偏心・鉛直荷重が剛な基礎に作用する場合の強度定数が支持力曲面に与える影響

1. 目的と背景

基礎構造物に偏心荷重および傾斜荷重が作用した場合,マイヤーホフの考え方が有名である¹⁾.また,この場合の極限支持力の鉛直成分,水平成分およびモーメントの関係として支持力曲線および支持力曲面がある^{2),3)}.ここで,地盤の強度定数である粘着力c(以降,c)や内部摩擦角 ϕ (以降, ϕ)が変化した場合の支持力曲面への影響は明らかになっていない.そこで,本研究では,剛塑性有限要素法(以降,RPFEM)を用いた数値解析により,地盤の強度定数を多数変化させ,偏心・鉛直荷重が作用する場合の支持力曲線への影響を明らかにすることを目的とする.紙面の都合上,本稿では典型的な砂質土および粘性土における支持力曲線に関して考察した.

2. 解析条件

2.1 地盤および基礎条件

図 1 に本研究での有限要素メッシュを示す. 解 析領域は幅15 m, 高さ3 mの 2 次元平面ひずみ条件 下で全断面地盤とし,地盤条件は地盤内で一様とし た.地盤の材料定数は,単位体積重量 γ_t = 18 kN/m³, $c = 1 \sim 40$ kN/m², $\phi = 0 \sim 40^{\circ}$ とし,自重を考慮した. ここで, c = 1 kN/m²は0が望ましいが,解析を安定 させるために僅かな値を与えた.また, $c \geq \phi$ の値は 10おきに変化させて,それぞれを組み合わせること で,c = 1 kN/m², $\phi = 0^{\circ}$ のパターンを除く24パタ ーンの地盤を設定した.基礎は,地盤中央に基礎幅 B = 1 mの剛基礎とし,基礎と地盤間は粗とした.な お,本研究の基礎はビーム要素でモデル化し,基礎 の高さは考慮しないものとする.



岐阜工業高等専門学校 学生会員 〇大平 尚輝 岐阜工業高等専門学校 正 会 員 水野 和憲

2.2 荷重条件

本研究では、図2に示す偏心・鉛直荷重を基礎に 作用させて数値解析を実施した.偏心距離e(以降, e)は0から0.35mまでとし、0.05mおきに変化させ た.ここで、eは基礎中心線からの距離とし、基礎中 心線より右側を正とした.また、本研究では2次元 平面ひずみ解析のため、符号の異なるe(例として、 -0.15mおよび0.15m)の偏心荷重が作用した場合の 極限支持力および破壊形態は同等であることを確 認した.



3. 解析結果

- 3.1 V/V_{max} MB/V_{max}の支持力曲線
- (a) 砂質土地盤($c = 0, \phi > 0$)

図3に, $c = 1 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ の地 盤における支持力曲線を示す.ここで、Vは偏心 (e > 0)の鉛直極限支持力, V_{max} は中心(e = 0)の鉛直 極限支持力, $M(=V \cdot e)$ は基礎中心回りのモーメン トとし, 図中の点は RPFEM から算出した極限支持力 であり, 曲線は式(1)を用いて近似したものである.

$$\frac{M}{BV_{\max}} = \alpha \frac{V}{V_{\max}} \left(1 - \sqrt{\frac{V}{V_{\max}}} \right) \quad \cdots \quad (1)$$

同式は、マイヤーホフの有効幅の考え方にモール・ クーロン塑性体⁴⁾であるc = 0, $\phi > 0$ の理想地盤を 適用して導かれたものである.図3の $\phi =$ 10°,20°,30°,40°の地盤における近似曲線の係数 α は, それぞれ0.811,0.688,0.618,0.576,決定係数は、それ ぞれ0.985,0.988,0.989,0.991となり、4パターンの地 盤条件すべて異なる曲線となった.式(1)は ϕ を有す る地盤であるため、 ϕ が大きい条件であるほど、高い 決定係数で近似できていることが確認できる.



図3 支持力曲線 (c = 0, φ > 0)
 以上より, c = 0, φ > 0の地盤において, φが変化し
 た場合に支持力曲線に影響を与えることがわかる.

(b) 粘性土地盤($c > 0, \phi = 0$)

図4に, $\phi = 0^{\circ}$, $c = 10,20,30,40 \text{ kN/m}^2$ の地盤 における支持力曲線を示す. 同図の曲線は式(2)を用 いて近似したものである.

$$\frac{M}{BV_{\max}} = \alpha \frac{V}{V_{\max}} \left(1 - \frac{V}{V_{\max}} \right) \quad \cdots \quad (2)$$

同式は、マイヤーホフの有効幅の考え方にトレスカ 塑性体⁴⁾であるc > 0、 $\phi = 0$ の理想地盤を適用にし て 導 か れ た も の で あ る . 図 4 の c =10,20,30,40 kN/m²の地盤における近似曲線の係数 α は、それぞれ、0.637,0.635,0.635,0.635、決定係数 は、それぞれ、0.981,0.981,0.981となり、4パ ターンがほぼ等しい係数となり、高い決定係数で近 似できたことが確認できる.以上より、c > 0、 $\phi =$ 0の地盤において、cの大きさは支持力曲線に影響を



図4 支持力曲線 $(c > 0, \phi = 0)$

与えないことがわかる.

3.2 破壊形態

RPFEM を用いた数値解析では,地盤の破壊形態の 可視化が可能である. 図5に,図3で示したc = 0, $\phi > 0$ の地盤($c = 1 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 30$ °)にe =0.10 m,0.40 mの偏心・鉛直荷重が作用した場合の破 壊形態(等価ひずみ速度分布および変位速度場)を 示す.同図より,偏心・鉛直荷重が作用した場合の 地盤の破壊形態はeの大きさにより,地盤内破壊モ ード(図5-(a))および基礎回転破壊モード(図5-(b))の2種類を確認できた.他の破壊形態に関して は省略するが,どの地盤条件においても偏心距離 が小さい場合は地盤内破壊モード,eが大きい場合 は基礎回転破壊モードであることを確認した.しか し,これらの境界であるeは判断できなかった.



4. 結論

- c=0, φ>0および, c>0, φ=0の地盤において、それぞれ、式(1)、式(2)を用いて、高い決定係数で近似できた.
- φの変化は支持力曲線に影響を与え、cの変化は
 支持力曲線に影響を与えないことを確認した.
- 偏心・鉛直荷重が作用した場合の地盤の破壊形態はeの大きさにより,地盤内破壊モードおよび基礎回転破壊モードになることを確認した.

参考文献

- Meyerhof, G.G.: The Bearing Capacity of Foundations under Eccentric and Inclined Loads, Proc.3rd ICSMFE, Zurich, Vol.1, pp.440-445, 1953.
- Butterfield, R. *et al.*: A complete three-dimensional failure envelope for shallow footings on sand, *Géotechnique*, Vol.44, No.1, pp.230-2531, 1944.
- 3) 柴田ら:地盤の支持力, 鹿島出版社, 1995.
- 4) 地盤工学ハンドブック, pp.152-156, 1999.