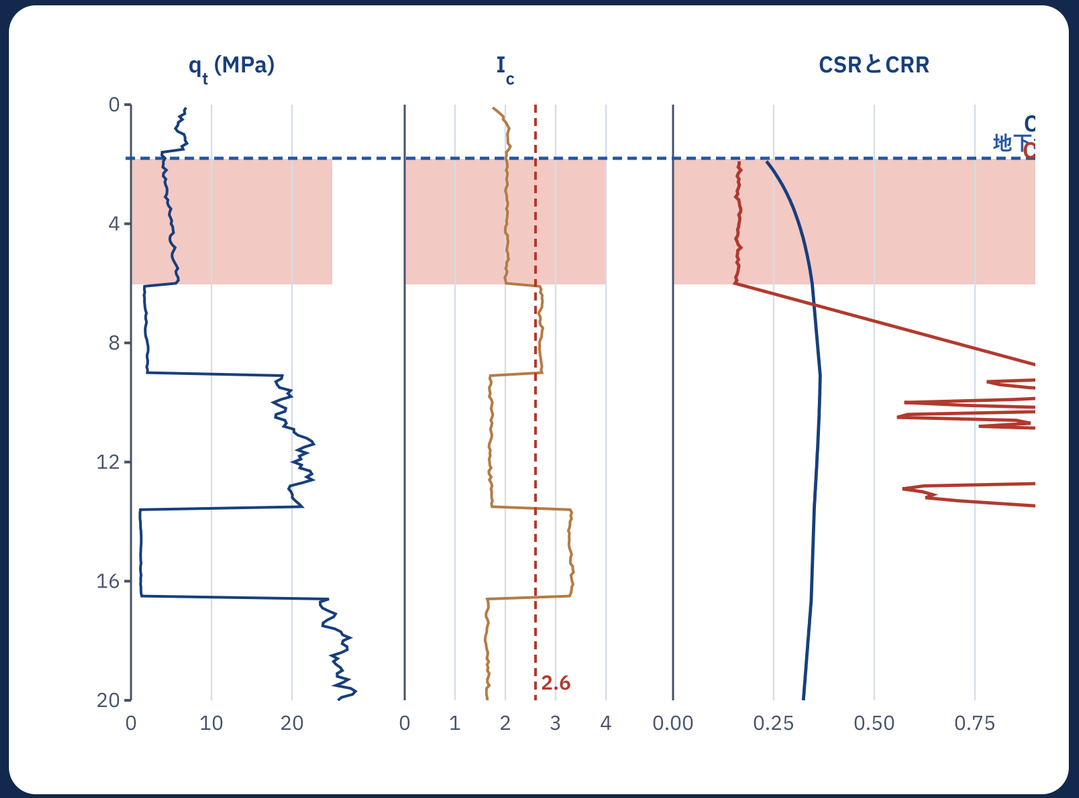
地盤工学の講義スライド・液状化

CPTによる液状化の発生評価

講義：CPTによる液状化の発生判定；1つのコーン読み値を2つの手法（Boulanger–Idriss、Robertson–Wride）で最初から最後まで手計算で解き、残りの読み値は表で扱う。

コーンデータ・Ic　2つの手法　CSR・CRR・FS　領域　手計算可能



この講義で学ぶこと

コーン貫入記録（q_c、f_s、u_2）から**補正コーン先端抵抗q_t**、**摩擦比R_f**および**土質性状指数I_c**を求めること

地盤種別、単位体積重量および細粒分含有率を**コーン先端抵抗データから推定する**こと（層テーブルは入力しない）

2つの完全なパッケージ：Boulanger–Idriss（2014）とRobertson–Wride（1998, NCEER）。それぞれの正規化、CRR曲線、MSF、K_σは内部で整合している

CSR、**FS = CRR/CSR**、除外した読み取り値、**領域**および液状化層厚

ボーリング1孔の**1つの読み（4.00 m）を2つの方法で手計算**する；他の読みは同じ手順で表に示す

講義の流れ

各項目は**3つの手順**で扱う：

1 · **理論**：式とその根拠

2 · **問題**：与条件と求めるもの

3 · **解答**：数値を用いて手順ごとに

例題：CPT-1（地下水位1.80 m、深さ20 m、5 cm間隔）。a_{max} = 0.35 g、M = 7.5、純面積比a = 0.80、$FS_{required}$ = 1.20。

q_t、R_fと単位

理論

コーンはほぼ連続した記録を与えるため（読み取り間隔 1–5 cm）、入力すべき層の表は存在しない。

土質、単位体積重量および細粒分含有率は**コーンデータから**推定する。

液状化の結果 — 沈下、側方流動、支持力の損失 — は本バージョンの対象外である。

補正コーン先端抵抗q_tは$q_t = q_c + (1 - a)\cdot u_2$の関係式で計算する。ここでaはコーンの純面積比である（0.65–0.85、一般的な値は0.80）。

u_2の値が静水圧の値を大きく上回る軟弱な粘土やシルトでは補正が重要となるが、砂では小さく留まる。u_2が記録されていない場合は$q_t = q_c$とする。

$$q_t = q_c + (1 - a)\, u_2 \qquad R_f = \frac{f_s}{q_t} \times 100\,\%$$

CPTから求めたγ；2つの地下水位深さ

理論

単位体積重量は各読み取り値でCPTデータから推定する。**R_f**は%単位であり、値は1.5 γ_wから2.5 γ_wの間に保たれる。

単位体積重量は地表面から積分する；別法として、地下水位より上方ではγ、下方ではγ_{sat}の2つの一定値を用いる。

間隙水圧は地下水位から静水圧と仮定する。**C_N**と**I_c**には試験時の地下水位を、CSRとK_σには設計地下水位を用いる。

$$\frac{\gamma}{\gamma_w} = 0.27 \log R_f + 0.36 \log \frac{q_t}{P_a} + 1.236 \qquad \sigma_v = \int \gamma \, dz \qquad u = \gamma_w (z - z_w) \qquad \sigma'_v = \sigma_v - u$$

I_cと指数n

理論

地盤挙動タイプ指数はI_c = [(3.47 – log Q)² + (log F + 1.22)²]^0.5の関係式で計算する。

指数nは砂では0.5、粘土では1.0の値をとり、Robertson & Wride（1998）の反復計算によって決定される。

図中の土層柱状図はこの分類に基づく；h_{min}より短い層は、より長い隣接層に統合される。

$$I_c = \left[(3.47 - \log Q)^2 + (\log F + 1.22)^2\right]^{0.5} \qquad Q = \frac{q_t - \sigma_v}{P_a}\left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^n \qquad F = \frac{f_s}{q_t - \sigma_v} \times 100\,\%$$

I_c の範囲	< 1.31	1.31 – 2.05	2.05 – 2.60	2.60 – 2.95	2.95 – 3.60	> 3.60
地盤（Robertson 1990）	礫質 – 密な砂	砂：きれいな砂 – シルト質砂	砂混合土	シルト混合	粘土	有機質

どの読み値を評価するか。

理論

ある計測値は、設計地下水位より下で、深さz_{max}より深くなく、砂のように振る舞う地盤中にある場合に評価される。

I_cの値が$I_{c,lim}$（既定値2.6）を超える地盤は粘土質とみなす。これらの地盤は繰返し軟化の照査に委ねる。

砂質的挙動と粘性土的挙動の境界は鋭いものではない；解析を$I_{c,lim}$ = 2.4、2.6、2.8で繰り返すことが推奨される。

正味コーン先端抵抗$q_t - \sigma_v$が正でない読値では土性挙動指数を定義できず、その読値は評価しない。除外した読値は理由とともにすべての表に残す。

$q_t \rightarrow q_{c1N} \rightarrow q_{c1Ncs}$

理論

Boulanger & Idriss（2014）の正規化では指数が結果に依存するため、C_Nは反復計算で求める。またmの関係式においてq_{c1Ncs}の値は21から254の間に保つ。

FC = 80(I_c + C_{FC}) − 137の関係式において、C_{FC}はI_cと細粒分含有率の相関の適合パラメータである。0は一般的な相関に対応し、±0.29はこの相関の標準偏差1つ分である。

相関式のばらつきが大きいため、CPT地点に隣接するボーリング孔から採取した試料の室内細粒分含有率から求めたサイト固有のC_{FC}値のほうが適切であり、各地質単位ごとに個別に定めるべきである。

$$q_{c1N} = C_N \frac{q_t}{P_a} \qquad C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^m \leq 1.7 \qquad m = 1.338 - 0.249\, q_{c1Ncs}^{0.264}$$

$$FC = 80\,(I_c + C_{FC}) - 137 \qquad \Delta q_{c1N} = \left(11.9 + \frac{q_{c1N}}{14.6}\right) \exp\left[1.63 - \frac{9.7}{FC+2} - \left(\frac{15.7}{FC+2}\right)^2\right] \qquad q_{c1Ncs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$$

CRR、MSFおよびK_σ

理論

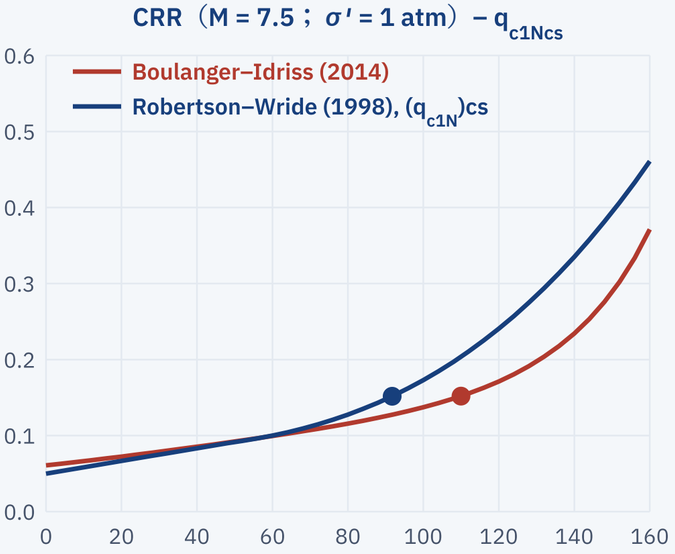
Boulanger & Idriss (2014)の抵抗曲線は、報告書に示された決定論的な曲線であり、事例データの16パーセンタイル値（定数2.80）に基づく。

CRR(M=7.5; σ′=1)曲線はq_{c1Ncs}の値から得られる。q_{c1Ncs}が211を超える場合、C_σの限界に達するため211の値を用いる。

K_σの関係式におけるσ'_vは、設計地下水位に対応する有効応力である。

$$CRR_{7.5,1} = \exp\left[\frac{q}{113} + \left(\frac{q}{1000}\right)^2 - \left(\frac{q}{140}\right)^3 + \left(\frac{q}{137}\right)^4 - 2.80\right] \quad q = q_{c1Ncs}$$

$$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1)(8.64e^{-M/4} - 1.325) \quad MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{q}{180}\right)^3 \quad K_\sigma = 1 - C$$



Kc、CRRおよびMSF

理論

補正コーン抵抗$(q_{c1N})_{cs}$は$(q_{c1N})_{cs} = K_c\, q_{c1N}$の関係式で計算する。$K_c$はIcに依存し、$Ic \le 1.64$のとき1の値をとる。

$1.64 < Ic < 2.36$ かつ摩擦比が0.5%未満の清浄な砂では$K_c = 1$とし、細粒分補正は行わない。

きれいな砂の曲線は$(q_{c1N})_{cs} = 160$で終わる；モジュールは同じ三次式の関係を250（$CRR_{7.5} = 1.5$）まで延長し、読取り値をマークする。

$$q_{c1N} = C_Q \frac{q_t}{P_a} \quad C_Q = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^n \le 1.7 \qquad (q_{c1N})_{cs} = K_c\, q_{c1N} \qquad K_c = -0.403 I_c^4 + 5.581 I_c^3 - 21.63 I_c^2 + 33.75 I_c - 17.88$$

$$CRR_{7.5} = 0.833 \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} + 0.05 \; (< 50) \quad 93 \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000}\right)^3 + 0.08 \; (50 \ldots 160) \qquad MSF = \frac{102.24}{M^{2.56}} \quad K_\sigma = \left(\frac{\sigma'_v}{P_a}\right)^{f-1}$$

CSR と2手法の r_d の関係式

理論

繰返しせん断応力比はCSR = 0.65 (σ_v/ σ'_v) a_{max} r_dと表される。ここで σ_vおよび σ'_vは、設計地下水位を基準として算定した応力である。

深さ低減係数r_dには、B&I;法ではIdrissの関係式、R&W;法ではLiao–Whitmanの関係式を用いる；マグニチュード補正と上載圧補正は需要側ではなく抵抗側に適用する。

$$CSR = 0.65\,\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\,a_{max}\,r_d \qquad r_d^{BI} = \exp[\alpha + \beta M] \qquad r_d^{RW} = 1.0 - 0.00765z\ (z \le 9.15\ \mathrm{m})$$

z (m)	2	4	6	8	10	15	20
r_d Boulanger–Idriss（M = 7.5）	0.991	0.972	0.949	0.924	0.896	0.822	0.750
r_d Robertson–Wride	0.985	0.969	0.954	0.939	0.907	0.773	0.640

FS = CRR / CSR

理論

各読み取り値は、その上下の読み取り値までの距離の半分を代表する。この代表距離は各方向で0.25 m、またはそれが大きい場合は通常の読み取り間隔の3/4を超えない。

記録の空白は結果に外挿されない；「読み取りなし」として評価されない系列として残り、警告に一覧表示される。

同じ結果をもつ連続する読取り値は一連の区間を形成する。h_{min}（既定値0.10 m）より薄い単一結果の区間は、より長い隣接区間の結果を採用し、同じ結果をもつ隣接区間は領域を形成する。

各手法は一体である。応力低減係数、正規化、清浄砂補正、地震規模および上載圧の係数、ならびに抵抗曲線は、事例データベースから一体として導出されている。

2つの方法の出典は、一方の方法の成分を他方の方法の成分と混用しないことを前提としている；モジュールでは方法の選択によりこれらの成分がすべて一括で切り替わる。

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \qquad \text{FS} < 1: \text{ 液状化する} \qquad 1 \le FS < FS_{req}\ (1.20): \text{ 境界上}$$

問題

例題

与条件

読み取り	$q_c = 4.956$ MPa、$f_s = 46.2$ kPa、$u_2 = 21.6$ kPa；純面積比 $a = 0.80$
現場	地下水位$z_w = 1.80$ m（設計地下水位は同じ）。単位体積重量はCPTから（0から4 mまで80の読み取り）
地震	$a_{max} = 0.35g$、$M = 7.5$；$C_{FC} = 0$；Robertson–Wride $f = 0.7$；$FS_{req} = 1.20$

求めるもの

q_t, σ'_v, I_c；Boulanger–Idrissと Robertson–Wrideによりq_{c1Ncs}, CRR, CSR, FS。

解答 (1/8)

解答

1 補正先端抵抗と摩擦比

$$q_t = q_c + (1-a)u_2 = 4956 + (1-0.80)(21.6) = \mathbf{4{,}960.32}\ \text{kPa}$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_t} \times 100 = \frac{46.2}{4{,}960.32} \times 100 = \mathbf{0.9314}\ \%$$

2 単位体積重量（Robertson–Cabal）

$$\gamma = (0.27 \log R_f + 0.36 \log \tfrac{q_t}{P_a} + 1.236)\gamma_w = (1.8360)(9.81) = \mathbf{18.01}\ \text{kN/m}^3$$

3 応力

$$\sigma_v = \sum \tfrac{1}{2}(\gamma_{k-1} + \gamma_k)\Delta z = \mathbf{73.64}\ \text{kPa} \qquad u = 9.81(4.00 - 1.80) = 21.58\ \text{kPa}$$

$$\sigma'_v = \sigma_v - u = 73.64 - 21.58 = \mathbf{52.05}\ \text{kPa}$$

有効鉛直応力 **σ′v = 52.05 kPa**。

解答 (2/8)

解答

4 純先端支持力とF

$$q_t - \sigma_v = 4{,}960.32 - 73.64 = \mathbf{4{,}886.68}\ \text{kPa}$$

$$F = \frac{f_s}{q_t - \sigma_v} \times 100 = \frac{46.2}{4{,}886.68} \times 100 = \mathbf{0.9454}\ \%$$

5 指数nの反復計算（Robertson–Wride）：まずn = 1.0（粘土と仮定）

$$Q = \frac{q_t - \sigma_v}{P_a}\left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^{1} = 93.88$$

$$I_c = \sqrt{(3.47 - \log 93.88)^2 + (\log 0.9454 + 1.22)^2} = \mathbf{1.9162} \le 2.6 \ \Rightarrow\ \text{粘土ではない}$$

解答 (3/8)

解答

6 n = 0.5（砂）を試行する

$$Q = 48.2278 \left(\frac{101.325}{52.05} \right)^{0.5} = 67.29$$

$$I_c = \sqrt{(3.47 - \log 67.29)^2 + (\log 0.9454 + 1.22)^2} = \mathbf{2.0312} \leq 2.6 \;\Rightarrow\; n = 0.5$$

I_c = 2.031 ≤ 2.6：粘土様ではないため、計測値を評価する。

解答 (4/8)

解答

7 細粒分含有率（$C_{FC} = 0$）

$$FC = 80\,(I_c + C_{FC}) - 137 = 80(2.0312) - 137 = \mathbf{25.50\ \%}$$

8 mとC_Nは相互に依存する：q_{c1Ncs}による反復計算（$x = q_t/P_a = 48.955$, $\sigma'_v = 52.05$）

反復計算	q_{c1Ncs}（入力）	m	C_N	$q_{c1N} = C_N q_t/P_a$	Δq_{c1N}	q_{c1Ncs}（出力）
1	48.955	0.6425	1.5341	75.100	44.128	119.227
2	119.227	0.4582	1.3569	66.427	42.590	109.017
3	109.017	0.4788	1.3756	67.342	42.752	110.094
4	110.094	0.4766	1.3736	67.242	42.734	109.977
…	…	…	…	…	…	…
13	109.988	0.4768	1.3738	67.252	42.736	109.988

13回の反復で収束する：**m = 0.4768**、**C_N = 1.3738**、**q_{c1N} = 67.252**、**Δq_{c1N} = 42.736** → **q_{c1Ncs} = 109.988**。

解答 (5/8)

解答

9 基礎抵抗（M = 7.5、1 atm）、MSFおよびK_σ（q_{c1Ncs} = 109.99）

$$CRR_{7.5,1} = \exp[q/113 + (q/1000)^2 - (q/140)^3 + (q/137)^4 - 2.80] \quad (q = 109.99)$$

$$CRR_{7.5,1} = \exp[-1.8840] = \mathbf{0.1520}$$

$$MSF_{max} = 1.09 + (109.99/180)^3 = 1.3181$$

$$MSF = 1 + (1.3181 - 1)(8.64e^{-7.5/4} - 1.325) = \mathbf{1.0000}$$

$$C_\sigma = 1/(37.3 - 8.27(109.99)^{0.264}) = 0.1150$$

$$K_\sigma = 1 - 0.1150 \ln(52.05/101.325) = \mathbf{1.0766}$$

$CRR_{7.5;1}$ = **0.1520**; MSF = **1.0000**; K_σ = **1.0766** → CRR = **0.1636**.

解答 (6/8)

解答

10 需要（Idriss r_d）と安全率

$$r_d = \exp[\alpha + \beta M] = \exp[-0.1971 + 0.0225(7.5)] = 0.9718$$

$$CSR = 0.65\,\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\,a_{max}\,r_d = 0.65\left(\frac{73.64}{52.05}\right)(0.35)(0.9718) = \mathbf{0.3127}$$

$$CRR = CRR_{7.5,1} \cdot MSF \cdot K_\sigma = 0.1520(1.0000)(1.0766) = 0.1636$$

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.1636}{0.3127} = \mathbf{0.523}$$

Boulanger–Idriss：**FS = 0.523 < 1**、液状化が発生する。

解答 (7/8)

解答

11 C_Qとq_{c1N}（n = 0.5も同様）

$$C_Q = (P_a/\sigma'_v)^{0.5} = (101.325/52.05)^{0.5} = 1.3952$$

$$q_{c1N} = C_Q \frac{q_t}{P_a} = 1.3952(48.955) = 68.300$$

12 K_c（I_c = 2.031：1.64 < I_c < 2.36 だが F = 0.945 % ≥ 0.5：細粒分補正あり）

$$K_c = -0.403I_c^4 + 5.581I_c^3 - 21.63I_c^2 + 33.75I_c - 17.88 = \mathbf{1.3430}$$

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c\, q_{c1N} = 1.3430(68.300) = \mathbf{91.727}$$

Robertson–Wride では細粒分の影響は**係数 K_c**（1.343）であり、Boulanger–Idriss では Δq_{c1N} を**加算する**（+42.7）。$(q_{c1N})cs$ = 91.73、q_{c1Ncs} = 109.99。

解答 (8/8)

解答

13 抵抗、作用（Liao–Whitmanのr_d；$\sigma'_v < P_a$であるため$K_\sigma = 1$）およびFS

$$CRR_{7.5} = 93\left(\frac{91.727}{1000}\right)^3 + 0.08 = 0.1518 \qquad MSF = \frac{102.24}{7.5^{2.56}} = 0.9996$$

$$r_d = 1 - 0.00765(4) = 0.9694 \qquad CSR = 0.65\left(\frac{73.64}{52.05}\right)(0.35)(0.9694) = 0.3120$$

$$FS = \frac{CRR_{7.5}}{CSR}\,MSF\,K_\sigma = \frac{0.1518}{0.3120}(0.9996)(1) = \mathbf{0.486}$$

両パッケージは同じ結論に至る：**Boulanger–Idriss FS = 0.523**、**Robertson–Wride FS = 0.486**であり、いずれも < 1 である。両者の差は細粒分補正とr_dに由来する。

GeoTervaで解答を確認する ↗

問題

例題

与条件

ボーリング	**CPT-1：20 m、5 cm間隔で400読点；地下水位 1.80 m**
手法	**Boulanger–IdrissとRobertson–Wride：各計測値は例題1の手順で解く**

求めるもの

各深度1 mごとの読み取りについて **q_t, R_f, I_c, 土質、 σ'_v, q_{c1Ncs}, CSR, CRR, FS**（2手法）および判定。

例題2・CPT-1：1 mごと（2つの方法）

解答 (1/2)

解答

z (m)	q_t (MPa)	R_f %	I_c	地盤	σ'_v	q_{c1Ncs} (BI)	CSR (BI)	FS (BI)	$(q_{c1N})cs$ (RW)	FS (RW)	判定（BI / RW）
1	6.58	2.27	2.04	砂	19.4	–	–	–	–	–	*地下水位以浅*
2	4.02	0.93	2.04	砂	36.0	108.4	0.238	0.691	90.1	0.626	液状化する／液状化する
3	4.46	0.87	2.02	砂	43.9	107.1	0.283	0.569	88.8	0.514	液状化する／液状化する
4	**4.96**	**0.93**	**2.03**	**砂**	**52.1**	**110.0**	**0.313**	**0.523**	**91.7**	**0.486**	**液状化する／液状化する**
5	5.12	0.95	2.05	砂	60.3	109.7	0.332	0.483	90.2	0.445	液状化する／液状化する
6	5.57	0.84	2.02	砂	68.6	107.2	0.346	0.445	88.4	0.415	液状化する／液状化する
7	1.92	2.43	2.66	シルト混合	76.4	–	–	–	–	–	*粘土様*
8	2.03	2.40	2.68	シルト混合	84.3	–	–	–	–	–	*粘土様*
9	2.03	2.55	2.73	シルト混合	92.3	–	–	–	–	–	*粘土様*
10	17.69	1.00	1.74	砂	102.5	173.9	0.364	1.579	184.9	1.808	安全／安全
11	20.25	1.03	1.72	砂	112.8	192.7	0.361	3.455	199.1	2.187	安全／安全
12	20.21	0.88	1.69	砂	123.3	186.2	0.357	2.527	186.1	1.821	安全／安全
13	19.88	0.95	1.73	砂	133.8	177.5	0.353	1.758	180.8	1.689	安全／安全
14	1.17	3.85	3.28	粘土	142.9	–	–	–	–	–	*粘土様*
15	1.21	3.91	3.30	粘土	150.6	–	–	–	–	–	*粘土様*
16	1.22	3.91	3.33	粘土	158.3	–	–	–	–	–	*粘土様*
17	24.54	0.77	1.63	砂	167.3	206.1	0.341	6.842	188.5	1.951	安全／安全
18	26.33	0.71	1.60	砂	177.7	218.9	0.335	9.233	196.2	2.212	安全／安全
19	26.27	0.79	1.64	砂	188.3	213.7	0.330	9.199	189.9	2.069	安全／安全
20	25.71	0.76	1.65	砂	198.9	203.9	0.324	5.959	181.1	1.868	安全／安全

解答 (2/2)

解答

1 読み取り値から領域へ：各読み取り値は隣接する中点まで（最大0.25 m）を代表する；同一の結果は統合する

手法	液状化領域 (m)	厚さ (m)	限界状態 (m)	最小のFS	z (m)
Boulanger–Idriss	1.83 – 6.03	**4.20**	0.00	0.445	6.00
Robertson–Wride	1.83 – 6.03	**4.20**	0.00	0.415	6.00

両手法ともCPT-1において**1.83 – 6.03 m**の範囲（4.20 m）を液状化と判定する。最小FSはどちらも6.0 mにある。4.0 mの行は手計算で解いた例題1である。6 – 9 mのシルト様層（$I_c > 2.6$）は粘土様とみなされ、7 – 9 mの行で除外される。

GeoTervaで解答を確認する ↗

問題

例題

与条件

ボーリング	**CPT-1（地下水位 1.80 m）、CPT-2（2.40 m）、CPT-3（3.10 m）；同一パラメータ**
比較	**各手法はそれぞれのパッケージで**

求めるもの

各ボーリングの**最小FS**、**液状化**および**境界**の層厚。

解答

解答

ボーリング	地下水位 (m)	手法	最小のFS	z (m)	液状化領域 (m)	厚さ (m)	限界状態 (m)
CPT-1	1.80	Boulanger–Idriss	**0.445**	6.00	1.83 – 6.03	4.20	0.00
		Robertson–Wride	**0.415**	6.00	1.83 – 6.03	4.20	0.00
CPT-2	2.40	Boulanger–Idriss	**0.605**	7.10	2.62 – 7.53	4.90	0.85
		Robertson–Wride	**0.640**	7.10	2.67 – 7.53	4.85	0.25
CPT-3	3.10	Boulanger–Idriss	**0.655**	8.50	5.03 – 10.03	5.00	0.00
		Robertson–Wride	**0.683**	8.50	5.03 – 10.03	5.00	0.00

各ボーリング孔において両手法とも液状化を判定し、液状化する層厚はほぼ同一である（4.2 – 5.0 m）。差異は境界付近の層厚（CPT-2：0.85 / 0.25 m）と最小FSに現れる。最小FSは**ばらつきに敏感**であり、層厚の方が安定した値である。

GeoTervaで解答を確認する ↗

問題

例題

与条件

基本ケース	**CPT-1：$a_{max} = 0.35g$、$M = 7.5$、$I_{c,lim} = 2.6$、$C_{FC} = 0$、設計地下水位 = 試験地下水位（1.80 m）**
変化させる量	**1回に1つのみ：$I_{c,lim}$ 2.4 / 2.8；C_{FC} ∓0.29；a_{max} 0.25g / 0.45g；設計地下水位 1.0 m**

求めるもの

CPT-1の**最小FS**および**液状化層厚**（2手法）；C_{FC}についてのFCの手計算による確認。

解答 (1/2)

解答

条件	変化	FS_{min} (BI)	z (m)	厚さ (m)	FS_{min} (RW)	z (m)	厚さ (m)
底面	–	0.445	6.00	**4.20**	0.415	6.00	**4.20**
$I_{c,lim}$は小さくなる	2.4	0.445	6.00	**4.20**	0.415	6.00	**4.20**
$I_{c,lim}$が増大する	2.8	0.318	8.80	**7.20**	0.391	8.45	**7.20**
C_{FC}	−0.29	0.318	6.00	**4.20**	–	–	–
C_{FC}	+0.29	0.579	6.00	**4.20**	–	–	–
a_{max} は減少する	0.25g	0.624	6.00	**4.20**	0.582	6.00	**4.20**
a_{max}は増加する	0.45g	0.346	6.00	**4.20**	0.323	6.00	**4.20**
設計地下水位が上昇する	1.0 m	0.400	6.00	**4.50**	0.368	6.00	**4.50**

$I_{c,lim}$ = 2.8が最も影響の大きい入力である。6〜9 mのシルト質砂（I_c 2.6〜2.8）が計算に含まれ、液状化する層厚は4.2 → **7.2 m**となり、FS_{min} ≈ 0.32となる。C_{FC}はB&Iにのみ存在し、FSを0.32〜0.58の間で変動させる。a_{max}と設計地下水位は層厚をほとんど変えない。

解答 (2/2)

解答

1 例示した読み取り値（I_c = 2.031）におけるC_{FC}の細粒分含有率への影響

$$C_{FC} = -0.29: \ FC = 80(2.0312 - 0.29) - 137 = \mathbf{2.30\ \%}$$

$$C_{FC} = 0: \ FC = 80(2.0312) - 137 = \mathbf{25.50\ \%}$$

$$C_{FC} = +0.29: \ FC = 80(2.0312 + 0.29) - 137 = \mathbf{48.70\ \%}$$

FC 2.3 → 25.5 → 48.7 %（I_cの不確実性はFCを大きく変動させる）：したがって細粒分補正Δq_{c1N}は不確実であり、**現場固有のC_{FC}**にはボーリング孔近傍の室内細粒分含有率が必要である。

GeoTervaで解答を確認する ↗

まとめ

ポイントのまとめ

コーン記録 → $q_t = q_c + (1 - a)u_2$、R_f、γ（CPTから）、σ'_v、**I_c**（n回の反復計算）；$I_c > 2.6$は粘土質と判定され除外する

2つのパッケージ：Boulanger–Idriss（$FC = 80(I_c + C_{FC}) - 137$、$q_{c1Ncs}$、CRR、MSF、$K_\sigma$）とRobertson–Wride（$K_c$を乗じ、CRRは3次式）；両者の構成要素は混用しない

例題（4.00 m）：σ'_v 52.05 kPa、I_c 2.031；B&I q_{c1Ncs} 109.99、CRR 0.1636、CSR 0.3127 → **FS 0.523**；R&W $(q_{c1N})cs$ 91.73、$CRR_{7.5}$ 0.1518、CSR 0.3120 → **FS 0.486**

範囲：隣接する中点まで（≤ 0.25 m）統合し、h_{min} = 0.10 m未満は結合する。CPT-1の液状化区間は1.83 – 6.03 m（4.20 m）

感度：$I_{c,lim}$とC_{FC}が影響を及ぼす。最小FSはばらつきに敏感であり、層厚はより安定している。結果は液状化の発生判定にとどまり、その影響（沈下、側方流動）は別途計算が必要である。

参考文献

Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2014). CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Report UCD/CGM-14/01, University of California, Davis.

Robertson, P.K., Wride, C.E. (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 35(3), 442–459.

Youd, T.L., Idriss, I.M. et al. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 127(10), 817–833.

Robertson, P.K. (1990). Soil classification using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 27(1), 151–158.

Robertson, P.K., Cabal, K.L. (2010). Estimating soil unit weight from CPT. Proc. 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, Huntington Beach.

Idriss, I.M. (1999). An update to the Seed–Idriss simplified procedure for evaluating liquefaction potential. Proc. TRB Workshop, FHWA-RD-99-165.

Liao, S.S.C., Whitman, R.V. (1986). Overburden correction factors for SPT in sand. J. Geotech. Eng., ASCE, 112(3).

Hynes, M.E., Olsen, R.S. (1999). Influence of confining stress on liquefaction resistance. Proc. International Workshop on the Physics and Mechanics of Soil Liquefaction, Balkema.

Idriss, I.M., Boulanger, R.W. (2008). Soil liquefaction during earthquakes. EERI Monograph MNO-12.

注記

数値例はすべてモジュール自身の計算エンジンで作成したものであり、モジュールは同じ値を与える。モジュールの起動プロジェクトはこの3本のボーリングである（a_{max} = 0.35g、M = 7.5）。

GeoTerva

オンライン地盤工学計算

理論から実務へ

自身のコーン貫入試験（q_c、f_s、u_2）を貼り付けるか、ファイルから読み込む。地下水位と地震パラメータを入力する。モジュールは各読み取り値についてI_c、CSR、CRR、FS、区分、液状化層厚、2手法の結果、色帯付き断面、手順ごとの解答およびレポートをまとめて出力する。

スマートフォンで開く
お試しモジュールは登録不要です。

モジュールを開く →

理論ページ →

講義で使用したい場合：info@geoterva.com