

北海道大学大学院 学生員 前田 健一
 北海道大学工学部 正員 三浦 均也
 北海道大学工学部 学生員 京屋 宜正
 北海道大学工学部 正員 土岐 祥介

1. まえがき 著者らはこれまで、砂の変形・破壊挙動に及ぼす鉱物組成、粒子形状、粒度組成などのいわゆる砂の一次的性質の影響について調べ、砂の変形・強度特性が砂の種類によってどのように変化するのかを示してきた¹⁻³⁾。本研究では、等方圧密・膨張時に着目し、一次的性質の影響を検討している。

また、その結果に基づいてメンブレン貫入量を算定し、一次的性質との関連についても検討している。

2. 用いた試料および試験方法 本研究においては、珪砂A(CA-SAND)、珪砂B(CB-SAND)、豊浦砂(TO-SAND)、相馬砂(SO-SAND)の4種類の砂試料と、軽量骨材(L.W.A.)、グラスビーズ(G.B.)の粒度調整を行い、広範囲な粒子寸法を有する均等粒径試料($U_c < 1.55$)を準備している。砂の特徴・粒度分布の調整方法は別報¹⁾に詳しい。用いた試料全部について、比重、間隙比、粒子形状、破砕性などの基本的な性質を調べている^{1,3)}。著者らのこれまでの研究によって、その試料の取り得る粒子骨格構造の変化の自由度に対応している間隙比の幅($e_{max} - e_{min}$)がせん断応力を受けた時の変形特性をよく説明できることが分かっている^{2,3)}。

供試体はバイブレータ法により作成し、相対密度を一定($Dr=70\%$)とした。変形挙動は、すべて通常の三軸圧縮試験装置を用いて行った。実験は飽和供試体を有効応力196 kPaで等方圧密した後、等方圧密・膨張試験を行った。等方応力 σ_c の変化は、19.6→98.0→19.6→196.0→19.6→196.0(kPa)と設定し、載荷・除荷の各段階における応力の変化量は19.6kPaであった。

3. 試験結果 珪砂A($D_{max}=600, D_{min}=425 \mu m$)、グラスビーズ($D_{50}=840 \mu m$)、軽量骨材(L.W.A-850-600)についての試験結果を図1(a-c)に示している。変形の特徴を示し、パラメータを定義するために図2を用意した。図中①④は載荷過程、②は除荷過程、③は再載荷過程と呼ぶことにする。各載荷段階終了時の変形は、 $(\epsilon_a)_l, (\epsilon_v)_l$ 、除荷終了時の変形は残留ひずみ $(\epsilon_a)_r, (\epsilon_v)_r$ によって表わしているので、除荷時の変形は、次式で得られる。

$$(\epsilon_a)_u = (\epsilon_a)_l - (\epsilon_a)_r, (\epsilon_v)_u = (\epsilon_v)_l - (\epsilon_v)_r \quad (1)$$

3.1 等方載荷・除荷時に見られる変形挙動 変形挙動の特徴を簡単に示すと、次のようになる。1)本研究の応力レベルでは、除荷時の軸変形量と再載荷時の軸変形量はほぼ同じ程度であるといえる(○a)。ただし、粒子自体が脆い軽量骨材などにおいては、若干再載荷時のほうが大きく変形が蓄積している。(○a') 2)除荷時の等方拘束圧とひずみの関係は、載荷時・再載荷時のものに比べて非線形性が大きくなっている。3)ほとんどの試料において、除荷時の軸変形量は載荷時の軸変形量に比べて小さく、除荷

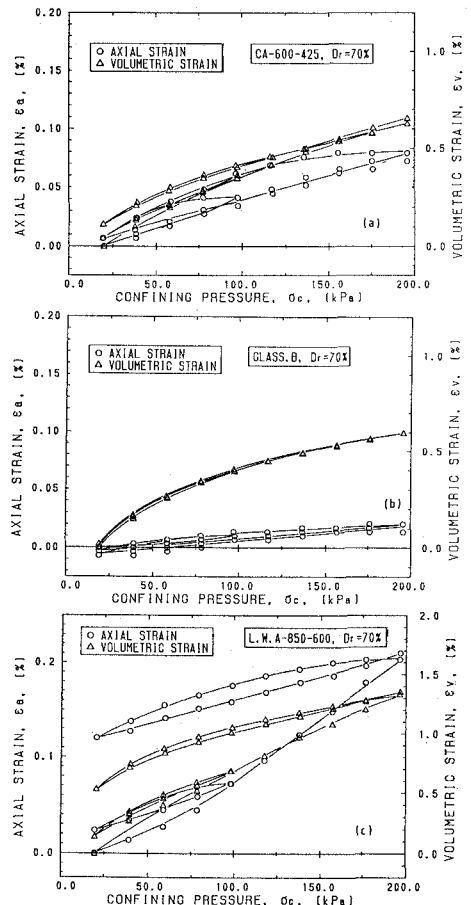


Fig. 1

終了時に残留ひずみを生じている(○b)。しかし、グラスビーズや粒子寸法が大きくて粒子形状が丸い砂試料においては、除荷終了時の軸ひずみ量(○b')はかなり小さく、あるいは負となっている。供試体に、等方応力が負荷された場合でも、供試体内部の構造はランダムであるため、粒子接点ではせん断力が動員される。このため、局所的にはせん断変形が生じていると考えられる。この効果によって、負の残留変形も発生し得ると考えている。4) 粒子寸法が大きな試料においては、体積変化量は軸変形量の3~10倍程度とかなり大きくなっている。これは、メンブレンの貫入によるものと言える。

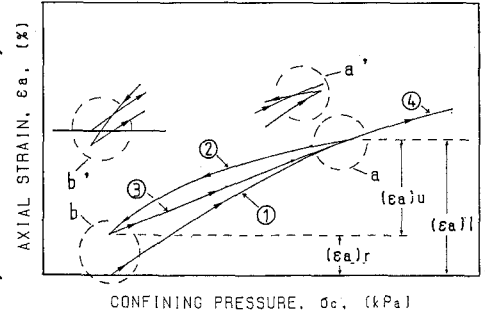


Fig. 2

4. 等方除荷時の変形特性 ここでは、メンブレン貫入の影響がない軸変形について、圧縮指数 $Cc' = (\epsilon a) / \Delta \log \sigma c$ と膨張指数 $Cs' = (\epsilon a)u / \Delta \log \sigma c$ を定義して検討する。図3(a, b) には Cc' , Cs' と間隙比の幅 $(e_{max} - e_{min})$ の関係を全試料について示している。 Cc' , Cs' と間隙比の幅の間には、良い正の相関関係が認められる。ただし、この関係を代表する直線の傾きは負荷した拘束圧が大きいほど大きくなっている。 Cc' , Cs' は一定値にはならず拘束圧の範囲に依存して変化する。

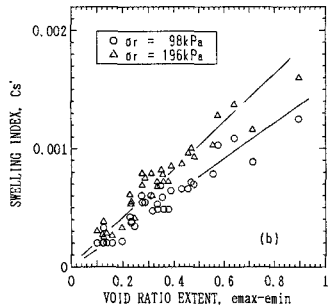
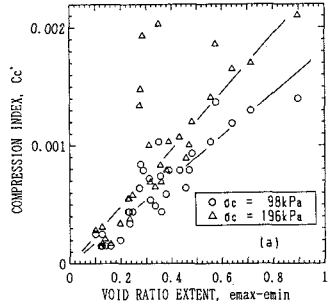


Fig. 3

5. メンブレン貫入量の算定 除荷時の変形挙動に基づいてメンブレン貫入量と粒子寸法の関係を算定した。算定方法はNewland&Allelyの方法^{4), 5)}に基づいている。等方負荷した場合に、供試体は等方的に変形するものと仮定すると、メンブレン貫入による単位面積あたりの体積変化量 ΔVm は、次式のようなになる。

$$\Delta Vm = \{(\epsilon v)u - 3 \times (\epsilon a)u\} \times V0 / A0 \quad (2)$$

ここで、 $V0$, $A0$ は除荷開始時の供試体の体積と側面積である。ただし、3.1で述べたように等方的に応力を負荷した場合でも、変形が等方的であるとは限らない。この方法はあくまでも粒子寸法の影響を評価するための目的で用いた。図4 には、式(2)より算定した単位面積当りのメンブレン貫入量 ΔVm と粒子寸法 $D50$ の関係を示している。図から明らかのようにメンブレン貫入量は、粒子寸法と拘束圧の大きさに影響されるものの、粒子形状の影響はみられなかった。 ΔVm と $D50$ の関係について両対数紙上等、種々の近似を試みた結果、次式のような一次関数を用いると、最も良く近似することができた。

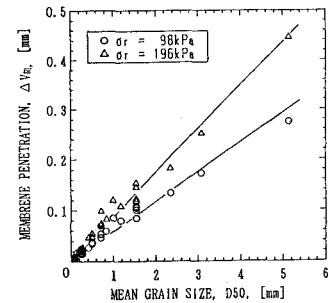


Fig. 4

$$\sigma c = 98 \text{ kPa の場合 } \Delta Vm(\text{mm}) = 0.05843 \times D50(\text{mm}) \quad (3)$$

$$\sigma c = 196 \text{ kPa の場合 } \Delta Vm(\text{mm}) = 0.08715 \times D50(\text{mm}) \quad (4)$$

メンブレン貫入量の拘束圧・相対密度の依存度がなんらかの方法によって得られれば、式(3), (4)の関係を導入することにより、種々の試料のさまざまな条件下におけるメンブレン貫入量を推定することが可能となる。

[参考文献]

- 1) 三浦, 土岐, 長谷川, 松本(1989): 第24回土質工学研究発表会, pp. 535-538.
- 2) 三浦, 土岐, 長谷川(1989): 第24回土質工学研究発表会, pp. 539-542.
- 3) 前田, 三浦, 京屋, 土岐(1991): 第28回土質工学研究発表会, 掲載予定.
- 4) Newland, P. L. and Allely, B. H. (1957): Geotechnique, Vol. 7, No. 1, pp. 17-34.
- 5) Newland, P. L. and Allely, B. H. (1959): Geotechnique, Vol. 9, No. 4, pp. 174-182.