Ⅲ－A12

主応力増分方向角一定せん断過程における誘導異方性に関する考察

茨城大学大学院　学生員　○野口 良彦
茨城大学工学部　正会員　村上 哲
茨城大学工学部　フェロー　安原 一哉

1. はじめに

異方圧密された土の変形特性に現れる誘導異方性は，過去に受けた応力履歴だけではなく，その時々に作用する応力履歴に左右されるはずである．本報告は，一連の研究において提案された誘導異方性を表現できる弾塑性モデル [1]に対し，主応力増分方向角一定条件の平面ひずみせん断試験を想定した数値解析を行い，その時の土の力学的特性を検討した．なお本文中での応力はすべて有効応力を表し，また数式においては総和規約を用いるものとする．

2. 誘導異方性を考慮した弾塑性構成モデル

提案する弾塑性モデルは橋口(1996)による回転硬化と下負荷面の概念 [2]を採用し，また降伏条件を太田・関口モデルの降伏関数 [3]を修正した．その結果，正規降伏面と下負荷面は次式で表わされる．

正規降伏面　$f(\hat{\sigma}_{ij}) - F = 0$　(1)

下負荷面　$f(\hat{\sigma}_{ij}) = R \cdot H$　(2)

ここに関数 f および F はそれぞれ，

$$f(\hat{\sigma}_{ij}) = p \cdot \exp(\hat{\eta}/M) \quad (3) \qquad F = p_y \quad (4)$$

と表わす．p は平均有効応力とし，また応力パラメータは応力テンソル σ_{ij}，圧密降伏応力の等方成分を p_y，偏差成分を s^y_{ij} として次のように定義した．

$$\left.\begin{array}{l} \hat{\sigma}_{ij} = \sigma_{ij} - \beta_{ij} \quad \beta_{ij} = p\,\alpha_{ij} \quad \hat{s}_{ij} = \hat{\sigma}_{ij} - p\,\alpha_{ij} \\ \hat{\eta}_{ij} = \eta_{ij} - \alpha_{ij} \quad \eta_{ij} = s_{ij}/p \quad \alpha_{ij} = s^y_{ij}/p_y \\ \hat{q} = \sqrt{\frac{3}{2}\hat{s}_{ij}\hat{s}_{ij}} \quad \hat{\eta} = \sqrt{\frac{3}{2}\hat{\eta}_{ij}\hat{\eta}_{ij}} \quad \eta_y = \sqrt{\frac{3}{2}\alpha_{ij}\alpha_{ij}} \end{array}\right\} \quad (5)$$

特に誘導異方性を表現する関数として定義したものが α_{ij} である．これは太田・関口モデルを修正したものであり，塑性履歴によって変化す

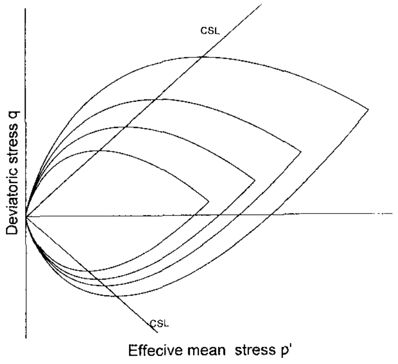

図-1　ひずみ硬化に伴う降伏面の推移

る関数として定義した．この α_{ij} の発展則を次式で定義した．

$$\dot{\alpha}_{ij} = m_\alpha \left\| \dot{\varepsilon}^p \right\| \frac{\hat{\eta}_{ij}}{\eta_{ij}} \quad (6)$$

これにより誘導した応力速度～ひずみ速度は次式で表される．

$$\dot{\sigma}_{ij} = \left(E_{ijkl} - D_{ijkl}\right)\dot{\varepsilon}_{kl} \quad (7)$$

$$D_{ijkl} = \frac{E_{ijmn} n_{mn} n_{pq} E_{pqkl}}{n_{pq} E_{pqrs} n_{rs} + n_{pq}\sigma_{pq}\left(\frac{n_{rr}}{Dc} - \zeta\,\alpha_{rs}\hat{\eta}_{rs} + \frac{U}{R}\right)} \quad (8)$$

$$Dc = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \quad Dd = \frac{\mu}{1 + e_0} \quad \varsigma = \frac{3}{2}\frac{Dc}{Dd}\frac{m_\alpha}{\eta_y \hat{\eta}} \quad (9)$$

ここで，n_{ij} は単位テンソル，E_{ijkl} は弾性定数テンソル，m_α，μ は誘導異方性を表現するパラメータである．また，U と R は橋口による下負荷面の概念に基づいたものであり，R は下負荷面の大きさを表し，U は次式で表す．

$$U = -m_R \ln R \quad (10)$$

キーワード：　弾塑性モデル　応力誘導異方性　主応力増分方向角
〒316-0810　茨城県日立市中成沢町 4-12-1　TEL 0294(38)5174　FAX 0294(35)8146

3. 主応力増分方向角一定を想定した数値実験

帯状の構造物を水平地盤上に載荷重すると，実地盤での土要素の変形は平面ひずみ状態であることが知られている．そこでその変形状態を想定した平面ひずみせん断試験の数値実験を行った．数値実験に用いた土の物理定数，初期条件等の諸条件を以下に示す．

限界状態係数M=1.175

圧縮指数λ=0.09982

膨張指数κ=0.01823

下負荷面パラメータ m_R=100

ポアソン比ν=0.356

誘導異方性パラメータ(1) μ=0.2

誘導異方性パラメータ(2) m_α=0.1

初期間隙比 e_0=0.772

圧密後の応力状態 p'_c=140.43kPa, q_c=83.3kPa

主応力増分方向角 θ=0, 15, 30, 45, 60, 75, 90°

計算は，上述の弾塑性モデルを組み込んだ FEM プログラムを用いた．採用した要素は9節点の4要素であり，中心を固定し上下面を変位させ，非排水条件のもとで計算した．**図-2** に有効応力経路を，**図-3** に偏差応力～せん断ひずみ関係を示す．

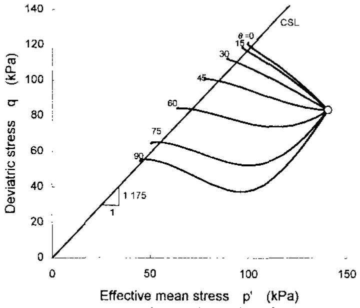

図-2 有効応力経路

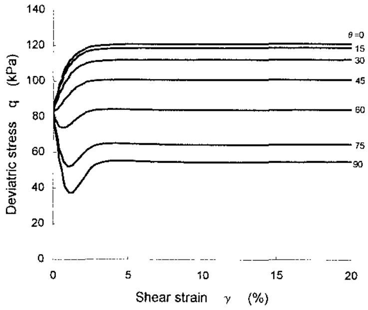

図-3 偏差応力～せん断ひずみ関係

有効応力経路を見ると，主応力増分方向角が大きくなるにつれて図のように差が現れた結果となった．偏差応力～せん断ひずみ関係を見ると図に見られるように，主力増分方向角が大きくなるにつれており，非排水せん断強度を見るために偏差応力平面を**図-4** に示すと，非排水せん断強度に違いが生じていることがわかる．

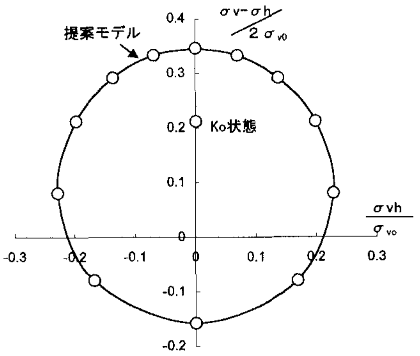

図-4 偏差応力空間における各非排水せん断強度

4. まとめ

飽和した土に対して異方圧密後の主応力増分方向角一定条件の平面ひずみせん断試験の数値実験を行った．応力誘導異方性を表現するパラメータを用いて弾塑性モデルを表現することによって，せん断方向の違いによる土の挙動を表現することができ，提案する弾塑性モデルを検証することができた．

参考文献

1)村上哲(1998)：応力誘導異方性を考慮した弾塑性モデルによる限界状態近傍の挙動解析，第32 回地盤工学研究発表会概要集（投稿中）．2)橋口公一(1996)：下負荷面および回転硬化の概念に基づく土の弾塑性構成式，土木学会論文集，No. 547/Ⅲ-36, pp. 127-144. 3)H., Sekiguchi and H., Ohta(1977):Induced Anisotropy and Time Dependency in Clays, Proc. of Specialty Session 9, 9th ICSMFE, pp. 229-239.