

神戸大学工学部 正 会 員 田中 泰雄
 神戸大学大学院 学生会員 白川 和靖
 大 阪 府 久保 勝俊
 神戸大学大学院 学生会員 中井 博之

1. まえがき 緩い飽和砂地盤は地震などの外力が作用すると液状化現象を起こす。これまで、液状化メカニズム解明のための基礎的研究として、非排水条件下で種々のせん断履歴を受けた砂の降伏曲面の形状変化についての研究を行ってきた¹⁾。その結果、繰返し非排水せん断履歴を受けると、降伏曲面の大きさは徐々に縮小していくことが明らかとなった。本研究では、研究をさらに進めて、複数回の繰返し非排水せん断履歴を受けた砂の降伏曲面について検討し、その形状変化や変形特性について調べている。また、過去の研究結果との比較、検討も行った。

2. 実験装置及び実験方法 試料には気乾状態の相馬砂を使用し、比重2.637、平均粒径0.262mm、均等係数は2.036であった。使用した三軸試験装置はA E計測が可能であり、ペDESTAL内に設置されたA Eセンサーにより供試体内で発生したA Eを計測する。微小変形の測定には高感度の非接触変位計、体積変化の測定には高精度の電子天秤を使用した。その他の応力や変位測定、A E計測方法は文献2)を参照されたい。供試体は直径50mm、高さ105mmで、相対密度が約45～50%になるように作製した。その後、供試体内に炭酸ガスを透過し、脱気水を浸透させ背圧を1.0kgf/cm²与えて飽和を行った。図-1に、供試体に与えた応力履歴経路を示す。供試体は、 $p=4.0$ kgf/cm²まで等方圧密した後、約100分間放置する。その後、応力振幅 $q=\pm 1.0$ kgf/cm²で、非排水繰返しせん断履歴を5サイクル与えた。繰返し載荷後、排水状態で所定の応力状態まで等方除荷し、様々な応力経路で排水せん断して降伏曲面を求めた。なお、降伏応力はA E計測によって決定した。

3. 実験結果及び考察 図-2に繰返し履歴載荷中の有効応力経路と各サイクルでA Eが発生し始める点(降伏点)を○で示す。繰返しせん断履歴を与えるにつれ間隙水圧は増加し、有効応力は減少していく。また、降伏点は各

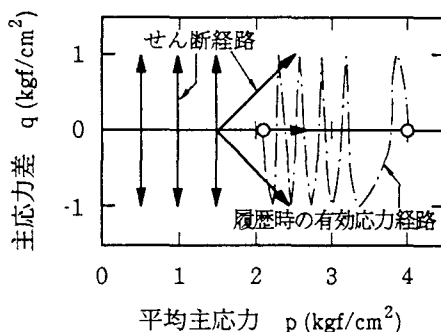


図-1 応力履歴経路

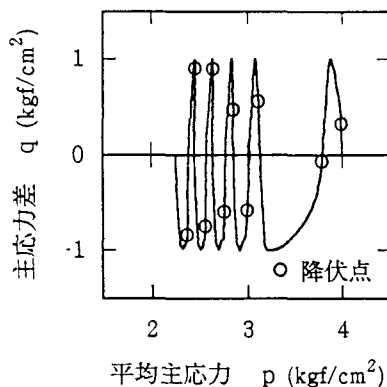
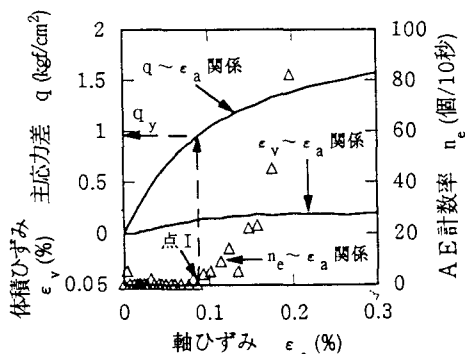


図-2 有効応力経路

図-3 せん断試験結果例($p'=1.5$ kgf/cm², 圧縮)

サイクルの圧縮及び伸張側にあり、降伏応力は履歴が進むにつれて大きくなって行くのが分かる。このことから履歴が進むに従って降伏曲面は上下に広がっていくと考えられる。

図-3は繰返し载荷後の平均主応力(p')一定圧縮せん断試験結果の一例である。図から、A Eはせん断開始直後は発生しないが、点Iを境に急増し始める。A Eは塑性変形に伴って発生すると考えられるので、この点に対応する主応力差 q_v が降伏応力と考えられる。他のせん断試験からも同様に降伏応力を求め、それらを p' - q 平面上にプロットしたものが図-4である。図から、降伏曲面と p' 軸との交点は、等方圧密終了時の $p'=4.0\text{kgf/cm}^2$ より小さくなっており、繰返し履歴により降伏曲面は p' 軸原点方向に縮小していることが分かる。ここで、非排水繰返しせん断履歴が、降伏曲面の形状や大きさに与える影響を調べるため、過去の研究結果¹⁾と本研究で得られた結果を比較する。図-5は、本研究結果と過去の研究から得られた等方圧密砂、半サイクル(圧縮)の繰返し履歴、及び1サイクル(圧縮→伸張)の繰返し履歴を受けた砂の降伏曲面を示したものである。なお、過去の研究とは試料の最大圧密圧力(p'_{max})や破壊強度(M_f)が異なるため、 p' 軸及び q 軸を正規化している。図から、等方圧密砂の降伏曲面は、半サイクルの繰返し载荷を受けると上方に偏った形となる。しかし、1サイクルの繰返し载荷を受けると降伏曲面は p'/p'_{max} 軸にほぼ対称な形となり、さらに多くの繰返し载荷を受けると p'/p'_{max} 軸原点方向に縮小して行くようである。

次に5サイクルの繰返しせん断履歴を受けた砂の内部構造について検討するため、弾性領域内での変形特性を示す。図-6は、 p' 一定排水圧縮及び伸張せん断試験における、せん断初期の供試体の鉛直ひずみ(ϵ_v)と水平ひずみ(ϵ_h)の関係を示したものである。圧縮試験では、 ϵ_v に比べて ϵ_h が生じやすくなっているが、伸張試験では逆に、 ϵ_h より ϵ_v が生じやすくなっており、弾性領域内での変形特性に異方性が見られる。本研究結果をまとめると、非排水繰返し载荷を受けた砂の降伏曲面は等方圧密砂に比べて q 軸方向には広がるが、 p' 軸原点方向には大幅に縮小する。そして、弾性領域内での変形特性は異方性を示すようである。

参考文献：1)田中、平川、福田(1992)：第27回土質工学研究発表会 pp.461-462 2)白川、田中、久保、吾郷(1994)：第29回土質工学研究発表会 pp.423-424

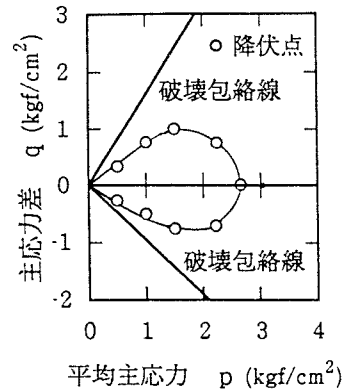


図-4 降伏曲面

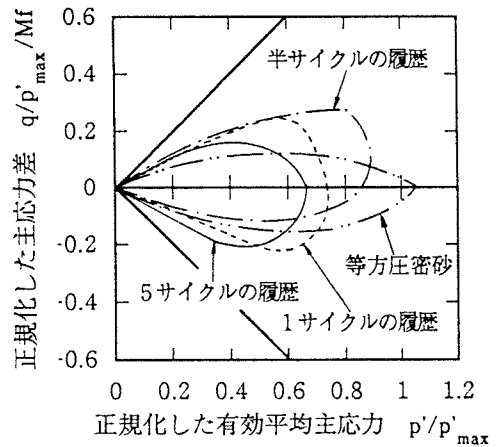
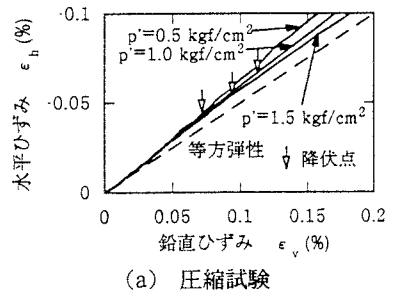
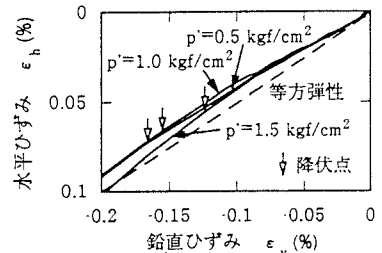


図-5 正規化した降伏曲面



(a) 圧縮試験



(b) 伸張試験

図-6 $\epsilon_h \sim \epsilon_v$ 関係