

## 有限深さ地盤におけるパイルド・ラフトの簡易変形解析(その1: PRABの拡張)

金沢大学 学生会員 Kitiyodom Pastsakorn  
金沢大学 正会員 松本 樹典

### 1. はじめに

著者らが開発している半無限地盤におけるパイルド・ラフト基礎の簡易三次元変形解析プログラム PRAB<sup>1)</sup>を有限深さ地盤におけるパイルド・ラフトを考慮できるように拡張した。プログラムの検証解析結果を報告する。

### 2. 簡易三次元変形解析プログラム PRABの拡張

図1にPRABで用いているパイルド・ラフト基礎のモデル化を示す。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ばねで表現する。各節点には, 鉛直方向ばね, 2方向の水平方向ばねの計3つのばねが連結されている。地盤が半無限弾性体の場合, ラフトおよび杭地盤ばね値は参考文献1)を参照されたい。本報告では, 地盤のある深さ $h$ で硬い基盤層が存在すると仮定した。ラフト節点における鉛直ばね $K_z^R$ , 杭周面節点における鉛直ばね $K_z^P$ , 杭先端における鉛直ばね $K_z^{Pb}$ は, 次式で与えられる(Lee, 1991)。

$$K_z^R = \frac{4Ga}{1-\nu_s} \times \frac{1}{\{1-\exp(h/2a)\}} \quad (1) \quad K_z^P = \frac{2\pi G\Delta L}{\ln(r_m/r_o)} \quad (2) \quad K_z^{Pb} = \frac{2GD}{1-\nu_s} \times \frac{1}{\{1-\exp(h^*/D)\}} \quad (3)$$

ここで,  $G$ と $\nu_s$ は地盤のせん断剛性およびポアソン比である。また,  $a$ は正方形ラフト要素の等価半径であり,  $b$ をラフト要素の辺長として,  $a = b/\sqrt{\pi}$ で与えられる。 $\Delta L$ は杭要素長,  $D$ は杭直径,  $r_o$ は杭外半径,  $r_m$ は $L$ を杭長として $r_m = 2.5\chi L(1-\nu_s)$ ,  $\chi = 1 - \exp(1-h/L)$ ,  $h^*$ は杭先端と基盤層の距離である。本報告では硬い基盤層の存在による水平ばね値に及ぼす影響が無視できると仮定し, 水平ばね値は文献1)と同様にした。

杭-地盤-杭, 杭-地盤-ラフト, ラフト-地盤-ラフトの相互作用は, 半無限弾性地盤内に作用する鉛直力および水平力に対するMindlinの解に基づいて求められる。硬い基盤層があった場合には, 図2に示すように地盤内における任意点 $j$ に対する点 $i$ に作用する鉛直および水平荷重による影響係数 $I_{ij(h)}$ はSteinbrenner(1934)により式(4)で求めることができる(Poulos & Davis(1980))。

$$I_{ij(h)} = I_{ij(\infty)} - I_{mj(\infty)} \quad (4)$$

ここで $I_{ij(\infty)}$ は半無限弾性体における点 $j$ に対する点 $i$ に作用する鉛直および水平荷重による影響係数である。また,  $I_{mj(\infty)}$ は半無限弾性体における点 $j$ に対する点 $i$ の真下にある点 $m$ に作用する鉛直および水平荷重による影響係数である。

### 3. 検証解析結果

Poulos & Davis(1980)は, 鉛直および水平荷重を受ける杭要素を矩形領域に等分布荷重が作用するものとした。Mindlinの解をこの領域において積分することにより, 矩形領域にある任意点の変位を求めることができる。杭の変形は, 梁の偏微分方程式より求めている。また, Poulos & Davis(1980)での群杭の解析では, 杭-地盤-杭の相互作用を杭要素に等分布荷重が作用するものとして考慮している。一方, PRABでは鉛直ばね値は式(1)-(3)で与えられる。また, PRABでは各節点どうしの相互作用は, 分布荷重ではなく, 集中力として計算する。新たに拡張したPRABの妥当性を確認するために, PRABを用いて解析を行い, Poulos & Davis(1980)の解析結果と比較した。比較する際には, 変位影響係数 $I_{wv}$ と相互作用係数 $\alpha$ を用いる。 $I_{wv}$ と $\alpha$ は式(5)で定義される。

$$I_{wv} = \frac{E_s D w}{P}, \quad \alpha = \frac{\text{additional settlement due to adjacent pile}}{\text{settlement of pile under its own load}} \quad (5)$$

ここで $P$ は鉛直荷重,  $w$ は鉛直変位である。また,  $E_s$ は土のヤング率である。

図3は, 杭頭に鉛直荷重 $P$ を受けた場合の変位影響係数 $I_{wv}$ の計算結果である。ここで, 杭と地盤の相対剛性 $E_p/E_s$

キーワード パイルド・ラフト, 有限深さ地盤, 簡易変形解析, 相互作用

連絡先 〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20 金沢大学工学部土木建設工学科地盤工学研究室 TEL 076-234-4625

= 1000, 地盤のポアソン比  $\nu_s = 0.5$  である。図4と図5は杭中心間隔が異なる2本の剛な杭における杭-地盤-杭の相互作用を示している。地盤のポアソン比  $\nu_s = 0.5$  である。図4は地盤が半無限弾性体の場合の結果で、図5は均一弾性地盤内で深さ  $h$  に基盤層が存在する場合の結果である。図5に示す結果は杭の細長比  $L/D = 25$  の場合である。

以上の結果から、新たに拡張した PRAB の結果は Poulos & Davis(1980)による結果とほぼ一致していることが分かる。なお、PRAB と三次元弾性有限要素法の比較解析については、文献4)を参照されたい。

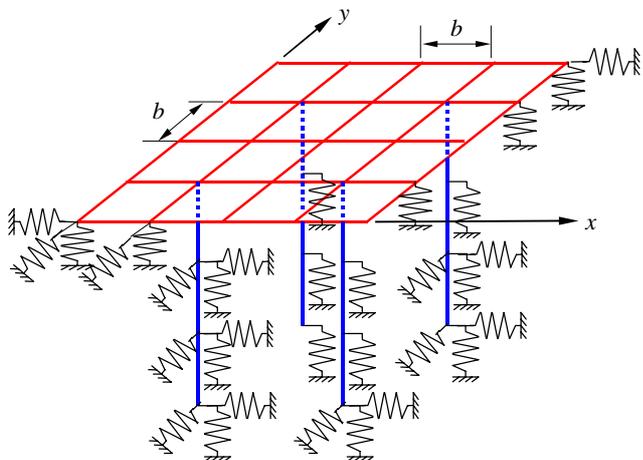


図1 パイルド・ラフト基礎と地盤のモデル化

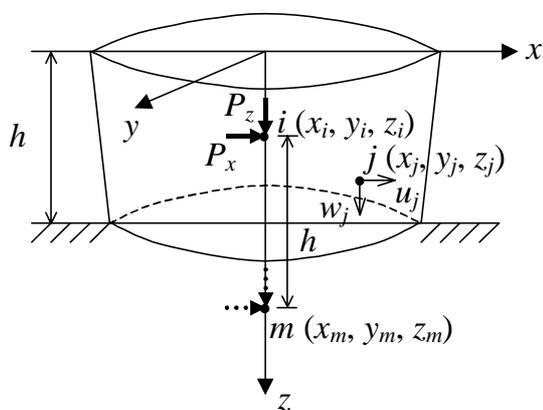


図2 有限深さ地盤における変位影響係数の計算

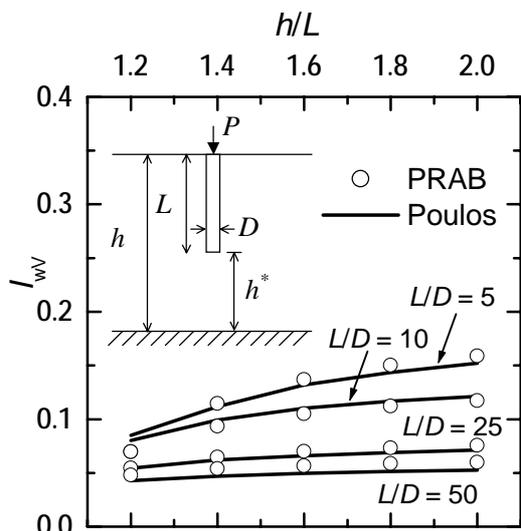


図3 硬い基盤層が杭の荷重-変位関係に及ぼす影響

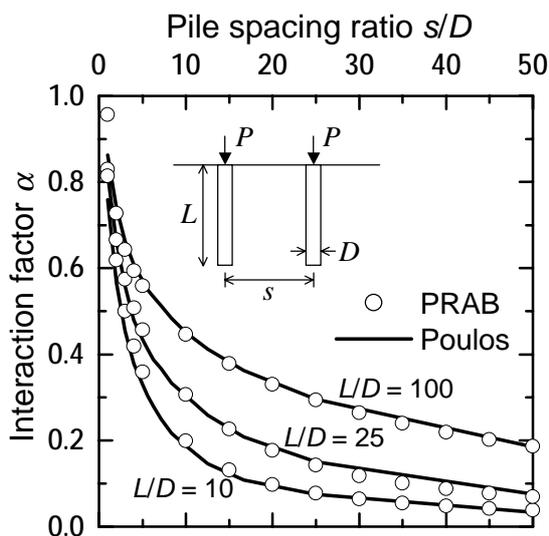


図4 杭-地盤-杭の相互作用

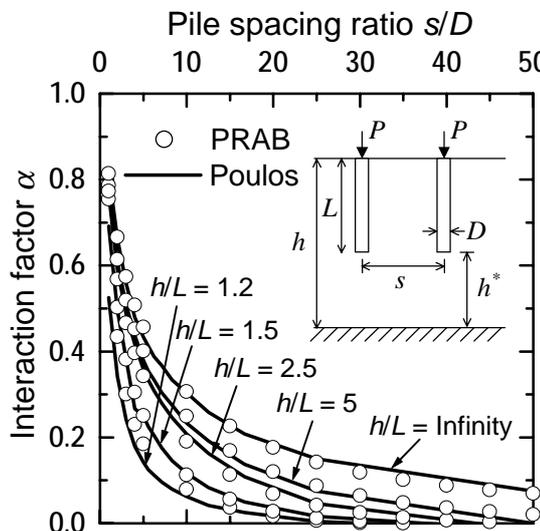


図5 硬い基盤層が杭の相互作用に及ぼす影響

参考文献

- 1) Kitiyodom, 松本(2001): 斜杭パイルド・ラフトおよび群杭の簡易三次元変形解析プログラムの開発; 第46回地盤工学シンポジウム, 247-252.
- 2) Lee, C. Y. (1991): Discrete layer analysis of axially loaded piles and pile groups, *Computers and Geotechnics*, 11, 295-313.
- 3) Poulos, H. G. and Davis, E. H. (1974): *Pile foundation analysis and design*, John Wiley and Sons, New York.
- 4) Kitiyodom, 松本, 茂原(2002): 有限深さ地盤におけるパイルド・ラフトの簡易変形解析 (その2: PRAB と FEM の比較解析); 第57回土木学会研究発表会(発表予定).