

Ⅲ-B20

薄板要素一杭ばね一地盤ばねモデルによるパイルド・ラフトの鉛直変形解析プログラムの開発

金沢大学工学部 正会員 松本樹典

金沢大学大学院 学生員 山田博志

1. はじめに

パイルド・ラフトの変形をFEMで解析する場合、一般的には3次元解析が必要となり、解析には多大な労力と時間を要する。そのため、FEMにおいて、杭配置、杭寸法などを変えて計算を行い、最適なパイルド・ラフトの形状を決定するような設計計算を行うことは、非常に困難である。そこで、Hain et al (1978), Chow(1986), Griffiths et al (1991)の方法に習い、パイルド・ラフトの鉛直方向変形解析を簡略に行えるコンピュータプログラムを独自に開発した。また、開発したプログラムの妥当性を検証するため、FEMとの比較解析を実施した。

2. パイルド・ラフト基礎の変形解析方法

2.1 パイルド・ラフト基礎のモデル化

図2は、パイルド・ラフト基礎のモデル化を示している。ラフトは薄板要素、杭はばねの直列、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。このモデル化においては、ラフト底面と地盤の間の摩擦は考慮せず、また杭頭とラフトの結合条件はヒンジ(モーメント0)としている。鉛直荷重は、ラフト節点に作用する集中荷重に置き換えている。

均一弾性地盤の場合、杭周面地盤ばね定数 k^s は、次式で与えられる。

$$k^s = 2\pi G\Delta L / \ln(r_m / r_0), \quad r_m = 2.5l(1-\nu) \quad (1)$$

ここで、 G は地盤のせん断弾性係数、 ν はポアソン比、 r_0 は杭半径、 ΔL は杭要素長である。

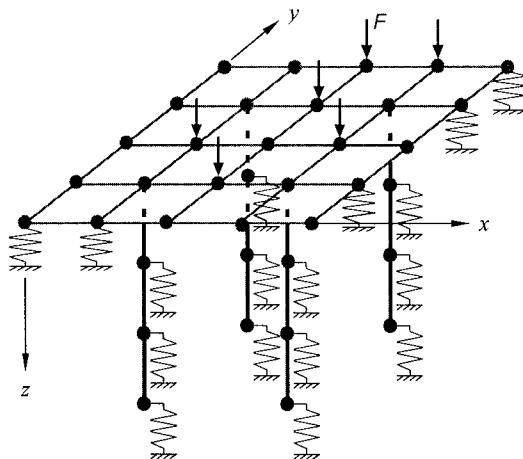


図1 パイルド・ラフト基礎のモデル化

また、杭先端地盤ばね定数 k^b は、次式で与えられる。

$$k^b = 4Gr_0 / (1-\nu) \quad (2)$$

ラフト節点の地盤ばねは、節点が代表するラフト面積と等しい面積の円の半径を r_0 として、式(3)を使って決定する。

地盤ばね相互の影響を考慮して、節点 i の鉛直変位 w_i は、次式で与えられる。

$$w_i = \frac{P_i}{k_i} + \sum d_{ij} P_j \quad (3)$$

ここで、 P_i はばね i の力(地盤反力)、 d_{ij} は影響係数であり、半無限弾性地盤内に鉛直集中荷重が作用したときのMindlin(1936)の解を利用して決定できる。

2.2 計算手法

変位ベクトル $\mathbf{w} = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}^T$ と地盤反力ベクトル $\mathbf{P} = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}^T$ の関係は、式(4)で与えられる。

$$\mathbf{w} = \mathbf{D}\mathbf{P} \quad (4)$$

ここで、 $\mathbf{D}$ は d_{ij} を並べた影響係数マトリックスである。 $\mathbf{D}$ の逆マトリックスを $\mathbf{C} = \mathbf{D}^{-1}$ とすると、式(4)は式(5)のように書き換えられる。

$$\mathbf{C}\mathbf{w} = \mathbf{P} \quad (5)$$

ラフトの変形は、外力ベクトルを $\mathbf{F} = \{F_1, \dots, F_n\}^T$ として、式(6)で与えられる。

$$\mathbf{R}\mathbf{w} = \mathbf{F} - \mathbf{P} \quad (6)$$

ここで、 $\mathbf{R}$ はラフト要素の剛性マトリックスであり、薄板の曲げの有限要素定式化によって、決定できる。

杭の変形は、式(7)で与えられる。

$$\mathbf{B}\mathbf{w} = \mathbf{P} \quad (7)$$

ここで、 $\mathbf{B}$ は杭要素のばね定数 $b = AE/\Delta L$ を並べたマトリックスである。なお、 A と E は杭の断面積とヤング率である。

式(5)、(6)、(7)を重ね合わせると、式(8)を得る。

$$(\mathbf{C} + \mathbf{R} + \mathbf{B})\mathbf{w} = \mathbf{K}\mathbf{w} = \mathbf{F} \quad (8)$$

ここで、 $\mathbf{K}$ は全体剛性マトリックスである。

キーワード パイルド・ラフト、変形解析、薄板一ばねモデル、コンピュータプログラム、有限要素法

連絡先 〒920-0942 金沢市小立野 2-40-2 金沢大学工学部土木建設工学科 Tel 076-234-4625 Fax 076-234-4632

既知外力 F について式(8)を解くことにより、変位 w が計算できる。計算された w を式(5)に代入することにより、地盤内力 P を計算する。さらに、杭節点に作用する P から杭軸力を計算する。

実際の計算においては、 w, F, P を増分で表して、計算を進めることにより、杭周面摩擦、杭先端抵抗、ラフト地盤反力の破壊条件を組み入れることができる。

3. 計算例

解析対象としたパイル・ラフトは半径 5 m、厚さ 0.2 m の円ラフトの中心に長さ 10 m、直径 1 m の杭 1 本を配置したパイルキャップである。ラフトおよび杭はコンクリートを想定し、ヤング率 $E = 2.2 \times 10^7$ kPa、ポアソン比 $\nu = 0.2$ とした。地盤のヤング率は、コンクリートの 1/1000、ポアソン比は 0.3 とした。鉛直荷重は、ラフト上面に 100 kPa の等分布荷重を作用させた。

FEM 解析では、軸対称条件計算を実施し、地盤半径を 55 m、地盤高さを 30 m とし、中心 (対称) 軸の水平変位、地盤側面および底面の鉛直・水平変位を固定した。杭周面およびラフト底面にジョイント要素を配置した。ラフト底面のジョイント要素には、摩擦が発生しない条件とした。杭周面は破壊しない条件とした。

薄板要素-ばね要素モデルによる計算では、ラフトを図 2 に示すような格子配列として、計算を行った。

図 3 は、ラフトのみ (杭無し) の場合について、A-A 断面におけるラフト鉛直変位分布の両計算結果の比較である。

図 4 と図 5 は、パイルキャップ (杭有り) の解析結果である。図 4 は、A-A 断面におけるラフト鉛直変位分布である。図 5 は、杭軸力および周面摩擦分布である。両解析法による計算結果は、ほぼ対応していると思われる。

4. おわりに

今回の解析対象であるパイルキャップでは、元々杭に曲げが生じない幾何学的条件となっている。しかし、一般のパイル・ラフト基礎では、鉛直荷重のみが作用する場合でも、杭に曲げが生じ、またラフト底面には摩擦が生じる。今後、杭の曲げ、ラフト底面の摩擦、水平外力を考慮できるように、解析プログラムを拡張していく予定である。

参考文献

- 1) Chow, Y.K. (1986): Analysis of vertically-loaded pile groups, Int. J. Num. & Anal. Methods in Geomechanics, 10(1), 59-72.
- 2) Griffiths et al (1991): Piled raft foundation analysis by finite elements, Proc. 7th Int. Conf. on Computer Methods and Advances in Geomechanics, 2, 1153-1157.
- 3) Hain, S.J. and Lee, I.K. (1978): The analysis of flexible raft-pile systems, Géotechnique, 28(1), 65-83.
- 4) Mindlin, R.D. (1936): Force at a point interior of a semi-infinite solid, Physics, 7, 195-202

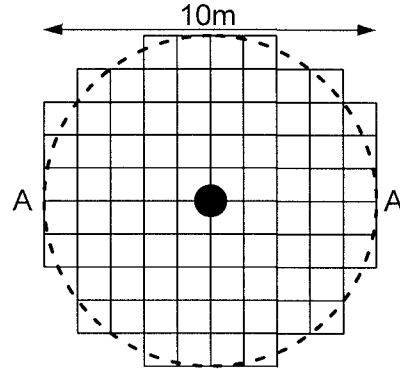


図2 解析対象としたパイルキャップの平面図

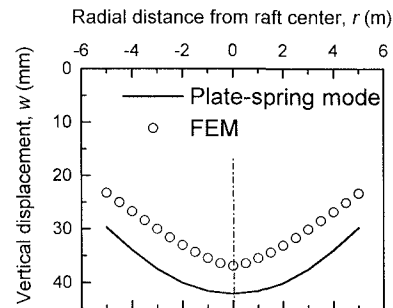


図3 ラフト鉛直変位の計算結果の比較 (ラフトのみ)

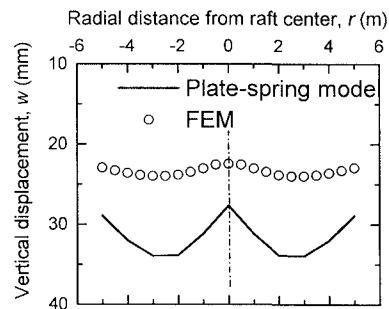


図4 ラフト鉛直変位の計算結果の比較 (パイルキャップ)

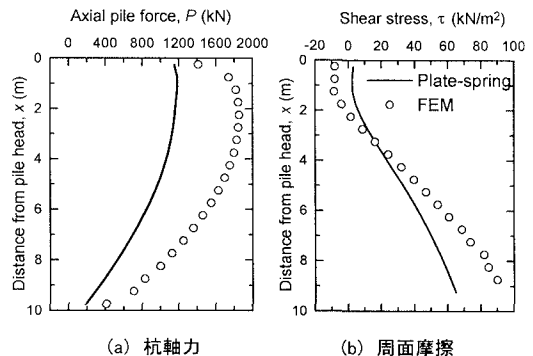


図5 杭軸力と周面摩擦分布の計算結果の比較