

対策工法 : 締固め工法(サンドコンパクションパイル工法)

改良仕様 : 改良仕様 1

地点名 : BV-1 (水平地盤)

備考 :

1. 設計条件

置換率算出式 : 方法 C 砂杭径 $d_s = 700$ (mm)
配置方法 : 正方形配置 打設間隔 $x_1 = 1.650$ (m)
砂杭長 : 6.000 (m) 置換率 $a_s = 0.141$ (目標値 0.135)
目標N値 : $F_L > 1.100$ となるN値

2. 改良深度の設定

改良深度は、液状化の判定結果(無対策)を参考に下表のとおり設定する。

液状化判定(無対策)

No	境界	適用土質	深度		層厚 H_i (m)	N値 N	せん断 応力比 (レベル1) L	せん断 強度比 (レベル1) R	抵抗率 (レベル1) F_L	有効層圧		抵抗率 (平均) F_L (レベル1)
			(地表) x (m)	(調査) x (m)						W_i (m)	ΣW_i (m)	
1	上面		0.000	0.000								
2	水位		1.000	1.000	1.000							
3			1.001	1.001	0.001	3.9	0.177	0.199	1.124	0.500		
4			2.000	2.000	0.999	4.4	0.240	0.201	0.838	1.000		
5			3.000	3.000	1.000	4.8	0.267	0.200	0.749	1.000		
6			4.000	4.000	1.000	5.2	0.281	0.200	0.712	1.000		
7			5.000	5.000	1.000	5.7	0.288	0.201	0.698	1.000		
8			6.000	6.000	1.000	6.1	0.291	0.200	0.687	0.500		
9	下面	砂質	6.000	6.000	0.000						5.000	0.781
10	2層	粘性	26.000	26.000	20.000						-	-

砂杭長 : 6.000 (m) (地表深度 0.000 m ~ 6.000 m)

3. 置換率の設定

3.1 目標N値の設定

締固め工法では構造物の安定性を確保できるように改良範囲内の目標N値を設定し、この目標N値が満足できる置換率や打設間隔を設定する。

改良目標値として、液状化抵抗率 $F_L > 1.100$ となるN値を目標N値とする。液状化判定(無対策)の結果をもとに、改良範囲全深度で $F_L > 1.100$ となるよう各深度のN値を変化させて試行計算を行う。

目標N値 ($F_L > 1.100$)

No	境界	適用土質	深度		層厚 H_i (m)	N値 N	せん断 応力比 (レベル1) L	せん断 強度比 (レベル1) R	抵抗率 (レベル1) F_L	有効層圧		抵抗率 (平均) F_L (レベル1)
			(地表) x (m)	(調査) x (m)						W_i (m)	ΣW_i (m)	
1	上面		0.000	0.000								
2	水位		1.000	1.000	1.000							
3			1.001	1.001	0.001	3.9	0.177	0.199	1.124	0.500		
4			2.000	2.000	0.999	7.8	0.240	0.265	1.104	1.000		
5			3.000	3.000	1.000	10.4	0.267	0.294	1.101	1.000		
6			4.000	4.000	1.000	12.3	0.281	0.310	1.103	1.000		
7			5.000	5.000	1.000	13.7	0.288	0.317	1.101	1.000		
8			6.000	6.000	1.000	15.0	0.291	0.322	1.107	0.500		
9	下面	砂質	6.000	6.000	0.000						5.000	1.105

(詳細1)

No	境界	適用土質	深度		層厚 H _i (m)	N値 N	全上載圧 (地表) σ_v (kN/m ²)	有効上載圧		低減係数 r _d	細粒分含有率 F _c (%)	平均粒径 D ₅₀ (mm)
			(地表) x (m)	(調査) x (m)				(地表) σ'_{v} (kN/m ²)	(調査) σ'_{vb} (kN/m ²)			
1	上面		0.000	0.000								
2	水位		1.000	1.000	1.000		17.00	17.00	17.00			
3			1.001	1.001	0.001	3.9	17.02	17.01	17.01	0.985	15.0	1.999
4			2.000	2.000	0.999	7.8	36.50	26.50	26.50	0.970	15.0	1.999
5			3.000	3.000	1.000	10.4	56.00	36.00	36.00	0.955	15.0	1.999
6			4.000	4.000	1.000	12.3	75.50	45.50	45.50	0.940	15.0	1.999
7			5.000	5.000	1.000	13.7	95.00	55.00	55.00	0.925	15.0	1.999
8			6.000	6.000	1.000	15.0	114.50	64.50	64.50	0.910	15.0	1.999
9	下面	砂質	6.000	6.000	0.000		114.50	64.50	64.50			

(詳細2)

No	境界	適用土質	深度		層厚 H _i (m)	N値 N	N値の補正係数		換算 N値 N _i	補正 N値 N _a	三軸 強度比 R _L	補正係数 (レベル1) c _w
			(地表) x (m)	(調査) x (m)			c1	c2				
1	上面		0.000	0.000								
2	水位		1.000	1.000	1.000							
3			1.001	1.001	0.001	3.9	1.10	0.28	7.620	8.662	0.199	1.000
4			2.000	2.000	0.999	7.8	1.10	0.28	13.741	15.395	0.265	1.000
5			3.000	3.000	1.000	10.4	1.10	0.28	16.679	18.627	0.294	1.000
6			4.000	4.000	1.000	12.3	1.10	0.28	18.104	20.194	0.310	1.000
7			5.000	5.000	1.000	13.7	1.10	0.28	18.632	20.775	0.317	1.000
8			6.000	6.000	1.000	15.0	1.10	0.28	18.959	21.135	0.322	1.000
9	下面	砂質	6.000	6.000	0.000							

3.2 置換率(目標値)の算出

置換率 a_s の算出は方法 C で行い、次式により求める。

$$\text{最大間隙比} \quad e_{\max} = 0.02 \times F_c + 1.0$$

$$\text{最小間隙比} \quad e_{\min} = 0.008 \times F_c + 0.6$$

$$\text{相対密度} \quad D_{r0} = 21 \times \sqrt{\frac{N_0}{0.7 + \sigma'_{vb} / 100.0}}$$

$$\text{原地盤の間隙比} \quad e_0 = e_{\max} - \frac{D_{r0}}{100} \times (e_{\max} - e_{\min})$$

$$\text{N値増加効果の低減率} \quad \beta = 1.05 - 0.51 \times \log_{10} F_c$$

$$\text{細粒分の影響がない場合の改良後のN値} \quad N_1' = N_0 + \frac{N_1 - N_0}{\beta}$$

$$\text{改良後の相対密度} \quad D_{r1} = 21 \times \sqrt{\frac{N_1'}{0.7 + \sigma'_{vb} / 100.0}}$$

$$\text{改良後の地盤の間隙比} \quad e_1 = e_{\max} - \frac{D_{r1}}{100} \times (e_{\max} - e_{\min})$$

$$\text{置換率} \quad a_s = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0}$$

単位換算 : 1(kgf/cm²) = 100.0 (kN/m²)

置換率 -1 (方法 C)

No	境界	適用土質	深度		N値		細粒分含有率 F _c (%)	有効上載圧 σ'_{vb} (kN/m ²)	N値増分 ΔN	間隙比	
			(地表) x (m)	(調査) x (m)	初期 N ₀	目標 N ₁				最大 e _{max}	最小 e _{min}
1	上面		0.000	0.000							
2	水位		1.000	1.000							
3			1.001	1.001	3.9	3.9	15.0	17.01	0.0	1.300	0.720
4			2.000	2.000	4.4	7.8	15.0	26.50	3.4	1.300	0.720
5			3.000	3.000	4.8	10.4	15.0	36.00	5.6	1.300	0.720
6			4.000	4.000	5.2	12.3	15.0	45.50	7.1	1.300	0.720
7			5.000	5.000	5.7	13.7	15.0	55.00	8.0	1.300	0.720
8			6.000	6.000	6.1	15.0	15.0	64.50	8.9	1.300	0.720
9	下面	砂質	6.000	6.000							

置換率 -2 (方法 C)

No	境界	適用土質	深度		原地盤		細粒分の影響		改良後地盤		置換率 方法C a_s
			(地表) x (m)	(調査) x (m)	相対密度 D_{r0} (%)	間隙比 e_0	低減率 β	改良後N値 N_1'	相対密度 D_{r1} (%)	間隙比 e_1	
1	上面		0.000	0.000							
2	水位		1.000	1.000							
3			1.001	1.001	44.460	1.042	0.450	3.900	44.460	1.042	0.000
4			2.000	2.000	44.842	1.040	0.450	11.956	73.918	0.871	0.083
5			3.000	3.000	44.688	1.041	0.450	17.244	84.700	0.809	0.114
6			4.000	4.000	44.558	1.042	0.450	20.978	89.497	0.781	0.128
7			5.000	5.000	44.844	1.040	0.450	23.478	91.011	0.772	0.131
8			6.000	6.000	44.722	1.041	0.450	25.878	92.114	0.766	0.135
9	下面	砂質	6.000	6.000							
										最大値	0.135

よって、最大値である $a_s = 0.135$ を目標の置換率とし、打設間隔を設定する。

4. 打設間隔の設定

置換率 a_s および砂杭の断面積 A_s から、次式により打設間隔 x_1 を求める。

配置方法 : 正方形配置

置換率 $a_s = 0.135$

砂杭径 $d_s = 700$ (mm)

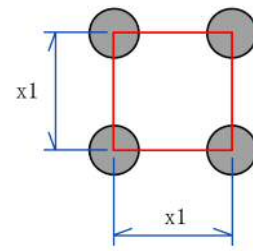
$$A_s = \pi \times \frac{d_s^2}{4} = \pi \times \frac{(700 \times 10^{-3})^2}{4} = 0.3848 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$x_1 = \sqrt{\frac{A_s}{a_s}} = \sqrt{\frac{0.3848}{0.135}} = 1.688 \text{ (m)}$$

打設間隔は 0.050 m 単位で設定することとし、 $x_1 = 1.650$ (m) とする。

ここで、設定した打設間隔による置換率 a_s を再計算する。

$$a_s = \frac{A_s}{x_1^2} = \frac{0.3848}{1.650^2} = 0.141$$



(a) 正方形配置

5. 改良N値の算出

置換率算定式(方法 C)を用いて、所定の置換率となるN値を改良N値とする。改良範囲全深度で $a_s = 0.141$ となるよう各深度の改良N値 (N_1) を変化させて試行計算を行う。

$$\text{最大間隙比} \quad e_{\max} = 0.02 \times F_c + 1.0$$

$$\text{最小間隙比} \quad e_{\min} = 0.008 \times F_c + 0.6$$

$$\text{相対密度} \quad D_{r0} = 21 \times \sqrt{\frac{N_0}{0.7 + \sigma'_{vb} / 100.0}}$$

$$\text{原地盤の間隙比} \quad e_0 = e_{\max} - \frac{D_{r0}}{100} \times (e_{\max} - e_{\min})$$

$$\text{N値増加効果の低減率} \quad \beta = 1.05 - 0.51 \times \log_{10} F_c$$

$$\text{細粒分の影響がない場合の改良後のN値} \quad N_1' = N_0 + \frac{N_1 - N_0}{\beta}$$

$$\text{改良後の相対密度} \quad D_{r1} = 21 \times \sqrt{\frac{N_1'}{0.7 + \sigma'_{vb} / 100.0}}$$

$$\text{改良後の地盤の間隙比} \quad e_1 = e_{\max} - \frac{D_{r1}}{100} \times (e_{\max} - e_{\min})$$

$$\text{置換率} \quad a_s = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0}$$

単位換算 : $1(\text{kgf}/\text{cm}^2) = 100.0(\text{kN}/\text{m}^2)$

改良N値 -1 ($x_1 = 1.650 \text{ m}$, $a_s = 0.141$)

No	境界	適用土質	深度		N値		細粒分含有率 F_c (%)	有効上載圧 σ'_{vb} (kN/m^2)	N値増分 ΔN	間隙比	
			(地表) x (m)	(調査) x (m)	初期 N_0	目標 N_1				最大 e_{\max}	最小 e_{\min}
1	上面		0.000	0.000							
2	水位		1.000	1.000							
3			1.001	1.001	3.9	10.0	15.0	17.01	6.1	1.300	0.720
4			2.000	2.000	4.4	11.2	15.0	26.50	6.8	1.300	0.720
5			3.000	3.000	4.8	12.2	15.0	36.00	7.4	1.300	0.720
6			4.000	4.000	5.2	13.3	15.0	45.50	8.1	1.300	0.720
7			5.000	5.000	5.7	14.5	15.0	55.00	8.8	1.300	0.720
8			6.000	6.000	6.1	15.5	15.0	64.50	9.4	1.300	0.720
9	下面	砂質	6.000	6.000							

改良N値 -2 (x1 = 1.650 m、a_s = 0.141)

No	境界	適用土質	深度		原地盤		細粒分の影響		改良後地盤		置換率 方法C a _s
			(地表) x (m)	(調査) x (m)	相対密度 D _{r0} (%)	間隙比 e ₀	低減率 β	改良後N値 N ₁ '	相対密度 D _{r1} (%)	間隙比 e ₁	
1	上面		0.000	0.000							
2	水位		1.000	1.000							
3			1.001	1.001	44.460	1.042	0.450	17.456	94.060	0.754	0.141
4			2.000	2.000	44.842	1.040	0.450	19.511	94.427	0.752	0.141
5			3.000	3.000	44.688	1.041	0.450	21.244	94.012	0.755	0.140
6			4.000	4.000	44.558	1.042	0.450	23.200	94.118	0.754	0.141
7			5.000	5.000	44.844	1.040	0.450	25.256	94.394	0.753	0.141
8			6.000	6.000	44.722	1.041	0.450	26.989	94.070	0.754	0.141
9	下面	砂質	6.000	6.000							

6. 対策工の照査

決定した改良N値を用いて液状化抵抗率FLを算出し、対策後の液状化判定を行う。

液状化判定(対策後)

No	境界	適用土質	深度		層厚 H _i (m)	N値 N	せん断 応力比 (レベル1) L	せん断 強度比 (レベル1) R	抵抗率 (レベル1) F _L	有効層圧		抵抗率 (平均) F _L (レベル1)
			(地表) x (m)	(調査) x (m)						W _i (m)	ΣW _i (m)	
1	上面		0.000	0.000								
2	水位		1.000	1.000	1.000							-
3			1.001	1.001	0.001	10.0	0.177	0.332	1.876	0.500		
4			2.000	2.000	0.999	11.2	0.240	0.336	1.400	1.000		
5			3.000	3.000	1.000	12.2	0.267	0.332	1.243	1.000		
6			4.000	4.000	1.000	13.3	0.281	0.333	1.185	1.000		
7			5.000	5.000	1.000	14.5	0.288	0.335	1.163	1.000		
8			6.000	6.000	1.000	15.5	0.291	0.333	1.144	0.500		
9	下面	砂質	6.000	6.000	0.000						5.000	1.300

(詳細1)

No	境界	適用土質	深度		層厚 H _i (m)	N値 N	全上載圧 (地表) σ _v (kN/m ²)	有効上載圧		低減係数 r _d	細粒分含有率 F _c (%)	平均粒径 D ₅₀ (mm)
			(地表) x (m)	(調査) x (m)				(地表) σ' _v (kN/m ²)	(調査) σ' _{vb} (kN/m ²)			
1	上面		0.000	0.000								
2	水位		1.000	1.000	1.000		17.00	17.00	17.00			
3			1.001	1.001	0.001	10.0	17.02	17.01	17.01	0.985	15.0	1.999
4			2.000	2.000	0.999	11.2	36.50	26.50	26.50	0.970	15.0	1.999
5			3.000	3.000	1.000	12.2	56.00	36.00	36.00	0.955	15.0	1.999
6			4.000	4.000	1.000	13.3	75.50	45.50	45.50	0.940	15.0	1.999
7			5.000	5.000	1.000	14.5	95.00	55.00	55.00	0.925	15.0	1.999
8			6.000	6.000	1.000	15.5	114.50	64.50	64.50	0.910	15.0	1.999
9	下面	砂質	6.000	6.000	0.000		114.50	64.50	64.50			

(詳細2)

No	境界	適用土質	深度		層厚 H _i (m)	N値 N	N値の補正係数		換算 N値 N _i	補正 N値 N _a	三軸 強度比 R _L	補正係数 (レベル1) c _w
			(地表) x (m)	(調査) x (m)			c1	c2				
1	上面		0.000	0.000								
2	水位		1.000	1.000	1.000							
3			1.001	1.001	0.001	10.0	1.10	0.28	19.538	21.772	0.332	1.000
4			2.000	2.000	0.999	11.2	1.10	0.28	19.731	21.984	0.336	1.000
5			3.000	3.000	1.000	12.2	1.10	0.28	19.566	21.803	0.332	1.000
6			4.000	4.000	1.000	13.3	1.10	0.28	19.576	21.814	0.333	1.000
7			5.000	5.000	1.000	14.5	1.10	0.28	19.720	21.972	0.335	1.000
8			6.000	6.000	1.000	15.5	1.10	0.28	19.591	21.830	0.333	1.000
9	下面	砂質	6.000	6.000	0.000							

また、締固めによる強度増加を考慮し、改良範囲の内部摩擦角 ϕ を次式により求める。
 なお、N値については各地層の平均値とする。

$$\phi = \sqrt{12 \times N} + 25$$

内部摩擦角

No	境界	適用土質	深度		層厚 H _i (m)	N値 N	【改良後】	
			(地表) x (m)	(調査) x (m)			N値 (平均) N	内部 摩擦角 ϕ (°)
1	上面		0.000	0.000			-	-
2	水位		1.000	1.000	1.000		-	-
3			1.001	1.001	0.001	10.0		
4			2.000	2.000	0.999	11.2		
5			3.000	3.000	1.000	12.2		
6			4.000	4.000	1.000	13.3		
7			5.000	5.000	1.000	14.5		
8			6.000	6.000	1.000	15.5		
9	下面	砂質	6.000	6.000	0.000		12.300	37.1