

低改良率の深層混合処理地盤の沈下予測フローの提案と計算例

神戸市立工業高等専門学校 正会員 ○野並 賢
 日建設計 (元神戸市立工業高等専門学校) 鈴木 美結
 神戸市立工業高等専門学校 正会員 鳥居 宣之

1. 検討目的と沈下予測式

沈下・安定対策のため低改良の深層混合処理工法が実施されている¹⁾。沈下予測に際しては未改良部に作用する鉛直応力を求める必要があり、筆者らは別途実施している室内土槽による実験結果^{2),3),4)}に基づき、土被り圧に対する未改良部に作用する鉛直応力の比である応力分担係数 β の予測式を提案している⁵⁾。

深層混合処理工法の未改良部に作用する鉛直応力 σ は次の式(1)~(5)で求められる。

$$\sigma_s = \beta_s \cdot \sigma_0 \quad (1) \quad \beta_s = \beta_s' / (d/w)^{0.5} \quad (2) \quad \beta_s' = A \cdot \ln(\sigma_0/\lambda) + B \quad (3)$$

$$A = (-0.0092\phi + 1.40) \cdot (0.039\ln(s_{40}) - 0.087) \quad (4) \quad B = (-0.014\phi + 1.59) \cdot (-0.19\ln(s_{40}) + 0.45) \quad (5)$$

ここで、 σ_s ：未改良部に作用する鉛直応力(kN/m²)、 σ_0 ：無対策時の基礎地盤に作用する土被り圧(kN/m²)、 β_s ：応力分担係数、 β_s' ：正規化応力低減係数、 d/λ ：改良率、 d ：改良幅(m)、 λ ：有効改良間隔(m)、 σ_0/λ ：盛土荷重係数(kN/m²/m)、 ϕ ：せん断抵抗角(°)、 s_{40} ： $\sigma_0/w = 40$ における沈下量(m)

本報は上記の予測式を用いた検討フローを示すとともに、沈下計算に必要な物性値の感度分析結果を示すことにより、予測式の適用性を検証するものである。

2. 沈下予測フローに基づく計算例の提示

図-1 に筆者らが提案する低改良深層混合処理地盤の沈下予測フローを示した。施工期間および盛土形状、許容残留沈下量を設定したのち、地盤調査結果より基礎地盤と盛土の物性値を設定して無対策での沈下計算を実施する。許容値を超える残留沈下量が予測された場合、深層混合処理工法の改良径 d と有効改良間隔 λ を仮設定し、盛土荷重係数 $\sigma_0/\lambda = 40$ ととなる土被り圧 σ_0 での沈下量 s_{40} (m)とせん断抵抗角 ϕ (°)から応力分担係数 β_s を求め、未改良部の残留沈下量を算出する。その結果が許容値以内であれば設計終了となる。なお、地表面沈下量は基礎地盤沈下量よりも小さくなるが、本検討では便宜的に両者が一致するとした。

このフローに基づき、図-2 および表-1 に示すように $\sigma_0 = 200\text{kN/m}^2$ の盛土をしたときに $s_0 = 2.5\text{m}$ の圧密沈下を生じる地盤に対し、沈下計算開始時より1年後の残留沈下量が0.2mになるような改良率を試算した。物性値は C_c 法(圧密降伏応力 P_c を過圧密比 $\text{OCR} = 1.5$ と過圧密量 $\Delta P = 20\text{kN/m}^2$ の2種類で設定)と m_v 法の3種類とした。深層混合処理杭は正方形配置とし直径 $d = 1.0\text{m}$ 、改良間隔 λ は $\lambda' = \lambda / 1.13$ である。盛土のせん断抵抗角は $\phi = 35^\circ$ とした。この条件を基本ケース(CASE1)として、

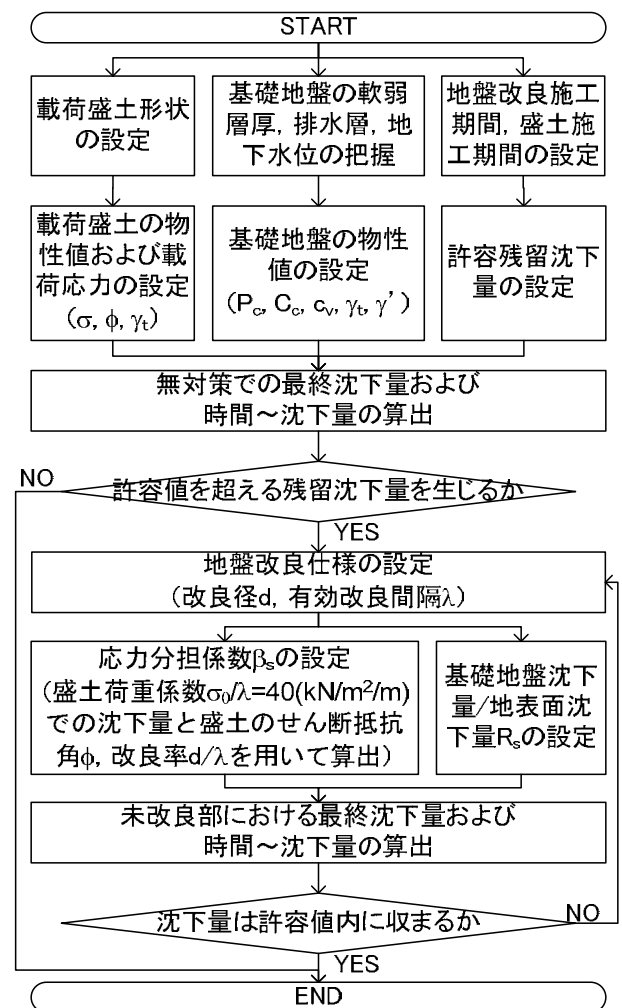


図-1 低改良深層混合処理地盤の沈下予測フロー

キーワード 深層混合処理工法, 改良率, 応力分担比, 圧密, 沈下予測

連絡先

〒651-2102 神戸市西区学園東町 8-3 神戸市立工業高等専門学校 TEL 078-795-3267

$\phi=30^\circ/40^\circ$ とした場合 (CASE2/ CASE3), C_c もしくは m_v を調整して $s=3.5m/1.5m$ とした場合 (CASE4/CASE5), $d=0.8m/1.5m$ とした場合 (CASE6/CASE7) の試算を行った。

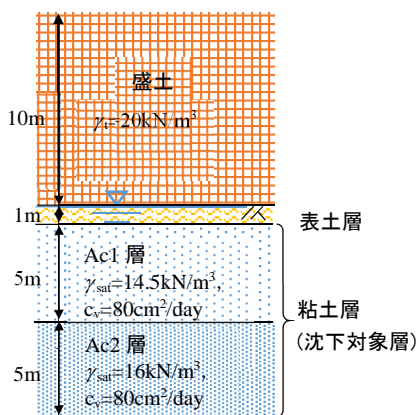


図-2 地層モデル

図-2 に CASE1, 物性値 A での時間～沈下関係を示した。無対策の場合の残留沈下量は 1.54m であり, 残留沈下量を 0.2m にするためには, 対策後総沈下量を 0.33m 以下にする必要がある。この値以下になるよう改良間隔を 0.1m ピッチで試行的に設定した。その結果を表-2 にまとめた。これより, CASE1 では改良率 $a_p=12\sim24\%$ と, 物性値の設定方法によりに差は生じるがいずれも一般的な値の範囲となった。また,

表-1 物性値パターン毎の設定物性値一覧

設定パターン	物性値A		物性値B		物性値C	
	Ac1層	Ac2層	Ac1層	Ac2層	Ac1層	Ac2層
圧縮指数 C_c	1.083	0.812	1.210	0.908	-	-
膨潤指数 C_s	0.108	0.081	0.121	0.091	-	-
圧密降伏応力 P_c の設定	OCR=1.5		$\Delta P_c=20kN/m^2$		-	-
体積圧縮係数 $m_v (m^2/kN)$	-	-	-	-	0.00143	0.00107
初期間隙比 e_0	2.461	1.624	2.461	1.624	-	-

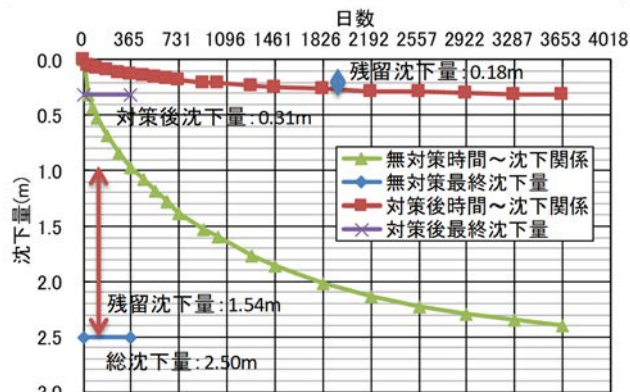


図-2 時間～沈下関係 (CASE1, 物性値 A)

CASE2/ CASE3 との比較より, 盛土のせん断抵抗角 ϕ が大きくなると応力分担係数 β_s が小さくなるため改良率も小さくなる。CASE4/ CASE5 との比較から基礎地盤の沈下量が大きくなると改良率も大きくなるが, 沈下量に比例して盛土内のせん断層に生じるせん断力の影響により未改良部直上盛土に上向きの力が発生するため, 両者は線形関係とはならない。また, CASE6/ CASE7 との比較より, 改良径を大きくすると改良率も大きくして未改良部の幅を狭める必要がある結果となった。

参考文献: 1) ALiCC 工法研究会編: ALiCC 工法マニュアル 低改良率セメントコラム工法, 2015. 2) 野並ら: 室内土槽による深層混合処理工法の応力分担機構に関する実験的検討, 第56回地盤工学研究発表会講演集, 2021. 3) 野並ら: 深層混合処理工法の沈下特性に与える盛土材と未改良部の剛性の影響, 第56回地盤工学研究発表会講演集, 2021. 4) 野並ら: 室内土槽による低改良率の深層混合処理工法における沈下特性の評価, 第57回地盤工学研究発表会講演集, 2022. 5) 野並ら: 低改良率の深層混合処理工法における応力分担係数予測式の提案, 第57回地盤工学研究発表会講演集, 2022.

表-2 計算結果一覧

計算ケース	物性値	せん断抵抗角 $\phi(^{\circ})$	無対策沈下量 $s_0(m)$	杭径 $d(m)$	改良間隔 $\lambda'(m)$	盛土荷重係数 σ_0/λ^*	基準沈下量 $s_{40}(m)$	改良率 $a_p(\%)$	係数A	係数B	応力分担係数 β	未改良部作用応力 $\sigma_s(kN/m^2)$	改良部作用応力 $\sigma_c(kN/m^2)$	応力分担比 n	対策後沈下量 (m)	
基本ケース (CASE1)	$\phi=35^\circ$ $s_0=2.5m$ $d=1.0m$	A	35	2.50	1	1.8	98.3	1.51	24.2%	-0.076	0.409	0.083	16.6	775.5	46.8	0.31
		B	35	2.50	1	2.5	70.8	1.77	12.5%	-0.070	0.376	0.132	26.4	1412.1	53.6	0.30
		C	35	2.50	1	2.2	80.5	1.24	16.2%	-0.085	0.449	0.123	24.6	1108.4	45.0	0.31
盛土の ϕ の感度分析 (CASE2) (CASE3)	$\phi=30^\circ$	A	30	2.50	1	1.2	147.5	1.12	54.4%	-0.093	0.501	0.086	17.2	353.3	20.5	0.32
		B	30	2.50	1	2.2	80.5	1.62	16.2%	-0.077	0.420	0.131	26.2	1100.3	42.0	0.29
		C	30	2.50	1	2.0	88.5	1.13	19.6%	-0.092	0.499	0.128	25.5	916.6	35.9	0.31
	$\phi=40^\circ$	A	40	2.50	1	2.0	88.5	1.62	19.6%	-0.070	0.369	0.081	16.1	955.2	59.2	0.32
		B	40	2.50	1	2.9	61.0	1.95	9.3%	-0.063	0.333	0.134	26.8	1886.4	70.3	0.31
		C	40	2.50	1	2.6	68.1	1.47	11.6%	-0.074	0.388	0.128	25.6	1531.2	59.9	0.31
基礎地盤の感度分析 (CASE4) (CASE5)	$s_0=3.5m$	A'	35	3.50	1	1.3	136.1	1.67	46.3%	-0.072	0.388	0.067	13.4	416.1	31.1	0.32
		B'	35	3.50	1	2.6	68.1	2.54	11.6%	-0.055	0.300	0.119	23.9	1544.0	64.6	0.31
		C'	35	3.50	1	1.9	93.2	1.50	21.7%	-0.077	0.410	0.091	18.2	856.1	46.9	0.31
	$s_0=1.5m$	A''	35	1.50	1	2.2	80.5	1.03	16.2%	-0.093	0.489	0.131	26.1	1100.8	42.1	0.32
		B''	35	1.50	1	2.7	65.6	1.12	10.7%	-0.089	0.471	0.173	34.6	1574.5	45.5	0.31
		C''	35	1.50	1	3	59.0	1.01	8.7%	-0.093	0.492	0.206	41.3	1865.5	45.2	0.31
杭径の感度分析 (CASE6) (CASE7)	$d=0.8m$	A	35	2.50	0.8	1.5	118.0	1.33	22.3%	-0.082	0.436	0.085	17.1	838.2	49.0	0.32
		B	35	2.50	0.8	2.3	77.0	1.67	9.5%	-0.072	0.388	0.134	26.7	1855.5	69.4	0.31
		C	35	2.50	0.8	2.1	84.3	1.19	11.4%	-0.087	0.459	0.130	25.9	1557.6	60.1	0.32
	$d=1.5m$	A	35	2.50	1.5	2.1	84.3	1.67	40.0%	-0.072	0.388	0.085	17.0	475.0	27.9	0.32
		B	35	2.50	1.5	3.1	57.1	2.04	18.3%	-0.064	0.346	0.134	26.9	971.0	36.1	0.31
		C	35	2.50	1.5	2.7	65.6	1.53	24.2%	-0.076	0.407	0.126	25.3	748.1	29.6	0.32

*盛土荷重係数 σ_0/λ は上限値を100として応力分担係数を求めた。