

# 液状化地盤中における杭の座屈メカニズムに関する研究

- 液状化地盤厚さが座屈荷重に及ぼす影響に着目して

The study on Buckling Mechanism of a Slender Pile in Liquefied Ground

- Impact of Liquefied Ground Thickness on Buckling Load of a pile -

岡島賢治，今井淳一，田中忠次

Kenji OKAJIMA, Jyunichi IMAI, Tadatsugu TANAKA

## 1. はじめに

地盤工学ハンドブックでは，液状化が生じた際の杭基礎が受ける被害のパターンは，地盤反力の低下によるもの，地盤の流動によるもの，支持力低下による沈下の3つに分類されている．しかし，地盤の液状化に伴う支持力低下による杭基礎の座屈については考慮されていない．また，この座屈現象のメカニズムについては不明な点が多く，その現象の解明が求められている．本研究では，この問題に対して液状化のおそれのある層の厚みの変化させた模型実験と弾塑性有限要素解析を比較検討した．さらに弾塑性有限要素解析により地盤中での杭と地盤の相互作用を検討することで，液状化地盤中での杭の座屈メカニズムの解明を試みた．本研究では，液状化のおそれのある層が完全に液状化した状態を地盤なしの杭の座屈実験で，液状化が全く起こっていない状態を地盤中での杭の座屈実験で表現した．また，液状化のおそれのある層の厚みの違いを，杭長としてモデル化した．解析も同様の条件で行った．

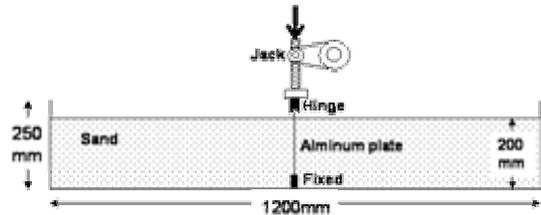


Fig.1 The test apparatus

## 2. 模型実験

模型実験の概要を Fig.1 に示す．杭は，平面ひずみ条件としてアルミ板を用いた．実験槽およびアルミ板の奥行きは 350mm である．地盤は気乾状態の豊浦砂を用い，“地盤あり”，“地盤なし”それぞれで実験を行った．“地盤あり実験”の地盤は空中落下法によって形成し，相対密度 95%以上の密詰とした．地盤から露頭している杭の長さは 5mm である．杭長は地盤中の杭の長さとし，杭長の変更は杭の下端の固定部分をかさ上げすることで行った．杭長は 80mm,120mm,160mm の 3 種類とした．載荷速度は， $2.5 \times 10^{-3}$ mm/s とした．測定項目は鉛直荷重及び杭上端の鉛直変位であり，測定間隔はいずれも 0.1s である．また地盤あり実験については，地盤に発生するせん断帯の様子を観察した．実験は杭長 160mm の実験を 5 回，その他の杭長について 2 回ずつ行い，再現性を確認した．

## 3. 弾塑性有限要素解析の概要

本研究では，田中ら(2001)が開発した弾塑性有限要素法を適用した．この有限要素法では，Implicit-explicit 混合型の動的緩和法とリターンマッピング法を結合し，ひずみ軟化・せん断帯・異方性を考慮した構成モデルを適用した．降伏関数には Mohr-Coulomb 型モデルを，塑性ポテンシャルには Drucker-Prager 型モデルを適用した．要素には 1 点積分を適用した 4 節点アイソパラメトリック要素を用いた．また，座屈解析のための有限変形解析の定式化には，Total Lagrange 法を適用した．解析は平面ひずみ条件で行った．解析における地盤の弾塑性パラメータは，初期弾性係数  $2.0 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup>，相対密度  $D_r=95\%$ ，残留内部摩擦角  $\phi=34^\circ$ ，せん断帯幅 S.B.=3mm とした．杭の部分については初期弾性係数  $7.0 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup>，1mm の厚さを 3 層に分割したメッシュを使用した．杭長は，80mm, 100mm, 120mm, 140mm, 160mm の 5 種類とした．Fig.2 に杭長 160mm の地盤あり実験に

対応した解析に使用した有限要素メッシュを示す。要素数は 4793，節点数が 4846 である。

#### 4. 実験と解析の結果及び考察

Fig.3 に各実験および解析における,杭長と座屈荷重の関係を示す.実験と解析のいずれにおいても,地盤なしの場合は杭長が長くなるにしたがい座屈荷重が小さくなっている.一方地盤あり解析では,杭長が 120mm より長くなると座屈荷重は下げ止まっている.地盤あり実験でも同様である.従って液状化のおそれのある層が厚い地域においては,液状化が発生すると,その程度によっては座屈荷重が大きく減少する可能性があることが示された.ここで,地盤ありの結果については,実験の座屈荷重の方が解析の座屈荷重よりも大きくなっている.これは,地盤なしではこの差異が見られなかったこと及び,地盤あり実験の際の板の変形の様子から,この差異は地盤と実験槽壁面の摩擦によって地盤あり実験の座屈荷重が大きくなったことが原因であると考えられる.

Fig.4 に杭長 160mm,120mm の地盤あり解析によって得られた,最大せん断ひずみ分布図を示す.地盤あり実験においては,杭長に依らず地盤表面から約 6cm の深さまでせん断帯の発達が見られた.地盤あり解析においても,地盤表面から約 6cm の深さまで最大せん断ひずみの大きい領域が集中していた.以上の結果から,本研究で用いた解析手法は,地盤中での杭の座屈現象をよく表現できる解析手法である.

Fig.5 に,解析によって得られた杭に作用する土圧分布を示す.これは,杭の隣の層の水平方向土圧を地盤表面からの深さに対してプロットしたものである.Fig.5 の深さ 30mm から 70mm 付近及び,深さ 100mm から 120mm 付近に大きな土圧が見られる.前者は座屈による杭の変形に伴って生じた受働土圧である一方,後者は杭の大きな変形を伴っていない.さらに後者の土圧については,杭長 120mm の時に比べ,杭長 160mm の時の方が大きい.この土圧が深部における杭の変形を拘束していることが示唆される.

#### 5. まとめ

本研究では,液状化地盤の厚さの異なる地域を想定した杭の座屈問題に関して平面ひずみ条件を仮定した模型実験と有限要素解析を行った.その結果,本解析手法が地盤中での座屈現象の解析に適用可能であることが分かった.また,液状化のおそれのある層が厚い地域は,地盤の液状化によって杭の座屈荷重が大幅に低下する可能性が示された.また,杭の深い部分で地盤から受ける土圧が,地盤中での杭の拘束効果の要因であることが示された.

#### 参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤工学ハンドブック，pp.1296～1297(1999)
- 2) 栖原和郎:液状化地盤における杭の座屈現象に関する研究,農業農村工学会大会要旨集 67p.(2007)

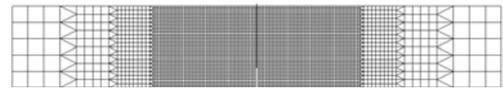


Fig.2 Finite element mesh

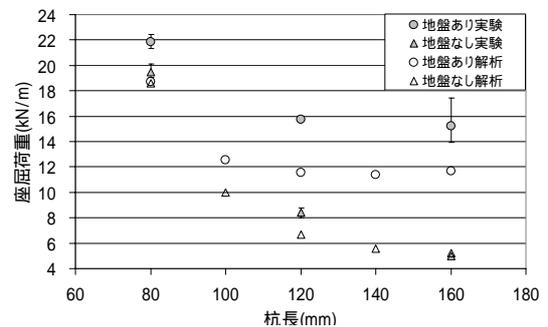


Fig.3 Relationship between buckling load and length of pile

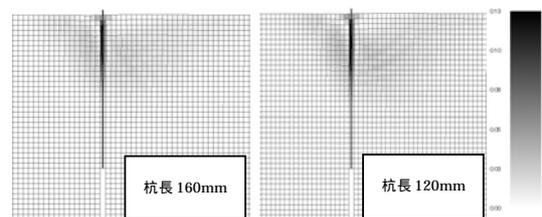


Fig.4 Maximum shear strain contour line

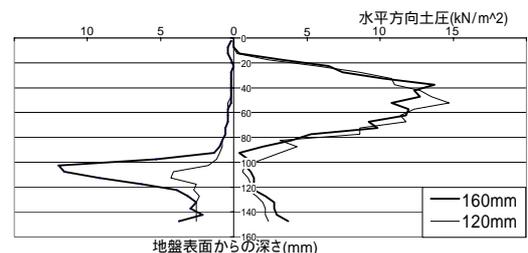


Fig.5 Earth pressure distribution acting on the piles