

京都大学防災研究所 正員 ○ 村 山 翔 郎
建設省 正員 岩 井 国 臣

1. はしがき

砂質土に加えた載荷を除荷したとき砂質土に残留するヒズミの有無によって、その砂質土の状態を塑性的和弾性的とに大別できる。厳密に言えば、弾性とは、(α)載荷、除荷のいずれの過程でも Hooke の法則が成立し、(β)従って除荷時に残留ヒズミのないことというが、砂の場合には(β)の条件をみたせば弾性的ということにする。砂粒子の圧縮率は $10^{-5} \sim 10^{-6} \%$ (石英粒子の値) であるが、その集合体の砂質土の圧縮率はこれよりも大きい。また砂質土には、弾性降伏値以上では一見クリープに似た挙動をみられ、セン断時には dilatancy の影響もあらわれる。砂質土は独立した粒子の集合体であって粒子間には接触面に作用する圧力しか存在しないから、上記のような各種の力学特性はこの粒子間の圧力とそこに生ずるマサツ力によって発現すると考えて解かねばならない。

砂質土に応力変化を与えたとき生ずるヒズミ変化は、(i) 平均応力の変化による体積変化 ϵ_v 、(ii) 主応力差の変化による体積変化 ϵ_d (すなわち dilatancy による体積変化)、(iii) 主応力差の変化によるセン断ヒズミ γ の変化の3つに分けられる。これらの応力ヒズミ関係についての研究のうち、ここでは弾性に関するもののみを挙げ、3軸圧縮試験機を用いて行なった次記のような3種のくり返し圧縮試験の実験結果とその考察について述べる。

2. 供試体

供試した砂は角ばった粒形で真比重は 2.73、均等係数は 1.85 である。(粒度分布図：省略) 供試体は高さ約 8 cm、直径約 3.5 cm の円柱状に成形用モールドを介して水中で填充、締め固めを行ない、ゴムスリーブ中に 50 mm Hg の真空をかけつつ試験機内に飽和状態でセットした。間ゲキ比は供試体によって多少不同があったが 0.73 ~ 0.75 の範囲であった。なお試験では、応力、軸方向変位 Δh 、体積変化 ΔV を測定した。

3. 実験結果

(3.1) くり返し等方圧縮試験： $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ ($\equiv \sigma$) σ は 0 ~ 6 % の範囲、くり返し回数 n は 5 回。1例を $\sigma/\sigma_0 \sim \sigma$ 関係図でえがくと(図省略)、(1)加圧1回目には残留ヒズミが生ずるが、2回目以後の加圧曲線はほとんど一致する。(2)減圧曲線は $n = 1 \sim 5$ の間ほとんど一致する。(3)2回目以後の加圧曲線と減圧曲線はほとんど一致して除荷時の残留ヒズミは認められない。(4)加圧、減圧の両過程ともに、体積変化 ϵ_v ($= \Delta V/\sigma_0$) と σ との関係ならびに軸方向ヒズミ ϵ_1 ($= \Delta h/h_0$) と σ との関係は、この程度の応力範囲ではいずれも両対数紙上で直線となる。これは Wilson & Sutton (1948) や Jakobson (1957) の与えた式と同形である。(5) ϵ_v と ϵ_1 とより、 $\epsilon_2 = \epsilon_3$ と仮定して算出した横方向ヒズミ ϵ_2 は ϵ_1 と等しくなったから、セン断ヒズミ γ は生じていないことになる。

(3.2) 平均応力一定のもとに主応力差をかえくり

返し圧縮試験： $\bar{\sigma}_m = (\sigma_1 + 2\sigma_3) / 3 = 4\% \text{ (一定)}$ ，

$(\sigma_1 - \sigma_3)$ は $0 \sim 5\%$ の範囲， n は 23 回まで。このときの $(\sigma_1 - \sigma_3) \sim \epsilon$ 関係の 1 例を図に示す。結果は，(1)

(1) 加圧曲線の様相は 1 回目と 2 回目とでは異なる。(2)

(2) 2 回目以後の加圧曲線は $(\sigma_1 - \sigma_3)$ の小さい間はほとんど直線であるが、 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ が大きくなると直線に移行する。(3)

(3) 上述の曲線に移行する点（弾性降伏値，

○印で示す）は n とともに上昇し、その終局値は B 点となる。(4) B 点は 20 回目の加圧

曲線の上端とほとんど一致して加圧曲線は直線 AB で示される。(5) 加圧曲線の直線部

はほとんど平行である。(6) 減圧曲線は加圧曲線と一致しない。(7) 主応力差がゼロ

のときの残留ヒズミは n とともに増加するが、増加率は減少する。(8) $n > 20$ では加圧、

減圧曲線はほとんど同一のループを循環する。(9) ϵ_n ： n 回目の残留ヒズミ， $\delta_n = \epsilon_n - \epsilon_{n-1}$ とすれば、 $1/\epsilon_n$ は n の 2 次式でありぬされ、図の点 A、B の値を代入すればその 2 次式の

係数が求められる。またこの関係は、 $\epsilon_n = n / (a + bn)$ ， $(a, b$ ：常数) でもあら

わされるから、佐々木次郎、根岸久雄(1952)がくり返し転圧の沈下量に対して求めた式

がこの実験にも適用される。(10) ϵ_n と n の値を佐々木、根岸の式に代入して係数 a, b

を求め、 $n \rightarrow \infty$ のときのヒズミ $(\epsilon_n)_{n \rightarrow \infty} (= 1/b)$ を求めると、この値は点 A のヒズミと

一致する。(11) $A \rightarrow B \rightarrow A$ のサイクルはループをえがくが残留ヒズミはないから弾性状態

ということにする。(12) 弾性状態のときの体積変化 (ϵ_v, V_0) は $(\sigma_1 - \sigma_3)$ を $0 \rightarrow 4.5\%$ に加圧したとき 0.1 cc の膨張が測定されたが、加圧途中の体積変化の様相は測定精度が

低かったので明らでない。

(3.3) 側圧一定にして主応力差を変化させたり返し圧縮試験： $\sigma_3 = 1\%$ ， $(\sigma_1 - \sigma_3)$

を $0 \sim 5\%$ ， $n = 0 \sim 23$ の例。この結果を $(\sigma_1 - \sigma_3) \sim \epsilon$ 関係で図示（図省略）すると

，(1) 加圧、減圧曲線の形は(3.2)のものと異なるがその傾向は(3.2)の(1)，(6)，

(7)，(8)，(11)，と同様である。(2) $n > 20$ 位では加圧曲線と減圧曲線はほとんど同一のル

ープをえがき弾性状態となるが、弾性状態のときにも(3.2)の(2)のような直線部分はあり

ぬれない。弾性状態のときには、ヒズミを最大セリ断ヒズミ γ_{max} で示し、 $\gamma_{max} \sim (\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 + \sigma_3)$ によって加圧特性をえがけば普通目盛で直線となる。(3) 砂粒子の接触点

に作用する外力が砂粒子の移動抵抗より大きいときにのみ砂粒子が相対移動をなすとし、

かつそれら外力および移動抵抗がそれぞれ正規確率曲線で分布しているとして統計学的な

考察から誘導した結果は、 γ は $(\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 + \sigma_3)$ に正比例して増加することとなり、(2)の後半の事実と一致する。またこのような統計学的考察によって、弾性状態における

加圧時の dilatancy 特性が考察できる。

