

地盤調査技術の現状と課題

Current State of Geotechnical Investigation Technologies

正 垣 孝 晴 (しょうがき たかはる)

防衛大学校 建設環境工学科

1. はじめに

我が国は火山列島および地震列島であり、極めて特異で脆弱な地質条件下にある。近年のウオーターフロント開発を可能にした技術要因の一つとして、地盤調査技術の発展や改良が挙げられる。地盤調査は各種構造物の新設のみでなく、地震や豪雨による災害を未然に防ぐためにも不可欠である。また、特に近年では土壌汚染や水質汚染に係わる環境保全、各種構造物の維持管理においても重要な技術となっている。さらにはサンプリング法や試験法の改良、情報処理技術の高度化に伴い、調査データの高精度化も進んでいる。

編集委員会からの上記内容に対する「総説」依頼に応じて、本特集号のテーマそのものを本稿の題目とする。しかし、本特集号のテーマを真正面から受け止め、対応することは、「地盤調査の方法と解説」¹⁾に含まれる地盤調査技術を網羅することにもなり、個人の能力として、紙幅の制約からしても困難である。逆にこのような原稿は、総花的で焦点の定まらない総説となる側面が、一方で危惧される。

土質パラメータ、設計定数の一層高精度な推定を求めつつも、省力化・低コスト化にも直結するような原位置試験、サンプリング、試験法を体系的に検討した研究は少ない。本稿では筆者が取組んだ地盤工学的枠組みの中のサウンディング、サンプリング、室内試験、設計法を紹介しつつ、与えられた課題、すなわち「地盤調査技術の現状と課題」について共に考えてみたい。

2. 筆者が取組んだ地盤調査・試験・設計法

筆者が実務で地盤調査・試験・設計業務に従事していた頃の関心事は、採取した試料の乱れの評価と強度・圧密パラメータの発現機構、土の各種性質の統計的性質であった。これらは1970年代以降の、ウオーターフロントを中心とした社会基盤整備の中心的な課題でもあった。特に試料の乱れは設計のためのパラメータの決定にいつも頭を悩ます難題であった。いずれも有効応力や堆積環境学の考察を抜きに議論できないが、土の不均質性を含めた検討には、供試体寸法を小さくすることが不可欠であると考えた。

筆者が取組んだ研究は、供試体の小型化・試験機の小型化と、これら小型化によって初めて実現可能な高性能サンプラーの開発と設計への適用を軸に、地盤設計のリ

スクの低減を目指した一連の研究であり、その内容は以下の(i)から(iv)に要約できる。

(i) 小型供試体を用いる小型高性能の、一²⁾・三軸³⁾、圧密⁴⁾、一面せん断試験機を新たに開発し、直径 $d15$ mm、高さ $h35$ mm (一・三軸試験) と $d30$ mm、 $h10$ mm (一面せん断、圧密試験) の小型供試体を用いても、自然土の各種試験や応力条件下の強度・圧密特性が通常寸法の供試体と同様に適正に評価できることを示した。これらは、通常のチューブサンプラーで得た $d75$ mm、 $h100$ mm の自然土の試料片を用いて、応力条件、ひずみ速度、異方性、圧縮・伸張条件下の自然堆積土の強度・圧密特性の試験から確認している。

(ii) サクション測定の一軸圧縮試験 UCT から原位置の非排水強度の推定法⁵⁾を提案し、また圧密試験で得た体積ひずみから原位置の圧密パラメータの推定法⁶⁾を示した。もともと応力解放や土の乱れが強度・圧密特性・設計結果に及ぼす影響は極めて大きい⁷⁾が、 K_0 圧密三軸非排水圧縮試験 CK_0UC の結果から上記の両推定法の妥当性を K_0 圧密時の K_0 の挙動と盛土の破壊事例がよく説明できることから、確認している。また、チューブサンプラーで採取した試料の密度変化を考慮した砂の原位置動的強度・変形特性の推定法を提案して、凍結サンプリングした試料の結果を踏まえて新潟砂地盤への適用性を示している⁷⁾。

(iii) チューブ内径 45 mm の小径倍圧型水圧ピストンサンプラー (45-mm) に加え、コーン貫入試験の機構を併せ持つ小径倍圧型のコーンサンプラーを開発した。これらのサンプラーは、貫入力と貫入速度が大きいことが特徴であり、一軸圧縮強さ q_u が 600 kPa 程度までの沖・洪積粘性土⁸⁾、有機質土⁸⁾や N 値が 54 程度までの新潟砂⁹⁾も高品質で採取できる。また、これらサンプラーは、地盤工学会基準 JGS-1221, 1222, 1223 で規定された従来型の単管、二・三重管の三つのサンプラーの対象土を一つのサンプラーで採取できるものであり、標準貫入試験用の 66 mm 径のケーシングパイプ内で試料採取でき、サンプリング時間が短く費用も安価である。一方、コーンサンプラーは、ボーリング孔の削孔が不要で、無線によるコーン情報¹⁰⁾に加え、高品質の試料も採取できる^{11), 12)}。しかもこれらの倍圧サンプラーは、水圧式であるので採取試料の品質にオペレータの技術力は依存しない。

(iv) 上記(i)~(iii)の成果を用いて、日本¹³⁾、釜山粘

総 説

土¹⁴⁾, ピサ粘土¹⁵⁾, 関東ロームで築造された既設アースダム堤体¹⁶⁾の強度・圧密特性を体系的に明らかにした。すなわち釜山では, 精緻な強度・圧密特性の提示に加え港湾部で観測された過大な沈下量が, 採取試料の乱れに起因して予測沈下量を過少に評価した結果であることを示した。またピサでは, 同じく詳細な強度・圧密特性に加え高品質を維持したままで, 試料採取から室内試験までを従来の半分の時間で済ませられることを示した。そして, 非排水強度異方性を考慮した斜面安定解析法¹⁷⁾を提案し, これら倍圧サンプラーで得た試料から推定した原位置非排水強度と非排水強度異方性が盛土の変状を良く説明することに基づき, 盛土設計の信頼性評価と消費者危険を含む最適化手法¹⁸⁾を提案し, 既設アースダム堤体の耐震性能評価も同様に扱える¹⁶⁾ことを示した。このような精緻化技術と最適化手法は, 安全で経済的・合理的な地盤構造物設計に寄与しつつ, 同時に地盤調査・試験法の省力化・低コスト化を実現する^{19), 20)}。

3. 地盤調査・試験法の精度

地盤調査・試験法の精度が設計法の枠組みの中で具体的に検討され始めた^{21), 22)}のは, 1977年からの「土質工学における確率・統計の応用に関する研究委員会(松尾稔委員長)」の活動である。信頼性設計を実務に定着させるには地盤データの確率・統計的性質に調査法や個人差が介在しないことが前提になる。調査法や個人差によって設計パラメータの平均値が移動すると, 計算される破壊確率や最適解が大きく異なるからである。このような状況下では地盤構造物の性能設計や信頼性設計の有効性・説得力は大きくない。

口絵写真-1²³⁾は自由と固定ピストン(75-mm)サンプラーで得た試料に対するUCT結果である。両サンプラーから得た試料の含水比 w_n , 湿潤密度 ρ_t は同等であるが, $z = -(26\sim 30)\text{m}$ の一部を除き, 自由ピストンの q_u と変形係数 E_{50} が小さく, 試料の乱れが大きいことが分かる。図中の直線は最小自乗法による回帰線であり, 実線が固定, 破線が自由ピストンサンプラーによる q_u と z の関係である。口絵写真-2²³⁾はこれらの q_u と z の関係を用いて, 当該地で計画されたケーソン式護岸の設計結果である。設計安全率1.25を満足する自由ピストンの床掘り置換断面積は固定の約4倍であり, 押え盛土部の砂の増加を考慮した概算工費は, 3.7億円/100mを過大に見積もることになる。

図-1⁸⁾は同じオペレータによって75-mmと45-mmサンプラーで得た試料に対する強度・圧密試験結果を示している。Hは水圧式, Eはエクステンションロッド固定式を意味する。両サンプラーの w_n は同等と判断されるが, q_u と圧密降伏応力 σ_p は, サンプラーのタイプに起因して75-mmが, それぞれ30%と20%程度小さい。図-2⁸⁾は図-1と同じサイトで一人のオペレータがシェルビー(米国), NGI 54(ノルウェー), ELE 100(英国), ラバルとシェルブロック(カナダ), 75-mm

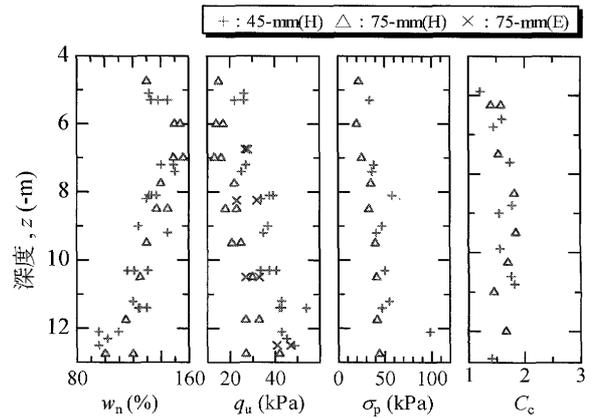


図-1 強度・圧密特性 (サンプラーの比較)⁸⁾

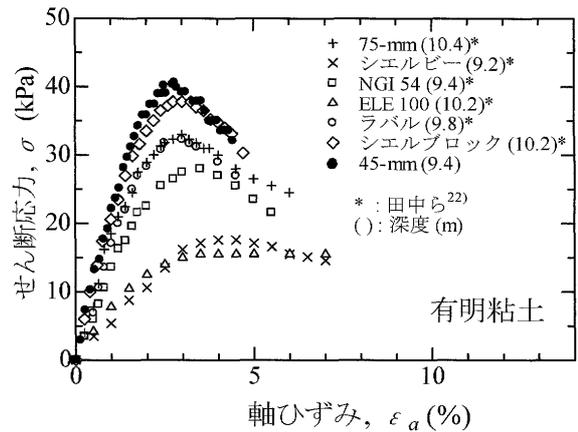


図-2 応力とひずみの関係 (田中ら²²⁾に加筆)⁸⁾

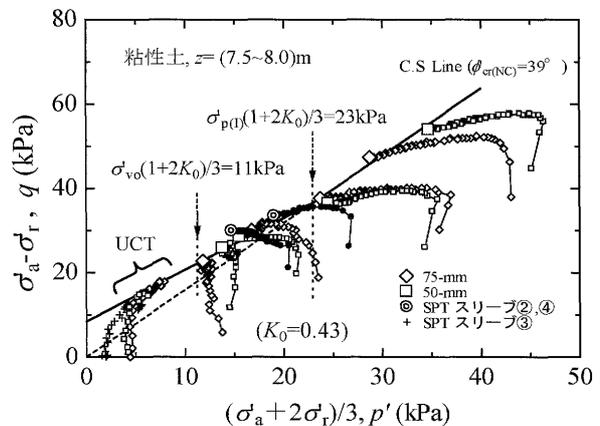


図-3 有効応力経路 (UCTと CK_0UC)⁵⁾

と45-mm(日本)のサンプラーを用いて採取した試料に対するUCTの応力とひずみの関係である。サンプラーによって応力とひずみ, 応力の最大値である q_u は大きく異なる。また, 45-mmサンプラーの強度が大きく破壊ひずみが小さいことから, 45-mmで品質の良好な試料が採取できていることが分かる。

図-3⁵⁾はサクシオン測定を伴うUCTと CK_0UC の有効応力経路である。施工中の道路盛土が破壊した現地で, 破壊の影響がない位置の沖積地盤から75-mm, 50-mmサンプラーと標準貫入試験のベネ管に内蔵されたスリーブ(SPTスリーブ②, ③, ④)から得た試料に対する $d15\text{mm}$, $h35\text{mm}$ の小型供試体の結果である。

UCTは主応力差 $q=0$ から発する経路で示される三つの曲線であり、他は CK_0UC の有効応力経路である。 $\sigma'_{p(l)}$ は、標準圧密試験と CK_0UC の K_0 圧密下の体積ひずみから推定した原位置の圧密降伏応力⁶⁾であり、 σ'_{v0} は有効土被り圧である。せん断時の軸ひずみ速度はUCTとの整合を考慮して1%/minに統一した関係で、 $\sigma'_{p(l)}$ より大きな正規圧密領域の有効応力経路は右に膨らみ、間隙水圧のマイグレーションの影響が現れている。有効応力経路の最後の位置の大きな記号で示すのは破壊点であり、この点は座標原点を結ぶ線($\phi'_{cr(NC)}=39^\circ$)上に位置している。一方、 σ'_p より小さな領域の破壊点は、この $\phi'_{cr(NC)}=39^\circ$ 線の上位に位置し、過圧密の挙動を示すが、UCTと CK_0UC は同じ破壊規準で説明出来ている。UCTは拘束圧 σ'_r を負荷しない不安定な状況下の試験である。しかし、せん断中のサクシオン(間隙水圧)を測定することで、試料の乱れを反映した有効応力経路は、 CK_0UC と同じ破壊規準で説明できることを図-3は示している。これらのことは、塑性指数370、強熱減量値73%の高有機質土⁵⁾や釜山粘土¹⁴⁾、ピサ粘土¹⁵⁾に対しても等しく言及できることを確認している。

図-4⁵⁾は CK_0UC から得た $\sigma'_{p(l)}$ 下の非排水強度 $c_{u(l)}$ に対する q_u と、 $q_{u(l)}^*$ と $q_{u(l)}$ で示す従来法²⁵⁾と簡便法⁵⁾で推定した原位置の非排水強度の比を z に対してプロットしている。図-3で述べた施工中の道路盛土が破壊した地盤の結果であり、 $z=7$ mで浅が高有機質土、以深が沖積粘土である。チューブサンプリング(TS)とSPTで記号を変えてプロットしている。地盤の不均質性に起因してプロットの変動は大きい、TSによる $q_u/2c_{u(l)}$ と $q_{u(l)}/2c_{u(l)}$ の平均値は、有機質土で0.69と0.94、粘性土で0.57と0.99である。TSで採取した我が国の24の堆積地の粘性土⁵⁾、釜山粘土¹⁴⁾、ピサ粘土¹⁵⁾の $q_u/2c_{u(l)}$ の平均値は、これらの試料に関係なく0.62とほぼ一定であり、 q_u は CK_0UC の $\sigma'_{p(l)}$ 下の非排水強度とは大きな乖離があることが分かる。

サンプリングによる原位置からの拘束圧の解除や乱れに起因して、 q_u は $2c_{u(l)}$ の57~69%と小さいが、測定したサクシオンと q_u を用いて推定した $q_{u(l)}$ は、 $2c_{u(l)}$ と同等の値が推定できていることが分かる。また、SPTの q_u はTSのそれより小さく乱れが大きい、 $q_{u(l)}$ や $q_{u(l)}^*$ は $2c_{u(l)}$ と同等である。これらの推定法は試料の乱れの程度に関係なく $2c_u$ と同等の値が推定できることが分かる。

小型供試体のサクシオンは測定系の脱気が十分であれば1分足らずで測定できる。サクシオン測定を伴う一軸圧縮試験法²⁶⁾から、 CK_0UC と同じ非排水強度が推定できる事実は、基礎研究のみでなく、設計信頼度の向上に対しても実務的な価値が大きい。

4. 設計法の信頼度分析と土構造物の性能評価

図-4で述べた $q_u/2$ 、 $q_{u(l)}/2$ 、 $c_{u(l)}$ に加えコーン貫入試験のコーン係数 N_{kt} を10として得た非排水強度 $c_{u(CPT)}$ を用いて、盛土築造の総費用 C_t と供試体数 n の

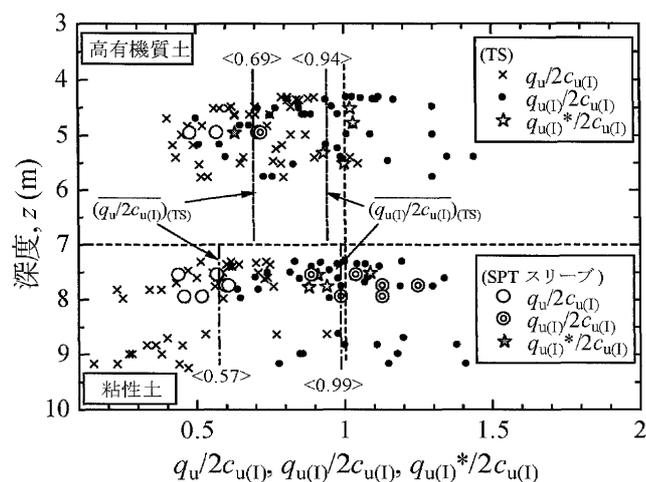


図-4 非排水強度の比較 (UCTと CK_0UC)⁵⁾

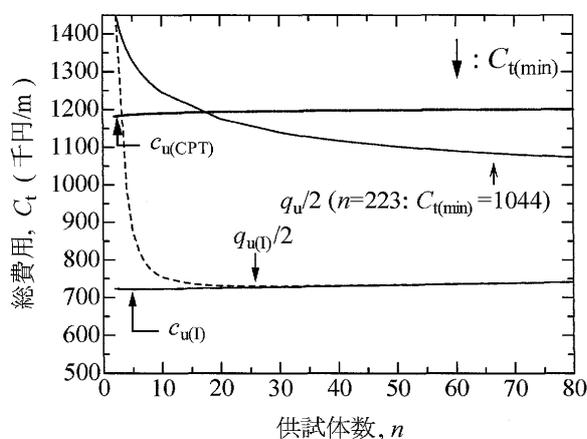
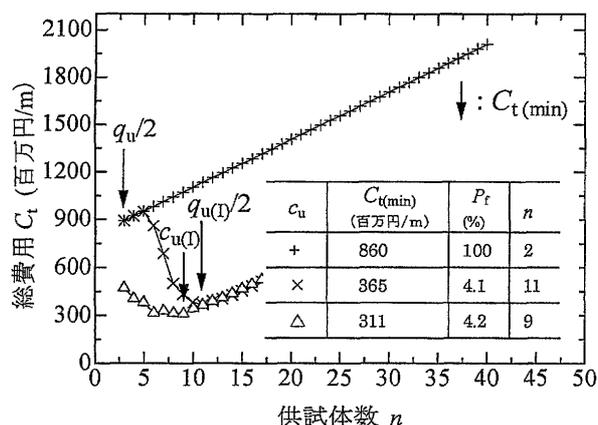


図-5 破壊確率と供試体数の関係 (道路盛土)

関係を計算して図-5に示す。総費用の最小値 $C_{t(\min)}$ が最適解(図中の矢印の位置)であるとの判断(期待総費用最小化基準)に立つと、これらの非排水強度を用いた C_t と供試体は、それぞれ1044千円(供試体数223個)、730千円(同27個)、725千円(同3個)、1185千円(同2個)となる。 $c_{u(CPT)}$ は $N_{kt}=10$ から得た c_u が実盛土の破壊を説明する非排水強度より小さいため、 n が増加しても C_t が低下しない。さらに、 $q_u/2$ は盛土荷重による活動力より抵抗力(非排水強度)が小さいため、 $C_{t(\min)}$ となる n は223個となり現実的でない。実測した非排水強度異方性を考慮した安定解析から、 $q_{u(l)}/2$ は盛土の破壊の変状を説明する強度として整合している¹⁷⁾ことが分かっている。また、 n の増加に見合う C_t の低下が著しい。すなわち、非排水強度に $q_{u(l)}/2$ を用いると、調査・施工・維持管理の総費用の削減効果が大きいことが分かる。

関東ロームを用いて約80年前に築造されたアースダム堤体のレベル1地震動を想定した性能評価を検討した。図-6¹⁶⁾はダム堤体からコーンサンプラーを用いて採取した試料から得た $q_u/2$ 、 $c_{u(l)}$ 、 $q_{u(l)}/2$ を用いて、図-5と同様に実測した非排水強度異方性も考慮した結果である。 C_t が最小となる n 、破壊確率 P_f 、 C_t を図-6の表にまとめた。 $q_u/2$ は強度が小さいことに起因して、

総 説

図—6 破壊確率と供試体数の関係 (ダム堤体)¹⁵⁾

n が増しても C_t が低下することはなく一次関数的に増加している。一方、 $q_{u(l)}/2$ は n が増加すると非排水強度の平均値の信頼度が向上して C_t の低下が著しい。 $C_{t(\min)}$ の n は $q_{u(l)}/2$ で11、 $c_{u(l)}$ で9であるが、試験費用の差を反映して C_t は、それぞれ365百万円/mと311百万円/mとなり、 $q_{u(l)}/2$ は $c_{u(l)}$ より17%大きい。両強度の平均値は同等であるが、 $c_{u(l)}$ の試験個数が8と少なく、このデータの標準偏差が幾分か小さかったことが n と C_t の差になっている。標準偏差に差がなければ $q_{u(l)}$ は、 $c_{u(l)}$ と C_t に加え、力学的にも同じ結果を与えることになるが、試験費用の観点からは $q_{u(l)}$ が有利になる。このような軟弱地盤上の盛土の設計においても、調査・試験・設計・施工に含まれるラッキーハーモニー^{27),28)}が今日でも成立している保障はない。これらのハーモニーが調べられたのは40年程前のことであり、調査・試験・施工の進展やこれらが安全率に与える変化が同じと考えるには無理がある。

採取試料の品質確保を前提とすれば、地盤強度採用値も性能規定が可能となる。また、各種せん断・応力条件下の強度・圧密特性がコーンサンプラーで採取した $d48$ mmの試料片から測定できるので、小型供試体は調査・試験費用の削減に加え、調査・設計の精度向上への寄与が大きい。加えて、原位置非排水強度として $q_{u(l)}$ を用いれば盛土形状をスリム化できる可能性もある。

5. 課題と今後の展望

筆者は30年ほど前に実務で地盤調査・土質試験・設計業務に従事していた。当時の地盤調査法・試験法の枠組みの基本は、何ら変わることなく今日にそのまま受け継がれている。設計法に変化が無ければ、そこに用いる土質試験法や土質パラメータの決め方にも変更の余地が少ないことは自明なのかもしれない。完成された設計法があり、そのための成熟した地盤調査・試験法があるなら、変化が無いことに疑問を挿む余地も少ないかもしれない。しかし、これらの技術は果たして成熟し、完成された域にあるのだろうか？ 筆者が研究対象とする安定問題も変形問題も、口絵写真—1、口絵写真—2と図—1～図—6に示した実態を考慮して、設計法とそれに用

いる地盤調査・試験法の精度を俯瞰すると、広く実務レベルでそのような完成域にあるとはとても思えない。また、これらの実現も十分に説明できるほど理論も論理体系も整った段階にあるとは筆者には思えない。

国や団体の規格・基準を容認しISOとしての統一化によって、設計法、調査・試験法の性能規定化への道筋は整いつつあるが、具現化に向けた足腰は、まだとても重い。社会資本整備や公共投資の抑制が向かい風となっている側面を認めつつも、やはり地盤工学の進展・体系化・技術に対する閉塞感は払拭出来ない。

前章までに述べた地盤調査・試験・設計法の精度の改善は、そのまま今後の課題でもある。我々が対象とする地盤は、その生成過程に起因して不均一・複雑であるため、その地域性をも踏襲した方法論の開発を余儀なくされる。また、従来の規格・基準やそれらの結果との整合性を図るため、革新的な地盤調査・試験技術であっても、実務への浸透には多大な時間と労力を費やし、ゆるぎない実績の積み重ねが要求される。

緊縮財政下で地盤構造物設計の透明性や説明責任が問われている。安全で経済的・合理的な建設構造物を構築・維持管理するために、理論と実践の両面から、省力化・低コスト化に直結する高精度の地盤調査・試験技術や評価技術の開発による地盤工学の近代化が喫緊の課題となっている。これらの課題への対処法の一つに地盤調査・試験法の小型・高精度化技術^{19),20)}がある。試料採取法と室内試験法の小型・高精度化技術を軟弱地盤上の盛土設計に適用すると、従来法に比べて、費用、工期、CO₂排出量が、それぞれ26%、6%、35%低下する試算結果²⁹⁾がある。地盤調査技術の選択や評価も、地盤構造物の設計・建設・供用期間の維持管理のライフサイクルの中での判断が必要であるが、環境負荷物質の排出量の削減効果も近年の大きな社会的関心事として、当事者として無視できない。

地盤工学分野の各種性能規定化に向けて、新しく開発された地盤調査・試験法や技術の評価法等が政策化によって身軽に採用出来る仕組みの構築も喫緊の課題である。このような仕組みがないと、新技術の開発や研究意欲が喚起され難いからである。このような仕組みの構築の中で、地盤工学の実力が付けば、風水害・地震災害調査や地盤に係わる訴訟問題等の解決の中心的な役回りが演じ切れるのであろう。建築紛争事件の8%程度は地盤工学に係わっており、この割合は増加している³⁰⁾。また、地盤工学の専門技術とは異なる次元で、訴訟に対する解決が図られることが多い³⁰⁾のも現実である。これらの分野で地盤工学が十分な市民権を持ち得ていないことの現れでもある。勿論、材料やその挙動が複雑で現象の特定が困難であることに加え、現象説明の精度が低いことも起因している。正確で役に立つ地盤工学が求められている。判決は法律に従って動議されることを考えると、学会規準や地盤工学技術を法律に組み込み(法制化)地盤工学の地位向上に関する施策も今後の大きな課題であらう。

6. おわりに

幅広い地盤調査技術の中で、筆者が扱った調査・試験・設計法に限って、その精度と課題、今後の展望を述べた。しかも、文章の展開上、採取した試料から設計パラメータを求め、設計・施工管理を行う安定問題を中心とした。一連の調査・試験・設計・施工のフレームに見合う調査・試験法が無い場合やサウンディングとしてのコーンサンプラーの適用、また変形問題の設計に関しては述べていない。しかし、設計・施工の中心的内容である本稿で扱った問題に限っても、多くの課題が残されている。本稿で述べていない分野を含め、今後の地道な努力と果敢な行動による確実な成就が不可欠である。自己満足に終わらせてはならないと思う。

参 考 文 献

- 1) 地盤工学会, 地盤調査の方法と解説, 889p., 2003.
- 2) Shogaki, T.: Effect of specimen size on unconfined compressive strength properties of natural deposits, *Soils and Foundations*, Vol. 47, No. 1, pp. 158~167, 2007.
- 3) Shogaki, T. and Nochikawa, Y.: Triaxial strength properties of natural deposits at K_0 consolidation state using a precision triaxial apparatus with small size specimens, *Soils and Foundations*, Vol. 44, No. 2, pp. 41~52, 2004.
- 4) Shogaki, T.: Effect of specimen size on consolidation parameters of marine clay deposits, *Journal of ASTM International*, Vol. 3, No. 5, pp. 106~118, 2006.
- 5) Shogaki, T.: An improved method for estimating *in-situ* undrained shear strength of natural deposits, *Soils and Foundations*, Vol. 46, No. 2, pp. 109~121, 2006.
- 6) Shogaki, T.: A method for correcting consolidation parameters for sample disturbance using volumetric strain, *Soils and Foundations*, Vol. 36, No. 3, pp. 123~131, 1996.
- 7) 正垣孝晴・佐藤 葵・上浦正行・金田一広: 密度変化を考慮した砂の原位置動的強度・変形特性の推定法, 地盤工学会誌, Vol. 58, No. 5, pp. 26~29, 2010.
- 8) Shogaki, 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. 1, pp. 115~126, 2004.
- 9) Shogaki, T. Sakamoto, R., Nakano, Y. and Shibata, A.: Applicability of the small diameter sampler for Niigata sand deposits, *Soils and Foundations*, Vol. 46, No. 1, pp. 1~14, 2006.
- 10) Shogaki, T. and Nishihara, A.: A new cone information transmission system, *Proc. of the 7th Int. OPEC*, pp. 1574~1577, 2007.
- 11) Shogaki, T., Sakamoto, R., Kondo, E. and Tachibana, H.: Small diameter cone sampler and its applicability for Pleistocene Osaka Ma12 clay, *Soils and Foundations*, Vol. 44, No. 4, pp. 119~126, 2004.
- 12) 正垣孝晴・中野義仁: コーン機能を有する小径倍圧型水圧ピストンサンプラーで採取した試料の品質, 地盤工学会誌, Vol. 5, No. 2, pp. 363~375, 2010.
- 13) 正垣孝晴・佐藤大介: 小型供試体を用いた自然堆積土の非排水強度の評価, 地盤工学会誌, Vol. 54, No. 8, pp. 14~16, 2006.
- 14) Shogaki, T., Nochikawa, Y., Jeong, G. H., Suwa, S. and Kitada, N.: Strength and consolidation properties of Busan new port clays, *Soils and Foundations*, Vol. 45, No. 1, pp. 153~169, 2005.
- 15) 正垣孝晴・蛭崎大介・菅野康範・中野義仁・北田奈緒子: ピサの斜塔下の粘性土の地盤工学的性質, 地盤工学会誌, Vol. 53, No. 3, pp. 27~29, 2005.
- 16) 正垣孝晴・高橋 章・熊谷尚久: 既設アースダム堤体の耐震性能評価法—レベル1地震動を想定して—, 地盤工学会誌, Vol. 56, No. 2, pp. 24~26, 2008.
- 17) Shogaki, T. and Kumagai, N.: A slope stability analysis considering undrained strength anisotropy of natural clay deposits, *Soils and Foundations*, Vol. 48, No. 6, pp. 805~819, 2008.
- 18) Shogaki, T. and Takahashi, A.: Reliability of undrained shear strength and the optimum embankment design method, *Proc. of the 13th Asia Regional Conf. on International Soil mechanics and Geotechnical Engg.*, pp. 1123~1126, 2007.
- 19) 正垣孝晴: 地盤調査・試験法の小型・高精度化技術の役割と展望, 地盤工学会誌, Vol. 54, No. 8, pp. 1~2, 2006.
- 20) 地盤工学会: 地盤調査・試験法の小型・高精度化と設計への適用, 小特集, 地盤工学会誌, Vol. 54, No. 8, pp. 1~31, 2006.
- 21) 小林正樹・松本一明・堀江宏保: 乱さない粘土試料の品質に及ぼす調査者の影響, 土質工学における確率統計の応用に関するシンポジウム論文集, pp. 1~4, 1982.
- 22) 松尾 稔・正垣孝晴: 土質調査実施者やその手順の差が試験結果に与える影響の統計的分析, 土質工学における確率統計の応用に関するシンポジウム論文集, pp. 5~12, 1982.
- 23) 松尾 稔・正垣孝晴: q_u 値に影響する数種の攪乱要因の分析, 土質工学会論文報告集, Vol. 24, No. 3, pp. 139~150, 1984.
- 24) 田中洋行・田中政典: 世界的に見た日本のサンプリング方法の位置, 第44回地盤工学シンポジウム論文集, pp. 223~232, 1999.
- 25) Shogaki, T. and Maruyama, Y.: Estimation of *in-situ* undrained shear strength using disturbed samples within thin-walled samplers, *Geotechnical site characterization*, Balkema, pp. 419~424, 1998.
- 26) 地盤工学会: サクション測定を伴う一軸圧縮試験マニュアル, 最近の地盤調査・試験法と設計・施工への適用に関するシンポジウム論文集, pp. 付1-14, 2006.
- 27) Nakase, A.: The $\phi_u=0$ analysis of stability and unconfined compression strength, *Soils and Foundations*, Vol. 7, No. 2, pp. 35~50, 1967.
- 28) Matsuo, M. and Asaoka, A.: A statistical study on conventional safety factor method, *Soils and Foundations*, Vol. 16, No. 1, pp. 75~89, 1976.
- 29) 近藤悦吉・向谷光彦・梅崎健夫・中野義仁: 最近の地盤調査・試験法の適用性—軟弱地盤上の盛土構築を例示して—, 地盤工学会誌, Vol. 54, No. 8, pp. 29~31, 2006.
- 30) 諏訪靖二: 建築紛争と地盤工学—事例に基づく課題分析—, 第43回地盤工学研究発表会, pp. 89~90, 2008. (原稿受理 2010.4.9)