

## 電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入に関する研究 (その 10 : 力学試験から求めたコーン係数について)

電気式コーン貫入試験 斜め下方貫入 コーン係数

中央開発(株)	正 会 員	○栗原 朋之
同上	正 会 員	西原 聡
(株)地盤試験所	正 会 員	北條 豊
中央大学	国際会員	齋藤 邦夫

### 1. 概要

著者らは、電気式コーン貫入試験（以降、CPTU と記す）の道路・鉄道の盛土や既設構造物直下の調査等の新たな調査法を見出すことを目的とし、CPTU の鉛直（90°）および斜め下方（75°、60°、45°）貫入の適用範囲や有用性について検証している。（その 8）<sup>1)</sup>の報告により、90°、75°、60°のコーン係数（ $N_{kt}$ ）は概ね同様に解釈できるが、45°の CPTU 結果から非排水せん断強さを設定するためには、土被り圧の評価等を含め今後へ課題を残す結果となった。

これらの課題を解決するために、本稿（その 10）では非排水せん断強さを求める際に必要となる鉛直の  $N_{kt}$  に着目し、実験調査で確認した粘性土層を対象に実施した一軸圧縮試験（以降、一軸と記す）、三軸圧縮試験(UU)（以降、三軸と記す）、および再圧縮法による一面せん断試験（以降、一面と記す）から得られた非排水せん断強さ（以降、一軸は  $q_u/2$ 、三軸は  $C_u$ 、一面は  $S_u$  と記す）と鉛直 CPTU の結果より  $N_{kt}$  を求め、力学試験毎の特性について検討した結果を報告する。

### 2. 実験地盤の概要

実験地の地盤状況及び土質試験内容を表-1 に示す。本研究では、表層盛土、砂質土を除く GL-6.5~20.0m 間の粘土質シルト（MC 層）、粘土混じりシルト（M-C 層）、砂質シルト（MS 層）を対象層とした。粘性土層の性状としては、塑性指数  $I_p$  が深度方向に小さくなる（砂分が多くなる）傾向を示す。また、GL-14.5m 以深では、細粒分含有率  $F_c$  が小さくなり、中間土の様相を呈する。

### 3. 各力学試験から求めたコーン係数の比較

鉛直 CPTU から求める非排水せん断強さは、式 1<sup>2)</sup>により求める。

$$C_u = (q_t - \sigma_v) / N_{kt} \quad (\text{式 1})$$

ここに、 $q_t$  : 補正先端抵抗 (kPa) ,  $\sigma_v$  : 全応力 (kPa) ,  $N_{kt}$  : コーン係数

田中ら<sup>3)</sup>により  $N_{kt}$  と塑性指数  $I_p$  の関係が示されており、日本の沖積粘性土の  $N_{kt}$  は  $I_p$  によらず 8~16 の値を示す。

各力学試験の非排水せん断強さから次式によりコーン係数を求めた。

$$N_{kt(q_u/2)} = (q_t - \sigma_v) / (q_u/2) \quad (\text{一軸圧縮試験}) \quad (\text{式 2})$$

$$N_{kt(C_u)} = (q_t - \sigma_v) / C_u \quad (\text{三軸圧縮試験}) \quad (\text{式 3})$$

$$N_{kt(S_u)} = (q_t - \sigma_v) / S_u \quad (\text{一面せん断試験}) \quad (\text{式 4})$$

各力学試験結果から求めたコーン係数を表-1、コーン係数比を表-2 に示し、実コーン先端抵抗と力学試験毎の非排水せん断強さの関係を図-1、力学試験毎のコーン係数と細粒分含有率の関係を図-2、力学試験毎のコーン係数と塑性指数の関係を図-3 に示す。一面せん断試験は有効土被り圧 ( $\sigma'_v$ ) の再圧縮により応力開放の影響を解消し、信頼性の高い非排水せん断強さが得られることから、表-2 のコーン係数比は一面を基準値として扱った。

粘土質シルト層（MC 層）は細粒分含有率  $F_c=95\%$ 、塑性指数  $I_p=66$  の粘性土である。MC 層のコーン係数は一軸で  $N_{kt(q_u/2)}=11.0$ 、三軸で  $N_{kt(C_u)}=10.8$ 、一面で  $N_{kt(S_u)}=13.6$  となり、田中らが提言する  $N_{kt}=8\sim 16$  の間に分布した。 $N_{kt(S_u)}$  と比較すると  $N_{kt(q_u/2)}$  は 0.81 倍 ( $q_u/2$  は  $S_u$  の 1.23 倍)、 $N_{kt(C_u)}$  は 0.81 倍 ( $C_u$  は  $S_u$  の 1.23 倍) となった。

粘土混りシルト層（M-C 層）は  $F_c=76\%$ 、 $I_p=26$  であり、比較的中間土の性状を示す粘性土である。M-C 層のコーン係数は、 $N_{kt(q_u/2)}=11.3$ 、 $N_{kt(C_u)}=11.0$ 、 $N_{kt(S_u)}=8.5$  となり、 $N_{kt}=8\sim 16$  の間に分布した。M-C 層の  $N_{kt(q_u/2)}$  と  $N_{kt(C_u)}$  は、MC 層と同程度の値となったが、 $N_{kt(S_u)}$  と比較すると  $N_{kt(q_u/2)}$  は 1.14 倍 ( $q_u/2$  は  $S_u$  の 0.88 倍)、 $N_{kt(C_u)}$  は 1.11 倍 ( $C_u$  は  $S_u$  の 0.9 倍) となった。

砂質シルト層（MS 層）は  $F_c=68\%$ 、 $I_p=18$  であり、中間土の性状を示す粘性土である。MS 層のコーン係数は、 $N_{kt(q_u/2)}=16.6$ 、 $N_{kt(C_u)}=10.8$ 、 $N_{kt(S_u)}=8.3$  となり、 $N_{kt(C_u)}$  と  $N_{kt(S_u)}$  は  $N_{kt}=8\sim 16$  の間に分布した。 $N_{kt(S_u)}$  と比較すると、 $N_{kt(q_u/2)}$  は  $N_{kt(S_u)}$  の 1.71 倍 ( $q_u/2$  は  $S_u$  の 0.59 倍)、 $N_{kt(C_u)}$  は 1.11 倍 ( $C_u$  は  $S_u$  の 0.9 倍) となり、 $N_{kt(q_u/2)}$  は大きな値となった。この原因として、MS 層の砂分増加に伴い、一軸圧縮試験はサンプリング後の応力解放および試験時に部分的排水条件となる影響で、地盤強度を過小に評価しているものと推測される。

以上の結果より、一軸圧縮試験から求めたコーン係数は、砂質シルトを除く粘土質シルト～粘土混じりシルトで  $N_{kt}(q_{u/2})=11.0\sim 11.3$  に分布し、ばらつきの少ない結果となった。三軸試験から求めたコーン係数は、粘土質シルト～砂質シルトで  $N_{kt}(C_u)=10.8\sim 11.0$  に分布し、ばらつきの少ない結果となった。一面せん断試験から求めたコーン係数は、粘土質シルト～砂質シルトで  $N_{kt}(S_u)=9.7\sim 13.6$  に分布し、若干ばらつきのある結果となった。

図-2、図-3 より、コーン係数は  $F_c$  と  $I_p$  に明瞭な相関は得られなかった。

表-1 各力学試験から求めたコーン係数 (栗原ら<sup>1)</sup>に加筆・修正)

土質 (記号)	深度 GL- m	$F_c$ (%)	$I_p$	力学試験			鉛直 CPTU データ			コーン係数									
				一軸	三軸	一面	$q_t$	$\sigma_v$	$q_t-\sigma_v$	一軸	三軸	一面							
				$q_u/2$	$C_u$	$S_u$	(kPa)	(kPa)	(kPa)	$N_{kt}(q_{u/2})$	$N_{kt}(C_u)$	$N_{kt}(S_u)$							
粘土質 シルト (MC)	7.5	96.5	32.6		34.1		493	117	376		11.0	11.0	10.8	14.1	13.6				
	8.5	98.2	73.2	36.2		27.6	520	132	388	10.7									
	9.5	91.2	83.3		37.1		535	146	389							10.5			
	10.5	94.3	75.3	37.9		32.6	587	160	426	11.3								13.1	
粘土混り シルト (M-C)	11.5	82.4	33.8		36.0		568	176	392		11.3	11.3	11.0	10.9	10.0				
	12.5	77.1	27.2	40.6		42.9	661	192	469	11.6									
	13.5	84.1	23.6		34.7		595	208	387							11.1			
	14.5	58.9	19.1	45.4		56.1	729	225	504	11.1									9.0
砂質 シルト (MS)	15.5	57.8	11.5		48.1		1028	242	787		16.6	16.6	10.8	16.4	9.7				
	16.5	61.9	20.1	41.5		68.5	935	258	676	16.3									
	17.5	64.9	19.2		53.0		879	274	604										9.9
	18.5	72.4	17.7	34.6		61.1	878	291	588	17.0									9.6
	19.5	81.5	21.3		58.0		895	307	589										10.2

※三軸は、 $\phi=0$  法として圧縮強さの 1/2 から平均値を求めて設定。

※一面は、圧密応力=有効土被り圧  $\sigma'_v$  とした非排水せん断強さを設定し、設計用非排水せん断強さとして 0.85 を乗じた。

※灰色に塗り潰したデータは、砂層の性状 ( $I_p < 15$ ) を示すため、特異値として平均値算定より除外した。

表-2 各土層のコーン係数とコーン係数比

土質 (記号)	$F_c$ (%)	$I_p$	力学試験			コーン係数			コーン係数比(一面との比)	
			一軸	三軸	一面	一軸	三軸	一面	$\frac{N_{kt}(q_{u/2})}{N_{kt}(S_u)}$	$\frac{N_{kt}(C_u)}{N_{kt}(S_u)}$
			$q_u/2$	$C_u$	$S_u$	$N_{kt}(q_{u/2})$	$N_{kt}(C_u)$	$N_{kt}(S_u)$		
MC	95	66	37.0	35.6	30.1	11.0	10.8	13.6	0.81 (1.23)	0.81 (1.23)
M-C	76	26	43.0	35.3	49.5	11.3	11.0	10.0	1.14 (0.88)	1.11 (0.90)
MS	68	18	38.0	53.0	64.8	16.6	10.8	9.7	1.71 (0.59)	1.11 (0.90)

※カッコ内はコーン係数比の逆数で、コーン係数から求めた非排水せん断強さの一面との比。

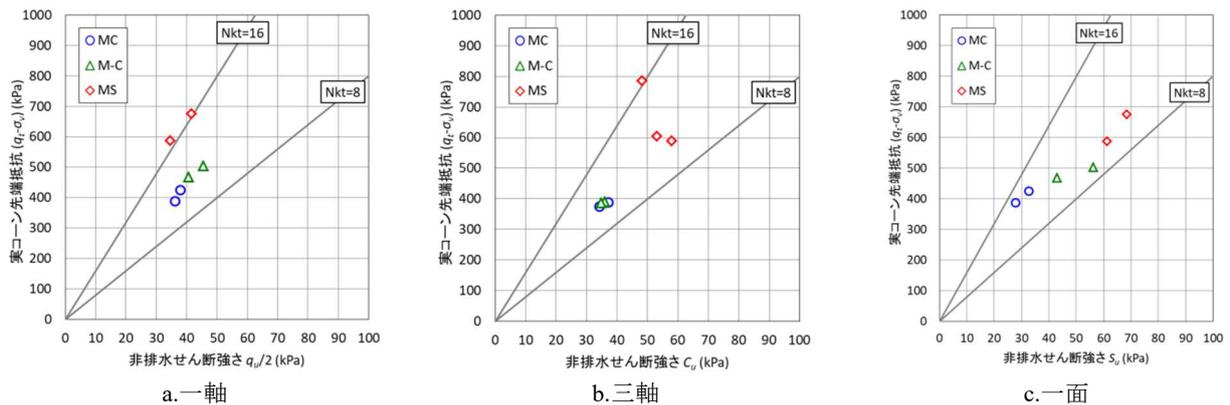


図-1 実コーン先端抵抗 ( $q_t - \sigma_v$ ) ~ 非排水せん断強さ

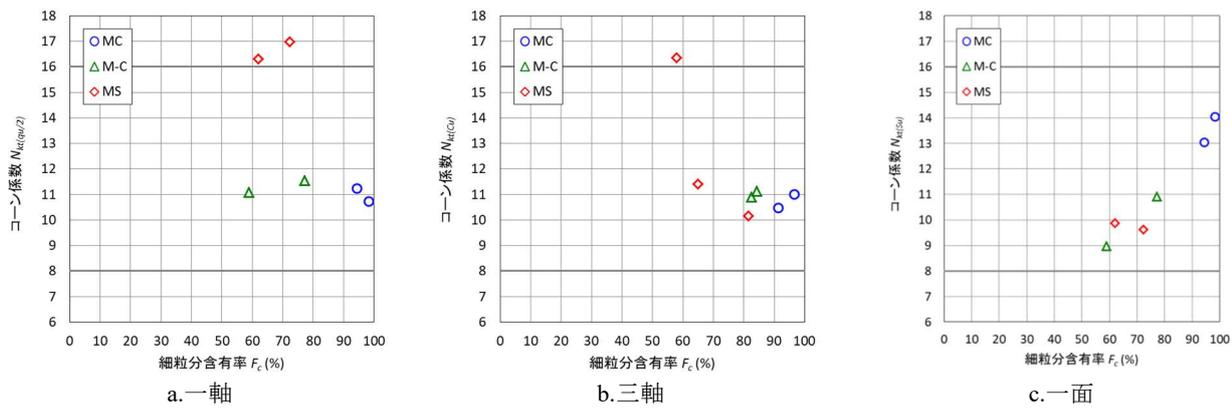


図-2 コーン係数～細粒含有率 ( $F_c$ )

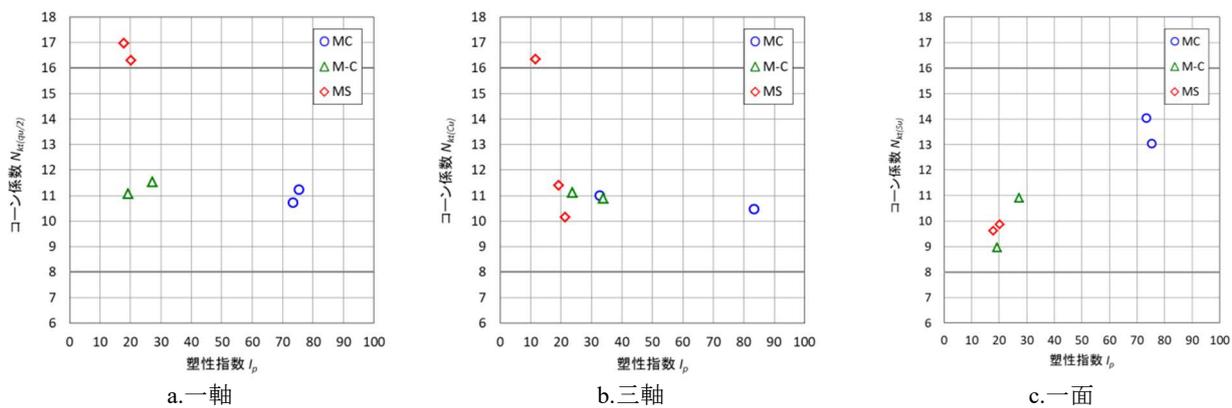


図-3 コーン係数～塑性指数 ( $I_p$ )

#### 4. まとめ

本論では、実験調査で確認した粘性土層を対象に一軸圧縮試験、三軸圧縮試験(UU)および一面せん断試験（再圧縮法）から得られた非排水せん断強さと鉛直 CPTU の結果よりコーン係数を求め、力学試験毎の特性について検討した。今回の検討で得られた結果を以下に示す。

- ・ 中間土の性状を示す MS 層では、一軸圧縮試験はサンプリング後の応力解放および試験時に部分的排水条件となる影響で、地盤強度を過小に評価されたことが推測される。
- ・ 一軸圧縮試験から求めたコーン係数は、砂質シルトを除く粘土質シルト～粘土混じりシルトで  $N_{kt}(qu/2)=11.0\sim 11.3$  に分布し、ばらきつの少ない結果となった。
- ・ 三軸試験から求めたコーン係数は、粘土質シルト～砂質シルトで  $N_{kt}(Cu)=10.8\sim 11.0$  に分布し、ばらきつの少ない結果となった。
- ・ 一面せん断試験から求めたコーン係数は、粘土質シルト～砂質シルトで  $N_{kt}(Su)=9.7\sim 13.6$  に分布し、若干ばらつきのある結果となった。
- ・ MS 層の一軸圧縮試験から求めた  $N_{kt}(qu/2)$  を除き、各力学試験から求めたコーン係数は、田中らが提言する  $N_{kt}=8\sim 16$  の間に分布した。

#### 【参考文献】

- 1) 栗原ら：電気式コーン貫入試験の斜め下方貫入に関する研究（その 8：力学試験結果の評価），第 53 回地盤工学会研究発表会，2018。
- 2) 公益社団法人地盤工学会：地盤調査の方法と解説，2013。
- 3) 田中洋行，榊原基生他：我が国の正規圧密された海成粘土の静的コーン貫入試験から得られた特性，港湾技術研究所報告第 31 巻第 4 号，1992 年 12 月。