

砂の可逆的な変形について

東北大学 諸戸 靖史

土は一般に加圧硬化性を有する弾塑性体と考えることが出来る。したがって、その変形には可逆的な変形と不可逆的な変形とが共存している。通常、可逆的な変形は小さいものとして無視し、不可逆的な部分だけを考える。しかし、微小変形を対象としたり、拘束圧が外力にくらべて大きい場合の上の変形、定常的不繰り返し外力が作用する場合の地盤の応答などでは、可逆的な変形部分の方が、むしろ、不可逆的な変形部分よりも卓越するように思われる。そこで、砂の可逆的な変形について考察する。以下に議論は排水試験を念頭に置く。

可逆的な変形は繰り返し載荷時において残留変形がほとんどみられなくなった砂供試体の変形と定義すること出来る。この場合、載荷時と除荷時の応力-ひずみ曲線は一致したくヒステリシスループを描くが、このループの巾は小さいものとする。

いま、応力状態を図-1に示す (p, q) 応力面上の応力点 $A(p, q)$ から微小変化して応力点 $B(p+dp, q+dq)$ に移ったとする。一般的な応力経路 AB を、応力比一定 $(k=定)$ 平均主応力一定 $(p=定)$ なる応力経路 (AMB) で近似する。

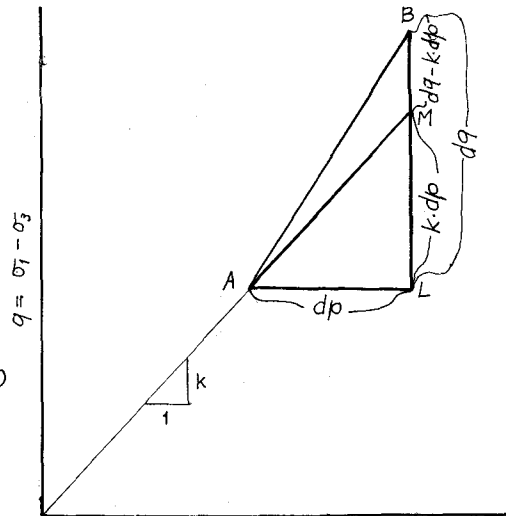


図-1 AB間の応力経路

三軸試験では通常、縦方向ヒズミ ϵ_z と体積ヒズミ v を測定する。 k -定試験における $p \sim \epsilon_z$, $p \sim v$ 曲線の勾配をそれぞれ $(\frac{\partial \epsilon_z}{\partial p})_k$, $(\frac{\partial v}{\partial p})_k$ とし、 p -定試験における $q \sim \epsilon_z$, $q \sim v$ 曲線の勾配を $(\frac{\partial \epsilon_z}{\partial q})_p$, $(\frac{\partial v}{\partial q})_p$ とする。この場合、応力経路 AMB に沿う変形は図-1を参考にし、

$$\epsilon_z = \left\{ \left(\frac{\partial \epsilon_z}{\partial p} \right)_k - k \left(\frac{\partial \epsilon_z}{\partial q} \right)_p \right\} dp + \left(\frac{\partial \epsilon_z}{\partial q} \right)_p dq \quad (1)$$

$$v = \left\{ \left(\frac{\partial v}{\partial p} \right)_k - k \left(\frac{\partial v}{\partial q} \right)_p \right\} dp + \left(\frac{\partial v}{\partial q} \right)_p dq \quad (2)$$

となる。

1-一定試験における変形は平均主応力によるものと主応力差 $\sigma = k \cdot p$ によるものとからなると考え
る。 p による変形式(3)と書く

$$\bar{v} = 3\bar{e}_1 = 3a_0 p^m \quad a_0, m : \text{定数} \quad (3)$$

また, σ による変形式(4); 式(5)とする。

$$E - \bar{E}_1 = a_1 \cdot (k \cdot p)^{\frac{1}{pr}} \quad a_1, r : \text{定数} \quad (4)$$

$$v - \bar{v} \div 0 \quad (\text{EL-Shoby})^{1)} \quad \therefore v = \bar{v} = 3a_0 p^m \quad (5)$$

1-一定試験における変形式(6), 式(7)とする。

$$E_1 = \frac{b_0}{pr} \cdot \sigma \quad b_0 : \text{定数} \quad (6)$$

$$\frac{v}{E_1} = -\beta \quad \beta : \text{定数 (村山, 八木)}^{2)} \quad \therefore v = \frac{\beta b_0}{pr} \cdot \sigma \quad (7)$$

こゝで, 筆者の3軸試験による実験結果を表-1に示す。

表-1から

$$b_0 \div \frac{1}{2} a_1 \quad (8)$$

また, 1-一定試験における E_1/σ 値と両対数紙上に p に対してプロットすれば, 直線に近似でき, その勾配は $1/2$ となる。したがって式(6)の r に関して

$$r \div 1/2 \quad (9)$$

式(5)~式(9)を用いると, 式(1)および式(2)は

$$dE_1 = \frac{2a_0 dp}{3p^{1/2}} + \frac{b_0}{p^{1/2}} d\sigma \quad (10)$$

$$dv = \left(\frac{2a_0}{p^{1/2}} + \frac{\beta b_0 \cdot k}{p^{1/2}} \right) dp - \frac{\beta b_0}{p^{1/2}} d\sigma \quad (11)$$

となり, 砂の可逆的な変形を示す応力・ヒズミ増分式である。タイレイタニエーに関する定数 $\beta = 0$ とすれば式(10), 式(11)は等方性を示す。このことよりタイレイタニエーのために砂は異方性を示すことがわかる。又式(10), 式(11)から可逆的な変形では応力経路依存性があることがわかる。くわしくは別の機会に報告する。

参考文献

- 1) EL-Shoby, Elastic Behaviour of Sand, Journ., SM&E Div., ASCE, Nov., 1969, pp.1393-1409.
- 2) 村山・八木, 砂質土の変形特性について, 土と基礎, Feb., 1965, p.66