

京都大学防災研究所 是立 紀尚
京都大学 大学院 ○高橋 哲雄

1. はじめに

土工学の分野で対象となる地球表層部の地盤材料は、大きく分けると粘土土、砂質土、岩石から成り立っている。これらの地盤材料の生成過程を考慮すれば、あらわれる力学的挙動の差異は相対的なものであり、その力学特性は統一的に記述することが可能であると考えられる。本報告では、豊浦標準砂を用い、200 (kgf/cm²) までの拘束圧下において、等方圧縮—膨潤—側圧—一定排水せん断試験を行ない、正規および過圧直状態の砂の強度、変形特性を明らかにし、これまでに得られた粘土土、堆積軟岩の結果と比較検討を行ない、さらに足立ら¹⁾が提案している破壊規準が砂においても適用できようかの検証も行った。

2. 実験手順

実験はすべて空気圧制御式三軸試験装置によって行なった。用いた試料は、飽和した豊浦標準砂である。供試体の寸法は、直径5cm、高さ10cmの円柱形で、その作成には均一でかつ間隙比のばらつきの少ないものを作るために凍結法を用いた。実験に用いた供試体は、すべてゆる詰めであって、その間隙比は、多少のばらつきはあるもののおよそ0.9前後である。凍結した供試体は、ペダスタルの上にセットされたのち、ナイロンメッシュを巻き、ゴムスリーブをかぶせた。したがって、排水は供試体の側方より行なわれている。なお、供試体は、拘束圧5 (kgf/cm²) のもとで融解させた。

実験は、所定の圧力(50, 100, 200 (kgf/cm²))まで数段階に分けて等方圧縮したのち、せん断試験を行なう拘束圧まで再び数段階に分けて膨潤させ、そこでひずみ制御型、側圧—一定排水せん断試験を行なった。せん断速度は、およそ1/3.5 (%/min)である。

3. 実験結果および考察

3-1. $e \sim \log \sigma_m$ 諸関係

粘土土における $e \sim \log \sigma_m$ 面上の諸関係は、標準砂では、拘束圧数十 (kgf/cm²) ~ 数百 (kgf/cm²) 程度であらわれると考えられる。図1、図2は、このことを確かめるために示したものである。図1において、実線は等方圧縮過程、一点鎖線は膨潤過程、破線はせん断過程を表わしている。また、□印はせん断開始時、○印は最大強度、△印は残

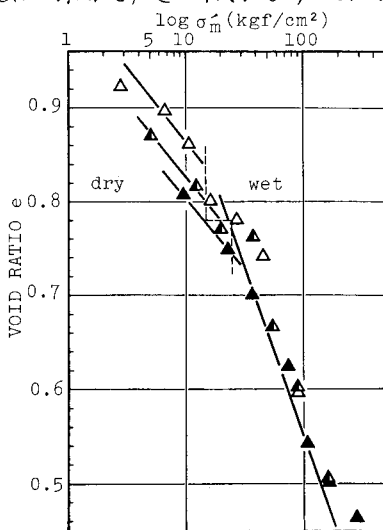


図2. $e \sim \log \sigma_m$ 関係上の限界状態

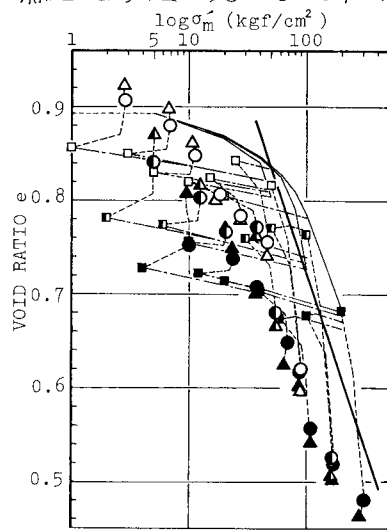


図1. $e \sim \log \sigma_m$ 関係

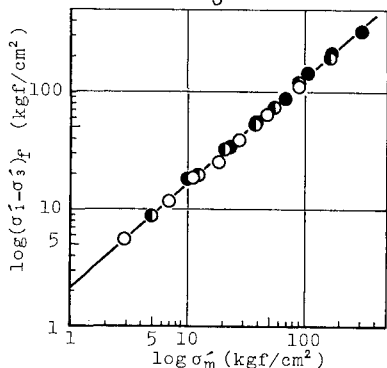


図3. 最大強度時における $\log (\sigma_1 - \sigma_3)_f \sim \log \sigma_m$ 関係

留強度を示し、 $\square \bigcirc \Delta$ は等方圧縮圧力 50 (kgf/cm^2)、 $\blacksquare \bullet \blacktriangle$ は同 100 (kgf/cm^2)、 $\blacksquare \bullet \blacktriangle$ は同 200 (kgf/cm^2) における結果である。この図では、間隙比のばらつきの影響をなくすために、拘束圧 5 (kgf/cm^2) における間隙比を、すべての平均値である 0.893 に一致させ、各プロット点もそれに応じて平行移動させて求めた図である。図 2 は、図 1 における残留強度のプロット点のみを取り出したものである。図 1 の太い実線は、三浦が豊浦標準砂の拘束圧 500 (kgf/cm^2) までの実験より得た処女圧縮線と同じ傾きをもつ直線である。その傾きは、0.37 である。図 2 の直線は、限界間隙比線である。図 1、図 2 より次のことがわかる。

1) 拘束圧が 40 (kgf/cm^2) ぐらいまでは過圧密の領域にあり、40 (kgf/cm^2) を越える付近から処女圧縮線上的にのる。

(図 1)

2) 粘性土および堆積軟岩と同様、砂質土に於いても限界間隙比線が存在し、さらに dry 側には等方圧縮圧力粘性土の先行圧縮圧力に相当の値により、新たに平行なる本限界間隙比線がひける。(図 2)

これらの実験事実より、砂の場合にも圧縮圧力を 50 (kgf/cm^2) 以上を高めると、粘性土あるいは堆積軟岩の場合と同様な $e \sim \log \sigma_m$ 諸関係が成立することがわかる。

3-2 最大強度

最大強度 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ と平均有効主応力 σ_m の関係を両対数紙上で示したものが図 3 である。これによると $\log (\sigma_1 - \sigma_3)_f \sim \log \sigma_m$ においては線型関係が成立することが容易にわかる。足立らの規準、

$$\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_f}{\sigma_{m0}} = \alpha \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_{m0}} \right)^\beta$$

を、図 3 において検証すると、 $\alpha = 2.17$ 、 $\beta = 0.88$ 、相関係数 99.9% となり、十分適用できることがわかる。ただし、 σ_{m0} は基準応力でありここでは $\sigma_{m0} = 1$ (kgf/cm^2) とした。たとえば、大谷石では、 $\alpha = 2.75$ 、 $\beta = 0.86$ となり、直線の傾きは、標準砂と大谷石ではほぼ同じであることがわかる。

3-3 軸差応力～偏差ひずみ関係の規準化

本実験では、等方圧縮圧力 50, 100, 200 (kgf/cm^2) のそれぞれに対して過圧密比 (OCR) が同一になるように調整し、せん断試験を行なった。図 4 (a), (b), (c) は、それぞれ OCR = 1, 10, 50 の軸差応力～偏差ひずみ関係において、軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ を前述の足立らの破壊規準 $\alpha(\sigma_m)^\beta$ で規準化したもので、OCR の等しい砂の軸差応力～偏差ひずみ関係を統一的に説明しようとするものである。図において、 $\sigma_3 = 200 \rightarrow 4$ (kgf/cm^2) というのは、拘束圧 200 (kgf/cm^2) で等方圧縮したのち、4 (kgf/cm^2) まで膨潤し、その拘束圧でせん断試験を行なったことを示している。これらの図では、OCR ごとにそれぞれの曲線は、 $\alpha \sigma_m^\beta$ で規準化すれば比較的よい一致を示し、さらにすべての曲線は最終的に $(\sigma_1 - \sigma_3) / \alpha \sigma_m^\beta = 1$ に漸近する傾向を示している。また、曲線の初期勾配は、OCR が小さいほど小さくなるということがわかる。この規準化による応力～ひずみ関係の数式化が次の提議となる。(参考文献) 1) 足立、小川; 土木学会論文報告集, No. 295, 1980

2) 三浦; 土木学会論文報告集, No. 282, 1979

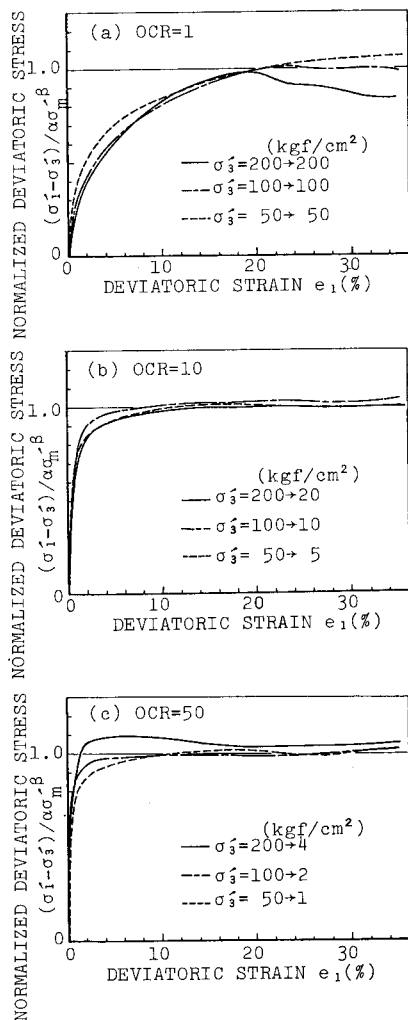


図 4. 規準化応力 $\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\alpha \sigma_m^\beta}$ ～ 偏差ひずみ e_1 関係