

1. まえがき

正規圧密状態における飽和粘土のせん断特性には、応力状態の異方性および時間効果が大きな影響を与えることが明らかにされてきている。このために、両者の影響を十分考慮して安定解析を行う方法も提案されている。一方、有限要素法によれば、どのような複雑な構成方程式をも用いて応力・変形解析が可能となる。したがって、構成式として異方性と時間効果が組み入れられたものを用いれば、飽和粘土地盤の応力・変形、さらには安定性が精度良く解析できるものと考えられる。今回、粘弾塑性理論に基づく構成式を用いた有限要素解析を行って、その粘土地盤の応力・変形・安定解析への適用性を調べた。

2. 粘弾塑性構成式

ここで用いた構成式は、Sekiguchi and Ohta¹によって提案されたものを基本として若干変更を行ったものである。粘弾塑性理論によれば、ひずみは弾性ひずみ ϵ_e と粘塑性ひずみ ϵ_{vp} とに分けられる。 ϵ_e は一般の弾性論により求められる。 ϵ_{vp} は塑性論におけると同様に、降伏関数 F および塑性ポテンシャル Q から次式で求められる。ただし、粘弾塑性理論においては、時間効果をも考慮するので、 ϵ_{vp} が直接求まらずにその速度 $\dot{\epsilon}_{vp}$ が次式のように表わされることになる。

$$\dot{\epsilon}_{vp} = \frac{d\epsilon_{vp}}{dt} = d\lambda \frac{\partial Q}{\partial \sigma} \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 $d\lambda$ はスカラー量であり、 F , σ などの関数である。

Cam Clay モデルにおいては、 F および Q は次式で表わされる。

$$F = Q = (\lambda - k) \left[\log_e P + \frac{\eta}{M} \right] - (e_i - e - k \log_e P) \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 λ : 圧縮指数, k : 膨張指数, η : $\eta = \bar{\sigma}/p$, $\bar{\sigma} = 3\tau_{oct}/\sqrt{2}$,

M : Critical State における η の値, e_i : $p = 1$ における e の値

Sekiguchi and Ohta は異方性の効果を考慮するため、 η の代りに k 次式で表わされる η^* を用いて (2) 式により Q を定めた。

$$\eta^* = \sqrt{\frac{3}{2}(\eta_{ij} - \eta_{ijo})(\eta_{ij} - \eta_{ijo})} \quad \text{----- (3)}$$

ここに、 $\eta_{ij} = S_{ij}/p$, $\eta_{ijo} = S_{ijo}/p$ であり、添字 o は圧密終了時を表わすものである。

さらに、彼らは、一次元圧密における二次圧密の部分を調べることにより、(1) 式の $d\lambda$ を求めている。今回は、彼らの結果を若干変更して $d\lambda$ を次式で与えた。

$$d\lambda = \dot{V}_o \cdot \exp(F/\alpha) / (1 + e_o) \quad \text{----- (4)}$$

ここに、 $\dot{V}_o$, α : 実験定数, e_o : 初期間げき比である。

このようにして、異方性および時間効果の両者を考慮した構成式が定式化

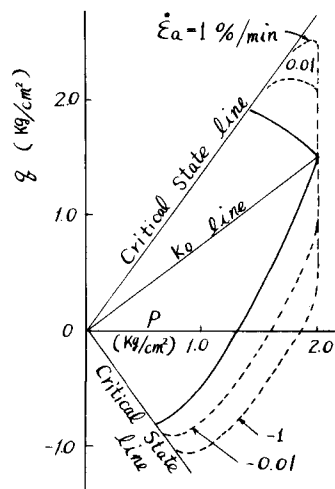


図 - 1

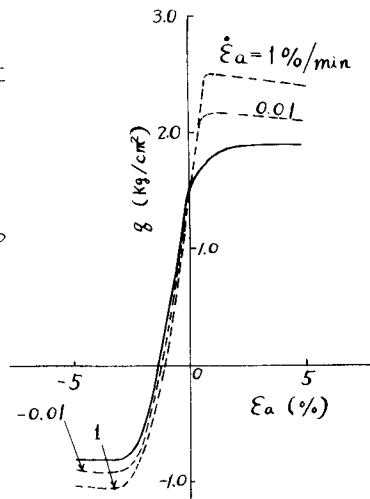


図 - 2

され、これを用いて有限要素解析を行った。

3. 解析結果

まず最初に、今回用いた構成方程式がどのような異方性および時間効果を示すかを調べるために、非排水条件での三軸圧縮および三軸伸張試験の解析を一要素で行った。定数としては、比較のために、Sekiguchi and Ohta と同じ値を用いた。すなわち、 $\lambda = 0.1842$ 、 $K = 0.0398$ 、 $e_0 = 1$ 、 $M = 1.362$ 、 $\alpha = 0.0029$ 、 $E = 130 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\nu = 0.3$ 、 $K_0 = 0.5$ 、 $\dot{V}_0 = 10^{-7} / \text{min}$ である。

試験をひずみ制御で行った場合の種々のひずみ速度における有効応力経路および応力-ひずみ曲線の結果を図-1および図-2に示す。なお、これらの図には時間効果を見捨て弾塑性論より計算したものを実線で示している。今回の結果は Sekiguchi and Ohta のものと同様の傾向を示し、飽和粘土における異方性および時間効果の影響をよく再現しているといえる。

最近、粘土の強度の異方性を考慮して安定解析を行うためには、単純せん断試験の結果を用いるのが良いという提案がされている。今回、用いた定数で単純せん断試験の解析を行うと、 $\tau_f = 0.65 \text{ kg/cm}^2$ となり、三軸圧縮と伸張の平均の値、 0.67 kg/cm^2 とほぼ等しくなった。

次に同一の土質定数で図-3に示されるような連続基礎の支持力の解析を行った。基礎はたわみ性とし、粘土は、完全に非排水条件にあると仮定した。解析は、まず最初は、時間効果を見捨て行い、次に時間効果をも考慮して行った。

図-4は、時間効果が無い場合の荷重と基礎中心の変位をプロットしたものである。この場合、荷重 P を徐々に増加させながら計算を行っているが、 $P = 3.10 \text{ kg/cm}^2$ の点ではくり返し計算が収束せず、地盤が破壊状態になったと考えられる。したがって、極限支持力の値としては、その前の段階の荷重、 $g = 3.05 \text{ kg/cm}^2$ と推定される。一方、単純せん断試験の結果を用いて、 $g = 5.14 \text{ Cu}$ とすると、 $g = 3.34 \text{ kg/cm}^2$ となる。

図-5は時間効果をも考慮して同じ問題を解析した結果である。この場合には、時刻 $t=0$ で荷重が瞬間に載荷された場合の基礎中心の変位と時間との関係性をプロットしてある。図-5は、 $P = 2.0 \text{ kg/cm}^2$ および $P = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ の荷重に対する値を示したものである。これまでに、報告された粘土地盤の破壊例の中には、いわゆる、短期安定問題と考えられるようなものにも、載荷後、かなり時間が経ってから破壊が生じたものもみられるようである。このような傾向は、図-5に示されるような Creep 現象と対応していると思われる。

今回、行った解析は、基礎の支持力の一例のみであるが、飽和粘土の異方性と時間効果を取り入れた構成式による有限要素解析は粘土地盤の解析に対して有効であると考えられる。

参考文献 Sekiguchi, H. and H. Ohta: Proc. 9th ICSMFE, Specialty Session No. 9

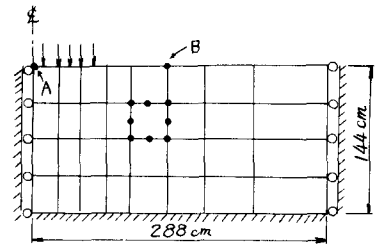


図-3

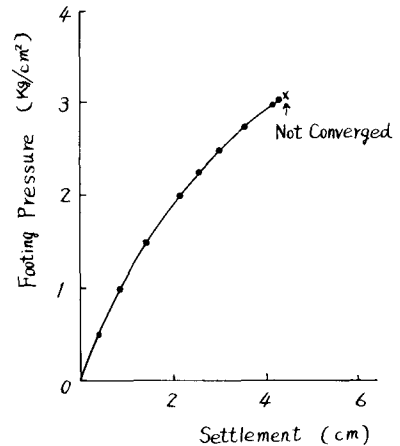


図-4

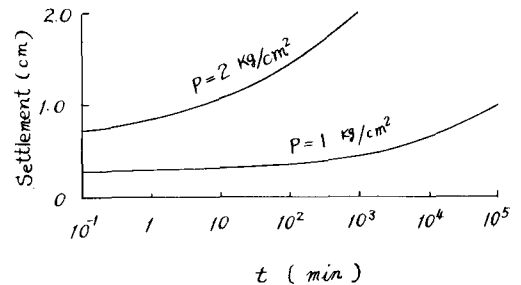


図-5