

新潟大学工学部

正員 ○ 小川 正二

日本道路公団

正員 三井 登夫

東日交通コンサルタント

正員 竹竿 礼 修

〔まえがき〕 異なる三主応力をうけている砂の応力ヒズミの関係、降伏条件については多くの理論的な研究がなされている。また、実験的な研究もみられるが、その数は比較的少ないようである。著者は三主応力を独立に載荷できる装置によって、砂の力学的性質への中間主応力の影響を実験的に調べたので、その結果をここに報告する。

〔実験方法〕 応力は $P = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3 =$ 一定、 $\mu = (2\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3)/(\sigma_1 - \sigma_3) =$ 一定なる stress path に沿って載荷した。すなわち、図-1 に示すように、まず $O \rightarrow A$ まで等方圧密し、その後 $A \rightarrow B$ に沿ってせん断応力を載荷した。実験は $P = 1.0, 2.0, 3.0$ kg/cm^2 の三種類とし、圧密排水条件である。

実験に用いた試料は新潟市近郊の砂で、 $G_s = 2.76$ 、 $G_u = 2.38$ である。供試体は1辺10 cm の立方体であり、圧密終了時の間ゲキ比は約 $e \approx 0.80$ である。

供試体は $P = \sigma_3$ なる液圧で等方圧密し、その後、 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 を変化させたが、 $\sigma_1 - \sigma_3$ の載荷は載荷板と土おいて行ない、同時に ϵ_1 をダイヤルゲージで測定し、 ϵ_2 、 ϵ_3 はヒズミゲージをつけた変位計で測定した。しかし、圧縮とともに供試体の中央部と端部の変位の差が大きくなり、 ϵ_3 の測定値が σ_3 方向の真の変位を表わすとは考えられなくなったので、 $\epsilon_v = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3$ の関係が成り立つものとして、体積ヒズミ ϵ_v を排水量より測定して、 ϵ_3 を逆算した。

〔実験結果〕 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 および ϵ_1 と ϵ_2 との関係の一例を挙げると図-2 のようになる。また、 q/p と ϵ_1 、 ϵ_2 との関係を示すと図-3 のようになる。これらのヒズミはすべてせん断時の値である。

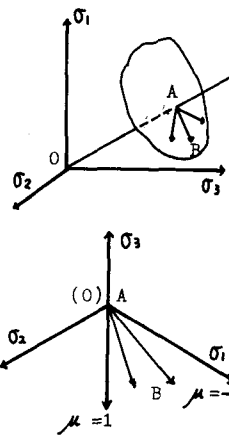


Fig-1

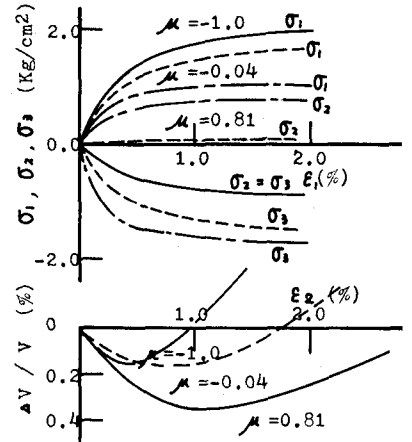


Fig-2

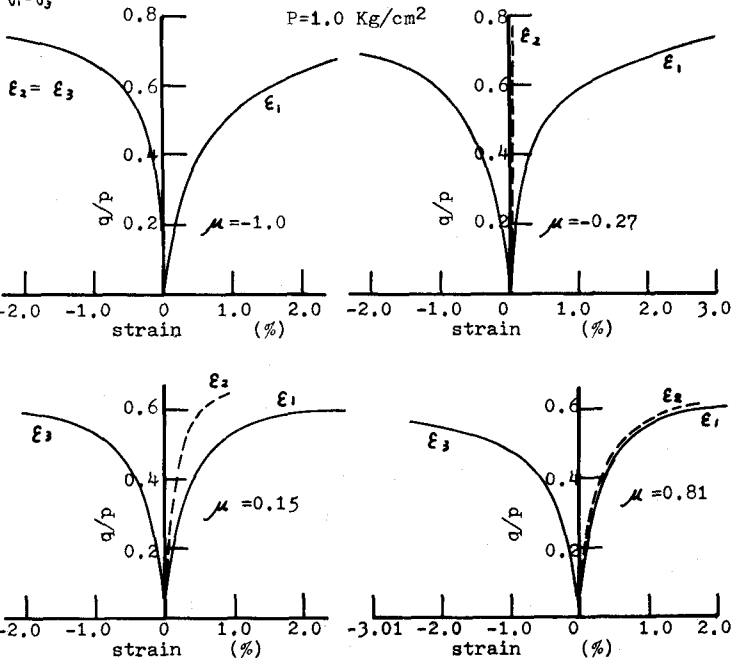


Fig-3

図-3のような結果をみると、 $\mu = -0.27 \sim -0.50$ 附近で平面ヒズミ状態になっていることがわかった。

圧縮時の $\sigma/P - d\epsilon_1/dt$ の関係を描くと、図-4のようになる。この曲線において、A 点のように1で求めたヒズミ速度の急激に増大するときの応力を降伏応力とする。

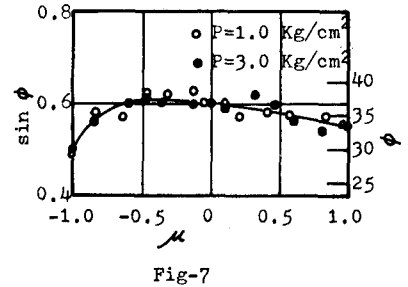
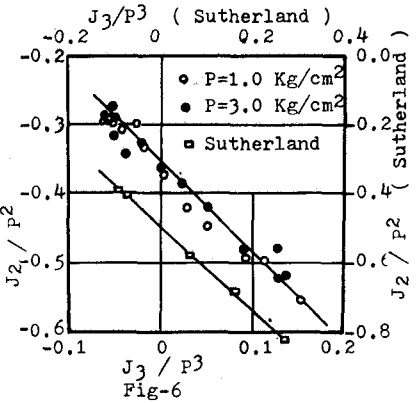
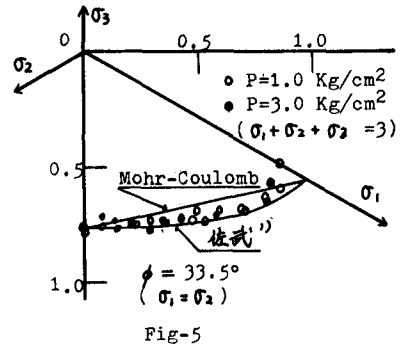
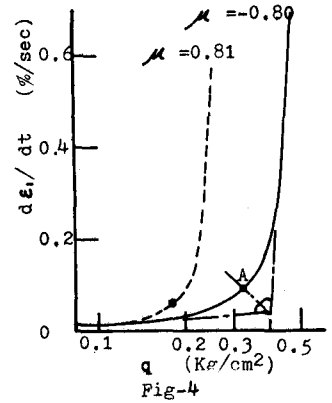
〔降伏条件〕 図-4のようにして求めた降伏時の応力状態を π 平面にプロットすると図-5のようになる。ここで、黒印は $P = 3.0 \text{ Kg/cm}^2$ の結果を $P = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$ に換算したものである。同図には、Mohr-Coulomb, 佐武¹⁾の降伏基準も示してある。松岡²⁾の提案式も佐武の降伏条件と同じ形をしているので、同じ傾向を示すものと思われる。

図-5に示した降伏時の応力について、偏差応力の二次の不変量 (J_2) と三次の不変量 (J_3) との間には直線関係があり、これらの結果を J_2/P^2 と J_3/P^3 との関係を示すと図-6のように P の値にかかわらずほぼ一定の直線上に分布する。同図には Sutherland³⁾の結果も示してあるが J_2/P^2 と J_3/P^3 との間にはやはり直線関係が成立つ。したがって、この関係は一般に次式で表わされる。

$$-J_2/P^2 = m + nJ_3/P^3 \quad \text{又は} \quad 0 = J_2 + nJ_3/P + mP$$

$\sin \phi = (\sigma_1 - \sigma_3)/(\sigma_1 + \sigma_3)$ と μ および b との関係は図-7のようになり、佐武、松岡らによって示されているのと同じような傾向を示す。その最大値は図-3などによって判断される平面ヒズミ状態に近い応力状態のところにありと思われる。 $\sigma_2 = \sigma_3$ のときと $\sigma_1 = \sigma_2$ のときの中 の 値には差がみられるが、これは実験時の載荷手法、供試体の変形状態によるものと思われる。

〔むすび〕 $P = \text{一定}$, $\mu = \text{一定}$ の条件で三主応力を異にする試験を行い、中間主応力の影響を実験的に調べた。理論的な研究によって提案されているものと一致しない点もあるが、砂の力学的性質には中間主応力の影響が明らかにあらわれていることがわかる。なお、この実験は砂の液状化への中間主応力の影響を知るための予備実験として行ったものであり、今後は非排水条件での実験を進める予定である。



〔参考文献〕

- (1) 佐武正雄：粒状体の降伏条件に関する一提案，土木学会第28回年次学術講演会 1973
- (2) 松岡元，中井照久：相異なる3主応力下の土の応力-ひずみ関係と降伏条件，第9回土質工学研究発表会 1974
- (3) Sutherland, H.B. & M.S. Mesdary: The Influence of the Intermediate Principal Stress on the Strength of Sand proc. of 7th ICSMFE, vol. 1, 1969