

液状化を想定した地盤中において鉛直荷重を受ける杭の座屈に関する研究 The study of Buckling of Slender Pile with Vertical Load in Modelled Liquefied Soil

岡島賢治, 田中忠次, 栖原和郎
Kenji Okajima, Kazuo Suhara, Tadatsugu Tanaka

1. はじめに

兵庫県南部地震や新潟県中越地震などでは、液状化に伴う被害が多く発生し、社会的に大きな注目を集めた。特に埋立地においては多くの杭基礎が地盤の液状化によって被害を受けた。ここで、地盤が液状化により地盤反力を失うことに伴う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。そこで本研究では、杭のみの静的座屈模型実験と、液状化を想定した地盤中の杭の静的座屈模型実験とを比較し、弾塑性有限要素解析による解析を通じて、単杭の座屈に伴う地盤の挙動と、地盤が杭に対して相互作用をもたらすメカニズムの解明を試みた。

2. 模型実験

Fig.1 に実験装置の概要を示す。液状化のモデル化として、杭の座屈および地盤の破壊において水のせん断抵抗は無視できるとし、有効応力のみを想定した模型実験を行った。

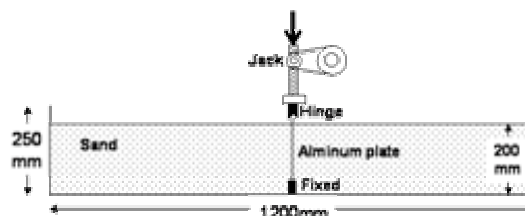


Fig.1 The test apparatus

実験は2次元平面ひずみ条件の実験としたため、実験における杭は板となる。杭を模した板のみの実験をブランク実験、地盤中での座屈実験を地盤実験とよぶ。実験には幅 1200mm 高さ 250mm 奥行き 350mm の箱型の実験槽を用いた。杭を模した板は幅 1mm 高さ 160mm 奥行き 350mm のアルミニウムを用いた。境界条件は、下端拘束、上端ヒンジ条件とした。地盤は、気乾状態の豊浦砂を用いて空中落下法で 200mm の地盤を形成した。このとき、アルミ板は 5mm 地盤より出しており、この部分は液状化により地盤反力を失った部分とみなした。載荷方法は、静的な座屈現象を再現できる速度として、板上端部を 0.25mm/sec の速さで降下させ、鉛直荷重を載荷した。実験時には、荷重と板上端部の鉛直変位を 0.5 秒毎に計測した。実験は、ブランク・地盤中共に 3 回ずつ行った。

3. 有限変形を考慮した弾塑性有限要素法

本研究では、田中ら(2000)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。地盤要素には 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。本解析に適用した implicit-explicit 混合型の動的緩和法は、土質部には剛性マトリックスを用いない陽的解法を、壁体部には剛性マトリックスを用いる陰的解法を使い分けることで剛性の大きく異なる構造物を同時に安定的に計算できる計算法である。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。

*) 東京大学大学院 Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo
KEYWORD 基礎工, 座屈, 有限変形解析

解析における弾塑性パラメータは、相対密度 $D_r=84\%$ 、残留内部摩擦角 $r=34^\circ$ 、せん断帯幅 $S.B.=0.3\text{cm}$ とした。ブランク実験に対応した有限要素メッシュは 1mm の厚さを 3 層に分割したメッシュを使用した。要素数は 96、節点数が 132 である。Fig.2 に地盤実験に対応したの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。

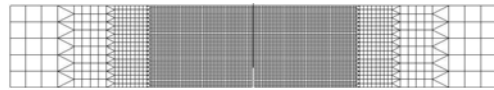


Fig.2 Finite element mesh

4. 実験結果と解析結果および考察

Fig.3 に、板上端の鉛直変位と鉛直荷重の関係を示す。横軸の原点に関しては、各実験を比較するため、各グラフの傾きが直線になっている部分を線形近似し、 x 軸と交わった点を原点として修正している。地盤実験では、ブランク実験よりピーク荷重が大きくなり、その効果はおよそ 3 倍であった。しかし、地盤実験の結果は初期においてブランク実験よりも、その傾きが緩やかで鉛直変位が進行しやすいという結果が得られた。

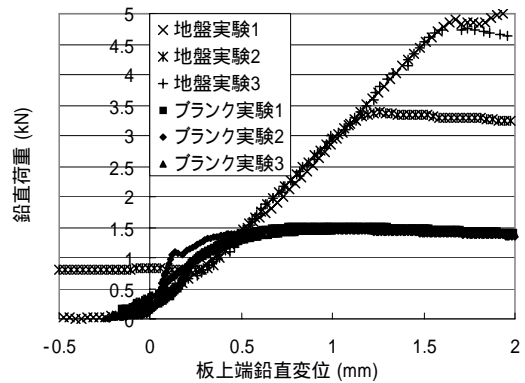


Fig.3 Relationship of vertical displacement of the wall to vertical load of experiments

Fig.4 に有限変形を考慮した有限要素解析による板上端鉛直変位と鉛直荷重の関係を示す。実験結果と比較して、その鉛直荷重はほぼ同様の値となったが、鉛直変位に関しては 2 オーダーほど小さな値となった。これは、実験における初期不正等の影響により、実験で大きな鉛直変位となったと考えられる。このため、本解析手法が、杭の座屈問題に関してピーク荷重を表現しうる解析手法であることが確認された。また、実験結果同様、初期において地盤中の鉛直変位が進行しやすいという傾向が得られた。

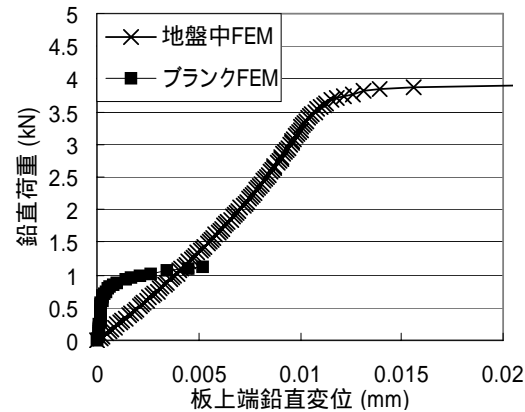


Fig.3 Relationship of vertical displacement of the wall to vertical load of experiments

Fig.4 にたわみ発達時の板周辺の地盤変状画像を示す。フーチングの結果で報告されていることと同様に、ピーク荷重時に地盤の大きな挙動は観察されなかった。ピーク以降せん断帯が進行的に発達し、複雑な主働・受働土圧の変形モードが観察された。



Fig.4 Deformation around the wall after peak vertical load

5. まとめ

本研究では、液状化地盤を想定した杭の座屈問題に関して 2 次元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い、その現象の解明を試みた。その結果、地盤中では杭の初期鉛直変位が、地盤のないときよりも進行しやすい傾向が実験と有限要素解析の双方から得られた。今後、この現象のメカニズムの解明を試みる予定である。

参考文献

- (1) 田中忠次・中村康明・菊池雅義:アーチ型地中構造物の座屈に伴う地盤挙動, 農業土木学会論文集 206, pp29-37, 2000
- (2) 田中忠次、岡島賢治:Implicit-explicit 動的緩和法による地盤 構造物系の崩壊解析, 農業土木学会論文集 239, pp.1-6, 2005