

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2 液状化地盤の場合の動的解析と遠心载荷実験の比較及び動座屈耐力評価

正会員 ○後藤天志郎*1
正会員 岸野泰典*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

その2では、液状化地盤下において変動軸力を受ける円形中空断面杭の動的解析と遠心载荷実験を比較し、動座屈性状を把握する。また、動的解析によって算出される動座屈耐力を設計指針^{7), 8)}の座屈曲線を用いて評価する。

2. 液状化地盤下の動的解析と遠心载荷実験の比較

図1(a), (b)に杭に作用する軸力応答時刻歴, 図2(a), (b)に曲げ歪応答時刻歴を示す。無地盤の場合と同様に、曲げ歪の増分が最大となる点を動座屈発生点とし、動座屈発生までの最大作用軸力を動座屈耐力とした。軸力応答は解析結果と実験結果で概ね同様であるが、曲げ歪応答は解析結果よりも実験結果の方が大きくなっている。杭頭から杭中間部の範囲における曲げ歪は、解析結果に比べて実験結果の方が大きいことを確認している。これは、解析では地盤の質量を考慮していないため、地盤が杭の水平変形を拘束する抵抗要素としてのみ機能し、杭頭のみには軸力が作用するのに対し、実験では地盤が慣性力を受けることにより、液状化の過程で地盤からの水平力が杭に作用しているためであると考えられる。

図3(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。解析結果は実験結果と概ね同様の履歴を示しており、無地盤の場合と同様に骨組による解析の動座屈耐力と実験の動座屈耐力は概ね等しく、単杭による解析の動座屈耐力は骨組による解析及び実験の動座屈耐力に比べて大きくなっている。

図4(a)~(c)に解析と実験の最終変形状態の比較を示す。実験、解析ともに杭中間よりも杭頭側で変形が大きくなっており、最終変形状態は概ね同様の傾向を示している。

3. 上屋構造物の曲げ変形に伴う変動軸力を受ける円形中空断面杭の動座屈耐力評価

3.1 骨組モデルと単杭モデルの比較

図5に単杭に対する骨組の動座屈耐力と一般化細長比の関係を示し、図6に座屈時の骨組の杭頭回転角と一般化細長比の関係を示す。図5の縦軸は単杭の動座屈耐力 $N_{cr2,d}$ に対する骨組の動座屈耐力 $N_{cr1,d}$ の割合であり、横軸は一般化細長比 λ_c である。図6の縦軸は座屈時における骨組の杭頭回転角 θ であり、横軸は一般化細長比である。

杭の一般化細長比は、その杭の弾性座屈荷重 $N_{cr,s}$ に対する降伏荷重 N_y の割合として(1)式で表される。杭の弾性座屈荷重 $N_{cr,s}$ は、無地盤の場合は両端固定の弾性座屈荷重式を用い、液状化地盤の場合は地盤の水平剛性を考慮した杭の弾性座屈荷重式を用いて算出する⁹⁾。

$$\lambda_c = \sqrt{N_y / N_{cr,s}} \quad (1)$$

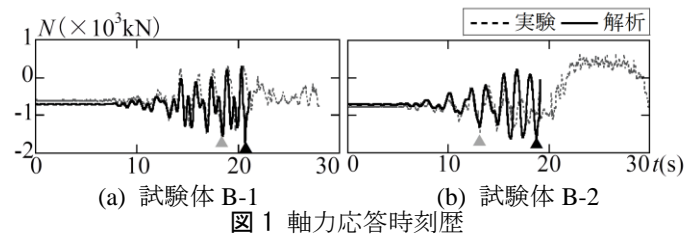


図1 軸力応答時刻歴

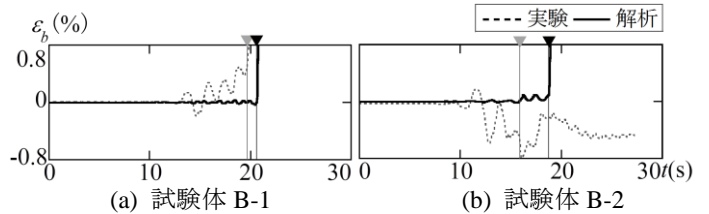


図2 曲げ歪応答時刻歴

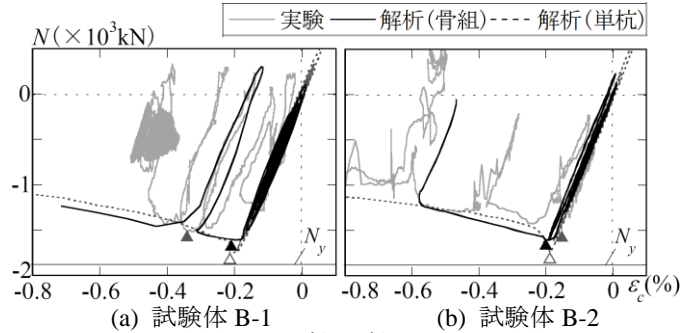


図3 軸力-軸歪関係

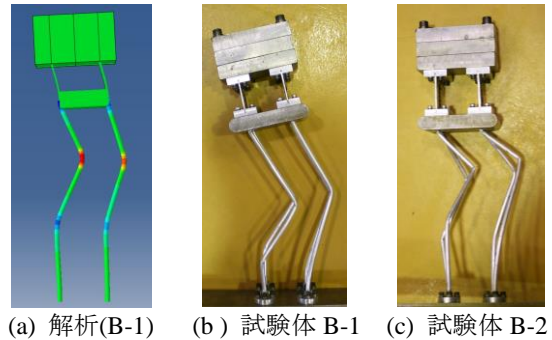


図4 試験体の最終変形状態

単杭は杭頭が完全固定であるのに対し、骨組は基礎部の回転が許容されているため、基礎部全体が回転するとき、杭頭で剛体回転が生じることから、単杭よりも骨組の方が杭頭の固定度が小さい傾向にある。したがって、図5の全てのプロットにおいて縦軸が1を下回っており、単杭の動座屈耐力が骨組の動座屈耐力を上回っている。また、図5において、一般化細長比が0.6~1.2の範囲で縦軸が小さくなっており、図6の横軸が同様の範囲においては、縦軸が大きい傾向にある。したがって、座屈時の骨組の杭頭回転角が大きいほど、単杭に対する骨組の杭の動座屈耐力が小さくなる傾向にある。

3.2 実験と解析における動座屈耐力の比較

図7(a), (b)に実験と解析の動座屈耐力の比較を示す。図の縦軸は実験の動座屈耐力 $N_{cr0,d}$ 、横軸は解析の動座屈耐力であり、それぞれ降伏荷重 N_y で除して無次元化している。また、網掛け部分は誤差±10%の範囲を示している。図7(a)において、全てのプロットが網掛け部分に収まっており、実験と骨組による解析の動座屈耐力は概ね等しい。図7(b)においては、単杭と骨組の杭頭の固定度の違いにより、単杭による解析の動座屈耐力が大きくなっていることから、一部のプロットが網掛け部分から外れている。以上より、本論文における骨組の動的解析により、遠心載荷実験の動座屈挙動を再現できることを示した。

3.3 円形中空断面杭の動座屈耐力評価

図8に解析及び実験から求められる動座屈応力度と、鋼構造限界状態設計指針⁷⁾及び鋼構造設計規準⁸⁾による座屈曲線との比較を示す。縦軸は杭の動座屈耐力 $N_{cr,d}$ を杭の断面積 A で除して求めた動座屈応力度 σ_{cr} を降伏応力度 σ_y で除したものであり、横軸は一般化細長比である。単杭の解析結果は、一部鋼構造設計規準の座屈曲線を上回っているが、骨組の解析結果は概ね両座屈曲線の間に乗っており、杭の動座屈耐力は鋼構造限界状態設計指針⁷⁾の座屈曲線を下限値として安全側に評価できる。

4. 結

- 1) 文献 2), 3)において、遠心載荷実験で用いられた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、上屋構造物の曲げ変形に伴う変動軸力を受ける円形中空断面杭の座屈性状を明らかにした。
- 2) 動的解析によって算出される座屈応力度を、文献 2)と同様に設計指針⁷⁾の座屈曲線により評価できることを確認し、構築した解析モデルの妥当性を示した。

【謝辞】

本研究は「公益財団法人中部電気利用基礎研究振興財団」の研究助成による成果である。ここに深く感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 木村祥裕, 時松孝次: 液状化地盤において鉛直荷重を受ける鋼管単杭の曲げ座屈応力度, 日本建築学会構造系論文集, 第

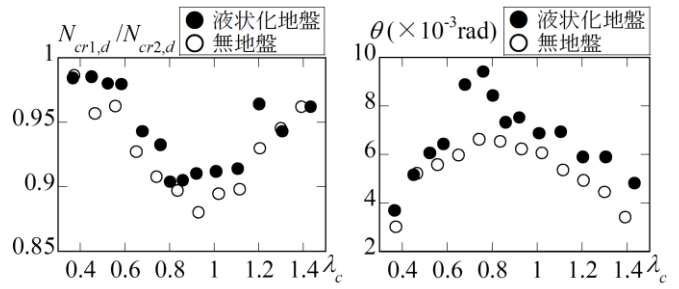


図5 単杭に対する骨組の座屈耐力と一般化細長比

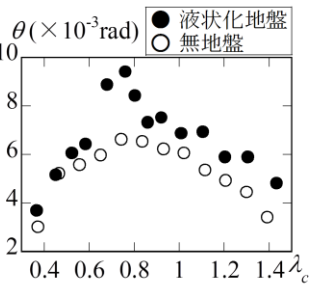
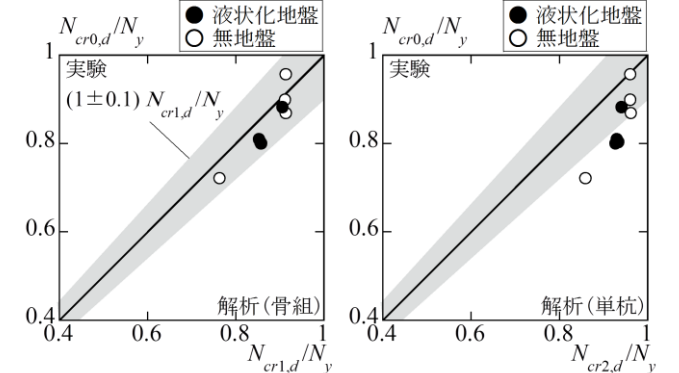


図6 骨組の杭頭回転角と一般化細長比の関係



(a) 実験と骨組解析 (b) 実験と単杭解析

図7 実験と解析の座屈耐力の比較

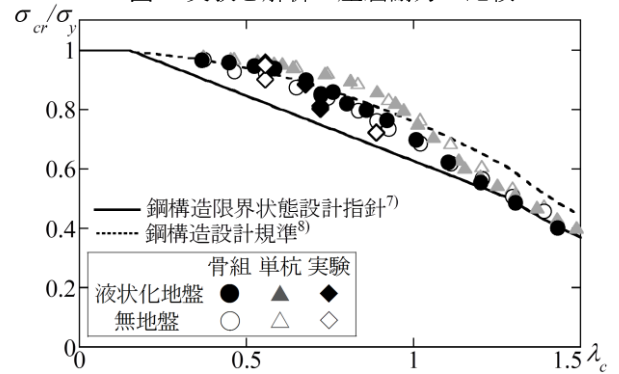


図8 曲げ座屈応力度と設計式の比較

595号, pp73-pp78, 2005.9

- 2) 木村祥裕, 小野原公一, 武本大聖, 田村修次, 肥田剛典: 鋼管杭の動座屈崩壊挙動を再現した遠心載荷実験, 鋼構造年次論文報告集, 第19巻, pp77-pp82, 2011.11
- 3) 木村祥裕, 田村修次, 小野原公一, 栗木周: 遠心載荷実験による液状化地盤における鋼管杭の動座屈崩壊挙動, 鋼構造年次論文報告集, 第20巻, pp795-pp798, 2012.11
- 4) 時松孝次, 鈴木比呂子, 佐伯英一郎: 実大杭の杭頭および地中水平載荷試験に基づく地盤反力変位関係, 日本建築学会構造系論文集第, 562号, pp53-pp58, 2002.1
- 5) 田村修二, 肥田剛典: 地震時土圧と側面摩擦力を考慮した応答変位法による杭応力評価, 日本建築学会構造系論文集, 第76巻, 第670号, pp2115-pp2121, 2011.12
- 6) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針・同解説, 2001.10
- 7) 日本建築学会: 鋼構造限界状態設計指針・同解説, 1998.10
- 8) 日本建築学会: 鋼構造設計規準, 2005.9
- 9) 木村祥裕, 田村修次, 岸野泰典: 遠心載荷実験による液状化地盤下での円形中空断面杭の動座屈性状, 鋼構造年次論文報告集, 第21巻, pp294-pp299, 2013.11

*1 東北大学大学院工学研究科 博士課程前期 学士 (工学)

*2 株式会社 山下設計 修士 (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)

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

Yamashita Sekkei Inc, M. Eng.

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