

電気式コーン貫入試験による斜め方向地盤調査

現場実験計画（案）

平成 29 年 5 月 17 日

電気式コーン貫入試験による斜め方向地盤調査研究会

<<目次>>

1. 実験調査概要	1
1.1. 調査概要	1
1.2. 調査場所	1
1.3. 調査位置図	2
1.4. 計画工程表	3
2. 調査方法	4
2.1. 電気式コーン貫入試験	4
2.2. RI コーン試験機	7
2.3. 貫入装置	10
2.4. 反力装置	12
2.5. 機械ボーリング	13
2.6. 標準貫入試験	14
2.7. 乱れの少ない試料採取	15
2.8. 室内土質試験	16
3. 斜め調査の管理と補正方法	20
3.1. 反力の設置	20
3.2. 斜め CPT 調査	21
3.3. 傾斜角の補正	22
3.4. 補正深度と水平移動量	23
4. CPT の解析方法	24
4.1. 測定データ	24
4.2. 土質性状分類	25
4.3. N値	26
4.4. 細粒分含有率	28
4.5. 非排水せん断強さ	29
4.6. 過圧密比	30
4.7. 相対密度	32
4.8. せん断抵抗角	32
5. 解析結果例	33
5.1. 補正深度と水平移動量	33
5.2. 測定データ	34
5.3. 土質分類	36
5.4. 土質定数	38

1. 実験調査概要

1.1. 調査概要

- 1) 調査名：電気式コーン貫入試験による斜め方向地盤調査
- 2) 調査場所：茨城県稲敷郡河内町長竿地先
- 3) 調査目的：本調査では、斜め電気式コーン貫入試験を実施し、調査角度による測定精度について解析し、解釈と検証を行う。電気式コーン貫入試験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。
- 4) 調査概要：

①斜め CPT, RI 調査 (90 度,75 度,60 度,45 度)	…鉛直深度 20m
②ボーリング調査 (N 値 0.5m 間隔)	…調査深度 20m
③試料採取	
④室内土質試験 (物理試験, 力学試験)	

1.2. 調査場所

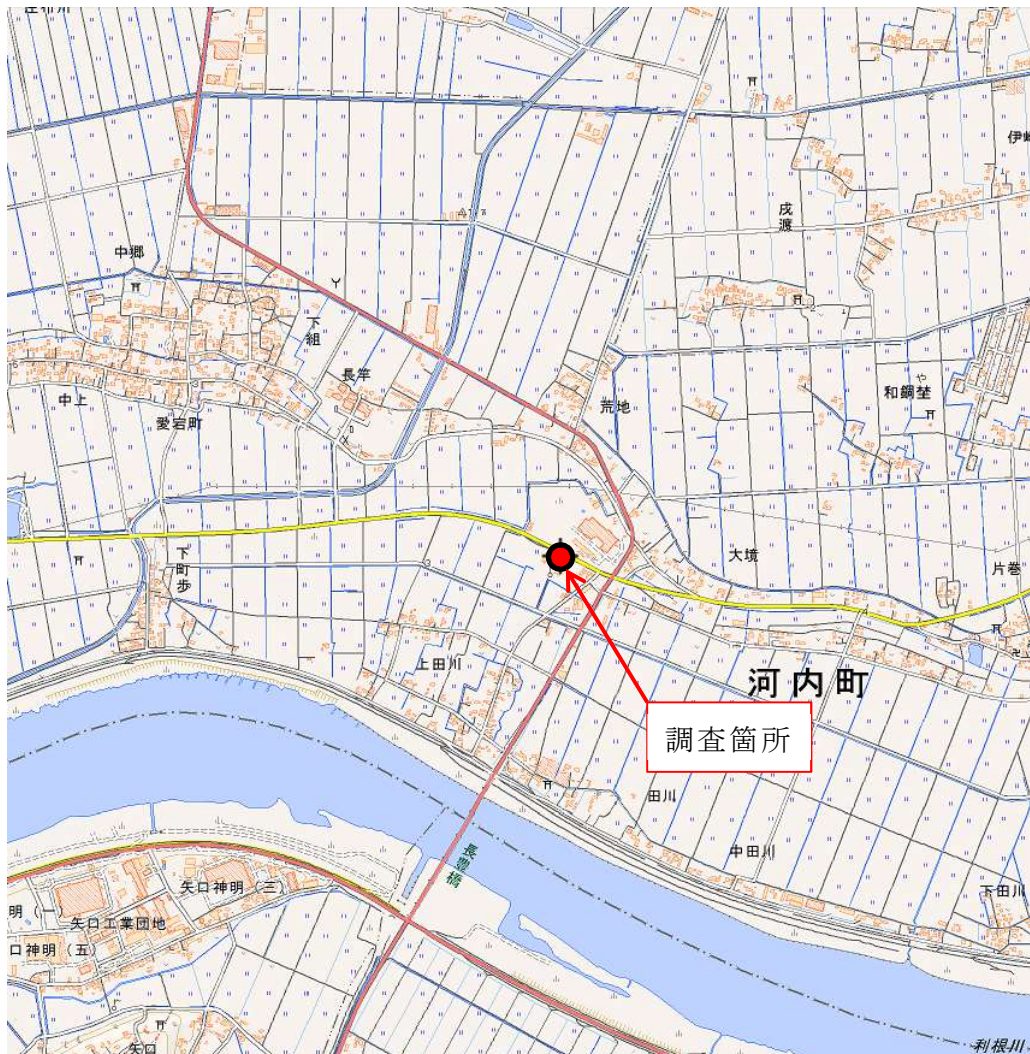


図-1.1 調査場所案内図

1.3. 調査位置図

既存の柱状図より、調査数量と調査位置図を表-1.1, 図-1.2 に示す。

表-1.1 調査計画数量

調査内容		調査深度		備考
		鉛直距離	斜距離	
CPT	90°	20.0m	—	2 地点
	75°	20.0m	20.7m	
	60°	20.0m	23.1m	
	45°	20.0m	28.3m	
SPT		20.0m	—	
サンプリング		20.0m	—	

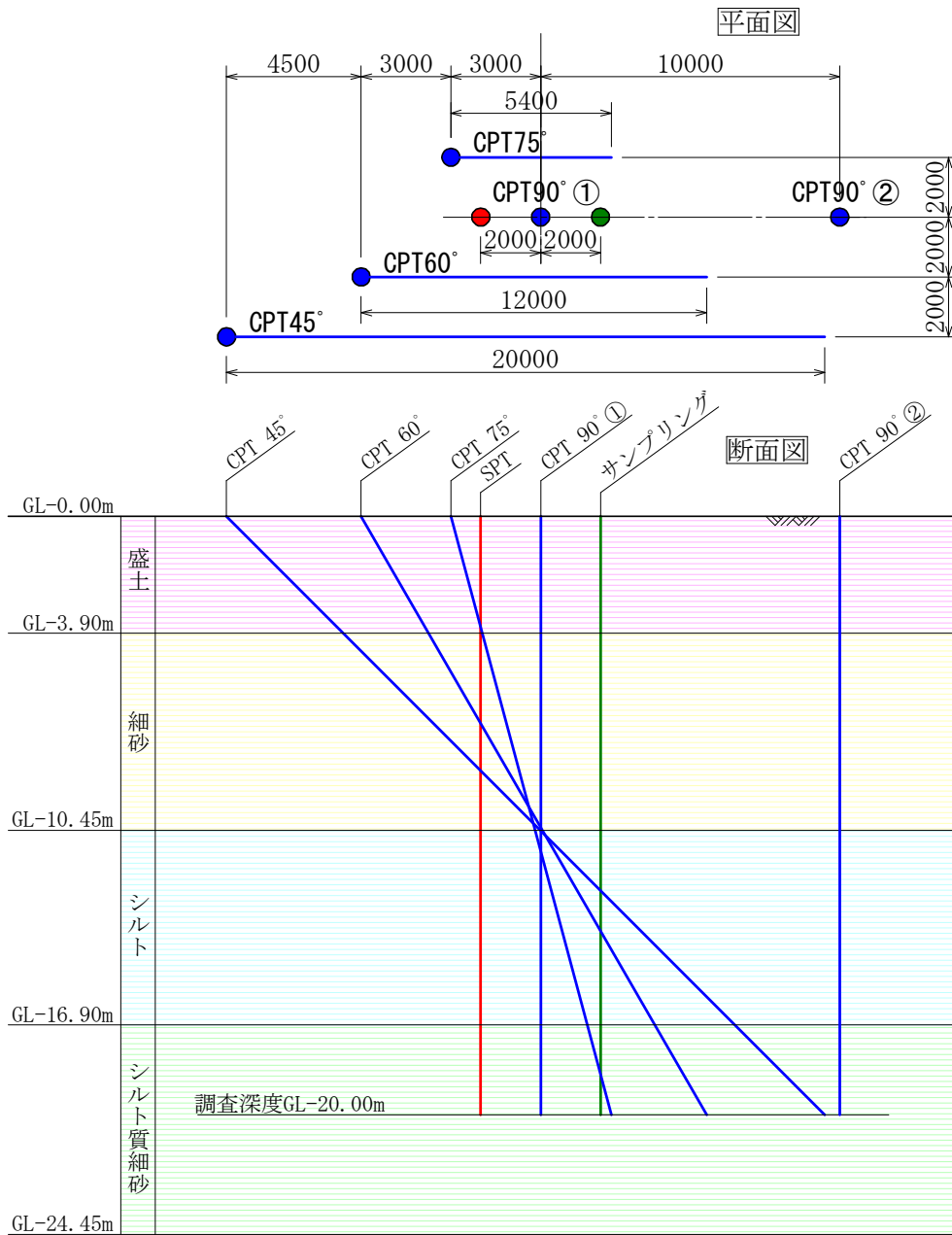


図-1.2 調査計画図

1.4. 計画工程表

計画工程を表-1.2 に示す。

斜め CPT 調査を実施後、SPT 調査を実施する。CPT と SPT の結果を踏まえて室内試験用の試料採取深度を決定する。見学会は常設とする。

表-1.2 計画工程表

作業内容		6/26	6/27	6/28	6/29	6/30	7/1	7/3	7/4
		(月)	(火)	(水)	(木)	(金)	(土)	(月)	(火)
搬入									
斜め C P T 調 査	CPT 90° 20.0m	No.1				No.2			
	RI 90° 20.0m								
	CPT 75° 20.7m								
	RI 75° 20.7m								
	CPT 60° 23.1m								
	RI 60° 23.1m								
	CPT 45° 28.3m								
	RI 45° 28.3m								
SPT調査 (0.5m間隔)									
試料採取深度 協議									
試料採取									
試料運搬									
搬出									
見学会 (常設)									

2. 調査方法

2.1. 電気式コーン貫入試験

本調査では米 Vertec 社製のプローブを使用する。プローブは、先端抵抗 q_c を測定する円錐形の先端コーン、プローブ側方の周面摩擦 f_s を測定するスリーブ、間隙水圧 u を測定する多孔質のフィルターから構成される。また、サイスミック試験時に地上部から与えた弾性波を受信する受信子（P波，S波2軸）を内蔵する。

プローブは、先端抵抗力と周面摩擦力を各々独立したロードセルで測定し、間隙水圧は、粘度の高いシリコンオイル（10,000cs）を介して測定する。約1秒間隔で測定されたデータはプローブ内の信号変換ボードでデジタル化され、ケーブルを通してデータロガーに送られ、パソコンに保存される。貫入深度は、貫入装置に取り付けた糸巻き式変位計により管理する。

プローブの性能を表-2.1，図-2.1～図-2.2 に示し、測定機材を表-2.2，図-2.3 に示す。

表-2.1 各センサーの性能表

内容	先端抵抗	周面摩擦	間隙水圧
測定範囲	45MPa	1,300kPa	3,500kPa
非直線性	0.10%FS	0.25%FS	0.03%FS
校正係数	18.16mV/MPa	1.215mV/kPa	0.355mV/kPa
内容	傾斜計（重力加速度計）	温度計	
製造	Murata Electronics 社製	Texas Instruments 社製	
型式	SCA1000	LM235	
測定範囲	±1.7G	-40℃～125℃	

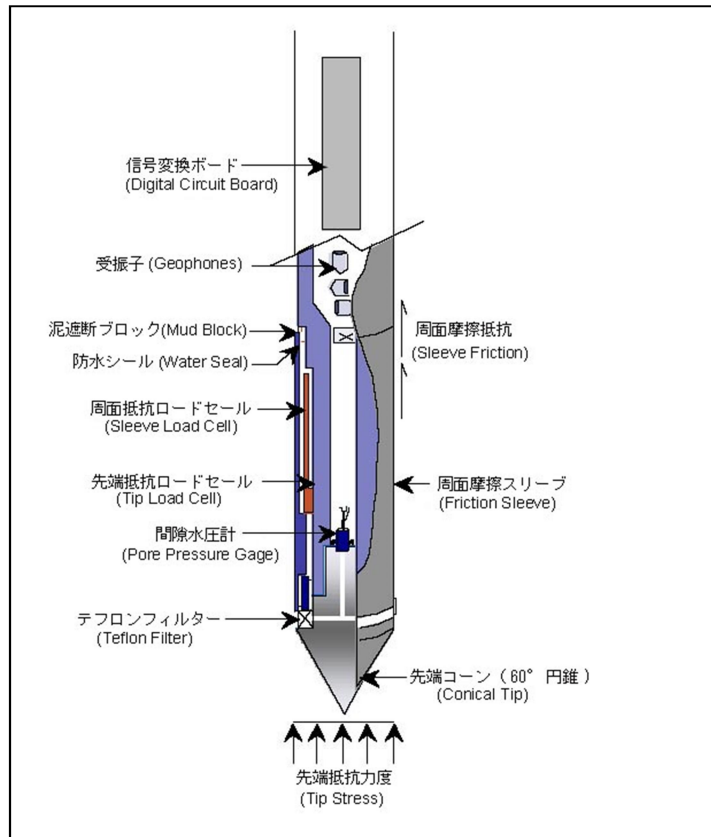


図-2.1 コーンプローブ

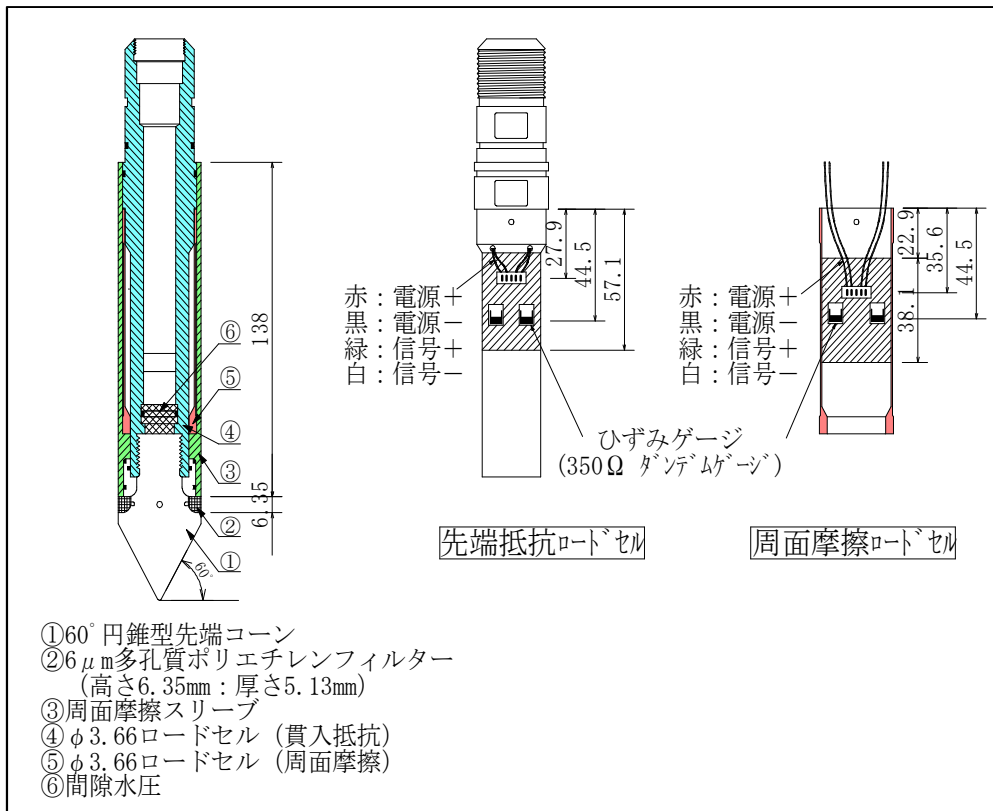


図-2.2 コーンプローブ詳細図

表-2.2 測定機材一覧

名称	型式・規格	数量
パソコン		1台
データロガー	DataPack2000	1台
測定器用ケーブル	RS-232C 接続	1本
コーン用ケーブル	L=50m	1本
深度計	糸巻き式 (最大容量 1500mm)	1台
深度計用ケーブル	L=10m	1本
ロッド	1.44 インチ (36.6mm)	—
発電機	1.6kVA (100V、15A)	1台

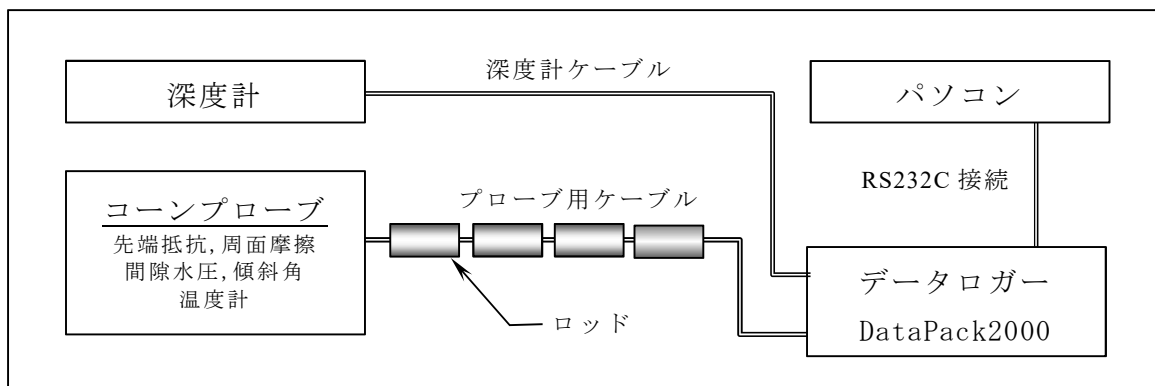


図-2.3 システム構成図

2.2. RI コーン試験機

RadioIsotope(RI)コーン貫入試験は、密度計と水分計の2種類のコーンからなり、それぞれ土の湿潤密度と含水量を測定する。



図-2.4 RI コーンプローブと測定システム

(1) RI コーン密度計

RI コーン密度計は、線源部に装着された ^{137}Cs (セシウム 137) から放出されるガンマ線と電子とのコンプトン効果を利用して、電子の空間存在度に比例する質量の空間存在度 = 湿潤密度を測定する。

RI コーン密度計で地盤内の湿潤密度を測定する際は、線源を装着しない状態での自然ガンマ線強度 (バックグラウンド : BG) を測定し、線源を装着した状態での総ガンマ線強度から BG 値を差し引いた線源由来のガンマ線強度から湿潤密度を測定する。BG 測定により、自然状態でのガンマ線強度の計測が可能である。

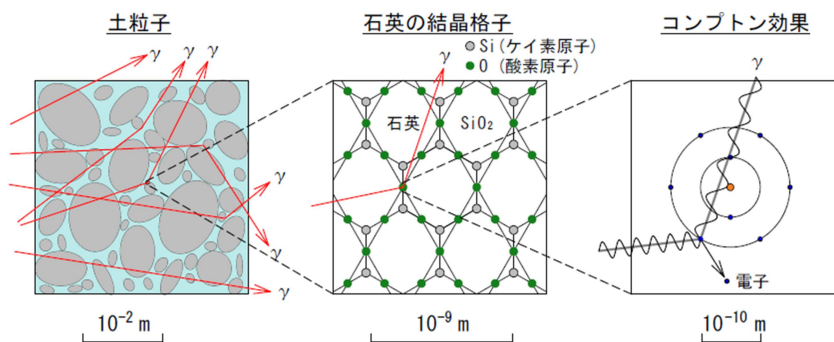


図-2.5 RI コーン密度計の計測原理

(2) RI コーン水分計

RI コーン水分計は、 ^{252}Cf (カリホルニウム 252) から放出される速中性子と物質を構成する原子の原子核との相互作用を利用する。水素原子の原子核は、中性子の運動エネルギーを減衰させる能力が際立って高く、幾度か衝突を繰り返すことで運動エネルギーを失い、速度の遅い熱中性子に変わる。地盤中の水素原子のほとんどは水 (H_2O) の構成元素として存在しているため、熱中性子の量を計測することで水素原子の空間濃度、つまり、単位体積あたりの水の量を測定することができる。

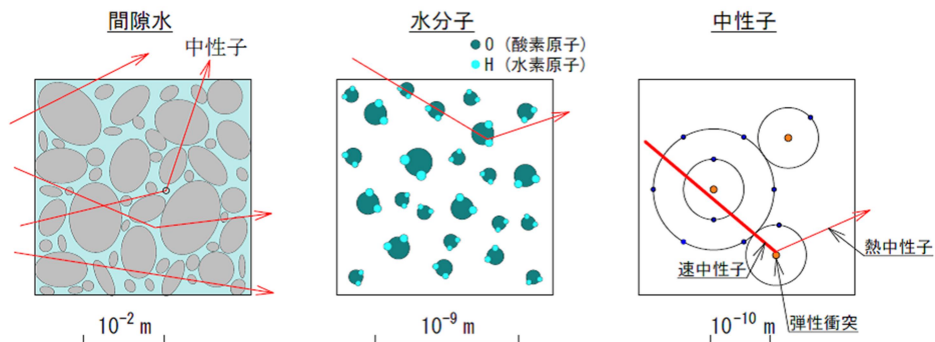


図-2.6 RI コーン水分計の計測原理

(3) 測定方法

RI コーン貫入試験は、以下の測定手順で実施する。密度検層、水分検層は、三成分コーン+BG 検層を実施した孔と同じ孔で行う。

1. 貫入 1 回目 (三成分+BG 検層)

先端に三成分コーンを取り付けた密度計コーンプローブを 20mm/秒の速度で、所定の深度まで地盤に貫入する。

2. 貫入 2 回目 (密度検層)

密度計コーンプローブの先端部を三成分コーンから γ 線線源コーンに付け替えて貫入し、ガンマ線強度の測定により地盤の湿潤密度を測定する。

3. 貫入 3 回目 (水分検層)

水分計コーンプローブを貫入し、熱中性子線の測定により地盤の水分量を測定する。

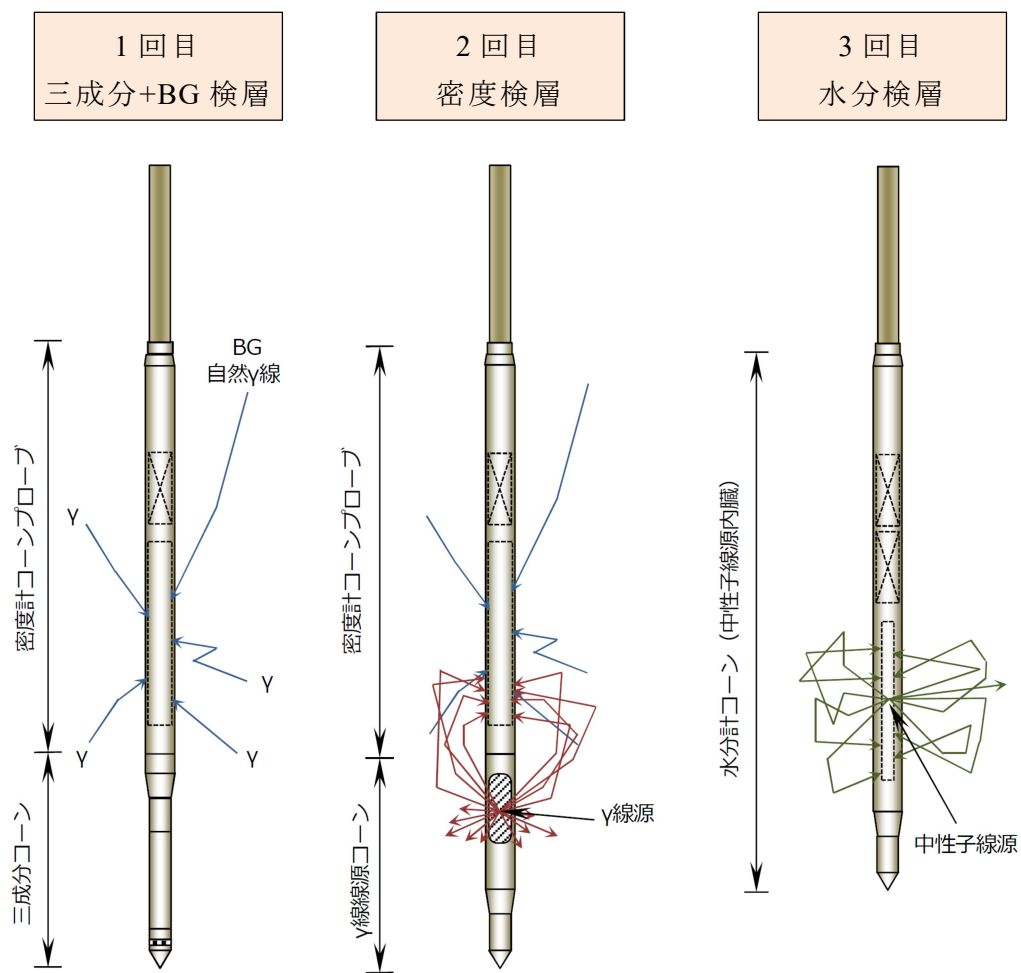
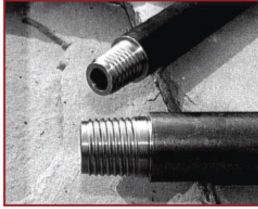


図-2.7 RI コーン貫入試験手順

2.3. ロッド

CPT,RI で使用するロッドは、Vertek 社製の 1.44 インチロッドを使用する。



Fast, Easy,
Strong!



Speed Lock Rods

The best direct push rods on the market. Make the most of your rig!

Unsurpassed Strength

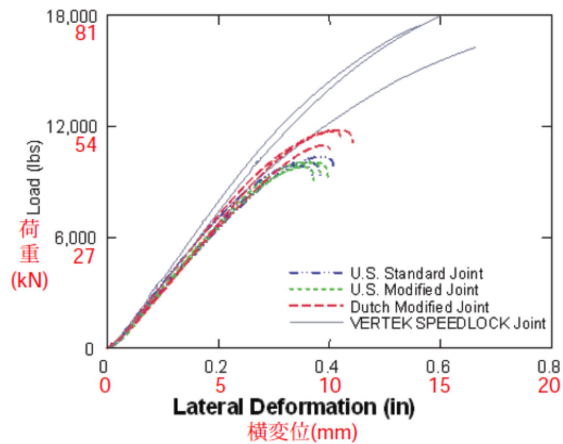
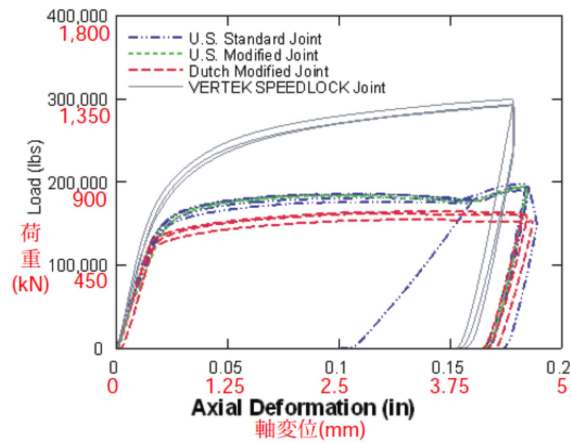
Vertek manufactures a full line of CPT push rods with our proprietary Speed Lock dual-lead thread design. Speed Lock Rods provide unsurpassed joint strength—up to 50% stronger than industry standard V-threads. Our unique rope thread design uses less of the available wall thickness and balances the strength between the male and female thread ends. Speed Lock coupled joint achieves nearly 90% of the strength of the heat treated rod stock.

Increase Speed, Reduce Operator Fatigue

Our dual-lead thread provides fast coupling; 2.5 turns to couple or uncouple compared with 5–7 turns for competitor's rods improving worksite productivity.

Flexibility and Adaptability

Speed Lock Rods are available in standard 10cm² and 15cm² diameters. Custom sizes include 20 cm², 26cm² and 32cm². Vertek also manufactures custom adapters to permit use of our advanced thread design with your current inventory of CPT equipment.



Our products are made, calibrated and serviced in the USA.

2.4. 貫入装置

本調査で使用する貫入装置は、Geoprobe社製6610DTを使用する。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CPTとSPTの調査が可能である。比較的コンパクトな車体に、自走装置を持っており、調査ポイント間の移動など容易に行える。(表-2.3, 図-2.8)

地盤工学会基準(JGS 1435)では、貫入速度を20mm±10mm/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-2.3 貫入機性能

6610DT	
最大貫入力	160kN
最大引抜力	200kN
自重	2225kg
幅×長	1219mm×2388mm
高さ	2159mm
マスト伸長時高さ	3886mm
最大油圧	16.9MPa
シリンダーストローク	1676mm
回転ヘッドトルク	759Nm
アンカー形式	分離式
最小作業スペース	2.5m×4.5m

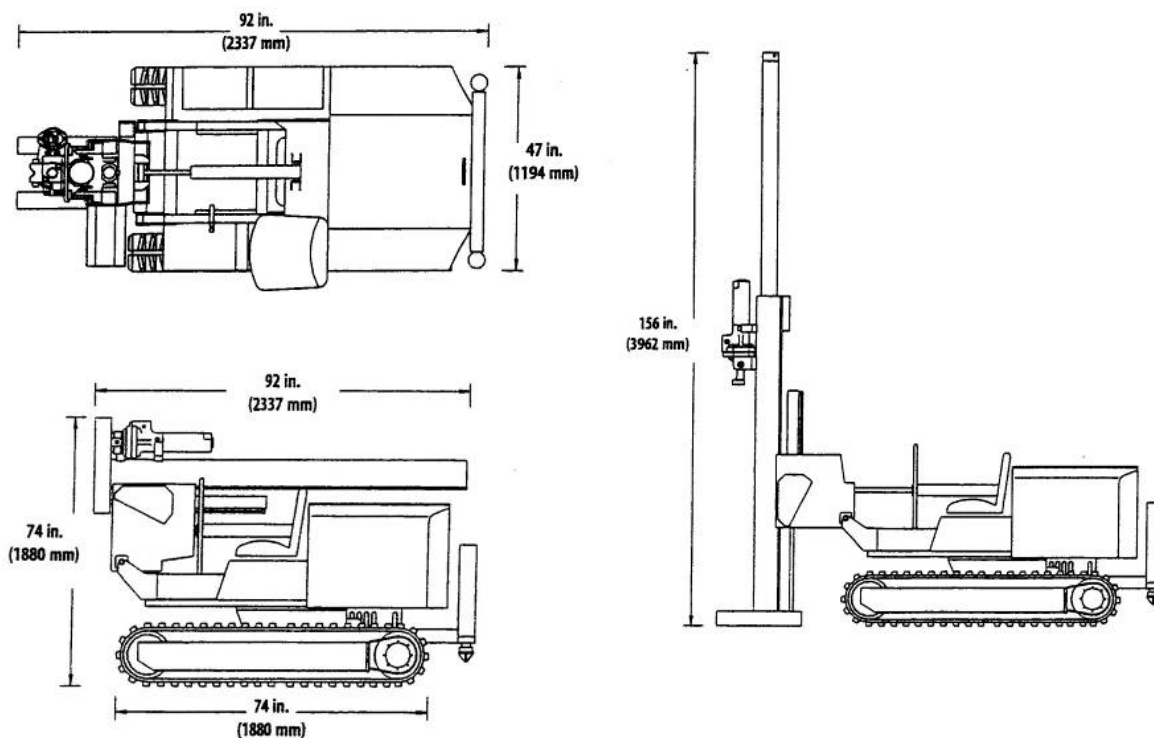


図-2.8 貫入機 (GeoProbeSystems 6610DT)

2.5. 反力装置

反力装置は貫入装置の能力を十分に利用するため、貫入装置を固定して使用する。今回の試験では、スクリューアンカーを反力装置として採用する。

スクリューアンカー先端 (L=0.7m) は、375mm/250mm のディスクが取り付けられている。専用のロッド (L=1.5m) を継ぎ足して十分な反力が得られる深度までスクリューアンカーを設置する。

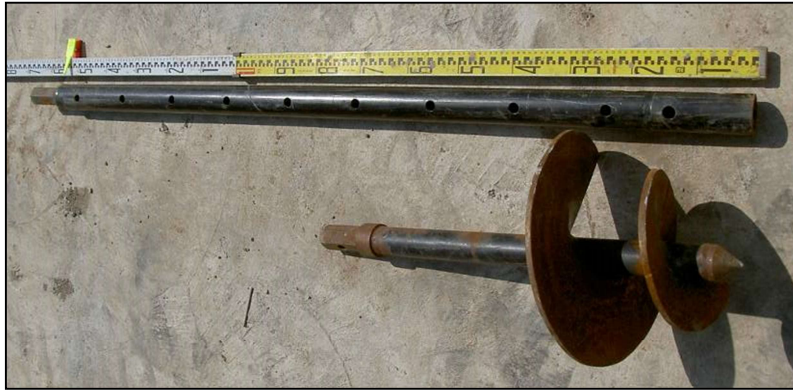


図-2.9 スクリューアンカー

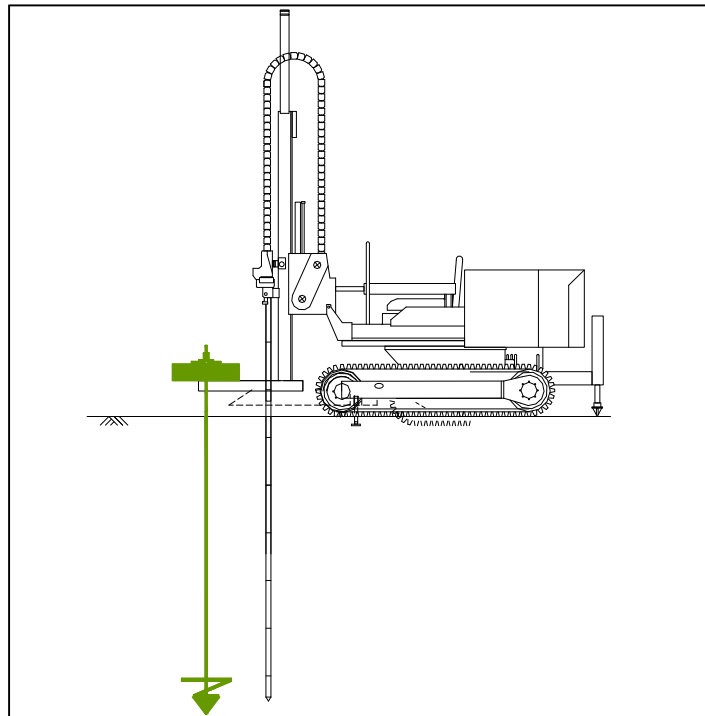


図-2.10 試験装置概念図

2.6. 機械ボーリング

ボーリング機械は、油圧オーガーモーターを装着したボーリングマシン（Geoprobe Systems 社製 6610DT）を使用し、掘削はφ66～116 mmのメタルクラウン付きコアチューブにより掘進する。

掘進は原則として地下水位が現れるまでは無水掘りとし、これ以深は泥水やケーシングパイプの挿入により孔壁の保護を行いながら掘進する。

掘進中は給圧、スライムの状態、ロッドのバイブレーション等の諸状況を注意深く観察し、地層の変化を正確に把握するように努める。

図-2.11 にボーリング装置図を示す。

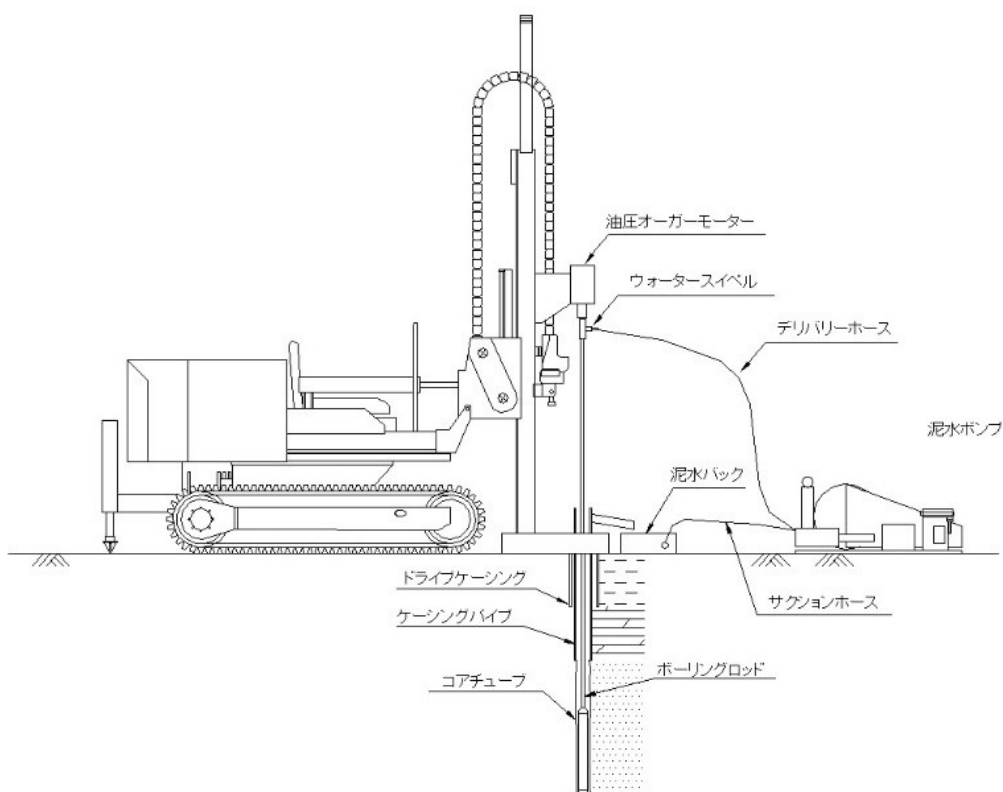


図-2.11 ボーリングマシン（Geoprobe 6610DT）の概念図

2.7. 標準貫入試験

標準貫入試験は、JIS-A-1219 に基づき実施する。

作業手順は、図-2.12 に示す SPT 用サンプラーをロッドの先端に装着し、スライムを排除した孔底に降ろした後、質量 $63.5\text{kg} \pm 0.5\text{kg}$ のハンマーの打撃により、15cm の予備打ち、30cm の本打ちを行う。本打ちはノッキングヘッドの上方 $76 \pm 1\text{cm}$ の高さから自由落下させて、所定の 10cm ごとの打撃回数および 30cm の累計打撃回数（N 値）を測定する。但し、硬質の地盤については打撃回数の上限を 50 回として、その時の貫入量を記録する。貫入は 0.5m ごとに行い、標準貫入試験用サンプラーによって採取した試料は土質・色調・状態・混入物等を記録し、容器に密閉し土質標本とする。

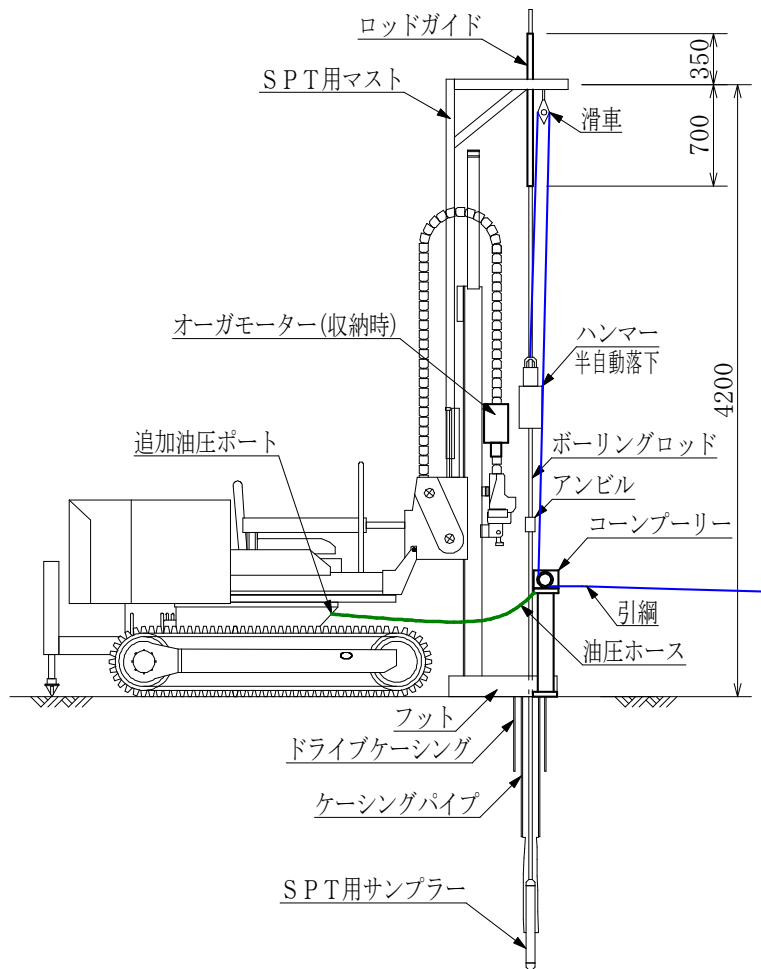


図-2.12 標準貫入試験装置図

2.8. 乱れの少ない試料採取

乱れの少ない試料採取は、CPT、SPT 同様 6610DT を使用して実施する。採取は、試料採取深度における土質及びN値に適応したサンプラー（図-2.13）を用いて試料採取する。

採取した試料は、試料状態が変化しないように両側を約3%の松ヤニを混合したパラフィンで密封し、衝撃を与えないようにして土質試験室に運搬する。

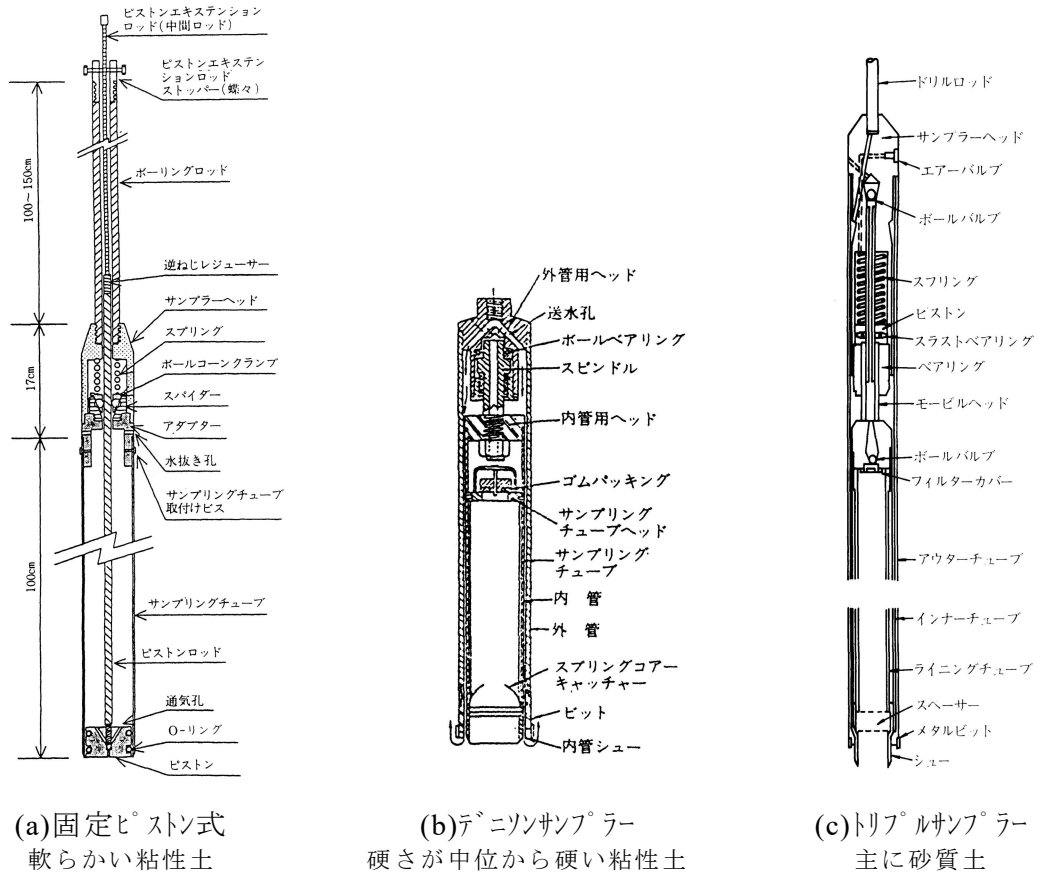


図-2.13 乱れの少ない試料採取

2.9. 室内土質試験

室内土質試験は、乱れの少ない試料と標準貫入試験時に採取された乱した試料を使用して、表-2.4 に示す規格に基づき実施する。

既存のボーリング柱状図から設定した調査計画を表-2.5，表-2.6 に示す。

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

乱れの少ない試料では、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) 試験を実施する。また、細粒分含有率が $20\% < F_c < 50\%$ の場合には三軸 (CUB) 試験を実施する。

表-2.4 室内土質試験

試験内容		基準	
		日本工業規格	地盤工学会
物理 試験	土粒子の密度試験	JIS A 1202	JGS 0111
	土の含水比試験	JIS A 1203	JGS 0121
	土の粒度試験	JIS A 1204	JGS 0131
	土の液性限界試験	JIS A 1205	JGS 0141
	土の塑性限界試験	JIS A 1206	JGS 0141
	土の湿潤密度試験	JIS A 1225	JGS 0191
力学 試験	土の一軸圧縮試験	JIS A 1216	JGS 0511
	土の非圧密非排水(UU)三軸圧縮試		JGS 0521
	土の圧密非排水(CUB)三軸圧縮試験		JGS 0523
	土の圧密排水(CD)三軸圧縮試験		JGS 0524
	土の段階載荷による圧密試験		JGS 0411

表-2.6 調査計画（サンプリング孔）

標尺	深度	層厚	想定柱状図	土質名	想定N値	深度（m）	室内試験										備考								
							標準貫入試験		シンウオール	デニソン	トリプル	土粒子の密度	含水比	粒度試験（ふるい）	粒度試験（ふるい+沈降）	液性限界・塑性限界		湿潤密度	一軸圧縮（異方性確認）	三軸圧縮（UU）	三軸圧縮（CD）	三軸圧縮（CUB）	圧密		
(m)	(m)	(m)					粘土	砂	試料	試料	試料														
0																									
	3.9	3.9		埋土 （ローム、シルト）	3~6																				
5				細砂	8~12	4.0m~5.5m					○	○	○	○		○				○	○				
						5.5m~7.0m						○	○	○	○		○				○	○			
						7.0m~8.5m						○	○	○	○		○				○	○			
10	10.5	6.6				8.5m~10.0m						○	○	○	○		○				○	○			
				シルト	0	11.0m~12.5m			○			○	○	○	○	○	○	○					○		
						12.5m~14.0m				○			○	○	○	○	○	○	○					○	
15						14.0m~15.5m				○			○	○	○	○	○	○	○					○	
	16.9	6.4				15.5m~17.0m				○			○	○	○	○	○	○	○					○	
				シルト質砂 （粘性土を想定）	0~1	17.0m~18.5m			○			○	○	○	○	○	○	○					○	○	
20						18.5m~20.0m				○			○	○	○	○	○	○	○					○	○
	20.5	3.6																							
	20.5	20.5						0	0	6	0	4		10	10	4	6	6	10	6	6	4	6	6	
								0																	

三軸圧縮試験（CUB）⇒細粒分含有率が 20% < Fc < 50% の場合に実施する。

(1) 異方性の確認

CPT を斜めに実施する際に、土の強度異方性を確認する必要がある。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されている。

砂質土の場合、試料採取を含めて異方性の確認は困難であるが、粘性土については一軸圧縮試験により確認する。試料採取径 $\phi 75\text{mm}$ から通常 $\phi 50\text{mm}$ の供試体を作成するが、異方性確認のための一軸圧縮試験では図-2.14 に示すように $\phi 20\text{mm}$, $L=40\text{mm}$ の供試体を作成し試験を実施する。

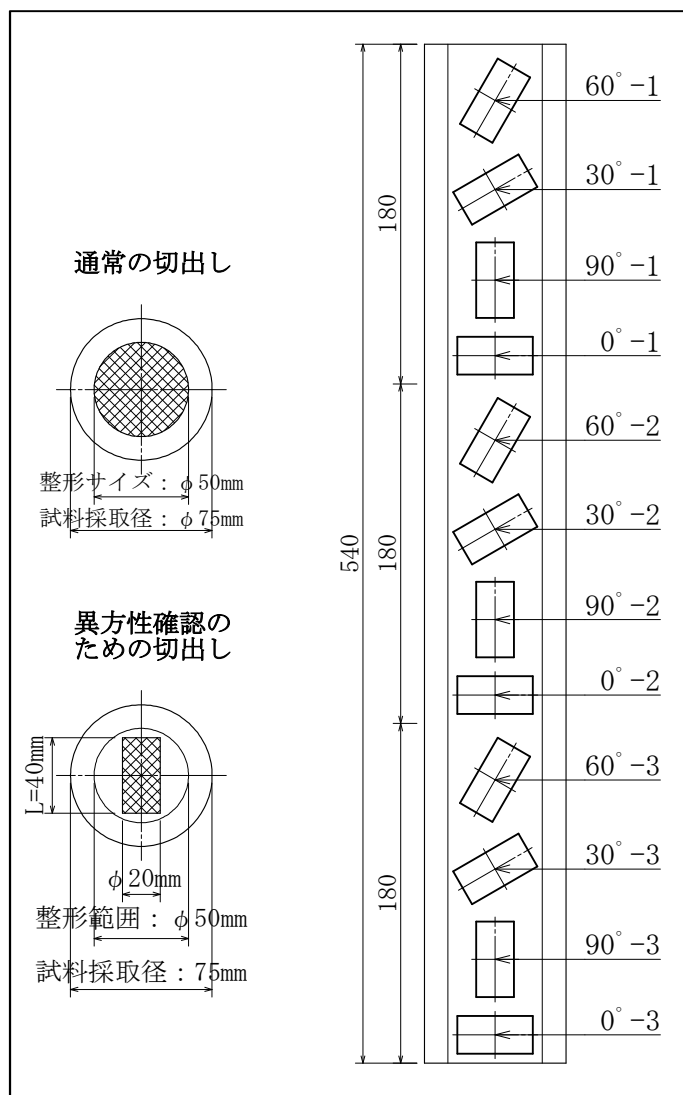


図-2.14 異方性確認のための一軸圧縮試験供試体切出し例

3. 斜め調査の管理と補正方法

実験で行った斜め CPT の施工方法について示す。

3.1. 反力の設置

(1) 設置方法

アンカーを設置する際には、施工角度を保持できるように、表層部の草や根を除去してから施工する。

施工時には施工角度を保持するために、図-3.2 に示す脱着式アンカー施工ガイド治具をマシンフット部に固定して使用する。



図-3.1 アンカー施工状況



図-3.2 アンカー施工ガイド治具



(2) 施工角度

表層埋土部にガラや礫がある場合、アンカー施工時に施工角度が保てない場合がある。アンカー設置では、調査角度 $0^{\circ} \sim +15^{\circ}$ 以内であることを確認する。図-3.3～図-3.5 に示すように、調査角度の下方 15° 以内にアンカーが設置してあれば、斜め CPT 調査に支障はないことを確認している。



図-3.3 調査 75° 反力 90°



図-3.4 調査 60° 反力 75°



図-3.5 調査 45° 反力 60°

3.2. 斜め CPT 調査

(1) 調査角度の保持

斜め CPT 調査を実施時には、調査角度を保持するために図-3.6～図-3.7 に示す脱着式ロッドガイド冶具を使用する。調査角度に応じて、ガイド管（3inch）を追加して使用する。

ロッドガイド頭部には、ロッド（1.44inch）を固定する半割りのスペーサー（図-3.8）を設置して調査角度を保持する。



図-3.6 ロッドガイド冶具



図-3.7 ロッドガイド冶具
（ガイド管追加）



図-3.8 スペーサー

3.3. 傾斜角の補正

コーン内蔵の傾斜計の校正を行った。コーン内部にはX軸，Y軸の2軸の傾斜計が設置されている。校正結果を図-3.9に示す。この結果、検査角度25°以上で直線性が失われているものの、50°（調査角度40°）まで測定可能と判断する。傾斜角の補正は次式により行う。

$$\theta_m = 0.0001092(\theta_{xy})^3 - 0.002544(\theta_{xy})^2 + \theta_{xy} \quad \dots(\text{式 5.1})$$

$$\theta_{xy} = \sqrt{\theta_x^2 + \theta_y^2} \quad \dots(\text{式 5.2})$$

ここで、 θ_m : 測定傾斜角(deg)

θ_{xy} : 合成傾斜角(deg)

θ_x : X軸傾斜角測定値(deg)

θ_y : Y軸傾斜角測定値(deg)

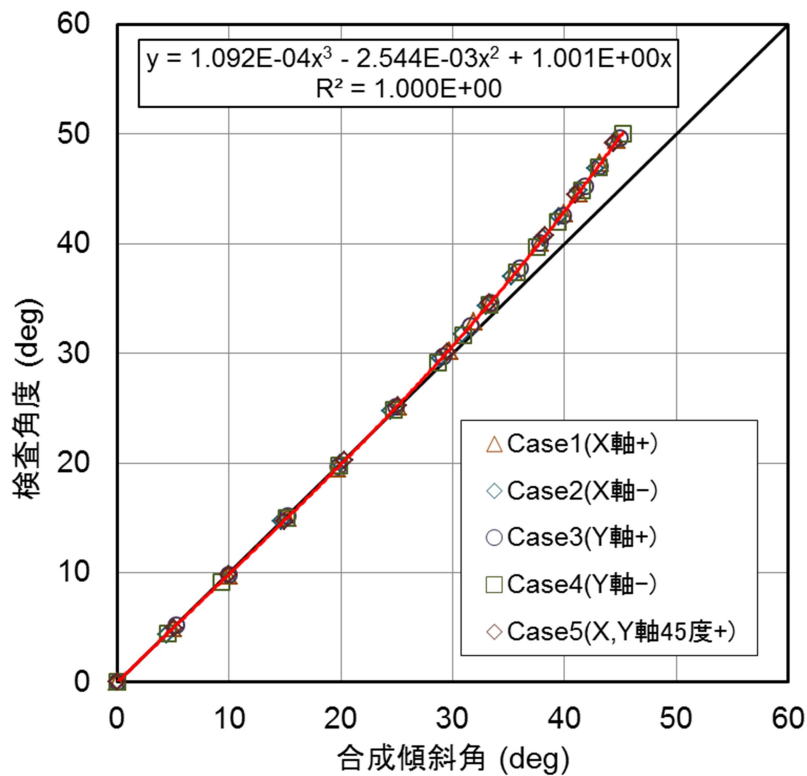


図-3.9 傾斜計の校正結果

4. CPT の解析方法

4.1. 測定データ

CPT より得られる補正先端抵抗応力度 q_t 、周面摩擦応力度 f_s 、ならびに間隙水圧 u の値を深度方向にプロットした図を作成する。ここで、補正先端抵抗応力度 q_t は測定された先端抵抗応力度 q_c を下記の方法で補正した値とする。

プローブには、間隙水圧測定のためのフィルターが設置されている。貫入時にフィルター部分に間隙水圧 u が作用するため、測定される先端抵抗応力度に影響を与える。このことから、先端抵抗応力度は、間隙水圧の影響を考慮し、補正する必要がある。

$$q_t = q_c + u \left[1 - \frac{A_N}{A_T} \right] \quad \dots \text{(式 4.1)}$$

ここで、

q_t = 補正先端抵抗応力度 (MPa)

q_c = 先端抵抗応力度 (MPa)

u = 間隙水圧 (MPa)

A_N = フィルター部分を除いた有効断面積 (cm^2)

A_T = コーン本体の断面積 (cm^2)

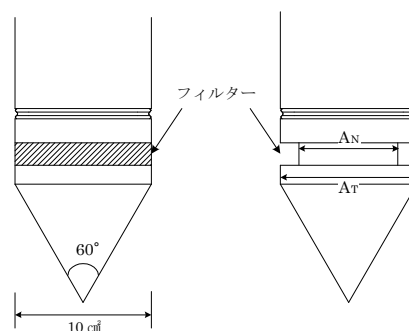


図-4.1 先端抵抗補正概念図

4.2. 土質性状分類

Robertson は CPT の詳細なデータ分析から、基準化先端抵抗 Q_t と、基準化周面摩擦比 F_r を用いた土質分類図を提案した。

基準化先端抵抗と基準化周面摩擦比は以下に示す式により求める。

$$Q_t = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}, \quad F_r = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{vo}} \quad \dots \text{(式 4.2)}$$

- ここで、 f_s = 周面摩擦抵抗 (kPa)
 q_t = 補正先端抵抗 (kPa)
 σ_{vo} = 全土被り圧 (kPa)
 σ'_{vo} = 有効土被り圧 (kPa)

(式 3.2) によって得られた基準化先端抵抗 Q_t と基準化周面摩擦比 F_r を図-4.2 の土質分類図にプロットし、プロットした領域の番号が土質性状タイプを示す番号となる。

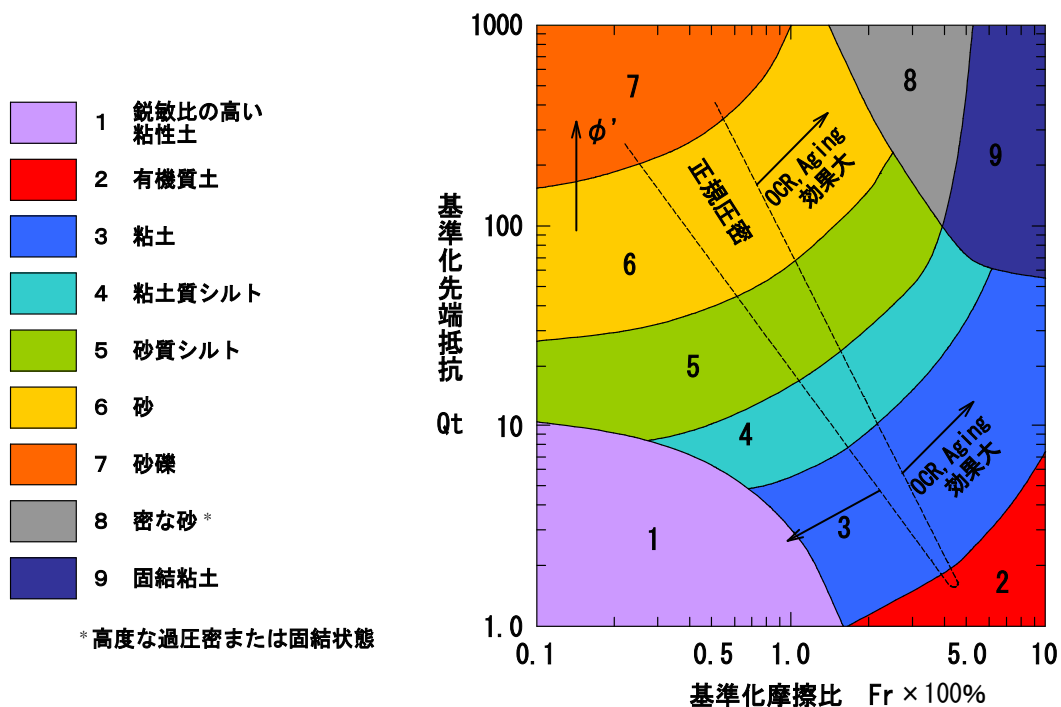


図-4.2 土質分類図 (1990)

この図は、砂質土の基準化先端抵抗 Q_t が粘性土に比べて大きくなる性質や、粘性土は粘着力の影響で砂質土に比べて基準化周面摩擦比 F_r が大きくなる性質を利用している。

また、砂質土領域の SBT=6,7 で基準化先端抵抗 Q_t が大きくなると、有効せん断抵抗角 ϕ' が大きくなり、SBT=1,2,3,4 の粘性土で基準化周面摩擦比 F_r が小さくなると、鋭敏比が大きくなることを示す。グラフ中央の点線に分布する土層は正規圧密な土層であることを示しており、正規圧密より右上に分布する土層は過圧密比(OCR), 生成年齢(Aging)が大きくなることを示している。

4.3. N 値

(1) 土質性状指数

土質性状指数 I_c は次式により表わされる。

$$I_c = \left[(3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1.22)^2 \right]^{0.5} \quad \dots \text{(式 4.3)}$$

- ここで、 I_c = 土質性状指数
 Q_t = 基準化先端抵抗
 F_r = 基準化周面摩擦比

土質性状タイプと土質性状指数 I_c の関係を図-4.3 に示す。

土質性状指数の式は円の式となっており、土質性状分類の境界線と土質性状指数は完全に一致はしていない。しかし、土の粒径に対応した指標として判断することができる。

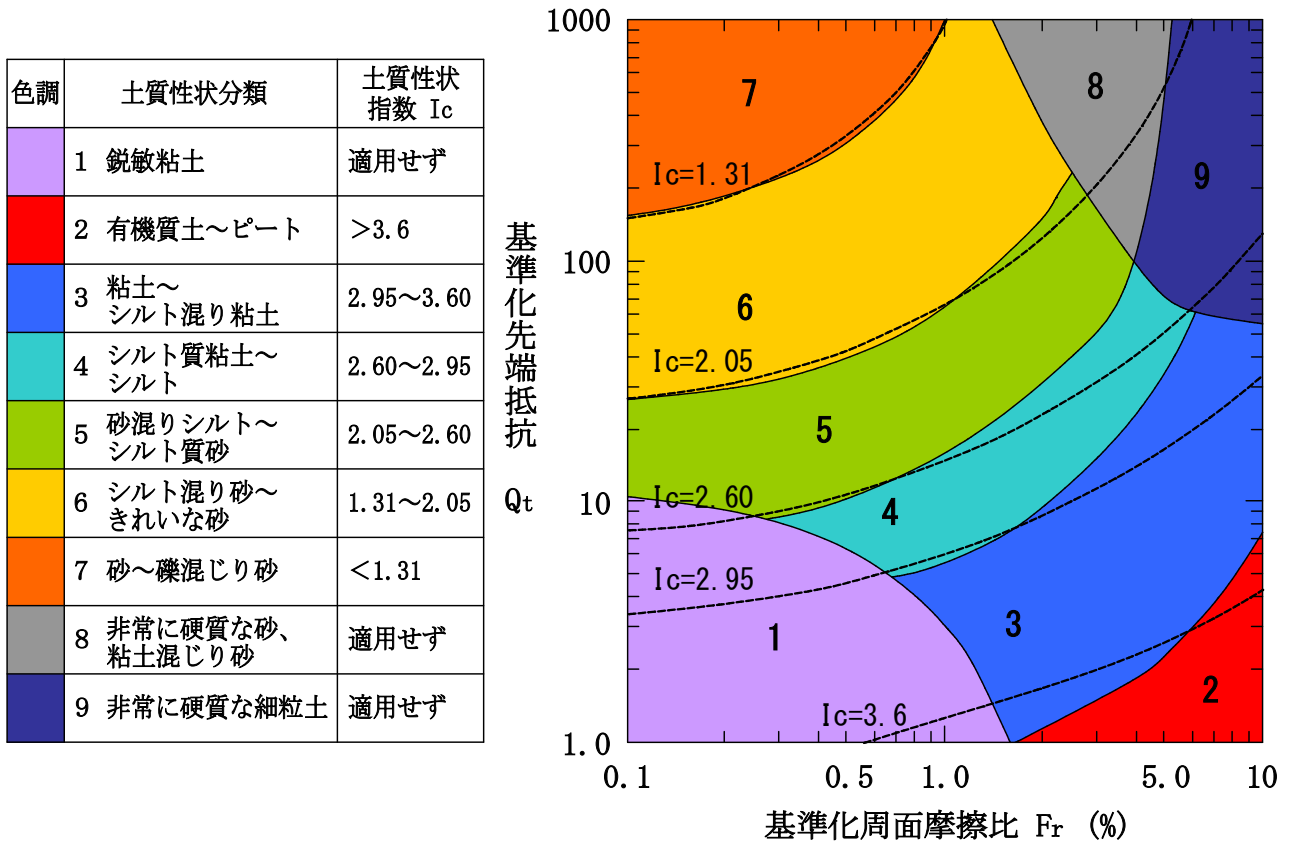


図-4.3 土質性状タイプ図と土質性状指数 I_c の関係

(2) 鈴木, 時松, 賓松 (2003) の提案式

鈴木らは、図-4.4 に示す I_c で分類した先端抵抗 q_t と N 値の関係より、換算 N 値 N_c を次式で求めた。

$$\begin{cases} N_c = 0.341 I_c^{1.94} (q_t - 0.2)^{(1.34 - 0.0927 I_c)} & (q_t > 0.2 \text{ MPa}) \\ N_c = 0 & (q_t \leq 0.2 \text{ MPa}) \end{cases} \quad \dots \text{ (式 4.4)}$$

- ここで、 N_c = 換算 N 値
 q_t = 補正先端抵抗 (MPa)
 I_c = 土質性状指数
 Q_t = 基準化先端抵抗
 F_r = 基準化周面摩擦比

(式 4.4) の $(0.341 I_c^{1.94})$ は q_t/N が土質の差によって変わる影響を表現している。また、 $(q_t - 0.2)^{(1.34 - 0.0927 I_c)}$ は土の硬さ、あるいは土の密度によって変わる影響を表現している。

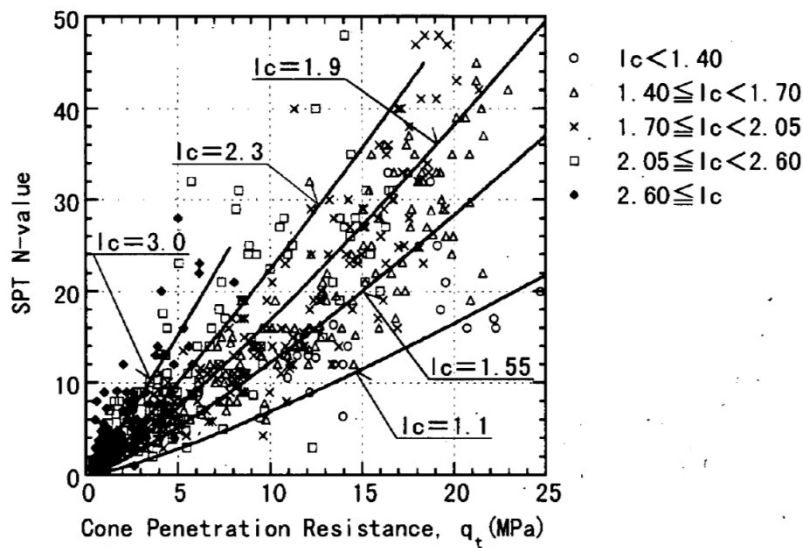


図-4.4 I_c で分類した先端抵抗と N 値の関係

4.4. 細粒分含有率

鈴木ら²⁾は、土質性状指数 I_c と細粒分含有率 FC の関係を図-4.5 に表し、細粒分含有率 FC を次式から求めた。

$$FC = I_c^{4.2} \quad \dots \text{(式 4.5)}$$

ここで、 FC = 細粒分含有率 (%)

I_c = 土質性状指数

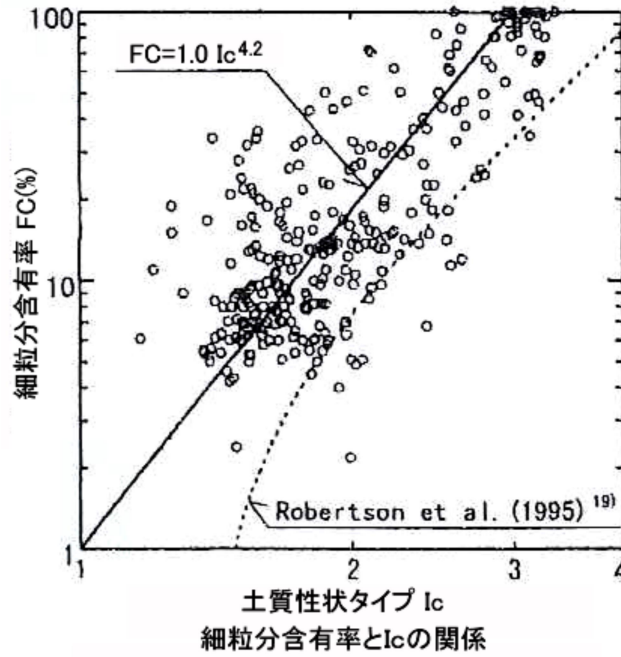


図-4.5 土質性状指数 I_c と細粒分含有率 FC の関係

4.5. 非排水せん断強さ

飽和した細粒土の非排水せん断強さの評価は、経験的な関係を用い次式で評価される。

$$C_u = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{N_{kt}} \quad \dots \text{ (式 4.6)}$$

- ここで、 C_u = 非排水せん断強さ (kPa)
 q_t = 補正先端抵抗応力度 (kPa)
 σ_{vo} = 総土被り圧 (kPa)
 N_{kt} = コーン指数

一般的に粘性土のコーン指数 N_{kt} は田中らにより図-4.6に示すように塑性指数 I_p に関わらず 8 から 16 の範囲内にある。実験調査では、一軸試験と三軸試験 (UU) を用いて、コーン指数を設定する。

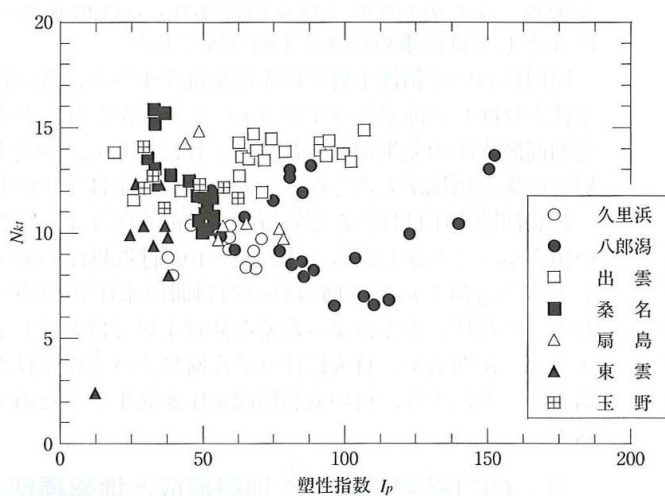


図-4.6 コーン指数 N_{kt} と塑性指数 I_p との関係

4.6. 過圧密比

(1) Mayne and Holtz (1988) の提案式

過圧密比 (OCR) は以下のように定義される。

$$OCR = \sigma'_p / \sigma'_{vo} \quad \dots \text{(式 4.7)}$$

ここで、 σ'_p = 先行圧密応力 (kPa)

σ'_{vo} = 有効土圧 (kPa)

先行圧密応力 σ'_p は、過去に受けた最大の圧密応力であることから、

- ・ 過圧密土の場合、 $OCR > 1$
- ・ 正規圧密土の場合、 $OCR = 1$ となる。

Mayne らは、基準化した過剰間隙水圧 $\Delta u / \sigma'_{vo}$ と過圧密比 OCR の関係を図-4.7 に表し、過圧密比 OCR を次式から求めた。

$$OCR = \sigma'_p / \sigma'_{vo} = 0.42(\Delta u_2 / \sigma'_{vo})^{1.35} \quad \dots \text{(式 4.8)}$$

ここで、OCR = 過圧密比

σ'_p = 先行圧密応力 (kPa)

σ'_{vo} = 有効土圧 (kPa)

Δu_2 = 過剰間隙水圧 (= $u_2 - u_0$)

u_2 = 間隙水圧 (kPa)

u_0 = 静水圧 (kPa)

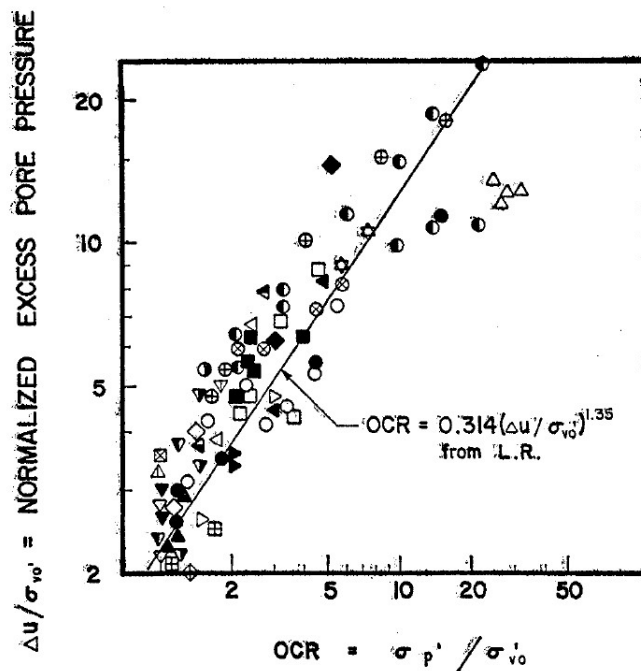


図-4.7 基準化した過剰間隙水圧 $\Delta u / \sigma'_{vo}$ と過圧密比 OCR の関係

(2) Kulhawy and Mayne (1990) の提案式

Kulhawy らは、先行圧密応力 σ'_p と純先端抵抗値 $q_t - \sigma_{v0}$ の関係を図-4.8 に表し、先行圧密応力 σ'_p を次式から求めた。

$$\sigma'_p = k(q_t - \sigma_{v0}) \quad \dots \text{(式 4.9)}$$

ここで、 q_t = 補正先端抵抗力度 (kPa)

σ_{v0} = 総土圧 (kPa)

Kulhawy らは、係数 k は 0.2~0.5 の範囲にあり、 k の平均値として $k=0.33$ であると示した。

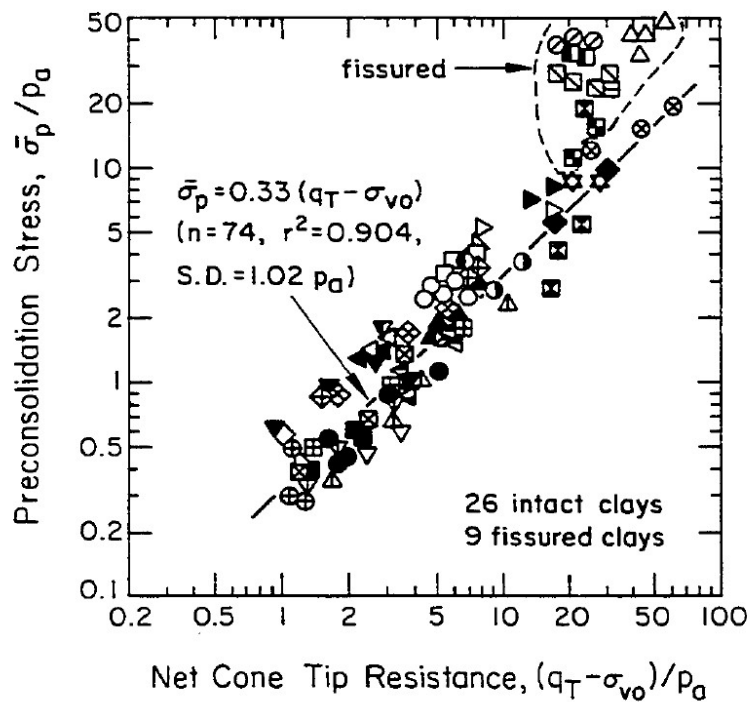


図-4.8 先行圧密応力 σ'_p と純先端抵抗値 $q_t - \sigma_{v0}$ の関係

4.7. 相対密度

地盤工学会「地盤調査の方法と解説」には、相対密度について、Lancelottaの方法が紹介されている。

$$Dr = -98 + 66 \log \frac{(q_t/98)}{\sqrt{\sigma'_{vo}/98}} \dots \text{(式 4.10)}$$

ここで、 D_r = 相対密度(%)
 q_t = 補正先端抵抗 (kPa)
 σ'_{vo} = 有効土圧 (kPa)

4.8. せん断抵抗角

地盤工学会「地盤調査の方法と解説」には、ピーク時の有効せん断抵抗角について、Lunneらの方法が紹介されている。ピーク時の有効せん断抵抗角は、室内試験における ϕ' と同等である。

$$N_q = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi'}{2} \right) \cdot e^{\left(\frac{\pi}{3} + 4\phi' \right) \tan \phi'}, \quad N_q = \frac{q_t}{\sigma'_{vo}} \dots \text{(式 4.11)}$$

ここで、 N_q = 支持力係数
 ϕ' = せん断抵抗角(deg)
 q_t = 補正先端抵抗 (kPa)
 σ'_{vo} = 有効応力 (kPa)

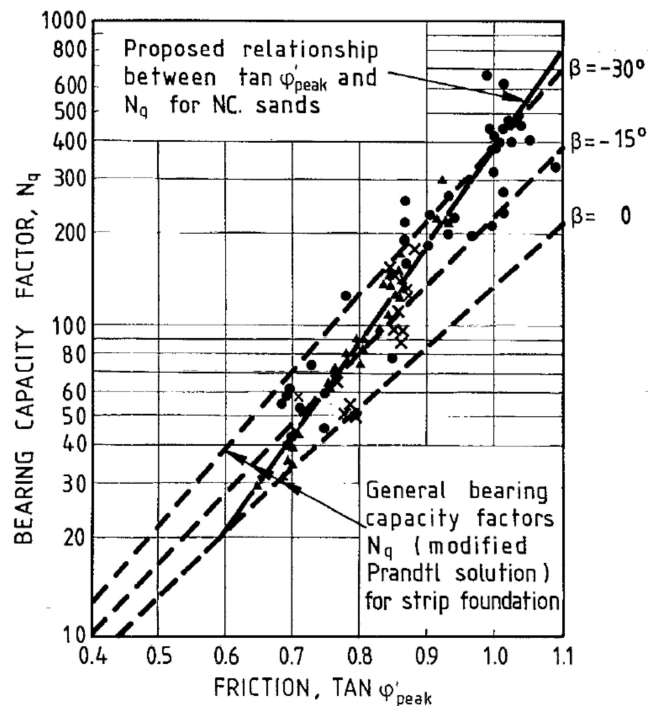


図-4.9 支持力係数 N_q とせん断抵抗角 ϕ' の関係 (Lunne)

5. 解析結果例

5.1. 補正深度と水平移動量

実験で行った斜め CPT の測定結果を表-5.1 に示す。測定深度と補正傾斜角の関係、補正深度と水平移動量の関係を図-5.1 に示す。

設定調査角度に対して、実調査角度は最大 $\pm 4^\circ$ の差が生じた。この差が生じた主な原因は、表層部埋土の礫に当たった時に角度差が生じたためである。**実験調査に際には、表層部埋土の礫の有無を確認し、角度差が生じないように先行掘りまたはケーシング設置等により対策して斜め調査を実施する。**

表-5.1 調査結果

		90° 調査	75° 調査	60° 調査	45° 調査
調査深度 (m)		17.00	18.00	20.00	24.32
補正深度 (m)		16.97	17.54	17.05	16.32
水平移動量 (m)		1.03	4.03	10.45	18.03
傾斜角 (deg)	最大値	4.8	15.2	34.1	48.8
	最小値	0.7	10.7	30.3	45.0
	平均値	3.5	12.9	31.5	47.8

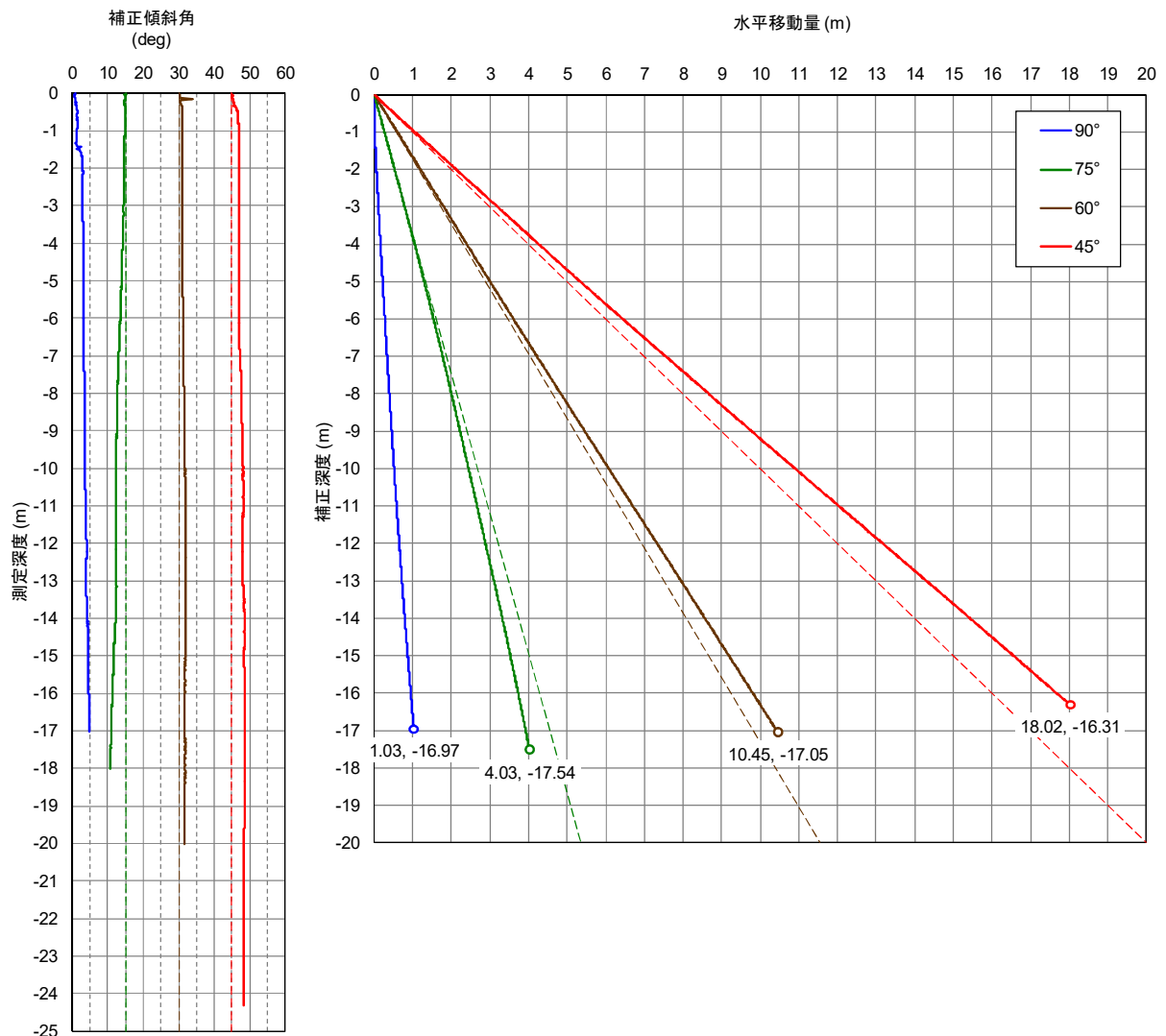


図-5.1 補正深度と水平移動量

5.2. 測定データ

測定データと補正深度の関係を図-5.2 に示す。また、 90° 調査を縦軸にした 75° , 60° , 45° の測定データを図-5.3～図-5.5 に示す。

調査地は河川敷となっており、粘性土と砂質土が交互に分布する。

対比図では、調査角度が低くなるとバラツキが大きくなる傾向であった。ただし、 45° の場合、 90° の調査地点から水平移動量も大きくなることから、異層が原因であることも考えられる。**実験調査では、鉛直方向の CPT 調査を必要に応じて追加し、調査範囲の土層の違いを把握する。**

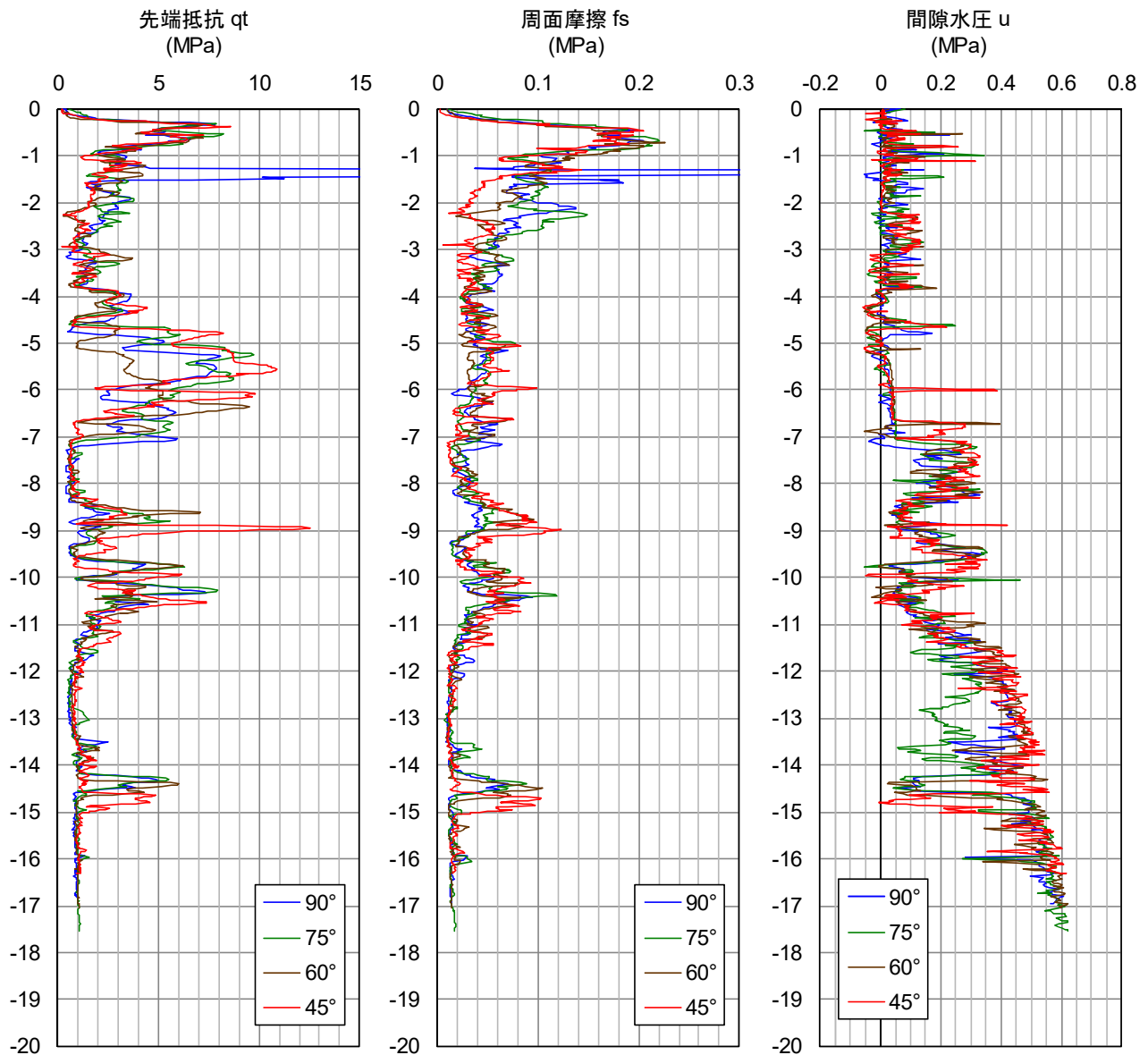


図-5.2 測定データ～補正深度分布

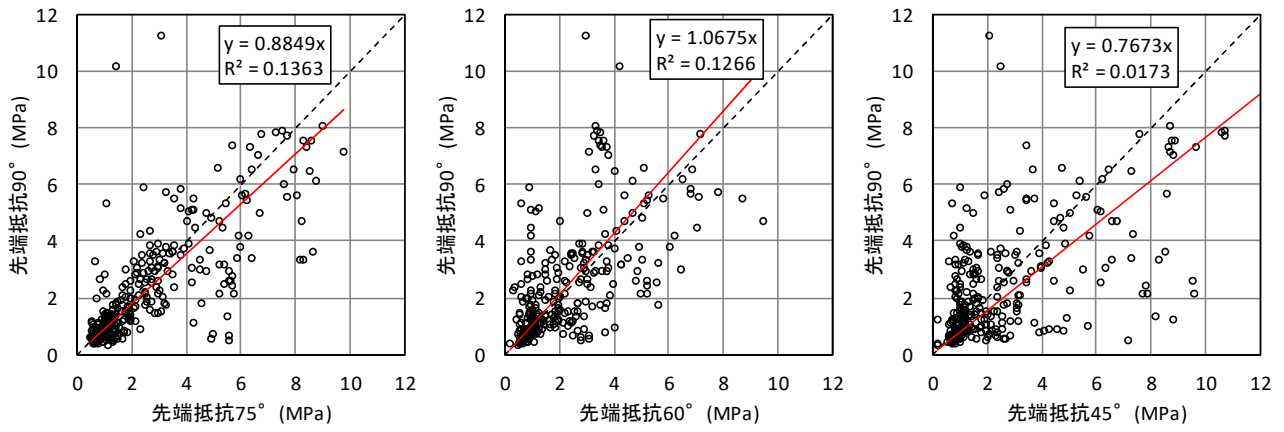


図-5.3 先端抵抗の対比

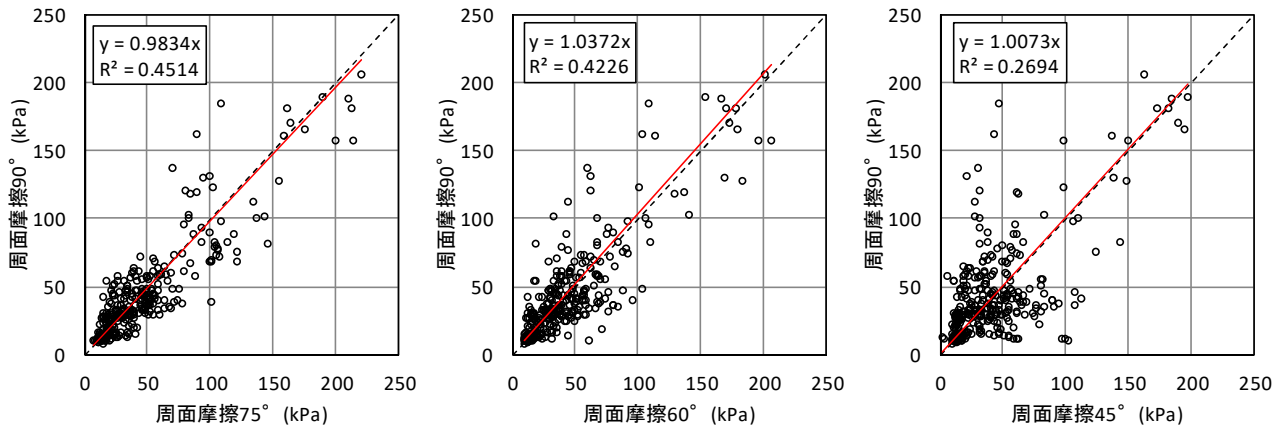


図-5.4 周面の摩擦対比

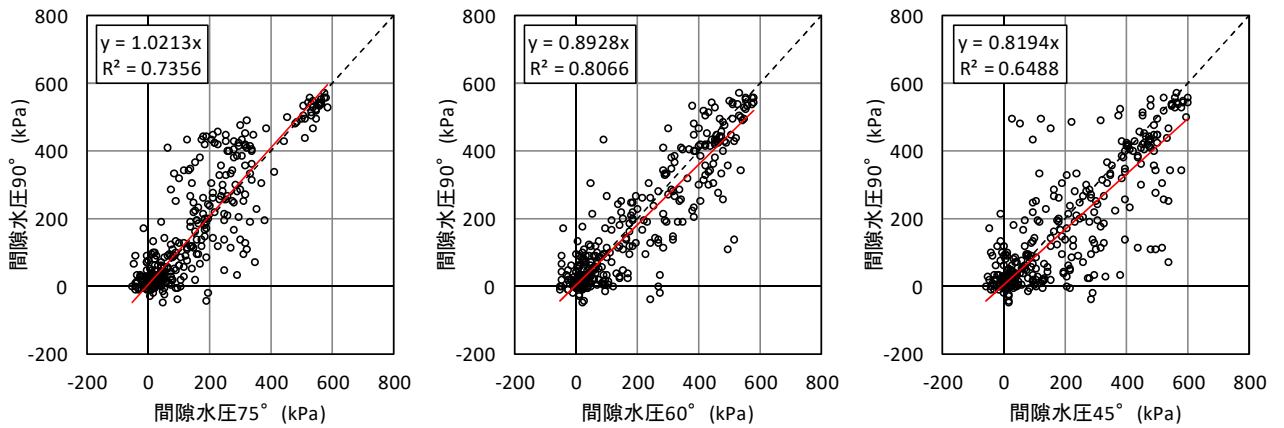


図-5.5 間隙水圧の対比

5.3. 土質分類

CPT 結果から得られた土質分類の結果を図-5.6～図-5.7 に示す。

実験調査では、鉛直方向の CPT 調査を必要に応じて追加し、調査範囲の土層の違いを把握する。

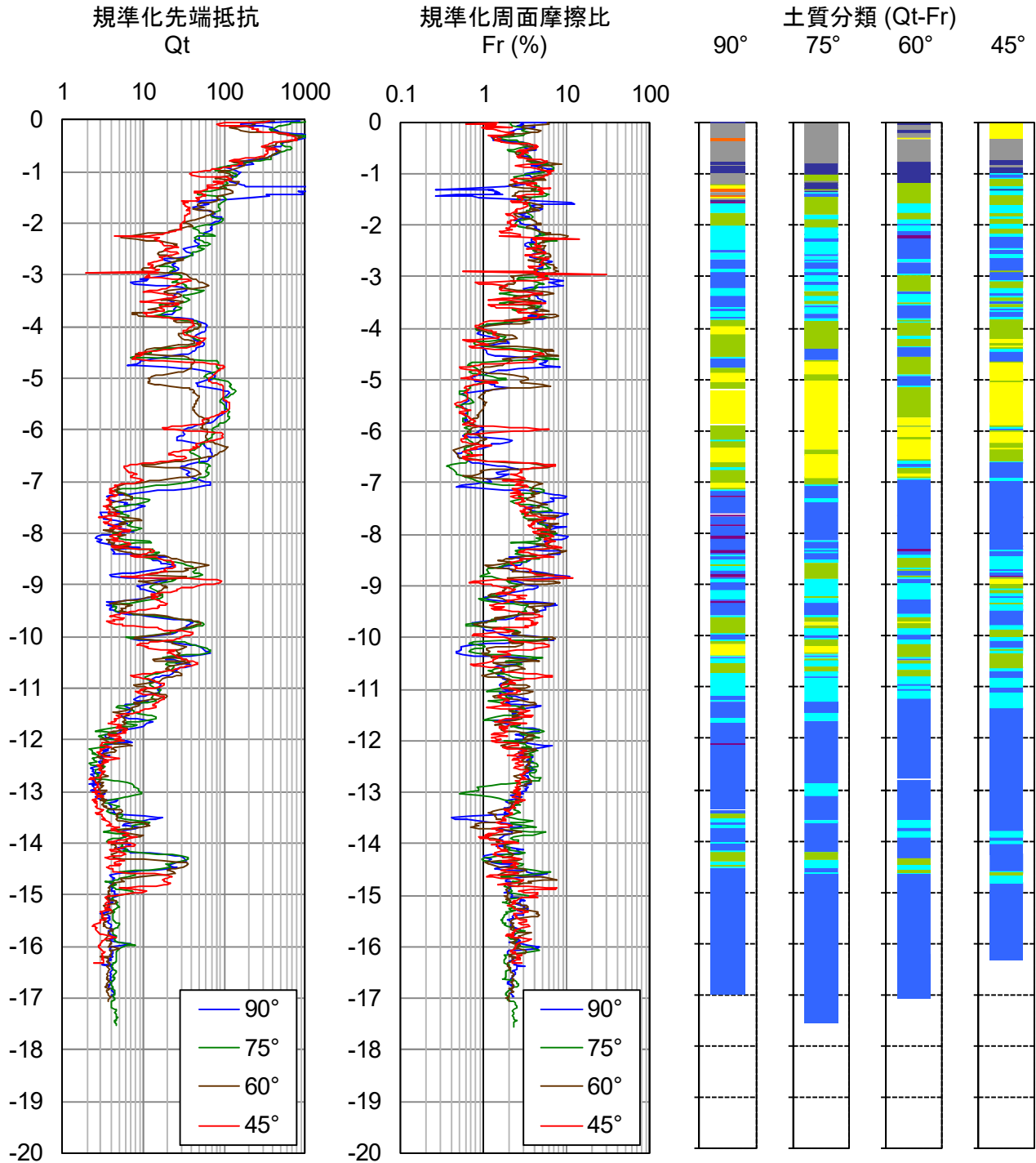


図-5.6 土質分類の対比 (Qt-Fr)

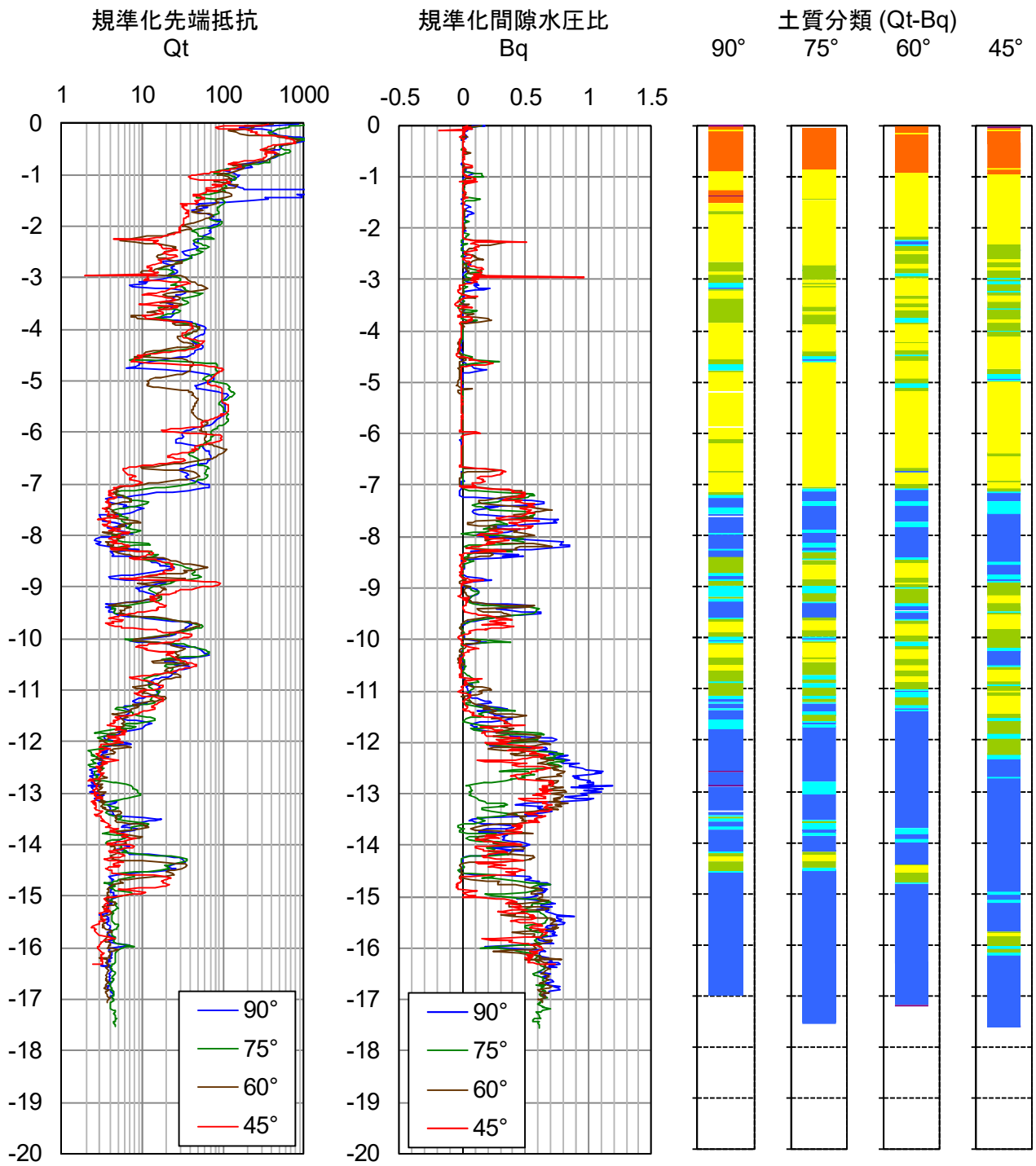


図-5.7 土質分類の対比 (Qt-Bq)

5.4. 土質定数

CPT の解析結果を以下に示す。実験調査では、対比データの取捨選択を行い、また、SPT や室内試験の結果と対比を行う。**実験調査では、取捨選択の定義とデータ平均化を考慮する。**

(1) N 値

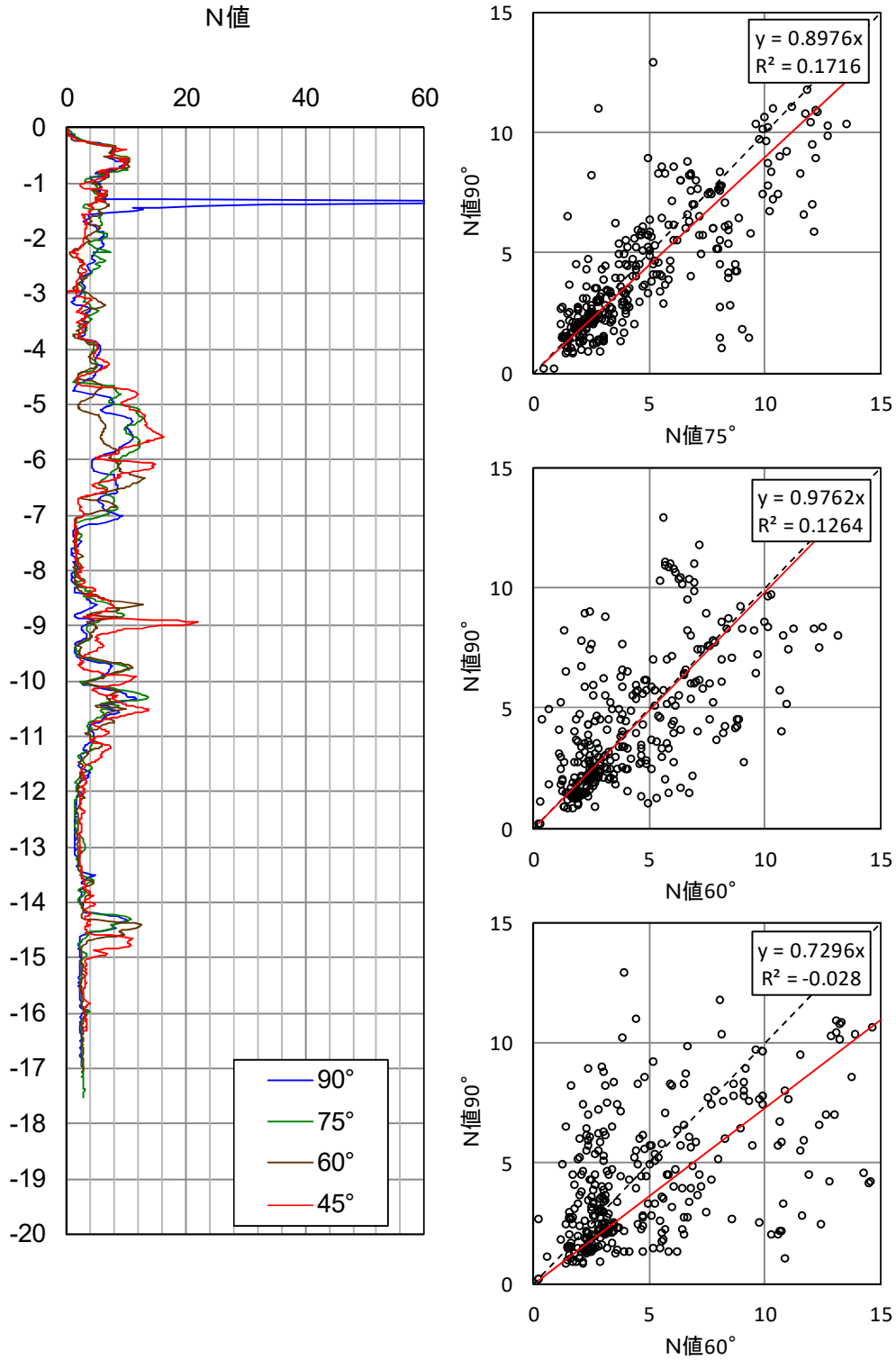
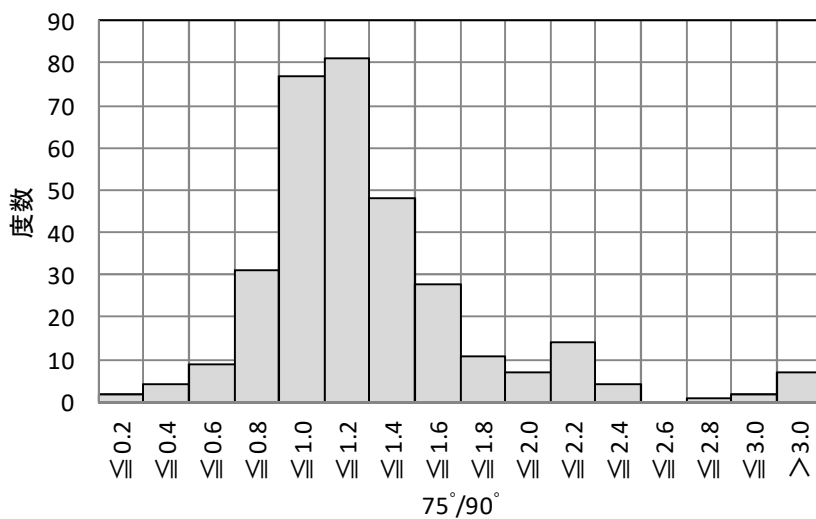
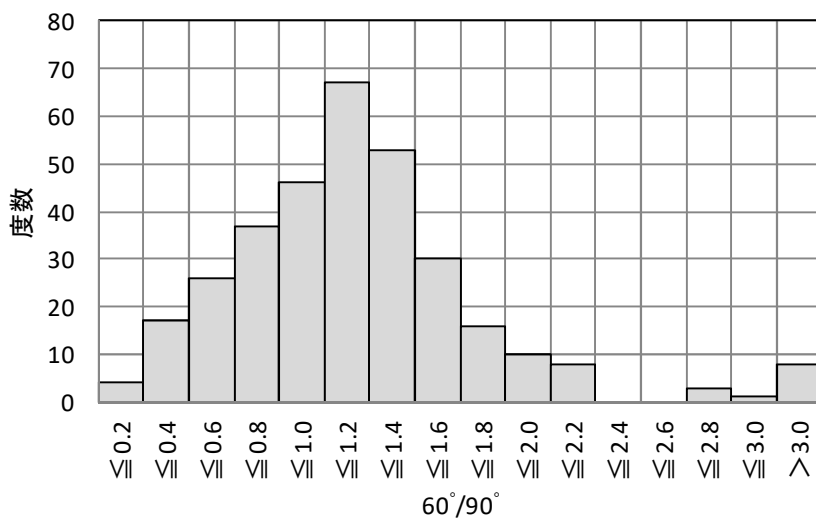


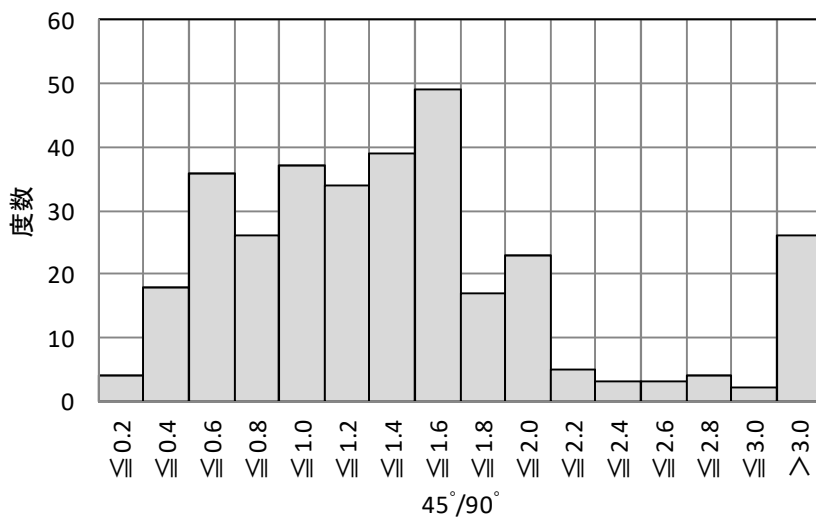
図-5.8 N 値の対比



75°/90° 集計	
データ数	326
平均値	1.24
標準偏差	0.74
変動係数	0.59



60°/90° 集計	
データ数	326
平均値	1.16
標準偏差	0.64
変動係数	0.55



45°/90° 集計	
データ数	326
平均値	1.41
標準偏差	1.07
変動係数	0.76

図-5.9 N値の集計結果

(2) 細粒分含有率

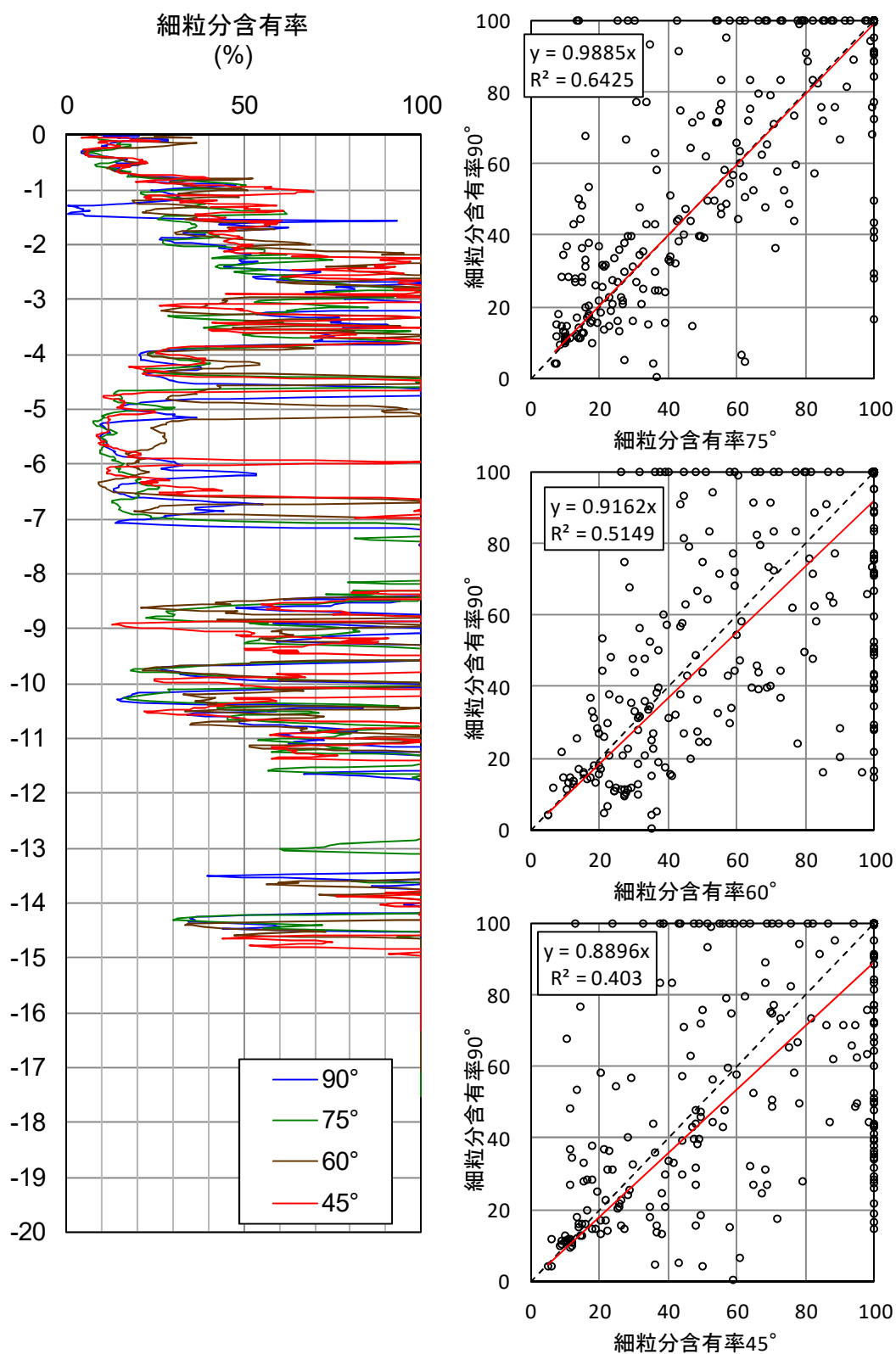


図-5.10 細粒分含有率の対比

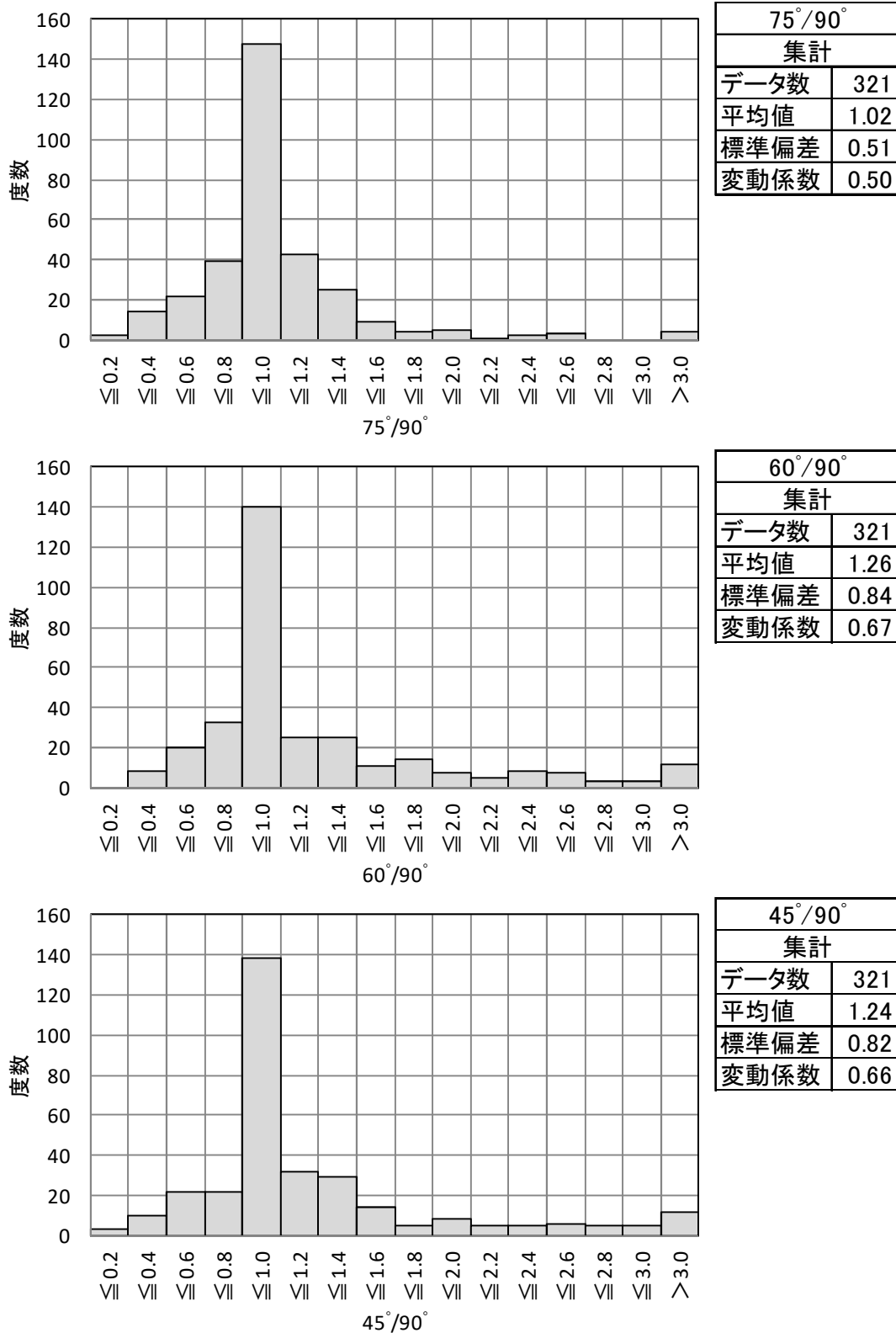


図-5.11 細粒分含有率の集計結果

(3) 非排水せん断強さ

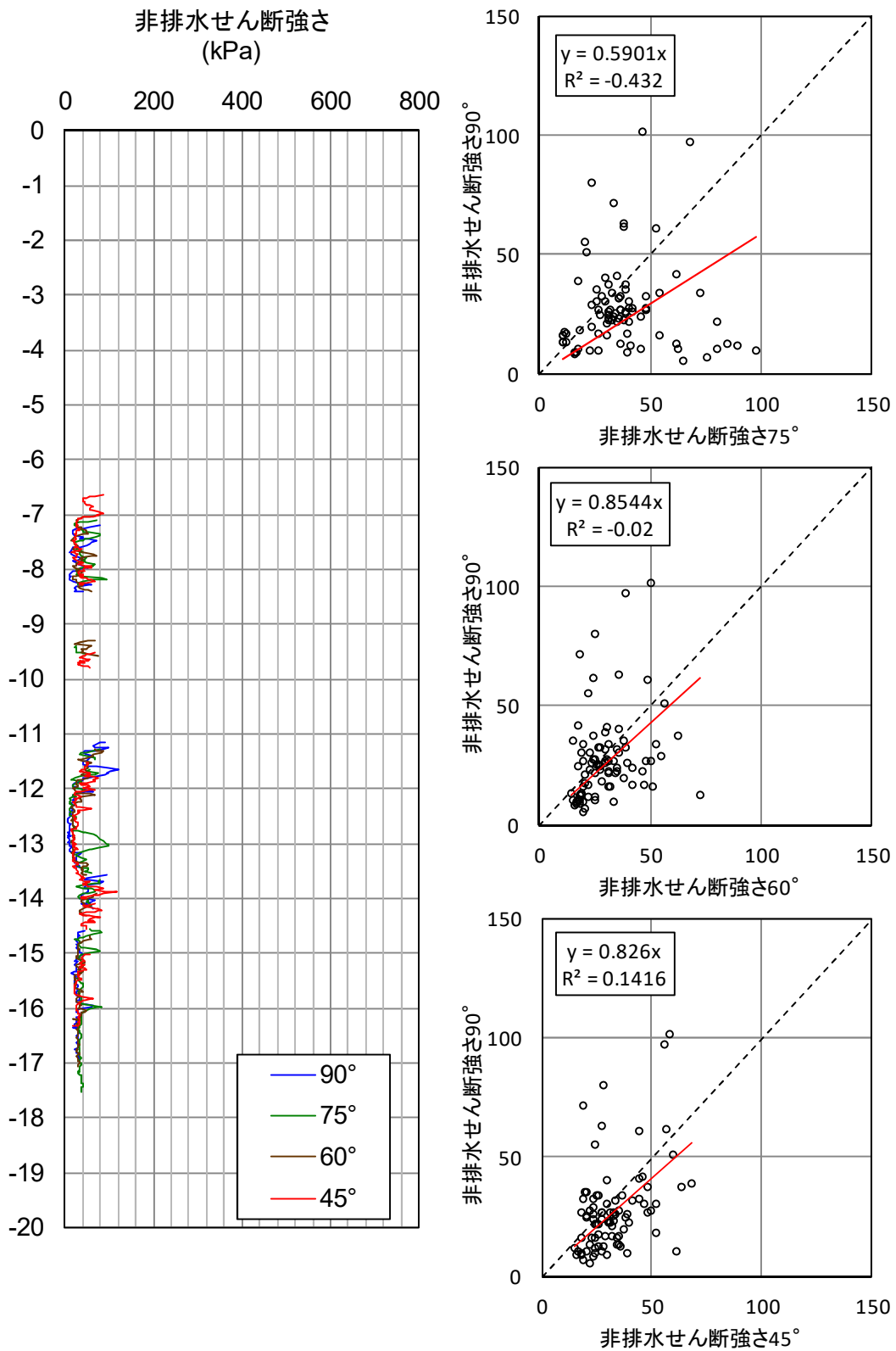


図-5.12 非排水せん断強さの対比

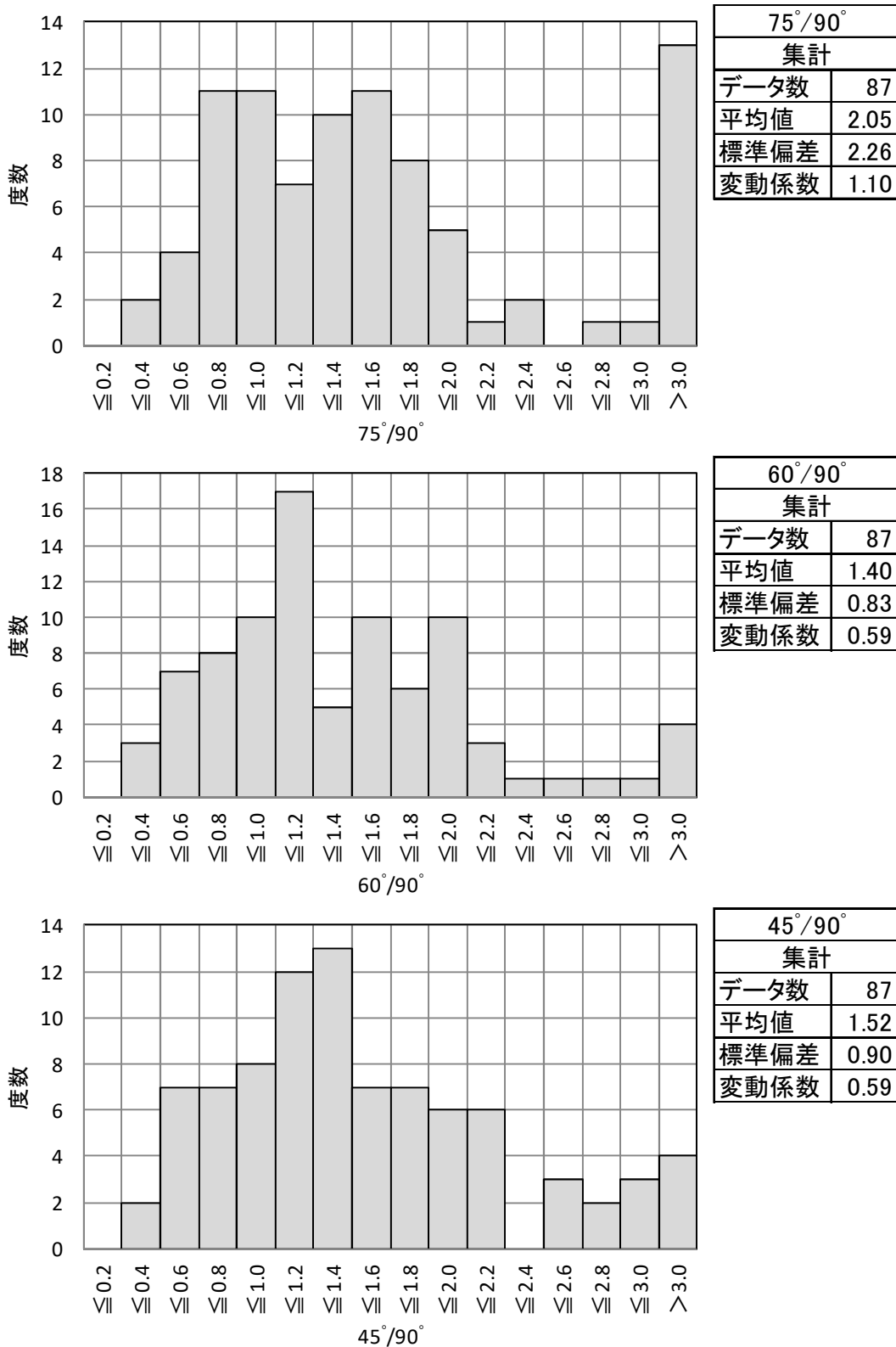


図-5.13 非排水せん断強さの集計結果

(4) 先行圧密応力

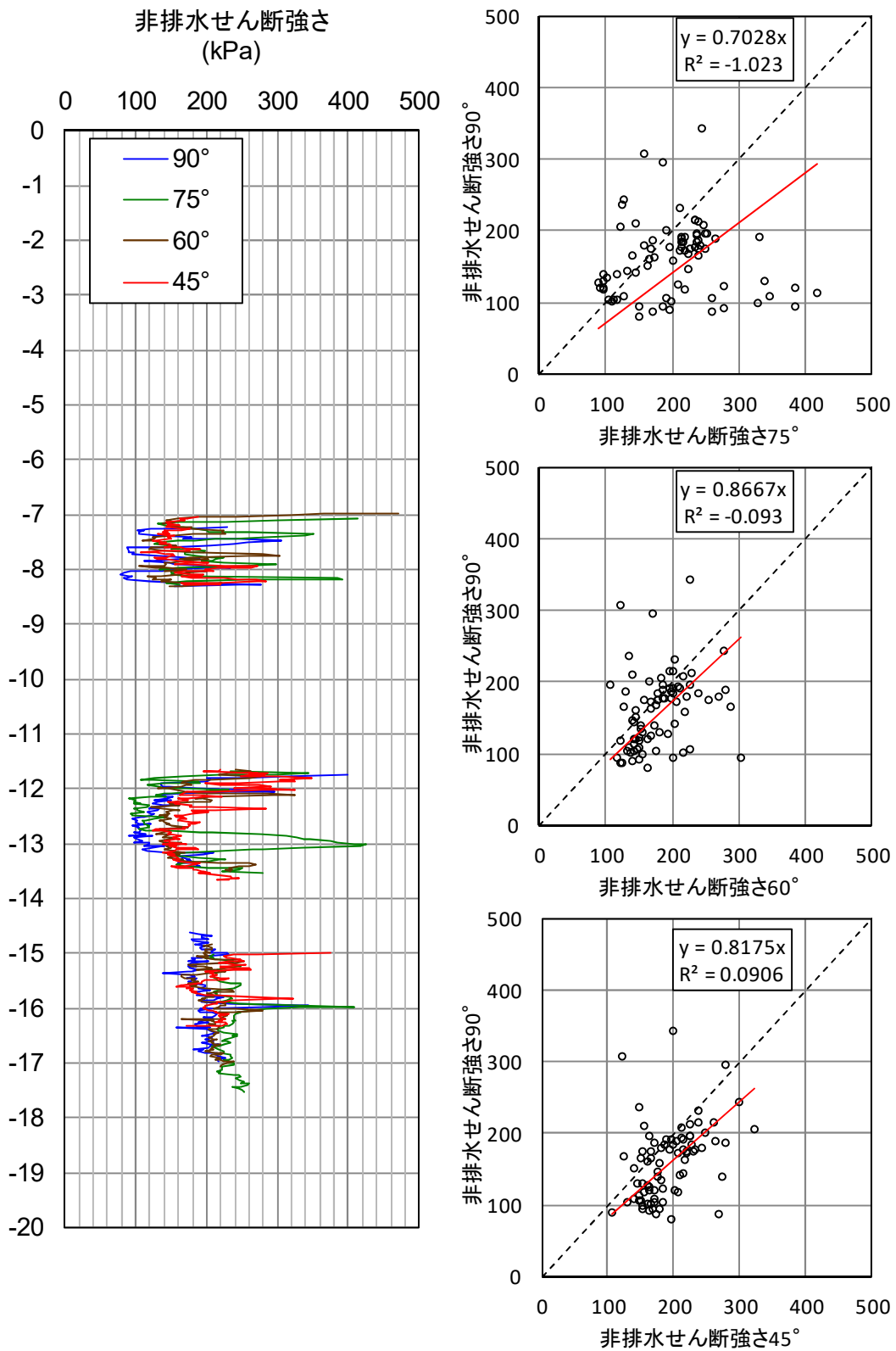


図-5.14 先行圧密応力の対比

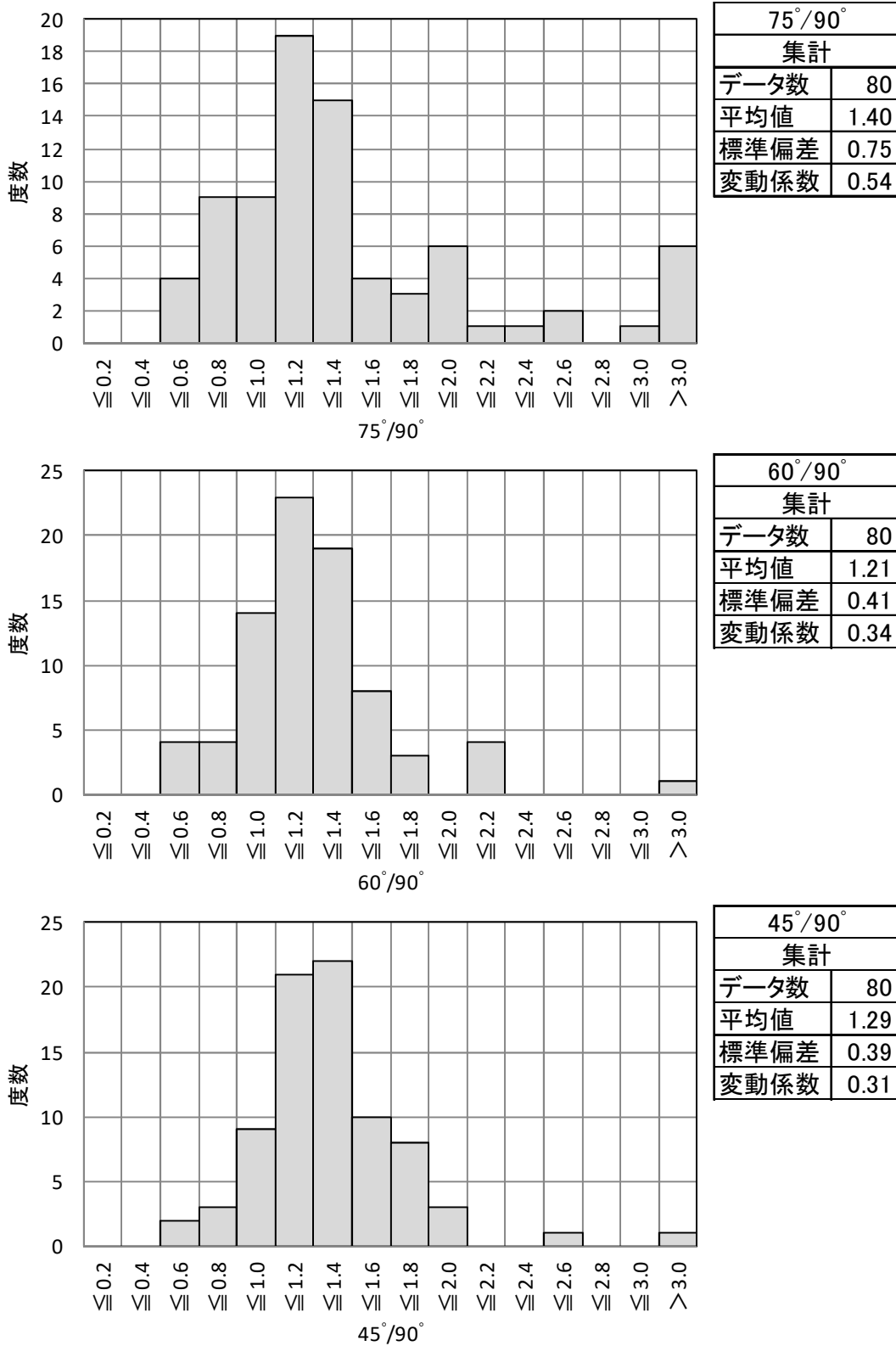


図-5.15 先行圧密応力の集計結果

(5) 相対密度

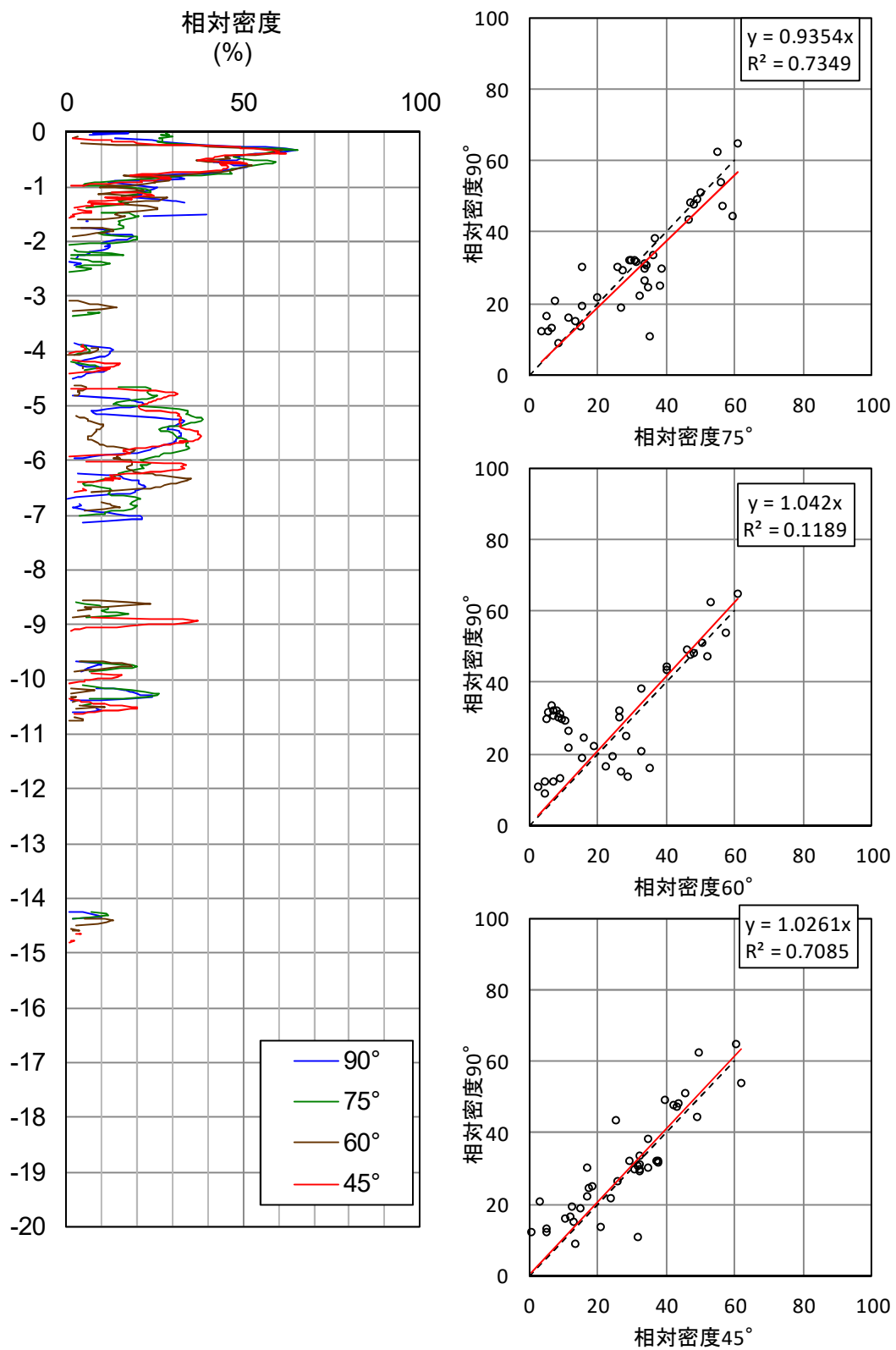


図-5.16 相対密度の対比

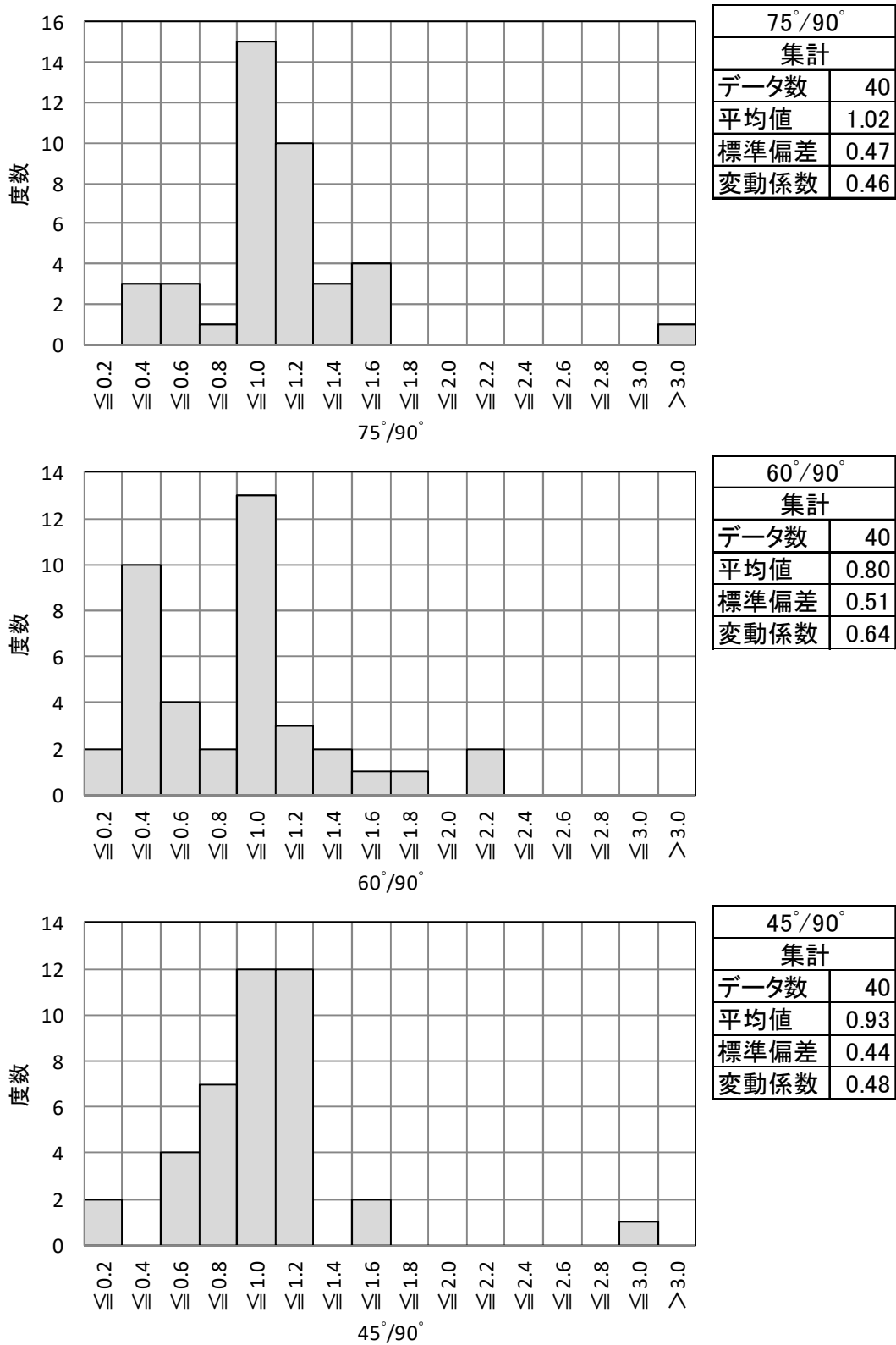


図-5.17 相対密度の集計結果

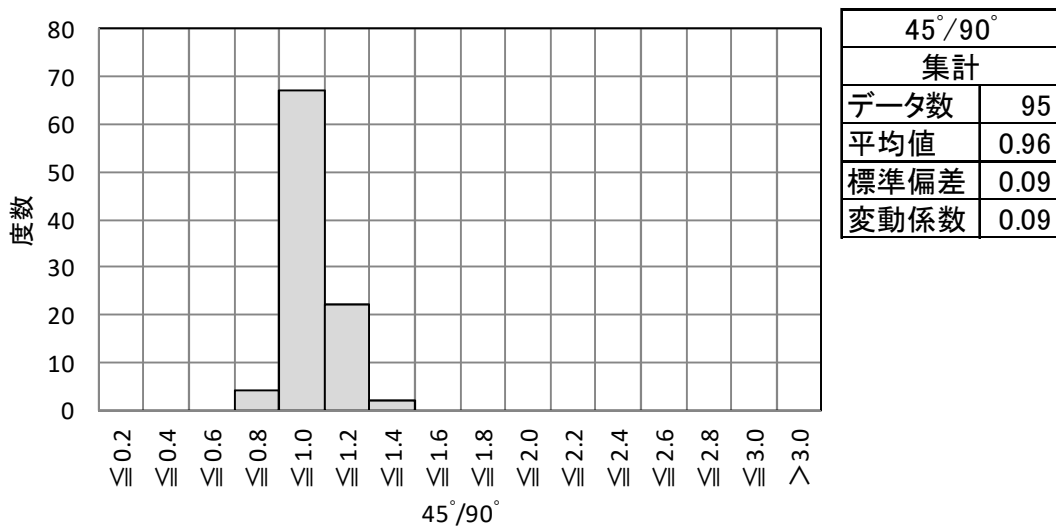
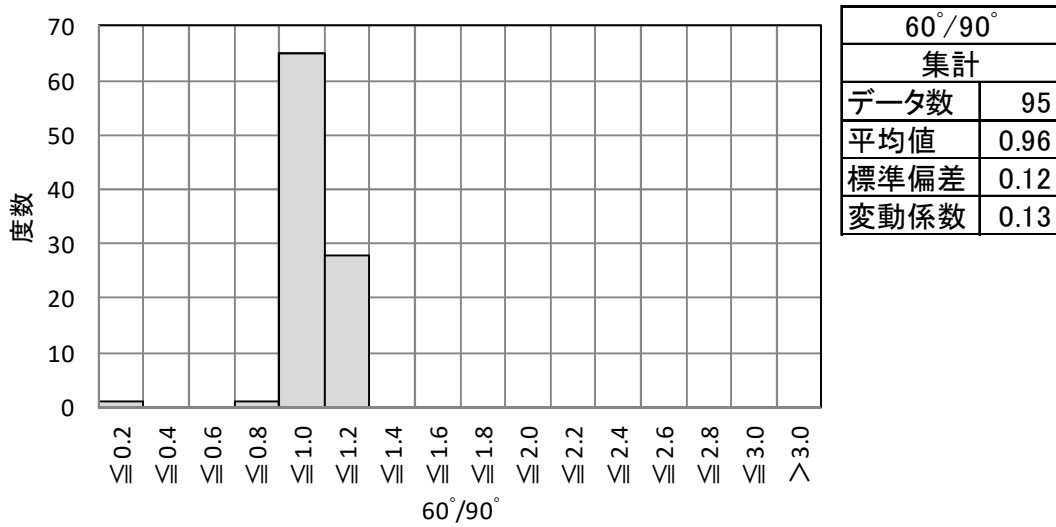
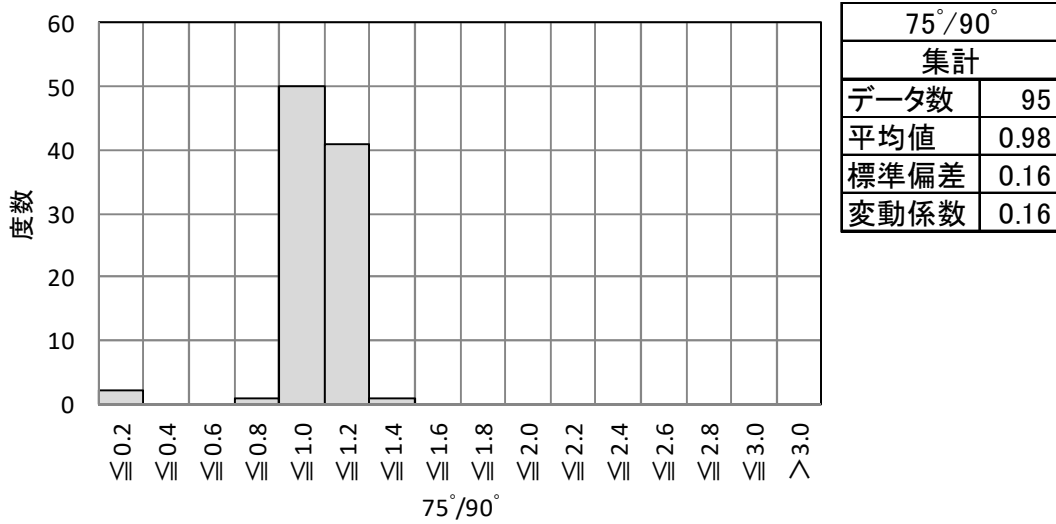


図-5.19 せん断抵抗角の集計結果

以上

電気式コーン貫入試験による斜め方向地盤調査 予算（案）

2017/5/17

【収入】

科目	金額	摘要
拠出金	¥2,000,000	コア会員 10 社, 賛助会員 10 社
合計	¥2,000,000	

【支出】

科目	金額	摘要
1.事務費	¥10,000	
2.会議費	¥ 40,000	
3.現場実験費	¥ 1,500,000	
a.CPT,RI 試験	¥ 800,000	
b.室内試験(SPT)	¥ 200,000	
c.室内試験(採取試料)	¥ 500,000	
4.学識者委員会	¥300,000	
5.普及活動費	¥150,000	
a.カタログ等作成費	¥50,000	カタログ・リーフレット等の印刷
b.報告書作成費	¥50,000	配布用（電子媒体）
c.活動助成費	¥50,000	他団体への参加費（論文発表）等
合計	¥2,000,000	

【現場実験予算案】

名称・規格		数量	単位	単価	計	
人件費	CPT,RI調査	技師	4	人	41,000	164,000
		オペレーター	4	人	36,800	147,200
	SPT調査	オペレーター	4	人	36,800	147,200
		助手	4	人	20,900	83,600
機材損料	貫入機	Geoprobe 66DT	8	台・日	38,500	308,000
	CPT測定システム	Vertek	4	台・日	24,000	96,000
	RI測定システム		4	台・日	67,000	268,000
	ロッド,ケーシング		8	式・日	3,000	24,000
	スクリューアンカー		4	式・日	5,800	23,200
	発電機		4	台・日	900	3,600
	泥水ポンプ		4	台・日	2,300	9,200
材料及び 消耗品費	試験消耗品費	フィルタ・オイル等	5	地点	1,800	9,000
	油脂燃料費	軽油・ガソリン	8	日	3,200	25,600
準備費			1	業務	80,000	80,000
運搬費	車両費	4tユニック	8	台	12,000	96,000
	車両費	ワゴン車	8	台	8,000	64,000
計					1,548,600	
税込計					1,672,500	
予算					800,000	
名称・規格		数量	単位	単価	計	
SPT試料	土粒子の密度試験		36	試験	2,600	93,600
	含水比試験		36	試験	700	25,200
	粒度試験(ふるい)		13	試験	3,300	42,900
	粒度試験(沈降+ふるい)		23	試験	4,700	108,100
	液性限界試験		23	試験	3,500	80,500
	塑性限界試験		23	試験	1,700	39,100
	写真代		1	式	4,500	4,500
計					393,900	
税込計					425,400	
予算					200,000	
名称・規格		数量	単位	単価	計	
採取試料	土粒子の密度試験		10	試験	2,600	26,000
	含水比試験		10	試験	700	7,000
	粒度試験(ふるい)		4	試験	3,300	13,200
	粒度試験(沈降+ふるい)		6	試験	4,700	28,200
	液性限界試験		6	試験	3,500	21,000
	塑性限界試験		6	試験	1,700	10,200
	土の湿潤密度試験		10	試験	1,200	12,000
	一軸圧縮試験		6	試験	3,000	18,000
	三軸圧縮試験UU		6	試験	10,000	60,000
	三軸圧縮試験CD 砂		4	試験	30,000	120,000
	三軸圧縮試験CUBar		6	試験	93,000	558,000
	圧密試験		6	試験	20,000	120,000
	試料引出し		10	本	1,000	10,000
	写真代		1	式	4,500	4,500
計					872,500	
税込計					942,300	
予算					500,000	
税込み合計					3,040,200	
補正率					49%	
合計予算					1,500,000	

※室内試験費は関東土質試験協同組合の単価を参照