

パイルドラフト基礎を有する飽和地盤の変形挙動に対する2次元・3次元解析

名古屋大学 正会員 野田利弘 浅岡顕
 名古屋大学 学生会員 ○田代むつみ 浅井順香
 (株)浅沼組技術研究所 正会員 高稲敏浩

1. はじめに

本報では、パイルドラフト基礎を有する飽和自然堆積地盤の変形挙動について、スラブ・杭・地盤間の相互作用を考慮した2次元平面ひずみ条件及び3次元条件による解析を行い、基礎形式（杭長・杭配置）の違いが沈下量・荷重分担率に及ぼす影響を示す。基礎は弾性体、地盤は水～土2相系を仮定し、土の弾塑性構成式には骨格構造（構造・過圧密・異方性）¹⁾の働きを制御する発展則の違いにより砂と粘土の両者を統一的に取り扱うSYSカムクレイモデル(Super/subloading²⁾ Yield Surface cam-clay model³⁾を用いた。

2. 解析条件

3次元条件での有限要素メッシュと境界条件を図1に示す。地盤・荷重条件などの対称性を仮定し、3次元条件では1/4領域を、2次元平面ひずみ条件では1/2断面を解析対象とする。地盤は上から中密な砂層、厚く堆積した軟弱粘土層、密な砂からなる基盤層の粘土・砂互層地盤を想定し、表1に示す材料定数・初期値を用いた。地盤の初期状態は簡単のため、初期骨格構造は各層で深さ方向に均一と仮定し、土被り圧に応じてその他の初期状態を決定した。本報ではパイルドラフトはすべて1m厚・18m×18m幅の基礎スラブに0.7m角の杭を配置し、杭長および杭配置の違いによる影響を調べた。基礎の設置は、自重を考慮しながら基礎に該当する部分の土要素を除去すると同時に、表2に示す線形弾性体で「瞬時」に置換することで表現した。载荷条件は、载荷速度1kN/m²/dayで50日間等分布荷重を漸増载荷後、一定放置とした。

表2 弾性体の材料定数

弾性係数 (kN/m ²)	2.1×10 ⁷
ポアソン比	0.4
単位体積重量 (kN/m ³)	25.0

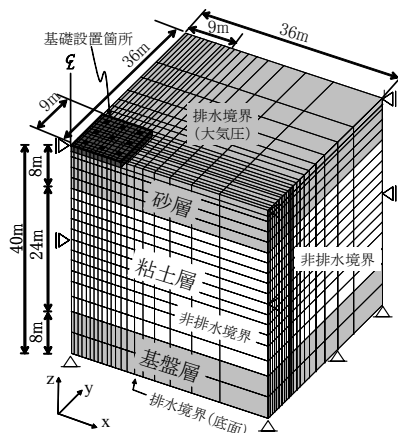
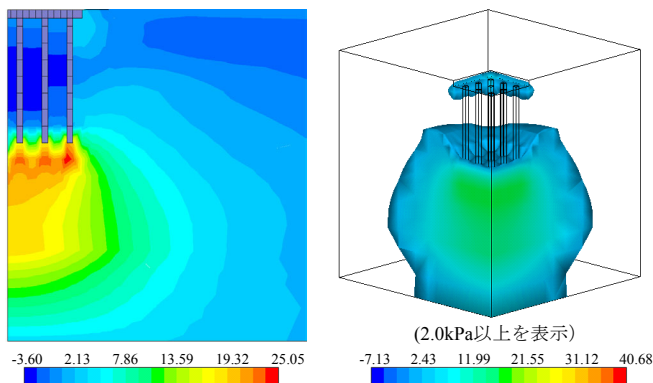


図1 有限要素メッシュと境界条件(3次元条件)

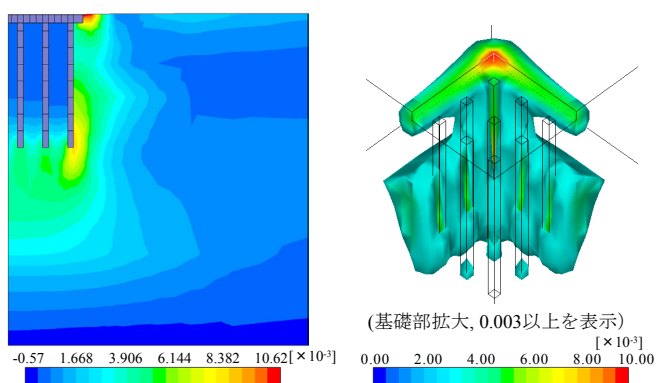
表1 地盤の材料定数と初期値

	砂層	粘土層	基盤層
<弾塑性パラメータ>			
圧縮指数 $\tilde{\lambda}$	0.0418	0.131	0.0418
膨潤指数 $\tilde{\kappa}$	0.0118	0.04	0.0118
限界状態定数 M	1.078	1.13	1.078
正規圧密線の切片 N	1.99	1.97	1.99
($p' = 98\text{kPa}$ での繰り返し土の正規圧密線上の比体積)			
ポアソン比 ν	0.3	0.4	0.3
<発展則パラメータ>			
構造低位化指数 a, b, c	1.5, 1.0, 1.0	1.27, 1.0, 1.0	1.5, 1.0, 1.0
正規圧密土化指数 m	0.04	5.0	0.04
回転硬化指数 b_r	0.514	0.0001	0.514
回転硬化限界定数 m_b	0.5	1.0	0.5
<初期値>			
構造の程度 $1/R^*_0$	5.0	10.0	5.0
過圧密比 $1/R_0$	2.0	3.0	2.0
異方性の程度 $\zeta_0 = \sqrt{3/2} \ \beta_0\ $	0.231	0.375	0.231
応力比 $\eta_0 = q_0 / p'_0$	0.231	0.375	0.231
透水係数 k (cm/sec)	4.1×10^{-2}	3.7×10^{-8}	4.1×10^{-2}
土の密度 ρ_s (t/m ³)	2.65	2.60	2.65

3. 解析結果



(a) 2次元平面ひずみ条件 (b) 3次元条件
 図2 平均有効応力増分分布 (圧密終了時)



(a) 2次元平面ひずみ条件 (b) 3次元条件
 図3 せん断ひずみ分布 (圧密終了時)

パイルドラフト, 有限要素法, 弾塑性, 水～土連成解析, 荷重分担率

〒464-8603 名古屋市中千種区不老町 名古屋大学工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 052-789-3835

(1)パイルドラフトの荷重伝達機構

圧密終了時の地盤内の平均有効応力増分分布、せん断ひずみ分布を示す（図 2,図 3）。2 次元・3 次元条件とも分布の傾向はよく類似している。拘束圧が大きく圧縮性が小さい杭先端の地盤深部に荷重を伝達することにより、パイルドラフトは沈下量低減に有効であることが分かる。また、外周の杭ほど地盤への摩擦抵抗が大きい。

(2)杭長の影響

杭配置はすべて 3m 間隔で 9 本配置し、杭長を変化させた場合の最終沈下量、残留沈下量（載荷終了後の沈下量）及び杭の荷重分担率(上載荷重に対する杭頭の軸力の合計)を図 4 に示す。杭長 0m はラフトのみ（べた基礎）を指す。杭が長いほど最終沈下量は小さくなるが、杭の外周面積が増加し摩擦抵抗が大きくなるため荷重分担率は大きくなる。残留沈下量については、杭が中途半端に短く拘束圧の小さな粘土層浅部に荷重が伝達される場合（杭長 2m～10m）に大きくなる。これらの傾向は、2 次元・3 次元条件で類似しているが、定量的にはやや異なる。2 次元平面ひずみ条件では、ラフトが奥行き方向に無限に表現され、その面積分だけ過剰に荷重が載荷されることになる。その一方で杭が「板」として表現されるため、3 次元条件に比べ過拘束となり、杭が長いほどその影響が大きく現れる。今回の解析例では、杭が十分に長い場合には両者の影響が相殺され最終沈下量については 2 次元・3 次元条件の差がほぼ無くなった。荷重分担率は、2 次元条件で一部（杭長 10m,16m）減少してしまい、杭が長くなるほど杭抵抗が増加する様子が正しく表現できなかった。残留沈下量は、杭として表現される 3 次元条件に比べ、板として表現される 2 次元条件の方がより過剰間隙水圧の消散が遅くなることからその値は大きくなった。

(3)杭配置の影響

杭長はすべて等しく(杭長:16m)、杭配置の異なる基礎形式（図 5）について最終沈下量、残留沈下量及び荷重分担率を比較した（表 3）。杭がより外側に配置された基礎形式ほど最終沈下量・残留沈下量が小さくなる傾向は 2 次元・3 次元共に見られる。杭本数の影響は 3 次元条件の方がより顕著に現れる。

3. おわりに

パイルドラフトの基礎形式(杭長・杭配置)の違いが沈下量・荷重分担率に及ぼす影響に注目し、2 次元平面ひずみ条件と 3 次元条件の解析結果を比較した。2 次元平面ひずみ条件では、奥行き方向に無限に表現されるため、3 次元条件に比べ基礎形式の影響が正確には表現できず、沈下量や荷重分担率は定量的にはやや異なる。しかし、杭が長く外側に配置されているほど沈下量は小さくなり、杭の外周面積の増加に伴い荷重分担率は大きくなる傾向は、概ね 2 次元条件でも得られる。

参考文献 1) 三笠(1964):土の工学的性質の分類表と..., 土と基礎, 12(4), pp.17-24. 2) Hashiguchi and Chen (1998) : Elastoplastic Constitutive Equations of Soils ..., Int. Anal. Meth. Geomech., 22, pp.197-227. 3) Asaoka et al. (2002) : An elasto-plastic description ..., S&F, 42(5), pp.47-57.

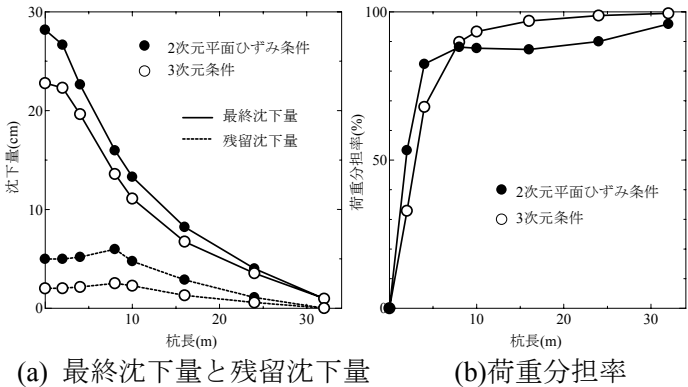


図 4 杭長の影響

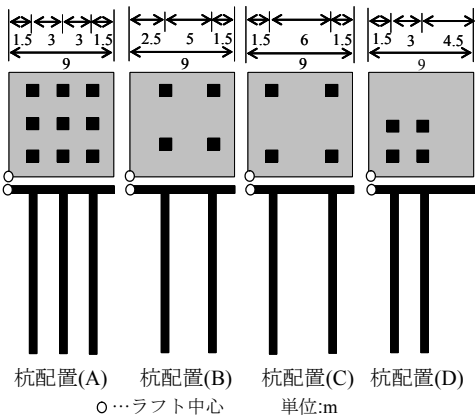


図 5 計算に用いた杭配置
(上段:2 次元、下段:3 次元)

表 3 杭配置の影響

杭配置		(A)	(B)	(C)	(D)
最終沈下量 (cm)	2 次元	8.22	8.65	8.71	10.48
	3 次元	6.75	7.76	7.91	10.51
残留沈下量 (cm)	2 次元	2.88	2.87	2.88	3.21
	3 次元	1.31	1.37	1.38	1.60
荷重分担率 (%)	2 次元	87.29	87.09	86.96	84.33
	3 次元	96.82	94.06	93.03	79.38