

東京大学 正 石原研而
東京大学 正 東畑郁生

1. まえがき

筆者らは主応力軸が滑らかに回転する載荷条件下での砂のせん断変形特性を研究して来た(1,2)。ある方向から主応力が作用すると砂は異方的な変形特性を備えるようになり、次に他方向から主応力が作用した時に、等方的な砂とはかなり異なる変形を示すようになる。この性質を取り込んだ解析的な変形モデルを提案するのが本稿の目的である。

2. モデルの概要

平面ひずみ条件を対象とし、鉛直、水平方向を添字 z 、 x で示す。これらの方向の有効応力、直ひずみを σ'_z 、 ϵ_z 、 ϵ_x で、せん断応力及びひずみを τ_{zx} 、 γ_{zx} で表わす。

図1にモデルの構成を示す。空間に固定された剛体板に丸い穴があき、中に外力作用点がある。作用点と剛体の間は無限個の相等しい非弾性バネでつながれている。面内で外力 F が働くと作用点は変位 u を行なう。直交直線座標を用いてベクトル F と u の成分を

$$F = \left(\frac{\sigma'_z - \sigma'_x}{2}, \tau_{zx} \right), \quad u = \left(\frac{\epsilon_z - \epsilon_x}{2}, \frac{\gamma_{zx}}{2} \right)$$

のように定義する。砂に外部からせん断力が作用すると、様々な方向を向いた粒子接点で対応した接点力が生ずるが、

バネ力はこの接点力を反映した概念である。図2、3にバネの変形特性を示す。バネ力 F_0 と変形 x_0 の間に双曲線関係を仮定すれば、その特性は微小変形時のバネ定数 k_t と強度 F_t により規定される。またヒステリシスループは単調載荷曲線を $Masing$ の方法により上下左右へ2倍に拡大したものである。

図1で θ 方向を向くバネのある瞬間の接線バネ定数を k_θ とくと、 F と u の増分関係が次の様に得られる。

$$dF = \int_{-\pi}^{\pi} k_\theta \begin{pmatrix} \cos^2 \theta & \cos \theta \sin \theta \\ \cos \theta \sin \theta & \sin^2 \theta \end{pmatrix} d\theta du$$

この式から微小ヒズミでのせん断定数 G_t が $\frac{\pi}{2} k_t$ に等しい事がわかる。またモデルの与える強度 $(\frac{\sigma'_z - \sigma'_x}{2})_t$ は $4F_t$ に等しいから、砂の強度と G_t が与えられればバネ特性 F_t と k_t を決定する事が出来る。

3. 実験結果との比較

中空振りせん断装置を用いた実験結果との比較を試みる。実験の詳細は文献1,2にある。実験はゆるい豊浦砂を等方圧密して行なわれた。本装置では平面ひずみ状態を保てないので添字 z 、 x を特にひんに置換して鉛直水平方向を表わす。図4~7は $(\sigma'_z - \sigma'_x)/2$ を一定に保ちつつ主応力軸を $\pm 45^\circ$ の範囲で回

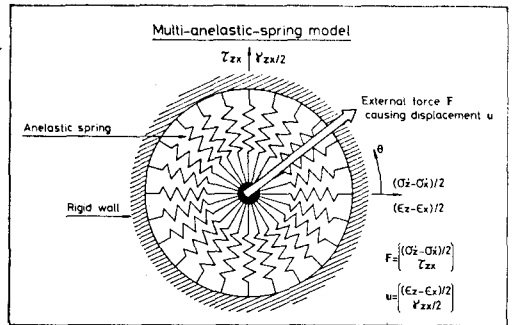


図1 多重非弾性バネモデル

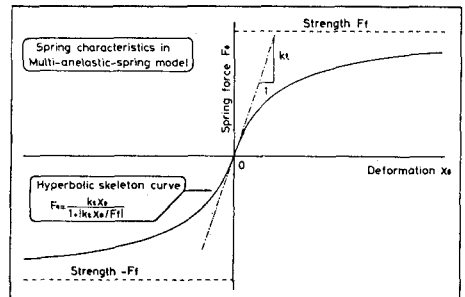


図2 バネの単調載荷曲線

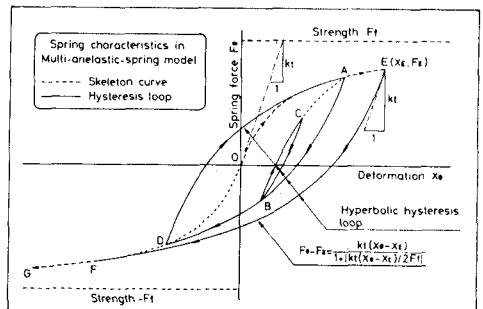


図3 バネのヒステリシスループ

転させる排水せん断の比較である。剛性の仮定値が異なるので量的には一致しないが、ひずみ増分ベクトルとひずみ経路に定性的な類似が見られる。

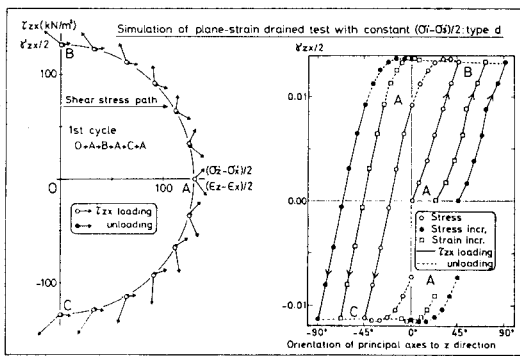


図4 主応力軸の回転する排水せん断 (モデル)

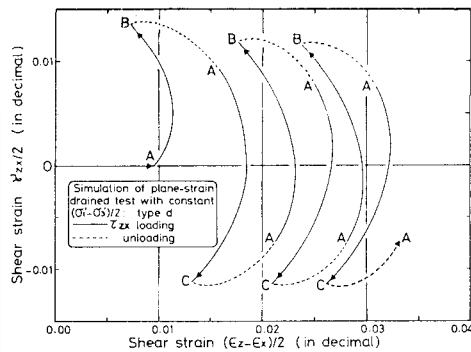


図5 モデルによるひずみ経路

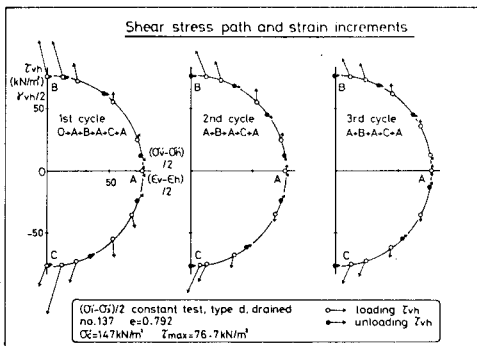


図6 主応力軸の回転する排水せん断 (実験)

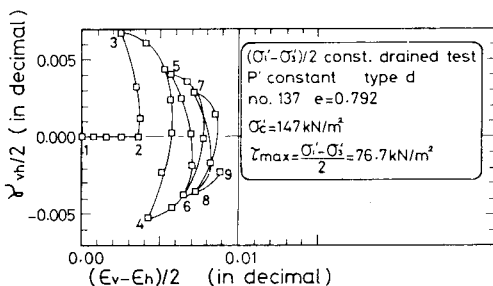


図7 実験によるひずみ経路

更に鉛直から一回圧縮を行なう非排水せん断の比較である。

過剰間隙水圧の値はせん断仕事量から予測した(2)。

ktとFₓは有効平均主応力P'の1乗及び1乗に比例して減少させた。

主応力軸方向が45度変化する事の影響がうまく再現出来ている。

4. 参考文献

(1) 石原、東畑、菊池、中里; 第16回土質工学研究発表会講演集, 1981

(2) 石原、東畑; 第17回土質工学研究発表会講演集, 1982

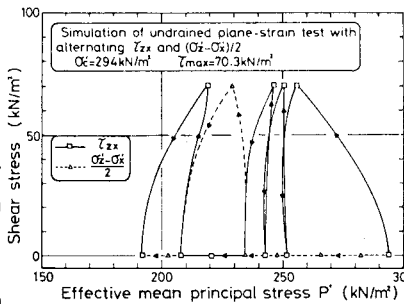


図8 非排水時の応力経路 (モデル)

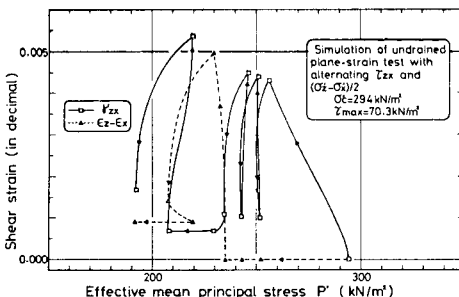


図9 モデルによるひずみ変化

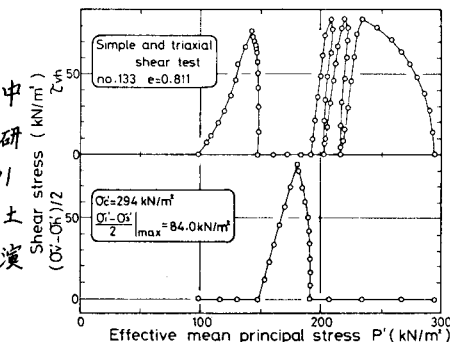


図10 非排水時の応力経路 (実験)

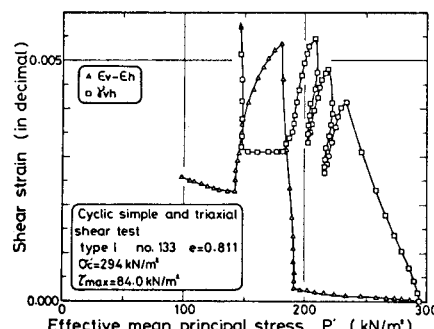


図11 実験によるひずみ変化