

電気式コーン貫入試験システムの開発とタイ国の粘性土地盤における比較検証試験

電気式コーン貫入試験 試験装置 測定システム
比較試験 粘性土地盤

正会員 ○仲優太朗*
正会員 北條豊**
正会員 山本伊作***
正会員 亀井秀一****
正会員 林世峻*****
正会員 松本樹典*****

1. はじめに

電気式コーン貫入試験 (CPTU) は地盤特性を連続的かつ経済的にリアルタイムで把握できる試験法である。この試験法はヨーロッパを中心に地盤調査、設計に広く用いられている。CPTU は大きな玉石や砂礫地盤以外の砂質土、粘性土、有機質土、火山灰といった広範な土質に適用が可能で、地盤の地層区分、換算 N 値、非排水せん断強度 c_u 、せん断抵抗角 ϕ などの指標が精度よく推定可能である。また他の試験法と比較して、詳細なデータを得ることができ、地盤の不均質な堆積構造や層厚数 cm の挟在層も探知できる。さらに CPTU コーンには傾斜計や温度計が内蔵されており、貫入時のコーンの鉛直度のチェックや、貫入中の測定データの温度補正が可能となる。

以上のデータ集録には多種類の精密機器を用いるため、日頃のコーンの維持管理が重要となる。また試験前後の点検や定期的な校正が必要となり、特に海外製のコーンを使用する場合ランニングコストが高い傾向にある。

以上の課題を解決し、CPTU 調査の更なる普及のため日本国内でコーンを作成する必要があると考え、CPTU コーン、データロガーおよび測定システムの開発・製作を行った。コーンの精度や動作を確認するため他社コーンとの比較実験を行い、開発した CPTU システムを検証した。

2. 開発方針

CPTU コーン、データロガーおよび測定システムは、主に以下の点に留意して開発を進めた。①コーンの材質については硬度 (HBM) のみが高い材質の場合、破断に弱い可能性がある。そのため鋼材の種類や熱処理を用いて粘り強い材質を選定した。②現場で簡単に測定でき、かつ測定結果を即時に表示できるシステムを目指した。測定グラフの表示は、測定中でも深度や測定範囲を変更できるようにした。

3. 製作コーン・測定システム

コーン (図-1a) については地盤工学会基準¹⁾の規格に準じて製作した。製作した CPTU コーンの様・規格を表-1に示す。データロガー (図-1b) は測定 PC からの電源投入ができ、位置情報の記録を可能とした。データロガ

ーと測定用 PC の接続は、Bluetooth 無線または USB 有線のどちらかを選択できるようにした。測定グラフの表示は、深度方向に自動もしくは固定スケールが可能になるようにした。それぞれのコーンの校正係数や温度補正係数についてはデータベース化を行い、画面上で選択できるようにした。



(a) 三成分コーン (b) データロガー

図-1 開発した CPTU システム

表-1 CPTU コーンの様・規格

項目	値
最大測定先端抵抗, $q_{c \max}$ (MPa)	50
最大測定周面摩擦抵抗, $f_{s \max}$ (MPa)	1
最大間隙水圧, u_{\max} (MPa)	5
最大測定貫入試験器角度 ($^{\circ}$)	± 10 (X, Y)
温度 ($^{\circ}\text{C}$)	-10 ~ +80
コーン円柱部の直径, d_c (mm)	35.7
コーン断面積, A_c (mm ²)	1001.0
有効面積比, a	0.76
円錐部高さ, h_c (mm)	31.2
円柱延長部高さ, h_e (mm)	9.0
フリクションスリーブ直径, d_2 (mm)	35.9
フリクションスリーブ長さ, l_s (mm)	133.0
フリクションスリーブ表面積, A_s (mm ²)	15000.2

4. 比較試験

開発した CPTU システムを用いて、タイ (パトゥムターニー県) にある STS 社の試験場で CPTU を実施した。比較したコーンはオランダ製の三成分コーンである。CPTU は開発コーンで 2 回、比較コーンで 1 回行った。測定地点

の間隔は約2m程度離れた。貫入機はSTSのトラック搭載型の貫入機を使用した。また同試験場においてSPTも実施した。

SPTおよびCPTUの結果を図-2に示す。SPTによればGL-10mまでは粘土($N \approx 8$)、GL-10~12mの間には粘土質砂($N \approx 4$)、GL-25mまでシルト質粘土が分布する。シルト質粘土層の N 値は深度方向への増大が確認できる。粘土およびシルト質粘土には砂が微量に混じる。

SPTにおいてGL-10~12mで確認できた粘土質砂は、CPTUによる土質分類²⁾では砂混じりシルト~シルト質砂と判定され、SPTおよびCPTUからの土質分類はよく対応している。またそれ以外の地層に対するSPTおよびCPTUからの土質分類もよく対応している。

図-2において補正コーン先端抵抗 q_t と周面摩擦抵抗 f_s の測定結果は、小さな測定値を見やすくするため、対数で表示した。開発コーンと比較コーンの q_t と f_s は同様な傾向を示した。CPTU測定結果では、GL-6.0m付近で先端抵抗の上昇や間隙水圧の減少がみられたため、薄い砂層だと考えられる。ボーリング結果でも粘性土に微量な砂が混じることが確認されており、開発コーンは薄い挟在層も探知できた。

開発コーンと比較コーンの間隙水圧も同様な傾向を示すが、比較コーンの間隙水圧値の応答が開発コーンに比べて緩やかな箇所が確認できる。比較コーンの間隙水圧の挙動は地盤特性によるものではなく、間隙水圧フィルターに気泡が入ったことによる測定誤差であると考えられる。

5. おわりに

開発したCPTUコーンを用いて、既存CPTUコーンとの比較試験を行った。両CPTUの結果はほぼ同様であった。

開発コーンを用いたCPTUによる土質分類は、SPTによるそれとよく対応した。

今後はサイスミック試験(板叩き法)の追加や、測定傾斜角度の増大など、さらなるCPTUコーンの改良を行う予定である。

参考文献

- 1) 公益社団法人地盤工学会 (2013) : 地盤調査の方法と解説, pp.366-403.
- 2) CPT 技術協会(2023) : 地盤工学の実務におけるコーン貫入試験, Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M. (1997): Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice の翻訳

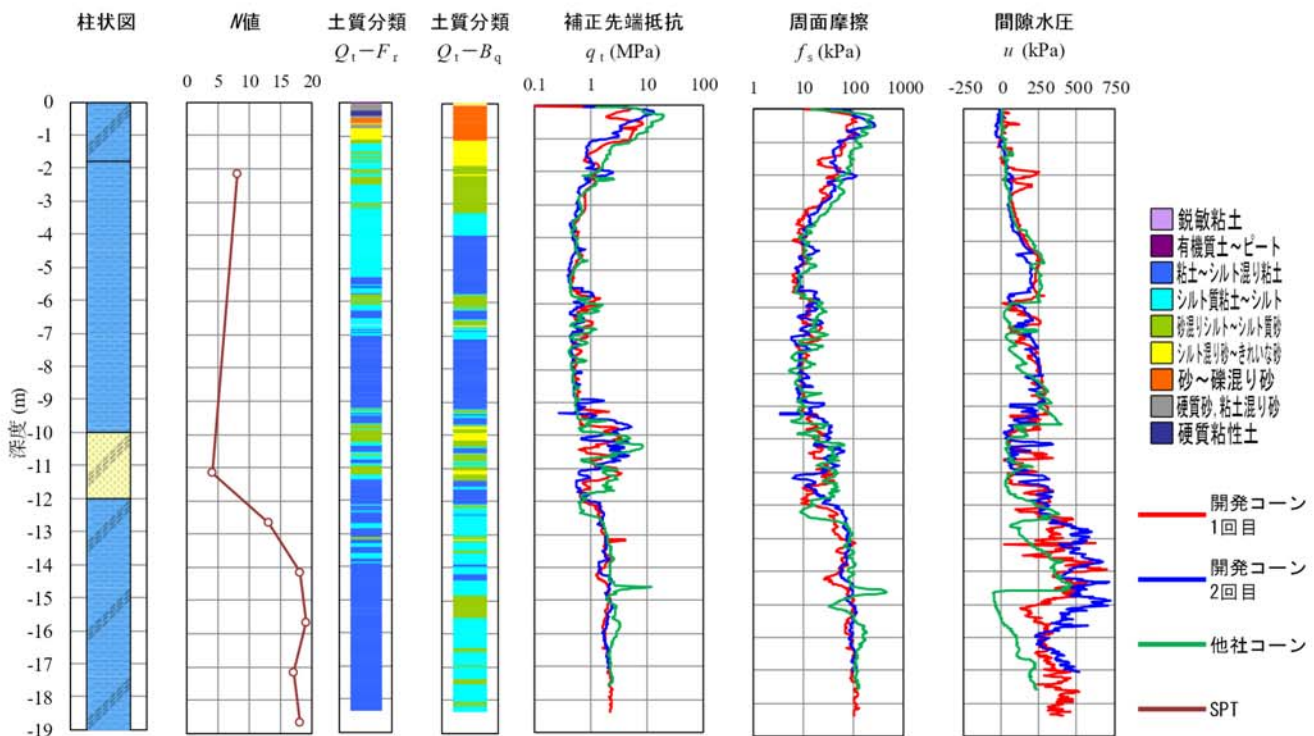


図-2 CPTU 調査結果比較

* (株)地盤試験所 主任・理学修士
 ** (株)地盤試験所 課長・理学士
 *** (株)地盤試験所 代表取締役・工学修士
 **** (株)地盤試験所 部長・工学学士
 ***** (株)地盤試験所 主任・理学修士
 ***** 金沢大学 名誉教授・工学博士

* Chief Engineer, Jibanshikenjo Co. Ltd., Ms. Science
 ** Section Chief, Jibanshikenjo Co. Ltd., Bc. Science
 *** CEO, Jibanshikenjo Co. Ltd., Ms. Eng.
 **** Director, Jibanshikenjo Co. Ltd., Bc. Eng.
 ***** Chief Engineer, Jibanshikenjo Co. Ltd., Ms. Science
 ***** Emeritus Prof., Kanazawa University, Dr. Eng.