

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ト		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 $q_t=5.5\sim 7.1\text{MPa}$ 、周面摩擦 $f_s=56\sim 80\text{kPa}$ 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。

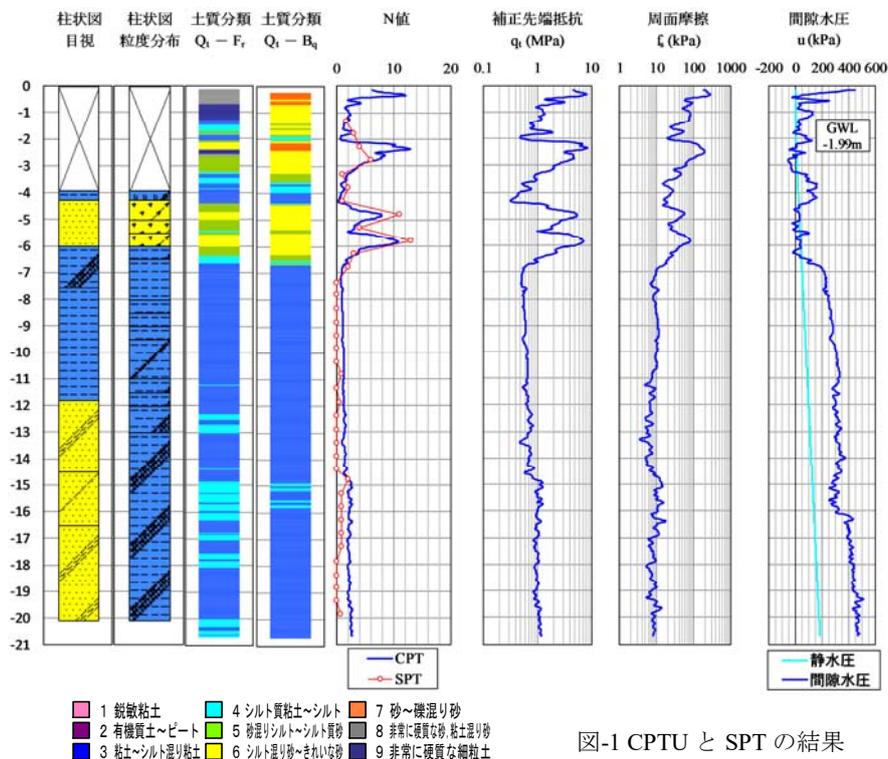


図-1 CPTUとSPTの結果

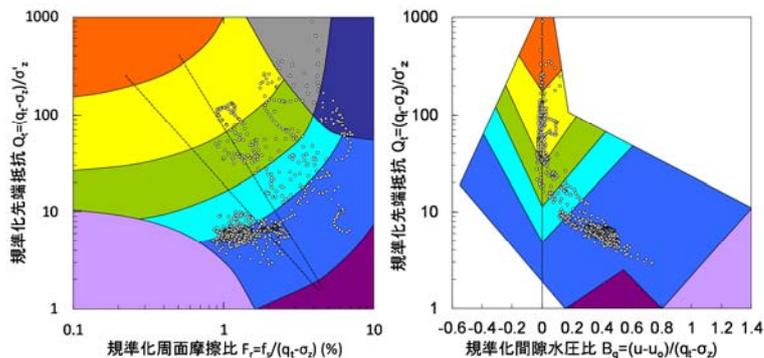


図-2 土質分類判定図

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-11.0m 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。

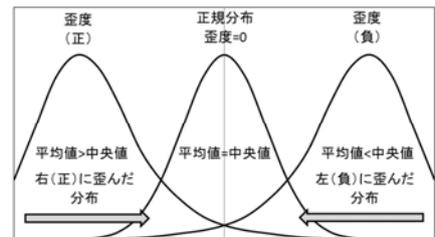


図-3 正規分布と歪度

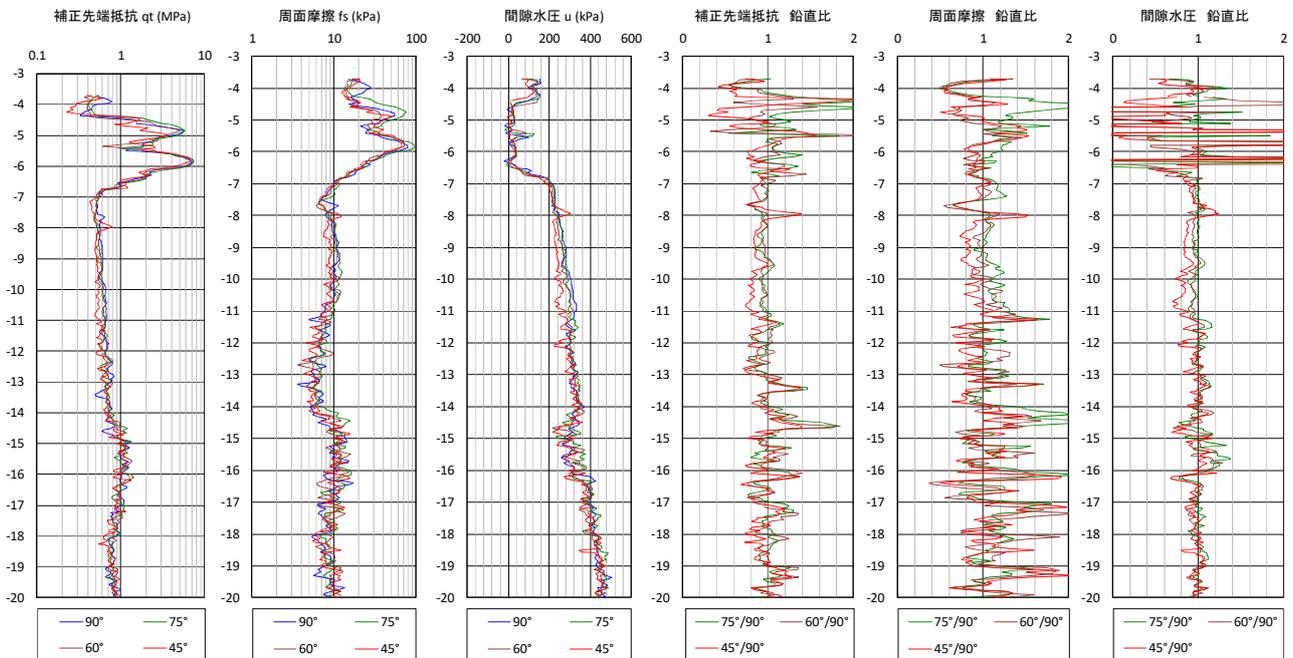
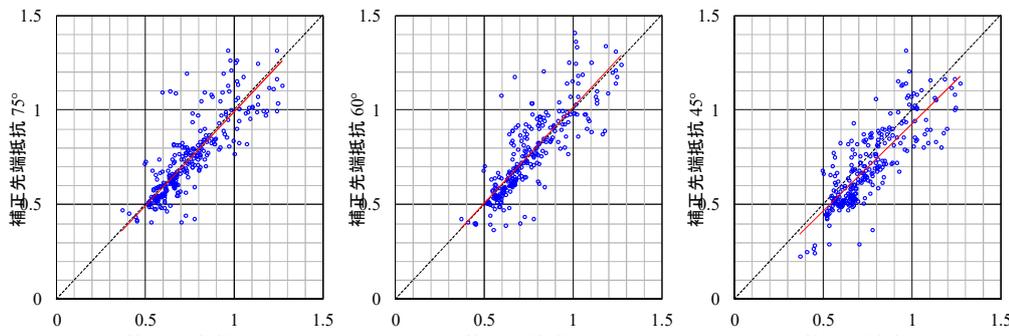
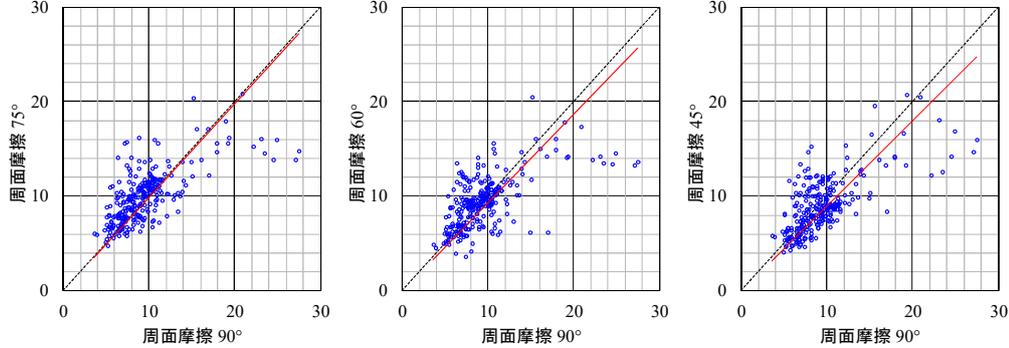
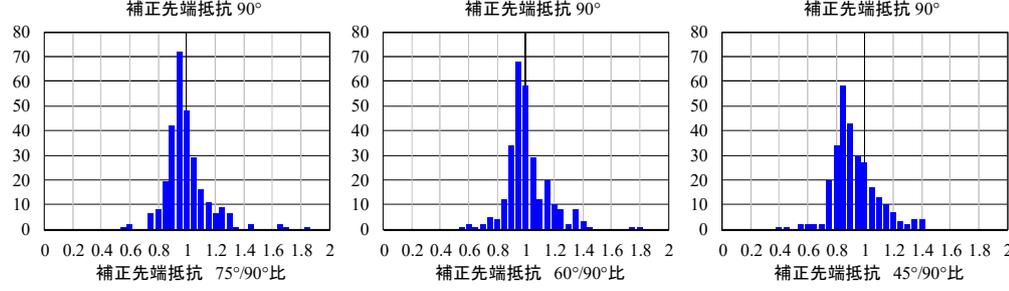


図-4 三成分データと鉛直比



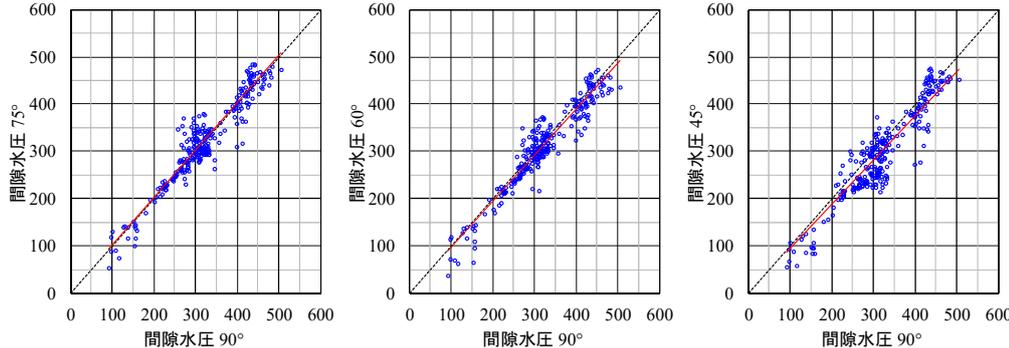
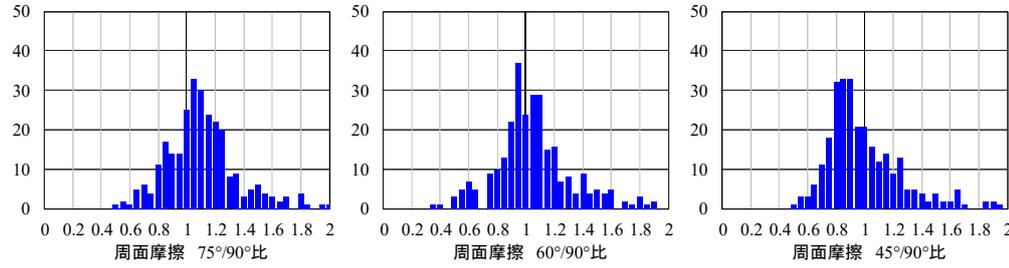
赤線: 近似直線

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

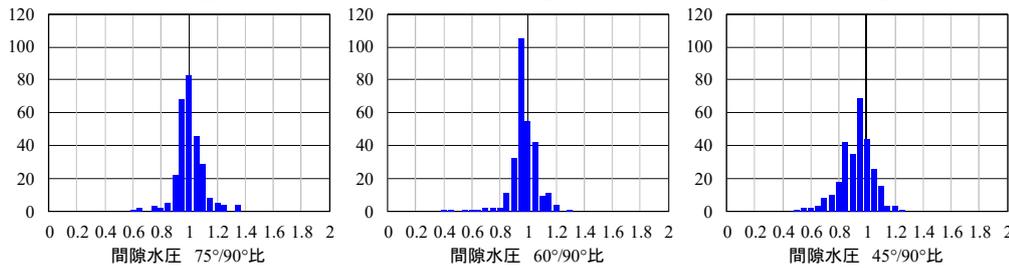


図-5 三成分データの対比 (砂質土除外)

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。

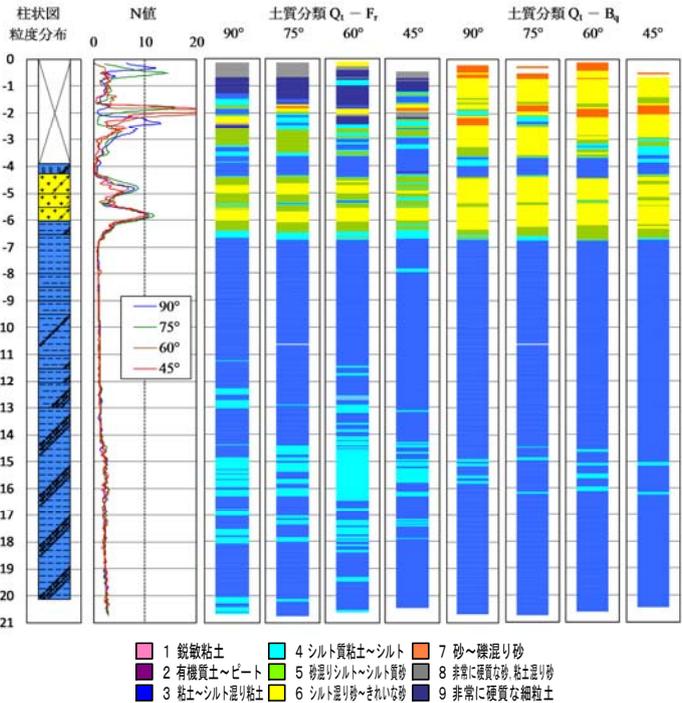


図-6 土質分類と N 値の対比

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.