

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)

電気式コーン貫入試験
斜め下方貫入
実証実験

(株)地盤試験所	正会員	○北條 豊
ソイルアンドロックエンジニアリング(株)	正会員	松浦良信
川崎地質(株)	正会員	脇中康太
大和探査技術(株)		糸井理樹
(株)地球科学総合研究所	正会員	原 彰男
日本物理探査(株)	正会員	岡嶋眞一
東邦地下工機(株)	正会員	片山浩明
中央開発(株)	正会員	西原 聡

1 概要

電気式コーン貫入試験(以降、CPTUと記す)¹⁾はボーリング調査に比べ迅速、かつ原位置にて力学・物理特性を把握することができ、地盤調査を実施する上で有効な手段である。ただし、貫入方法や結果の解釈は鉛直貫入が前提である。CPTUの斜め調査が有効となれば、図-1に示す盛土の法肩や法尻、盛土小段からの調査、あるいは既設構造物下部の地盤調査など、その活用範囲は格段に広がるものと考えられる。

本実験では、鉛直(90°)および斜め下方(75°、60°、45°)のCPTUとラジオアイソトープコーン貫入試験(以降、RI-CPTと記す)を実施し、標準貫入試験(以降、SPTと記す)や室内土質試験結果と比較するとともに、斜めCPTU調査方法の測定精度と解釈の検証を行う。また、CPTUによる斜め方向の地盤調査手法を確立するとともに、適用範囲を明らかにする。

本稿(その1)では、実験調査の概要について報告する。

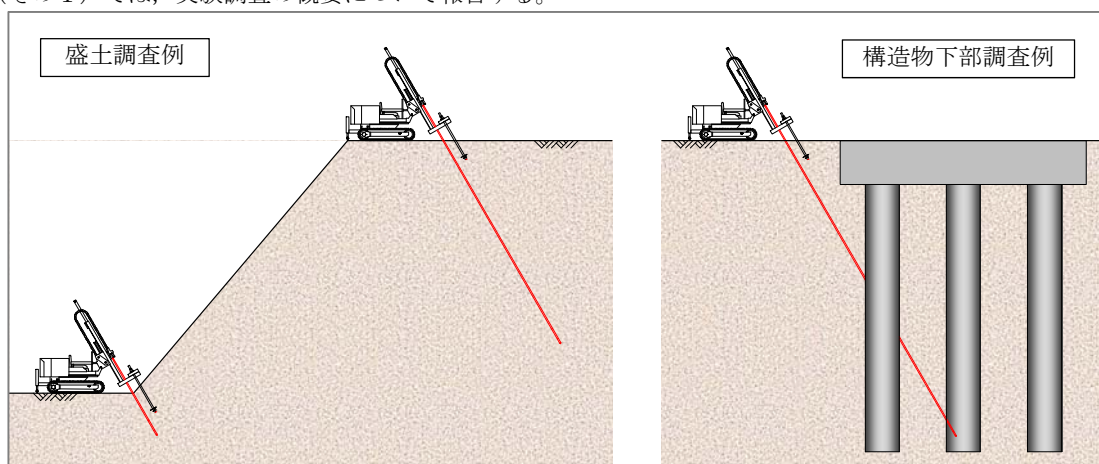


図-1 斜めCPTUの活用例

2 調査内容

調査内容を表-1に示す。

本実験では、CPTUとRI-CPTについて、鉛直(90°)と斜め下方(75°、60°、45°)の4角度で実施した。調査深度は鉛直距離で20mとした。また、現地盤を確認する目的で、SPTとサンプリングおよび室内土質試験を実施した。

調査角度による積算補正係数を設定する能率調査として、各調査角度の作業時間を記録した。

表-1 調査内容

調査内容	調査深度		備考	
	鉛直距離	斜距離		
CPTU RI-CPT	90°	20.0m	—	2地点
	75°	20.0m	20.7m	1地点
	60°	20.0m	23.1m	1地点
	45°	20.0m	28.3m	1地点
鉛直SPT	20.0m	—		0.5m間隔
サンプリング	20.0m	—		砂質土2深度、粘性土14深度
室内土質試験				ペネ試料、サンプリング試料
能率調査				調査角度による作業時間

An attempt to inclined downward penetration of electric cone penetration test (Part 1:Outline of Investigation)

Yutaka Hojo, Jibanshikenjo Co., Ltd.
Yoshinobu Matsuura, Soil and Rock Engineering Co., Ltd.
Kota Wakinaka, Kawasaki Geological Eng. Co., Ltd.
Yoshiki Itoi, DAIWA Exploration & Consulting Co., Ltd.
Akio Hara, JGI, Inc.
Shinichi Okajima, Nippon Geophysical Prospecting Co., Ltd.
Hiroaki Katayama, Toho Chikakoki Co., Ltd.
Satoshi Nishihara, Chuo Kaihatsu Co., Ltd.

3 調査位置

調査位置の平面図と断面図を図-2 に示す。また、断面図には SPT の結果を示す。

本実験では、調査範囲の土層の不陸が各調査角度に影響しないよう、また、なるべく調査範囲が最小となるよう調査位置の配置を行った。また、鉛直 CPTU は、標準データとする中央部①と 45°調査の先端部の土層が確認できる位置②の 2 箇所を実施し、土層の不陸を確認した。

本実験の調査地盤は、GL-3.90m まで N=1~6 の砂質土主体の埋土、その下部に層厚 0.35m の有機質土、GL-4.25m~GL-6.00m まで N=4~13 の砂質土となり、GL-6.00m 以深は N=0~3 の粘性土で構成されている。

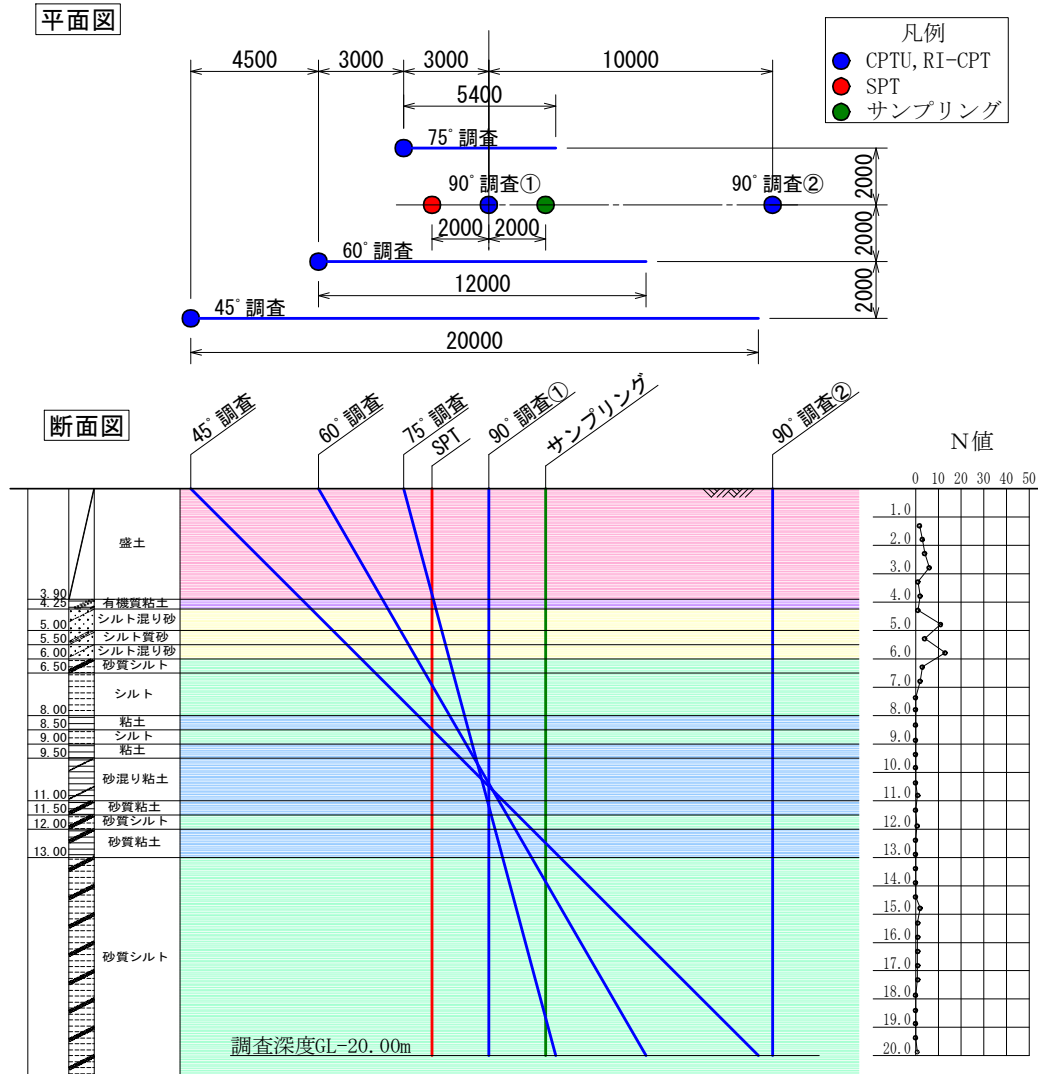


図-2 調査位置

4 CPTU, RI-CPT 調査方法

(1) コンプローブの仕様

CPTU と RI-CPT のコンプローブの仕様を表-2 に示す。

表-2 各コンプローブの仕様

名称	電気式コンプローブ(三成分コンプローブ)					RI 密度計プローブ+線源コーン
型式	SR3Eit-DIG-TP1					SRD-1DP-DIG-TP1
使用線源	-					セシウム 137 ¹³⁷ Cs 3.7MBq
センサー	先端抵抗	周面摩擦	間隙水圧	傾斜角度	温度計	NaI(Tl) シンチレーションカウンター
測定レンジ	0~30MPa	0~1MPa	-0.1~1MPa	-60~60°	0~50°C	1.0~2.3g/cm ³
寸法	直径 35.7mm(フリクションカッター部: 直径 48.6mm), 長さ 750mm					直径 48.6mm, 長さ 1,100mm

(2) 貫入装置

貫入装置の性能を表-3 に示す。

本実験で使用する貫入装置は、Geoprobe 社製 6610DT を使用した。泥水削孔+標準貫入試験が可能な「SPT システム」が利用でき、マシン一台で CPTU と SPT の調査を実施した（ダブルサウンディングと略称する²⁾）。電気式静的コーン貫入試験方法（JGS 1435）では、貫入速度を 20mm±5mm/秒としており、貫入装置は貫入速度 20mm/秒で圧入するように設定されている。

表-3 貫入装置の性能

最大貫入力	160kN	最大油圧	16.9MPa
最大引抜力	200kN	ストローク	1676mm
自重	2225kg	回転トルク（本体）	759Nm
幅 × 長	1219mm × 2388mm	回転トルク（SPT 部）	3000Nm
高さ	2159mm	アンカー形式	分離式
マスト伸長時高さ	3886mm	最小作業スペース	2.5m × 4.5m

(3) 反力設置

反力のスクリーアンカーは、図-3 に示すように調査角度と同じ角度で施工した。反力を設置する際には、初期の施工角度に差が生じないように、表層部の草や根を除去してから施工を開始した。反力施工時には、施工角度を保持するために、図-4 に示す反力施工ガイドを貫入機フット部に固定して使用した。

(4) 貫入試験

斜め CPTU 調査時には、調査角度を保持するために図-5 に示すようにケーシングを設置し、貫入機フット部にロッドガイドを使用した。ケーシング頭部には、CPTU ロッド（φ36.6mm）を固定する半割りのスペーサー（図-6）を設置して調査角度を保持した。



図-3 反力設置（45°）



図-4 反力施工ガイド



図-5 貫入試験（45°）



図-6 スペーサー

(5) 補正深度と水平移動量

測定データの貫入深度 D および貫入角度 θ を用いて補正深度 D_m と水平移動量 δ_m を次式により求めた。

《補正深度》

$$D_{m(i)} = D_{m(i-1)} + \Delta D_{m(i)}$$

$$\Delta D_{m(i)} = \cos\left(\frac{\theta_{m(i)} + \theta_{m(i-1)}}{2}\right) \cdot \Delta D_{(i)}$$

$$\Delta D_{(i)} = D_{(i)} - D_{(i-1)}$$

ここで、

- $D_{m(i)}, D_{m(i-1)}$: 補正深度(m)
- $\Delta D_{m(i)}$: 区間補正深度(m)
- $\theta_{m(i)}, \theta_{m(i-1)}$: 貫入角度(deg)
- $D_{(i)}, D_{(i-1)}$: 貫入深度(m)
- $\Delta D_{(i)}$: 区間貫入距離(m)

《水平移動量》

$$\delta_{m(i)} = \delta_{m(i-1)} + \Delta \delta_{m(i)}$$

$$\Delta \delta_{m(i)} = \sin\left(\frac{\theta_{m(i)} + \theta_{m(i-1)}}{2}\right) \cdot \Delta D_{(i)}$$

$$\Delta D_{(i)} = D_{(i)} - D_{(i-1)}$$

ここで、

- $\delta_{m(i)}, \delta_{m(i-1)}$: 水平移動量(m)
- $\Delta \delta_{m(i)}$: 区間水平移動量(m)
- $\theta_{m(i)}, \theta_{m(i-1)}$: 貫入角度(deg)
- $D_{(i)}, D_{(i-1)}$: 貫入深度(m)
- $\Delta D_{(i)}$: 区間貫入距離(m)

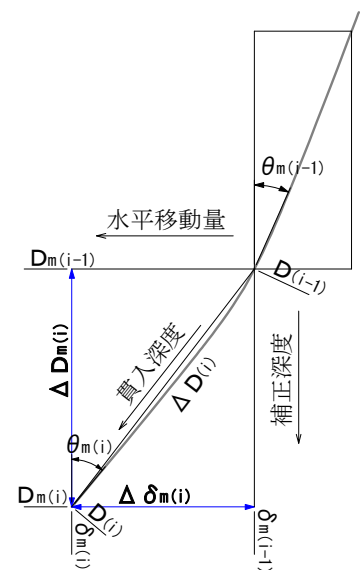


図-7 貫入角度による補正概念

5 室内試験

室内土質試験は、乱れの少ない試料と標準貫入試験で採取した乱した試料を用いて実施した。

50cm ピッチで実施する SPT の試料は、土粒子の密度試験、含水比試験、粒度試験、液性・塑性限界試験を実施した。粒度試験は粘性土の場合沈降まで実施した。また、表層の埋土は 1m 間隔とした。

乱れの少ない試料は、粘性土で一軸圧縮試験、三軸 (UU) 試験、圧密試験を実施し、砂質土で三軸 (CD) 試験を実施した。また、細粒分含有率が $20\% < F_c < 50\%$ の場合には、三軸 (CU) 試験を実施し、一軸圧縮試験を実施する試料については一面せん断試験 (圧密定体積) を実施した。

CPTU を斜めに実施する際に、土の強度異方性を確認することとした。強度異方性は、粒子の配向性による堆積構造の固有異方性と、鉛直方向の有効土被り圧 σ'_{v0} と水平方向の静止土圧 $K_0\sigma'_{v0}$ の異方的な応力状態による誘導異方性の影響を受けていると言われている。

土の異方性は一軸圧縮試験で確認することとした。即ち、図-8 に示すように 75°、60°、45°の角度で $\phi 15\text{mm}$ 、 $L=30\text{mm}$ の供試体を作成し、一軸圧縮試験を実施した。

表-4 室内試験内容

土質	試料番号	深度 (m)		物理試験			試料番号	深度 (m)			物理試験			力学試験			
		1	2	含水比	液性限界	塑性限界		1	2	含水比	液性限界	塑性限界	一軸圧縮試験	三軸圧縮試験 (UU)	三軸圧縮試験 (CD)	一面せん断試験	
FI	P1	1.15	1.45	○	○	○											
	P2	2.15	2.45	○	○	○											
	P3	3.15	3.45	○	○	○											
OH-S	P4	4.00	4.25	○	○	○	D1	4.0	5.0	○	○	○	○	○	○	○	○
S-M	P5	4.65	4.95	○	○	○											
SM	P6	5.15	5.45	○	○	○											
S-M	P7	5.65	5.95	○	○	○	D2	5.0	6.0	○	○	○	○	○	○	○	○
MS	P8	6.15	6.45	○	○	○											
M	P9	6.65	6.95	○	○	○											
	P10	7.15	7.45	○	○	○	T1	7.0	8.0	○	○	○	○	○	○	○	○
	P11	7.65	7.95	○	○	○											
C	P12	8.15	8.45	○	○	○	T2	8.0	9.0	○	○	○	○	○	○	○	○
M	P13	8.65	8.95	○	○	○											
C	P14	9.15	9.45	○	○	○	T3	9.0	10.0	○	○	○	○	○	○	○	○
C-S	P15	9.65	9.95	○	○	○											
	P16	10.15	10.45	○	○	○	T4	10.0	11.0	○	○	○	○	○	○	○	○
	P17	10.65	10.95	○	○	○											
CS	P18	11.15	11.45	○	○	○	T5	11.0	12.0	○	○	○	○	○	○	○	○
MS	P19	11.65	11.95	○	○	○											
MS	P20	12.15	12.45	○	○	○	T6	12.0	13.0	○	○	○	○	○	○	○	○
	P21	12.65	12.95	○	○	○											
	P22	13.15	13.45	○	○	○	T7	13.0	14.0	○	○	○	○	○	○	○	○
	P23	13.65	13.95	○	○	○											
	P24	14.15	14.45	○	○	○	T8	14.0	15.0	○	○	○	○	○	○	○	○
	P25	14.65	14.95	○	○	○											
	P26	15.15	15.45	○	○	○	T9	15.0	16.0	○	○	○	○	○	○	○	○
	P27	15.65	15.95	○	○	○											
	P28	16.15	16.45	○	○	○	T10	16.0	17.0	○	○	○	○	○	○	○	○
	P29	16.65	16.95	○	○	○											
	P30	17.15	17.45	○	○	○	T11	17.0	18.0	○	○	○	○	○	○	○	○
	P31	17.65	17.95	○	○	○											
	P32	18.15	18.45	○	○	○	T12	18.0	19.0	○	○	○	○	○	○	○	○
P33	18.65	18.95	○	○	○												
P34	19.15	19.45	○	○	○	T13	19.0	20.0	○	○	○	○	○	○	○	○	
P35	19.65	19.95	○	○	○												

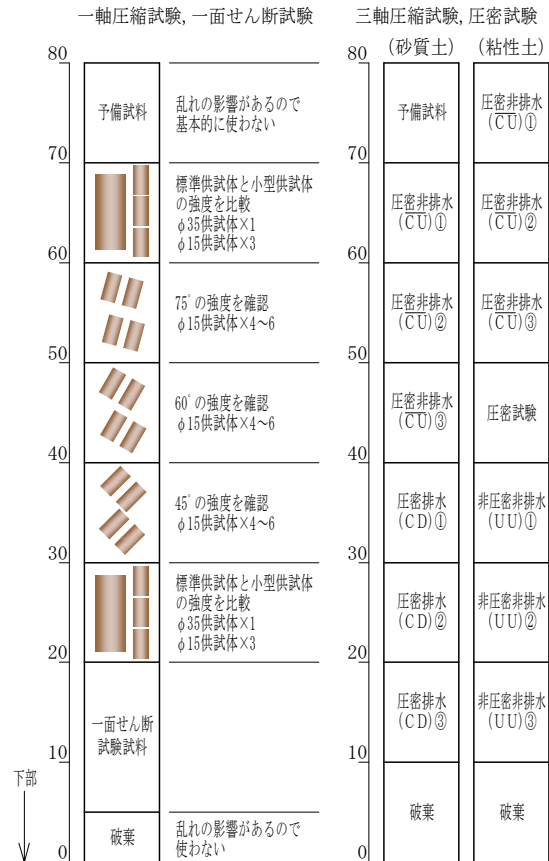


図-8 室内試験位置

6 まとめ

本実験では、斜め下方の CPTU と RI-CPT を実施するとともに、詳細な SPT と室内土質試験を実施した^{3)~5)}。この結果から、今後下記について評価・検討することで、CPTU による斜め方向の地盤調査手法を確立するとともに、適用範囲を明らかにしてゆく所存である。

- ① 斜め下方調査の手法について評価する。
- ② 鉛直 CPTU, RI-CPT と SPT, 室内試験の結果について比較検討を行い、CPTU と RI-CPT の有用性を評価する。
- ③ 鉛直調査結果と斜め調査結果について比較検討を行い、有用性を評価するとともに補正方法の検討を行う。
- ④ 土質試験の相互評価および一軸圧縮試験の供試体サイズについて有用性の評価を行う。

参考文献: 1)地盤調査の方法と解説 (2013) 公益財団法人地盤工学会。 2)後藤政昭・石井正紀・北條豊・岡信太郎・西原聡・黛廣志・石川恵司・若月洋朗: 電気式コーン貫入試験 (CPTU) による地盤評価手法の提案 第 13 回地盤工学会関東支部発表会講演集, 2016.10。 3) 石井正紀・高橋千代丸・若月洋朗・小林優起・武政学・太田雅之・岸孝司・日下部祐基, 電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入への試み (その 2: 貫入方法や所要時間等について), 第 14 回地盤工学会関東支部発表会 (投稿中), 2017.11。 4)山本伊作・重富正幸・栗原朋之・久下信明・橘久生・佐渡耕一郎・大塚潤・深沢健: 電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入への試み (その 3: 電気式コーン貫入試験結果の評価), 第 14 回地盤工学会関東支部発表会 (投稿中), 2017.11。 5)後藤政昭・石川恵司・大森将樹・野口浩承・中川範彦・金道繁紀・黛廣志・齋藤邦夫: 電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入への試み (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 (投稿中), 2017.11

電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入への試み(その 2: 貫入方法や所要時間等について)

電気式コーン貫入試験 斜め下方貫入 試験の所要時間

ソリアント・ロックエンジニアリング(株)	正会員	○石井正紀
(株)地盤試験所	正会員	高橋千代丸
千葉エンジニアリング(株)	正会員	若月洋朗
川崎地質(株)	正会員	小林優起
基礎地盤コンサルタンツ(株)	正会員	武政 学
(株)ダイヤコンサルタント	正会員	太田雅之
(株)相愛		岸 孝司
(株)プラテック	正会員	日下部祐基

1. はじめに

電気式コーン貫入試験(以降、CPTU と記す)は、ボーリング調査に比べ迅速、かつ原位置にて力学、物理特性を把握することができ、地盤調査、土構造物およびその下位の地盤などの現状調査を実施する上で有効な手段である。しかし、現時点での貫入方法、結果の解釈は、鉛直下方貫入が前提である。CPTU の斜め下方貫入が可能となれば、その活用範囲は格段に広がるものと考え(例えば、供用中の道路盛土の法肩や盛土小段からの調査あるいは橋脚間地盤の状況調査¹⁾など)。

本試験では、鉛直(90°)および斜め下方(75°, 60°, 45°)貫入の CPTU を実施し、実際に斜め下方に貫入する方法や試験に要する時間等の確認や問題点の抽出、鉛直貫入と斜め下方貫入における試験結果の比較検討や室内土質試験結果などとの比較検討を行った。

本稿(その 2)においては、斜め下方貫入に必要な治具、スクリーアンカーの設置方法などを紹介する。加えて、通常の鉛直(90°)貫入に対して 75°, 60°, 45° で斜め下方に貫入した場合のスクリーアンカー設置等の所要時間や試験の所要時間、設定貫入角度と実測貫入角度の差異等についても報告する。

なお、試験位置等の試験概要の詳細は、参考文献 2) を参照されたい。また、本稿(その 2)における CPTU 結果は、参考文献 2) の試験位置図に示されるボーリング調査近傍にて実施したものである。

2. 試験準備

CPTU は、写真-1 に示す自走式専用貫入車²⁾等により鉛直下方にコーンプローブを静的に貫入しながら、コーン貫入抵抗 q_c 、周面摩擦 f_s 、間隙水圧 u を深度方向に連続測定する試験である(先に示した 3 成分以外にも 3 成分の計測値の補正に使用する貫入時の角度、プローブ温度の測定も行っている)。写真-1 に示す自走式専用貫入車は車両質量約 2,200kg であるが、写真-2 に示すスクリーアンカーを図-1 に示すように設置することで地盤の状態にもよるが貫入力を最大 165kN 得ることができる。

本試験においても写真-1 に示す自走式専用貫入車を用いて貫入を行ったが、車両質量だけでは貫入時の反力不足が懸念されたため鉛直貫入同様、スクリーアンカーを設置することとした。ただし、本試験における斜め下方貫入のスクリーアンカーは、図-2 に示すようにコーンプローブの設定貫入角度と同等



写真-2 スクリューアンカーと延長ロッド



写真-1 自走式専用貫入車²⁾

の角度で設置することとした。

スクリーアンカー設置方法は、自走式専用貫入車のスクリーアンカー設置装置を所定の設置角度に傾け、写真-3 に示すような治具を自走式専用貫入車に取付けて設置角度を保持できるように工夫した²⁾。その結果、表-1 に示すように

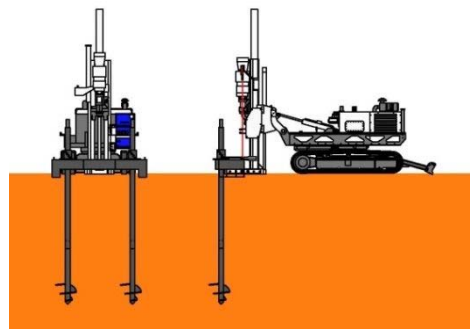


図-1 鉛直貫入時のスクリーアンカー設置状況(概略)

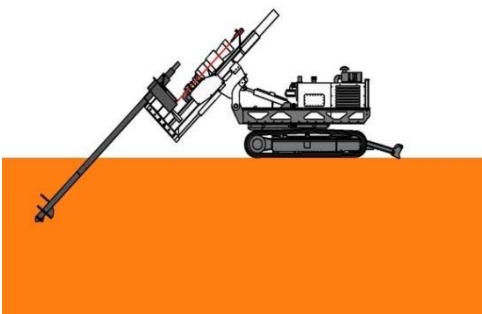


図-2 斜め下方貫入時のスクリーアンカー設置状況(概略)

An attempt to inclined downward penetration of electric cone penetration test (Part 2 : Method for penetration and required time etc.)

Masanori Ishii Soil and Rock Engineering Co.,Ltd. ,Chiyomaru Takahashi Jibanshikenjo Co.,Ltd. Hiroaki Wakatsuki CHIBA ENGINEERING Co.,Ltd. Yuki Kobayashi Kawasaki Geological Eng. Co.,Ltd. Manabu Takemasa kiso-jiban Consultants Co.,Ltd. Masayuki Oota DIA CONSULTANTS Co.,Ltd. Takashi Kishi Soai Co.,Ltd. ,Yuuki ,Kusakabe PLATECH Co.,Ltd.

設置角度 75° に対しては約 65° と 10° 程度傾きが大きくなっているが、それ以外はほぼ設定した設置角度どおりにスクリューアンカーを設置できたものと判断できる。また、スクリューアンカー設置（貫入試験を実施するにあたっての準備作業完了まで）に必要な時間は、鉛直（90°）貫入を基準とした場合、表-1 に示すように鉛直（90°）からの傾きが大きくなるにつれ設置時間が多くかかることが確認できた。加えて、必然ではあるがスクリューアンカー設置角度の傾きが大きくなるにつれスクリューアンカーの延長ロッドの本数も多く必要となることも合わせて確認できた。ただし、設置角度 45° については、スクリューアンカーの設置以外にコーンプローブをできるだけ設定貫入角度どおり貫入するために地表面から斜距離で約 0.8m ケーシングパイプ（φ86mm）を設置した（写真-4 参照）。表-1 に示す鉛直（90°）に関する時間比は、このケーシングパイプ設置時間は含まれておらず、あくまでもスクリューアンカー設置時間のみである。



写真-3 スクリューアンカーガイド²⁾



写真-4 ケーシングパイプ設置状況²⁾

表-1 鉛直（90°）設置に対する時間比他

設置角度 (°)	実測角度(°)			鉛直(90°)に 対する時間比
	右側	左側	平均値	
90(鉛直)	—	—	—	1.00
75	66.8	64.9	65.9	2.23
60	62.0	57.7	59.9	2.65
45	45.0	46.0	45.5	3.85

3. 試験の所要時間等について

CPTU の所要時間等について取りまとめたものを表-2 に示す。本試験における貫入速度は、地盤工学会基準 JGS 1435-2012 電気式コーン貫入試験方法に示される標準貫入速度である 20mm/s ± 5mm/s とした。

貫入角度が 90°（鉛直）と同等の貫入長の試験を斜め下方貫入で実施する場合、貫入速度、貫入角度が一定で

あれば貫入角度の傾きが大きくなるにつれ同一深度に達するまでの貫入長は長くなり、貫入用ロッドの継足し作業などを含めた、貫入に要した全ての時間（以降、試験時間と記す）もその分長くなると考える。今回試験を実施した各設定貫入角度における貫入長（実際に貫入した斜距離）は、設定貫入角度 90°（鉛直）、75°、60°、45° の順に 20.85m、21.50m、24.33m、31.61m となる。設定貫入角度 90°（鉛直）を基準として貫入長を対比すると、設定貫入角度 75°、60°、45° の順に 1.03 倍、1.17 倍、1.52 倍となる（因みに、鉛直距離 1m を一定の貫入角度 75°、60°、45° で斜め下方に貫入した場合の斜距離はそれぞれ、1.04m、1.15m、1.41m となる）。次に、設定貫入角度 90°（鉛直）を基準とした実際の試験時間を対比すると、設定貫入角度 75°、60°、45° の順に 0.97 倍、1.17 倍、1.28 倍となる。

これらの結果から、鉛直貫入と斜め下方貫入による試験時間の差異は、斜め下方貫入による作業の煩雑さや手間の増加などによるものはほとんどなく、大半が貫入長の差異によるものであることがわかる。しかし、貫入長比と実際の試験時間比を比較すると、設定貫入角度 75°、45° は、貫入長比よりも実際の試験時間比の方が小さくなっている。これは、表-2 に示す 1m 貫入するのに要する時間、すなわち貫入速度や貫入角度によるばらつきが影響しているものと考えられる。

因みに、今回 CPTU に加えて実施したラジオアイソトープ貫入試験（RI-CPT）⁴⁾ の試験時間は、表-2 に示すように CPTU 同様、貫入角度の傾きが大きくなるにつれ長くなる結果となっている（試験時間比と貫入長比はほぼ同等の傾向が窺える）。

次に、試験完了後（貫入完了後）に行うコーンプローブ引抜き作業の時間比は、設定貫入角度 90°（鉛直）を基準とすると、貫入角度 75°、60°、45° の順に 1.44 倍、2.10 倍、2.42 倍となる（表-2 参照）。この結果から、コーンプローブ引抜きに要する時間は、先に示した試験時間同様、貫入角度の傾きが大きくなる、すなわち貫入長の増加に伴い長い時間を必要とするが、試験時間（貫入時間）における貫入長比とは同等

表-2 CPTU の所要時間等

設定貫入角度(°)		鉛直(90)	75	60	45
CPTU	貫入長(m)	20.85	21.50	24.33	31.61
	鉛直貫入に対する貫入長比	1.00	1.03	1.17	1.52
	鉛直貫入に対する実際の試験時間比	1.00	0.97	1.17	1.28
	1m貫入するために要する時間(分)	1.5	1.4	1.5	1.3
	鉛直引抜きに対する時間比	1.00	1.44	2.10	2.42
RI-CPT	貫入長(m)	20.85	21.50	24.33	31.61
	鉛直貫入に対する貫入長比	1.00	1.03	1.17	1.52
	鉛直貫入に対する実際の試験時間比	1.00	1.02	1.10	1.53
	1m貫入するために要する時間(分)	1.5	1.5	1.5	1.6

注) 表中の貫入長は、実際に貫入した斜距離を示す。

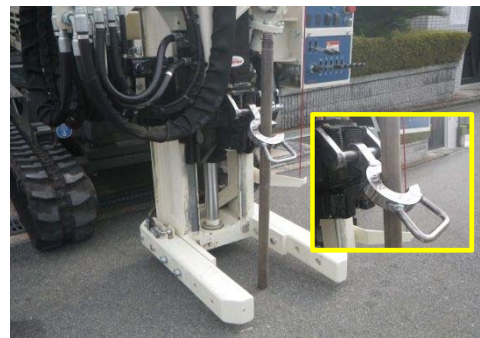


写真-5 ロッド引抜き用トング

でない。これは、設定貫入角度 90°（鉛直）時に使用する引抜き治具が通常のボーリング作業時に行うロッドの挿入や引抜きに使用するトング（写真-5 参照）を自走式専用貫入車に取付けてほぼ連続的にロッドを引抜くのに対して、設定貫入角度 75°、60°、45° 時のロッド引抜き方法が、貫入したロッド先端に写真-6 に示すような治具を取付け、自走式専用貫入車にてロッドを引抜くためであると考えられる。この治具は、引抜いたロッドの連結部で切離す度に外しては次の引抜きを行うロッドに取付けるという作業を貫入した最終ロッドを引抜くまで繰り返し行わなければならない。

つまり、斜め下方貫入後のコーンプローブの引抜き作業は、試験（貫入作業）とは異なり、貫入角度の傾きが大きくなればなるほど作業はより煩雑になり、手間も増えることが分かった。

4. 設定貫入角度と傾斜角度について

表-3 に CPTU の設定貫入角度と傾斜角度等を取りまとめて示す。図-3 には傾斜角度と貫入長の関係を、図-4 には傾斜角度を基に算出した水平移動距離と補正深度の関係を示す。なお、傾斜角度は、コーンプローブに内蔵された加速度センサーにより計測した値である。

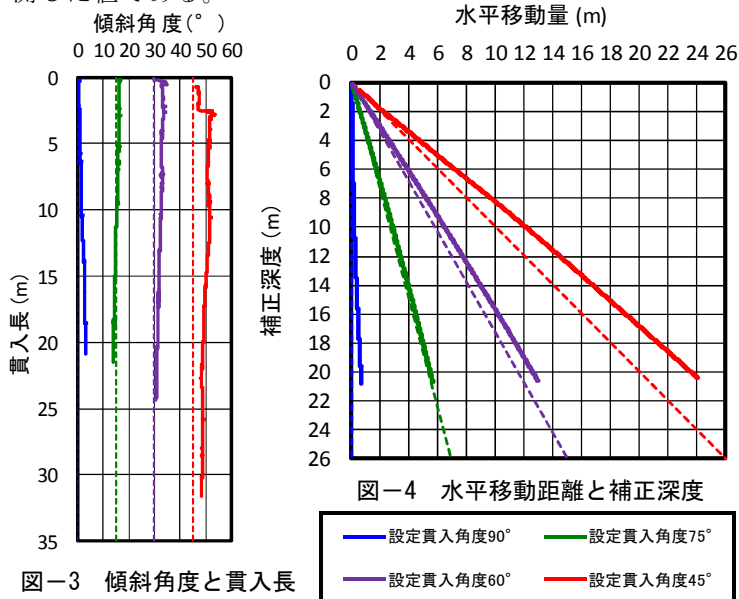


図-3 傾斜角度と貫入長

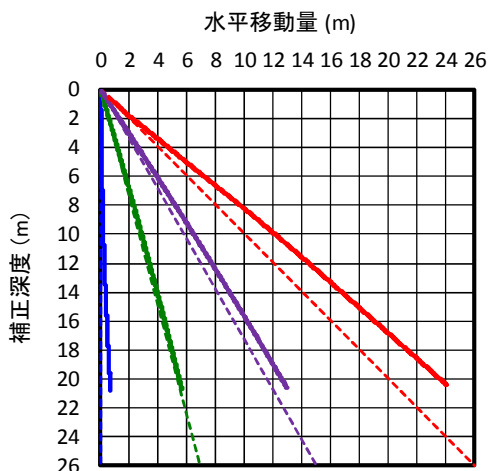


図-4 水平移動距離と補正深度

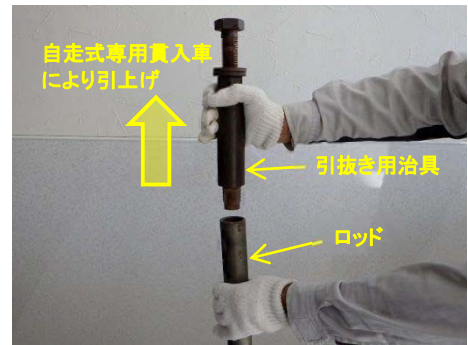
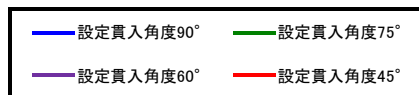


写真-6 ロッド引抜き用治具

表-3 設定貫入角度と傾斜角度等

設定貫入角度	90°	75°	60°	45°
貫入長	20.85m	21.50m	24.33m	31.61m
補正深度	20.84m	20.74m	20.60m	20.44m
最終補正深度における水平移動量	0.69m (0.0m)	5.65m (5.56m)	12.95m (12.11m)	24.10m (22.34m)
傾斜角度	最大	3.39°	16.71°	34.82°
	最小	0.28°	13.80°	29.54°

注) ()内の値は、設定貫入角度で貫入した場合の水平移動距離を示す。

設定貫入角度 90°（鉛直）の傾斜角度は、最終貫入長で 3.39° 傾斜しているが（最終補正深度における水平移動距離は 0.69m）、地盤工学会基準 JGS 1435-2012 電気式コーン貫入試験方法に示されている傾斜角度の許容値（鉛直に対して 15°）以内である。設定貫入角度 75°、60°、45° の傾斜角度は、貫入が浅い区間では設定貫入角度と乖離していく傾向にあるが、貫入が深くなるにつれ設定貫入角度と徐々に整合していく傾向が窺える（図-3 参照）。これは、今回試験を実施した地盤が非常に軟弱な沖積層（参考文献 2）、3）参照）で、貫入したロッドやコーンプローブの重みで重力方向に僅かではあるが傾斜しながら貫入しているのではないかと考える。

次に図-4 に示す設定貫入角度 75°、60°、45° の水平移動距離と補正深度の関係をみると、設定貫入角度 75° はほぼ設定した貫入角度どおり貫入できているが、設定貫入角度 60°、45° は、設定した貫入角度に対して差異が生じている。最終補正深度における水平移動距離の差異は、設定貫入角度 60° が+0.84m、設定貫入角度 45° が+1.76m である。これは、地表面から約 4.0m の厚さの盛土層（参考文献 2）、3）参照）に含まれる大礫や堅固な層等にコーン先端が当たり、貫入角度が大きく変化したことによるものと考えられる（貫入初期の障害物の影響、図-3 参照）。

5. まとめと今後の課題

試験準備や試験の所要時間等について本試験にて確認できたことは、①斜め下方にスクリューアンカーを設置するには自走式専用貫入車に設置角度を保持する治具や工夫が必要、②スクリューアンカーの設置角度の傾きが大きくなればなるほど設置時間は多く掛かる、③試験時間（貫入時間）は、貫入長に比例して増加するが、引抜き時間は試験時間のように貫入長に比例するのではなく、貫入角度の傾きが大きくなればなるほど作業はより煩雑になり、手間も増え時間が多く掛かる、④軟弱な地盤であれば貫入深度が深くなるにつれ貫入したロッドやコーンプローブの重みで重力方向に僅かではあるが傾斜する、⑤設定貫入角度と実測貫入角度の差異（最終補正深度における水平移動距離）は、貫入初期の障害物の有無に大きく左右されるなどである。

今後は、今回試験を行った地盤よりも強固な地盤（N 値が比較的高く、多少の礫分を含むような地盤）を対象に斜め下方貫入による試験を実施し、今回確認した事象を改めて検証する必要がある。加えて、斜め下方貫入がスムーズに行えるような治具の開発や工夫を考案していく所存である。

参考文献

- 1) 高橋宏和・谷本俊輔・七澤利明: 既設道路橋杭基礎の耐震性評価のための杭間地盤調査, 土木技術資料, Vol.59 JULY 2017, pp.34-37
- 2) 北條豊・松浦良信・脇中康太・糸井理樹・原彰男・岡嶋眞一・片山浩明・西原聡: 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), 第 14 回地盤工学会関東支部発表会(投稿中), 2017.11
- 3) 山本伊作・重富正幸・栗原朋之・久下信明・橘久生・佐渡耕一郎・大塚潤・深沢健: 電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入への試み(その 3: 電気式コーン貫入試験結果の評価), 第 14 回地盤工学会関東支部発表会(投稿中), 2017.11
- 4) 後藤政昭・石川恵司・大森将樹・野口浩承・中川範彦・金道繁紀・黛廣志・齋藤邦夫: 電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入への試み(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(投稿中), 2017.11

電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入への試み
(その 3 : 電気式コーン貫入試験結果の評価)

電気式コーン貫入試験
斜め下方貫入
土質分類

(株)地盤試験所	正 会 員	○山本伊作
ソイルアント・ロックエンジニアリング(株)	正 会 員	重富正幸
中央開発(株)	正 会 員	栗原朋之
(株)アイエーコンサルタンツ		久下信明
興亜開発(株)	正 会 員	橘 久生
(株)地圏総合コンサルタント	特別会員	佐渡耕一郎
(株)カレンエンジニアリング	正 会 員	大塚 潤
日揮(株)	国際会員	深沢 健

1 概要

本実験では、鉛直 (90°) および斜め下方 (75°, 60°, 45°) の電気式コーン貫入試験 (以降, CPTU と記す) を実施し, CPTU と標準貫入試験 (以降, SPT と記す), および鉛直 CPTU と斜め下方 CPTU の結果を比較検証した。

本稿 (その 3) では、鉛直 CPTU の解析結果と SPT の結果を比較検討し, また、鉛直 CPTU と斜め下方 CPTU を対比することにより, 斜め下方 CPTU の有効性の確認を行った。なお、本実験の調査概要および斜め下方調査の調査角度結果は参考文献 1),2)を参照されたい。

2 鉛直 CPTU と SPT の比較

本実験の地盤調査結果 (鉛直 90°) を図-1~図-2 に示す。

SPT の結果から GL-3.90m まで N=1~6 の砂質土主体の埋土, その下部に層厚 0.35m の有機質シルト, GL-4.25m~GL-6.00m まで N=4~13 の砂質土, GL-6.00m~GL-11.80m まで N=0~3 の粘性土となり, GL-11.80m 以深は N=0~2 のシルト質細砂で構成されている。しかし, GL-11.80m 以深の砂質土は CPTU の間隙水圧に着目すると過剰間隙水圧が発生しており, CPTU では粘性土の性状を示している。粒度試験結果を考慮した柱状図では, GL-11.80m 以深は砂質粘土~砂質シルトであった。このことから, 目視による中間土の土層判定は土質試験結果と誤差を生じる可能性があるのに対し, CPTU では土質の性状を正確に判定することができる。なお, 本実験地盤の柱状図は, 粒度分布から求めた柱状図を採用する。

GL-4.25m~GL-6.50m の砂質土層では, 補正先端抵抗 $q_t=5.5\sim7.1\text{MPa}$, 周面摩擦 $f_s=56\sim80\text{kPa}$ をピークとし, 中間に q_t, f_s の低下と間隙水圧 u の上昇が見られることから薄い粘性土が挟在する。GL-7.0m~GL-11.0m の粘性土層では, q_t, u は深度に比例して大きくなるが, GL-11.00m~GL-14.50m では q_t に変化はなく f_s, u は若干低下する傾向があり, これは鋭敏比が低くなった挙動であることが予測される。GL-14.50m~GL-16.50m では q_t の増加と u の低下により, 砂分が増えていることが伺える。

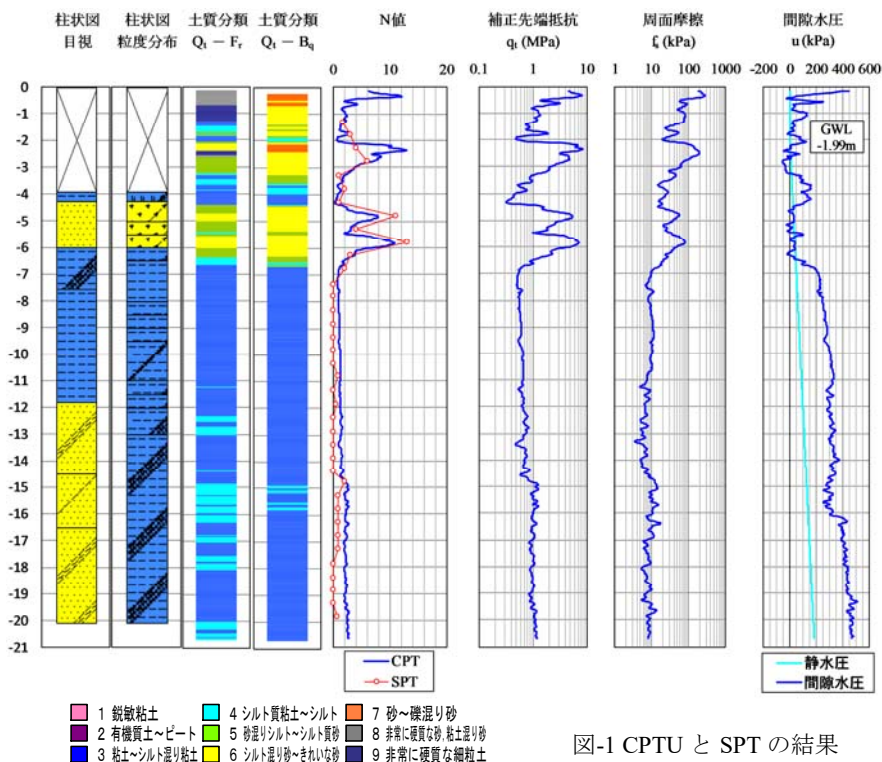


図-1 CPTU と SPT の結果

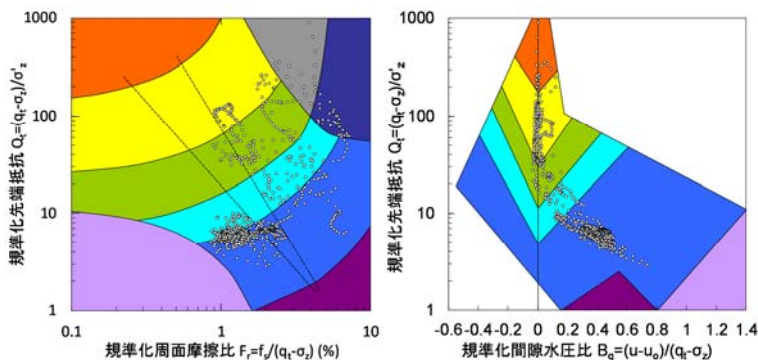


図-2 土質分類判定図

An attempt to inclined downward penetration of electric cone penetration test (Part 3 : Evaluation of cone penetration test result)

Isaku Yamamoto, Jibanshikenjo Co., Ltd.
Masayuki Shigetomi, Soil and Rock Engineering Co., Ltd.
Tomoyuki Kurihara, Chuo Kaihatsu Co., Ltd.
Nobuaki Kuge, Daiei Consultant Co., Ltd.
Hisao Tachibana, Koa Kaihatsu Co., Ltd.
Koichiro Sado, Chi-ken Sogo Consultants Co., Ltd.
Jyun Otsuka, Takara Engineering Co., Ltd.
Ken Fukasawa, JGC Corporation

CPTU から求める土質分類結果³⁾では、GL-3.90m 以浅の盛土を除き、Qt-Fr 関係、Qt-Bq 関係ともに粒度分布を考慮した柱状図と合致する結果が得られた。また、CPTU の N 値については鈴木ら⁴⁾の提案式から求めた。GL-4.8m の砂質土で N 値のピークに若干の差が生じているが、CPTU と SPT で概ね同等な N 値が得られた。

3 鉛直 CPTU と斜め CPTU の粘性土の比較

CPTU から得られた三成分データと鉛直比（斜め／鉛直）の深度分布図を図-4 に示し、斜め CPTU～鉛直 CPTU の関係と鉛直比の度数分布を図-5 に示す。比較データは、CPTU データを傾斜角から鉛直深度に補正し、三成分のデータを 5cm 毎に平均値を求めて採用した。GL-3.70m までの埋土は、砂泥互層で複雑に分布しているため、比較対象から除外した。また、図-5 は砂質土層を除外している。

図-4 の先端抵抗(q_c)、周面摩擦(f_s)、間隙水圧(u)の深度分布では、45° のデータのみ若干低い値となる傾向が見られるが、いずれの調査角度もほぼ同等な結果が得られた。

鉛直比の深度分布では GL-4.25m～GL-6.50m の砂質土層を除き、 q_c 、 f_s 、 u とともに 0.8～1.2 に分布した。測定値同様、45°/90°のみ 0.1 程度低い傾向がある。GL-6.50m～GL-11.00m の粘性土層では比較的安定した鉛直比で推移しているが、GL-4.25m～GL-6.50m の砂質土層と GL-11.00m 以深の中間土層では鉛直比のばらつきが大きくなる傾向が見られた。特に砂質土は、層厚 2.35m かつ粘性土を挟んでおり、安定した層厚を持つ砂質土層ではない。このことから、図-5 に示す三成分データの対比では砂質土層を除外し、粘性土のみで対比を行っている。

図-5 の斜め CPTU～鉛直 CPTU の関係図では非常に良い相関関係にあり、相関係数は q_c 、 f_s 、 u いずれも 0.93 以上で強い相関がある。

先端抵抗では、平均値（中央値）〔近似式の傾き〕は 75°/90°比、60°/90°比、45°/90°比で 1.00(0.97)[0.99]、1.01(0.93)[1.01]、0.98(0.89)[0.93]となり、鉛直から傾きが大きくなると q_c は小さくなる傾向が明瞭に示された。平均値と近似式の傾きはほぼ同じ値となり、調査角 45°の q_c は調査角 90°の 7%低い測定値となる。平均値と中央値の差は、図-3 に示す通り歪度が大きくなると平均値 > 中央値となるためである。

周面摩擦では、平均値（中央値）〔近似曲線の傾き〕は 1.12(1.09)[0.99]、1.06(1.03)[0.93]、1.00(0.93)[0.90]となった。平均値は 1.0 以上となったが、近似曲線と度数分布に着目すると近似曲線の傾きは 1.0 以下であり、度数分布の最頻値も 1.0 以下となる。これは、 f_s のばらつきが大きくなったことが原因であり、鉛直比の度数分布では尖度が低く、正規分布（尖度=0）に近い分布を示している。このことから、 f_s は近似曲線の傾きが相関値と判断する。調査角 45°の f_s は調査角 90°の平均 10%低い測定値となる。

間隙水圧では、平均値（中央値）〔近似曲線の傾き〕は 1.01(1.00)[0.95]、0.97(0.96)[0.95]、0.92(0.94)[0.94]となった。鉛直から傾きが大きくなると u は小さくなる傾向が明瞭に示されている。調査角 60°は調査角 90°より u は 3～5%低く測定され、調査角 45°では 6～8%低く測定される。

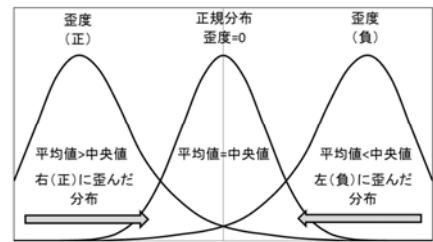


図-3 正規分布と歪度

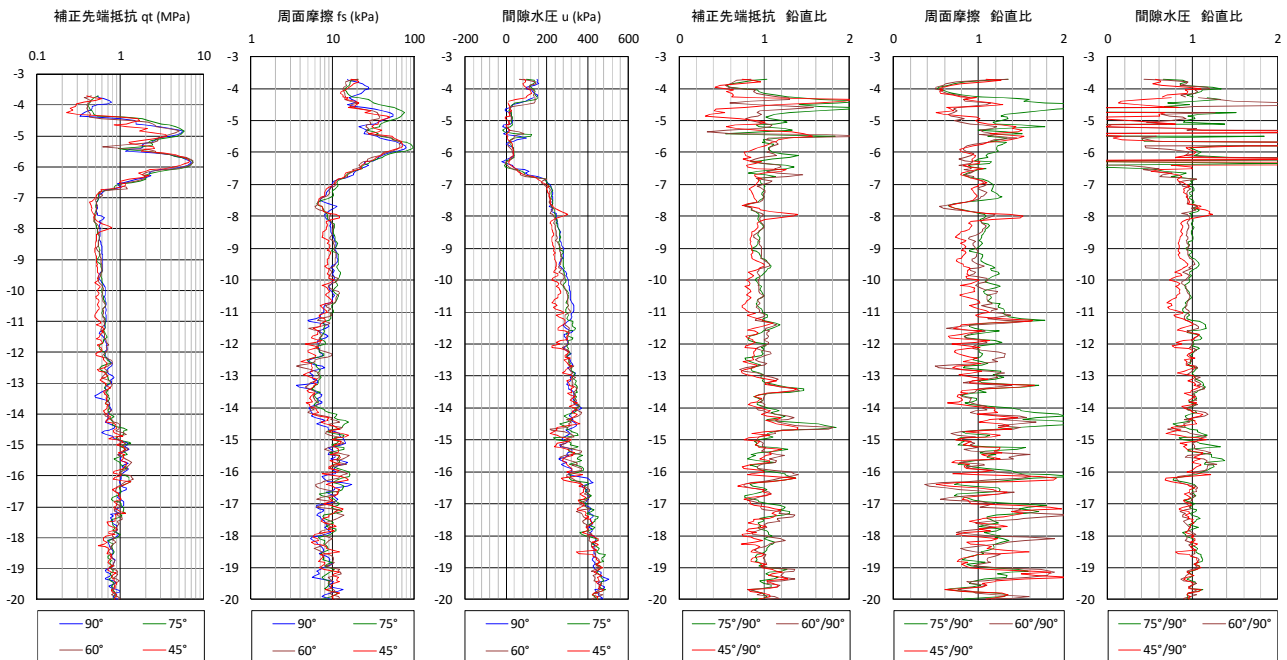
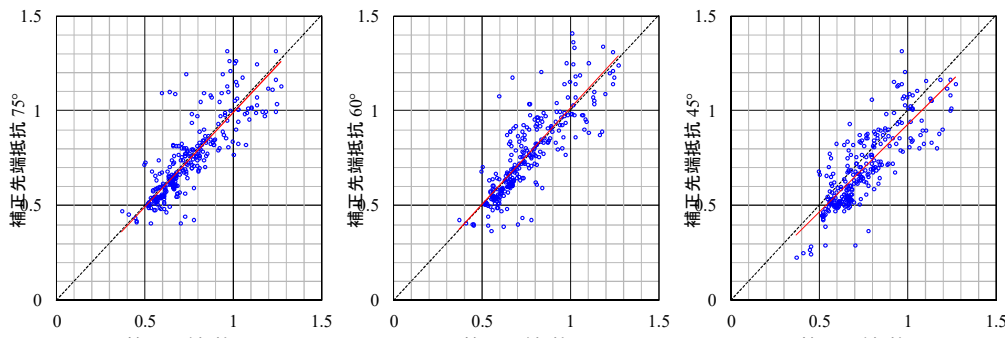
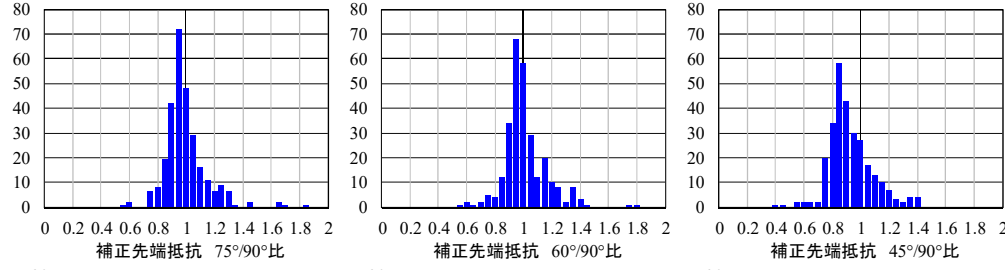


図-4 三成分データと鉛直比



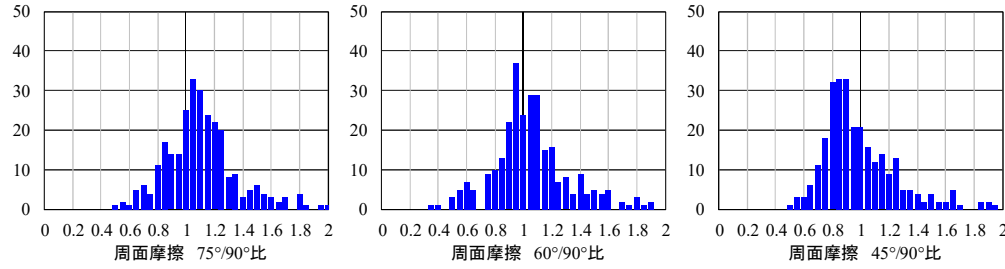
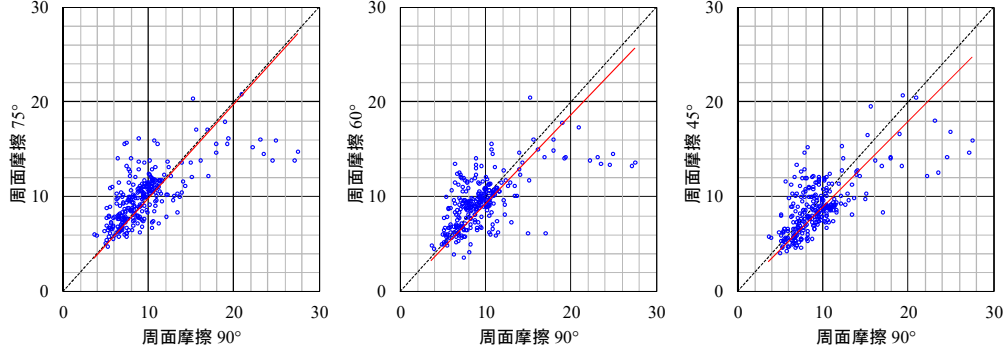
赤線: 近似直線

補正先端抵抗			
	75°	60°	45°
近似式傾	0.99	1.01	0.93
相関係数	0.83	0.84	0.83
	75°/90°	60°/90°	45°/90°
データ数	282	282	282
最小値	0.55	0.55	0.42
最大値	1.84	1.81	1.39
平均	1.00	1.01	0.93
中央値	0.97	0.98	0.89
標準偏差	0.15	0.15	0.15
変動係数	0.15	0.15	0.17
尖度	6.7	4.7	1.3
歪度	1.7	1.2	0.6



赤線: 近似直線

周面摩擦			
	75°	60°	45°
近似式傾	0.99	0.93	0.90
相関係数	0.69	0.63	0.70
	75°/90°	60°/90°	45°/90°
データ数	282	282	282
最小値	0.51	0.37	0.50
最大値	2.22	2.13	2.10
平均	1.12	1.06	1.00
中央値	1.09	1.03	0.93
標準偏差	0.27	0.28	0.27
変動係数	0.24	0.26	0.27
尖度	2.4	1.3	2.1
歪度	1.1	0.7	1.3



赤線: 近似直線

間隙水圧			
	75°	60°	45°
近似式傾	1.01	0.97	0.94
相関係数	0.95	0.95	0.94
	75°/90°	60°/90°	45°/90°
データ数	282	282	282
最小値	0.58	0.42	0.51
最大値	1.37	1.29	1.24
平均	1.01	0.97	0.92
中央値	1.00	0.96	0.94
標準偏差	0.10	0.10	0.12
変動係数	0.10	0.10	0.13
尖度	3.7	7.6	1.0
歪度	0.1	-1.3	-0.5

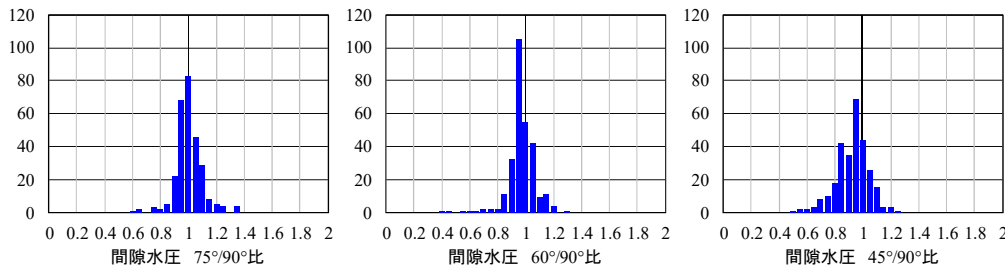
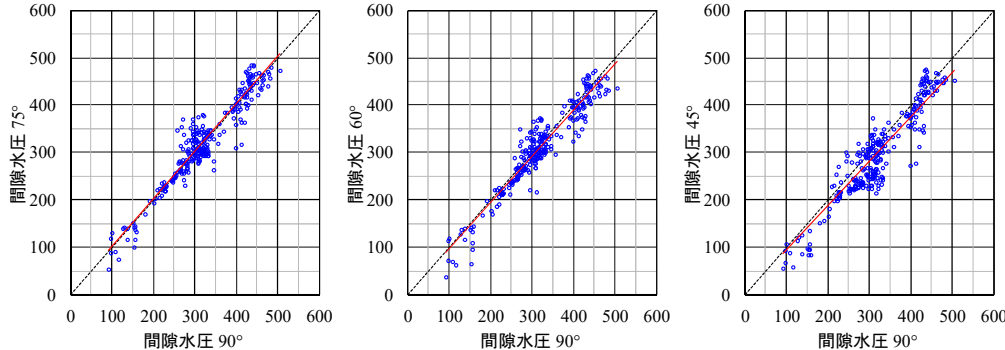


図-5 三成分データの対比 (砂質土除外)

4 鉛直 CPTU と斜め CPTU の土質分類と N 値の比較

鉛直 CPTU と斜め CPTU から得られた土質分類と N 値の算定を図-6 に示す。

この結果、調査角 90°、75°、60°、45°の土質分類、N 値ともに同等な結果が得られた。ただし、GL-11.00m 以深の中間層については Q_t-F_r 関係、 Q_t-B_q 関係ともにシルト～粘土と判定する結果となった。砂分を多く含んだ砂質シルト～砂質粘土層であったが、砂分の性状より細粒分の性状が優位にあり、N 値と土質分類の結果に現れたものと推測する。

5 まとめ

斜め調査と鉛直調査の鉛直比統計値を表-1 に示す。また、本実験で得た知見を以下に示す。

- ・ 中間土の土質判定は目視より CPTU による土質判定のほうが正確に判断することができる。
- ・ 歪度が大きくなると平均値 > 中央値となる。
- ・ ばらつきが大きくなると尖度が低くなり、正規分布 (尖度=0) に近い分布を示す。
- ・ 調査角度が鉛直より傾きが大きくなると補正先端抵抗は小さくなる。調査角 45°の q_t は調査角 90°の q_t より 7%低い測定値となる。
- ・ 調査角度が鉛直より傾きが大きくなると周面摩擦は小さくなる。調査角 45°の f_s は調査角 90°の f_s より 10%低い測定値となる。
- ・ 調査角度が鉛直より傾きが大きくなると間隙水圧は小さくなる。調査角 60°の u は調査角 90°の u より 3~5%低く測定され、調査角 45°では 6~8%低く測定される。
- ・ 調査角 75°、60°、45°の土質分類と N 値は、調査角 90°とほぼ同等な結果が得られた。
- ・ CPTU の土質分類は、粒度分布による分類ではなく、砂分の性状と細粒分の性状の優位性により決定される。

本実験地盤は粘性土主体の地盤で、砂質土層は薄層かつ粘性土を挟在していたことから、本報告では調査角度毎の比較検討から砂質土を除外した。今後は、層厚のある砂質土層を対象とした斜め下方 CPTU を実施し、今回の知見を含めて再検討を行う所存である。なお、本実験では各種室内試験を実施しており、さらに詳細な検討を加えていく予定である。

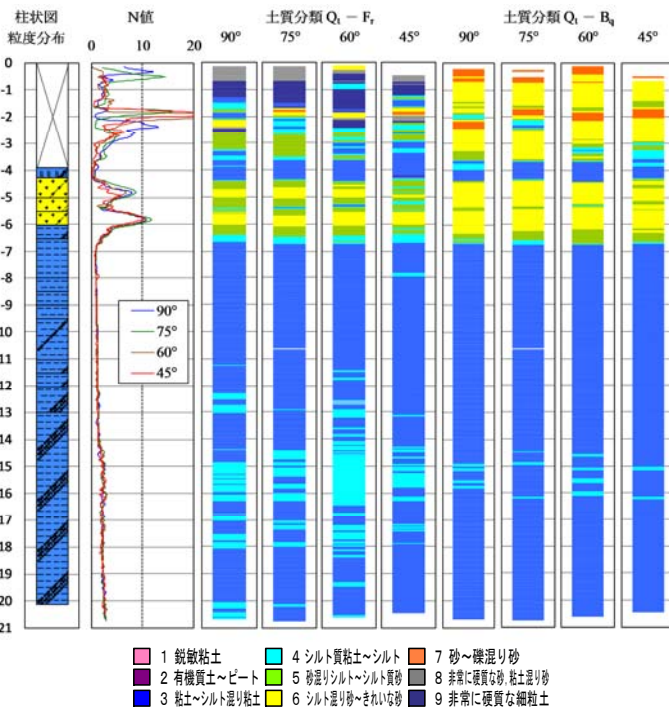


図-6 土質分類と N 値の対比

表-1 斜め調査/鉛直調査の統計値

測定データ	調査角度	対象数	平均値	中央値	近似式傾き	標準偏差	変動係数	相関係数	尖度	歪度
補正先端抵抗	75°	282	1.00	0.97	0.99	0.15	0.15	0.83	6.74	1.73
	60°	282	1.01	0.98	1.01	0.15	0.15	0.84	4.67	1.15
	45°	282	0.93	0.89	0.93	0.15	0.17	0.83	1.27	0.59
周面摩擦	75°	282	1.12	1.09	0.99	0.27	0.24	0.69	2.37	1.06
	60°	282	1.06	1.03	0.93	0.28	0.26	0.63	1.31	0.67
	45°	282	1.00	0.93	0.90	0.27	0.27	0.70	2.11	1.32
間隙水圧	75°	282	1.01	1.00	1.01	0.10	0.10	0.95	3.73	0.13
	60°	282	0.97	0.96	0.97	0.10	0.10	0.95	7.60	-1.35
	45°	282	0.92	0.94	0.94	0.12	0.13	0.94	1.04	-0.55

参考文献：

- 1) 北條豊・松浦良信・脇中康太・糸井理樹・原彰男・岡嶋眞一・片山浩明・西原聡：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)，第 14 回地盤工学会関東支部発表会 (投稿中)，2017.11.
- 2) 石井正紀・高橋千代丸・若月洋朗・小林優起・武政学・太田雅之・岸孝司・日下部祐基，電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入への試み (その 2：貫入方法や所要時間等について)，第 14 回地盤工学会関東支部発表会 (投稿中)，2017.11.
- 3) 地盤調査の方法と解説 (2013) 公益財団法人地盤工学会.
- 4) 鈴木康嗣，時松孝次，賓松俊明，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，73-80，2003.

電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入への試み(その 4:ラジオアイソトープコーン貫入試験結果)

RI-CPT 斜め下方貫入 含水比

ソリアント・ロックエンジニアリング(株)	国際会員	○後藤政昭
(株)日さく	正会員	石川恵司
(株)アサノ大成基礎エンジニアリング	正会員	大森将樹
(株)地圏総合コンサルタント	特別会員	野口浩承
北海道土質試験協同組合	特別会員	中川範彦
(株)地盤試験所	正会員	金道繁紀
川崎地質(株)	正会員	黛 廣志
中央大学	国際会員	齋藤邦夫

1. はじめに

電気式コーン貫入試験（以降、CPTU と記す）は、ボーリング調査に比べ、迅速かつ原位置にて力学、物理特性を把握することができ、地盤調査、土構造物およびその下位の地盤などの現状調査を実施する上で有効な手段である。しかし、現時点での貫入方法、結果の解釈は、鉛直下方貫入が前提である。CPTU の斜め下方貫入が可能となれば、その活用範囲は格段に広がるものと考えられる（例えば、供用中の道路盛土の法肩や盛土小段からの調査あるいは橋脚間地盤の状況調査など）。

本試験では、鉛直（90°）および斜め下方（75°、60°、45°）貫入の CPTU を実施し、実際に斜め下方に貫入する方法や試験に要する時間等の確認や問題点の抽出、鉛直貫入と斜め下方貫入における試験結果の比較検討や室内土質試験結果などとの比較検討を行った。

本稿（その 4）においては、上記 CPTU と同一孔で実施したラジオアイソトープコーン貫入試験（以降、RI-CPT と記す）結果（湿潤密度、含水比）を近傍にて実施した標準貫入試験により得られた試料や、近傍の別孔にてサンプリングした乱れの少ない試料にて実施した室内土質試験結果を対比した結果について報告する。

なお、試験位置等の試験概要の詳細は、参考文献 1）を参照されたい。また、本稿（その 4）における RI-CPT 結果は、参考文献 1）の試験位置図に示されるボーリング調査近傍にて実施したものである。

2. RI-CPT 概要

RI-CPT は、CPTU で計測する先端抵抗 q_c 、周面摩擦 f_s 、間隙水圧 u に加えて、ガンマ線源を利用した後方散乱型 RI 密度計コーンプローブにより湿潤密度 ρ_v 、中性子線源を利用した散乱型 RI 水分計コーンプローブにより含水比 w （含水量）を連続的に計測することが出来る。

後方散乱型 RI 密度計コーンプローブは、ガンマ線源コーンに内蔵したセシウム ^{137}Cs から放出されたガンマ線のうち、地中を通過して検出部に到達したガンマ線の強度と湿潤密度の関係から、地盤の湿潤密度の深度分布を計測する。図-1 に示すガンマ線源コーン+密度計プローブで線源由来のガンマ線強度+BG（バックグラウンド：自然放射線強度）計測を行い、別途密度計プローブと BG コーン（ガンマ線源を内蔵していないコーン）で BG を計測し、その差分である線源由来のガンマ線強度から湿潤密度を求めるものである。

本試験においては、図-1 に示す電気式コーンプローブによる CPTU を実施後、同一孔にてガンマ線源コーン+密度計プローブによるガンマ線密度検層、BG コーン+密度計プローブによる BG 検層を実施した。

また、含水比（含水量）の計測は、通常カリホルニウム ^{252}Cf の中性子線源を用いた散乱型 RI 水分計コーンプローブにて行う。ただし、今回は後述するが地下

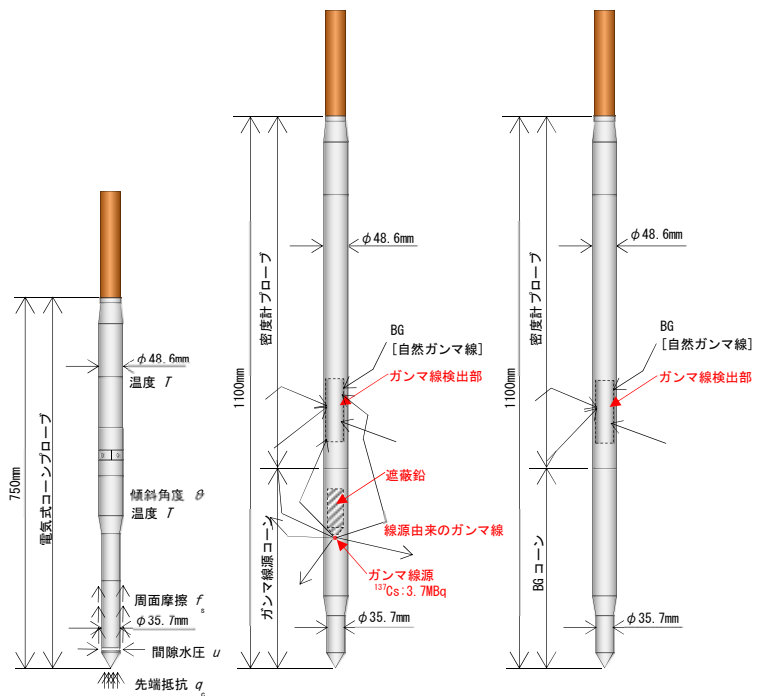


図-1 電気式コーンプローブおよび RI 密度計コーンプローブ概略図

An attempt to inclined downward penetration of electric cone penetration test (Part 4 : Result of Radio-Isotope Cone Penetration Test)

Masaaki Goto Soil and Rock Engineering Co.,Ltd. ,Keiji Ishikawa NISSAKU Co.,Ltd.
 Masaki Oomori ASANO TAISEIKISO ENGINEERING Co.,Ltd.
 Hirotsugu Noguchi Chi-ken Sogo Consultants Co., Ltd.
 Norihiko Nakagawa Hokkaido Soil Research Cooperative Association.
 Shigeki Kondo Jibanshikenjo Co.,Ltd.
 Hiroshi Mayuzumi Kawasaki Geological Eng. Co.,Ltd.
 Kunio Saito Chuo University

水位が比較的高いことから、後方散乱型 RI 密度計コーンプローブの貫入により得られた湿潤密度に土粒子の密度を設定し、飽和条件（通常、飽和度 $S_r=100\%$ ）から含水比を算出した。

3. 試験結果

近傍でのボーリング調査結果と CPTU 結果から試験地盤の層序は、地表から G.L.-3.90m まで盛土、その下部に層厚 0.35m の有機質土が存在する。G.L.-4.25m~G.L.-6.00m は砂質土層で、G.L.-6.00m 以深は非常に軟らかい粘性土であることを確認している。なお、試験実施時の地下水位は G.L.-1.99m であった²⁾。

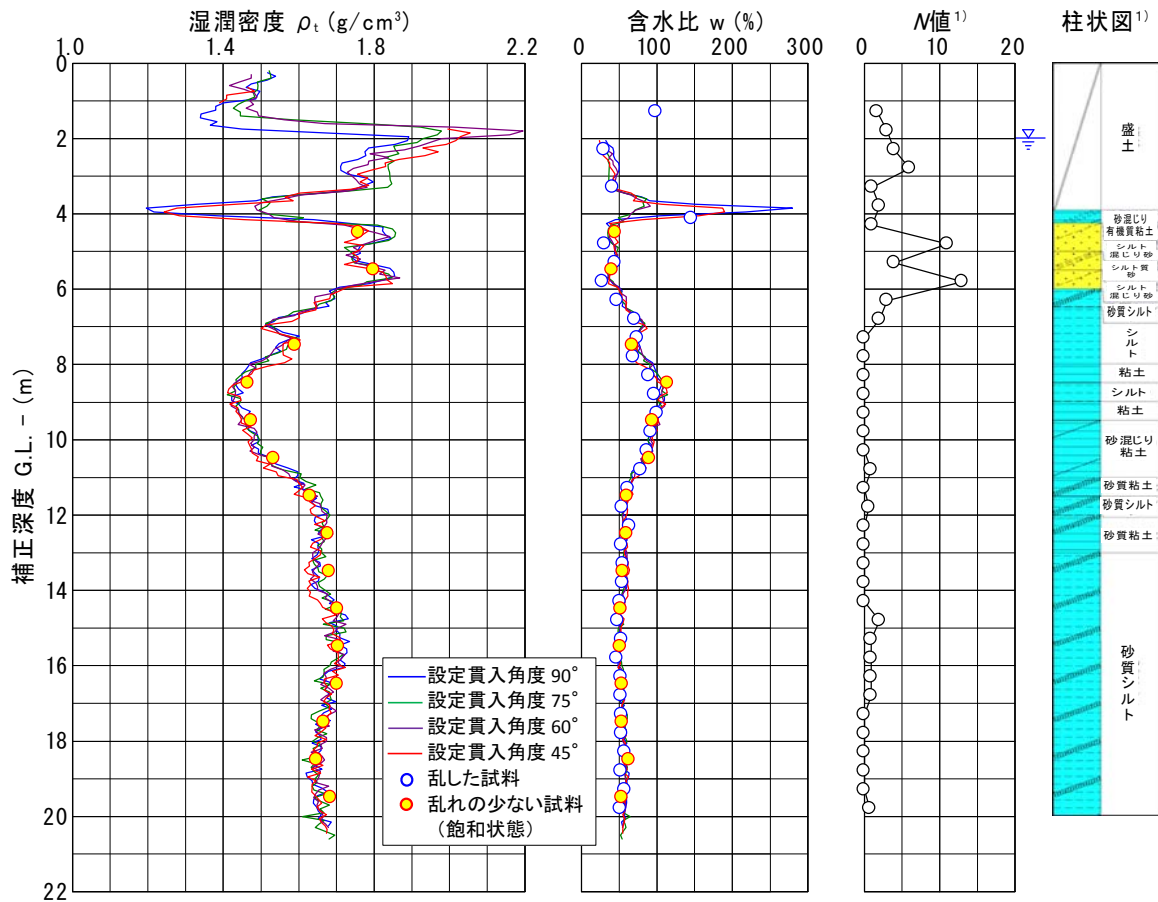


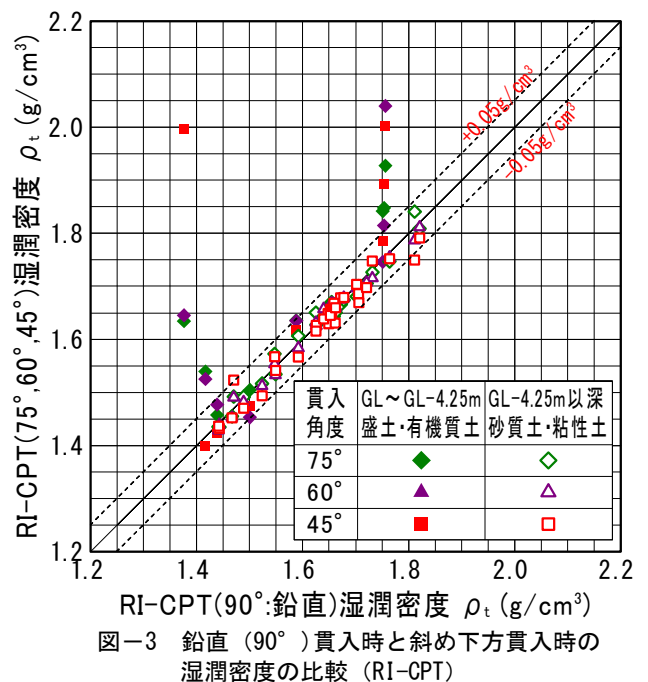
図-2 RI-CPT 計測結果

図-2 は、RI-CPT で計測した鉛直 (90°) 貫入および斜め下方貫入 (75° , 60° , 45°) の湿潤密度、含水比の深度分布である。図中の深度補正は、CPTU の貫入時の傾斜角度にて補正した深度である。この図には、標準貫入試験により得られた乱した試料の炉乾燥含水比、別孔にてサンプリングした乱れの少ない試料の湿潤密度、炉乾燥含水比をプロットしている。ただし、柱状図に示す砂質土層の乱れの少ない試料の湿潤密度、含水比は、室内試験より得られた乾燥密度と土粒子の密度を基に算出した飽和密度、飽和含水比である。RI-CPT で計測した湿潤密度から含水比を算出する際に使用した土粒子の密度は、G.L.-3.90m~G.L.-4.25m の有機質土層を 2.300g/cm^3 とし、それ以外は 2.650g/cm^3 とした（室内土質試験結果より）。

図-3 は、RI-CPT により計測した鉛直 (90°) 貫入と斜め下方貫入 (75° , 60° , 45°) の湿潤密度（深度 0.5m 毎の平均値）の比較図である。

図-2, 3 より、地表から G.L.-3.90m までの盛土層と G.L.-3.90m~G.L.-4.25m の有機質土層で試験結果に貫入角度による差異が窺える。これは、貫入角度の影響ではなく、試験位置（貫入箇所）の性状（土質材料、締固め状態など）の差異が原因と考える。同様に有機質土層の差異も試験位置（貫入箇所）の性状の差異によるものと考えられる。G.L.-4.25m 以深は、貫入角度に関係なく良く一致しており、貫入角度による計測値への影響はほとんどないものと考えられる。

図-4 は、図-2 に示す柱状図のうち、砂質土層 (G.L.-4.25m~G.L.-6.00m) の RI-CPT 計測結果（採取深度に相当する値）、乱した試料および乱れの少ない試料の含水比の関係を示すものである。乱れの少ない試料の含水比と計測



結果は非常に良く一致しているが、乱した試料の含水比は、乱れの少ない試料の含水比および RI-CPT 計測結果より低い値となっている。これは、標準貫入試験でレイモンドサンプラーを動的貫入した際の試料圧縮による脱水や、レイモンドサンプラーを地上に引き上げる際にサンプラー内の試料からの逸水が原因であると考えられる³⁾。

図-5~図-7 に RI-CPT 計測値（採取深度に相当する値）と乱した試料，ならびに乱れの少ない試料の試験結果の関係を示す。乱した試料の有機質土層と砂質土層に相当する結果に差異が見られることを除けば、貫入角度の違いによる測定結果の差異は見られなかった。

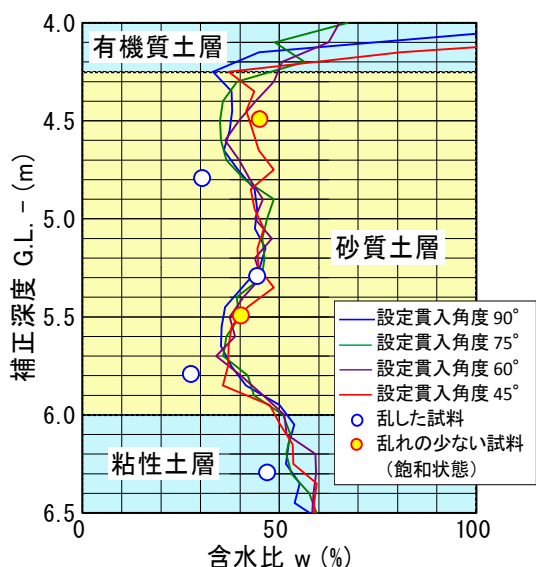


図-4 砂質土層の計測結果

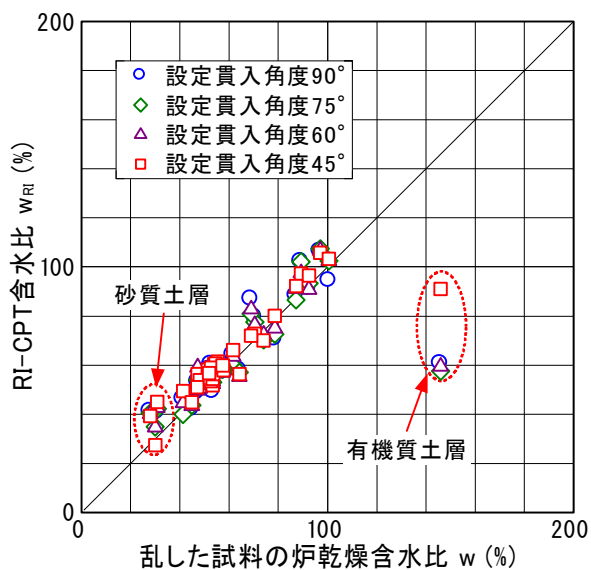


図-5 RI-CPT と乱した試料の含水比の関係

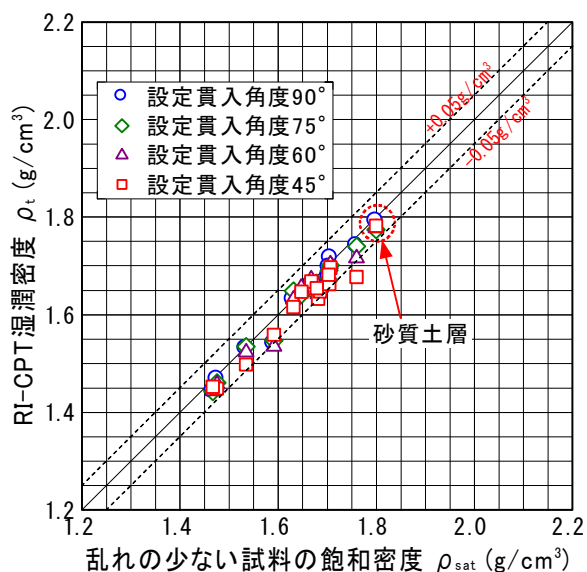


図-6 RI-CPT と乱れの少ない試料の飽和密度の関係

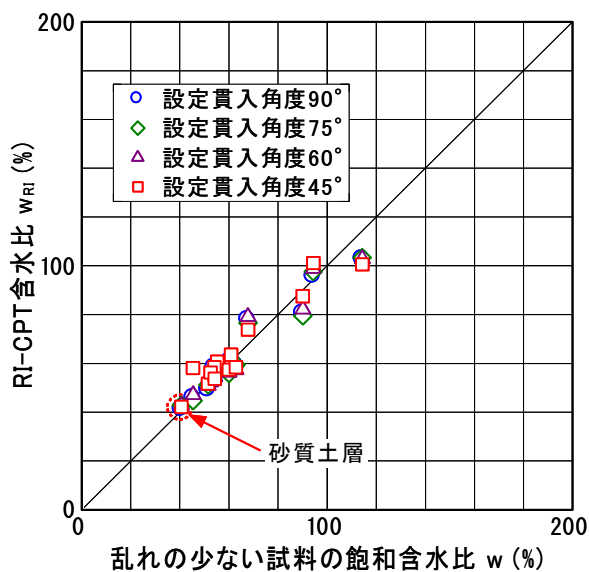


図-7 RI-CPT と乱れの少ない試料の含水比の関係

4. まとめと今後の課題

RI-CPT による結果は、地点間の土層性状の差異を除けば、貫入角度による影響がほとんどなく、有機質土層，砂質土層を除く乱した試料，乱れの少ない試料の室内土質試験結果と非常によく一致していることが確認できた。

なお、今回試験を実施した地盤は、軟弱な粘性土層が大半を占め、レイモンドサンプラーを地上に引き上げる際になどに含水比が低下し易い砂質土層が薄層であった。今後は、今回試験を行った地盤よりも強固な地盤（ N 値が比較的高く、多少の礫分を含むような地盤）や砂質土層が主体の地盤を対象に斜め下方貫入による試験を実施し、今回確認した事象を改めて検証していく必要がある。

参考文献

- 1) 北條豊・松浦良信・脇中康太・糸井理樹・原彰男・岡嶋眞一・片山浩明・西原聡：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），第14回地盤工学会関東支部発表会（投稿中），2017.11
- 2) 山本伊作・重富正幸・栗原朋之・久下信明・橘久生・佐渡耕一郎・大塚潤・深沢健：電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入への試み（その3：電気式コーン貫入試験結果の評価），第14回地盤工学会関東支部発表会（投稿中），2017.11
- 3) 越山賢一：砂質土の標準貫入試験試料の含水比に対する検討，全地連「技術 e-フォーラム 2006」名古屋，論文 No.76，2006.