

電力中央研究所

面 好一, 江刺 鎮行

東海大学工学部大学院

○宇野 晴彦

1. まえがき

従来、相対密度を主たるパラメータとして流状化を含む砂の応力～ひずみ挙動が議論されてきたが、鉄機砂層地盤及び堆積年代の古い砂質砂層地盤を対象とした研究を進める場合、圧密履歴も見逃すことのできないパラメータの一つとなる。また、地盤～構造物系の変形問題と関連して任意応力条件下で振動荷重を受けた場合に発生する間げき水圧量の評価方法を確立することも重要な課題であろう。本報告は、上述した点に着目し任意の圧密履歴下で非排水くり返し載荷を受けた場合の飽和砂の応力～ひずみ挙動を表示しうる弾-塑性モデルについて述べたものである。

2. 平衡状態の定式化

飽和砂が、ある応力振幅レベル下で非排水くり返し載荷を受けた時、間げき水圧及びひずみの累積が停止する応力状態（平衡状態）が存在することを既に提示した²⁾。また、この平衡状態は過圧密砂のダイレイタンスー限界と等価なことを、正規圧密砂のそれ（ $\sigma'_m, \sigma_a - \sigma_r$ ）座標上で相似形状を示すこと、したがって等価圧密圧力の概念を導入すれば平衡状態は圧密履歴に依らずユニークに規定できることを示した²⁾。ここでは、以上の点を踏まえ平衡状態の定式化について述べる。

図-1及び図-2は、種々の過圧密状態にある飽和砂に対し、圧縮・伸張という2方向非排水くり返しせん断によって得られた平衡状態を示したものである。図1、両振りくり返し載荷で得られた平衡状態線は伸張側での間げき水圧の累積により得られたものとみなして、伸張側Kのに着目してプロットしてある。なお、図中には、Rascoeらにより提案されたOriginal及びModified Theory³⁾による状態曲面を併記したが、両者とも中詰め及び密詰め砂を向ける実験結果との対応が良くない。そこで、ここでは次式で平衡状態線を近似化することを試みた。

$$\frac{(\sigma_a - \sigma_r)}{\sigma'_{me}} = \alpha \cdot M_m \cdot \frac{\sigma'_m}{\sigma'_{me}} \sqrt{\frac{\sigma'_{me}}{\sigma'_m} - 1} \quad (1)$$

ここに、 σ'_{me} は等価圧密圧力であり、 α は初期間げき比の大きさに依存する材料定数である。図に示した通り α を適切に選択すれば充分な近似度でくり返し載荷時の平衡状態線を表示することが示されている。なお、(1)式によると $\sigma'_m / \sigma'_{me} = 0.5$ で $(\sigma_a - \sigma_r) / \sigma'_{me}$ は最大値（下限の流状化強度を示しているものとみなしうる）を示すが、これより α は次式で算定できる。

$$\alpha = 2(\sigma_a - \sigma_r)_c / M_m \cdot \sigma'_{me} \quad (2)$$

3. 新しい弾-塑性モデル

2. で示した平衡状態は過圧密の場合に依じた弾性限界を示すものであるとの観点から、次の降伏特性を仮定して飽和砂の弾-塑性モデルを提示する。

①正規及び過圧密のせん断に関する初期降伏関数(f_{si})は次式で与えられる。

$$f_{si} = \tau_i = \alpha \cdot M_m \cdot \sqrt{\sigma'_{me} / \sigma'_m - 1} \quad (3)$$

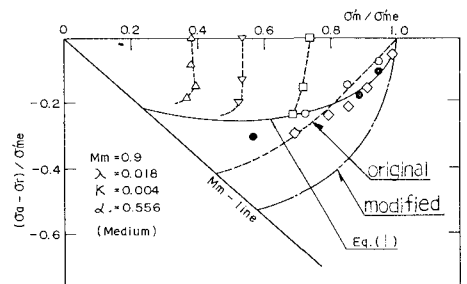


図-1 平衡状態線表示式と実験結果との比較(中詰め砂)

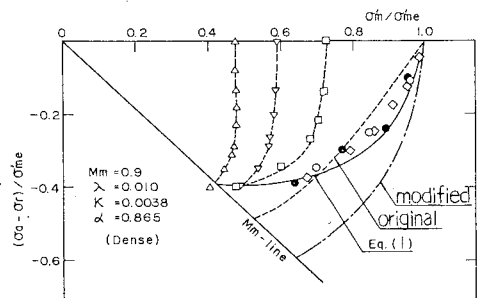


図-2 平衡状態線表示式と実験結果との比較(密詰め砂)

ここに、 η_i は初期降伏を与える有効応力比を示している（正規圧密砂の場合 $\eta_i=0$ となる）。

②くり返しセリ断時において、ある一方向の降伏条件に対する任意応力方向の降伏条件は次式で与えられる。

$$f_s = \eta_y = \alpha \cdot M_m \cdot \sqrt{\sigma_{me}/\sigma_{mc} - 1}$$

4)

③上記した降伏条件を満足する時、その応力へひずみ挙動は従来提案している弾-塑性構成式により表現することができる。

以上の仮定の内、①は圧密履歴による降伏特性の差を表示したものであり、②は実験で示された平衡状態線と過圧密履歴による変形特性を考慮して設けられたものである。これらの考え方を示すために準備したのが図-3及び4である。図に示したように、 $(\sigma_a - \sigma_r)_c / \sigma_{me}$ より小さな応力振幅の下でくり返し载荷を行った場合、くり返し回数が増加に伴い有効平均主応力は減少していくが、終局的には向げき永圧の累積は停止し平衡状態に到達するという実験事実を説明できることになる。一方、過圧密状態からくり返しセリ断を行った場合もまったく同様であるが、同一の応力振幅及びくり返し回数の下では過圧密砂の方が、ひずみ及び向げき永圧の発生が小さいという実験事実を以上のモデルにより説明することができる。

4. 弾-塑性モデルの検証

上記してきた弾-塑性モデルの検証例を示す。図-5はTaft地震に於ける記録波形(NS成分)を飽和砂試体に与えた時に得られた軸差応力、軸ひずみ及び過剰向げき永圧の時刻歴変動を示したものである。実験は初期有効拘束圧 3.0 kgf/cm^2 の正規圧密状態で行われた。この実験で得られた応力波形から弾-塑性モデルを用いて計算された軸ひずみ及び過剰向げき永圧の時刻歴変動を示したのが図-6である。計算結果によると実験結果と比較して過剰向げき永圧が初期有効拘束圧に等しくなる時刻がやや遅れ気味であるが、全体的な傾向は一致している。また計算軸ひずみもほぼ実験結果と対応しており、したがって本提案モデルによりランダム荷重下における応力へひずみ挙動を予測することが、一応可能になったものと言える。

参考文献 1)面, 紅刺: 電研研究報告, 1981, 2)面, 他: 中16回土質工学研究発表会, 1981, 3) Roscoe & Burland: Eng. plasticity, 1968, 4)面, 紅刺: 電研研究報告, 1976

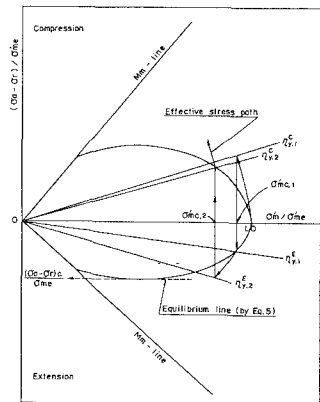


図-3 降伏特性のモデル化 (正規圧密砂)

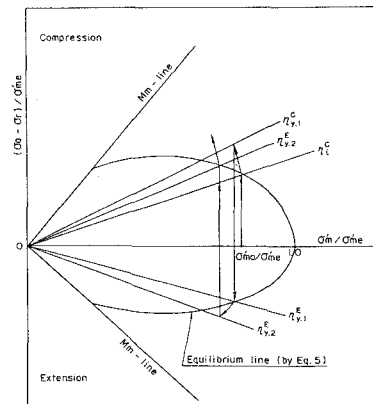


図-4 降伏特性のモデル化 (過圧密砂)

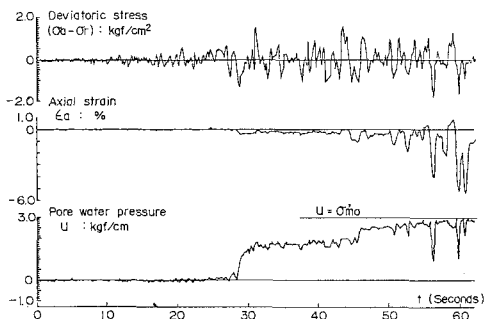


図-5 ランダム載荷時の応力ひずみ挙動(実験結果)

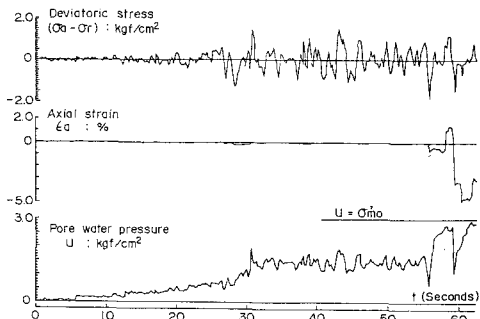


図-6 ランダム載荷時の応力ひずみ挙動(計算結果)