

三主応力下の砂のせん断特性

徳山工業高等専門学校 正員 藤原 東雄
同上 正員 ○上 俊二

1. まえがき 最近、種々の三主応力可変な三軸圧縮試験機が考案され、異なる三主応力をうける砂のせん断特性について理論的・実験的な研究が多くなされてきた。筆者たちは、ゴム袋載荷方式による三主応力制御試験機を用い、今回は特に供試体の試料・密度の違いが応力とひずみの関係・降伏条件にどのような影響を及ぼすかを検討した。

2. 実験概要 A. 実験装置 前報⁴⁾で述べているように、三方向ともゴム・バックを介して液圧を載荷する応力制御型の三主応力制御試験機である。B. 試料および供試体 試料は、豊浦標準砂および徳山高専敷地内で採取したまさ土を使用し、よく水洗いし、よく空気乾燥させ、標準細ふるい420 μ 通過、74 μ 残留分を使用した。物理的性質は、表-1に示すとおりである。供試体は、10 $\times$ 10 $\times$ 10 cm の立方三軸室に上部より試料を3層に分けて注入し、表-1に示す4種類の供試体を作成した。

C. 実験方法 応力は、平均主応力 $P(=\frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3))$ を一定に保ち、 $b = (\sigma_2 - \sigma_3)/(\sigma_1 - \sigma_3) (\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3)$ 一定なるストレス・パスに沿って載荷した。すなわち図-1に示すようにO $\rightarrow$ Aまで等方圧密し、その後A $\rightarrow$ Pに沿って偏差応力を載荷した。実験は、 $P = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ とし、 b は図-1に示すように5種類とした。排水(排気)状態とし、三方向のひずみはゴム・バック内の水の体積変化量より平均的に算定した。フロー・メーターにより体積の急激に増加する(2.0 cm^3/h 以上)ときの応力を降伏応力とみなした。

3. 実験結果とその考察 応力とひずみの関係 試験結果の代表例として、 $b = 0.5$ の場合の $\sigma_p \sim \varepsilon$ 曲線を図-2に示す。ここに $\sigma = \frac{1}{3}\{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2\}^{1/2}$ である。この図より明らかなように、相対密度について比較するとDenceの方がひずみも小さく、破壊時の応力比も高くなる。また、同一密度にした標準砂とまさ土とは、まさ土の方がひずみが小さく応力比が大きい。これは写真-1から明らかなように、まさ土の粒子の形状が複雑であり、標準砂のように均等性の高い供試体に比較すると破壊角が明確にあられず、破壊時の応力は少し大きくなったものと考えられる。また、まさ土はせん断時に粒子が約1%程度ほど破砕しており、その影響もあるように思われる。 応力とひずみ増分の関係 図-3は、標準砂Denceのひずみ増分方向と偏差応力の方向と主応力空間と主ひずみ空

表-1. 試料の物理的性質

試料名	標準砂		まさ土	
	Loose	Dence	Loose	Medium
比重	2.64		2.63	
乾燥密度 g/cm^3	1.484	1.738	1.283	1.484
孔隙比	0.779	0.519	1.050	0.779
相対密度%	0	100	0	69
均等係数	2.56		2.57	
曲率係数	1.05		1.11	



標準砂



まさ土

0.001

写真-1. 試料の顕微鏡写真

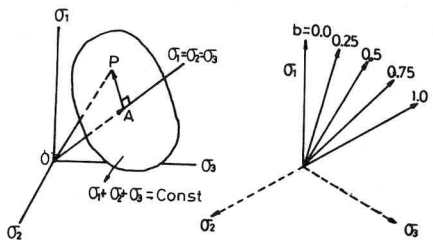


図-1. 試験時の応力経路

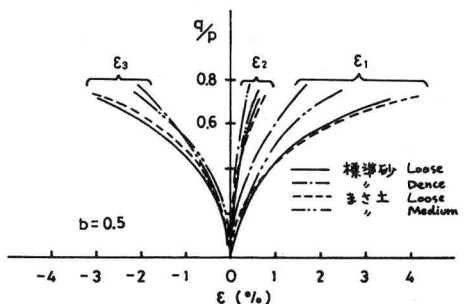


図-2. 応力比 $\sim$ ひずみ曲線

間の元平面を重合させて示したものである。ここでせん断ひずみ増分 $d\gamma = \{(d\varepsilon_1 - d\varepsilon_3)^2 + (d\varepsilon_2 - d\varepsilon_3)^2 + (d\varepsilon_3 - d\varepsilon_1)^2\}^{1/2}$ である。一般に土のような材料では、変形は弾性ひずみより塑性ひずみへと弾塑性遷移してゆく。全ひずみ増分 $d\varepsilon_{ij}$ は、

$$d\varepsilon_{ij} = d\varepsilon_{ij}^e + d\varepsilon_{ij}^p \quad (1)$$

で表わされる。ここで $d\varepsilon_{ij}^e$: 弾性ひずみ増分, $d\varepsilon_{ij}^p$: 塑性ひずみ増分である。また、塑性理論より明らかなように塑性ひずみは、

$$d\varepsilon_{ij}^p = \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} \Lambda \quad (2)$$

で表わされる。ここで、 f : 降伏面の関数, Λ : 正值のスカラー比例係数である。すなわち、塑性ひずみ増分は、降伏面に直交する。今回の実験では、降伏面は図-4に示すようにだ円に近い形をしているので、その割合だけ偏差応力の方向とひずみ増分方向との間にずれが生じたものと考えられる。 $b = 0.0, 1.0$ では、降伏面と偏差応力の方向がほとんど直交していることを意味すると考えられる。降伏面について 空間主応力面において、破壊時の q/p を応力経路によって表わしたものを図-4に示す。試料・密度の違いにより降伏面は多少異なるが、ほぼだ円に近い形をしている。降伏面は、標準砂のように比較的等方性の高い供試体では、密度をパラメータとして統一的に表わせようであるが、まぎ土のように比較的異方性の高い供試体では必ずしもそう言えない。図-5には、代表的な破壊条件と応力経路の方向 b の関係を示したものである。これによると、密度の小さい供試体すなわち低い応力比で破壊する場合、Lade および松岡 (SMP) の降伏条件とよく合っている。

4. あとがき

三主応力下における砂のせん断特性を検討しているが、今回の実験よりさらに次のことが明らかになった。1) 塑性ヒズミが大きくなると、ひずみは降伏面に対して法線方向に増大する傾向がある。2) 比較的小さい偏差応力で破壊する場合は、Lade, 松岡 (SMP) の条件でもある程度満足される。

今後、試験機の機構上に種々の問題点はあるが、応力経路とひずみ経路等の関係を詳しく調べて行こうと思う。

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 GT10, 1975
- (3). Matsuoka : *Stress-Strain Relationships of Sands Based on the Mobilized Plane*, Soils and Foundations, Vol. 14 NO. 2, 1974
- (4). 藤原・上 : 三主応力下の砂のせん断特性, 土木学会中国四国支部講演概要集, 1979年

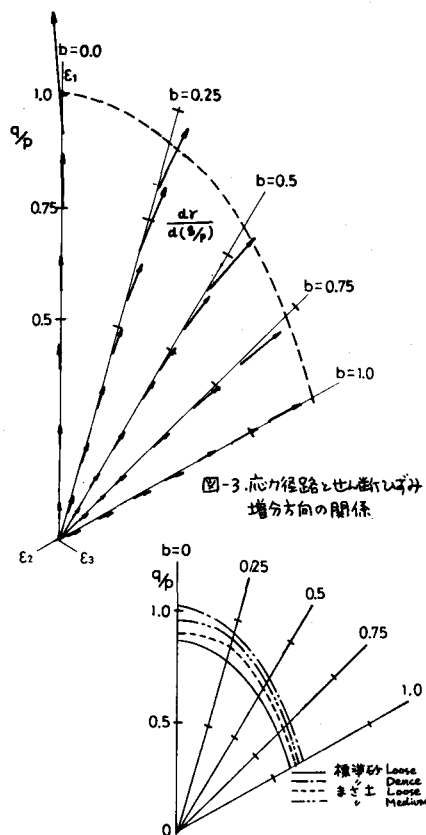


図-3. 応力経路とせん断ひずみ増分方向の関係

図-4. 降伏曲線

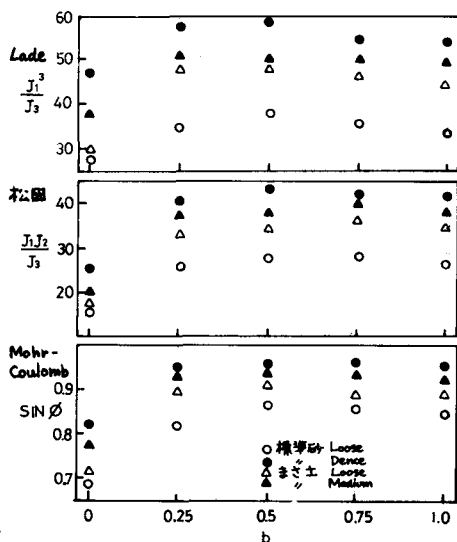


図-5. 応力経路の方向 b と各降伏条件との関係