

三主応力下の砂のせん断特性

徳山工専 正員 ○ 藤原 東雄
同上 正員 上 俊二

1. まえがき

近年、異なる三主応力状態のせん断特性を調べる必要性が高まっているが、まだ十分解明されていない。従来は土のせん断特性を調べるのに、三軸圧縮試験機が使用されてきたが、中間主応力の影響は測定できない短所がある。ここで報告するのは、三主応力可変な試験機で平均主応力一定条件下で偏差応力を加えて、砂のせん断特性、中間主応力の影響、降伏条件等を調べた。

2. 試料および実験方法

試料は豊満産の標準砂を使用し、物理的性質は比重 $G_s=2.64$ 、均等係数 $U_c=2.15$ 、である。今回使用した試験機の三軸室の概略を図-1に示す。図-1から明らかなように、中を水で満たしたラバー・バックを通して $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ の立方供試体に各主応力を調圧弁で加圧できるようになっている。主応力はブルドン管の目盛で読み、一方向の変形量はラバー・バックの水の出入りから測定できるようになっている。実験方法は乾燥砂で、排水条件とし、密度を Dense ($e=0.647$) と Loose ($e=0.863$) の2種類とした。供試体を各々の密度になるようにセットした後、 25 kg/cm^2 で等方圧密し、平均主応力を 25 kg/cm^2 に一定に保ったまま、偏差応力 Q の方向 (b) を5種類に変化させて実験した。ここで、 σ_1 : 最大主応力、 σ_2 : 中間主応力、 σ_3 : 最小主応力とし、

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3 \geq 0 \quad (1)$$

$$p = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = \sigma_{oct} \quad (2)$$

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

$$b = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3) \quad (4)$$

である。図-2(a)に表わされるように、原点 O から A まで等方圧密したのち、 $P = \text{const}$ 面 (π 面) で A から P まで偏差応力を加えた。図-2(b)において、せん断中 $b=0$ (圧縮), 0.25 , 0.5 , 0.75 , 1.0 (伸張) が一定となるようにあらかじめ計算した三主応力になる5種類の実験を行なった。荷重増分は、最大主応力 Q 方向を 0.05 kg/cm^2 とし、容積変化が落着くのを待って次の増分荷重を載荷した。

3. 実験結果と考察

図-3(a)(b)(c)(d)(e)に b を変化させた応力-ひずみ曲線を示

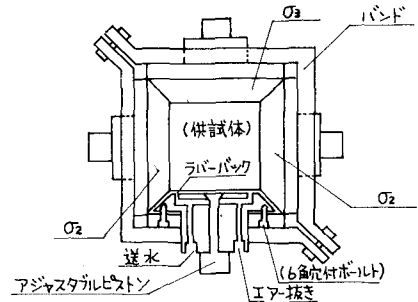


図-1 三軸室組立図

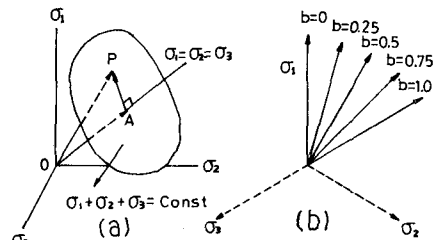


図-2 試験時の応力経路

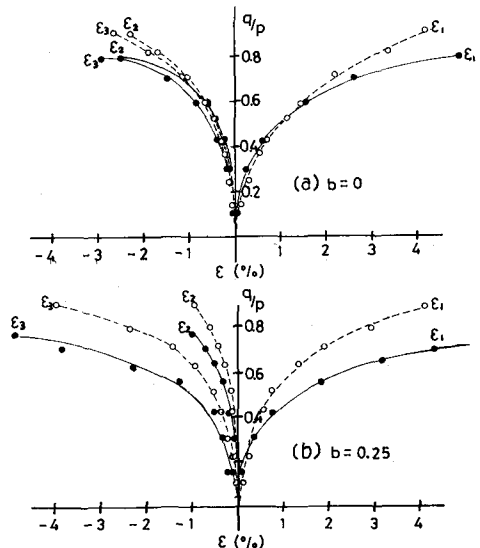


図-3(a) (b) 応力-ひずみ曲線

す。図から明らかなように、 $b=0$ (圧縮) および 1.0 (伸張) では $\sigma_2 = \sigma_3$ および $\sigma_1 = \sigma_2$ であるので、ヒズミは $\varepsilon_2 = \varepsilon_3$ および $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ となり、三主応力を別々に加える影響は無視できるものと思われる。応力制御式であるのでピークはいずれの場合も見られなかった。圧縮状態 $b=1.0$ に近づくに比例して q/p が減少していくのがよくわかる。全過程を通じ ε_1 は常に収縮し、 ε_3 は膨張しているが、 ε_2 は b の値により、収縮から膨張まで変化している。破壊時の q/p を b の大きさによって表わしたものを図-4に示す。Mohr-Coulombの降伏条件は直線となり、Misesの降伏条件は円となるがいずれの場合とも異なっている。いままでに発表されている降伏条件の代表的なものは、

- a) Lade $J_1^3/J_3 = \text{const}$ (5)
- b) 松岡 (SMP) $J_1 J_2/J_3 = \text{const}$ (6)
- c) Mohr-Coulomb $(\sigma_1 - \sigma_3)/(\sigma_1 + \sigma_3) = \sin \phi$ (7)

ここで、 $J_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ 、 $J_2 = \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1$ 、 $J_3 = \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3$ である。図-5に上記 a) b) c) の降伏条件を縦軸に、 b を横軸にとったものを示す。Mohr-Coulombの降伏条件ではDence, Looseとも $b=0$ 付近で直線からずれる傾向にある。Ladeおよび松岡(SMP)の降伏条件は中間主応力 σ_2 も考慮しており Looseでは、ほぼ直線になりかなりよく合っている。しかし、Denceでは、直線からはずれてくる。この原因は、破壊時付近では、平均主応力一定条件では、 σ_1 方向の荷重増分 0.05 kg/cm^2 が大き過ぎ、偏差応力の間隔が大きいためと考えられる。したがって、荷重増分をもう少し低くすべきと思われる。

4. あとがき

今回の実験では、1)立方供試体に別々に三主応力をラバーバックを通して与えることによる影響は無視できる。2)中間主応力の影響は、せん断特性、降伏条件に大きく影響を与える。3)降伏条件については、Loose等の低い偏差応力で破壊する場合には、Lade, 松岡(SMP)の条件でもある程度満足される、等がわかった。今後の課題としては、 b を途中で変化させたり平均主応力を試験中増大させたり、応力履歴の影響、等方応力を変えた場合や、シルト、粘土等でも実験する必要があると考えている。

5. 参考文献 1. 宮森：多軸応力状態における砂のせん断強さと変形特性 土木学会論文報告集 255号 1976年 2. Lade: Elastoplastic Stress-Strain Theory For Cohesionless Soil. ASCE GT 10 1975 3. 松岡他：空間モービライズド面の意義について 第10回土質工学会研究発表会

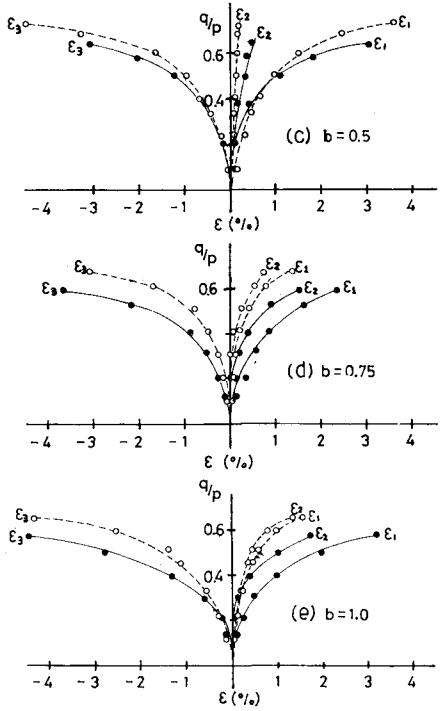


図-3(c)(d)(e) 応力～ヒズミ曲線

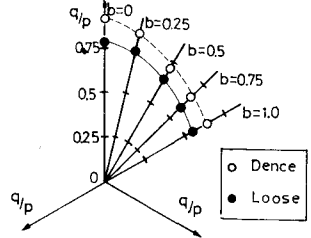


図 4 破壊曲線

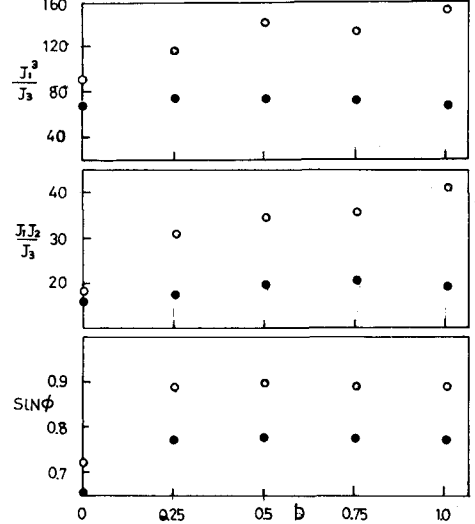


図-5 bと各降伏条件との関係