

地下水位低下による地盤沈下時のパイルドラフト基礎の挙動

The Behavior of the Piledraft Foundation in the Ground Subsidence due to Dewatering

高稲 敏浩*

要 旨

地下水位低下によって沈下を起こす地盤に設置されたパイルドラフト基礎の挙動について、上下負荷面修正カムクレイモデルを用いた水～土連成計算を用いて調べた。支持杭とパイルドラフト基礎を比較すると、水位低下に伴う地盤沈下によるネガティブフリクションが生じるため、支持杭では最大軸力が約7倍になるが、パイルドラフト基礎では最大軸力にほとんど変化がなく、ネガティブフリクションに対して有効であることが分かった。また、地下水揚水等により構造が大きく低位下するような粘土層にパイルドラフトの杭先端がある場合では、べた基礎に比べて、パイルドラフト基礎の沈下量が大きくなる場合もあり、必ずしもパイルドラフト基礎が有効といえない場合があることが分かった。

キーワード：有限要素法／弾塑性／パイルドラフト基礎／ネガティブフリクション

1. はじめに

軟弱な粘土が堆積した地盤においては、べた基礎のような直接基礎を介して建物の荷重を地盤が支持できたとしても、沈下量が大きくなる可能性がある。このような場合、支持杭を用いて沈下抑制を行うことが多いが、支持層が地盤深部に存在する場合、杭長が長くなり不経済となることがある。これに対し、地盤と杭との摩擦力を期待する摩擦杭をべた基礎に併用したパイルドラフト基礎は、比較的短い杭長でも沈下量低減に有効であることが報告されている^{1),2)}。

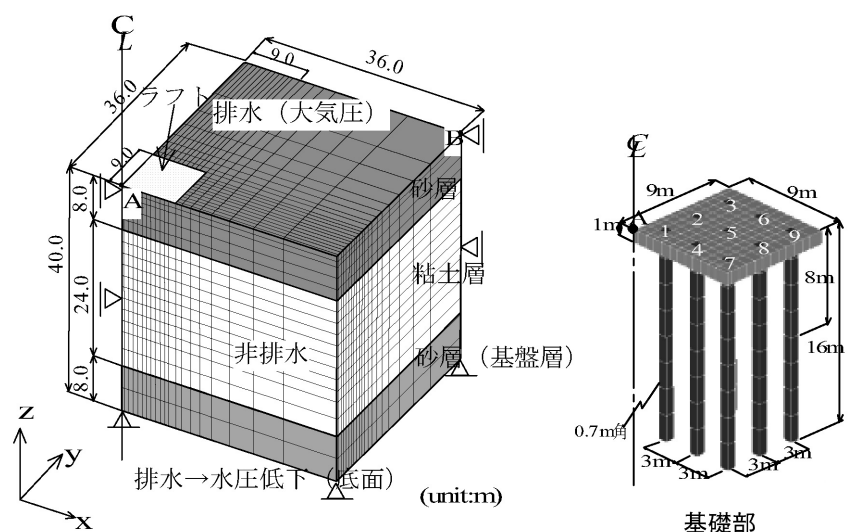
また、軟弱な粘土地盤において圧密未了であったり、広域地盤沈下が生じている地帯に、杭を設置するとネガティブフリクションが作用し、予想以上の沈下や杭軸力が発生する場合がある。一方、摩擦杭は、周辺地盤の挙動と同調しやすいため、支持杭に比べると構造物と周辺地盤との沈下差を小さくでき、杭に作用する負の摩擦力が小さくなるが、沈下しやすいとされている。本論文では、そうした摩擦杭を併用したパイルドラフト基礎にネガティブフリクションが作用した場合の挙動について3次元有限要素法を用いて調べた結果を報告する。

2. ネガティブフリクション作用時のパイルドラフト基礎の挙動

2.1 計算条件

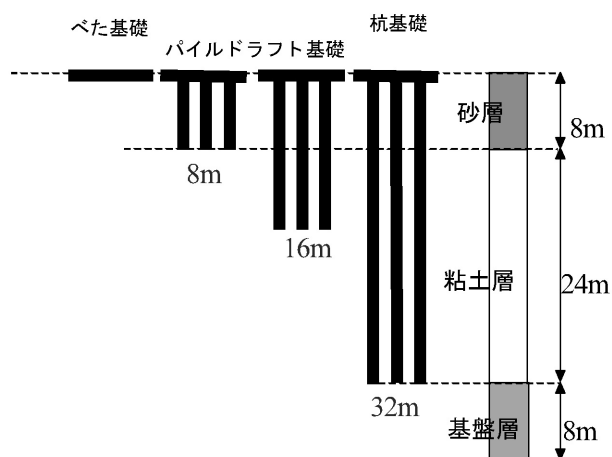
地下水揚水により地盤沈下が発生し杭にネガティブフリクションが作用する場合を想定し、飽和地盤を水～土2相系の弾塑性材料、基礎は線形弾性体とし、基礎～地盤間の相互作用を考慮した3次元水～土連成有限変形計算³⁾を行った。

地盤を構成する土(砂、粘土)の弾塑性構成式には、骨格構造⁴⁾(構造・過圧密・異方性)の働きに着目して、この発展則の違いにより砂と粘土の両者を統一的に扱う回転硬化⁵⁾上・下負荷面修正カムクレイモデル⁶⁾を用いた。地盤は上から中密な砂層(構造低位・過圧密、層厚8m)、厚く堆積した軟弱粘土層(構造高位・過圧密、層厚24m)、密な砂からなる基盤層(構造低位・超過圧密、層厚8m)



図－1 有限要素メッシュと境界条件

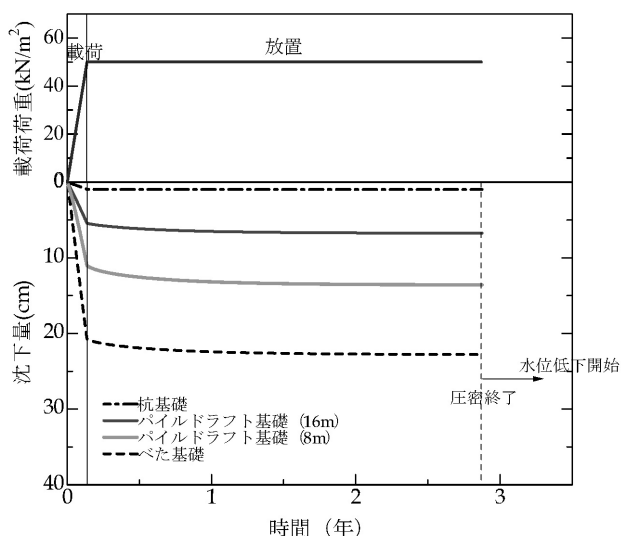
*土木研究グループ



図－２ 計算に用いた基礎形式

の粘土・砂互層地盤を想定した。地盤の材料定数および初期値については、参考文献⁷⁾を参照されたい。地盤の初期状態は、簡単のため初期の骨格構造は各層で深さ方向に均一とし、土被り圧に応じてその他の初期状態を決定した。なお、本計算例では各種計算結果を強調するため、地盤の圧縮性を高めている。

解析に用いた有限要素メッシュと境界条件を図－１に示す。地盤の対称性を仮定し、1/4領域を解析対象とする。ラフトは、幅18m×18m、厚さ1mで、70cm角の杭を3m間隔で配置した。図－２に示すようにパイルドラフト基礎では、杭長を8mおよび16mとし、支持杭基礎では杭長を32mとした。なお、支持杭とパイルドラフト基礎は杭長をのみの違いで表現し、杭長は、スラブ天端から杭先端までの長さを示すものとした。基礎の設置は、自重を考慮しながら当該部分の土要素を除去すると同時に、線形弾性体⁷⁾で「瞬時」に置換し、土と基礎の重量差分を節点力を与えて、圧密計算を行った。また、地下



図－３ 荷重載荷時の沈下～時間関係

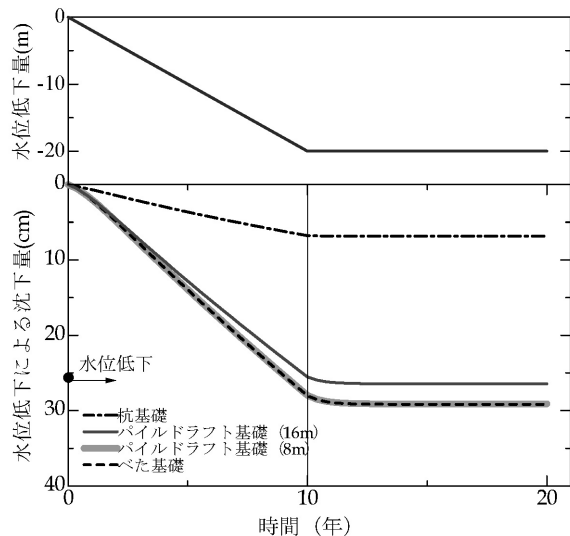
水揚水による水位低下は、地盤底面の水理境界の水圧を減少させることで表現した。

荷重条件は、荷重速度1kN/m²/dayで50日間、計50kN/m²の等分布荷重の漸増載荷とし、約3年間放置し圧密を終了させた。その後、地下水位を10年間で20m分低下させた後、その水位を一定に保った。

2.2 計算結果

図－３に図－２で示した基礎の荷重載荷から圧密終了時までの沈下～時間関係を示し、図－４に揚水開始時点からの沈下～時間関係を示す。

荷重載荷時の各基礎の沈下量には明らかな差が生じているが、揚水時にはべた基礎と杭長8mのパイルドラフト基礎は、同程度の沈下を示している。また、杭長16mのパイルドラフト基礎は、揚水による沈下がべた基礎や杭長8mのパイルドラフト基礎に比べ、わずかに3cm程度小さいだけで、荷重載荷時の沈下抑制効果に比べると、その効果は小さいといえる。一方、杭基礎については沈下量は小さいが、軸力および曲げモーメント（図－５、６参照）は、揚水により最大軸力は5.1倍、最大曲げモーメントは29倍となっている。一方で、杭長16mのパイルドラフト基礎は、軸力が1.01倍、曲げモーメントが2.1倍と変化が小さく、杭長8mのパイルドラフト基礎では部材力に変化がない。このことは、図－７に示す地盤沈下によって増加したせん断応力分布からも見てとることができる。すなわち、杭長8mのパイルドラフト基礎においては、杭周辺で大きな変化はないが、杭基礎では、外側に配した杭の上部8m付近から下へせん断応力が増加していて、杭長16mのパイルドラフト基礎では杭先端付近で増加していることから、図－５、６に示した部材力



図－４ 揚水時の沈下～時間関係

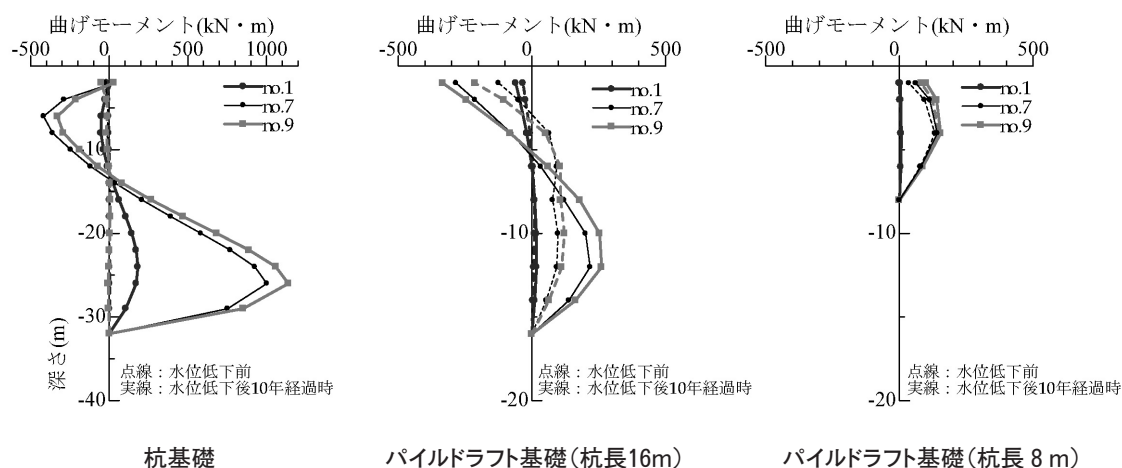


図-5 軸力分布

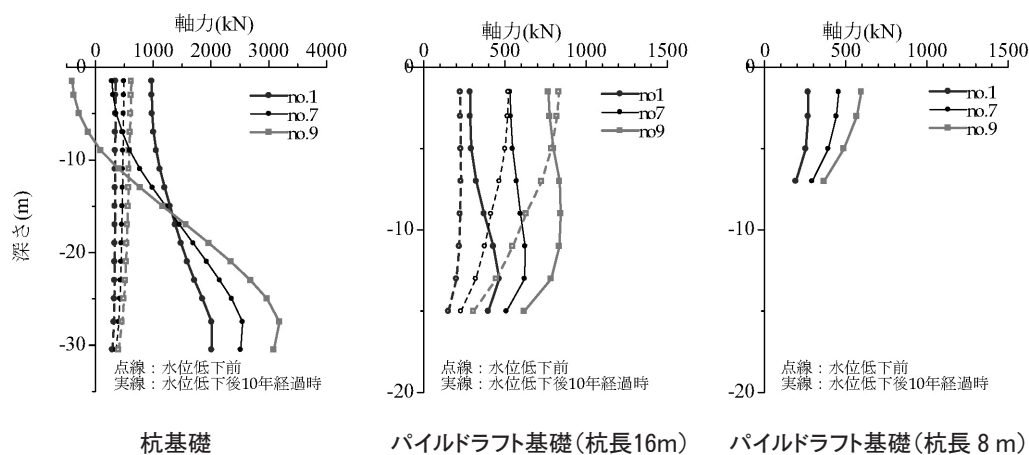


図-6 曲げモーメント分布

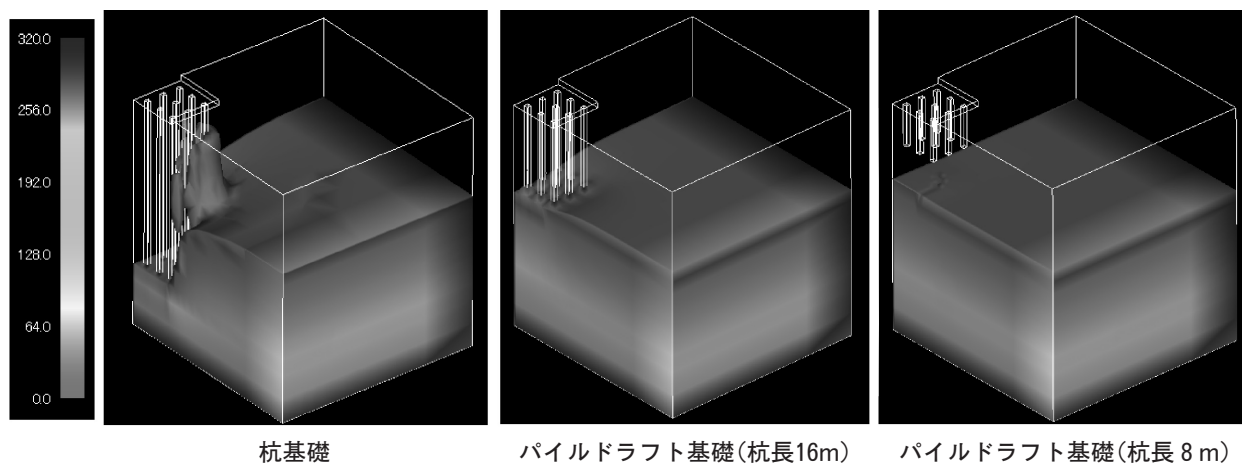


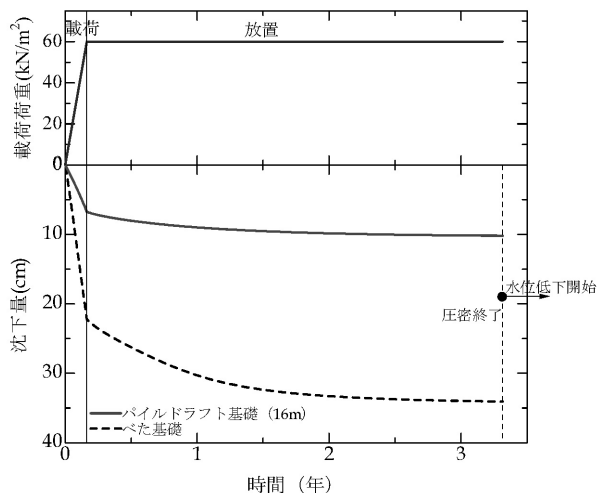
図-7 セン断応力分布

の変化を理解することができる。パイロドラフト基礎は、杭基礎に比べ、ネガティブフリクションに対して部材断面力の点で有効であるといえる。

3. 土骨格の構造劣化に伴う遅れ圧密沈下を生じる場合のパイロドラフト基礎の挙動

3.1 計算条件

前述の地盤と異なり、揚水後だらだらと遅れ沈下が生じうる地盤⁸⁾を想定し、粘土層における初期過圧密比を

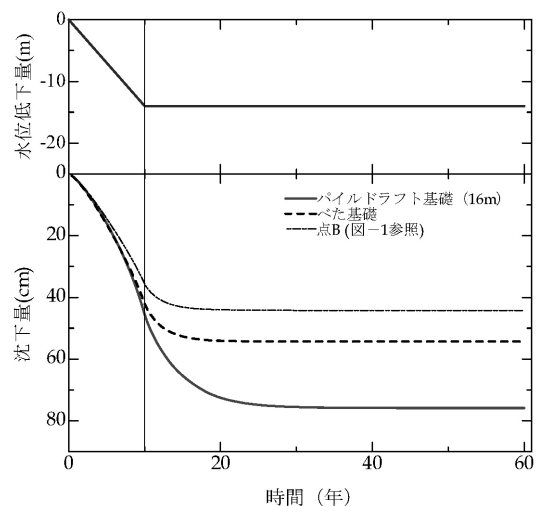


図－8 荷重載荷時の沈下～時間関係

3.0から1.4として若干過圧密な地盤とした。上載荷重は、合計60kN/m²を漸増載荷した。その後、地盤底面の水圧を10年間で水位14m分低下させた。その他の計算条件は、2.2で示した条件と同様である。なお、ここでは、べた基礎と杭長16mのパイルドラフト基礎について比較検討した。

3.2 計算結果

図－8に荷重載荷から圧密終了時までの沈下～時間関係を示しているが、前章の地盤および荷重条件の場合(図－3に示した沈下挙動)と比較すると、残留沈下が大きく、沈下収束までに3年程度要している。図－9に、水位低下開始時からのべた基礎およびパイルドラフト基礎(杭長16m)の地表面沈下の様子と水位の変化を示している。なお、B点(図－1参照)における地表面の沈下の様子も示す。揚水による最終沈下量は、パイルドラフト基礎の方がべた基礎に比べ、20cm程度大きく、また、べた基礎は底面水圧維持後10年で沈下が収束しているが、パイルドラフト基礎は20年後によりやく収束する。これは、粘土層に塑性圧縮を伴う軟化が生じたためである。すなわち、パイルドラフト基礎の杭先端部では、載荷により有効応力が増加していて、揚水時に揚水位置から近い杭先端部で有効応力がさらに増加し、杭先端部の粘土層の構造が大きく劣化したためである。これらのことは、図－10、11に示す構造の分布および比体積変化において、杭先端付近で構造が低下して、大圧縮が生じていることからわかる。一方、べた基礎は、基礎直下の地表面付近で応力が増加していて、底面で水圧を下げた時には地表面付近の有効応力の増加は小さく十分な構造劣化には至らず、パイルドラフト基礎にくらべて沈下



図－9 揚水時の沈下～時間関係

量が小さくなっている。

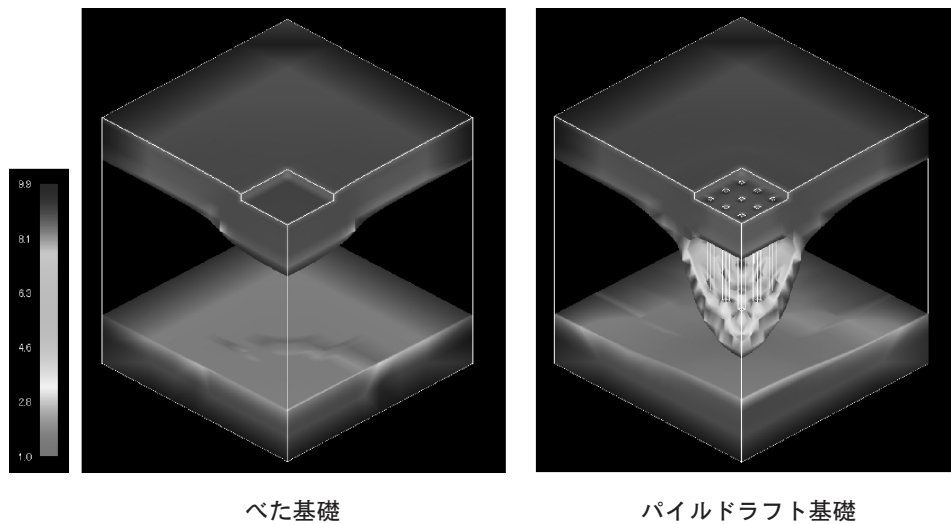
4. おわりに

地下水揚水を行ってもただだと地盤沈下が生じないような地盤あるいは荷重条件であることが事前に確かめられる場合、パイルドラフト基礎は地盤沈下時に最大軸力の変化が小さく、発生するネガティブフリクションに対して有効である。一方、構造が発達した粘土層の構造が揚水によって大きく劣化し、地盤がただだと沈下しようと想定された場合、パイルドラフト基礎の杭先端がこの粘土層にあると、べた基礎に比べパイルドラフト基礎の沈下量が大きくなることもあり、必ずしもパイルドラフト基礎が有効とはいえない場合もあることがわかった。このような場合には、可能な限り上載荷重を小さくすることや杭本数を増やすことで杭先端部の応力増加を小さくする、あるいは摩擦杭を持つパイルドラフト基礎のような基礎を使用しないなどの対策が必要である。

最後に、ご指導を頂いた名古屋大学大学院浅岡顕教授、野田利弘助教授に対し、感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) たとえば, Kakurai, M., Yamashita, K. and Tomono, M. :Settlement behavior of piled raft foundation on soft ground, 8th ARCSMF, pp.373-376,1997.
- 2) 野田利弘、浅岡顕、田代むつみ、浅井順香、高稲敏浩：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、土木学会第59回年次学術講演会概要集第III部門、pp.81-82、2004.
- 3) Asaoka, A., Nakano, M. and Noda, T. :Soil-water coupled behavior of saturated clay near/at critical state, S&F,

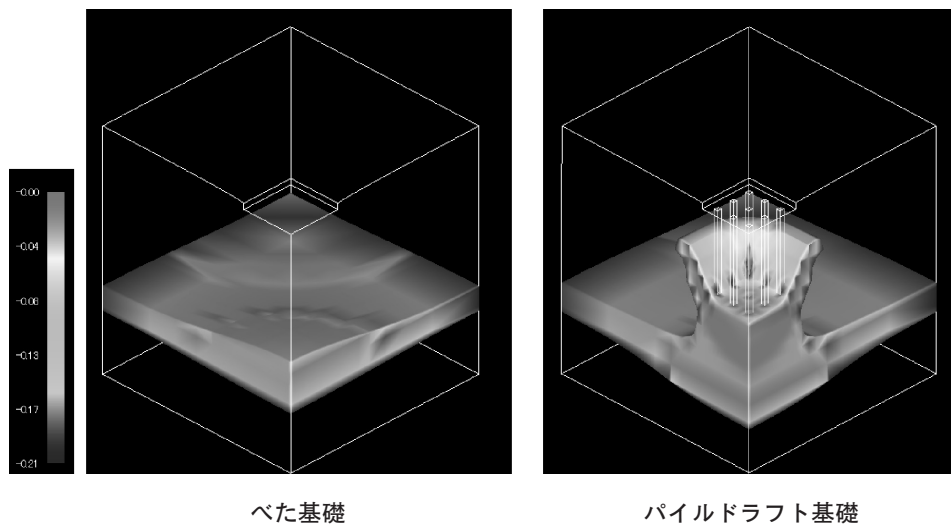


べた基礎

パイルドラフト基礎

3.5以下を表示

図-10 構造の分布図



べた基礎

パイルドラフト基礎

揚水直前からの変化、-0.05以下を表示

図-11 比体積変化の分布図

34(1), pp.91-105,1994.

4) 三笠正人：土の工学的性質の分類表とその意義、土と基礎、12(4)、pp.17-24、1964.

5) Hashiguchi, K. and Chen, Z.-P. :Elastoplastic constitutive equations of soils with the subloading surface and the rotational hardening, Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech., 22, pp.197-227,1998.

6) Asaoka, A., Noda, T., Yamada, E., Kaneda, K. and Nakano, M.:An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanics of soils, S&F, 42(5), pp.47-57,2002.

7) 高稲敏浩：自然堆積地盤の変形挙動に対するパイルドラフト基礎敷設効果、浅沼組技術研究所報、No.15、p.78、2003.

8) 金田一広、山田正太郎、浅岡顕：地下水位低下に起因する地盤の遅れ圧密沈下のメカニズム、土木学会論文集No.743、III-64、pp.64-89、2003.

