

拡径比の異なる杭の引抜き特性 その3：再現解析による抵抗メカニズムの検討

拡底杭 引抜き抵抗 有限要素法

京都大学大学院 学生会員 ○Christian SAWADOGO
 京都大学大学院 学生会員 Ben M. LEWIS
 京都大学大学院 国際会員 澤村 康生
 ジャパンパイル 正会員 藤江 雄大
 ジャパンパイル 正会員 橋立 健司

1. はじめに

過去に筆者らは、直杭と拡径比 2.00 のケースについて、3 次元弾塑性有限要素法を用いた遠心載荷試験の再現解析を実施し、両者の引抜き挙動について検討を行った¹⁾。本報告では、拡径比の異なる全ての模型に対して再現解析を実施し、拡径比と引抜き抵抗メカニズムの関係について考察する。

2. 解析の概要¹⁾

本研究では、3 次元弾塑性有限要素解析プログラム DBLEAVES²⁾を用いて遠心模型実験の再現解析を実施した。図-1 に解析メッシュを示す。解析領域は対称性を考慮して 1/4 断面とした。境界条件の設定においては、引抜き荷重を載荷した際に杭が傾くことを防ぐため、杭は水平方向に変位が発生しない条件とした。地盤の構成式には、subloading t_{ij} model³⁾を用いた。表-1 に本構成式における豊浦砂の材料定数を示す。杭は弾性 Solid 要素でモデル化し、弾性係数は $E = 2.0 \times 10^8$ kN/m² とした。杭と地盤の境界部分には、地盤の滑りと剥離を考慮するために Joint 要素を用いた。同名報告(その2)より、杭模型表面の摩擦抵抗の大小により、引抜き荷重が大きく異なることが確認されている。しかし本研究では、Joint 要素の剛性と Mohr-Coulomb の破壊規準に関するパラメータは、モルタルと豊浦砂の一面せん断試験⁴⁾を参考に決定し(表-2)、拡径比の違いによる引抜き抵抗メカニズムを解明することに主眼をおいた。引抜き荷重は、杭頭に強制変位として与え、0.01 mm/step で引き抜いた。

解析対象は、拡径比(角度)が 1.00 (0 degree), 1.25 (3 degree), 1.5 (6 degree), 1.75 (9 degree), 2.00 (12 degree), 2.25 (15 degree) の全模型とし、地盤の相対密度は $D_r = 90\%$ の条件とした。

3. 解析結果

図-2 に遠心模型実験と数値解析における杭頭部の荷重変位関係を示す。ここで実験値については、杭模型表面の摩擦抵抗が大きいケースと小さいケースの両方を示している。また、横軸の変位については鉛直変位そのものを用いており、拡径部の径によって正規化は行っていない。図-2 より、解析値は実験と比較して拡径比による影響が小さい傾向を示している。この要因のひとつは、杭模型と地盤の境界部に配した Joint 要素

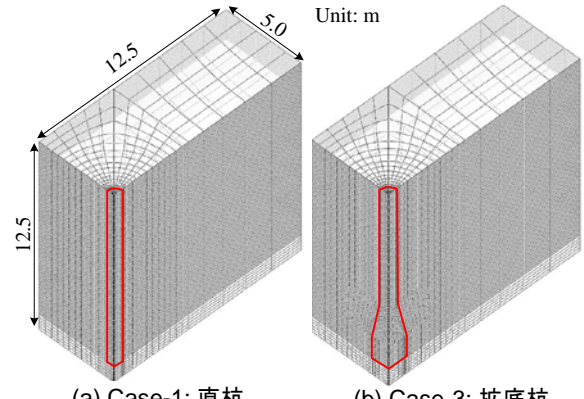


図-1 解析メッシュ

表-1 数値解析に用いた地盤のパラメータ

Principal stress ratio at critical state	3.2
$R_{cs} = (\sigma_1 / \sigma_3)_{CS(comp.)}$	
Compression index λ	0.07
Swelling index κ	0.0045
$N = e_{NC}$ at $p = 98$ kPa & $q = 0$ kPa	1.10
Poisson's ratio ν_e	0.333
Influence of density and confining pressure a	60
Shape of yield surface β	2.0

表-2 Joint要素入力パラメータ

Shear stiffness K_s [kN/m ² /m]	1.0×10^5
Normal stiffness K_n [kN/m ² /m]	1.0×10^5
Cohesion c [kN/m ²]	0.0
Internal friction angle ϕ [deg]	28.0
Tension strength of axial direction σ_t [kN/m ²]	-0.5
Separation displacement criterion v_{mc} [m]	5.0×10^{-6}

のパラメータであると考えられることから、要素試験等を実施して、パラメータを決定する必要性を示唆している。しかしながら、解析においても拡径比が大きなケースで大きな引抜き荷重が発生しており、杭の引抜き挙動を定性的に表現できていると考えられる。

図-3 に 0.1 m 変位時における X-Z 面のせん断応力分布を示す。直杭の場合に着目すると、拘束圧の大きい杭先端部の周面において、せん断応力が大きくなっている箇所が発生した。一方拡径比が 1.25 以上になると、

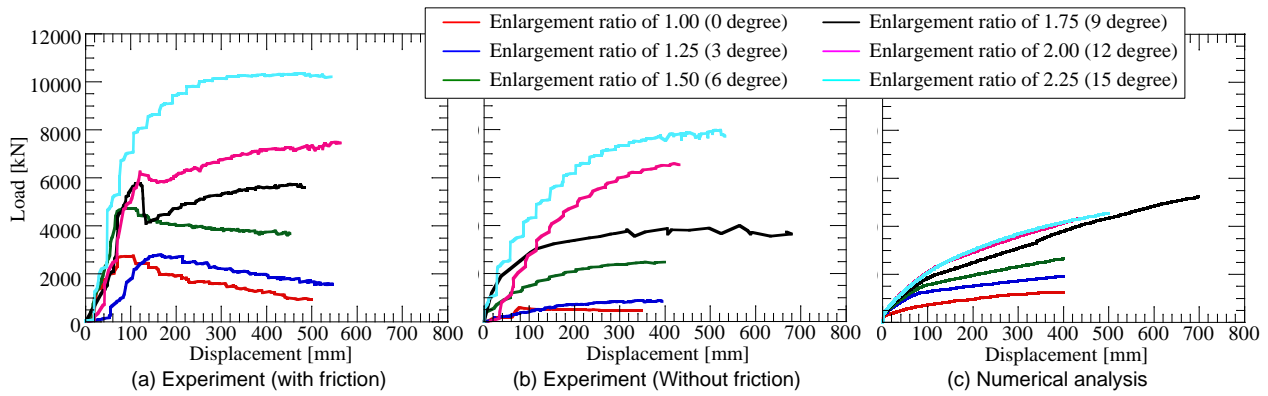


図-2 実験および数値解析による荷重-変位関係

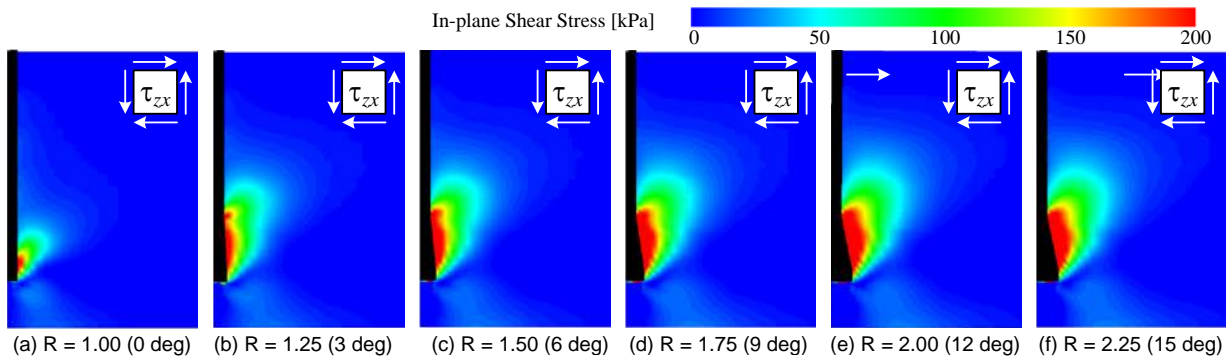


図-3 0.1 m変位時におけるX-Z面のせん断応力分布

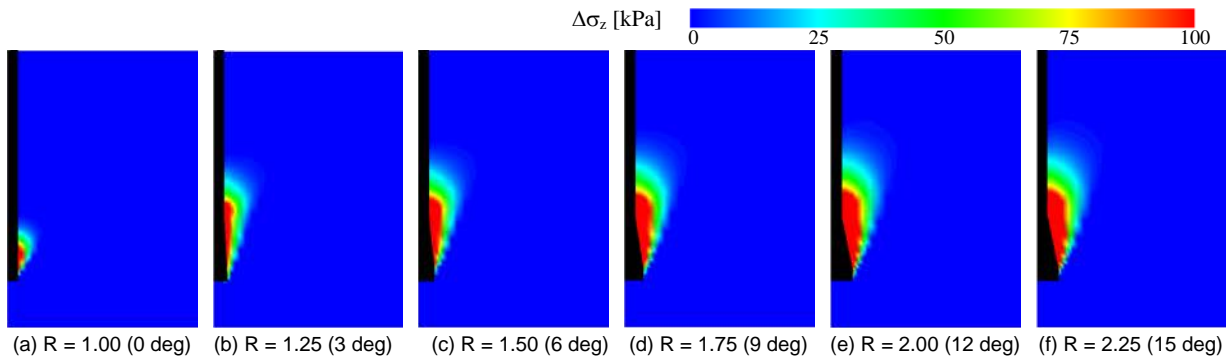


図-4 0.1 m変位時におけるX-Z面の鉛直応力増加分布

拡径部分を中心に大きなせん断ひずみが発生している。拡径比が小さい場合には、杭の近傍のみで大きなせん断ひずみが発生するが、拡径比が大きくなると、右斜め上方にせん断ひずみの分布が拡大する。

図-4には、0.1 m変位時における鉛直応力の増分を示す。ここで、鉛直応力の増分とは、地盤の初期応力からの増分量を示している。直杭の場合には、引抜抵抗は周面摩擦力のみに起因しているため、図-4に示すせん断応力と同様、応力変化は杭近傍のみで発生しており、地盤内の鉛直応力の増加量は小さい。一方、拡径杭の場合には、拡径部における支圧抵抗が大きいため、拡径部上部の鉛直応力が増加している。またこの傾向は拡径比が大きいケースで顕著である。これにより、大きな引抜き抵抗を示したのだと考えられる。

5. まとめ

本研究では、3次元弾塑性有限要素解析により、遠心力50G場における引抜き試験の再現解析を実施した。

その結果、拡径比が大きくなると、地盤中に斜め上方にせん断ひずみの分布すること、拡径部上部の鉛直土圧が増加していることから、広範囲で引抜きに抵抗していることがあきらかとなった。

【参考文献】

- 1) Ben M LEWIS, Bonggab KIM, 澤村康生, 藤江雄大, 橋立健司: 拡底杭の引抜特性に関する遠心載荷試験—その3: FEMによる再現解析, 第52回地盤工学研究発表会, pp.1181-1182, 2017.
- 2) Ye, B., Ye, G. L., Zhang, F. and Yashima, A.: Experiment and numerical simulation of repeated liquefaction-consolidation of sand, *Soils and Foundations*, Vol.47, No.3, pp.547-558, 2007.
- 3) Nakai, T. and Hinokio, M.: A simple elastoplastic model for normally and over consolidated soils with unified material parameters, *Soils and Foundations*, Vol.44, No.2, pp.53-70, 2004.
- 4) 澤村康生: 盛土内に設置されたカルバートの耐震性に関する基礎的研究, 京都大学学位論文, 2014.