

固化系液状化対策における残留沈下予測

大林組 正会員 ○伊藤 浩二

1. 目的

液状化が予想される地盤では、地震後の変状（残留沈下、残留傾斜等）を防止するために、固化系の液状化対策が適用される場合がある。液状化地盤の地震後の残留変位は、既往指針等¹⁾により予測が可能であるが、固化系液状化対策では、例えば車両の走行性を確保する上で、固化体内部土と固化体との残留相対沈下が重要となる場合がある。したがって、レベル2地震動においては、固化体内部土の液状化および準液状化に応じた地震後の残留沈下の予測が必要と考えられる。本研究では、固化系液状化対策の地震後の残留沈下に関する簡易な予測方法とその適用性を検討した。

2. 方法

図1に対象とした固結工法の改良形式を示す。接円式、杭式では、固化体内部土と固化体で構成される複合地盤の地震時の繰返しせん断ひずみ γ_d を基に、図2により固化体内部土で生じる過剰間隙水圧比 r_u を設定する。格子式では、接円式、杭式と異なり格子寸法比を基に、図3により r_u を設定する。固化体内部土の地震後の残留沈下は、接円式、杭式、格子式で同様に、 r_u に応じて固化体内部土の体積ひずみ ε_v を基に推定する。

複合地盤の γ_d では、(1)式のHardin-Drnevichモデルを仮定する。複合地盤の地震時の繰返しせん断応力 τ_d では、既往指針¹⁾の液状化判定で得られる繰返しせん断応力比を援用する。複合地盤の初期せん断剛性 G_0 、複合地盤のせん断強度 τ_f では、改良率 a_s で(2)、(3)式を仮定する。固化体内部土の G_{01} では、既往指針等の N 値によるせん断波速度 V_s と湿潤密度 ρ_t 、固化体の G_{02} では、初期ヤング率 E とポアソン比 ν より推定する。固化体内部土の τ_{f1} 、固化体の τ_{f2} では、Coulomb規準を仮定する。以上より、液状化判定の各層毎の γ_d は、複合地盤の τ_d 、 G_0 、 τ_f を(1)式に代入することにより得られる。

$$\gamma_d = \frac{\tau_d}{G_0 \cdot (1 - \tau_d / \tau_f)} \quad (1) \quad G_0 = \left(1 - \frac{a_s}{100}\right) \cdot G_{01} + \frac{a_s}{100} \cdot G_{02} \quad (2) \quad \tau_f = \left(1 - \frac{a_s}{100}\right) \cdot \tau_{f1} + \frac{a_s}{100} \cdot \tau_{f2} \quad (3)$$

固化体内部土の地震後の残留沈下を得る ε_v は、文献4)の(4)、(5)式で推定する。(4)式の勾配 ρ では、既往指針の液状化判定で N 値、初期有効土被り圧 σ'_z が与条件であることからMeyerhof式により D_r を推定し、(5)式により推定する。(4)式のパラメータ p_i' では、原地盤の既往指針¹⁾の液状化判定で得られる液状化後の体積ひずみ ε_v を用いて、(6)式により推定する（ $p_0' = \sigma'_z$ を仮定。）固化体内部土の液状化、準液状化に応じた地震後の ε_v は、 r_u に応じて(7)式で算定し、残留沈下は各層毎の ε_v に層厚を乗じて得られる。

$$\varepsilon_v = \rho \cdot \ln \left(\frac{p_0' + p_i'}{p_i'} \right) \quad (4) \quad \rho = 0.00272 - 0.00102 \cdot \frac{D_r}{100} \quad (5) \quad p_i' = \frac{p_0'}{e^{\varepsilon_v / \rho} - 1} \quad (6) \quad \varepsilon_v = \rho \cdot \ln \left(\frac{p_0' + p_i'}{(1 - r_u)p_0' + p_i'} \right) \quad (7)$$

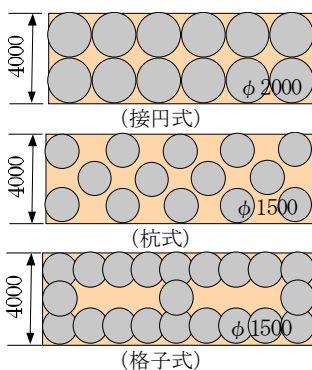


図1 改良形式

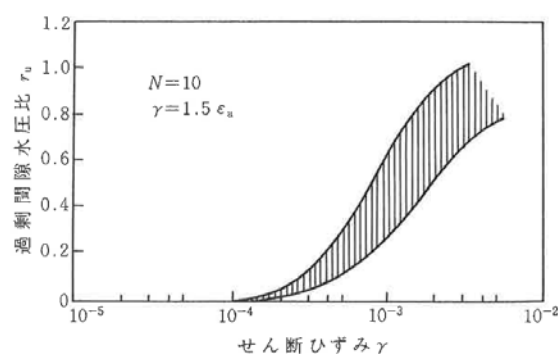


図2 過剰間隙水圧比とせん断ひずみ²⁾

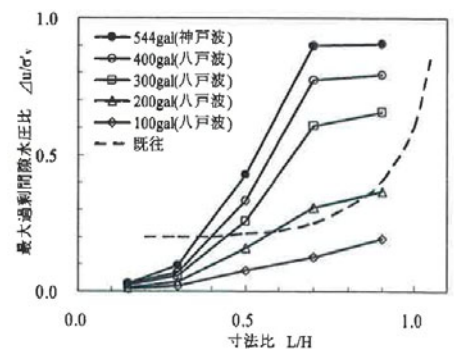


図3 過剰間隙水圧比と格子寸法比³⁾

キーワード：深層混合処理，液状化，残留変位

連絡先：〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640 (株)大林組技術研究所 TEL：0424-95-1103 FAX：0424-95-0904

3. 結果

表1に原地盤における既往指針¹⁾による液状化判定 ($\alpha_{\max}=350\text{Gal}$)と地震後の残留沈下、表2に接円式 ($a_s=78.5\%$)における残留沈下を示す。原地盤では深度3~15mで $F_\ell < 1$ となり、残留沈下20cmである。接円式では γ_d が最大 3.61×10^{-4} となり、図2より各層で一律 $r_u=0.1$ を仮定すると残留沈下0.2cmである。図4、5に表1、2の条件で得られる杭式における γ_d - a_s 関係、残留沈下- a_s 関係を示す。図1の杭式は $a_s=56.5\%$ に相当し、残留沈下0.5cmとなる。固化体内部土では a_s が30%までは γ_d 、残留沈下の増加が小さいが、 a_s が30%より小さくなると γ_d 、残留沈下の増加が大きくなる傾向である。

表3に図1の格子式における残留沈下を示す。 $\alpha_{\max}=350\text{Gal}$ 、格子寸法比 $L/H=4.2/12=0.35$ を基に、図3より各層で一律 $r_u=0.2$ を仮定すると残留沈下0.58cmとなる。ここで、図1の格子式は $a_s=44.3\%$ に相当し、図5における接円式、杭式、原地盤の改良率に応じて得られる残留変位の傾向と概ね整合する。

4. まとめ

固化系液状化対策において、既往指針を援用したレベル2地震動後の固化体内部土の残留沈下に関する簡易予測により、接円式、杭式、格子式の異なる改良形式で概ね整合した残留沈下を推定できる可能性があることを確認した。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、pp.61-72、2001.
- 2) 社団法人地盤工学会：地盤工学・実務シリーズ18 液状化対策工法、pp.77-84、2004.
- 3) 小竹望、北出圭介、青木一二三、米澤豊司、畑英一、松雪光明：L2地震動に対応する格子状固化改良による液状化対策工、土木学会第58回年次学術講演会、pp.1249-1250、2003.
- 4) 仙頭紀明、風間基樹、渦岡良介：非排水繰返しせん断履歴後の再圧密実験と体積収縮特性のモデル化、土木学会論文集、No.764/III-67、pp.307-317、2004.

表1 液状化判定と残留沈下 (原地盤)

原地盤	地下水位：地表、M=7.5、 $\gamma_n=0.65$ 、 $\alpha_{\max}=350\text{Gal}$									
深度 (m)	N値	土質名	F _c (%)	γ_t (kN/m ³)	N _a	τ_1/σ'_z	τ_d/σ'_z	F _ℓ	ε_v (%)	沈下 (cm)
1.0	10	埋立土	23	18.4	42.1	0.60	0.49	1.23	—	—
2.0					32.2	0.60	0.48	1.25	—	—
3.0					27.8	0.60	0.47	1.26	—	—
4.0					25.2	0.46	0.47	0.99	1.0	1.0
5.0					23.4	0.34	0.46	0.74	1.0	1.0
6.0					22.1	0.28	0.45	0.62	1.0	1.0
7.0					21.1	0.26	0.44	0.58	1.0	1.0
8.0					20.2	0.24	0.44	0.55	2.0	2.0
9.0					19.6	0.23	0.43	0.54	2.0	2.0
10.0					19.0	0.22	0.42	0.52	2.0	2.0
11.0					18.5	0.21	0.41	0.51	2.0	2.0
12.0					18.0	0.20	0.41	0.49	2.0	2.0
13.0					17.7	0.20	0.40	0.50	2.0	2.0
14.0					17.3	0.19	0.39	0.48	2.0	2.0
15.0					17.0	0.13	0.38	0.34	2.0	2.0
16.0	—	基盤	—	—	—	—	—	計	20.0	

表2 残留沈下 (接円式)

内部土	$\gamma_t=18.4\text{kN/m}^3$ 、 $V_s=172\text{m/s}$ 、 $G_{01}=55775\text{kN/m}^2$ 、 $\phi'=27^\circ$ 、 $C=0\text{kN/m}^2$									
固化体	$q_u=500\text{kN/m}^2$ 、 $E=500000\text{kN/m}^2$ 、 $\nu=0.167$ 、 $G_{02}=214225\text{kN/m}^2$ 、 $a_s=78.5\%$									
深度 (m)	G_0 (kN/m^2)	τ_f (kN/m^2)	τ_d (kN/m^2)	γ_d	r_u	D_r (%)	ρ	P_i (kN/m^2)	ε_v (%)	沈下 (cm)
1.0	180221	197.3	4.2	2.39E-05	0.1	74.8	1.96E-03	—	—	—
2.0	180221	198.2	8.3	4.80E-05	0.1	71.0	2.00E-03	—	—	—
3.0	180221	199.2	12.2	7.23E-05	0.1	67.7	2.03E-03	—	—	—
4.0	180221	200.1	16.1	9.69E-05	0.1	64.8	2.06E-03	0.270	0.02	0.02
5.0	180221	201.1	19.8	1.22E-04	0.1	62.2	2.09E-03	0.358	0.02	0.02
6.0	180221	202.0	23.3	1.46E-04	0.1	60.0	2.11E-03	0.454	0.02	0.02
7.0	180221	202.9	26.8	1.71E-04	0.1	57.9	2.13E-03	0.554	0.02	0.02
8.0	180221	203.9	30.1	1.96E-04	0.1	56.1	2.15E-03	0.006	0.02	0.02
9.0	180221	204.8	33.3	2.20E-04	0.1	54.4	2.17E-03	0.008	0.02	0.02
10.0	180221	205.8	36.3	2.45E-04	0.1	52.9	2.18E-03	0.009	0.02	0.02
11.0	180221	206.7	39.2	2.69E-04	0.1	51.5	2.20E-03	0.010	0.02	0.02
12.0	180221	207.6	42.0	2.92E-04	0.1	50.2	2.21E-03	0.012	0.02	0.02
13.0	180221	208.6	44.7	3.16E-04	0.1	48.9	2.22E-03	0.014	0.02	0.02
14.0	180221	209.5	47.2	3.38E-04	0.1	47.8	2.23E-03	0.015	0.02	0.02
15.0	180221	210.5	49.7	3.61E-04	0.1	46.8	2.24E-03	0.017	0.02	0.02
16.0	—	—	—	—	—	—	—	—	計	0.2

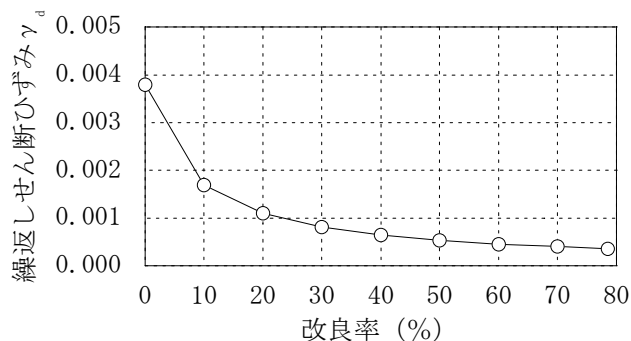


図4 繰返しせん断ひずみと改良率

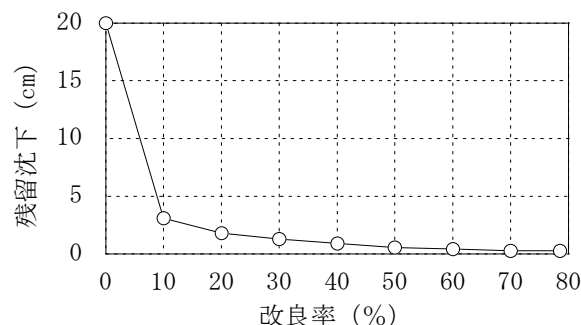


図5 残留沈下と改良率

表3 残留沈下 (格子式)

深度 (m)	r_u	D_r (%)	ρ	P_i (kN/m^2)	ε_v (%)	沈下 (cm)
1.0	0.2	74.8	1.96E-03	—	—	—
2.0		71.0	2.00E-03	—	—	—
3.0		67.7	2.03E-03	—	—	—
4.0		64.8	2.06E-03	0.270	0.05	0.05
5.0		62.2	2.09E-03	0.358	0.05	0.05
6.0		60.0	2.11E-03	0.454	0.05	0.05
7.0		57.9	2.13E-03	0.554	0.05	0.05
8.0		56.1	2.15E-03	0.006	0.05	0.05
9.0		54.4	2.17E-03	0.008	0.05	0.05
10.0		52.9	2.18E-03	0.009	0.05	0.05
11.0		51.5	2.20E-03	0.010	0.05	0.05
12.0		50.2	2.21E-03	0.012	0.05	0.05
13.0		48.9	2.22E-03	0.014	0.05	0.05
14.0		47.8	2.23E-03	0.015	0.05	0.05
15.0		46.8	2.24E-03	0.017	0.05	0.05
16.0	—	—	—	—	計	0.58