

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。

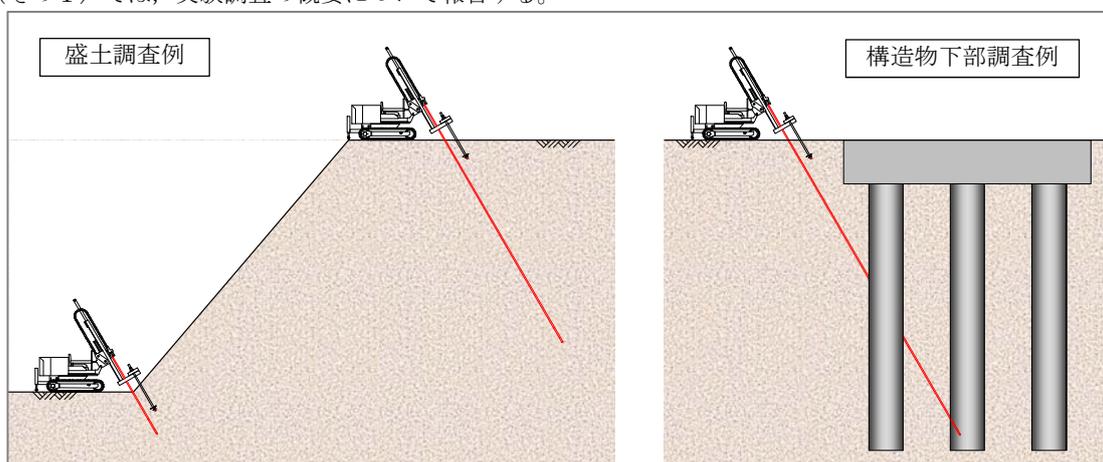


図-1 斜め CPTU の活用例

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。

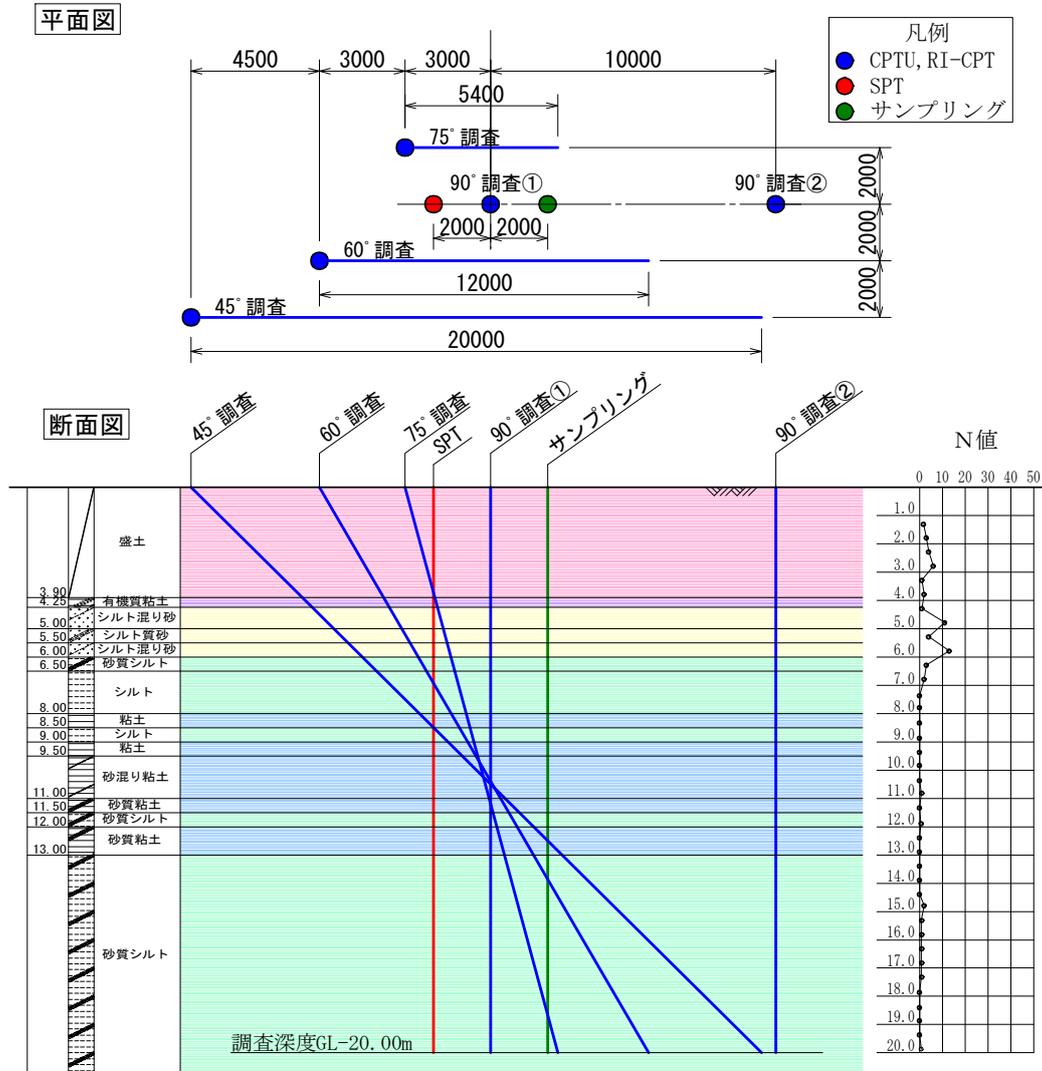


図-2 調査位置

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

反力のスクリューアンカーは、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

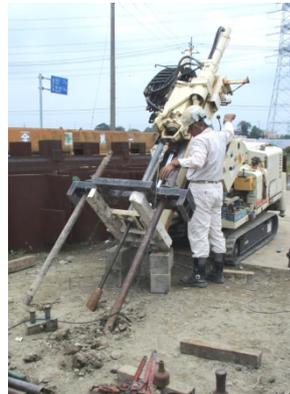


図-5 貫入試験（45°）



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)

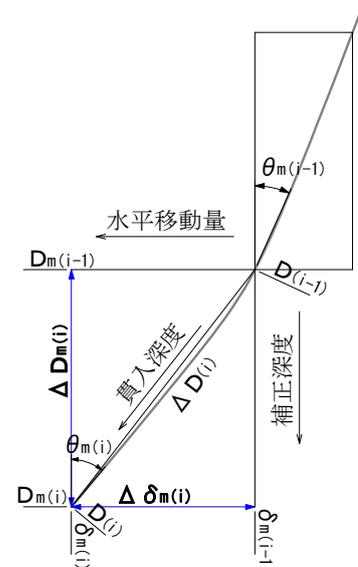


図-7 貫入角度による補正概念

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	○	○	○												

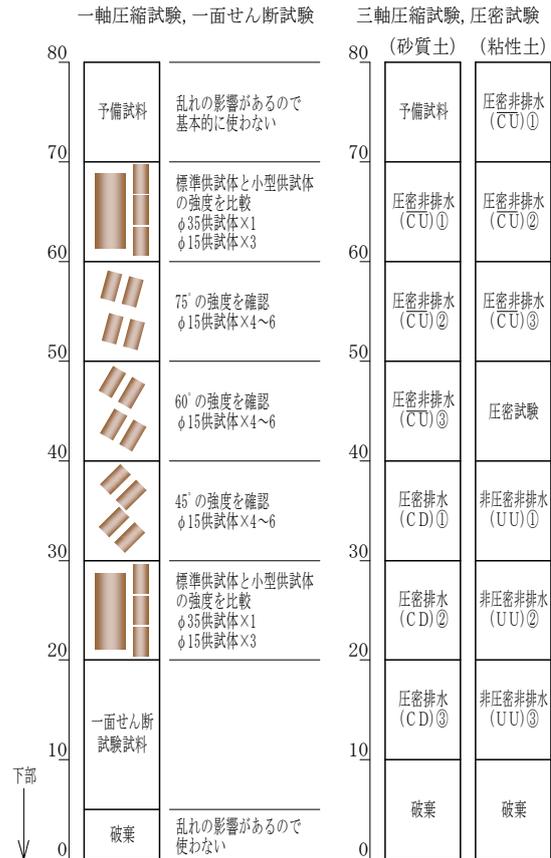


図-8 室内試験位置

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