

大規模群杭 フレームモデル 相互作用ばね  
集約化 非線形地震応答解析 インピーダンス

1. はじめに

日本では、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おり、これに対して、既存建物の耐震安全性を確認すること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、軟弱地盤である沿岸の埋立地等に立地する場合には、非常に規模の大きい群杭基礎を採用ことがある。本論では、このような大規模群杭を有する構造物の地震応答解析や静的増分解析に用いる3次元フレームモデルにおける相互作用ばねの評価方法について提案する。

2. 相互作用ばねの評価方法

本研究で提案する方法は、図1に示すとおりである。まず、文・福和(2006)<sup>1)</sup>に従って、大規模群杭をグループ化し、グループ内で杭を集約することにより、少数本の杭(集約杭)から構成される群杭に置換する。次に、同図(c)に示すように、各集約杭に一樣変位分布、あるいは移動変位分布を仮定することにより、少数本群杭のインピーダンス(フルマトリクス)を水平方向の軸ばね、あるいはせん断ばねからなる三重対角マトリクスに置換する ((1)式、(2)式参照)。

$$k_{ai}^k = \sum_{j=1}^{N_p} \sum_{l=1}^{N_L} K_{ij}^{kl} \quad (1)$$

$$k_{bi}^k = \sum_{j=1}^{N_p} \sum_{l=1}^k K_{ij}^{kl} - k_{ai}^k \quad (2)$$

ここに、 $k_a$ 、 $k_b$ 、 $K_{ij}^{kl}$ 、 $N_p$ 、 $N_L$ は、それぞれ、水平方向の軸ばね、せん断ばね、集約した群杭基礎のインピーダンスマトリクス、杭本数、地盤の層数である。

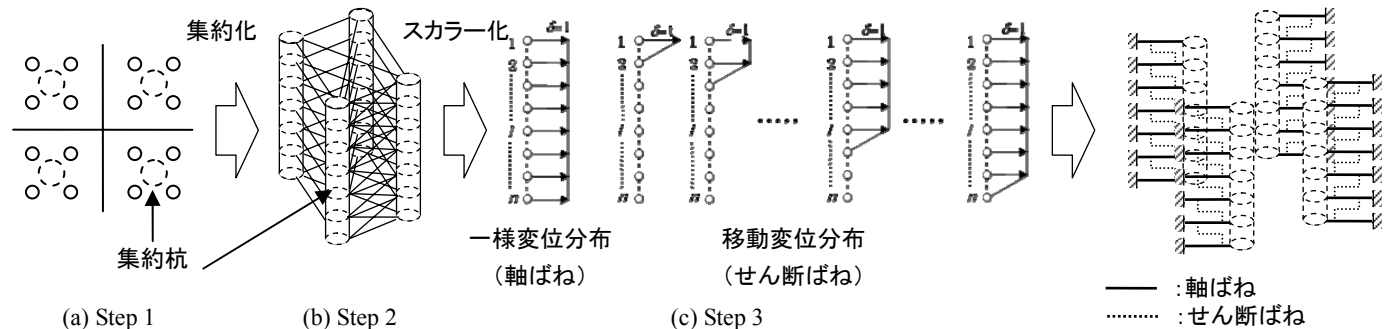


図1 相互作用ばね算定の概略図

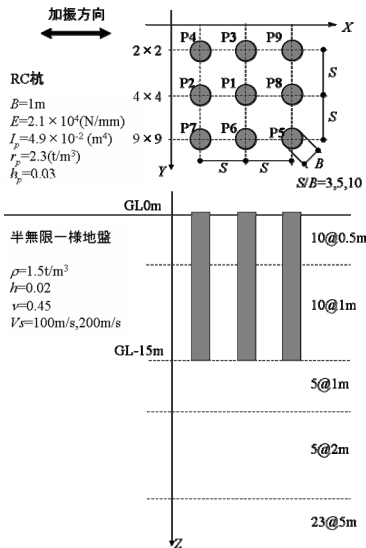
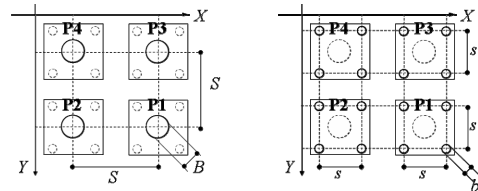


図2 検討用解析モデル

3. 適用性の検討に用いた解析モデル

図2に手法の適用性検討に用いた解析モデルを示す。なお、少数本杭への集約化は、文・福和(2006)<sup>1)</sup>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への置換方法について検討する。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 $N_p$ は、 $2 \times 2$ 、 $4 \times 4$ 、 $6 \times 6$ 、杭間隔 $S/B$ は、3、5、10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。

また、本論では、杭配置の違いが地盤ばねに与える影響についても検討した。図3に示すように、杭配置は、1つのフーチングに1本の場合と4本の場合を想定した。杭径は、周面積が等価となるように、それぞれ $B=2m$ 、



(a) 1フーチング1本杭 (b) 1フーチング4本杭

図3 杭配置検討用モデル (4x4)

$b=0.5\text{m}$ とした。フーチング間隔 $S$ は、 $10\text{m}(S/B=5)$ 、4本杭の杭間隔 $d$ は、1本杭の断面2次モーメントと等価になる場合 ( $s=2\text{m}$ ) と比較のために、これを2倍した場合 ( $s=4\text{m}$ ) とした。 $V_s=100\text{m/s}$ とした。また、4本杭の地盤ばねは、文・福和(2006)<sup>1)</sup>に従い、4本杭を1本に集約した後、集約杭の値として算定している。

#### 4. 解析結果と考察

図4に杭頭インピーダンス $K_H$ を、集約をしない精算法(ケース1)、提案手法(ケース2)、及び既往の手法<sup>2)</sup>による結果(ケース3)と比較している。これらから、静的剛性は、ケース2、3のいずれも、ケース1の5~7割程度となっていることが分かる。一方、減衰はいずれのケースも同程度となっている。図5に、杭頭せん断力分担率のケース1とケース2の比較結果を $V_s=100\text{m/s}$ と $V_s=200\text{m/s}$ の場合( $N_p=16, S/B=3$ )について示す。これから、ケース2は、中杭(P4)を過小評価、隅杭(P1)を過大評価する傾向があることが分かる。図6、及び図7に各杭の軸ばね $k_a$ の $f=0.1\text{Hz}$ における剛性分布、及び $f=1.0\text{Hz}$ における減衰係数分布について、杭間隔比 $S/B$ を変えた場合の結果を示す。これらの結果から、中杭(P4)で数値が小さく、隅杭(P1)で最も大きいことや、両者の差は、杭間隔比 $S/B$ が大きくなると小さくなるという傾向があることがわかる。なお、本論では、結果を示さないが、せん断ばねは、杭位置や杭間隔 $S/B$ に関わらずほぼ一様であることを確認している<sup>3)</sup>。図8は、杭配置の違いによる軸ばね $k_b$ 剛性分布の比較結果である( $V_s=100\text{m/s}, N_p=16, S/B=5$ )。この結果から、4本杭の場合は1本杭に比べて、隅杭(P1)の軸ばね剛性を大きく、中杭(P4)のそれを小さく評価する傾向が読み取れる。

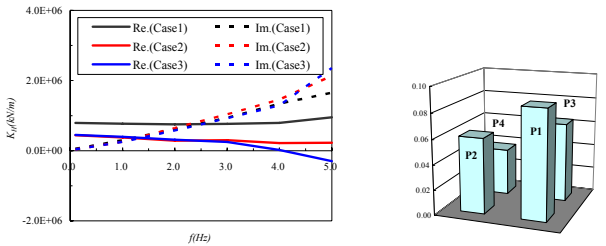


図4 杭頭インピーダンス $K_H$ の比較 ( $V_s=100\text{m/s}, N_p=16, S/B=5$ )

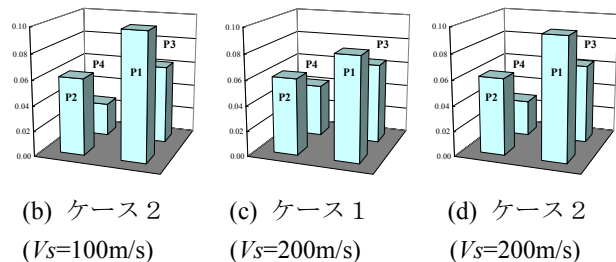


図5 杭頭せん断力分担率の比較( $N_p=16, S/B=3$ )

また、その傾向は、杭間隔  $d$  が大きいほど顕著である。この結果の妥当性については、今後の検討課題としたい。

#### 5. まとめ

本論では、大規模群基礎の耐震性能評価に用いる3次元フレームモデルの相互作用ばねの評価方法を提案し、その適用性について検討した。今後は、各ばねの非線形性や地盤変位の入力方法についても検討する予定である。

謝辞 本論文の作成に当たりまして、鹿島建設(株)酒向博士に貴重なご意見をいただきました。また、中国湖南大学の文学章博士には、相互作用解析プログラムを提供していただきました。ここに、感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 文・福和：日本建築学会構造系論文報告集, No.607, pp.109-116, 2006.
- 2) 宮本ほか：日本建築学会構造系論文報告集, No.471, pp.41-50, 1995.
- 3) M.Mori and N. Fukuwa: The 4th U.S.-Japan Workshop On Soil-Structure-Interaction Tsukuba, Japan March 28-30, 2007.

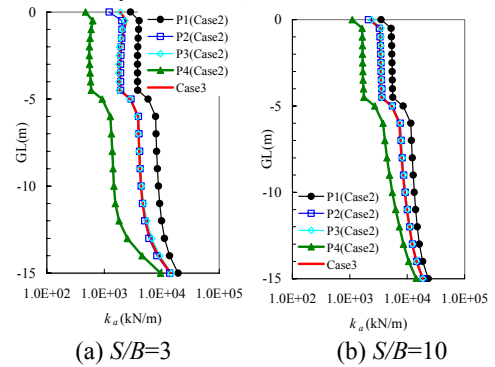


図6 各杭の軸ばね $k_a$ の剛性分布 (ケース2,  $V_s=100\text{m/s}, N_p=16, S/B=5$ )

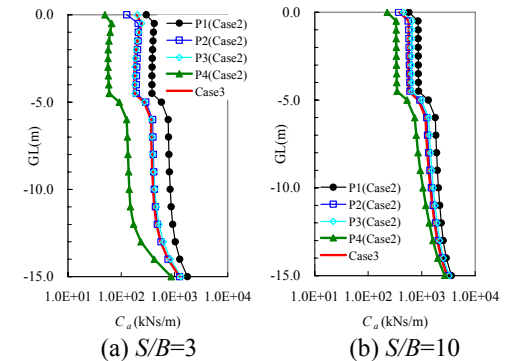


図7 各杭の軸ばね $k_b$ の減衰係数分布 (ケース2,  $V_s=100\text{m/s}, N_p=16, f=1.0\text{Hz}$ )

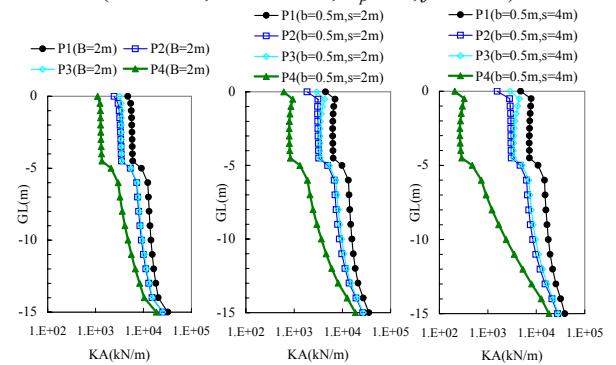


図8 1フーチング1本杭と4本の集約杭の軸ばね $k_a$ の剛性分布の比較( $V_s=100\text{m/s}, N_p=16, S/B=5$ )

\*1 名古屋大学大学院環境学研究科 准教授・博士(工学)

\*1 Assoc. Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

\*2 名古屋大学大学院環境学研究科 教授・工博

\*2 Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.