

過剰間隙水圧を考慮したすべり線法による支持力解析

鳥取県庁 正 〇森 麻樹
鳥取大学工学部 正 榎 明潔
鳥取大学大学院 学 大坪 亮太

1. はじめに

通常行われている有効応力解析では、せん断によって発生する過剰間隙水圧を考慮することが出来ず、これらは厳密に言うと排水条件解析法と言うべきである。真の有効応力解析としては Bishop が Skempton 式を導入しようと試みているが、Bishop 法におけるスライス間力評価の問題のため、解が必ずしも求められるとは限らなかった。本研究では、解析法としてすべり線法を用い、過剰間隙水圧の評価式は Skempton 式を用いて、せん断によって発生する過剰間隙水圧を考慮した真の意味での有効応力解析を行い、支持力解析を取り上げて解析結果を比較した。また、本研究では過剰間隙水圧の評価式として Skempton 式を用いたが、Skempton 式は三軸圧縮試験を念頭に行っているため三軸圧縮試験のような軸対称問題では解析できるが、本研究で行った平面ひずみ問題に適応する上で問題点が残る。

2. 過剰間隙水圧の影響を考慮したすべり線法の定式化

すべり線法に過剰間隙水圧を導入する際、変数として全応力と間隙水圧を用いた。

Skempton 式のすべり線法に対する適用

ある要素に発生する過剰間隙水圧の評価式である Skempton 式は、一般に次式のように表せられる。 $u=B\{\sigma_3+A(\sigma_1-\sigma_3)\}+z_0$ (ここで、 $z_0=u_0-\{\sigma_{30}+A(-\sigma_{10}+\sigma_{30})\}$ 、 u_0 、 σ_{10} 、 σ_{30} は初期の間隙水圧と最大・最小主応力) ここで、Skempton 式における未知数 σ_1 、 σ_3 (ある要素に作用する最大・最小主応力) をすべり線法における未知数 σ_m (平均主応力) と α (σ_1 面となす角) で表せられるように全応力を用いて変形する。Mohr-Coulomb の破壊基準より、

$$(\sigma_1-\sigma_3)/2 = \{(\sigma_1+\sigma_3)/2-u\} \sin \phi_e + c_e \cos \phi_e \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_m=(\sigma_1+\sigma_3)/2$ とおき、式(1)を Skempton 式に代入すると、

$$u = k \sigma_m + d \quad (2)$$

となる。ここで、 $k=B\{1+\sin \phi_e(2A-1)\}/\{1+B\sin \phi_e(2A-1)\}$ 、 $d=\{Bc_e \cos \phi_e(2A-1)+z_0\}/\{1+B\sin \phi_e(2A-1)\}$ 、 c_e と ϕ_e は Hvorslev の強度定数、 A と B は Skempton の間隙圧係数である。この式が Skempton 式のすべり線法に対する適用式である。

すべり線法の定式化¹⁾

図-1 に示す塑性体の自重を考慮した場合の2次元直角座標における釣合い式はx方向、z方向、モーメントのつり合いより、

$$\begin{aligned} d\sigma_x/dx + d\tau_{zx}/dz &= 0 \\ d\sigma_z/dz + d\tau_{xz}/dx &= \gamma \\ \tau_{zx} &= \tau_{xz} \end{aligned} \quad (3)$$

であり、これに式(1)に示した Mohr-Coulomb の破壊基準を連立することによって求められるのが従来示されている Kötter 式である。本研究ではさらに、上述した式(2)を代入することにより、完全飽和 $B=1$ の時は、特性曲線の方法は $dz/dx = (\sin 2\alpha \pm 1)/\cos 2\alpha = \tan(\alpha \pm \mu)$ $\Rightarrow \mu = \pi/4$ で規定され、図-2 に示すようなすべり線網と支持力が求められる。

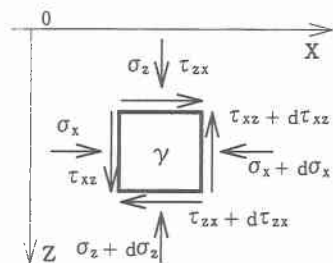


図-1 すべり線法における応力状態

また、等方性地盤の時 $c_e = \text{const.}$ 、 $\phi_e = \text{const.}$ であるので、

$$\frac{d\sigma_m}{ds_1} - 2(c_e \cdot \cos \phi_e - d \sin \phi_e) \frac{d\alpha}{ds_1} = -\gamma \cos(\alpha + \mu), \quad \frac{d\sigma_m}{ds_2} + 2(c_e \cdot \cos \phi_e - d \sin \phi_e) \frac{d\alpha}{ds_2} = \gamma \sin(\alpha + \mu)$$

が導かれ、これを用いて解析を行った。

3. 解析結果

図-2に $c_e=0$ 、 $\phi_e=30^\circ$ 、 $\gamma=2\text{tf/m}^3$ 、基礎幅 10m、Skempton の間隙水圧係数 $B=1.0$ 、 $A_f=-0.4, 0.0, 0.4, 0.8$ ($c_u=50.0, 10.0, 5.56, 3.85\text{tf/m}^2$) の場合の支持力とすべり線形状を示す。ただし、地盤は載荷前には 10tf/m^2 の等方応力状態であったと仮定している。また、同図の条件に対応する全応力解析による支持力も示している。この条件では、土のせん断強度は場所や角度によらず初期応力状態のみで決まる一定値となる。ここで、正解に近いと考えられる有効応力解析による支持力が全応力解析による支持力の値の約 90%程度になるのは、参考文献2) にも示してある通り有効応力解析ではすべり線を $\pi/4 + \phi_e/2$ で定義するため、図-3からもわかる通り、有効応力解析の値が全応力解析の $\cos \phi_e$ 倍となるためである。また、図-2のすべり面形状をみると有効応力解析では極限支持力に対応したすべり面は円形に近くなる。したがって通常的全応力解析で用いられる円形すべり面の仮定は妥当である。ところで、上述の解析で用いた間隙水圧評価式は、三軸圧縮試験を念頭にしているため、最大主応力方向の変化を考慮することができない。しかし、実際の地盤では、基礎直下とすべり面の端で最大主応力が鉛直から水平まで変化する。そこで、本研究では最大主応力方向の変化による過剰間隙水圧が発生しないように初期応力状態を等方応力状態とした。

4. あとがき

せん断によって発生する間隙水圧を導入した真の有効応力解析を行った。この結果から、従来の全応力解析 ($\phi_e=0$ 法) は支持力を $1/\cos \phi_e$ 倍、過大評価していると思われる。今後の課題として、最大主応力方向の変化を考慮した平面ひずみ問題に対する間隙水圧評価式の提案が望まれる。

参考文献

- 1) 最上 武雄：土質力学, pp. 745-810, 1969.
- 2) 榎・八木・矢田部・大西： $\phi_u=0$ 条件下での円形すべり面の非妥当性—せん断により生じる間隙水圧を考慮した有効応力安定解析法の提案—, 第27回土質工学研究発表会発表講演集, pp. 1431-1432, 1992.
- 3) 榎・森・大坪：支持力解析における過剰間隙水圧の導入, 第31回土質工学研究発表会発表講演集, 投稿中, 1996.

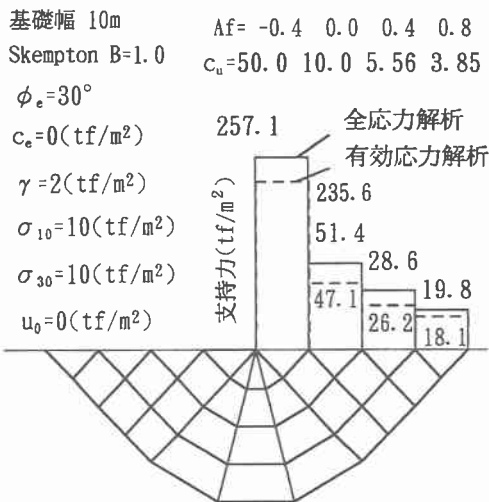


図-2 B=1.0の場合の A_f の変化による支持力の変化と主すべり面形状

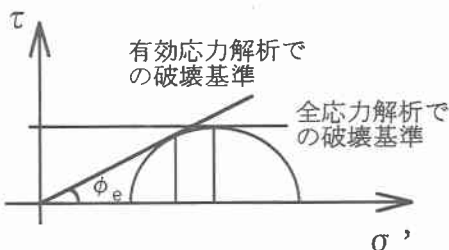


図-3 全応力基準と有効応力基準