

大規模群杭基礎を有する構造物の大地震時における耐震安全性の評価方法について

○護 雅史¹⁾・福和伸夫²⁾

- 1) 正会員 名古屋大学大学院環境学研究科, 名古屋市千種区不老町, m.mori@sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp
- 2) 正会員 名古屋大学大学院環境学研究科, 名古屋市千種区不老町, fukuwa@sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

東南海地震など、南海トラフで発生する巨大地震の発生が懸念されている現在、地震被害を軽減するために、既存建物の耐震安全性確認が急務となっている。特に、電力やガスなど、ライフライン系施設の被害は、大地震後の復旧活動に大きな影響を与えるため、これらの施設の耐震安全性を確保することが重要である。このような施設が、沿岸の埋立地等の軟弱地盤上に立地する場合には、非常に大規模な群杭基礎を採用することがある。大規模群杭基礎を有する構造物の耐震安全性の検討のうち、特に大地震時の杭基礎自体の挙動や耐震性については、解析の困難さもあって、進んでいないのが現状であると推察する。そこで、本論では、大規模群杭基礎の耐震安全性を評価する場合の課題（特に解析モデル）について述べるとともに、著者らが最近検討を始めた手法について述べる。

2. 大規模群杭基礎の地震応答解析モデル

土方らは、SRモデルによる時刻歴地震応答解析を想定して、小規模群杭の群杭係数から大規模群杭の群杭係数を推定する方法を提案する¹⁾とともに、提案手法による火力発電所建屋の地震応答解析を実施し、手法の妥当性を検証している²⁾。また、富井らは、杭周辺地盤の材料非線形性や剥離を考慮した場合の群杭係数について検討している^{3)・4)}。これらの研究では、地盤や杭周辺地盤の非線形性を等価線形的に取り扱っており、杭体の非線形性を含む動的な非線形挙動を追跡するためには、SRばねに復元力特性をどのように組み込んでいくかが課題である。一方、杭―地盤系を質点―ばね系モデル、いわゆるPenzien型モデルやフレームモデルに置換し、杭周地盤や杭体の復元力特性を与えて、一体で時刻歴非線形地震応答解析を行う方法がある^{例えは5)}。ただし、数千本の大規模群杭を1本棒のモデルにより評価する場合には、1本の集約杭として評価することの妥当性や各杭の応答評価方法に課題が残される。一方、フレームモデルとして、全杭を個別にモデル化することは、計算機環境の問題等から、現時点では非常に困難である。

3. 新たな地震応答解析モデルの検討

文ら⁶⁾は、大規模群杭をグループ化し、各グループで集約化を行うことにより、大規模群杭の問題を小規模群杭の問題に置換する方法を提案している。この方法を用いれば、小規模群杭のフレームモデル

による解析が可能となり、1本棒モデルと大規模群杭モデルの中間的な位置づけとして適用性が高いと考えられる。ただし、小規模群杭の連成した相互作用ばねをどのようにスカラー化するかが課題である。このような背景から、著者らはこれまでに、図1に示すような地盤ばねのスカラー化の方法について検討を進めている⁷⁾。

しかし、これまでの検討では、まだ十分精度の良ければ定数を算定するまでには至っていない。そこで、本論では、文献8)を参考に、杭頭せん断力分担率や杭頭インピーダンスが、精算法（薄層要素法）による結果と対応するように軸ばねとせん断ばねを補正すること試みる。なお、少数本杭への集約化は、文献6)で既に妥当性が検証されているので、ここでは、軸ばねとせん断ばねの補正方法について検討する。

4. 軸ばね、せん断ばねの補正の検討

4.1 解析対象と解析モデル

図2に手法の適用性検討に用いた解析モデルを示す。地盤は半無限一様地盤とする。杭は、杭長15.3mで杭先端はGL-15mとする。基礎は矩形とし、杭本数は4×4、杭間隔比S/Bは3とする。加振方向はX方向とする。地盤や杭の諸元は、同図に示すとおりである。

4.2 軸ばね、せん断ばねの補正結果

図3に、補正前後での軸ばねの比較（剛性と減衰係数）を示す。両者とも補正前と比較して、1.5倍程度大きくなっていることがわかる。図4には、杭頭インピーダンス（加振方向）を精算法、及び補正前後で比較している。また、図5に杭頭せん断力分布の補正前後での精算法との比較結果を示す。両図とも、精算法との対応関係が向上しており、補正の効果が認められる。ただし、杭頭インピーダンスの虚部については、やや過大評価となっている。

地盤ばねの補正が杭応答に与える影響について検討した結果を図6に示す。図は、図5からも推測されるように、補正の影響が大きいと考えられる隅杭(P1)と中杭(P4)における杭頭加振時の杭の応答振幅と位相を $f=1\text{Hz}, 5\text{Hz}$ の場合について、精算法と比較して示している。これら図から、補正後の結果は、精算法と非常によく対応していることが分かり、補正方法の妥当性が確認できた。

5. まとめ

本論では、大規模群杭基礎の耐震安全性の評価方法

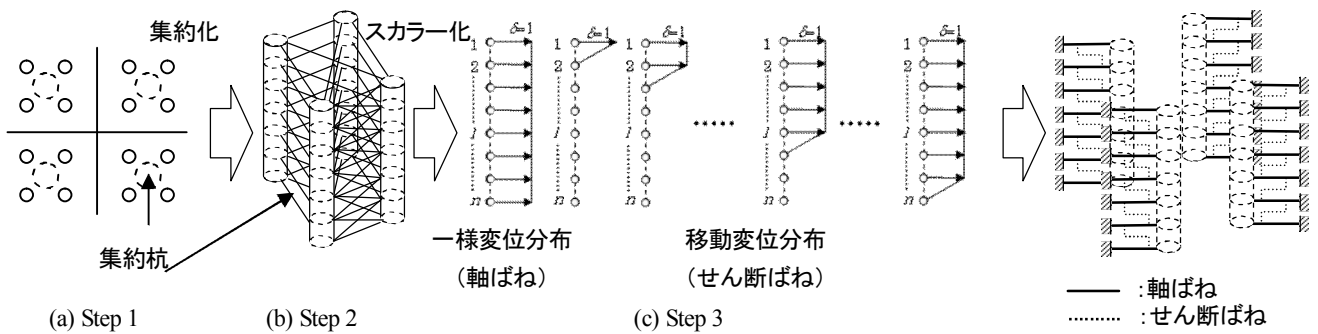


図1 相互作用ばね算定の概略図

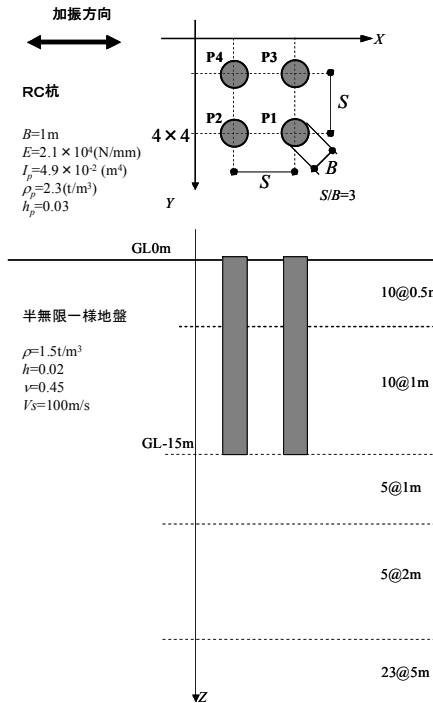


図2 検討用解析モデル

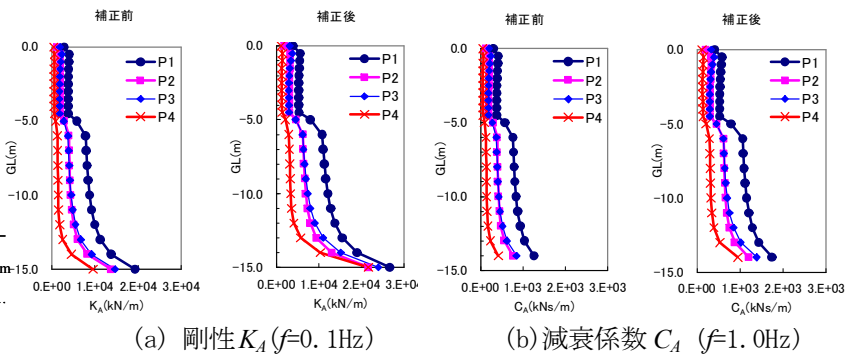


図3: 補正前後での軸ばねの比較

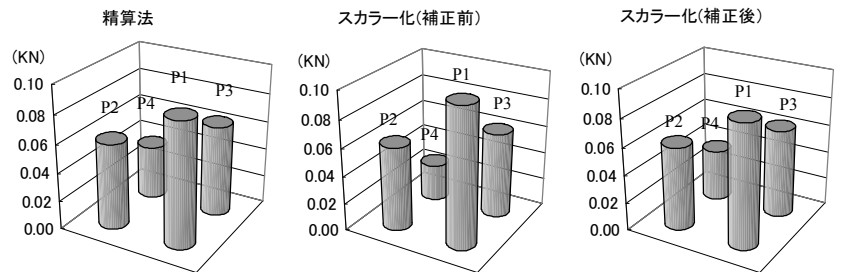


図5: 杭頭せん断力分布の補正前後での精算法との比較

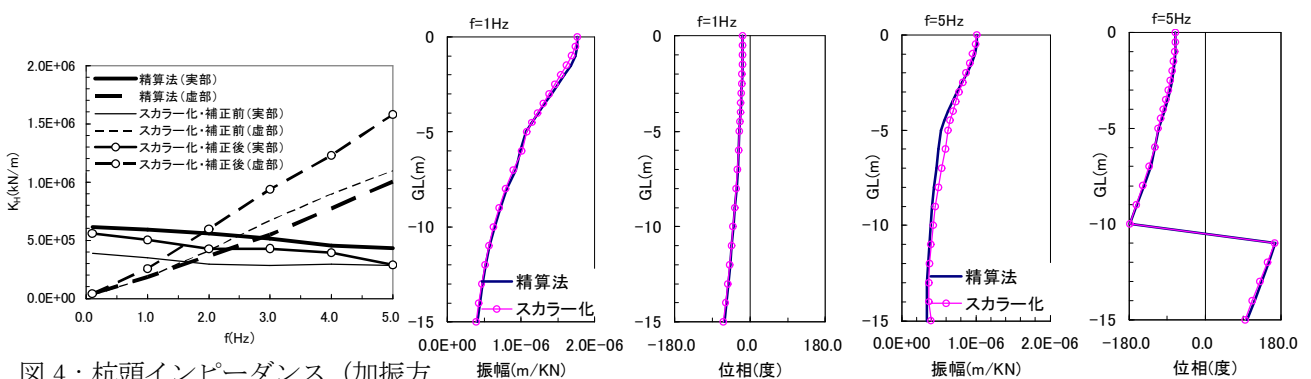


図4: 杭頭インピーダンス (加振方向) の補正前後での精算法との比較

図6: 補正後の地盤ばねを用いた杭の変位分布の精算法との比較

(特に解析モデル) の課題について述べるとともに、評価に用いる3次元フレームモデルの相互作用ばねの算定方法を提案し、その適用性について検討した。その結果、スカラー化を行った後、杭頭せん断力分担率や杭頭インピーダンスが精算法による結果と対応するように補正を加えることで、モデル化の精度を向上させることができた。

参考文献

- 1) 土方ほか：群杭係数の評価方法に関する研究，日本建築学会構造系論文集，No. 476，pp. 57-66，1995
- 2) 土方ほか：杭支持された火力発電所建屋の動的相互作用評価法，日本建築学会構造系論文集，No. 502，pp. 39-46，1997

- 3) 富井ほか：杭周辺地盤の非線形性を考慮した群杭インピーダンスの研究：(その1)材料非線形性の影響検討，日本建築学会学術講演梗概集，B，pp. 541-542，1994
- 4) 久保ほか：杭周辺地盤の非線形性を考慮した群杭インピーダンスの研究：(その2)杭と周辺地盤間の剥離の影響検討，日本建築学会学術講演梗概集，B，pp. 543-544，1994
- 5) 宮本ほか：液状化地盤における杭基礎の地震時杭応力に関する研究：杭基礎の遠心模型実験と解析的検討，日本建築学会構造系論文集，No. 482，pp. 53-62，1996
- 6) 文，福和ほか：大規模群杭の効率的な動的相互作用解析法，日本建築学会構造系論文集，No. 607，pp. 109-116，2006
- 7) 護，福和：大規模群杭の非線形地震応答解析におけるフレームモデルに用いる相互作用ばねの評価方法に関する研究，日本建築学会学術講演梗概集，B-2，pp. 116-117，2007
- 8) 土方ほか：群杭基礎の非線形挙動に関する振動実験および解析研究：25本杭試験体の実験結果とシミュレーション解析，日本建築学会構造系論文集，No. 615，pp. 109-117，2007