

## 米国におけるCPT (Cone Penetration Test)・ダイレクトプッシュ技術 最新動向調査報告書

### 1. はじめに

地盤工学会・調査研究部の「最近のCPTテクノロジーとその設計・環境・防災への適用に関する研究委員会」(委員長 京都大学三村衛先生)では、日本におけるコーン貫入試験装置の普及を目的として、砂礫・硬質砂地盤でも貫入可能な装置の開発と情報収集を一つの課題として取り組んでいる。コーン本体とともに日本における最も重要かつ困難な問題である貫入装置のあり方についての検討を進めているところである。周知のように、我が国は、急峻な山地から海岸平野までの距離が短いという国土の特徴から、都市圏の広がる底平地であっても地盤内に砂礫が散在するという不均質な地盤構造を有している。この地盤構造は静的貫入であるCPTにとっては、コーンやロッドの破損、貫入不能という深刻な問題を引き起こす要因となる。したがって、しっかりとした反力装置、堅牢な貫入装置、砂礫を退けるシステムの開発は安定したCPT貫入環境を確保するために必須のものである。米国ARA社は、US-Army関連の仕事を引き受けて実施してきたという経験から、この方面の技術において非常に高いレベルを維持し、現在でも最先端技術を有している。今回は、当委員会海外委員でもある同社のMr. Sinnのご尽力により、米国において委員会のために公開原位置試験を実施していただくことになった。また、Geoprobe社は最先端環境調査支援ツールを専門とするメーカーであり、スウェーデンのGeotech社と業務提携してコードレスコーンシステムの開発や、独自にHPT, MIPなどのダイレクトプッシュ技術開発を進めており、これらの技術説明をしていただくことになった。さらに米国内に最初にCPTの導入に取り組んできた、68年間の歴史を有するHogentogler社からも工場見学やCPTの導入に関するディスカッションの機会も得られることとなった。

今回の視察は、当委員会のWG2リーダーである山口大学兵動先生を団長として、2007年9月28日から10月10日にかけて約2週間近くの訪米となった。視察では、まず米国環境省の委託研究開発を行っている米国ARA社(Applied Research Associates, Inc)が開発した最新のCPT技術であるEAPS(Enhanced Access Penetration System)を見学し、米国Geoprobe社の自走式貫入装置及びコードレスコーンや環境調査用のプローブの屋外デモを見学した。また、米国Vertek社では、最新の3成分コーンデータローガを視察した。さらに、米国に初めてコーン貫入試験を導入したHogentogler社で米国のコーン貫入試験の歴史と、今後の我が国でのコーン貫入試験の導入およびその問題点について多角的な議論を行う機会を得た。本稿では、米国で視察したCPT技術の最新技術の動向についてご紹介する。

## 2. 視察日程について

今回の視察日程を表1に示す。CPT研究委員会員を主とする6名からなる視察メンバーが9月28日にヒューストンで合流した。主な訪問日程は、米国ARA社のEAPSの貫入試験の屋外デモを9/29日に見学、10/1および10/2日にGeoprobe社を訪問、10/4にVertek社を訪問、10/8にHogentogler社を訪問する日程で、10/9に帰国の途について。

表1 視察日程

月日	移動・訪問先	訪問内容
9/28	ヒューストンにて視察団メンバー合流	
9/29	・午前中 米国ARA社によるEAPS技術に関する詳細説明 ・午後 ヒューストン郊外でEAPS貫入試験デモ	EAPS技術について説明および疑問点を議論、屋外でのデモを見学し、本技術の詳細内容を確認した。
9/30	ヒューストンからWichitaに移動	
10/1	Salina 移動、Geoprobe社本社訪問	Geoprobe社の最新貫入試験装置の詳細説明と工場での生産体制を見学。また、無線コーンの屋外デモを見学した。
10/2	Geoprobe社での環境貫入プローブの詳細説明と、午後から工場敷地内での屋外デモ	午前中にCPT・HPT・MIPプローブの詳細説明を受け、午後からHPT・MIPプローブの屋外デモを見学、また、ダイレクトプッシュサンプリング技術を見学した。
10/3	WhicitaからBurligtonに移動	
10/4	米国Vertek社 訪問	Vertek社の工場見学を行い、新型の3成分コーンの説明を受けた。
10/5	BurligtonからCamptonに移動	
10/6	CamptonからBostonに移動	
10/7	BostonからBaltimoreに移動	
10/8	Hogentogler社に訪問	Hogentogler社において、米国のCPT導入経緯と変遷、我が国でのCPT技術の普及について意見交換および議論を行った。
10/9	BaltimoreからChicago経由で帰国	

### 3. 視察技術の紹介

#### 3. 1 E A P S (Enhanced Access Penetration System) システム

E A P S は、図 1 に示すような C P T の貫入システムとボーリングシステムを組み合わせたハイブリッドな貫入システムである。静的貫入では貫入が困難な強固な地層では、ボーリングを使用することにより障害となる強固な層を掘削し前進することで、礫層や貫入摩擦の大きな大深度における C P T の貫入が可能になる。比較的浅層に貫入抵抗の大きな砂層や静的貫入が不可能な礫層があるような地質においても C P T の適用が可能のため、我が国のような複雑な地質を有する国においても、今後注目すべき技術であると考えられる。米国環境省からの委託により米国 A R A 社が開発した本 E A P S システムでは、主に環境汚染分野での適用が考慮されており、掘削水は完全に再循環するようになっていて、ボーリング使用時の地盤汚染を起さないようになっている。

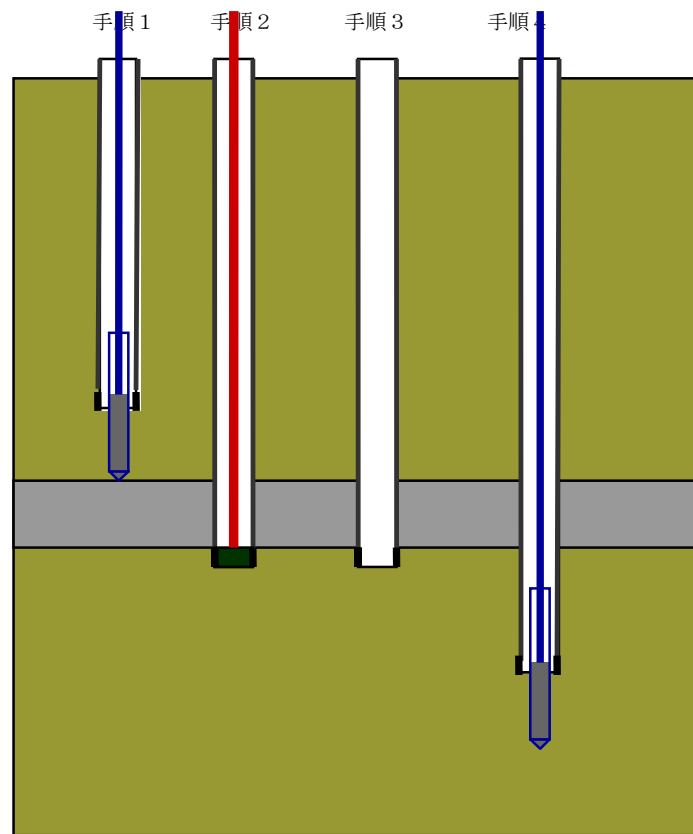


図 2 E A P S システムの概念図

E A P S では、貫入が困難な固い層に到着した場合（手順 1）、手順 2 から手順 3 のようにボーリングを使って掘削し、ボーリングの貫通後に再度 C P T（手順 4）を行うことが可能である。E A P S システムは 2 重管形式になっている。外管の管内にはボーリングロッドと掘削ヘッドや、ワイヤラインに吊るした各種 C P T コーン、サンプラーなどが通る

構造になっている。

貫入に使用するCPT油圧キャッキは、写真1に示すような20トンクラスの大型のCPTトラックに搭載されており、CPTトラックの自重で十分な反力を得ることが可能である。我が国では、あまりこのような大きなCPTトラックを使ったシステムは少ないが、広い敷地での調査の多い欧米では、このようなCPTトラックがよく使われる。デモンストレーションは、ヒューストンの郊外で行われたが、ボーリングと静的貫入をシームレスに行うことができることを確認できた。



写真1 ARA社のEAPS-CPTトラック

### 3. 2 コードレスコーンシステム (NOVA)

カンザス州サライナーにあるジオプローブ社は、我が国でもよく知られた最先端環境調査支援ツールを専門とするメーカーで、環境調査用の各種の貫入試験装置を開発・販売している。ジオプローブ社がCPT・ダイレクトプッシュ用に販売している貫入試験装置は、主に66シリーズである。今回見学したCPT装置は、日本国内にも1台ある新型の6625機で、反力を容易に確保できるオーガタイプのアンカーシステムが搭載され、極めて短時間でアンカーの設置が可能である。実際にデモにおいても、わずか2・3分でアンカーの設置が可能であった。

Geoprobe社はスウェーデンのGeotechと業務提携でコードレスコーンシステムの開発も行ってきた。今回のデモでは、ジオプローブ社と提携関係にあるスウェーデンのGeotech社の無線電送型コーン、ノバシステム(写真3)を使って貫入テストを行った。ノバシステムは無線電送式のワイヤレスCPTプローブで、無線電送のほか、内部メモリーでもデータを記録可能である。コーンから送られてきたデータは、貫入試験器上部に取り付けら

れたアンテナで受信され、Bluetooth 通信を使って P C に電送される。ただし、無線電送型のコーンは、ロッドの中に水が入ると無線電送できなくなるということで、気密性の高いロッドが必要である。なお、今回の C P T デモにおいては、無線電送や貫入に何の問題も発生せず、深度 14m 程度の貫入試験をわずか 20 分足らずで終了することができた。試験は、アンカーの設置を含め、30 分程度ですべての工程が終了した。



写真2 デモで使用したジオプローブ社の 6625 C P T 及びコードレスコーンシステム



写真3 Geotech 社のコードレスコーンプローブ



写真4 Geotech社のコードレスコーンシステム用インターフェースメーター

### 3. 3 HPTシステム、土壌サンプリング及びMIPシステム

ジオプローブ社では各種地層の透水特性の評価および汚染物質の水流拡散経路の特定を行うため、HPT (Hydraulic Profiling Tool) という独自の調査方法を開発している。HPTでは一定低流量の水を、プローブの側面にあるスクリーンから地盤に注入し、内部に設置した間隙水圧計で注入圧力を計測することで、地盤の透水特性を把握すると同時に、電気伝導度を計測することで、汚染物質の水流拡散経路を特定システムである。今回のデモでは、HPTの詳細な説明と屋外での貫入試験器を使った実際のデモンストレーションを見学することができた。また、DT32による土壌サンプリングに関するデモや、VOCなどの油汚染用のセンサーであるMIP (Membrane Interface Probe) の説明を受けた。さらに、貫入試験装置の製作過程など様々な見学をすることができ、ダイレクトプッシュ技術を理解する上で大変参考になった。

### 3. 4 最新3成分コーンデータローガ (FCS)

Vertek社は、CPTプローブのメーカーとして米国でも有力なメーカーであったが、近年、CPTメーカーとしては老舗のHogentogler社のCPT部門を買収したことにより、米国内で最大手のメーカーとなった。Vertek社では、CPT部門だけでなくアメリカ陸軍からの委託を受け、様々な高機密軍用製品の開発を行っている。内部のセキュリティも厳格で、写真撮影も不可であったが、普段見かけないような特殊なリモコン車両などを見学することもできた。また、Vertek社の最新のCPTコーンを見学することもできた。

Vertek 社の最新 3 成分デジタルコーンデータローガは FCS (Field Computer System) とい  
い、写真 5 からもわかるように、従来のデータローガに比べて極めてコンパクトで、市販  
のコンピュータと連携で使用できるようになっている。



写真 5 Vertek 社製最新 3 成分デジタルコーンデータローガ (FCS)

### 3. 5 CPT の導入に関するディスカッション (Hogentogler)

Hogentogler 社は、68 年間の歴史がある地質コンサルタント会社で、1978 年にアメリカ合衆国に始めて CPT 技術を導入した会社である。2 年前 (2005 年) に CPT 部門を Vertek 社に売却したことにより、現在は、CPT 以外の事業を主に行っている。長年の CPT 技術とアメリカでの普及に尽力してきた経験を基に、我が国への CPT 技術の普及について様々な意見交換を行った。現在の、アメリカ合衆国における CPT の普及率は、25% に達し、ほとんど普及していない我が国とは大きく異なる現状に驚いた。なお、ヨーロッパ各国でも同様に CPT は広く普及をしているようであり、我が国でも、今後の普及が大きく期待される。なお、我が国での普及への第一歩は、やはり調査基準の確立であり、今後も技術や調査の基準の確立をどのように進めていくかが鍵であるという点で意見が一致した。T. Nolan 社長からいただいたアドバイスを整理すると、以下のとおりになる。

- ・ CPT 基準には明確な詳細規格寸法が必要
- ・ ローカルコリレーションが不可欠
- ・ CPT 実務者の目線に立った基準の作成が肝心
- ・ 5 年ごとの基準見直し
- ・ サイズミックコーンなども解説に触れておくべき

- ・ C P T委員会からのヒアリングの要請には対応可能

#### 4. おわりに

今回の米国視察において、様々な企業や研究開発機関を訪問し、最新のC P T技術について触れることができた。我が国の現状では、C P T技術は、まだまだ普及には遠い状況であるが、低コストで連続的な地層のサウンディングが可能な本技術は、今後の地盤調査手法として魅力のある手法であると思われる。C P T技術は、元来、地層の力学的な強度を計測するサウンディング技術として発達したが、近年、様々なプローブが開発され、環境汚染分野など、従来の枠を超えた利用が行われつつあり、今後のさらなる発展が見込まれる。今回の視察では、極めて多彩なセンシング技術や貫入技術を見学することができたが、我が国が持つ高度なセンシング・センサー技術をこのC P T技術に応用することができれば、地盤調査手法としてのみならず、地盤環境汚染から地下水流動調査、その他の様々な応用が可能になると思われ、今後の我が国における研究開発についても期待される。