

Ⅲ - A227

古典的塑性論へのせん断により発生する間隙水圧の導入

鳥取県庁 (正) 大坪 亮太
鳥取大学工学部 (正) 榎 明潔

1. はじめに

従来から用いられている古典的塑性論による解法は、静水圧・浸透水圧は考慮できるが、せん断による間隙水圧は考慮することができないと考えられている。これは、Bishop がせん断により発生する間隙水圧の Bishop 法への導入を行ったが、問題によっては解が得られず、導入に失敗していることが原因である。この理由はスライス法の持つスライス間面力の仮定に力学的問題があるためで、古典的塑性論の本質的な欠陥ではない。なお古典的塑性論には極限平衡法(スライス法等)・すべり線法等があり、我々は極限平衡法はすべり線法の必要条件であると考えている。

本報告では一般化極限平衡法(GLEM)とすべり線法(SLM)による解析法を用い、間隙水圧評価式として Skempton 式を導入し、せん断により発生する間隙水圧を考慮した、真の意味での有効応力解析を行った。古典的塑性論にせん断により発生する間隙水圧を導入できることを示した。

2. 過剰間隙水圧の評価式について

Skempton 式は $\Delta u = B\{\Delta \sigma_3 + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)\}$ である増分形であるが、これを初期値との差で表した形に置き換え、以下の式になる。

$$u = B\{\sigma_3 + A(\sigma_1 - \sigma_3)\} + j_0 \quad (1)$$

ここに初期応力項 j_0 は $j_0 = u_0 - B\{\sigma_{30} + A(\sigma_{10} - \sigma_{30})\}$ 、 σ_{10} 、 σ_{30} は初期最大・最小主応力、 u_0 は初期間隙水圧である。また(1)式を全応力と間隙水圧で表現したのは、有効応力と間隙水圧とで書き換えると、 $B=1$ の時に解が得られないという問題が生じるからである。

3. 過剰間隙水圧を考慮した GLEM の定式化¹⁾

GLEM はある面に作用する力の釣合式であるので、導入する Skempton 式(1)をある面に作用する過剰間隙水圧を表す形に変形し、 $U = (PE + c_e LE - D) / (E - B + 1)$ とする。ここで U はある面に発生する水圧力、 P はその面に作用する垂直力[全応力]、 L はその面の面積(長さ)、 c_e と ϕ は有効応力での強度定数、 $E = B\{(2A-1)\sin \phi_e + 1\} / \cos^2 \phi_e$ 、 $F = B(2A-1 + \sin \phi_e) / \cos \phi_e$ 、 $D = [B\{(1-A)\sigma_{30} + A\sigma_{10}\} - u_0]L$ である。

GLEM は主に、次に示す 2 方法がある。(Ⅰ) 力の釣合いによるものと(Ⅱ) 上界法と同様に速度場と消散エネルギーによるものである。本報告では(Ⅱ)による方法を用い解析を行う。定式化の詳細は参考文献 2) を参照のこと。

4. 過剰間隙水圧を考慮したすべり線法(SLM)の定式化²⁾

Skempton 式における未知数は式(1)より σ_1 、 σ_3 であり、この変数をすべり線法における未知数 σ_n (平均主応力)と α (最大主応力方向角)で表示するように、全応力で変形する。 $c' = c_e$ 、 $\phi' = \phi_e$ の時、 $u = k\sigma_n + J$ となる。ここに $k = B\{1 + \sin \phi_e \cdot (2A-1)\} / \{1 + B \sin \phi_e \cdot (2A-1)\}$ 、 $J = \{B \cdot c_e \cdot \cos \phi_e \cdot (2A-1) + j_0\} / \{1 + B \sin \phi_e \cdot (2A-1)\}$ である。

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式は

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} = \gamma, \quad \tau_{xz} = \tau_{zx}$$

更に、破壊条件式(Mohr-Coulomb 基準)より

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = (\sigma_1 + \sigma_3 - 2u) \sin \phi_e + 2c_e \cdot \cos \phi_e$$

を適用し解けば、代入法的な差分方程式が導かれる(ここでは省略する)。

導入した方程式のすべり線の方法は

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{\sin 2\alpha \pm \sqrt{\cos^2 \phi_e + k \cdot \sin^2 \phi_e (2-k)}}{\sin \phi_e + \cos 2\alpha - k \cdot \sin \phi_e} = \tan(\alpha \pm \mu)$$

であり、 μ は ϕ_e と k の関数となる。よって

古典的塑性論、有効応力、安定解析、支持力、過剰間隙水圧、Skempton 式、

〒680 鳥取市湖山町南 4-101 鳥取大学工学部土木工学科 TEL 0857-31-5289 FAX 0857-28-7899

$$\mu(\phi_e, k) = \arctan \left[\frac{\sqrt{\cos^2 \phi_e + k \cdot \sin^2 \phi_e (2-k)}}{\sin \phi_e + 1 - k \cdot \sin \phi_e} \right]$$

で表される。

5. 解析結果

解析結果を図1～3に示す。

図1は Skempton の B を変化させた時の支持力と主すべり面形状を示している（物性条件は図中に記載で初期応力状態は等方応力状態、及びサーチャージ q 有り）。B 値の減少に伴い、支持力が減少し、すべり面形状も排水条件の場合に近付くことが伺える。

図2は GLEM とすべり線法におけるすべり線網を示している（物性条件は図1と同じ）。すべり線形状、支持力値はほぼ近似されており、GLEM がすべり線法の近似解を与えることが伺える。

図3は地盤内の応力状態を示している（物性条件は図1と同じで B 値は 0.4）。すべり線法における解は、すべり線形状が曲線で現れるが、GLEM における形状は直線で囲まれたブロックで与えられるので、比較のため形状を直線近似した。両方法とも全てのすべり面における応力関係は、破壊条件を満たしていることが分かる。直線近似したことにより、GLEM における応力値と比較するとすべり線法におけるその方が小さな値を示している。これは図2のすべり面形状にも現れているように、過渡領域が受動側に流れているため、対応が悪くなったためであろう。

6. 結論

すべり線法及び GLEM にせん断により発生する間隙水圧を導入できることを示した。間隙水圧評価式の問題点を除けば、古典的塑性論に属する種々の解法においても、この間隙水圧を考慮できることは明らかである。

7. あとがき

Skempton 式は軸対象条件で考えられており、主応力方向の回転による間隙水圧を考慮できない。実際問題では平面歪み条件で、主応力の変化による間隙水圧の発生も考慮しなければならない。これを考慮できるような新たな間隙水圧評価式が必要である。本報告では Skempton 式が最も適用し易いので、問題点は承知の上で採用することとした。

参考文献

- 1) 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、
- 2) 森・榎・大坪: 支持力解析における過剰間隙水圧の導入、第 31 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 1591-1592, 1996

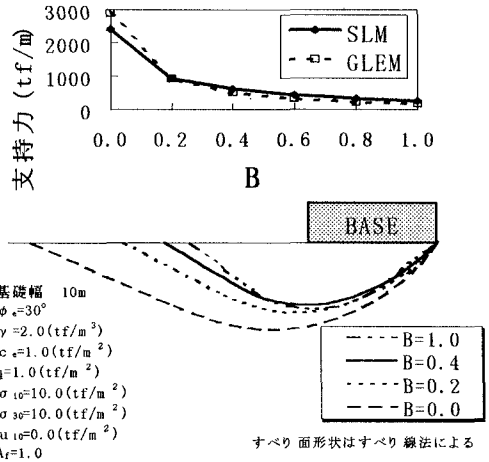


図1 B の変化による支持力と主すべり面形状

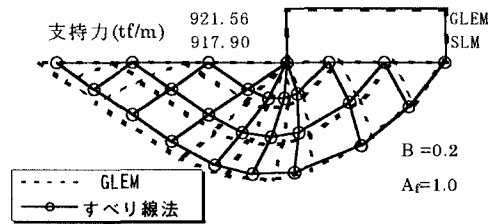
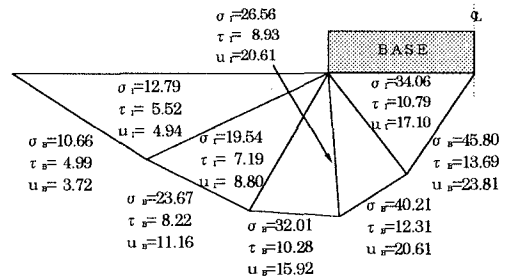
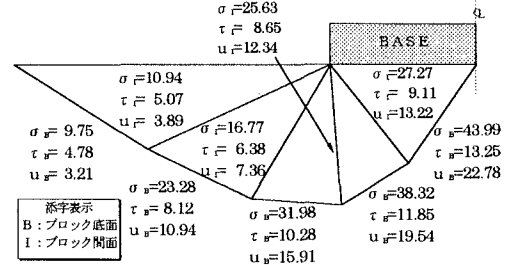


図2 GLEM とすべり線法におけるすべり線網



(a) GLEM における地盤内応力



(b) すべり線法における地盤内応力

図3 地盤内応力の比較