

# 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

神宮司 元治<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

2007年9月28日から10月10日にかけて社団法人地盤工学会調査研究部「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」の米国CPT(コーン貫入試験)最新動向視察団に参加する機会を得た。視察では、米国環境省の委託研究開発を行っている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) や、ジオプローブ社の自走式貫入装置や環境調査用のプローブの屋外デモを見学する機会を得た。また、米国Vertek社では、最新の3成分コーンを見学した。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

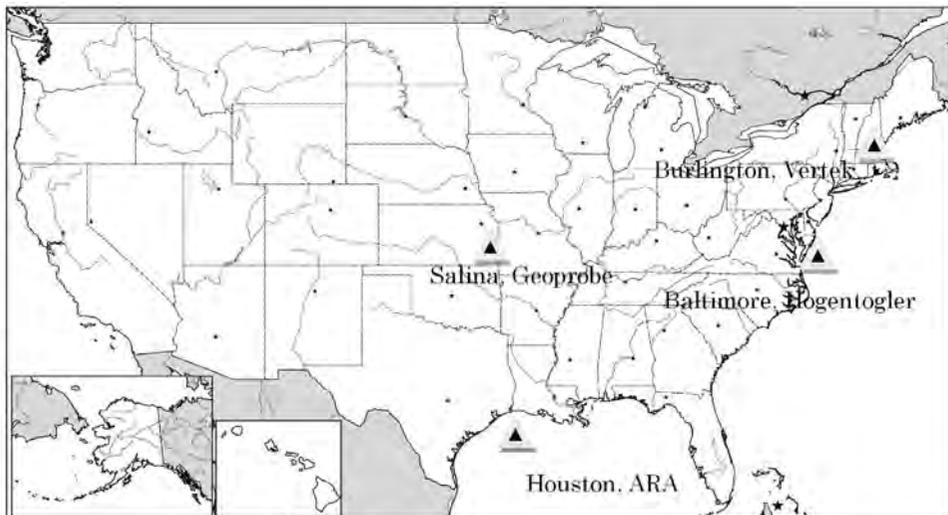
について多角的な議論を行う機会を得た。本稿では、米国で視察したCPT技術の最新技術の動向について紹介する。

## 2. 視察の概要

今回の主な訪問概要は、テキサス州HoustonにおいてARA社の最新の貫入試験装置EAPSを視察、テキサス州Salinaのジオプローブ社の訪問、バーモント州Burlington近郊のVertek社を訪問、次いでメリーランド州BaltimoreのHogentogler社を訪問した。

## 3. CPT (Cone penetration test) ・ダイレクトプッシュ技術とは

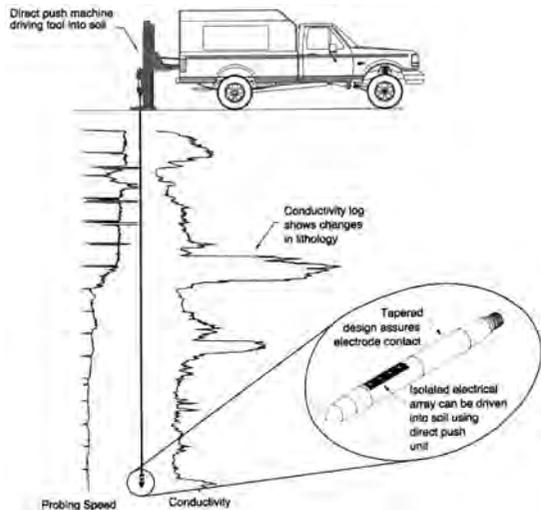
CPT(コーン貫入試験)とは、第2図に示すように、



第1図 訪問先のマップ。全米の主要なダイレクトプッシュ関連メーカーおよび研究機関を訪問した。

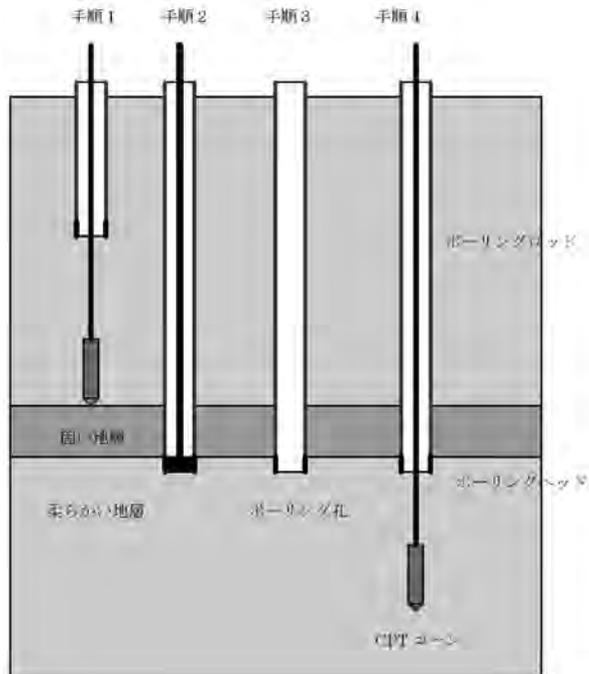
1) 産総研 地圏資源環境研究部門

キーワード: CPT, ダイレクトプッシュ, 貫入試験, MIP, HPT, EAPS



第2図 電気伝導度コーン貫入概念図。コーンの側面に配置された電極で地盤の電気伝導度を連続的に計測していく。プローブは、目的に応じて様々なセンサーを取り付けることが可能である (Schulmeister *et al.*, 2003)。

先端がコーン状のプローブを、油圧ジャッキ等の貫入装置を用いることにより打撃を加えることなく静的に押し込み(静的貫入)、プローブの内部に設置された各種のセンサーによって地中の各種パラメータを計測する技術である。当初は、従来の標準貫入試験に代わる地盤強度のサウンディング手法として開発されたが、近年では、プローブに最先端のセンサーを装備することにより、土壤汚染や地下水流動の調査に用いられるなど、従来の地盤強度計測の枠を超えた新しい地盤調査法として、アメリカやヨーロッパなどを中心に広く利用されるようになった。最近では、ダイレクトプッシュ技術として静的貫入だけでなく打撃貫入や土壌サンプリングなどを含めて幅広く応用されている。調査手順としては、まず油圧ジャッキなどで構成される貫入試験装置を搭載した車両を調査地に移動させ、車両重量やアンカーによる反力を確保した後に、毎秒2センチメートルの速度で、ロッドを地盤に貫入させる。ロッドの先端には、コーン状になった貫入プローブが取り付けられており、プローブ内の各種のセンサーによって地盤の貫入抵抗や摩擦抵抗、間隙水圧、電気伝導度(EC)、含水率などの様々なパラメータを連続的に計測することができる。



第3図 EAPSシステムの概念図。EAPS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CPT(手順4)を行う。EAPSのボーリングロッドとヘッドは、CPTコーンが内部を貫通できる構造になっている。

#### 4. ARA社によるEAPS (Enhanced Access Penetration System) の屋外デモ

EAPSは、第3図に示すようなCPT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。静的には貫入が困難な強固な地層に対しては、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抜いて前進することで、礫層や貫入摩擦の大きな大深度におけるCPTプローブの貫入が可能になる。比較的浅層に静的貫入が不可能な貫入抵抗の大きな砂層や礫層があるような地質においてもCPT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ARA社が開発した本EAPS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されるようになっていて、ボーリング使用時に掘削水が地盤に影響を与えず、地盤汚染が起きない



写真1 ARA社のEAPS-CPTトラック。



写真2 デモで使用したジオプローブ社の6625CPT試験装置。

ようになっている。貫入に使用するCPT油圧ジャッキは、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、一般的に使われている。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連続的に行うことができることを確認できた。

## 5. Geoprobe社の貫入システムとCPTプローブ

カンザス州サライナにあるジオプローブ社は、我が国でもよく知られたメーカーで、環境調査用の各種の貫入試験装置を開発・販売している。Geoprobe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。我々が見学したCPT装置は、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完了した。

デモでは、Geoprobe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PCに電送される。ただし、無線電送型のコ



写真3 Geotech社の無線電送型ワイヤレスコーン。

ーンは、ロッドの中に水が入ると無線通信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。今回のCPT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。

Geoprobe社では、通常のコーン試験のほかに、HPT (Hydraulic Profiling Tool: Butter, Jr. *et al.*, 2003) 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、プローブ内部に設置した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システムである。今回の見学では、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、コアサンプルの取得に関するデモや、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。

## 6. Vertek社の訪問

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、機密性の高い様々な軍用製品の開発を行っている。普段見かけないような特殊なり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。本製品は、非常にコンパクトな3成分コーン(貫入抵抗, 周面摩擦抵抗, 間隙水圧)であった。

## 7. Hogentogler社の訪問

Hogentogler社は、60年以上の歴史がある地質コンサルタント会社で、1978年に米国に初めてCPT技術を導入した会社である。2年前に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技術と米国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、打撃式の標準貫入試験を含む全貫入試験の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

一步は、やはり標準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思われる。

## 8. 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CPT技術について触れることができた。我が国の現状では、CPT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。CPT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技術をCPT技術に応用することができれば、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。

### 参 考 文 献

- Butter, Jr., James J., John M. Healey, G. Wasley McCall, Elizabeth J. Garnett and Steven P. Loheide, II (2001) : Hydraulic Tests With Direct Push Equipment, Ground Water, Volume 40, No.1, 25-36.  
 McCall and Wasely, M.S. (1996) : Electrical Conductivity Logging To Determine Control OF Hydrocarbon flow Paths In Alluvial Sediments, Geoprobe Systems, Technical Report.  
 Schulmeister, M.K., J.J. Butler Jr., J.M. Healey, L. Zheng, D.A. Wysocki and G.W. McCall (2003) : Direct-Push Electrical Conductivity Logging for High-Resolution Hydrostratigraphic Characterization, Ground Water Monitoring & Remediation 23, no. 3, 52-62.

JINGUJI Motoharu (2008) : Leading edge technology of CPT and direct push technology in USA.

<受付：2007年12月7日>