

先行せん断履歴を受けた砂の硬化特性

山口大学大学院 学生員 ○中田幸男 神村 真

山口大学工学部 正 員 安福規之 村田秀一 兵動正幸

1. まえがき

著者らは、低・高压下における砂の降伏特性を実験的に検討した上で、単調載荷型の弾塑性構成式を提案してきた^{1)・2)}。しかし、地震、波浪、交通荷重等によって地盤内に作用する応力変化を考えた場合、その提案式では十分応力・ひずみ関係を評価できない。そこで、本研究では、実用性の高い繰返し載荷型の構成式を確立する第一段階として、降伏曲面内の砂の挙動を明確にする事を目的にし、過圧密および先行せん断履歴を受けた砂に対して種々の方向に三軸試験を実施し、応力履歴がその後の応力・ひずみ関係や硬化特性、ダイレタンシー特性に与える影響について実験的に検討した³⁾。本報告は、特に先行せん断履歴が砂の変形特性に与える影響について議論するものである。

2. 試料および実験方法

実験に用いた試料は秋穂砂 ($G_s=2.633$, $e_{min}=0.958$, $e_{max}=0.582$, $D_{50}=0.41$, $U_c=2.74$)であり、0.075mm以下の細粒分と2mm以上の粒径のものを取り除いている。供試体は、直径5cm、高さ10cmを標準とし、初期間隙比 $e_{in}=0.75 \pm 0.02$ を目標とし、空中落下法により作成している。試験機は、応力制御式の三軸試験機を用い、実験は飽和度を評価するB値が0.96以上のものについてのみ行っている。メンブレンは0.2mm厚のものを使用し、体積変化はメンブレン貫入量に対する補正を行っている⁴⁾。本論文で用いる主要な応力とひずみのパラメータは、平均有効主応力 $p=(\sigma_a+2\sigma_r)/3$ 、軸差応力 $q=\sigma_a-\sigma_r$ 、応力比 $\eta=q/p$ 、体積ひずみ $v=\varepsilon_a+2\varepsilon_r$ 、軸差ひずみ $\varepsilon=2/3(\varepsilon_a-\varepsilon_r)$ である。ここで、 σ_a と σ_r は軸方向応力と半径方向応力であり、 ε_a と ε_r は軸方向および半径方向のひずみである。

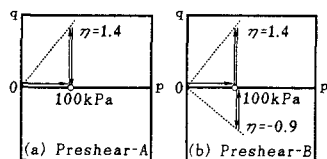


図-1 先行せん断履歴の有効応力経路

実験で対象とした応力履歴は、 $p=100\text{kPa}$ まで等方圧密し、その後、図-1に示す2種類の先行せん断履歴を与えたものである。以下では、図(a)に対する履歴を先行せん断履歴A、図(b)に対する履歴を先行せん断履歴Bと記す。その履歴を与えた後、それぞれに対して図-2に示す7種類の応力経路の三軸試験を行う。以下では、この三軸試験結果を比較することで、応力履歴が応力・ひずみ関係や硬化特性、ダイレタンシー特性に与える影響を把握する。

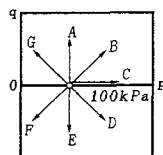


図-2 三軸試験の有効応力経路

3. 実験結果

図-3は、両先行せん断履歴後の p -一定三軸圧縮試験から得られた η - ε 関係を示したものである。先行せん断履歴Aを受けた後の軸差ひずみの生じ方は、正規圧密の結果と比較して小さくなっているものの、先行せん断履歴Bを受けた後の軸差ひずみの生じ方は、特にせん断初期において正規圧密のものと同様等しくなっている。このような挙動は、Cam-Clayモデルに類似の構成式、すなわち、降伏曲面内を弾性変形と仮定しているものでは十分に表せないものであり、せん断履歴を繰返し受ける結果として生じるような変形、例えば液状下のような問題を考える時には、ここで得られるような非線形的は無視できないと考えられる。

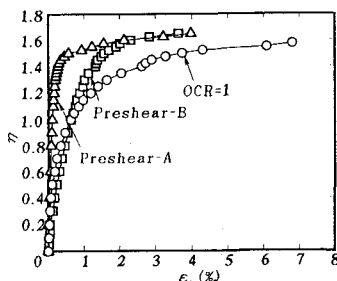


図-3 応力比-軸差ひずみ関係

図-4は、等状態量曲線と降伏曲面を $p-q$ 空間に示したもので、図(a)は先行せん断履歴A、図(b)は先行せん断履歴Bの結果を示している。等状態量曲線は、降伏曲面と相似な形となっているものの、等状態量曲線あるいは降伏曲面を近似する楕円の長軸は、先行せん断履歴Aに対しては圧縮側に、先行せん断履歴Bでは伸張側に傾いている。また、先行せん断履歴Aの後の p 一定三軸圧縮試験で得られた降伏応力は150 kPaで、先行せん断履歴Bの後の p 一定三軸伸張試験で得られた降伏応力は、-100kPaである。つまり、先行せん断履歴Aを受けた後の p 一定圧縮試験では、降伏応力が圧縮側で受けた最大の軸差応力を越え、先行せん断履歴Bを受けた後の p 一定伸張試験の場合、降伏応力が伸張側で受けた最大の軸差応力を越えている。これは、降伏曲面内の变形によって硬化が生じている事を示していると考えられる。

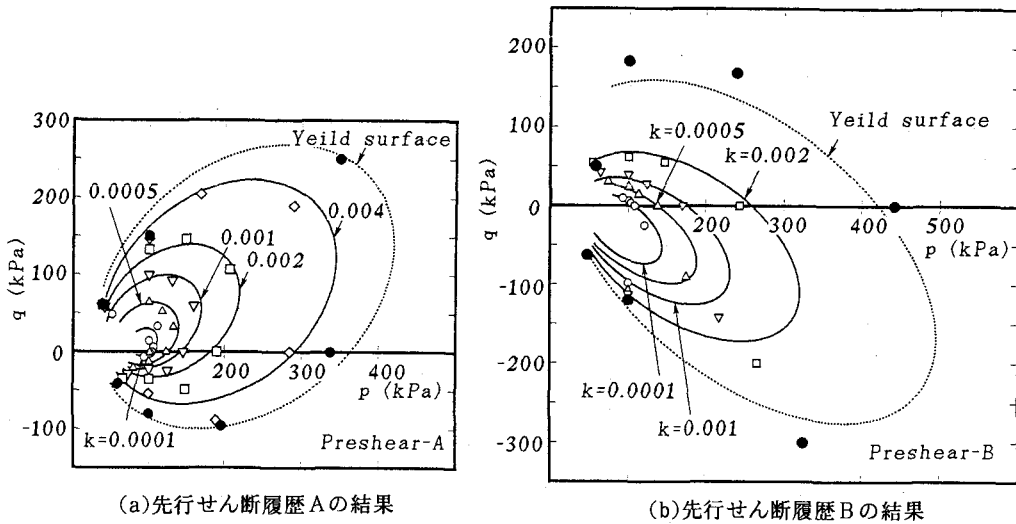


図-4 降伏曲面と等状態量曲線

図-5は、図-4に示した先行せん断履歴Aを受けた場合の等状態量曲線上にひずみベクトルを示したものである。図中に示すひずみベクトルは、弾性と塑性成分を含む全ひずみベクトルである。ひずみベクトルは、等状態量曲線に対して必ずしも法線方向を向いていない。このことは、今後、構成式を確立する上で考慮すべき点であると考えられる。

4. あとがき

本研究で得られた知見をまとめると次のようになる。(1)Cam-Clay モデルと類似の構成式において弾性と理想化されている降伏曲面内部においても無視できない塑性変形が生じる。(2)先行せん断履歴を受けた砂の等状態量曲線は降伏曲面と概ね相似形を示し、その曲線を近似する楕円の長軸は、軸差応力の変化と共に連続的に変化する。(3)降伏曲面内の等状態量曲線上のひずみベクトルは、必ずしも等状態量曲線の法線方向を向かない。

<参考文献>

- 1)Yasufuku, N., Murata, H. and Hyodo, M. (1991): S&F, Vol. 31, No. 1, pp. 95-109. 2)Yasufuku, N., Murata, H., Hyodo, M. and Hyde, F.L. Adrian (1991): S & F, Vol. 31., No. 4, pp. 75-92. 3)中田・安福・神村・村田・兵動 (1993): 第45回中国四国支部研究発表会講演概要集投稿中 4)Vaid, Y. P. and Negussey, D. (1984): Geotechnical Testing Journal, Vol. 7, No. 2, pp. 70-76.

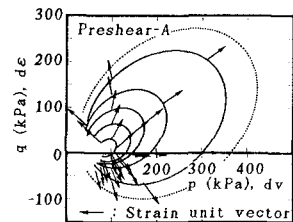


図-5 先行せん断履歴Aを受けた場合のひずみベクトル