速度効果を考慮した構成モデルに基づく一次元圧密の数値解析方法

○横浜国立大学	学生会員	栗田	宣子
横浜国立大学	学生会員	三枝	弘幸
横浜国立大学	正会員	今井	五郎

<u>1.はじめに</u>

圧密沈下を許容する構造物の設計において最も重要視されるのは、実質的には残留沈下量の長期予測である。しかし Terzaghi 圧密理論は粘土骨格の圧縮特性に特徴的な、ひずみ速度効果(クリープや二次圧縮)が組み込まれていないため その課題に答えられない。そこで、二次圧縮過程も含めた全圧密過程を統一的に扱える構成モデルが必要とされている。

<u>2.構成モデルの全体構成</u>

ひずみ速度効果を考慮したモデルの一つに吉川・今井(2000)の提案がある²⁾。このモデルは、擬似過圧密の粘土は許容 するが、セメンテーションを受けている粘土は許容しない、一般の沖積粘土を対象としており、分割型圧密試験結果の詳細 な検討を踏まえて構築したものである。

①ひずみ速度効果による「圧密降伏」(先行圧縮による圧密降伏とは異なる)を境に,降伏前は非線形弾塑性として表され,降伏後は粘性(ひずみ速度効果)項を持つ非線形弾塑性で表される。(図-1)

② 降伏後において,着目した要素は(σ ',f)の大きさに関わらず,自然ひずみ速度 \dot{e}_n (=_ \dot{f}_f ,f=1+e)一定である限り,勾配 C_c^* の直線logf~log σ '関係に従って圧密していく¹⁾。 1) Γ^* について:前節②に基づくと,着目要素の圧密状態を表現する状態量 Γ *を定義できる。

$$\Gamma^* = \log f + C_c \log \sigma' \qquad (\vec{\mathfrak{X}}-1)$$

そして、着目した要素の圧密状態(σ ', f, $\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}_n$)は、 $f \geq \sigma$ をまとめた $\Gamma^* \geq \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}_n$ だけで表現される²⁾。 つまり、その $\Gamma^* - \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}_n$ 関係を定式化したものが降伏後の構成モデルである。

2)降伏後: $t=\infty$ の時, つまり, $\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}_n = 0$ となる時, 圧密状態量 Γ^* は定値 Γ_L^* に落ち着くとして,

 $\log \frac{\Gamma^* - \Gamma_L^*}{\Gamma_L^*} = a \log \dot{\varepsilon} + b \qquad (\vec{\pi} - 2)$

が成り立つ。ここで、(Γ_L^* ,a,b)は C_c^* と同様に、個々の粘土に固有の土質定数である。 3)降伏前:降伏前の圧密過程に対しては、室内試験の層厚レベルでは速度効果がほとんど 認められない為、体積比-有効応力関係における傾き、つまり降伏前での圧縮指数を表す C_t^* のみを用いる。

$$\frac{-\Delta \log f}{\Delta \log \sigma'} = C_t^* = \frac{C_c^*}{1 + \mu \Delta \dot{\varepsilon}}$$
 (\vec{x} -3)

ここで $\Delta \dot{\epsilon}$ は、現在の圧密状態が降伏するまでどの位の距離を置いているか、 $\log \dot{\epsilon}_n$ 値の差で表される。(図-2,3)で示すように、圧密開始直後に $\dot{\epsilon}_n$ は急増するので $C_t^* \ll C_e^*$ であり、降伏に近づくにつれて $\Delta \dot{\epsilon}$ は小さくなり、 C_t^* は C_e^* に漸近する³。

4)降伏の定義:

(図-2)より, 圧密開始直後, Γ^{*}値は増加し, 滑らかな曲線にのって減少していく。Γ^{*}値が減少し始める点, つまり, この曲線 にのる点が降伏点となる。

キーワード:ひずみ速度効果,降伏,数値解析,構成モデル 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79番5号 Tel 045-339-3817



1 log **σ '** [図-1] ひずみ速度一定線と C_c^{*}の関係



logέ [図-2] Γ^{*}-ひずみ速度関係(1)



log*έ* [図-3] Γ^{*}-ひずみ速度関係(2)

土木学会第57回年次学術講演会(平成14年9月)

<u>3.計算方法</u>

計算は分割型圧密試験のシミュレーションとし,各層(各要素としてみなす)での計算 を行い,全体の収束判定をする,という流れになっている。[図-6]

降伏前:降伏前は前述したように,状態点が状態曲面にのるまでの経路を指し,体 積比-有効応力関係を用いて表現される。常に体積比fを仮定しながら計算を進めて いく[図-4]。仮定された f^h から,場の方程式(式4),運動量保存則(式5),透水関係式を 用いて(式6),有効応力を求める。そこで,圧縮指数C,ひずみ変化速度を算出し,(式 3)より C_t を求める。これらの C,C_t により,収束判定を行ない,下層に計算を移行する。

$$\begin{aligned} & \Delta v_{\Delta z} = -\dot{f} & (\vec{x}, 4) \\ & \Delta \sigma'_{\Delta z} = \begin{bmatrix} \gamma_w \cdot f \cdot v_k - \gamma'_s \end{bmatrix} & (\vec{x}, 5) \\ & \log f = N + C_k \log k & (\vec{x}, 6) \end{aligned}$$

5) γ'_s: γ_s-γ_w
6) N,C_k: 透水性の直線関係における切片, 傾き

降伏後:降伏後,状態点は状態曲面にのって圧密が進行していく。有効応力を算出 するところまで降伏前と同様な計算を行なう[図-5]。(式-1,2)を用いて算出されたひず み速度により収束判定を行ない,下層に計算を移行していく。

全体の計算フロー: 排水面の有効応力と, 非排水面の v=0 を境界条件として与え, 計算は排水面から非排水面に向かって進めていく。排水面の v を仮定することから計算 が開始され, 各層において降伏前, もしくは降伏後の計算を行なう(後述)。非排水面に達 したら, v=0 に関して収束判定を行なう。収束条件が満たされた場合は次のタイムステッ プに, 満たされない場合は v の再仮定を行なう[図-6]。このようにして, 与えられた時間 t まで繰り返し計算を行なう。

降伏判定:降伏前の計算から降伏後の計算に移行するにあたり,降伏判定が必要となる。(式-3)における $\Delta \dot{\epsilon}$ を用いて, $\Delta \dot{\epsilon} > 0$ では未降伏とし, $\Delta \dot{\epsilon} \leq 0$ で,降伏とする。この判定は,降伏前計算を行なった層で,次のタイムステップに移る際に行なわれる。

<u>4.計算例</u>

シミュレーション結果 を[図-7,8]に示す。これ は長期的な段階載荷圧 密試験結果²⁾と,各層の 平均値との比較である。 降伏前から降伏後の以 降もスムーズに行なわ





<u>5.まとめ</u>

速度効果を考慮した構成式を用いることで、実験結果が正確に表現できるという結果が得られた。今後、実務において必要とされる大層厚の沈下予測計算を行なっていく必要性がある。しかし、特に降伏前の構成式は供試体レベルの実験より求められた経験式であるために、大層厚計算へ適用可能か不明である。この問題を解決すべく、さまざまな層厚の数値シミュレーションを行なっていかなければならない。

参考文献

 1)今井五郎(1998):一次元弾・粘性構成方程式に用いるべき定数の標準圧密試験による決定方法,平成 8 年度~平成9年度科学研究費補助金研究成果 報告書 2)吉川智勝(2000):定ひずみ速度載荷圧密試験における応力-ひずみ-ひずみ速度関係,第 35 回地盤工学研究発表会,pp675-pp676
 3)Imai,G .and tang,Y.X.(1995):A constitutive equation of one - dimentional consolidation derived from interconnected tests. *Soils and Fuoundations*,Vol.32,No.2:83-96



[図-4] 降伏前

[図-5] 降伏後

