III-17　飽和砂の変形特性におよぼす応力履歴の影響

北大工学部　正員　土岐祥介
〃　〃　○三浦清一
北海道　〃　寺山朗

(1) まえがき　一般に砂が繰返し応力を受けると，大きな変形を生じることはよく知られている。しかし，このような変形特性と繰返し応力の載荷によって導入される応力履歴（セン断履歴）や応力経路との関連性については，未だ不明な点が多い。そこで軸対称三軸試験機を用いて，種々の異方圧密および逆方向セン断（圧縮側あるいは伸張側）により導入された応力履歴が，飽和砂の変形，強度特性におよぼす影響について調べた。その結果このような応力履歴は強度にほとんど関与しないが，以前に受けたセン断ヒズミの大きさや方向によっては，飽和砂の変形特性に著しい影響をおよぼすことが認められた。

(2) 実験方法　実験に用いた試料は飽和した豊浦標準砂で，初期間ゲキ比e_0は0.78 (Loose), 0.66 (Dense) の2種類である。供試体に種々の異方圧密を与える操作は，図-1(a)に示す方法によった。つまり 0.1 kg/cm² で等方圧密ののち，所定のK値（$=\sigma_r'/\sigma_a'$，σ_r'，σ_a' はそれぞれ水平，鉛直方向有効主応力）に沿って圧密し，圧密完了時の有効平均主応力P_c'がすべて2.0 kg/cm²になるようにした。約2時間の圧密ののち，σ_r'を一定にして圧縮側および伸張側でセン断を行なった。また$P_c' = 2.0$ kg/cm² のもとで等方圧密後，σ_r'を一定にして圧縮側あるいは伸張側に所定のRまでセン断ののち，応力を反転しそれぞれ逆方向にセン断する試験も実施した。ここでRは応力反転時に動員される応力比 q/p'（$q = \sigma_a' - \sigma_r'$）と破壊時のそれとの比である。上述のセン断はすべてヒズミ制御（$\dot{\varepsilon}_a = 0.23$%/min）で行なった。さらに$P_c' = 2.0$ kg/cm² で等方圧密ののち，応力制御によって平均主応力一定試験を実施した。試験は全て排水条件であり，圧密前に2.0 kg/cm² のバックプレッシャーを与えた。なお，供試体のセットは水中で行なった。

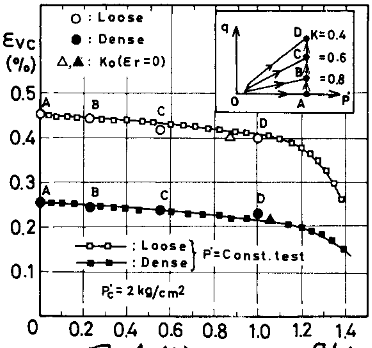

図-1 (a)

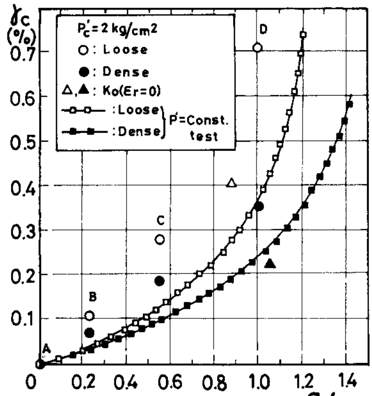

図-1 (b)

(3) 実験結果および考察　圧密中の体積ヒズミと平均主応力の関係は，圧密条件（K値）によって異なるので，応力比 q/p' と異方圧密（$P_c' = 2.0$ kg/cm²）で生じた体積ヒズミε_{vc}およびセン断ヒズミγ_c（$=\varepsilon_a - \varepsilon_r$）との関係を，平均主応力一定試験の結果とともに，図-1(a), (b)に示した。ここで砂のような粒状体において側圧が変化する際，測定される体積ヒズミにはメンブレン貫入によるものが含まれているので，Raju ら[1]の方法による貫入補正を行なっている。ε_{vc}は平均主応力一定経路のセン断で生じる体積ヒズミとほぼ同一の曲線上に位置し，両者の変形機構の類似性が認められる。一方，γ_cは平均主応力一定経路で得られる値より大きく，この傾向はK値が小なるほど，かつLoose試料ほど顕著である。図中にはRDMDによりε_rを直接測定しK_0圧密を行なって得た結果[2]もプロットしてあるが，上記と同傾向にある。以上のことから，応力経路の相違が変形特性におよぼす影響は，セン断ヒ

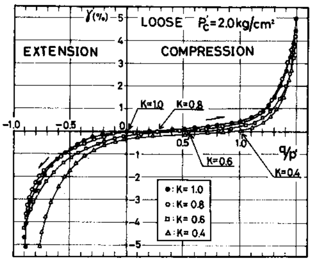

図-2 (a)

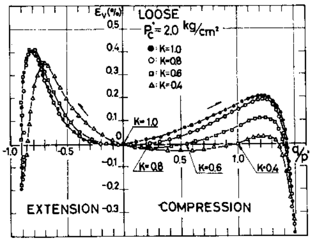

図-2 (b)

ズミに強調されて現われてくるといえよう。

図-2(a)，(b)はLoose試料について，異方圧密後の体積ヒズミε_v，セン断ヒズミγと応力比q/p'の関係を示したものである。圧縮側では，各異方圧密点から出発した曲線が等方圧密のそれにシフトするとほとんど一致する。従って応力反転が伴わない限り，同方向（圧縮側）で導入された応力履歴の影響はほとんどないと言える。一方，伸張側のセン断挙動についてみると，セン断初期（主応力回転前）に体積膨張が認められ，この傾向はK値の小さいものほど著しい。また等方応力状態以後の変形特性はK=0.4のものが他に比べ変形しやすいようである。これは，異方圧密により導入された砂粒子の配列構造の異方性と主応力面の回転の影響を受けた結果と見做すことができよう。

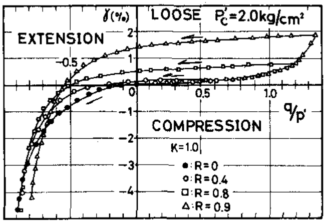

図-3 (a)↑

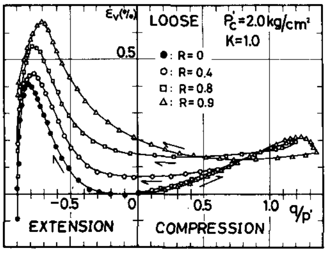

図-3 (b)→

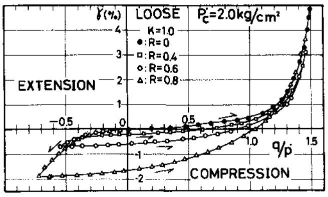

図-4 (a)↑

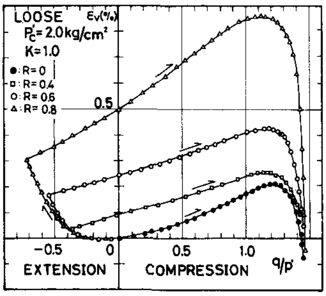

図-4 (b)→

異方圧密は主応力比一定のセン断経路であるから，他の応力経路つまり等方圧密条件に限定して逆方向のセン断（$\Delta q/\Delta p=3$）履歴の影響について調べたのが図-3，4である。これと同様の実験は，Arthur[3]，Thurairajah[4]，Tatsuokaら[5]が実施している。図-3は圧縮側で所定のRまでセン断し，応力反転後引続き伸張側で破壊に至らしめたものであり，一方図-4はその逆のセン断経路である。図-3から，圧縮側で$R=0.9$($q/p'=1.35$)のセン断を受けたものは，他にくらべ伸張側の変形はかなり大きくなっていることがわかる。異方圧密の場合と比較すると，両者には，応力履歴を与える過程つまり応力経路の相違があるが，逆方向の変形特性が受ける影響は同傾向にあるといえる。一方図-4より，伸張側でセン断履歴を受けた場合も上述の挙動と同様であることが認められる。

次に，圧縮側あるいは伸張側で受けたセン断ヒズミの大きさ$|\gamma_r|$と，それらの逆方向のダイレイタンシー特性におよぼす影響との関連性について検討する。今，最大の体積圧縮ヒズミε_{vmax}(%)と等方応力状態からε_{vmax}に至る間に動員される応力比(q/p')との比を$|\lambda|$と定義し，$|\lambda|$と$|\gamma_r|$の関係を図-5に示した。圧縮側，伸張側の応力履歴にかかわらず，Loose試料の場合，以前に受けたセン断ヒズミの大きさが約1%以下であれば，ダイレイタンシー特性には影響を与えないが，それ以上のセン断ヒズミを受けると影響が顕著になることがわかる。従って，応力履歴の影響を考える場合，以前に受けた応力の大きさそのものよりそれによって生じたヒズミの大きさを考慮する必要があろう。

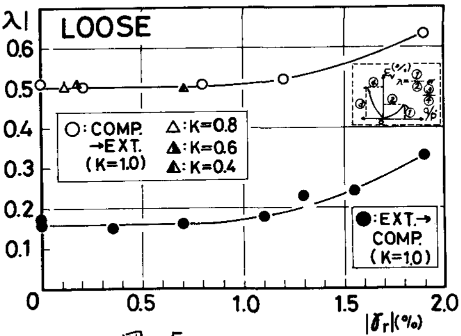

図-5

［あとがき］ 本研究について御教示頂いた北郷 繁教授ならびに実験，データ整理に多大の協力を得た工藤豊技官，佐藤 孝夫，大林 正章および木島 一郎各君に謝意を表します。

［参考文献］

1）Raju, V.S. & Sadasivan, S.K.; Proc. ASCE, Vol.100, G.T.4, pp.482～489, 1974
2）土岐，三浦，鎌田；土質工学会第13回研究発表会，pp.489～492，1978
3）Arthur, J.R.F.; Proc. Roscoe Memorial Symposium, pp.340～346, 1971
4）Thurairajah, A.; Proc. 8th ICSMFE, Vol.1, pp.439～445, 1973
5）Tatsuoka, F. & Ishihara, K.; Soils & Foundations, Vol.14, No.3, pp.51～65, 1974