構成モデルの視点から見た関ロ・太田モデルの粘塑性パラメータの試算

大成基礎設計株式会社 正会員 〇西田 博文 同 上 島津 多賀夫

1. まえがき

土構造物の挙動予測を行う上で関ロ・太田による弾・粘塑性構成モデル(以下,関ロ・太田モデル)¹⁾が組み込まれた二次元土/水連成弾(粘)塑性有限要素解析プログラムが数多く用いられている.しかし,このモデルに含まれる粘塑性パラメータの同定法が統一されていないため,実務上悩まされることが多い.そこで,本研究では,導出した関ロ・太田モデルの粘塑性パラメータの理論式を用いて,ある現場の粘性土の段階載荷による標準圧密試験結果に適用した際の粘塑性パラメータを試算したので報告する.

2. 粘塑性パラメータの理論式の導出

図-1 は関ロ・太田モデルの圧密クリープ挙動特性の概念を示したものである.この図は、正規圧密状態 ($p' = p'_0, e = e_0$)にある供試体に、瞬時に圧密載荷 ($p' = p'_0 + \Delta p'$)を与え、その後放置 (クリープ)させた ときの $e \sim \ln p'$ 関係である.図中の状態経路は過剰間隙水圧の発生を無視している.関ロ・太田モデルの流動 関数 Fおよび流動関数内のスカラー関数 f (せん断項は無視)はそれぞれ式(1)と式(2)に示すとおりである.

$$F = \alpha \ln\left\{1 + \frac{\dot{v}_0 t}{\alpha} \exp\left(\frac{f}{\alpha}\right)\right\} - \varepsilon_v^{vp} = 0 \qquad (1) \quad , \qquad f = MD \ln\frac{p'}{p'_0} = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \ln\frac{p'}{p'_0} \qquad (2)$$

ここに、 α は二次圧密係数、 \dot{v}_0 は載荷直前の体積ひずみ速度であり、この2つが粘塑性パラメータである. *M* は $q \sim p'$ 平面上の限界状態線の勾配、*D*はダイレイタンシー係数、 λ は圧縮指数、 κ は膨潤指数である. **図** -1 および式(1)、(2)より、瞬時載荷からt経過後の間隙比 $e_{t_{r_t}}$ に関して次の関係式が成り立つ.

$$e_{|t=t} = e_0 - \kappa \ln \frac{p'}{p'_0} - \alpha \left(1 + e_0\right) \ln \left\{ 1 + \frac{\dot{v}_0 t}{\alpha} \left(\frac{p'}{p'_0}\right)^{\frac{\lambda - \kappa}{\alpha(1 + e_0)}} \right\} = e_{c|t=t} - \lambda \ln \frac{p'}{p'_0} \quad (3)$$

よって、粘塑性パラメータジの理論式は次のように導かれる.

$$\dot{v}_0 = \frac{\alpha}{t_0} \left\{ 1 - \left(\frac{p'}{p'_0}\right)^{\frac{\lambda - \kappa}{\alpha(1 + e_0)}} \right\} = \frac{\alpha}{t_0} \left\{ 1 - \left(\frac{p'}{p'_0}\right)^{-\frac{MD}{\alpha}} \right\}$$
(4)

式(4)を標準圧密試験結果に適用する際には、載荷直後の $p'_{l'=+0} / p'_{0}$ が必要となる. 圧密中の静止土圧係数が変化しないとすれ ば、 p' / p'_{0} は有効上載圧の比($\sigma'_{vl'=+0} / \sigma'_{v0}$)に等しい. $\sigma'_{vl'=+0}$ は、荷 重増分比 β (= $\Delta \sigma_{v} / \sigma'_{v0}$) と載荷直後の圧密度 $U_{l'=+0}$ を用いて $\sigma'_{vl'=+0} = \sigma'_{v0} + \beta U_{l'=+0}$ と表せる. したがって、式(4)は次式で置き直せ る.

$$\dot{v}_{0} = \frac{\alpha}{t_{0}} \left\{ 1 - \left(1 + \beta U_{|t=+0} \right)^{-\frac{MD}{\alpha}} \right\}$$
(5)

3. 粘塑性パラメータの試算

ある粘性土の標準圧密試験結果を用いて粘塑性パラメータの試 算を行った.算定の際に以下の仮定を設ける.式(5)中の荷重増分 比 β は,通常の標準圧密試験を行っているため, β =1である.ま た, t_0 は圧密終了時間(=1day)と仮定した. $U_{t=+0}$ は,直接求める

キーワード 粘塑性, 圧密, 構成モデル

連絡先 〒113-0022 東京都文京区千駄木 3-43-3 大成基礎設計(株)



図-1 圧密クリープ挙動特性概念図²⁾

表-1 試料のコンシステンシー特性

| 試料 | W _L (%) | W _p (%) | I_p |
|----|-----------------------|-----------------------|-------|
| Α | 49.7 | 26.7 | 23.0 |
| В | 114.0 | 48.0 | 66.0 |

表-2 試料の圧密・せん断特性

| ⇒ b døl | D. | | | ~ |
|---------|-------|------|------|-------|
| 試料 | (kPa) | λ | М | D |
| Α | 58.4 | 0.60 | 1.59 | 0.118 |
| В | 412 | 0.17 | 1.29 | 0.104 |

技術本部 TEL03-5832-7182

ことができないため、 \sqrt{t} 法によって得られる t=0 の沈下量(圧 密度 0%読み d_0 -載荷直前読み d_i)と最終沈下量より算定した. α については、本来長期圧密試験から推定することが望まれる が、ここでは 90%圧密時間 t_{00} と t_0 間の間隙比変化より算定した.

 $\begin{aligned} \alpha &= \alpha_e / (1 + e_c) = (e_{|_{t = t_0}} - e_{|_{t = t_0}}) \cdot \ln(t_0 / t_{00}) / (1 + e_c) \quad (6) \\ \text{ここに, } e_c は参照となる間隙比であるが, 載荷直前の間隙比と \\ 仮定している. \end{aligned}$

地域の異なる 2 つの代表試料を用いて,各載荷段階における 粘塑性パラメータの試算を行った.各試料のコンシステンシー 特性を表-1 に示す.試料Aは低液性限界の粘土,試料Bは高液 性限界の粘土である.各試料の圧密・せん断特性と $e \sim \log p$ 曲線 をそれぞれ表-2と図-2に示す.試料Bは,先行圧密応力 p_c が大 きく,圧縮指数 λ が小さい特徴を有する.なお,上で示した理論 式は正規圧密状態にある土に成り立つものであるが,ここでは 参考のために,過圧密状態の載荷段階に対しても適用している.

 $\alpha \sim p/p_c$ の関係を図-3に示す. α の値は, 試料 A の $p/p_c > 2.5$ の領域で若干減少するが, 圧密圧力 pの増加にしたがって,大きくなり, 収束する傾向が捉えられる. また, $\dot{v}_0 \sim p/p_c$ の関係を図-4に示すが, 試料 A・B ともに, 圧密圧力が p_c を超えると \dot{v}_0 は一度減少してから増加し, 収束する傾向がみられる. また, α と \dot{v}_0 の変動は, 試料 B の方が試料 A に比べて小さい. これは,試料 A の圧縮性が試料 B よりも小さいためと考えられる.

Iizuka and Ohta³⁾による同定フローにしたがい, \dot{v}_0 を算定した. ここに, $\dot{v}_0 = \alpha/t_0$, $\alpha = \alpha_e/(1+e_0)$ ($e_0 : p_c$ に対応する間隙比), $\alpha_e = (0.05 \pm 0.02)\lambda 0$ 3 式を用いている. 結果を表-2 に示す. 表 -2 と図-4 より, 試料 A・B ともにフローによる \dot{v}_0 は, $\alpha_e = 0.03\lambda$ の場合が式(5)による算定値に最も近くなる結果が得られたが, 取り得る範囲の高めの値を示している.

4. あとがき

導出した理論式を用いて関ロ・太田モデルの粘塑性パラメー タを標準圧密試験の結果を基に試算した.その結果,圧縮性の 小さい粘性土ではその変動が小さくなることが確認できた.な お,実地盤と標準圧密試験の試料の排水長が異なることや実地 盤の透水係数が室内試験に比べて大きくなることが数多く報告



表−2 同定フローで算定した v₀

| 試料 | $\dot{v}_0(1/\text{day})$ | | | |
|----|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| | $\alpha_e = 0.07\lambda$ | $\alpha_e = 0.05\lambda$ | $\alpha_e = 0.03\lambda$ | |
| А | 1.0×10^{-2} | 7.7×10^{-3} | 4.6×10^{-3} | |
| В | 6.1×10^{-3} | 4.3×10^{-3} | 2.6×10^{-3} | |

されていることより、実地盤へ適用する際にはt₀の取り扱いに注意する必要がある.

参考文献

1) Sekiguchi, H. and Ohta, H.: Induced anisotropy and time dependency of clay, *Proc. Specialty Session 9th ICSMFE*, pp.229-239, 1977. 2)西田博文,飯塚敦,河井克之,太田秀樹: 関ロ・太田モデルの圧密特性と粘塑性パラメータ, 第 40 回地盤工学研究発表会講演集, pp.491-492, 2005. 3) Iizuka, A. and Ohta, H.: A determination procedure of input parameters in elasto-viscoplastic finite element analysis, *Soils and Foundations*, Vol.27, No.3, pp.71-87, 1987.