰ってしまったこともある。

5. おわりにかえて

日本のサンプリング方法は、かなり優秀であることを示した。しかしながら、我が国で行われている調査の現実を見てみると、必ずしもそうとは言い切れない。図一5に示す結果はある港湾で行われた調査結果である。この調査は規模が大きいので、複数のオペレータグループが従事した。したがって、図に示す結果はこの調査グループごとの試験結果を示している。図から、ある特定のグループ（具体的にはD）が他のグループより小さな値を示しているのがわかる。この事例の q_u 値のばらつきは地盤の変動によるものではなく、オペレータの技術力の差と考えられる（ただし、17mより深い土層は、砂分を多く含むため、そもそも一軸圧縮試験が不適切であるため、大きなばらつきが生じている）。本来ならば、このような値は除外、あるいはやり直しをするべきであるが、実際にはこれらの値を含めて、機械的に最小自乗法で地盤の強度を決めている。表面的な効率を求めるために、分業がますます進んでおり、図に示したようなことが、あちこちで生じているのは、まことに残念である。

参考文献

- 1) Tanaka, H.: Sample quality of cohesive soils: lessons from three sites, Ariake, Bothkennar and Drammen, *Soils and Foundations*, 40(4), 57~74, 2000.
- 2) Lunne, T., Berre, T. and Strandvik, S.: Sample disturbance effects in soft low plastic Norwegian clay, *Proc. of the International Symposium on Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics*, pp. 81~102, 1997.

(原稿受理 2003.12.1)