

立命館大学工学部 正員 ○勝見 雅
立命館大学大学院 学生員 神野 弘巳

1. 緒言

著者の1人は、いわゆる3次元軸対称問題として基礎底面がなめらかであり、 $\gamma=0$ の場合について中間主応力の影響を詳細に検討し、その結果をすでに報告した¹⁾。そこで今回は、基礎底面が完全にあらう場合の計算を行なったので、その結果をなめらかな場合の比較に注目して考察を行い、さらに2次元帯状基礎の問題との比較検討も若干試みたので、その結果を記述する。

2. 基礎方程式

3次元軸対称としてのすべり線に関する基礎方程式の誘導に関してはすでに報告したので¹⁾、ここではその結果のみについて記す。

i) $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ の場合

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP}{ds_1} - 2\left(p \tan \phi + \frac{c}{\cos \phi}\right) \frac{d\theta}{ds_1} &= \gamma \sin(\theta - \phi) + \frac{1}{r} \left(p \tan \phi + \frac{c}{\cos \phi}\right) \{\sin \theta + \cos(\theta - \phi)\} \\ \frac{dP}{ds_2} + 2\left(p \tan \phi + \frac{c}{\cos \phi}\right) \frac{d\theta}{ds_2} &= \gamma \cos \theta - \frac{1}{r} \left(p \tan \phi + \frac{c}{\cos \phi}\right) \{\sin \theta + \cos(\theta - \phi)\} \end{aligned} \right\} (1)$$

ii) $\sigma_1 > \sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_3)/2 > \sigma_3$ の場合

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP}{ds_1} - 2\left(p \tan \phi + \frac{c}{\cos \phi}\right) \frac{d\theta}{ds_1} &= \gamma \sin(\theta - \phi) + \frac{1}{r} \left(p \tan \phi + \frac{c}{\cos \phi}\right) \sin \theta \\ \frac{dP}{ds_2} + 2\left(p \tan \phi + \frac{c}{\cos \phi}\right) \frac{d\theta}{ds_2} &= \gamma \cos \theta - \frac{1}{r} \left(p \tan \phi + \frac{c}{\cos \phi}\right) \cos(\theta - \phi) \end{aligned} \right\} \text{----} (2)$$

式(1)、式(2)を誘導するに際しては、結果的に中間主応力を他の主応力との関係で表わしているので、いわゆる平面ひずみの問題となり、 (r, z) 平面に関しては $T_s = C + \sigma_s \tan \phi$ なる2次元としての Coulomb-Mohr の破壊条件式を用いた。

3. 基礎底面が完全にあらう場合における計算法の特徴

基礎底面がなめらかな場合は、図-1 a) に示すごとく基礎底面直下のすべり線からなる塑性くさびが半サイズになると考え、完全にあらう場合は同図 b) のように ADO の部分が擬弾性的な土のくさびとなる。そこであらう場合、AD すべり線を一般的に直線でないと考えれば、 $\angle CAD = \pi/2$ となるので特異点 A における θ の値を求めるに際して、なめらかな場合と若干様子が異なる。すなわち N を点 A の周りの分割の総数とすれば、

$$\text{なめらかな場合: } \theta_i = \frac{\phi}{2} + \frac{2i - N}{4N} \cdot \pi$$

$$\text{あらゝ場合} : \theta_i = -\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} + \left(\frac{3}{4}\pi - \psi + \frac{\phi}{2}\right) \frac{i}{N} \quad \left. \vphantom{\theta_i} \right\} \text{----- (3)}$$

ここに、式(3)に含まれる ψ は図-1 b)におけるADすべり線の真Aでの接線とr軸とのなす角を表わす。また、同点での p/c は両者ともつぎの式から求めることができる。

$$\phi = 0 : \frac{p_i}{c} = 2\theta_i + \left(1 + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\phi \neq 0 : \frac{p_i}{c} = \frac{1}{2 \tan \phi} \left[\exp\{2(\theta_i - \alpha) \tan \phi\} - \frac{2}{\cos \phi} \right] \quad \left. \vphantom{\frac{p_i}{c}} \right\} \text{----- (4)}$$

$$\text{ここに、} \alpha = -\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} - \frac{1}{2 \tan \phi} \log \left\{ 2 \left(\frac{1}{\cos \phi} + \tan \phi \right) \right\}$$

さらに図-1 b)の真Dは対称軸上の点であるから、せん断応力 $T_{rz} = 0$ となり、同点での θ は $\pi/4 + \phi/2$ とならねばならぬ。以上要するに真Bのr座標と ψ を適当に与えることにより、真Dを求めることができる。

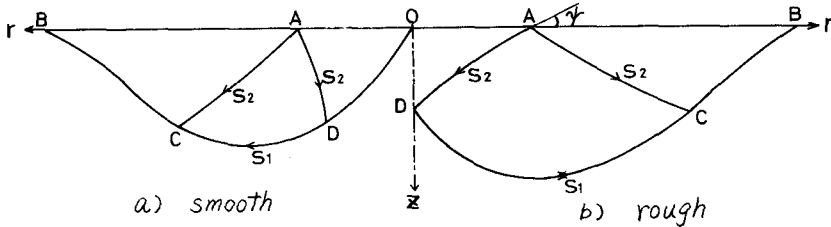


図-1 すべり線の概形

4. 数値計算結果とその考察

図-2, 図-3は一例として、 $\sigma_2 = \sigma_3$ で $\phi = 30^\circ$, $\sigma_2 = \sigma_m$ で $\phi = 20^\circ$ に関する計算で求めたすべり線網目の形状を画いたものである。なお同図のa)には比較のために基礎底面がなめらかな場合の結果¹⁾を示した。

また、かかる場合に求められた基礎底面における接触圧分布を図-4, 図-5に示した。これらの図によると、 $\sigma_2 = \sigma_3$, $\sigma_2 = \sigma_m$ にかかわらず基礎底面があらゝ場合は基礎の中心近くでは、なめらかな場合よりも接触圧は小さく、端部に近づくにつれて逆に大きな傾向を示している。さらに図-4はEasonとShieldが $\phi = 0^\circ$ で求めている結果²⁾と類似の曲線関係を表わしている。

ついで、図-6 a)は図-1におけるOB/OAの値、図-7は図-1 b)におけるOD/OAの値と ϕ の関係をそれぞれ画いたものであり、図-6 a)におけるなめらかな場合に対するあらゝ場合の比率を示したのが同図 b)である。この図によると、 $\sigma_m \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ の範囲では中間主応力の値に無関係に、 ϕ が大きくなるにつれて、この比率はやや増加の傾向を示しており、その値は $30^\circ \geq \phi \geq 0^\circ$ において1.2 ~ 1.4程度である。

図-8は図-1 b)における ψ と ϕ の関係を画いたものであり、同図によると ψ は ϕ に対してほとんど一次直線的な増加を示している。また、 $\psi - \phi/2$ と ϕ の関係を示したのが図-9であり $\sigma_2 = \sigma_m$ の場合は $\psi - \phi/2 = 26^\circ$ すなわち、 $\psi = 26^\circ + \phi/2$ なる関係を示している。このことは

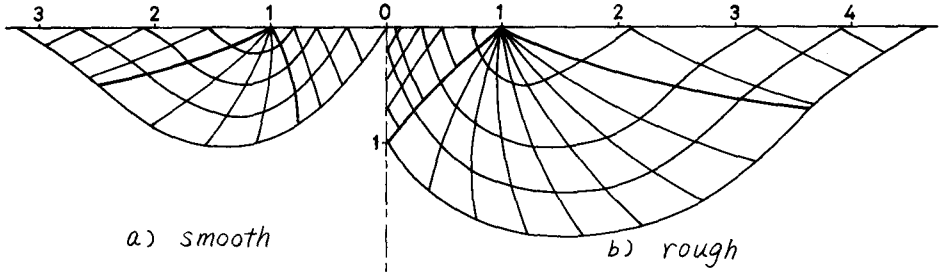


図-2 すべり線網目の形状 ($\sigma_2 = \sigma_3$, $\phi = 30^\circ$)

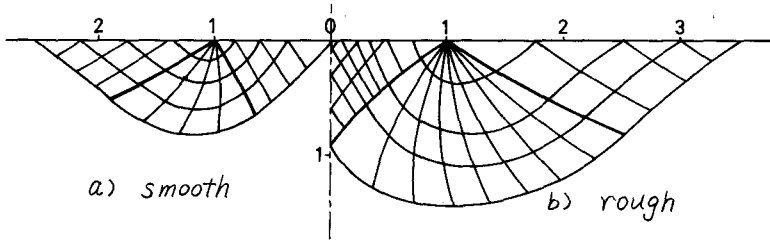


図-3 すべり線網目の形状 ($\sigma_2 = \sigma_m$, $\phi = 20^\circ$)

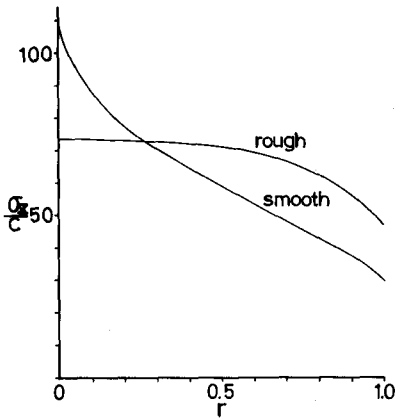


図-4 接触圧分布 ($\sigma_2 = \sigma_3$, $\phi = 30^\circ$)

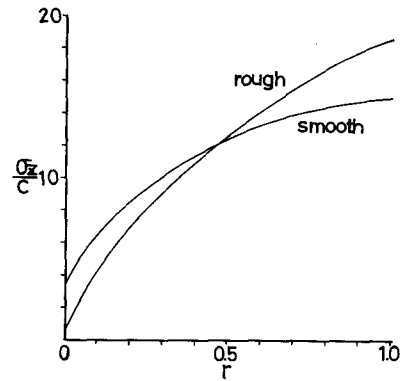
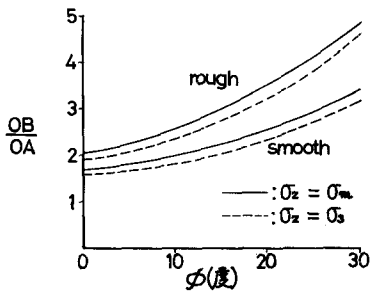
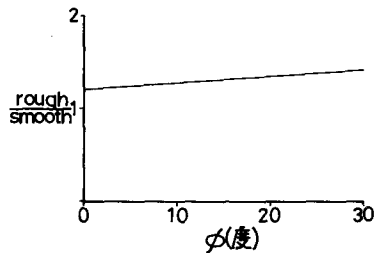


図-5 接触圧分布 ($\sigma_2 = \sigma_m$, $\phi = 20^\circ$)



a) $\phi - OB/OA$ の関係



b) smooth に対する rough 場合の比率

図-6 内部摩擦角と塑性域の大きさ (OB/OA) の関係

Meyerhof が2次元帯状基礎として $\gamma = 0$ の場合 $\psi = \pi/4 + \phi/2$ と述べている³⁾ものとは異なる。この理由は図-2 b), 図-3 b) に画いたごとく AD すべり線が直線でないことが原因している。さらに、同図などの AD および OD 上での垂直応力成分は図-10, 図-11 に一例として画いたごとく、一様な分布は示していない。また、Meyerhof は周知のごとく $\gamma = 0$ の場合 N_c は基礎底面のあらしさには関係しない³⁾と述べているが、著者らの計算結果の一例によると、 $\sigma_2 = \sigma_3$ で $\phi = 30^\circ$ のとき：あらい場合 $N_c = 63.2$, なめらかな場合 $N_c = 49.9$, $\sigma_2 = \sigma_m$ で $\phi = 20^\circ$ のとき：あらい場合 $N_c = 14.7$, なめらかな場合 $N_c = 13.1$ であり、あらい場合の方がなめらかな場合に比較して大きな値が得られた。

以上は $\gamma = 0$ で基礎底面が完全にあらい場合となめらかな場合との比較に注目して考察を行なったが、一般的にみて2次元帯状基礎としての傾向とはかなり異なるようである。なお数値計算には京都大学大型電子計算機を使用した。

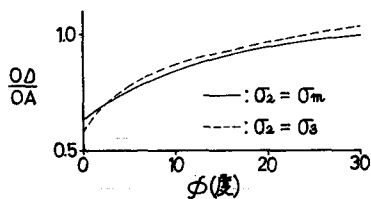


図-7 内部摩擦角と OD/OA の関係

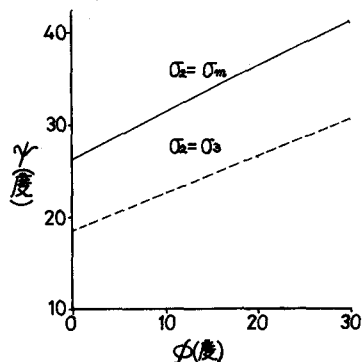


図-8 内部摩擦角と ψ の関係

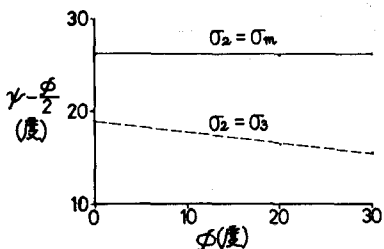


図-9 内部摩擦角と $(\psi - \phi/2)$ の関係

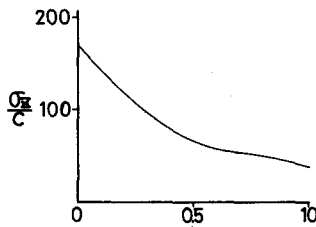


図-10 AD すべり線上における垂直応力分布 ($\sigma_2 = \sigma_3$, $\phi = 30^\circ$)

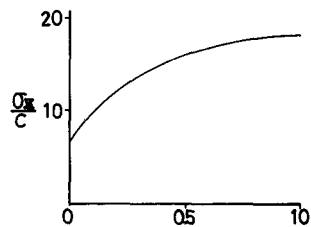


図-11 AD すべり線上における垂直応力分布 ($\sigma_2 = \sigma_m$, $\phi = 20^\circ$)

参考文献

- 1) 勝見 雅：3次元軸対称問題としての支持力理論，第4回土質工学研究発表会講演集，pp.555~560，昭44.6.
- 2) Eason, G. and Shield, R.T.: The Plastic Indentation of a Semi-Infinite Solid by a Perfectly Rough Circular Punch, ZAMP, Vol.11, pp.33-43, 1960.
- 3) Meyerhof, G.G.: Influence of Roughness of Base and Ground-Water Conditions on the Ultimate Bearing Capacity of Foundations, Géotechnique, 3, pp.227-242, 1955.