

対称性を考慮したパイルド・ラフトの簡易三次元変形解析

正会員 ○Kitiyodom Pastsakorn*
 正会員 松本 樹典**
 正会員 和田 昌敏***

パイルド・ラフト 変形解析 対称性
 相互作用 三次元 杭

1. はじめに

静的荷重を受けるパイルド・ラフト基礎の解析ツールとして簡易三次元変形解析プログラムPRABが開発された¹⁾²⁾。実際問題の解析において杭本数が増えると、解析時間が長くなる。解析対象の基礎形状および荷重条件によっては、フルモデルで計算するのではなく、フルモデルの半分または1/4を対象として計算できる場合がある。そこで、本報では、解析時間の短縮を目的として問題の対称性を考慮したパイルド・ラフトの簡易三次元変形解析について報告する。

2. 解析手法

簡易解析プログラム PRAB は、鉛直・水平およびモーメント荷重を受けるパイルド・ラフトの変形および荷重分担を計算することが可能である。図2はPRABにおけるパイルド・ラフト基礎のモデル化の概要を示したものである。ラフトは薄板要素、杭は梁要素、地盤はラフト節点あるいは杭節点に連結された3本のばねで表現する。相互作用はMindlinの解に基づいて求められる。解析手法の詳細については、Kitiyodom & Matsumoto (2002, 2003)を参照されたい。PRABでは、弾・完全塑性を含む非線形地盤ばねを用いることで、ラフト底面地盤の支持力破壊、ラフト底面のすべり現象、ラフト底面と地盤表面の剥離、杭先端地盤の破壊、杭周面のすべり現象も考慮できる。

パイルド・ラフト全体の変形および荷重分担は式(1)に解くことによって求められる。

$$[C + K_r + K_p] \{w\} = \{F\} \quad (1)$$

ここで、 $[K_r]$ と $[K_p]$ はラフトおよび杭の剛性マトリックスである。 $\{w\}$ と $\{F\}$ は変位および外力ベクトルである。 $[C]$ の対角項は地盤ばねであり、相互作用を表す非対角項はMindlinの解に基づいて求められる。

PRABのようなハイブリッド解析法で問題の対称性を考慮する際には、有限要素法と同様に対称軸の節点の境界条件を与える他に、対称性を考慮して解析メッシュに含まれていない節点からの相互作用係数を考慮する必要がある。例えば図3のような問題では、任意節点*i*の変位は下式で求められる。表現を簡略するために鉛直方向のみを示している。

$$w_i = \sum_{j=1}^9 a_{ij} F_j \quad (2)$$

ここで a_{ij} は相互作用係数である。

対称性を考慮すると1/2モデル、1/4モデルの各節点の変位は式(3)、(4)で求められる。

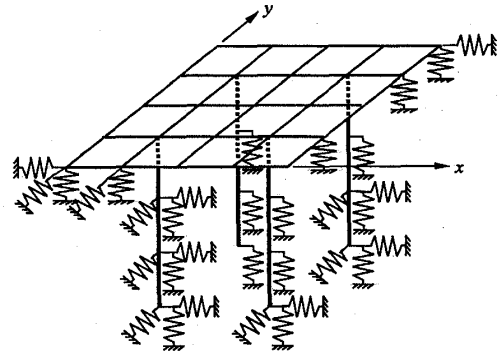


図2 パイルド・ラフトの解析モデル

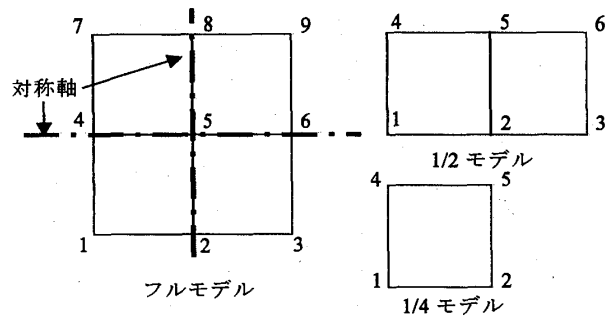


図3 対称性を考慮する解析条件

$$\begin{Bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \\ w_5 \\ w_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} + a_{17} & a_{12} + a_{18} & a_{13} + a_{19} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} + a_{27} & a_{22} + a_{28} & a_{23} + a_{29} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} + a_{37} & a_{32} + a_{38} & a_{33} + a_{39} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ a_{41} + a_{47} & a_{42} + a_{48} & a_{43} + a_{49} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} + a_{57} & a_{52} + a_{58} & a_{53} + a_{59} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{61} + a_{67} & a_{62} + a_{68} & a_{63} + a_{69} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{Bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_4 \\ w_5 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} + a_{13} + a_{17} + a_{19} & a_{12} + a_{18} & a_{14} + a_{16} & a_{15} \\ a_{21} + a_{23} + a_{27} + a_{29} & a_{22} + a_{28} & a_{24} + a_{26} & a_{25} \\ a_{41} + a_{43} + a_{47} + a_{49} & a_{42} + a_{48} & a_{44} + a_{46} & a_{45} \\ a_{51} + a_{53} + a_{57} + a_{59} & a_{52} + a_{58} & a_{54} + a_{56} & a_{55} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_4 \\ F_5 \end{Bmatrix} \quad (4)$$

式(3)、(4)を式(1)に代入すると対称性を考慮するパイルド・ラフトの変形および荷重分担を計算することができる。

3. 検証解析

新たに拡張した PRAB の妥当性を検証するために、図4および表1に示すように、計4ケースの解析を実施した。解析で設定した条件を表2に示す。全解析ケースでは解析条件が同一である。Case 1 (フルモデル) は対称性

を考慮しない場合である。Case 2, 3 (1/2モデル) は x または y 軸が対称軸であり, Case 4 (1/4モデル) は x と y 軸が両方対称軸である。対称性を考慮すると節点の数が減少し計算時間が短くなる。Case 4 の計算時間が Case 1 の計算時間に比べて, 約 1/40 まで短縮される。

図4に, 各ケースにおける杭 P1 の鉛直方向変位分布(a), x 方向水平変位分布(b), y 方向水平変位分布(c), 軸力分布(d), x 方向せん断力分布(e), y 方向せん断力分布(f)を示している。いずれのケースにおいても, 一致した解析結果が得られる。

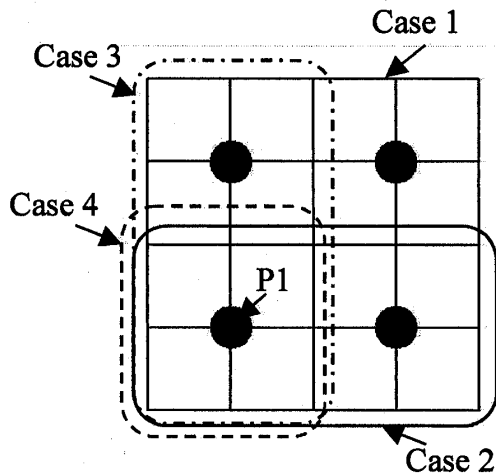


図4 解析メッシュ

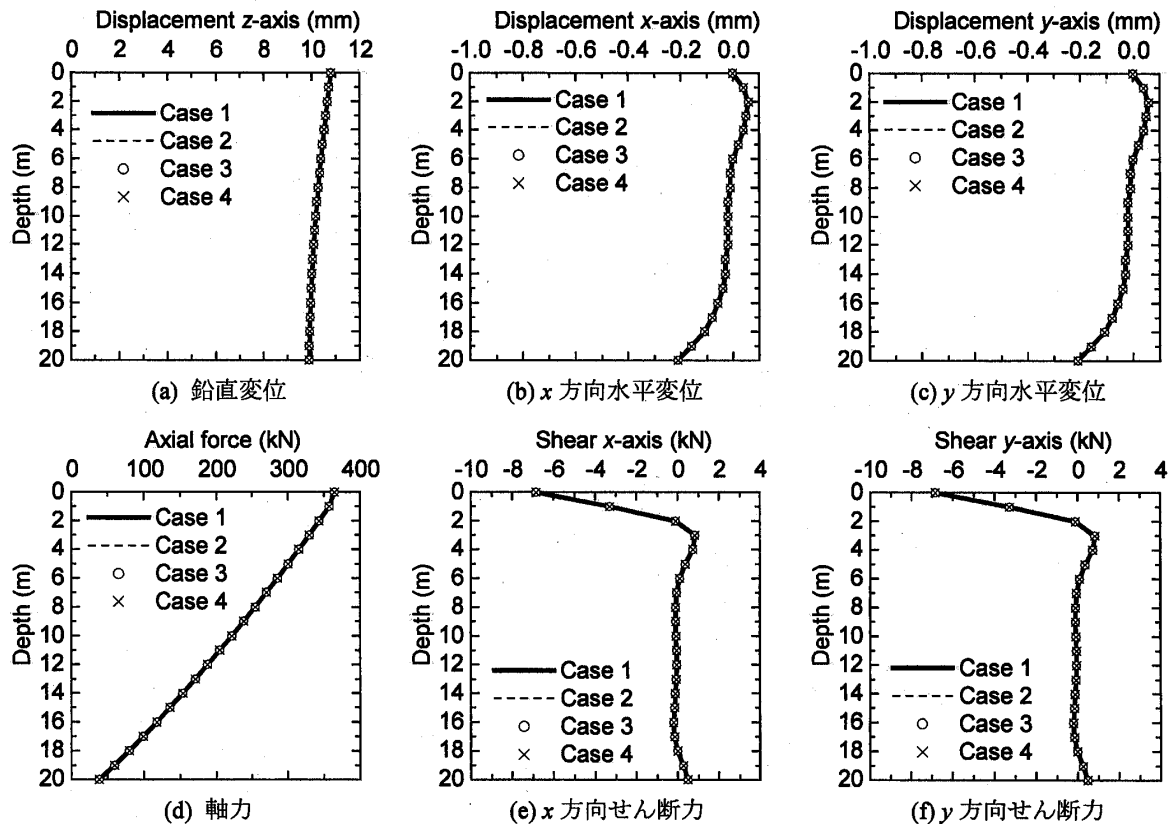


図5 計算結果

表1 解析ケース

	対称軸	節点数	計算時間
Case 1	なし	105	1.796 s
Case 2	x	55	0.250 s
Case 3	y	55	0.250 s
Case 4	x, y	29	0.047 s

表2 解析条件一覧

杭	杭長	20 m	外径	0.5 m
	弾性係数	23 GN/m ²		
ラフト	長さ	4 m	ポアソン比	0.2
	幅	4 m	弾性係数	23 GN/m ²
	厚さ	0.5 m		
地盤	ポアソン比	0.3	弾性係数	10 MN/m ²
外力	分布荷重	100 kN/m ²		

参考文献

- 1) Kitiyodom P & Matsumoto T (2002). A simplified method for piled raft and pile group foundations with batter piles. *Int. Jour. for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 26, 1349-1369.
- 2) Kitiyodom P & Matsumoto T (2003). A simplified analysis method for piled raft foundations in non-homogeneous soils. *Int. Jour. for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 27, 85-109.

*金沢大学大学院 助手・工博

**金沢大学大学院 教授・工博

***新日本製鐵株式会社 エコパイルユニット・工修

*Research Associate, Kanazawa University, Dr. Eng.

** Professor, Kanazawa University, Dr. Eng.

*** ECOPILE Business Unit, Nippon Steel Corporation, M.Eng.