

水平力を受けるパイルド・ラフト基礎の非線形挙動に関する解析的研究

正会員 〇永井 宏*
同 土屋 勉**

パイルド・ラフト 水平荷重 杭頭接合条件
混合解析 非線形挙動

1. はじめに

筆者らは、これまで水平力を受けるパイルド・ラフト基礎に関して、弾性解析モデルを構築¹⁾して本工法の有効性や効率的な幾何形状を提案した。その後、原位置の水平載荷実験²⁾を行い、高荷重域においては弾性挙動とは異なる傾向が生じることを確認し、それをシミュレートするために非線形型に拡張したハイブリッド解析法³⁾を提案した。本論文では、それによって比較的大きな水平力を受けるパイルド・ラフトの挙動を解析的に明らかにすると共に、性能を効率的に発揮できる幾何形状を検討する。

2. 解析方法

2.1 解析法 の概念

図 1 に、非線形型ハイブリッド解析法の基本的な概念を示した。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。地盤は、(イ)~(ハ)の近傍地盤と(ニ)の一般地盤に領域分けをして前者には非線形型の荷重伝達バネを、後者には地盤を介した応力伝播として Mindlin 解を導入する。これにより、相互作用が過大に評価されないように配慮しながら、比較的簡単にパイルド・ラフトの非線形挙動の追跡を可能にした。

2.2 解析モデル

検討対象としたモデルは、均一な粘性土地盤に設置されたパイルド・ラフトであり、図 2 のように正方形平面のラフトに杭が等間隔に配置されている。杭頭部とラフトの接合条件は、剛接合とピン接合の 2 種類とした。

パイルド・ラフトの挙動に及ぼす因子としては、杭本数 n 、杭間隔 s/d を表 1 のように変化させて検討した。それぞれ太枠で囲んだ因子が基本モデルであり、ある因子を変化させた場合、他の因子は全て基本モデルの値をとる。表 2 に基本モデルの諸元を示す。

杭およびラフト近傍の地盤バネ (図 1 の(i)~(iv)) には、(i)に剛塑性バネ、(ii)に水平変位の 0.5 乗に比例する非線形バネ⁴⁾、(iii)と(iv)にはBi-Linearの弾塑性バネを設定した。ここで、杭周面が最大抵抗力に達するときの杭と地盤の相対的なすべり量を杭径の 1%、杭先端部が極限支持力状態になるときの先端貫入量を杭径の 10%とした。また、杭水平バネの塑性化現象に関して、塑性水平地盤反力 p_y には基礎指針の評価式⁴⁾を導入した。

荷重は、各杭頭位置に均等に作用させた。基本モデルで杭の鉛直支持力発揮率が 2/3 となる設定鉛直荷重 V を作用させた後、水平荷重 H として鉛直荷重の 1/40 の増分で漸増させた。

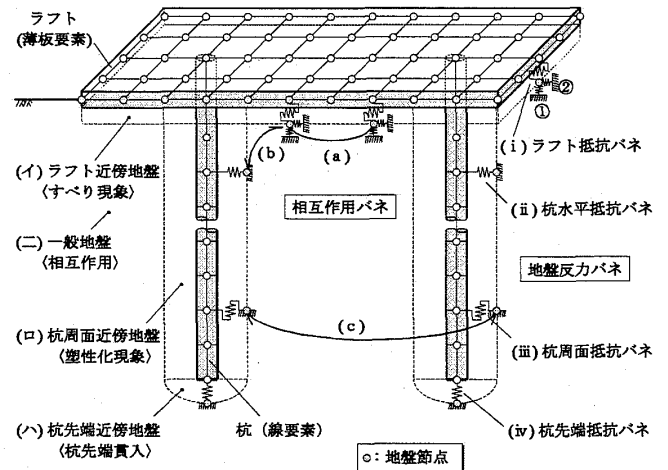


図 1 解析モデルの概念

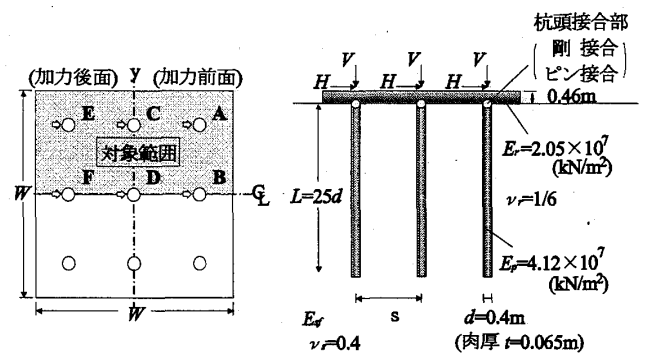


図 2 解析モデル

表 1 検討した因子

(a) n	4	9	25
(b) s/d^{**}	5	10	20

*ラフト幅: $W=6, 12, 24m$

表 2 基本モデルの諸元

一般地盤の変形係数 E_g (kN/m ²)	4.1×10^3
近傍地盤の変形係数 E_m (kN/m ²) *	8.2×10^2
基準水平地盤反力係数 k_{ho} (kN/m ³)	$4.1 \times 10^3 (=80 \cdot E_m \cdot d^{3/4})$
塑性水平地盤反力 p_y (kN/m ²)	$7.8 \sim 35.2 (=2 \sim 9c_u)$
杭の極限周面抵抗力 τ_e (kN/m ²)	$3.9 (=c_u \cdot E_m / 210)$
杭の極限先端支持力 q_p (kN/m ²)	$23.4 (=6c_u)$
基礎底面と地盤の摩擦係数 μ	0.6

* $E_g = \xi \cdot E_m$, ひずみ依存性効果: $\xi=5$

An analytical study on nonlinear behavior of piled raft foundation subjected to horizontal load.

NAGAI Hiroshi, TSUCHIYA Tsutomu

3. 解析結果および考察

以降の解析値は、全て設定鉛直荷重作用時点を原点とした水平荷重に伴う変形や応力の増分量である。

3.1 基本モデルの支持力・変形状

図3は、水平荷重とラフト水平変位の関係である。基礎の水平変位は、載荷重が低い段階では杭頭接合条件による差異は小さいが、高荷重になってラフト水平バネが降伏するのに伴いピン接合の方が大きく変位していく。また、杭の水平荷重負担率を示した図4を見ると、水平震度 H/V が小さい時点では杭頭ピン接合での杭体負担率は極めて小さいが、 $H/V \geq 0.6$ の高荷重域では杭頭剛接合同程度となるのが分かる。

図5にラフト水平バネの降伏過程を、図6に隅角A杭および中央D杭の杭頭せん断力の発生率 κ (式1)を示した。

$$\kappa = Q_i / Q_{ave} \quad (1)$$

Q_i : i 杭の杭頭せん断力

Q_{ave} : 全杭の杭頭せん断力の平均値

ラフト水平バネは前面側から降伏する。鉛直荷重に伴うせん断成分が加算されることや、一般地盤の相互作用の影響が複合したものと考えられる。これに伴い前面のA杭では負担力が増大し、特にピン接合では杭全体の平均値の2倍以上を負担している。その後、前面側の杭水平バネの非線形性やラフト水平バネの完全降伏に伴い、杭体応力は低下する。後面側や中央部でも同様な現象を繰返し、最終的には基礎全体で平均化される。

3.2 諸因子の影響

図7にラフト水平変位の推移、図8にA杭の最大曲げモーメントと諸因子の関係を示す。

杭本数を変化させた場合、杭頭剛接合では、杭本数が多いほど杭の水平抵抗が増大するが杭1本当りの負担荷重が小さくなるため、水平変位や杭体応力は小さくなる。これに対して、ピン接合の場合には、 $H/V < 0.5$ の荷重でこれらが逆に大きくなる。杭本数が多いほど、鉛直荷重時のラフト負担率に対して水平荷重時のそれが小さく、ラフト水平バネが低荷重で降伏するためである。

杭間隔を変化させた場合、間隔を広げて杭を配置した方が、低荷重時では水平変位や杭体応力が小さくなると共に杭頭ピン接合の有用性が高まる。水平荷重の増大に伴いラフト水平バネの降伏が生じるため、上述の有用性は小さくなるものの、杭間隔が広いモデルほど水平変位や杭体応力の高い抑制効果が期待できる。

4. おわりに

本論文で得られた結果を以下にまとめる。

- ① 水平力の増大に伴って杭位置によるせん断力分担割合が異なるが、終局限界時点では杭頭接合条件や杭位置によらず杭頭せん断力は同様となる。
- ② 高荷重域においても、弾性解析¹⁾で明らかにしたパイルド・ラフト基礎の効率的な幾何形状（杭頭部をピン接合した少数の杭を間隔を広げて配置）が成立する。

* 舞鶴工業高等専門学校 助手・博士 (工学)

** 室蘭工業大学 教授・工博

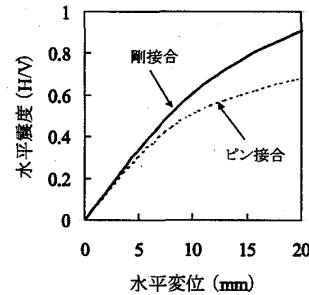


図3 水平荷重—水平変位

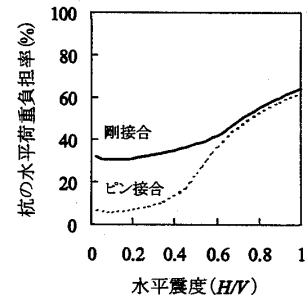


図4 杭の水平荷重負担率

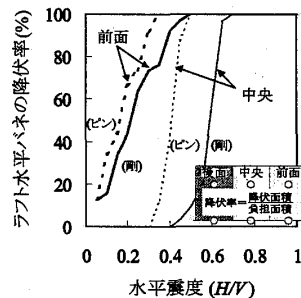


図5 ラフト水平バネの降伏

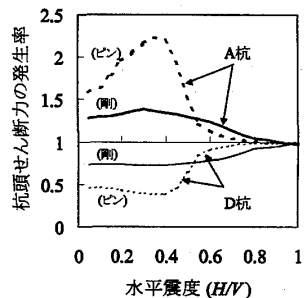


図6 杭頭せん断力

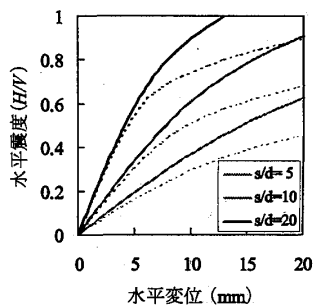
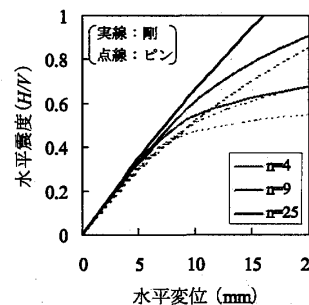


図7 水平変位

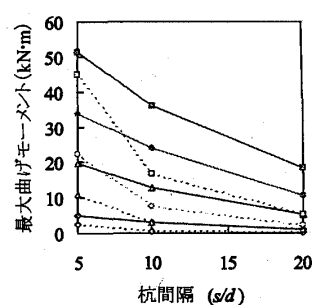
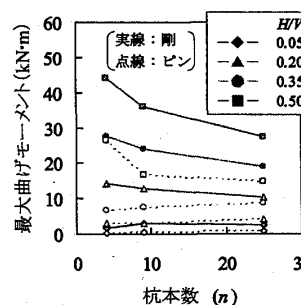


図8 最大曲げモーメント

参考文献

- 1) 土屋 勉, 永井 宏, 池田篤則: 地震力を受けるパイルド・ラフトの挙動に関する解析的研究, 構造工学論文集, Vol.48B, pp.343-350, 2002.3.
- 2) 永井 宏, 土屋 勉: 杭頭拘束条件に着目したパイルド・ラフトの原位置水平載荷実験, 日本建築学会構造系論文集, No.579, pp.47-53, 2004.5.
- 3) 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.
- 4) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 2001.10.

* Research Associate, Maizuru National College of Tech., Dr.Eng.

** Professor, Muroran Inst. of Tech., Dr.Eng.