

パイルド・ラフト解析における相互作用評価手法

正会員 ○関口 淳\*  
同 土屋 勉\*\*  
同 永井 宏\*\*\*

パイルド・ラフト 相互作用 鉛直荷重  
水平荷重 混合解析

1. はじめに

鉛直力や水平力を受けるパイルド・ラフトの挙動を解析するためには、杭-ラフト間や隣接する杭-杭間の相互作用を考慮することが必要である。地盤を介するこれらの相互作用には杭およびラフトの全節点に Mindlin 解を適用することが多いが、原理的にフルマトリックスとなる。このため、実務で対象となるような建築構造物では演算時間が急増して、コンピューター能力が向上した昨今でもパイルド・ラフトの解析が困難になる。

本報告では、当研究室で従来開発してきた解析法<sup>1)</sup>に、集約地盤節点の概念を導入して解析容量の低減を図る新たなハイブリッド解析法を構築した後、解析結果に及ぼす集約地盤節点数の影響について検討する。

2. 解析法 の 概念

図1は集約地盤を有するハイブリッド解析法の基本的な概念である。ラフトには薄板要素、杭には線要素を用いた有限要素法を採用する。(イ)~(ハ)は近傍地盤であって、非線形型のリンケージバネでモデル化した。(ニ)は一般地盤であって、弾性型の荷重伝達バネの他に、地盤を介した相互作用を評価するのに Mindlin 解を導入する。近傍地盤と一般地盤に領域分けしたのは相互作用が過大に評価されないための配慮である。また、一般地盤の相互作用を評価する部分がフルマトリックスとなるので、複数の地盤節点をまとめた集約地盤節点を導入したのが特徴となっている。

3. 解析例および考察

3.1 解析モデルの形状と諸常数

図2は検討対象としたモデルであって、杭頭に正方形平面のラフトが載っており、ラフト中央部(杭頭)に単位の鉛直または水平荷重を作用させている。ここでは、対称条件を考慮して斜線を施した全体の1/2部分について解析を行っている。

図3および図4は、それぞれラフトおよび杭の分割方式である。集約地盤の影響を検討するために、集約地盤節点数とその位置を種々変化させたモデルを設定した。すなわち、地盤節点が支配するラフトの要素数と杭の要素数を変化させており、モデル名は1個の地盤節点が支配する要素数に対応させている。なお、ラフトまたは杭のどちらか一方の集約地盤節点数を検討しており、もう

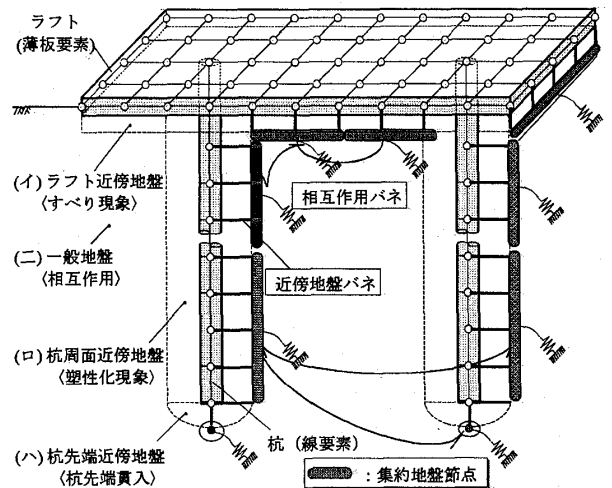


図1 基本的概念

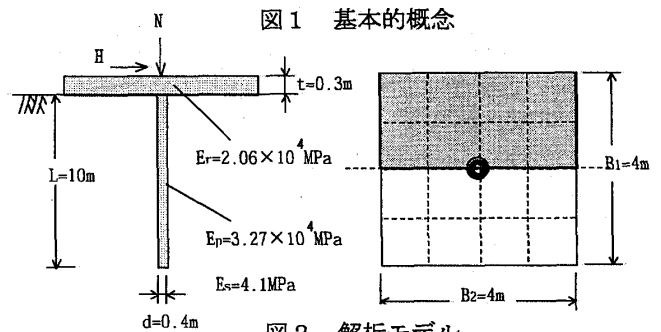


図2 解析モデル

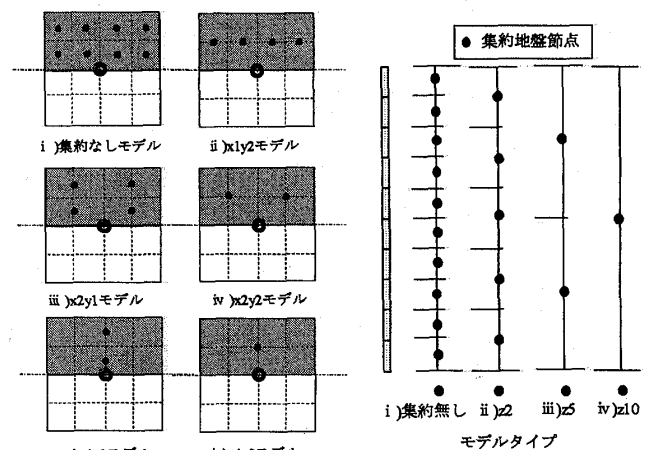


図3 ラフト部の集約モデル

図4 杭部の集約モデル

モデルタイプ  
i) 集約無し ii) z2 iii) z5 iv) z10

Analytical study of interaction effect for piled raft foundation.

SEKIGUCHI Jun, TSUCHIYA Tsutomu, NAGAI Hiroshi

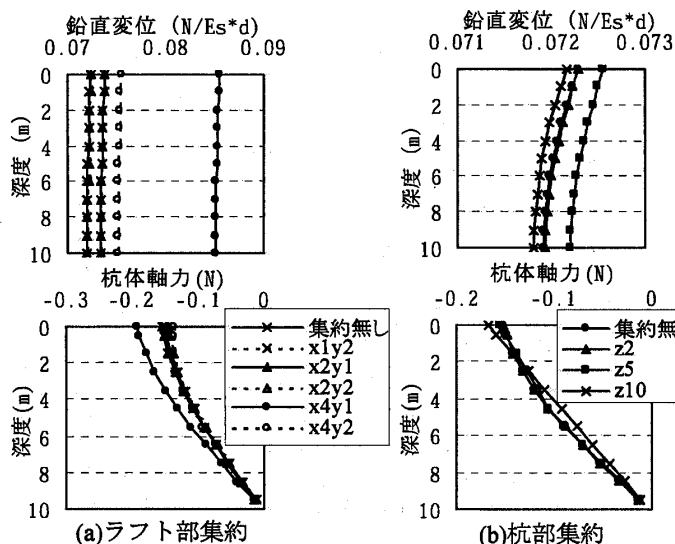


図5 鉛直荷重時

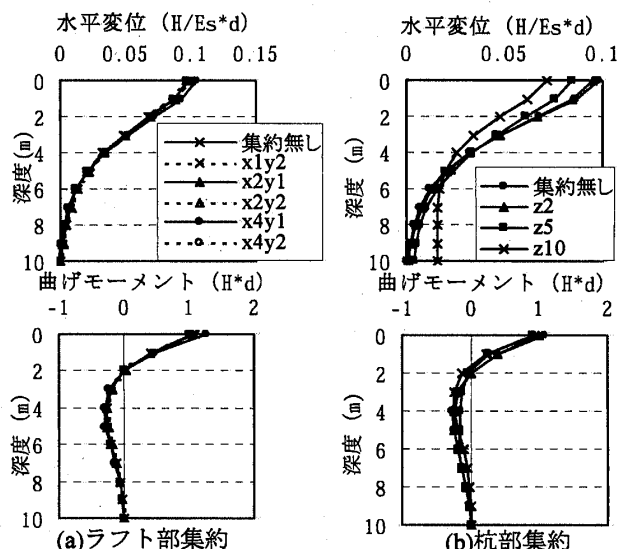


図6 水平荷重時

一方は集約無しモデルとしている。

一般地盤は均一な粘性土 ( $E_s=4.1\text{MPa}$ ) が半無限に広がっている。ラフト近傍地盤には、ラフト直下に厚さ 10cm の砂層 ( $N$  値: 10) に相当するバネ ( $k_b=140\text{MN/m}^3$ ,  $k_h=52.5\text{MN/m}^3$ ) を設定した。杭近傍のうち、周面の水平方向には一般地盤の剛性を 1/5 に低下したバネ ( $k_h=4.1\text{MN/m}^3$ )、周面の鉛直方向には杭径の 1% で杭周面摩擦力が極限に達するとしたバネ ( $k_v=0.975\text{MN/m}^3$ )、杭先端部には杭径の 10% で極限支持力に達するとしたバネ ( $k_p=0.585\text{MN/m}^3$ ) を設定した。

### 3.2 集約化の影響

#### (1) 鉛直荷重時

図5は、鉛直荷重を作用させた場合について、杭の鉛直変位と軸力分布を描いたものである。

ラフト部に集約地盤モデルを導入すると、鉛直変位は増大する傾向がある。杭体軸力分布をみると、 $x4y1$  モデルは他のモデルよりもかなり大きくなる。 $x4y2$  モデルでは杭頭付近で NF が作用するような分布となっており、他のモデルと異なる。なお、当然のことながら鉛直荷重時における  $x1y2$  モデルと  $x2y1$  モデルは同じ結果となった。杭頭変位および杭頭軸力共に、 $x4y2$  モデルおよび  $x4y1$  モデルを除き、集約無しモデルとの差異は 3% 程度であり、ラフト部の集約地盤節点を正形状で負担するとした  $x2y2$  モデルが最も良い近似を示した。

杭部に集約モデルを導入した場合では、集約化による影響は極めて小さい。杭頭軸力に関する集約無しモデルとの差異は、 $z2$  モデルで 1% 未満、 $z5$  モデルでも 2% 未満に過ぎない。ただし、杭体軸力の深度方向分布を知るた

めには  $z2$  モデル程度の節点が必要と思われる。

#### (2) 水平荷重時

図6は、水平荷重を作用させた場合について、杭の水平変位と曲げモーメント分布を描いたものである。

ラフト部に集約地盤モデルを導入した場合、集約化が進むにつれて杭頭部付近の水平変位や曲げモーメントがわずかに過大評価されるに過ぎず、深度方向分布は互いに近似している。同じ集約地盤節点数を有する  $x1y2$  モデルと  $x2y1$  モデル、 $x4y1$  モデルと  $x2y2$  モデルを比較すると、明らかに  $x2y1$  モデルと  $x2y2$  モデルが優れている。以上より、一つの集約地盤が負担する要素全体を正方形に近づけることが肝要と云える。

杭部に集約モデルを導入した場合、2つの集約節点を有する  $z5$  モデルでは地中最大モーメントが表現できていない。 $z10$  モデルでは杭頭部の曲げモーメントを除いた他の応力や変位分布がほとんど表現されていない。しかし、5個の地盤節点を有する  $z2$  モデルは、水平変位および曲げモーメント分布が集約無しモデルに極めて良く近似している。

### 4. おわりに

鉛直および水平荷重が作用するパイルド・ラフトの解析に関して、集約地盤節点を導入する新たなハイブリッド解析法の有効性を示した。本報告では弾性問題に限定されていたが、今後は杭周面滑りなどの非線形性の強い問題に対する適用性を検討する予定である。

#### 参考文献

- 1) 永井 宏, 土屋 勉: 水平力を受けるパイルド・ラフトの非線形解析モデルおよび原位置水平載荷実験への適用例, 日本建築学会構造系論文集, No.589, pp.113-119, 2005.3.
- 2) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 2001.10

\* (株) 構造計画研究所 修士 (工学)  
 \*\*室蘭工業大学 教授・工博  
 \*\*\*舞鶴工業高等専門学校 助手・博士 (工学)

\*Kozo Keikaku Engineering Inc., M.Eng.  
 \*\* Professor, Muroran Inst. of Tech., Dr.Eng.  
 \*\*\*Research Associate, Maizuru National College of Tech., Dr.Eng.