

電気式コーン貫入試験(CPTU)を用いた調査技術の紹介

CPT 技術協会

1. はじめに

CPT 技術協会は、2015 年 7 月に日本国内にて主に電気式コーン貫入試験(以降、CPTU と記す)を実施していた(株)地盤試験所、ソイルアンドロックエンジニアリング(株)、(株)タカラエンジニアリングの 3 社が中心となり、CPTU や他のダイレクトセンシングの組み合わせによる試験、調査技術の応用および新技術の開発を通して、日本国内での CPTU の一層の普及および土木、建築分野の健全な発展を目指して設立した協会である。設立当初、先に示した 3 社を含め、川崎地質(株)、興亜開発(株)、(株)ダイエーコンサルタンツ、(株)地圏総合コンサルタント、千葉エンジニアリング(株)、中央開発(株)、(株)日さくの計 10 社にて活動を開始し、2018 年 9 月現在、(株)プラント*ツリース、北海道土質試験協同組合の 2 社を加えた計 12 社にて活動している。

CPTU は、地盤工学会基準(JGS 1435-2012)に定められた静的貫入によるサウンディング試験の 1 つであり、比較的軟弱な地盤において、深度方向に連続かつ迅速に高品質なデータを得られることが最大の特徴である。近年、エレクトロニクス発達に伴い各種センサーは小型化され、さらにコーンプローブの剛性も高まったことから、CPTU は軟弱な粘性土主体の試験方法から砂質土にも適用範囲を広げている。また、貫入装置もこれまで主にボーリングマシンや土壌汚染土のサンプリングマシンなどを用いて試験(貫入)していたが、近年では写真-1 に示すような高貫入力を有する海外メーカーの自走式貫入装置を用いて試験を実施することが主流となりつつある。このような貫入装置を用いることで、大きな礫を多く含まない地盤であれば N 値 40 程度まで適用可能である。

本稿では、当協会にて保有している技術の紹介、現在実施している研究とその活用事例について紹介する。



写真-1 海外メーカーの自走式貫入装置

2. CPTU の概要

図-1 に示す CPTU のコーンプローブは、円錐形の先端コーン(一般に先端角度 60 度、断面積 $1,000\text{mm}^2$)、その上部に間隙水圧を測定する多孔質のフィルター、さらにその上部にはプローブ側方の周面摩擦を測定するスリーブから構成される三成分コーンプローブである。また、国際規格に準拠し、コーンプローブ内には貫入時の傾斜角度、コーンプローブ内の温度を測定できるセンサーも内蔵している。CPTU は、このコーンプローブを写真-1 に示すような貫入装置にて $20\text{mm} \pm 5\text{mm/s}$ の速度で地盤に静的に貫入し、貫入時の先端抵抗(q_c)、周面摩擦(f_s)、間隙水圧(u)を深度方向に約 20mm 間隔で測定、記録する。CPTU の代表的な特徴は、以下のとおりである。

- ・ 得られた測定値から地盤の土質区分¹⁾、非排水せん断強度(S_u)¹⁾、内部摩擦角(ϕ)¹⁾、 N 値²⁾、細粒分含有率(F_c)²⁾などの土質定数を高精度で推定可能である。
- ・ データの連続性により地盤の不均質な堆積構造が探知でき、層厚数 cm の狭在層も十分に探知できる。
- ・ コーンプローブには傾斜計、温度計が内蔵され、貫入時の鉛直度のチェックや貫入中の温度補償が可能である。
- ・ すべての測定データはデジタル出力であるため、IoT 化が可能である。
- ・ CPTU は砂質土、粘性土に加え、超軟弱な有機質土といった広範な土質に適用できる。
- ・ CPTU と標準貫入試験(以降、SPT と記す)を 1 台のマシンで実施するダブルサウンディング工法(3 章に詳述)により玉石や砂礫地盤への適用が可能である。

3. ダブルサウンディング工法³⁾

静的貫入である CPTU は、硬質地盤においては適用限界があり、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(以降、DS と記す)は、同一の試験孔で両サウンディング(試験)を切り替えながら試験を行う地盤調査の方法である。すなわち、静的貫入が可能な土層では CPTU を実施し、CPTU が不可能となった段階で SPT により中間層の厚さや支持層厚さを確認する工法である。1 日あたりの調査深度は、約 25m(CPTU 約 20m+SPT 約 5m)の試験が可能であり、室内土質試験が不要なため迅速な解析が可能であることから、工期短縮に寄与し、経済性に

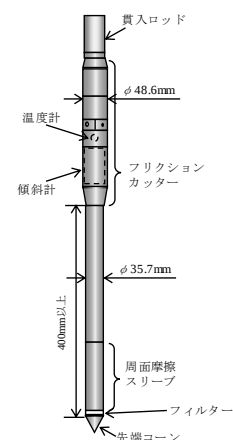


図-1 コーンプローブの概要

優れた調査方法である。図-2 に試験手順、図-3 にダブルサウンディング工法により得られた推定地質断面図の一例を示す。

- ① CPTU を実施するための反力を得るためにスクリーアンカーを設置し、コーンプローブを地盤に静的に貫入して CPTU を実施する。
- ② コーンプローブを静的に貫入することができなくなった時点でコーンプローブを引き揚げ、装置をボーリング掘削用に切り替える。
- ③ 泥水循環により削孔し、CPTU 貫入不可の深度より SPT を実施する。
- ④ N 値 ≥ 40 の砂や礫質土層以深の試験が必要であり、かつ CPTU が可能な場合は、再度 CPTU 用に装置を切り替え、試験を継続する。

ダブルサウンディング工法は、図-3 の推定地質断面図の一例に示す No.7～No.9 のように基盤の不陸が顕著な場合には、さらに試験数量を追加して詳細な支持層深度の情報を得ることができる。また、No.3～No.6 のように支持層深度がほぼ一定な場合には、CPTU のみ実施して支持層深度のみ確認する等、地盤によって柔軟な対応が可能である。

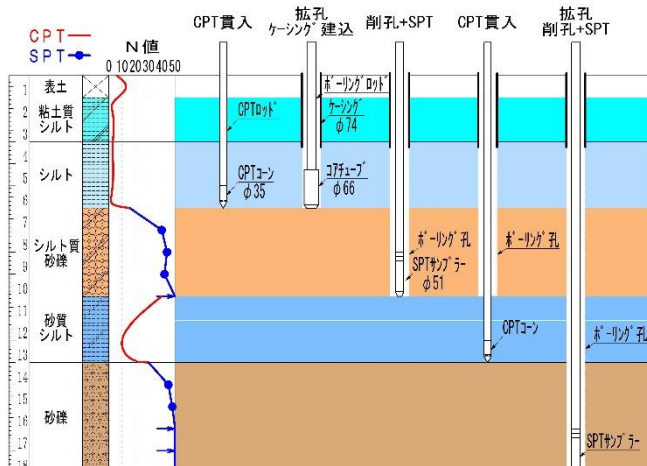


図-2 ダブルサウンディング工法の手順
※ 図中では CPTU を CPT と記す。

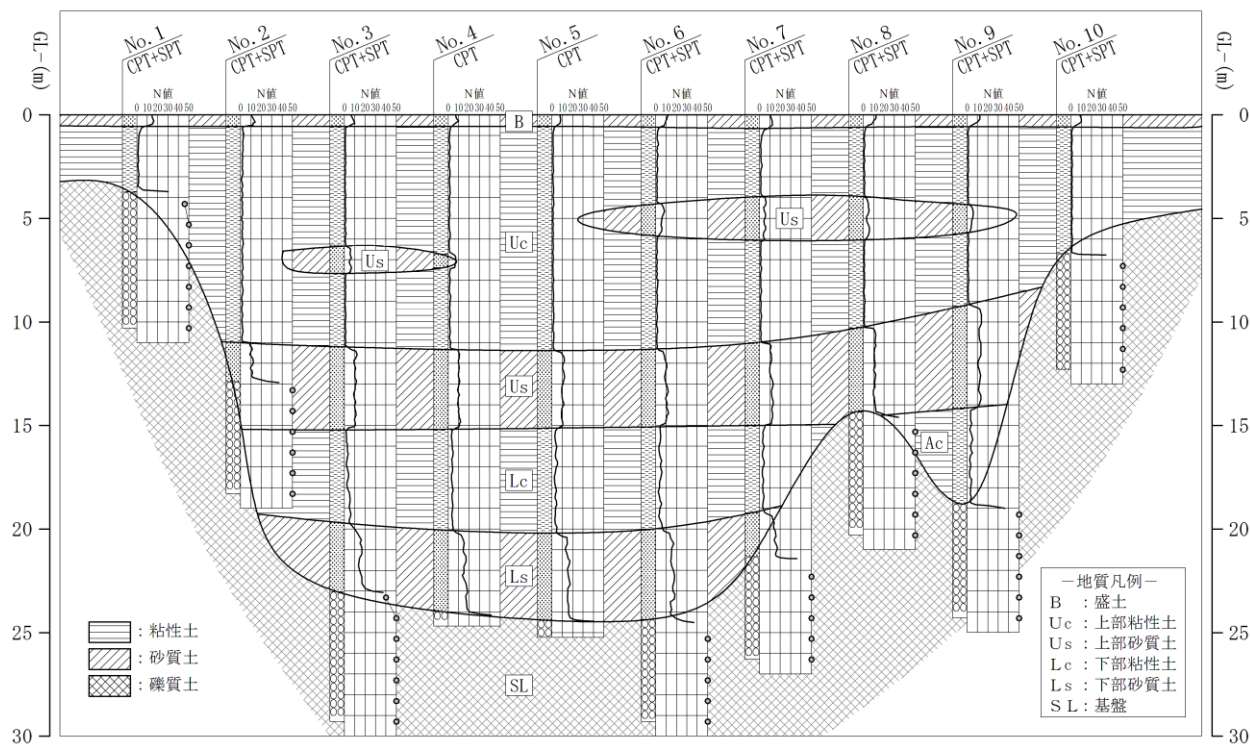


図-3 ダブルサウンディング工法より得られた推定地質断面図の一例

※ 図中では CPTU を CPT と記す。また図中の CPTU 結果は換算 N 値を示している。

4. ラジオアイソトープコーン貫入試験

ラジオアイソトープコーン貫入試験(以降、RI-CPT)は、静的貫入によるサウンディング試験の一種であり、地盤の湿潤密度、含水比(含水量)を迅速かつ深度方向に連続的に得ることのできる試験である。RI-CPT は、図-4 に示す 3 種類のコーンプローブ群からなり、通常は CPTU を実施した試験孔にそれぞれのコーンプローブを静的に貫入して測定を行う。湿潤密度は、密度計プローブにガンマ線源(セシウム 137)を内蔵した線源コーンを取り付けて貫入し、その後線源コーンを BG コーン(ガンマ線源を内蔵しないコーン)に交換して再度貫入して測定する。これは湿潤密度がガンマ線源由来のガンマ線源強度から算出されるため、ノイズ成分となる地盤から放出される自然放射線(バックグラウンド: BG)の影響を補正するためである。

水分計コーンプローブに内蔵されている中性子線源(カリホルニウム 252)から放出される速中性子は、水素原子(地盤内ではほぼ水の構成原子として存在する)の原子核と衝突を繰り返しながら運動エネルギーを失い熱中性子に変わる。

この熱中性子の量を計測することにより含水量を測定する。ただし、地下水位以深では通常、間隙は水で満たされているので($S_r=100\%$)、RI-CPT で計測した湿潤密度、土粒子の密度から、含水比を算出するケースが多い。

RI-CPT により得られた深度方向の湿潤密度、含水比にサンプリングした乱れの少ない試料の湿潤密度、飽和含水比および SPT により採取した乱した試料の含水比を併記した分布図の一例を図-5 に示す。

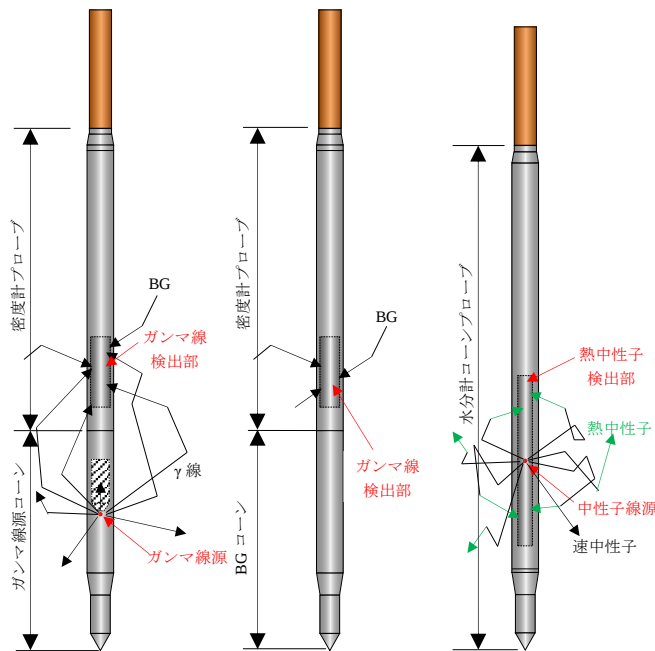


図-4 RI-CPT コーンプローブ群概要図

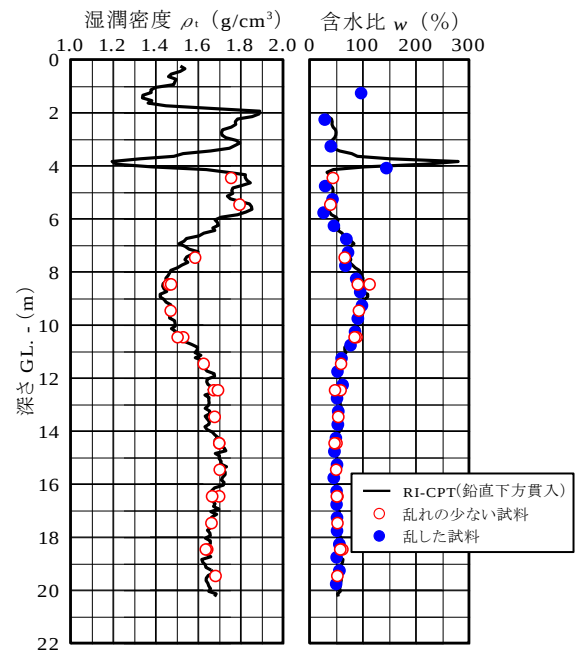


図-5 RI-CPT 測定結果の一例³⁾

5. HPT コーン貫入試験⁴⁾

HPT (Hydraulic Profiling Tool) コーン貫入試験は、サウンディング試験の一種であり、土の水理特性を素早く、深度方向に連続的に評価する試験である。図-6 に示す HPT コーンプローブは、コーンプローブ側面から地盤に対し直接注入される水の圧力反応を測定するために、プローブ内に水圧計を内蔵している。HPT コーンプローブを静的貫入または打撃貫入し、水を 300mL/min 以下の一定流量で注入し、深度と共に層による透水圧力を計測する。また、所定の間隔で貫入を停止させ、砂質土において静水圧を測定することも可能である。プローブ側面には電気伝導率の双極子が組み込まれている。一般的に電気伝導率は粒径に反比例する。すなわち、伝導率が低い場合は大きな粒径に相当し、伝導率が高い場合は粒径が小さいことを示す。しかし、汚染物質の存在や塩水の混入など、電気伝導率の値に影響する他の要因に注意する必要がある。図-7 に測定結果の一例を示す。



図-6 HPT コーンプローブの一例

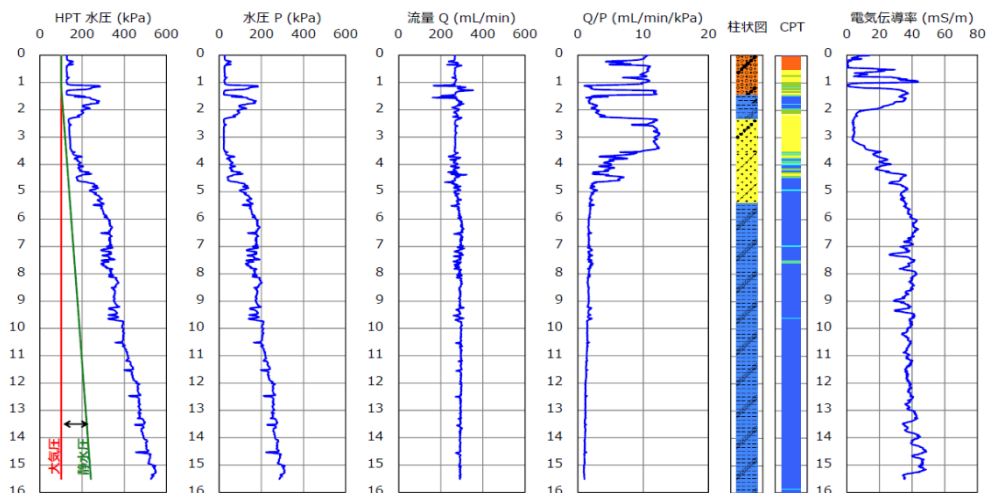


図-7 HPT コーン貫入試験測定結果の一例

※ 図中では CPTU を CPT と記す。

6. 斜め下方 CPTU について^{5), 6)}

1 章の写真-1 に示す海外メーカーの自走式貫入装置を用いることにより、従来鉛直下方に実施していた CPTU を写真-2 に示すように斜め下方に貫入することができる。当協会では、この斜め下方貫入における CPTU と従来の鉛直下方貫入における CPTU や室内土質試験結果との比較、検証を行い、実用化に向けての研究、開発を行っている。CPTU は多様な地盤情報を取得できること、通常の鉛直ボーリング調査では実施が困難な場所で地盤調査を実施することができるといった CPTU の有効性を活用することで、様々な場所で多様な地盤評価を行える可能性がある。すなわち、この斜め下方貫入における CPTU が今後実施可能となればその活用シーンは格段に広がることを期待できるものと考えられる。以下にその活用シーンの例を示す⁷⁾。



写真-2 CPTU の斜め下方貫入の一例

(1) 盛土での活用例

道路や鉄道の盛土調査を実施する際、斜め下方 CPTU を活用することで道路の規制を行うことなく、また、鉄道の営業時間内においても調査を行うことが可能となり、盛土の地盤構成や盛土下部の液状化判定を容易に行うことができる。また、築堤履歴が複雑な河川堤防では天端や小段などの複数箇所から斜め方向の調査を行うことにより、複雑な堤体構造を詳細に把握することが可能となる(図-8 参照)。

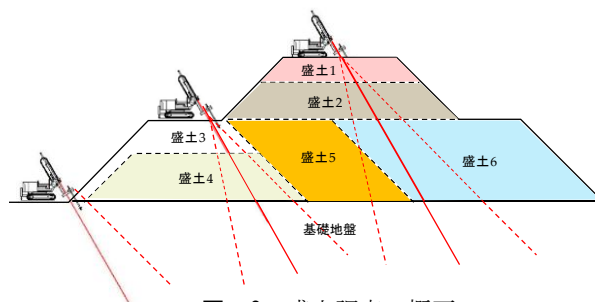


図-8 盛土調査の概要

(2) 既設構造物での活用例

橋梁や石油タンク、戸建宅地などの構造物は、撤去が出来ないためその直下地盤の鉛直調査が不可能である。しかし、構造物の近傍から斜め下方 CPTU を活用することで、構造物の解体、撤去をすることなく構造物直下の地盤構造や空洞の有無、液状化の評価、支持力の評価を実施することが可能となる(図-9 参照)。また、既設杭基礎間においても、斜め下方 CPTU を活用することで杭を避けて杭間の地盤状況や物性、空洞の有無等を確認することができる(図-10 参照)。

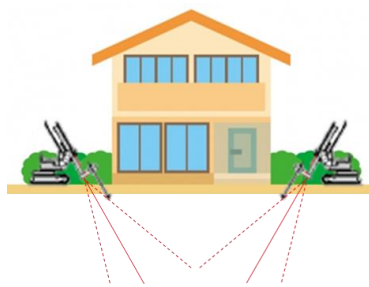


図-9 宅地調査の概要

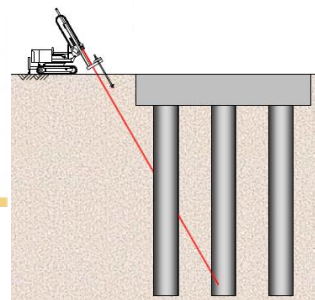


図-10 杭基礎調査の概要

(3) その他の活用例

河川や湖沼、港湾の底質調査を実施するには、通常台船や足場仮設が必要となるが、斜め下方 CPTU を図-11 に示すように陸地の近い地点から斜め下方の調査を実施することで台船や足場仮設が不要となり、迅速かつ安価に有効なデータを取得することが可能となる。

また、改良体周囲より改良体に向かって斜め下方 CPTU を実施することで、改良体を損傷させずに改良体の施工状況や効果を確認することができる。

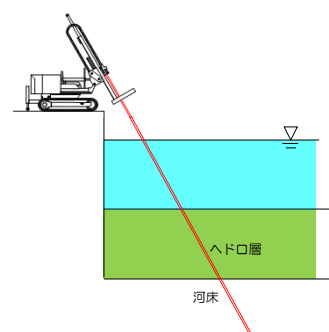


図-11 底質調査の概要

参考文献

- 1) 公益社団法人 地盤工学会: 地盤調査の方法と解説, pp.391-393, 2013.3
- 2) 鈴木康嗣, 時松孝次ほか: コーン貫入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.73-88, 2003.4
- 3) 長澤遼ほか: 電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入に関する研究(その 5: 斜め下方 RI-CPT 結果の評価), 第 53 回地盤工学研究発表会, pp.203-204, 2018.7
- 4) CPT 技術協会 HP, <https://www.cpt-engi.com/>
- 5) 北條豊ほか: 電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入への試み(その 1: 実証実験概要)~(その 4: ラジオアイソトープコーン貫入試験結果), 第 14 回地盤工学会関東支部発表会, pp.416-429, 2017.11
- 6) 脇中康太ほか: 電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入に関する研究(その 1: 実証実験概要)~(その 8: 力学試験結果の評価), 第 53 回地盤工学研究発表会, pp.195-210, 2018.7
- 7) 中川清森ほか: 電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入に関する研究(その 2: 実績とこれからの利用), 第 53 回地盤工学研究発表会, pp.197-198, 2018.7

問合せ先

CPT 技術協会事務局 〒130-0022 東京都墨田区江東橋 1-16-2 (株)地盤試験所内 TEL 03-5600-2911