

剛塑性有限要素法による地盤の三次元解析

京都大学工学部 正員 小林 昭一
 京都大学工学部 正員 田村 武
 京都府 正員 〇田 中 照 彦

1. 概 説

基礎工学における支持力解析及び斜面安定解析などの地盤の崩壊解析は、従来より、すべり線法や適当な崩壊メカニズムを仮定する上界法、適当な応力場を仮定する下界法などがあるが、近年上界法を用いた数値解析による研究が盛んに行なわれており、そのひとつが剛塑性有限要素法である。従来はその大部分が、平面ひずみを仮定した2次元問題であったが、C-φ材に対し非関連流山則をも考慮した3次元解析を試みた。

2. 解析手法

a. 仮定仕事式 運動学的許容なひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{ij}$ 及び変位速度 $\dot{u}_i$ と、静的許容な応力 σ_{ij} 及び外力 μT_i , μX_i (T_i は表面力, X_i は物体力, μ は荷重強度) には次の仮定仕事式が成立する。

$$\int \sigma_{ij} \dot{\epsilon}_{ij} dV = \int \mu X_i \dot{u}_i dV + \int \mu T_i \dot{u}_i dS \quad \text{----- ①}$$

b. 応力-ひずみ速度関係式 降伏関数として Drucker-Prager の降伏関数を用いると

$$f = -\alpha I_1 + \sqrt{J_2} = R \quad (I_1 = \sigma_{kk}, J_2 = \frac{1}{2} S_{ij} S_{ij} \quad S_{ij} = \sigma_{ij} - \frac{1}{3} \sigma_{kk} \delta_{ij})$$

となる。これより応力-ひずみ速度関係式及び体積ひずみ関係式が誘導できる。

$$\sigma_{ij} = (\gamma + \lambda \beta) \dot{\epsilon}_{ij} / \bar{\epsilon} + \lambda \delta_{ij} \quad \text{----- ②} \quad \dot{\epsilon}_{kk} + \beta \bar{\epsilon} = 0 \quad \text{----- ③}$$

ただし $\bar{\epsilon}$ (相当塑性ひずみ速度) $= \sqrt{\dot{\epsilon}_{ij} \dot{\epsilon}_{ij}}$, $\beta = 3\alpha / (3\alpha^2 + \frac{1}{2})^{1/2}$, $\gamma = R / (3\alpha^2 + \frac{1}{2})^{1/2}$ であり、 λ は不定圧 ($\phi = 0$ の時には間隙水圧に相当) と呼ばれる未知数となる。

また変位速度の相対的な大きさを求める為、便宜上外力仕事を1とする。

$$\int X_i \dot{u}_i dV + \int T_i \dot{u}_i dS = 1 \quad \text{----- ④}$$

以上①～④式を連立方程式として、有限要素法で解析した。この際3次元要素として、8節点アイリパラメトリック要素を用い、8点 Gauss 積分法を適用した。また非線形方程式となる為 Newton-Raphson 法を用いて収束計算を行なった。

3. 適用例

fig. 1 は滑らかな正方形たわみ性基礎 (fig. 2 中で手前 3×3 の要素) に対する支持力の大きさを ϕ の関数として示したものである。領域底面および側面の変位は固定されている。上下の曲線はそれぞれ ψ (塑性ポテンシールの角度) $= \phi$ 及び $\psi = 0$ に相当している。なお $\phi = \psi = 40^\circ$ の場合は収束しなかった。fig. 2 には、その2つの場合について領域の $1/4$ 部分における速度場の崩壊メカニズムが示されている。fig. 3 には、粗い基礎に対する支持力が根元方向に粘着力 c が変化する場合について RB/C_{u0} の関数として示したものである。

fig. 4(a) には、 $RB/C_{u0} = 2.0$ に対する崩壊メカニズムが示されているが、 $RB/C_{u0} = 0.0$ の fig. 4(b) に比べて、中央が盛り上がっているのは注目される。また fig. 5 は $\phi = \psi = 0^\circ$ の条

Shoichi KOBAYASHI, Takeshi TAMURA, Teruhiko TANAKA

件のちとで、 30° の斜面をもつ盛土上の支持力が、荷重長さ L によりどのように変化するかを示したものである。fig. 6 はその時の $1/4$ のメカニズムである。以上のように剛塑性有限要素法を用いることにより、地盤の3次元効果を明らかにできると考えられる。

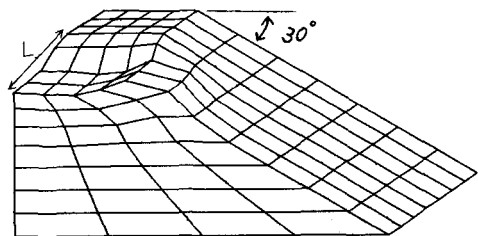
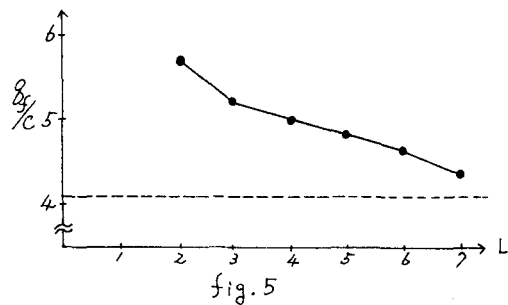
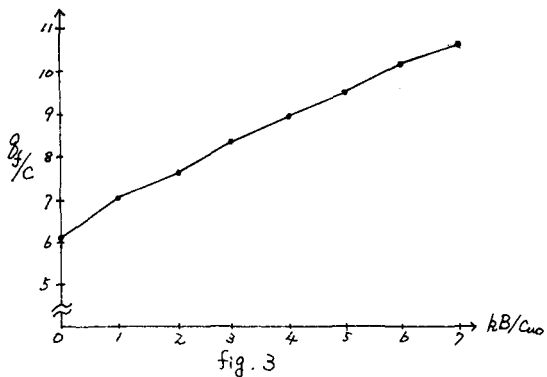
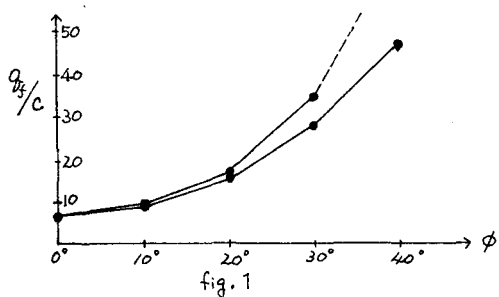


fig. 6 ($L=4$)

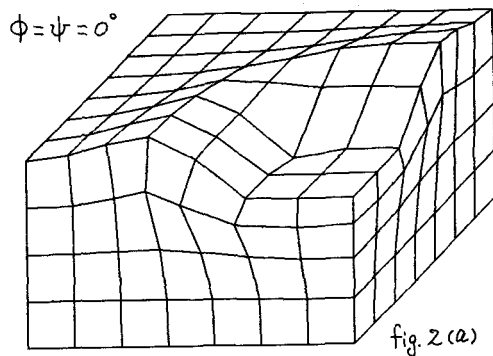


fig. 2(a)

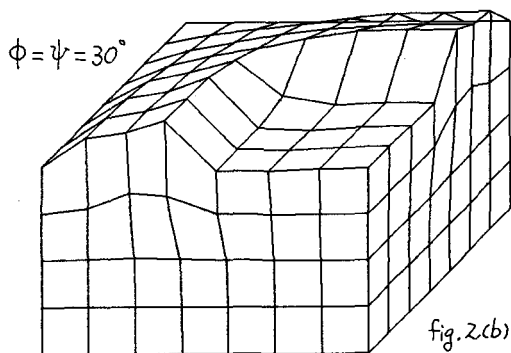


fig. 2(b)

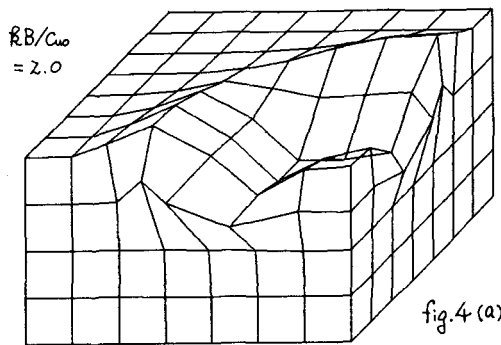


fig. 4(a)

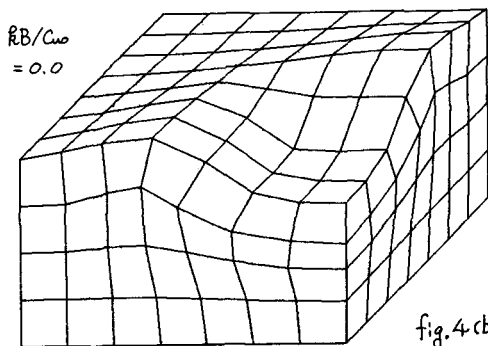


fig. 4(b)