

3. ディープウェル工法による周辺地盤への影響に関する検討

Examination about Influence on Surrounding Ground by Deep Well Method

山下 勝司*¹ 高稲 敏浩*¹

要 旨

ディープウェル工法による周辺地盤への沈下の影響を、2次元水～土連成弾塑性有限要素法（ソースコード：GEOASIA）によって検討した。解析では、圧密試験、非排水せん断試験の挙動を構成式レベルで再現することにより地盤の材料定数および初期値を決定し、施工過程を再現するように実施した。

解析の結果、盛土載荷の影響により、圧縮勾配の小さい過圧密状態から圧縮勾配の大きい正規圧密領域に応力状態が遷移するため、その後のディープウェル工法に伴う有効応力の増加によって、盛土部の沈下が盛土のないところよりも大きく沈下し、沈下を示す領域（影響範囲）が拡大することが分かった。

キーワード：ディープウェル工法／盛土／透水係数／有限要素法

1. はじめに

ディープウェル工法(以下 DW)による周辺地盤への沈下の影響は、定常状態を想定し、推定式を用いて影響半径 R および水位低下量を算定し、その有効応力の増分から沈下量を求める方法が用いられることが多い。しかし、地盤への影響を沈下で評価する場合、地盤の応力状態によって、その影響の範囲は変化すると考えられる。本報では、地盤上の盛土の有無および透水係数の大小によって、DW による周辺地盤への影響がどのように変化するかを水～土連成弾塑性有限要素法を用いて、2次元軸対称条件で検討した¹⁾。

計算には、地盤の変形～破壊までの一連の挙動を解析できる GEOASIA²⁾³⁾を用いた。GEOASIA は、土の弾塑性構成式には土の骨格構造（構造、過圧密、異方性）の記述できる SYS カムクレイモデル⁴⁾を用い、砂質土～中間土～粘性土まであらゆる土、地盤を対象に、変形解析を行うことが可能である。

2. 計算条件および計算方法

2.1 計算条件

計算に用いた有限要素メッシュ、境界条件および材料区分を図-1に示す。なお、図-1は盛土載荷後における有限要素メッシュである。計算では、2次元軸対象条件で行い、図左端を中心とする半径 530m、高さ 22m の断面で、地層構成は、上層(Ac 層)7.8m、下層(Ds 層)14.2m である。比体積と構造の程度は各層で一定とし、過圧密比を土被りに応じて鉛直方向に分布させた。DW は中心から 35.7m の位置で、ポンプ設置深度は GL.-22m である。

2.2 計算に用いた材料定数の決定

(1) Ac 層の材料定数と初期値

盛土あるいはディープウェル等の影響を受けると考えられる Ac 層は、室内土質試験結果に対して、SYS カムクレイモデルによる力学挙動の再現を行い、材料定数・初期値を設定した。地盤内初期応力状態は、 K_0 状態 ($K_0 = 0.6$) にあると仮定し、土被り圧を考慮して決定した。標準圧密試験と非排水せん断試験に対して、同じ材料定数

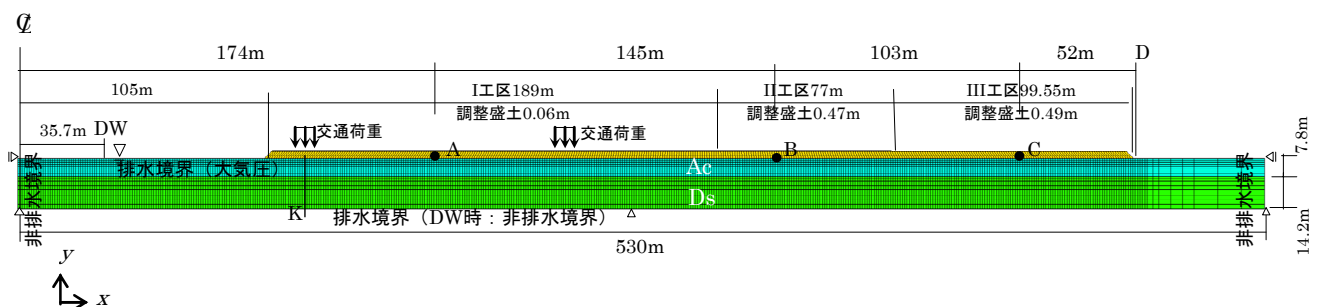


図-1 計算に用いた有限要素メッシュおよび境界条件

*¹ 技術研究所構造研究グループ

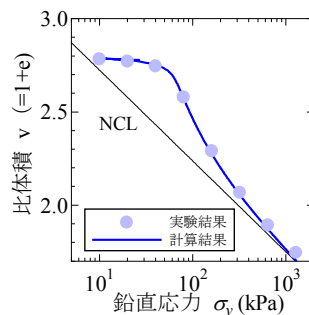
表－1 材料定数および初期値

層	弾塑性パラメーター					発展則パラメーター						初期値				土の密度 ρ_s (t/m ³)	透水係数 k (cm/sec)
	圧縮指数 $\tilde{\lambda}$	膨潤指数 $\tilde{\kappa}$	限界状態 定数 M	NCL の切片 N	ポアソン 比 ν	構造低位化指数 $a \quad b \quad c \quad C_s$				正規圧密 土化指数 m	回転硬化 指数 b_r	回転硬化 限界定数 m_b	応力比 K_0	構造の 程度 $1/R^*_0$	異方性の 程度 K_β		
Ac層	0.21	0.019	1.2	2.18	0.3	0.75	1.0	1.0	0.4	5.0	0.001	1.0	0.6	9.54	1.0	2.78	表2参照
Ds層、盛土	0.05	0.012	1.0	1.98	0.3	2.20	1.0	1.0	1.0	0.1	3.5	0.7	0.6	1.30	0.6	1.84	1.9×10^{-3}

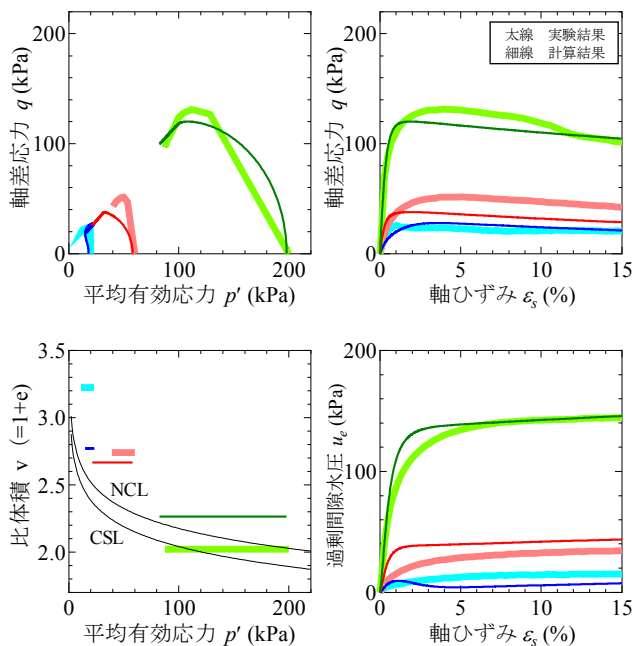
($N_p=98\text{kN/m}^2$ における繰返し土の等方正規圧密線上の比体積)

表－2 Ac 層の透水係数

	Ac層の透水係数	備考
CASE1	$5.9 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$	現場透水試験より
CASE2	$2.0 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$	
CASE3	$2.1 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$	標準圧密試験より



図－2 標準圧密試験の再現結果



図－3 非排水せん断試験の再現結果

と初期値を用いて、サンプリング、供試体作製過程、力学試験までを一貫して再現した。Ac 層の材料定数・初期値を表－1 に、再現結果を図－2, 3 に示す。透水係数については、表－2 に示す現場透水試験から得られたもの (CASE1,2) および、標準圧密試験より求めたもの (CASE3) を採用した。

(2) 盛土層とDs 層の材料定数と初期値

盛土層とDs 層の材料定数・初期値については、物理試験、力学試験の結果がないため、今回の計算結果に影響を及ぼさない程度の密な砂を想定した。さらに、単位体積重量が $\gamma = 18.6 \text{ kN/m}^3$ となるよう比体積で調整した。盛土層とDs 層の材料定数・初期値を表－1 に示す。

2.3 計算方法

計算では、図－4 に示すフローにしたがって、水平地盤を原地盤として、現況地盤を作成した。盛土は有限要素を追加することで再現し⁵⁾、地盤と盛土間の水理境界については、サンドマットなどの排水処理工法が施工されているものとして排水境界 (大気圧) とした。盛土高さは、仕上がり高さで I, II 工区 2.5m、III 工区 2.3m である。また、盛土上に想定される交通荷重については、図－1 の C.L. から 117m および 223m の位置に幅 8m、 16 kN/m^2 の分布荷重を載荷した。さらに、建築物建設前に高さ調整のために実施された盛土については分布荷重で与えた (図－1 参照)。

その後、1 日で DW 設置位置において所定の水位まで低下させ、36 日間水位を保持 (ポンプ稼働)、その後 40 日間で水位回復させ、過剰間隙水圧が消散するまで放置した。計算における DW による地下水位の低下は、地盤下面を非排水境界とし、DW 設置位置において間隙水圧を減少させることで表現した。図－5 に示すように、DW 設置位置で 10m の水位低下したものと、GL-10m 以深の要素の間隙水圧を一律に 98 kPa 減少させた。

透水係数の大小の影響を比較するため、表－2 に示した Ac 層の 3CASE の透水係数について計算した。

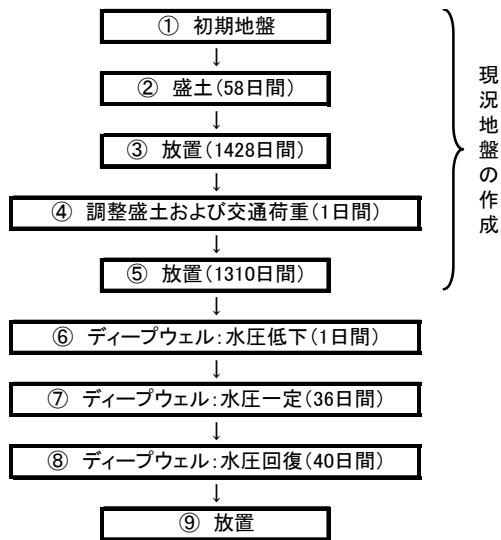


図-4 計算フロー

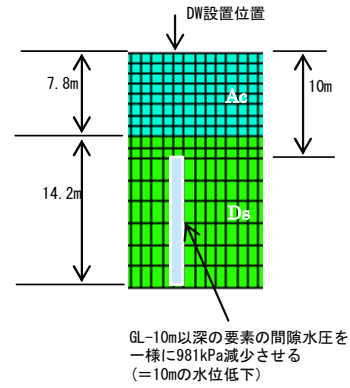
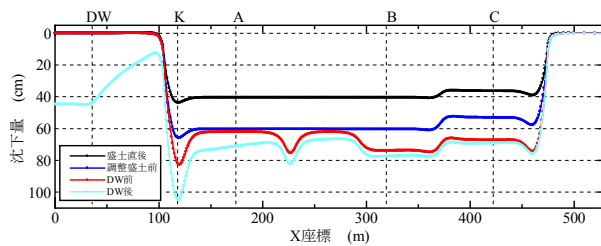


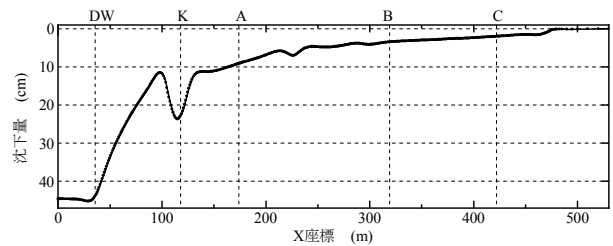
図-5 ディープウェル工法の表現

3. 計算結果

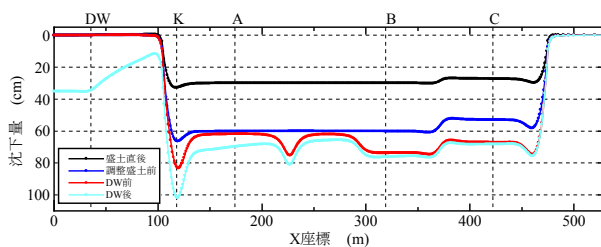
各 CASE における各段階の地表面沈下量分布を図-6 に、DW 開始時を基準とした地表面沈下量分布を図-7 に示す。CASE1,2 と異なり、CASE3 については、Ac 層の透水係数が小さく、DW 開始後の沈下には盛土による圧密沈下も含まれている。そのため、圧密残留沈下量と DW による沈下量を併せて示す。



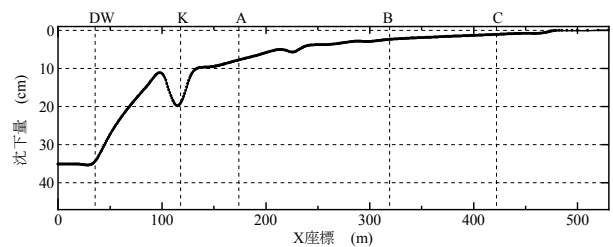
(CASE1)



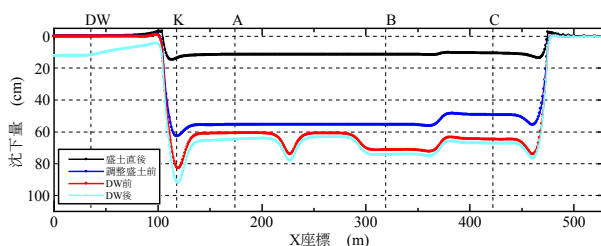
(CASE1)



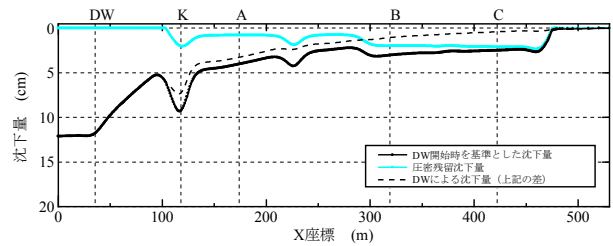
(CASE2)



(CASE2)



(CASE3)



(CASE3)

図-6 各段階における地表面沈下量分布

図-7 DW 開始時からの地表面沈下量分布

DW による周辺地盤への影響は、盛土の最遠部の 475 m 付近まで及んでいる。特に、C.L. から 120m 付近の交通荷重の載荷箇所において、沈下量が大きくなっている。これは、荷重載荷によって、DW による沈下量が大きくなっていると考えられる。さらに、各 CASE の DW による周辺地盤の沈下量を比較すると、透水係数が大きくなるにしたがって、沈下量が大きくなっていることが分かる。

各 CASE において、盛土無の場合についても計算を実施した。図-8 に DW 開始時を基準とした地表面沈下量分布を盛土有の場合と併せて示す。表-3 には、それぞれの場合における DW 開始時からの沈下量を示す。盛土載荷によって、DW による沈下量および影響範囲が大きくなっていることが分かる。また、各 CASE の DW による周辺地盤への影響範囲を比較するために、盛土無の場合における 3mm 以上の沈下を生じた範囲を表-4 に示す。透水係数が小さくなるにしたがって、影響範囲が大きくなっていることが分かる。

代表例として、CASE1 における過剰間隙水圧分布、せん断ひずみ分布を図-9、10 に示す。DW 停止直前の過剰間隙水圧分布の様子からも、盛土載荷によって、DW による周辺地盤への影響範囲が大きくなっていることが見て分かる。

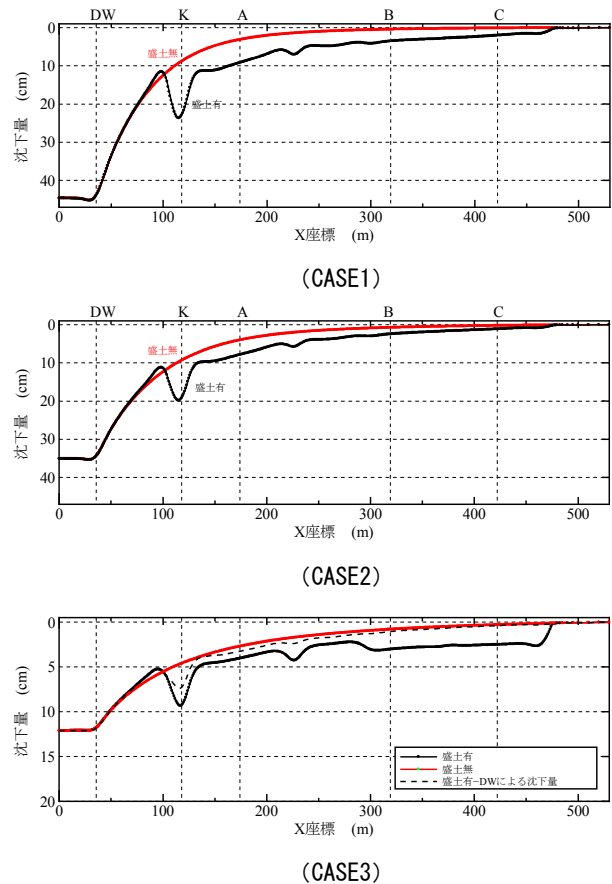


図-8 DW 開始時からの地表面沈下量分布



図-9 過剰間隙水圧分布 (CASE1)

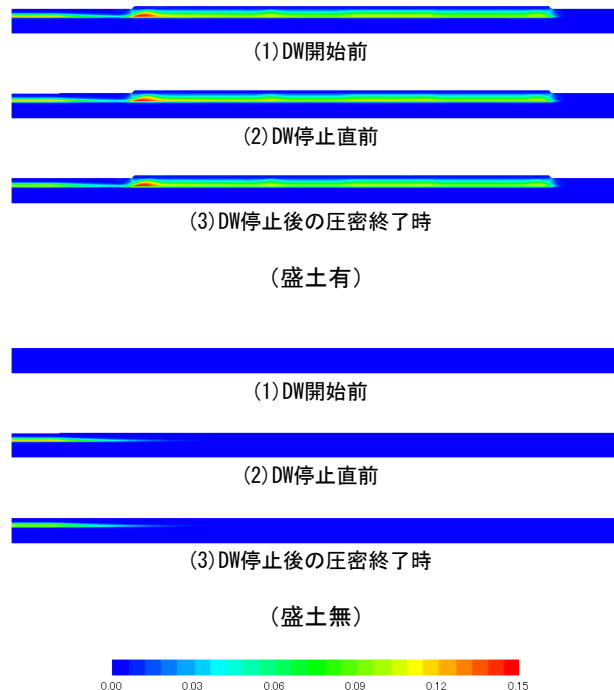


図-10 せん断ひずみ分布 (CASE1)

表－3 DW 開始時からの地表面沈下量の比較

	CASE1		CASE2		CASE3		
	盛土有	盛土無	盛土有	盛土無	盛土有		盛土無
					圧密残留 沈下 含む	圧密残留 沈下 含まない	
点A (CLより174m)	0.092	0.032	0.079	0.041	0.040	0.033	0.027
点B (CLより319m)	0.035	0.005	0.025	0.008	0.030	0.010	0.008
点C (CLより422m)	0.021	0.002	0.012	0.003	0.025	0.004	0.003
右側法員部 (CLより474m)	0.0033	—	0.0033	—	0.0048	0.0018	—
交通荷重載荷部最大値	0.238	—	0.198	—	0.094	0.074	—

単位: m

表－4 3mm 以上の沈下を生じた範囲 (盛土無)

	CASE1	CASE2	CASE3
半径(m)	362	414	425

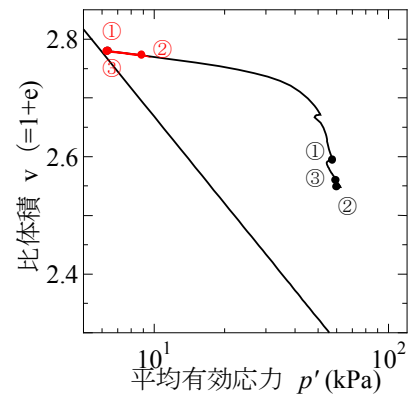
CASE1 における K 地点 (図－1 参照) の各深さの土要素の挙動 (平均有効応力～比体積) を図－11 に示す。黒線が盛土有の場合、赤線が盛土無の場合であり、図中①は DW 実施直前、②は DW 停止時、③は放置後である。盛土载荷によって、地盤の有効応力が圧密降伏応力を超えれば正規状態となったため、DW による水圧の低下すなわち有効応力の増加によって、沈下量が増えたことが分かる。

4. まとめ

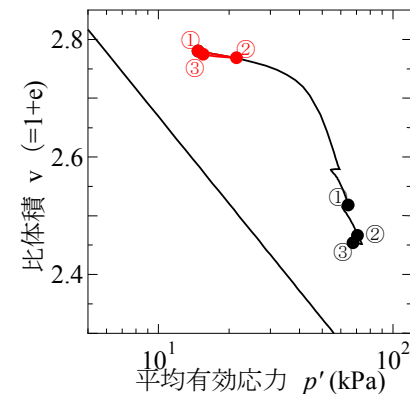
盛土载荷の影響によって、圧縮勾配の小さい過圧密状態から圧縮勾配の大きい正規圧密領域に応力状態が遷移するため、その後の DW に伴う有効応力の増加によって、盛土部の沈下が盛土のないところよりも大きく沈下する。DW から十分離れた地点でも、少しの有効応力増加によって沈下を示す領域 (影響範囲) が拡大する。また、今回のような地層構成で上層地盤の透水性が低くなると、盛土载荷の影響の有無にかかわらず、沈下の領域 (影響範囲) が拡大することが分かった。

[謝 辞]

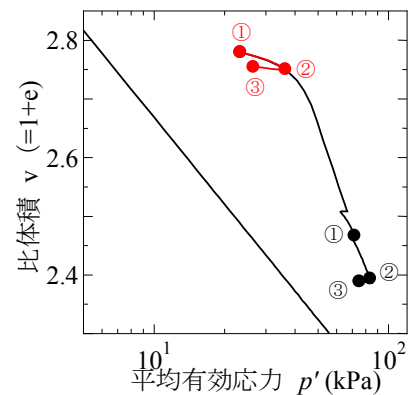
解析にあたって御指導いただいた名古屋大学野田利弘教授、計測データの提供などのご支援を頂いた日本下水道事業団東海総合事務所に感謝の意を表します。



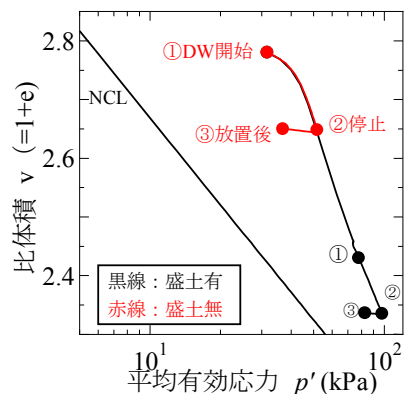
(a) GL-1.5m



(b) GL-3.4m



(c) GL-5.4m



(d) GL-7.3m

図－11 土要素の挙動の比較 (CASE1)

[参考文献]

- 1) 高稲敏浩、山下勝司、野田利弘：ディープウェル工
による周辺地盤への影響に関する検討，第 66 回土
木学会年次学術講演会概要集Ⅲ,pp.293-294,2011.
- 2) Asaoka, A. and Noda, T.: All soils all states all round
geo-analysis integration, International Workshop on
Constitutive Modeling - Development, Implementation,
Evaluation, and Application, Hong Kong, China,
pp.11-27, 2007.
- 3) Noda, T., Asaoka, A. and Nakano, M.: Soil-water coupled
finite deformation analysis based on a rate-type equation
of motion incorporating the SYS Cam-clay model, Soils
and Foundations, Vol.48, No.6, pp.771-790,2008.
- 4) Asaoka, A., Noda, T., Yamada, E., Kaneda, K., Nakano, M.:
An elasto-plastic description of two distinct volume
change mechanisms of soils, Soils and Foundations,
Vol.42, No.5, pp.47-57, 2002.
- 5) Toshihiro, T., Mutsumi, T., Takahiko, S., Toshihiro, N. and
Akira, A.: Predictive simulation of deformation and failure
of peat-calcareous soil layered ground due to multistage
test embankment loading, Soils and Foundations, Vol. 50,
No.2, pp.245-260, 2010.