

III-664 ひずみエネルギーによる土構造物の安定解析

筑波大学大学院 学生会員 伊藤 隆至
筑波大学教授 正会員 西岡 隆

1. はじめに

今日に至るまで、斜面、基礎、擁壁などの安定解析については、多くの手法（安定解析法）が提案されてきた。しかしながら、従来の安定解析法と呼ばれるものには、一般に何らかの仮定（幾何学的な仮定）を導入する必要があり、必ずしもその仮定が正しいとは限らないのが現状であった。そこで、本研究では、ひずみエネルギーに着目することにより、円弧、直線などといった単純化したすべり面を仮定することなく、土構造物の安定解析をおこなうことができることを報告する。

2. ひずみエネルギー

単位体積当りのひずみエネルギー（ U ）は、主応力と主ひずみを用いて表すと以下の式で表すことができ、これは、平均主応力（ σ_m ）の2乗の式、すなわち、体積変化に要するひずみエネルギー（ U_v ）と、主応力 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ からそれぞれ平均主応力（ σ_m ）を差し引いた偏差主応力の式、すなわち、形状変化に要するひずみエネルギー（ U_s ）とにわけることができる。

$$\begin{aligned} U &= \frac{1}{2}(\sigma_1 \varepsilon_1 + \sigma_2 \varepsilon_2 + \sigma_3 \varepsilon_3) \\ &= \frac{3(1-2\nu)}{2E} \sigma_m^2 - \frac{1}{2G} \{(\sigma_1 - \sigma_m)(\sigma_2 - \sigma_m) + (\sigma_2 - \sigma_m)(\sigma_3 - \sigma_m) + (\sigma_3 - \sigma_m)(\sigma_1 - \sigma_m)\} \\ &= U_v + U_s \end{aligned}$$

弾性領域については、体積変化は降伏に関与しないことから、形状変化に要するひずみエネルギー（ U_s ）に着目し、この値が一定の値に達すると降伏が生じるとした。また、塑性領域については、ダイレイタンスによる体積変化を考慮し、体積変化に要するひずみエネルギー（ U_v ）と、形状変化に要するひずみエネルギー（ U_s ）の両方から検討し、解析を行った。

3. 内部摩擦角

平均主応力（ σ_m ）が変わることで、内部摩擦角（ ϕ ）が変わることを考慮し、拘束力の違いは内部摩擦角（ ϕ ）に現れるとする Ja'ky の式（砂）と Brooker・Ireland の式（粘性土）を用いた。（ただし、 K_0 ：静止土圧係数）

$$\begin{aligned} K_0 &= 1 - \sin \phi && (\text{Ja'ky; 砂}) \\ K_0 &= 0.95 - \sin \phi && (\text{Brooker・Ireland; 粘性土}) \end{aligned}$$

4. 間隙水圧の上昇、下降

土が安定している状態から、掘削、盛土などによって不安定な状態に至るのは、土の内部に新たに応力が発生するからであり、その発生する応力の平均主応力は、土の体積変化に関わるものであると考える。もし、土の間隙が水で満たされているとするなら、土の体積変化は、間隙水の圧力を高める、または、弱める結果になると考え、この平均主応力は、間隙水圧の上昇分、または、下降分に等しいとした。

5. ダイレイタンス

土が降伏するとき、それと同時に体積変化（dilatancy）が生じる。もし、ダイレイタンスが正であれば、体積変化に要するひずみエネルギー（ U_v ）は減少するとし、ダイレイタンスが負であれば増加するとした。これにより、平均主応力（ σ_m ）の増加、減少が生じるが、形状変化に要するひずみエネルギー（ U_s ）は一定値とした。

6. 降伏曲面

Mohr-Coulombの規準に、砂の場合にはJa'kyの式、粘性土の場合にはBrooker・Irelandの式を用いると、降伏曲面は図1の実線で表される。今、降伏点の平均主応力(σ_m)が図1の点Aで生じたとすると、そのときの降伏曲線はfであり、それ以後はダイレイタンスをとまなう塑性変形(破線)が生じる。そのときのダイレイタンス角なるものが内部摩擦角(ϕ)に等しいとするなら、正のダイレイタンスが生ずるときには、点Aは点Bへ移行するとし、負のダイレイタンスが生ずるときには、点Aは点Cへ移行するとした。

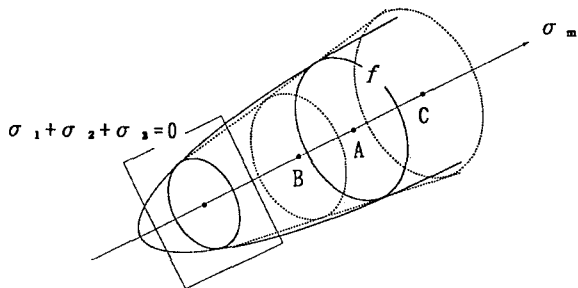


図1 降伏曲面

7. 解析結果および考察

地表面から深さ5mのところまでは砂質土が、それよりも深いところでは粘性土が均等に存在するとし、その地盤に鋼矢板(7.5m)を打ち込み、5mの掘削を仮定した(図2)。

＜砂質土＞	
変形係数 (300 kgf/cm ²)	湿潤重量 (1.8 tf/m ³)
静止土圧係数 (0.5)	粘着力 (0 tf/m ²)
＜粘性土＞	
変形係数 (300 kgf/cm ²)	湿潤重量 (1.7 tf/m ³)
静止土圧係数 (1.0)	粘着力 (3.0 tf/m ²)

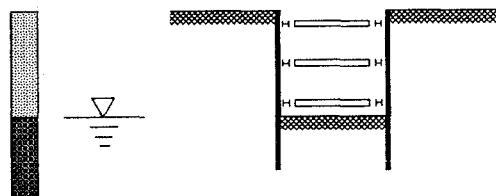


図2 地盤の土質条件

節点数(1078)、要素数(2016)としてFEM(有限要素法)による解析を行った。図3(一部省略)は、切りばりのあるところでの変形を拘束したもので、地下水の影響により盤膨れが生じている。図4(一部省略)は、切りばりのあるところでの変形を拘束しなかったもので、砂質土の崩壊によるすべり面の発生や、ヒービング現象がみられる。安全率は、降伏点での形状弾性ひずみエネルギーを、土が作用をうけている時点での形状弾性ひずみエネルギーで割ったものとした。

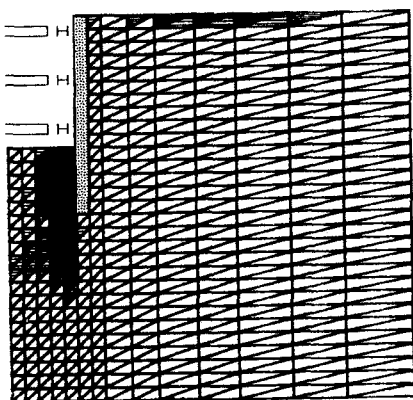


図3 拘束する

(安全率 $\blacksquare < 1$, $1 \leq \blacksquare < 1.25$, $1.25 \leq \blacksquare < 1.5$)

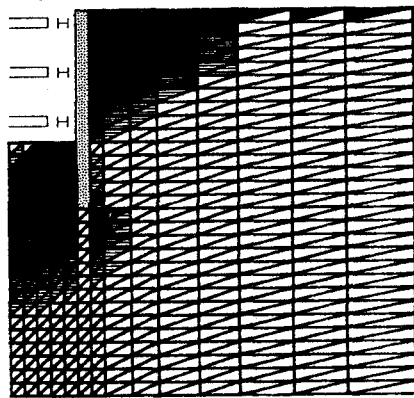


図4 拘束しない

8. おわりに

テンソル量である応力ではなく、スカラー量であるひずみエネルギーを用いて、土構造物の安定解析をおこなった。良い結果が得られたと考える。