

非排水飽和粘土の一弾塑性数値解析

阿南工業高等専門学校 正 ○植田康宏
徳島大学工学部 正 山上拓男

1. まえがき

筆者らは従来より多次元圧密の非連成数値解析法を提案してきた¹⁾。そしてより実的な土の挙動を解析するため、提案した解法に土粒子骨格の非線形性を導入することを試みた²⁾。その際、Biot系列による連成解法によれば排水条件とは無関係に適用しうするため、圧密過程の解析とその初期条件となる非排水状態の解析は何ら区別することなく扱うことができるわけであるが、筆者らの非連成解法では、土粒子と間隙水の連成作用を避けて通る必然の帰結として、そのままの形で非排水状態を解析することができない。したがって、圧密解析の初期条件は別の方法で決定しなければならない。この場合、提案した圧密解法の特徴が数値解析のデファニツフの面で連成効果を回避し、その取り扱いをきわめて平易にしたところにみられるため、この特徴と整合する意味で初期条件の評価もまた平易なものでなければならぬ。

こうした立場から、目下、圧密解析の初期条件を決定すべく全応力の立場で飽和粘土の非排水弾塑性挙動を数値解析する種々の方法を検討中である。その一環として、本報告は Banerjee & Stipho³⁾ の解法を取り上げ、筆者らの目的に使い得るか否かを検討したものである。

2. 応力-ひずみ関係

飽和粘土の非排水弾塑性挙動を解析するため本研究で採用した弾塑性応力-ひずみ関係式は Roscoe & Burland, Roscoe・Schofield & Wroth により提案された Cam Clay Model をもとに Banerjee & Stipho により開発された関係式である。以下にその誘導について簡単に述べる。

まず、用いた降伏条件式は次式で表される。

$$F = \tau \frac{q}{Mp} + \log \frac{p'}{p_0'} = 0 \quad \cdots (1)$$

$$\text{ここに、} \quad q = \sqrt{\frac{1}{2} \{ (\sigma_1' - \sigma_2')^2 + (\sigma_2' - \sigma_3')^2 + (\sigma_3' - \sigma_1')^2 \}}, \quad p' = \frac{1}{3} (\sigma_1' + \sigma_2' + \sigma_3')$$

M: 破壊線の傾き, p_0' : 初期有効平均主応力

式(1)で定められる降伏関数, associated flow rule, normality rule, そして非線形弾性応力-ひずみ関係を用いて, Banerjee & Stipho の誘導により最終的に弾塑性応力-ひずみ関係は次のように求められる。

$$\{\dot{\sigma}'\} = [D^{ep}] \{\dot{\varepsilon}\} \quad \cdots (2)$$

$$\text{ここに、} [D^{ep}] = [D^e] - \frac{[D^e][a][b][D^e]}{[b][D^e][a] + \lambda[m][a]} \quad ; \text{弾塑性マトリックス,}$$

$$[D^e]: \text{非線形弾性マトリックス, } [a] = [b]^T = \left\{ \frac{\partial F}{\partial \sigma_1'}, \frac{\partial F}{\partial \sigma_2'}, \frac{\partial F}{\partial \sigma_3'}, \frac{\partial F}{\partial p_0'} \right\}^T, [m] = \{ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \}$$

$$r = -\frac{1+e_0}{\lambda-k}, e_0: \text{初期間隙比, } \lambda: \text{圧縮曲線の傾き, } k: \text{膨張曲線の傾き}$$

式(2)で示される関係はあるひずみ増分 $\{\dot{\varepsilon}\}$ に対して有効応力増分 $\{\dot{\sigma}'\}$ を評価するには適用できるけれども、本研究で必要とする関係は全応力増分 $\{\dot{\sigma}\}$ と $\{\dot{\varepsilon}\}$ の関係である。そこで有効応力の原理を利用してこれを修正しなければならない。一般に飽和土に対して全応力, 有効応力, 間隙水圧の間には次の関係が成り立つ。

$$\{\dot{\sigma}\} = \{\dot{\sigma}'\} + \{\dot{u}\} \quad \dots (3)$$

式(3)において $\{\dot{u}\}$ は間隙水圧増分であり、 $\{\dot{u}\}$ と $\{\dot{\epsilon}\}$ との間に次の関係がある。

$$\{\dot{u}\} = [M_0] \{\dot{\epsilon}\} \quad \dots (4)$$

$$\text{ここに } [M_0] = \begin{bmatrix} K_b & K_b & K_b & 0 \\ K_b & K_b & K_b & 0 \\ K_b & K_b & K_b & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} K_b: \text{間隙水の} \\ \text{見かけの体} \\ \text{積圧縮係数} \end{array}$$

式(4)と式(2)を式(3)に代入すると次のように全応力-ひずみ関係が得られる。

$$\{\dot{\sigma}\} = ([D^0] + [M_0]) \{\dot{\epsilon}\} \quad \dots (5)$$

したがって式(5)の関係式を用いて非排水解析を行えばよい。そして求めた $\{\dot{\epsilon}\}$ を式(4)に代入することにより間隙水圧が計算される。

3. 解析例

図1に示すように K_0 -圧密が終了している飽和粘土地盤に最大荷重強度 1.2 t/m^2 の等分布荷重が瞬時に載荷されると想定して非排水解析を行った。要素分割、境界条件はそれぞれ図中に示す通りである。解析に用いた要素は2次元アイソパラメトリック要素で、用性行列の数値積分に際し、係数積分、すなわち 2×2 Gauss rule を適用している。用いた材料定数は次の通りである。

$\lambda = 0.3112$, $K = 0.1089$, $M = 1.4387$, $\nu = 0.3333$, $K_b = 2000$, 土の単位重量 $= 1.6 \text{ t/m}^3$
荷重は8段階に等分割して増分法を用いて解析した。

結果として、図2に地表面の2 (荷重強度 0.3 t/m^2), 4 (0.6 t/m^2), 6 (0.9 t/m^2), 8 (1.2 t/m^2) 段階における沈下性状を、図3に最終段階の地盤内の間隙水圧分布を示す。

4. あとがき

本報告は、筆者らの提案する圧密解析の初期条件を決定すべく載荷直後の非排水解析の一手法として Banerjee & Stipho の解法を取り上げたものである。解析は全応力に基づくもので通常の応力-変形解析プログラムが利用でき、計算結果も沈下性状、間隙水圧分布とも載荷直後のその性質をよく表わしていると思われる。

【参考文献】

- 1). 山上・植田：有限要素法による圧密現象の一解法，土木学会論文報告集，第302号，pp.67-78，1980
- 2). 山上 植田：圧密の弾塑性数値解析に関する一定式化，第32回土木学会中国四国支部学術講演会講演集，1980.
- 3). Banerjee・Stipho：Associated and Non-Associated Constitutive Relations for Undrained Behaviour of Isotropic Soft Clays, Int. Jour. Num. Anal. Meth. Geome., Vol. 2, pp 35-56, 1978.

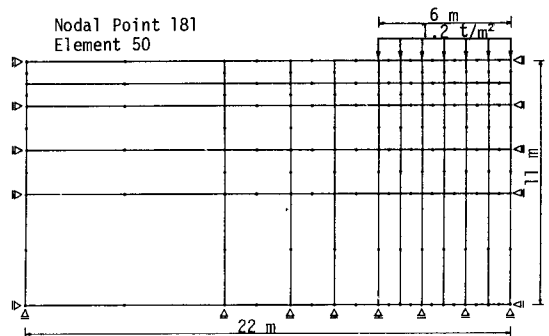


図1 解析断面と要素分割

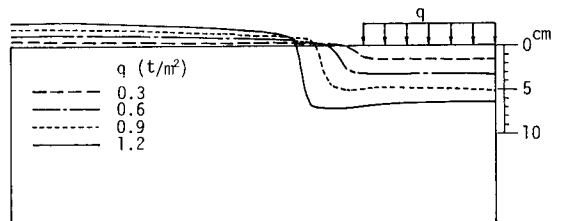


図2 地表面の沈下性状

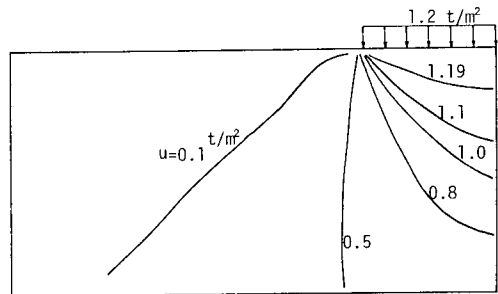


図3 間隙水圧分布