

砂の三主応力状態におけるせん断変形

○ ハヤエ大 正英 諸戸靖史
ハヤエ大 4年 及川達也

1. はじめに

土の要素には、一般的に3次元の応力が作用する。砂の3主応力試験を立方体供試体について行なうと、供試体の表面に主応力 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ が作用する場合が多く見られる。そして、各応力段階において、主ひずみ $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ が観測される。本研究では平均主応力 $p = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$ 一定 (1 kgf/cm^2) 試験の結果を整理することにより、豊洲標準砂について、言及の提案する状態量 S_s の3次元的な表現について調べてみる。

$$S_s = \int \frac{dw_s}{p} \quad dw_s^p: \text{せん断塑性仕事増分} \quad (1)$$

p : 平均主応力

又 応力とひずみのパラメータ

$$p = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3), \quad T_{oct} = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

$$dv = d\varepsilon_1 + d\varepsilon_2 + d\varepsilon_3, \quad d\gamma_{oct} = \frac{2}{3} \sqrt{(d\varepsilon_1 - d\varepsilon_2)^2 + (d\varepsilon_2 - d\varepsilon_3)^2 + (d\varepsilon_3 - d\varepsilon_1)^2}$$

$$\mu = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}, \quad \nu = \frac{2d\varepsilon_2 - d\varepsilon_1 - d\varepsilon_3}{d\varepsilon_1 - d\varepsilon_3}$$

以上を用いて 塑性ひずみ増分と応力の積を計算し 塑性仕事増分 dw_s^p を計算すると

$$dw = \sigma_1 d\varepsilon_1 + \sigma_2 d\varepsilon_2 + \sigma_3 d\varepsilon_3$$

$$= p dv + \frac{3}{2} \frac{3 + \mu\nu}{\sqrt{(3 + \mu^2)(3 + \nu^2)}} T_{oct} \cdot d\gamma_{oct} \quad (2)$$

となる。

3. S_s の3次元表示

式(1), (2)より

$$dS_s = dv + \frac{3}{2} \frac{3 + \mu\nu}{\sqrt{(3 + \mu^2)(3 + \nu^2)}} \frac{T_{oct}}{p} \cdot d\gamma_{oct} \quad (3)$$

ここで $(3 + \mu\nu) / \sqrt{(3 + \mu^2)(3 + \nu^2)}$ の値が実験的にどのような値になるかを調べた。

4 豊浦石の実験結果

諸君と図が10年以上も前 東北大学の土壌実験室で行った3主軸試験結果を整理したところ, Dense サンプルについて 表-1 のような結果がえられた。

表-1

μ	S_s / K_{oct}	ν	$\frac{3 + \mu \nu}{\sqrt{(3 + \mu^2)(3 + \nu^2)}}$
-1	0.923	-1.044	1.000
-5/6	0.923	-0.785	1.000
-2/3	0.941	-0.477	0.995
-1/3	0.870	-0.092	0.991
0	0.833	0.206	0.993
1/3	0.755	0.488	0.996
1/2	0.824	0.621	0.998
2/3	0.714	0.865	0.995
1	0.722	1.231	0.996

5. 実験事実に基づく S_s の表示

表-1 より $(3 + \mu \nu) / \sqrt{(3 + \mu^2)(3 + \nu^2)} \div 1$ と表わせるので, 式(3)

$$\text{は } dS_s = d\nu + \frac{3}{2} \eta \cdot d\gamma_{oct}, \quad \eta = \frac{\tau_{oct}}{p} \quad (4)$$

と表示される。表-1 から, $dS_s / d\gamma_{oct} = M(\mu)$ と表わすと, $M(\mu)$ は Lode のパラメータ μ により若干変化することが分かる。そこで

$$\frac{d\nu}{d\gamma_{oct}} + \frac{3}{2} \eta = M(\mu) \quad (5)$$

が石の応力比・ひずみ増分比関係の拡張形であることが導けるのである。ここで

$$\bar{\eta} = \frac{3}{\sqrt{2}} \tau_{oct}, \quad d\bar{\eta} = \frac{1}{\sqrt{2}} d\gamma_{oct}$$

とおくと 式(4)は

$$dS_s = d\nu + \bar{\eta} \cdot d\bar{\eta}, \quad \bar{\eta} = \frac{\bar{\eta}}{p}$$

$$\text{式(5)は } \frac{d\nu}{d\bar{\eta}} + \bar{\eta} = \sqrt{2} M(\mu) \quad (6)$$