

上屋-杭基礎系モデルにおける円形中空断面杭の動的応答解析

その1 解析概要及び無地盤の場合の動的解析結果と遠心载荷実験結果との比較

正会員 ○岸野泰典*¹
正会員 後藤天志郎*²
正会員 木村祥裕*³

円形中空断面杭 動座屈 液状化
変動軸力 動的解析 遠心载荷実験

1. 序

地震時に上屋構造物の慣性力によって生じる $P-A$ 効果により、転倒モーメントが偶力として杭に作用すると、大きな圧縮荷重を受けることから、杭に曲げ座屈を生じる可能性が指摘されている¹⁾³⁾。本論文では、文献 2), 3)における遠心载荷実験の試験体を再現する解析モデルを作成して動的解析を行い、杭の動座屈性状を明らかにする。

2. 解析モデル及び遠心载荷実験の試験体概要

写真 1 に文献 2)における遠心载荷実験の試験体、図 1 に解析モデルを示す。図 1(a)に示す骨組の解析モデルは、実験の試験体を再現するため、上部構造-板バネ-基礎部-杭材から構成されており、板バネ、基礎部及び杭材は梁要素、上部構造は 4 節点シェル要素である。杭下端は固定端であり、基礎部の水平移動は拘束されているが回転は許容されている。また、既往の研究¹⁾における静的増分解析では、単杭モデルによる検討を行っており、本論文においても図 1(b)に示す単杭の解析モデルによる検討と比較として行った。単杭モデルの両端は固定端である。図中の●は上部構造及び基礎部の質量の配置を示しており、その値は実験の試験体と等しくなるように設定した²⁾。

図 2 に地盤を付与した場合の解析モデル、図 3 に地盤モデルの詳細、図 4 に地盤モデルの復元力特性と文献 4)による地盤反力の履歴曲線を示す。地盤を付与した骨組モデルの解析においては、2 本の杭それぞれに図 2 に示すようなモデルを用い、杭間の地盤の影響は無視するものとする。図 4 の縦軸は地盤反力 p 、横軸は杭の水平変位 y であり、それぞれ基準反力 p_1 及び基準変位 y_1 で除して無次元化している。図中の実線は図 3 に示す地盤モデルの中央の節点に $y/y_1 = \pm 1.5, \pm 2.5, \pm 4.0$ の繰り返し水平変位を与えたときの履歴を示しており、点線は地中水平载荷試験に基づく地盤の履歴⁴⁾を示している。この地盤の履歴曲線において、繰り返し载荷に伴って地盤が緩むことにより、変位が生じて地盤反力がほとんど発生しない領域が見られる。地盤モデルは、このような地盤の複雑な挙動を再現するため、図 3 に示すような横材-縦材-杵材からなるモデルとした。横材及び縦材は弾性体であり、杵材は弾塑性体としている。杵材のみを塑性化させることで

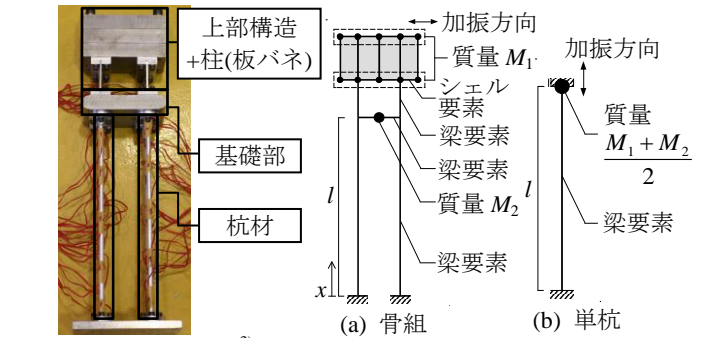


写真 1 実験の試験体³⁾

図 1 解析モデル

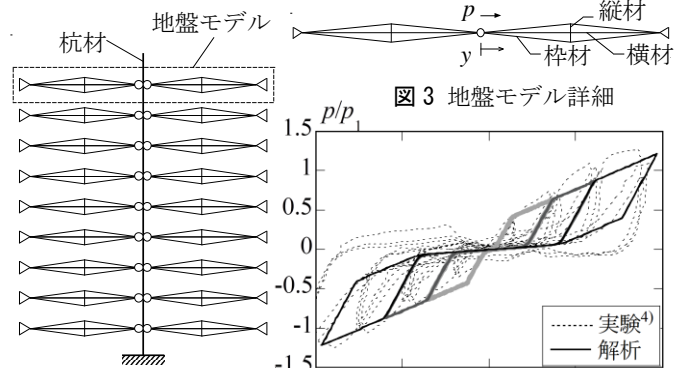


図 2 地盤を付与した解析モデル

図 3 地盤モデル詳細

図 4 地盤の復元力特性

履歴曲線の膨らみ及び地盤の緩みを簡易的に再現し、地盤反力が除荷するときに横材及び縦材が弾性挙動を示すことで実験における地盤の除荷剛性を設定した。解析における地盤剛性の求め方としては、文献 5)を参考に、地盤の相対密度から土槽中間における N 値を算出し、その値を地盤反力係数 K_c ¹⁾に換算する方法を採用した。地盤反力係数分布は三角形分布を仮定している。実験では加振開始から数秒後に液状化が発生するが、解析においては加振開始時から液状化地盤を想定して地盤剛性を設定しており、液状化による地盤反力係数 K_c ¹⁾の低減率は基礎構造設計指針⁶⁾を参考に 0.05 とした。また、地盤の質量は考慮しておらず、解析において地盤モデルは抵抗要素としてのみ機能するものとしている。

表 1 に文献 2), 3)で用いられている試験体諸元を示す。本論文で用いる解析モデルは、実験結果と比較するため実験の試験体と同じ断面形状とした。

表 1 試験体諸元

試験体	文献	杭材	杭長 l (mm) (細長比)	杭径 (mm)	板厚 (mm)	板バネ (mm)	軸力比	地盤の 相対密度 (%)	上屋構造物の 固有周期 T (s)	入力波	入力最大 加速度 (m/s^2)
A-1	2)	アルミ	6000 (76.8)	240	20	1800	0.37	無地盤	0.79	sweep	2.5
A-2						1400					4.5
A-3						1800					2.5
A-4						1800					1.8
B-1	3)		10400			1400		30	0.70		3.0
B-2						1800					

図 5 に骨組の動的解析で用いる入力波の時刻歴を示す。図は最大加速度 $2.5m/s^2$ の sweep 波である。sweep 波は加振開始 5 秒後から 50 秒間で周期を 2.0 秒から 0.3 秒まで変化させている。単杭の解析においては、骨組の解析によって算出される軸力応答を、杭頭の質量で除して加速度に換算し、鉛直方向に加振することで骨組の解析と同様の軸力が杭に作用するように入力した。

3. 無地盤下の動的解析と遠心載荷実験の比較

図 6(a), (b)に杭に作用する軸力応答時刻歴, 図 7(a), (b)に曲げ歪応答時刻歴を示す。実線は骨組の解析結果, 点線は実験結果である。また, 図 6 の▲は解析における最大軸力時, ▲は実験における最大軸力時を示している。図 7 の▼は解析において曲げ歪の増分が最大となる点, ▼は実験において曲げ歪の増分が最大となる点を示している。実験結果, 解析結果ともに最大軸力時の $0.1\sim 0.2s$ 後に曲げ歪の増分が最大となっており, その時刻を動座屈発生点とした。また, 動座屈発生までの最大作用軸力を動座屈耐力とした。軸力応答は実験結果と解析結果で概ね同様の傾向を示しており, 動座屈発生時刻も概ね同様である。

図 8(a), (b) に軸力-軸歪関係を示す。縦軸は杭に作用する軸力 N , 横軸は杭の平均軸歪 ϵ_c である。図中の▲は骨組の解析における最大軸力時, △は単杭の解析における最大軸力時, ▲は実験における最大軸力時を示している。骨組の解析結果は実験結果と概ね同様の履歴を示しており, 動座屈耐力も概ね等しい。単杭の解析結果は, 骨組の解析結果及び実験結果に比べて動座屈耐力が大きいものの, 概ね同様の履歴を示している。

図 9(a), (b) に軸力-曲げ歪関係を示す。縦軸は杭に作用する軸力 N , 横軸は杭中間部の曲げ歪 ϵ_b である。試験体 A-1 において, 曲げ歪増大後に緩やかに耐力が低下しているが, 細長比が大きい試験体 A-4 においては, 曲げ歪増大後に急激に耐力が低下しており, 骨組及び単杭の解析結果は, 実験の履歴を概ね捉えている。

4. 結

その 2 に示す。

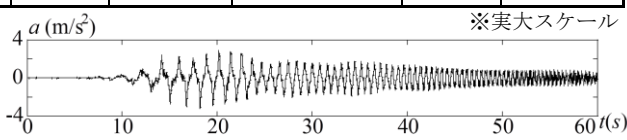


図 5 入力波時刻歴

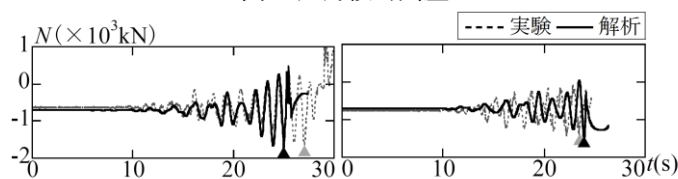


図 6 軸力応答時刻歴

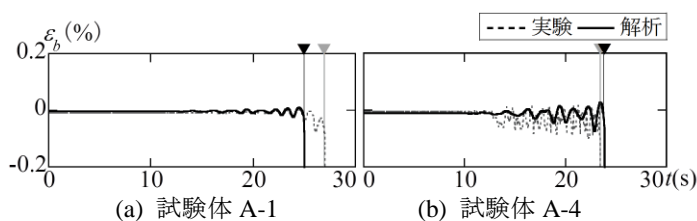


図 7 曲げ歪応答時刻歴

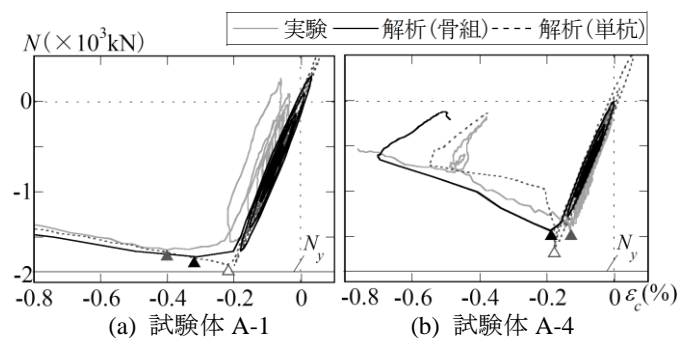


図 8 軸力-軸歪関係

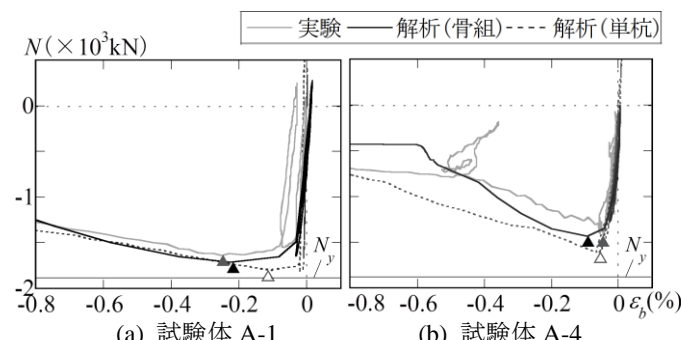


図 9 軸力-曲げ歪関係

*1 株式会社 山下設計 修士 (工学)

*2 東北大学大学院工学研究科 博士課程前期 学士 (工学)

*3 東北大学未来科学技術共同研究センター 教授 博士 (工学)

Yamashita Sekkei Inc, M.Eng.

Graduate Student, Graduate School, Tohoku University, B. Eng.

Prof., New Industry Creation Hatchery Center, Tohoku University, Dr.Eng.