電気式コーン貫入試験(CPTU)による地盤評価手法の提案

CPTU RI コーン ダブ ルサウンディング

ソイルアント゛ロックエンシ゛ニアリンク゛(株)	国際会員	○後藤政昭
ソイルアント゛ロックエンシ゛ニアリンク゛(株)	正 会 員	石井正紀
㈱地盤試験所	正 会 員	北條 豊
㈱地盤試験所	正 会 員	岡信太郎
中央開発㈱	正 会 員	西原 聡
川崎地質㈱	正 会 員	黛 廣志
(株)日さく	正 会 員	石川恵司
千葉エンジニアリング(株)	正会員	若月洋朗

1. はじめに

盛土や地盤を評価するのに必要となるのは、盛土や地盤の土質性状(材料,強度や締固め度等),水みち(空洞や透水層等)の有無,地下水位,盛土直下や周辺の基礎地盤の性状(土質や強度等)などが考えられる。電気式コーン貫入試験(以降, CPTUと記す)は、サウンディングの一種で静的に貫入するのが特徴であり、CPTUで得られる三成分(コーン貫入抵抗 q, 周面摩擦 fs,間隙水圧 u)から、原位置で地盤の力学特性が迅速かつ連続的に求められる¹⁾。またこれらのデータを利用し て、鋭敏粘土から砂礫に至る土質分類も可能である²⁾。更に、最近話題になっている緩い砂質土地盤の液状化評価³⁾や軟 弱地盤の性状調査、盛土および基礎地盤の透水性の評価も可能であり、上記の盛土や基礎地盤の土質性状や強度、農業用 ため池などの堤体内の水みちなどを評価するのに最適だと考える。なお、孔壁が自立する場合(通常、地下水位以浅であ れば自立している)は、調査後の孔内水位の測定も可能である。

また,1箇所あたり10m程度の調査であれば1日当たり3箇所程度と,通常のボーリング調査の3倍程度のスピードで 現場調査が可能である。更に,盛土や基礎地盤の様々な地盤情報を,サンプリングや室内試験などを行わずに、現場調査 のみで迅速に得ることができる。

2. 代表的な専用貫入車とその特徴

CPTU に用いる代表的な専用貫入車は、写真-1 および写真-2 に示すオーガータイプのアンカーを併用する車両質量 2,200kg タイプと 3,000kg タイプ,写真-3 に示すオーガータイプのアンカーシステムが搭載された車両質量 4,000kg タイプ,写真-4 に示す自重を反力とする車両質量 9,000kg タイプがある。



写真-1 2,200kg タイプ

写真一2 3,000kg タイプ

「写真-3 4,000kg タイプ

写真-4 9,000kg タイプ

車両質量 2,200kg タイプ, 3,000kg タイプ(車両質量 2,200kg タイプの後継機種)は, 搭載されている油圧モーターなどを利用することで,泥水循環による削孔や,標準貫入 試験,さらにはボーリングマシーンで行う試料採取などの作業を行うことも可能である。 車両質量 2,200kg タイプは,後述するダブルサウンディング工法のベースマシーンとし て利用している。

車両質量 4,000kg タイプは、ロッドを油圧チャックピースで挟んで貫入するタイプで ある。このため、先に示した車両質量 2,200kg タイプ、3,000kg タイプと比較し、ロッド が固定されている分、貫入方向のズレを小さくすることができる。また、貫入装置を固 定した状態でオーガータイプのアンカーの設置を容易に行うことが可能である。した がって、盛土の法肩や小段からの斜め下方貫入(最大 45°程度)が可能であるので、供用 中の道路盛土など(現時点では礫分を多く含まない、N 値<20 の地盤に限る)で通行規制 などを行なわないで、現場調査が可能である。道路高架下での斜め下方貫入の実施状況 を写真-5 に示す。加えて、車両質量 2,200kg タイプ、3,000kg タイプ同様、泥水循環に



写真-5 斜め貫入実施状況

Suggestion of foundation evaluation technique by the electric cone penetration test (CPTU) Masaaki Goto, Masanori Ishii Soil and Rock Engineering Co.,Ltd.

Yutaka Hojo, Shintaro, Oka Jibanshikenjo Co., Ltd.

Satoshi Nishihara Cyuo Kaihatsu Co.,Ltd. , Hiroshi Mayuzumi Kawasaki Geological Eng. Co.,Ltd.

Keiji Ishikawa Nissaku Co., Ltd., Hiroaki Wakatsuki Chiba Engineering Co., Ltd.

よる削孔や、標準貫入試験、さらにはボーリングマシーンで行う試料採取などの作業を行うことも可能である。

車両質量 9,000kg タイプは,自重のみで 65kN 程度の貫入力を得ることができ,埋立地盤などの比較的軟弱で,かつ広大で作業スペースにあまり制約を受けないような調査に最適である。また,2つの油圧シリンダーを有しているため連続貫入が可能であることが最大の特徴である(試験時間は,先に示した3タイプの専用貫入車に比べ 2/3 程度である)。

3. ラジオアイソトープコーンの概要

ラジオアイソトープコーン(以降, RI コーンと記す)⁴⁾ は、三成分コーンプローブ以外にガンマ線源と Nal シン チレータを内蔵した密度計コーンプローブと中性子線源 とヘリウム 3(³He)比例計数管を内蔵した水分計コーン プローブのプローブ群から構成される。貫入手順は、1 回目にコーン貫入抵抗 q,周面摩擦 f_s,間隙水圧 u に加 えて、自然ガンマ線強度の計測(BG 計測)を行い、2 回目 にガンマ線密度計による湿潤密度、3 回目に中性子水分 計により含水量(含水比)をそれぞれ深度方向に連続的に 計測する。図-1 に RI コーン貫入試験の貫入手順を示す。

以上より, RI コーン貫入試験は, 原位置で地盤の力学 特性と物理特性が迅速に連続的に求められるとともに, 盛土の締固めの状態なども確認できる。したがって, サ ンプリングや室内での室内物理, 力学試験をしなくても 原位置でほぼすべての情報が得られるのが特徴である。

図-2,3に試験結果例を示す。図-2は粘性土主体の 地点での結果であるが、湿潤密度、含水比とも室内試験 結果とほぼ一致している。図-3は砂質土主体の地点で



図-1 RIコーン貫入手順

の結果であるが,室内試験の含水比は標準貫入試験(以降,SPTと記す)により採取した試料を用いて測定しているため, サンプラー引き上げ時や試料観察時に含水比が低下したことが考えられる。



図-3 砂質土主体の地点での RI コーン貫入試験結果³⁾

4. ダブルサウンディング工法の概要

CPTU は硬質地盤において静的圧入の限界があり, SPT は軟弱地盤で N 値の信頼性に難点がある。ダブルサウンディン グ工法⁵⁾は,1調査孔で両サウンディング (CPTU と SPT)を切り替えて利用する調査方法である。N 値<40 の礫質地盤以 外では CPTU を実施し,CPTU が貫入不能となった段階で SPT に切り替え,硬質中間層の厚さや支持層の厚さを確認で きる工法である。図-4 に実施手順を示す(写真-1 はダブルサウンディング工法による調査を実施している状況である)。 支持層に不陸が予想される地盤などでは,調査間隔を狭めて実施することで,精度よく支持層の深さと厚さの確認ができ る。図-5 に調査結果例を示す。







図-5 ダブルサウンディング工法による調査結果例⁶⁾

5. その他のコーン貫入試験

近年は、エレクトロニクス技術が発達したことにより、更なるセンサーの高性能化、小型化が進み、様々なセンサーを プローブ内部に組込むことが可能となった。このことにより、地盤の様々な特性を測定できるコーンの開発、実用化が各 方面で行われている⁷⁾。ここでは、サイスミックコーン、電気比抵抗コーンについて紹介する。

サイスミックコーンは、プローブ内にジオフォンを装備し、コーン貫入試験を実施しながら PS 検層を行うことができ る。図-6に試験結果例を示す。電気比抵抗コーンは、コーン側面に電極を設置し、間隙水の化学組成による地盤の電気 比抵抗の分布を測定するものである。電気比抵抗コーンにより測定された電気比抵抗は、表面電気探査により得られた電 気比抵抗の分布との検証や CPTU や RI コーン貫入試験結果による土質区分との関係などが報告されている⁸⁾。図-7 に 電気比抵抗コーンプローブの概略図を示す。 またその他にも地盤の透水性を把握するためのプローブ(HPT)や,地盤中に存在する揮発性物質を検出するプローブなどがある。



6. おわりに

CPTU による地盤調査は、国外では様々なシーンで幅広く用いられており、シンガポールでは埋立地盤の管理として **CPTU** 並びに **RI** コーン貫入試験が仕様書に盛り込まれている。一方、国内では約 30 年前から三成分コーン(**CPTU** の前 身)が普及し始めたが、現状では港湾系の埋立地盤の調査や管理で用いられている他は、国外に比べて広く普及していな い。この原因として、まず、国内では礫質地盤等の硬質な地層や地盤が多く、**CPTU** による調査に適していないことが挙 げられる。加えて、**SPT** は *N* 値とともに試料が採取できるという他のサウンディングにない特筆すべき利点を有してお り、採取した土を観察し、必要に応じて室内試験を実施することができ、変形係数などの各地盤定数との相関性も確認さ れている。これは、日本人の感性に非常にマッチし、**SPT** が国内で広く普及した原因の1つではないかと考える。

以上の経過より,国内における現状は,N値による土質判定や強度評価に適していない軟弱地盤でさえ SPT で評価す る傾向にあり、これは、筆者らが危惧しているところである。今こそ、餅は餅屋、即ち、軟弱地盤は CPTU による調査 を行い、未来に禍根を残さないようにしたいと考えている。その観点に立ってみると、ダブルサウンディング工法は、軟 弱地盤では CPTU,硬質地盤では SPT と同じ機械で両方(ダブル)の地盤調査ができるのが特徴であり、正に時代のニーズ にマッチした調査法であると確信している。また RI コーンは、原位置で地盤の物理、力学特性の把握が完結するので、 調査に関する経費節減かつ時間短縮の観点からも優れた地盤調査手法である。

なお,上記趣旨に賛同する 10 社で「CPT 技術協会」を立ち上げ, CPTU の普及活動とともに技術力の向上に取り組ん でいる。詳細については,協会ホームページ等を参照されたい。

参考文献

- 1) 鈴木康嗣・時松孝次・實松俊明:コーン試験結果と標準貫入試験から得られた地盤特性との関係,日本建築学会構造系 論文集 第 566 号, pp.73-80, 2003.4.
- 2) P. K. Robertson : Soil classification using the cone penetration test, Canadian Geotechnical Journal, Vol.27, No.1, pp.151-158, 1990.
- 3) 後藤政昭・吉村貢・小山博司・石井正紀・重富正幸・松浦良信・吉留花江: ラジオアイソトープコーン貫入試験(RI-CPT)で 得られるデータについて, 第 59 回地盤工学シンポジウム, pp.95-102, 2014.11.
- 4)後藤政昭・吉村貢・重富正幸・松浦良信・小山博司・石井正紀・高上勇二・長澤遼:RIコーン貫入試験による土質分類並びに湿潤密度及び自然含水比計測結果に対する考察,第12回地盤工学会関東支部発表会講演集,pp.146-149,2015.10.
- 5)山本伊作・大塚潤・黛廣志・後藤政昭・若月洋朗・西原聡・石川恵司: CPT/SPT 両用マシーンによる軟弱地盤と硬質地盤の 1調査孔ダブルサウンディング,第12回地盤工学会関東支部発表会講演集,pp.454-457,2015.10.
- 6) CPT 技術協会: CPT と SPT のダブルサウンディングパンフレット, 2016.6.
- 7) 公益社団法人 地盤工学会:地盤調査の方法と解説, pp.394-397, 2013.3.
- 8) 三村衛・岩崎好規・藤原照幸・吉村貢・松浦良信:電気比抵抗コーン貫入試験による土層区分,第50回地盤工学研究発表 会講演集, pp.177-178, 2015.9.
- 9) 公益社団法人 地盤工学会関東支部:各種サウンディング技術の液状化調査手法としての適用性に関する研究委員会報告書, p.3.7.9, 2015.4.