

砂の圧縮特性に関する基礎的考察

立命館大学大学院 学生員 ○小山 桃太
 前田道路(株) 南 邦亮
 立命館大学理工学部 正会員 福本 武明

1. はじめに 著者らの研究室では、以前から砂の圧縮特性に関する実験的研究を継続しており、その都度得られた主要な研究成果を公表してきた^{1)~8)}。本報では、これまでの成果を踏まえ、砂の重要な特性値である圧縮降伏応力 p_c に着目し、圧縮過程で生じる粒子破碎現象の p_c への密接な関与を明確にしようと試みるとともに、単粒子強度試験を行い平均単粒子強度 \bar{p} を求め、 \bar{p} と p_c との関連性についても検討したので、その結果についてここに報告する。

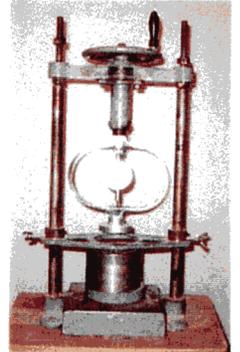


Fig.1 簡易圧縮試験機

2. 実験方法 試料は、Table 1 に示すように、しらすと 4 地方の真砂土、相馬砂、碎石を用い、同一条件(絶乾状態,粒径:0.85~0.60mm,相対密度: $D_r=95\%$)で実験を行った。試料を鋼製モールド(内径 60mm,深さ 40mm)に詰め、これを標準圧密試験機にセットし圧密圧力 $p=0.01,0.02,0.04,0.08,0.16,0.32,0.64$ MPa まで段階的に载荷した後、油圧式高圧圧縮試験装置⁹⁾に移して $p=1.25,2.5,5,10,20,40,69.4$ MPa まで载荷した。各载荷段階後の供試体の粒子破碎状況を調べるために、ロータップ型振とう機を用いて

試料	状態	粒径 d (mm)	相対密度 D_r (%)	比重 G_s	最大密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	最小密度 ρ_{dmin} (g/cm ³)
しらす	絶乾	0.85~0.60	95	2.501	1.106	0.835
生駒真砂土				2.648	1.402	1.093
田上真砂土				2.590	1.370	1.050
比叡真砂土				2.678	1.468	1.174
六甲真砂土				2.639	1.431	1.069
相馬砂				2.650	1.619	1.335
碎石				2.713	1.520	1.174

粒度分析を行った。一方、各試料から無作為に 30 個の粒子を取り出し、簡易圧縮試験機(Fig.1)の台座上に粒子を無理なく置き、一定の载荷速度(13.6mm/min)で圧縮し、破壊時のダイヤルゲージの読みを測定した。ダイヤルゲージの読み R にプルーピング係数 k を乗し、次式から破壊荷重 P (N) を求める。

$$P=kR \dots\dots\dots (1)$$

3. 実験結果と考察

3.1 高圧圧縮試験

○ $e-\log p$ 曲線 Fig.2 に、今回の 7 種類の試料で得られた $e-\log p$ 曲線を示す。図から、脆い粒子の砂ではかなり低い载荷応力段階から間隙比の減少が認められ、特に、しらすの場合には、 $p=1$ MPa あたりから e が急激に減少する。これに対して、堅固な粒子からなる碎石や相馬砂の間隙比は 10MPa あたりから急激に減少する傾向にある。このように脆い砂と硬い砂の $e-\log p$ 曲線の対比から、粒子の硬軟による圧縮特性への影響が極めて大きいことが理解できる。

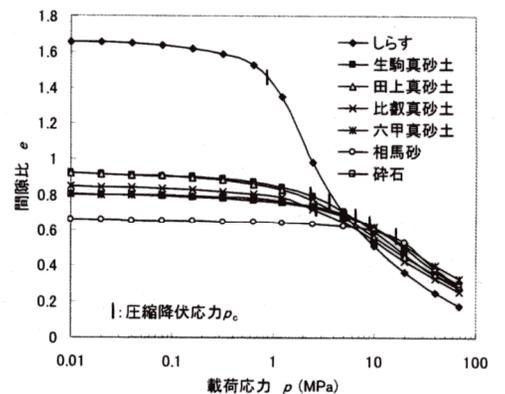


Fig. 2 $e-\log p$ 曲線

○ $I_s-\log p$ 曲線 各载荷段階終了後、供試体を取り出して粒度分析した結果から粒子破碎量 I_s を式(2)で算定し、载荷応力 p に対しプロットしたものが Fig.3 である。なお式(2)中の S_w は試験前の比表面積 (cm²/g)、 S_w' は試験後の比表面積 (cm²/g) である。Fig.3 から、堅固な粒子の碎石や相馬砂の場合、载荷応力 $p=10$ MPa まではほとんど破碎せず非破碎性材料と見なすことができるが、それを越えると急激に破碎が進むことが分かる。これに対し、しらすや真砂土では $p=1$ MPa の低い圧力下でも相当の粒子破碎を起こしていることが認められる。

$$I_s = 2.3 \cdot \log \left(\frac{S_w'}{S_w} \right) \dots\dots\dots (2)$$

キーワード 砂, 圧縮降伏応力, 粒子破碎応力, 平均単粒子強度

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1, TEL ; 077-566-111 (内線 8717), FAX ; 077-561-2667

○**圧縮降伏応力 p_c と粒子破碎応力 p_b の関係** 各試料の $e-\log p$ 曲線を見ると、ある応力までは緩やかに間隙比が減少していくが、ある応力を境に急激に間隙比が減少しており、周知の粘性土の場合の $e-\log p$ 曲線と非常に良く似た形状をしている。それ故、粘性土に対する三笠の方法に準じて、砂の圧縮降伏応力 p_c を求めることにした。他方、粒状土の粒子破碎現象を明確化する一特性値として、 $I_s - \log p$ 曲線上で粒子破碎が顕著化し始める応力、すなわち粒子破碎応力 p_b を提案する。この p_b の図上の位置は、前後の直線部分を延長しその交点として求めた。上のようにして得られた p_b と p_c の関係をプロットすれば Fig.4 のようになる。図から、各試料とも 45° の線上にほぼ並び、両者が不可分の相関関係にあることがわかる。

3.2 単粒子強度試験

ここでは、砂の構成粒子に注目し、その破壊強度を単粒子強度試験により求め、砂の圧縮特性、特に圧縮降伏応力 p_c との関連性を考察していく。

○**平均単粒子強度 \bar{p} の算定** 砂粒子の形状を 14 面体と仮定し、載荷板と砂粒子の接触面積 A を式(3)から求める。式中、 a は粒

$$A = \frac{ab}{800} \dots\dots\dots (3)$$

子の水平長軸の長さ(mm)、 b は粒子の水平短軸の長さ(mm)である。故に、砂の単粒子強度 p と平均単粒子強度 \bar{p} はそれぞれ式(4)、(5)より求まる。N は試験に供した粒子の数である。

$$p = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (4)$$

$$\bar{p} = \frac{\sum p}{N} \dots\dots\dots (5)$$

○**圧縮降伏応力 p_c と平均単粒子強度 \bar{p} の関係** 単粒子強度試験より得られた各試料の平均単粒子強度 \bar{p} と、高圧圧縮試験より得られた圧縮降伏応力 p_c との関係を一括図示したものが Fig.5 である。図より \bar{p} と p_c は非常に相関性がよく、両対数紙上でユニークな直線上にほぼ並んでいることが分かる。このことは、 \bar{p} を求めるだけで容易に砂の p_c が求められることを意味する。

4. **結び** 以上より、砂の圧縮降伏応力 p_c と粒子破碎応力 p_b との間に深い相関関係があること、及び、 p_c を平均単粒子強度 \bar{p} から推定可能であることなどが判明した。今後は、上記の知見が他の粒状土でも成り立つか否か、広く検討していきたい。

【参考文献】1) 福本武明, 福田英和, 岡部康夫: まさ土の圧縮特性に及ぼす粒子破碎の影響, 第28回土質

工学研究発表会, pp.457~458, 1993 2) 福本武明, 野口進, 中木村尚史: 砂の高圧圧縮特性, 平成7年度土木学会関西支部年次学術講演会, pp.Ⅲ-21-1~2, 1995 3) 野口進,

福本武明: 高圧下での砂の圧縮特性に関する考察, 土木学会第53回年次学術講演会, pp.386~387, 1996 4) 野口進, 澤井大祐, 福本武明: 高圧圧縮時の砂の粒子破碎特性, 平

成9年度土木学会関西支部年次学術講演会, pp.Ⅲ-58-1~2, 1997 5) 澤井大祐, 喜田啓介, 野口進, 福本武明: 高圧下における砂の $e-\log p$ 特性, 土木学会第53回年次学術講

演会概要集, pp.380~381, 1998 6) 澤井大祐, 喜田啓介, 福本武明: 砂の高圧圧縮特性に及ぼす水侵の影響, 土木学会第54回年次学術講演会, pp.348~349, 1999 7) 小山桃

太, 福本武明: 脆い粒子から成る砂の圧縮特性に関する考察, 平成14年度土木学会関西支部年次学術講演会, pp.Ⅲ-3-1~2, 2002 8) 福本武明: まさ土の圧縮特性に関する

考察, 土木学会第38回年次学術講演会概要集, pp.565~566, 1983

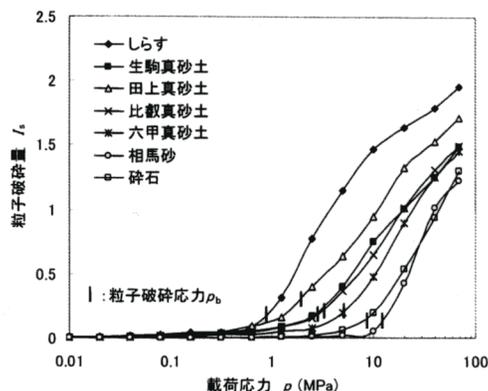


Fig. 3 $I_s - \log p$ 曲線

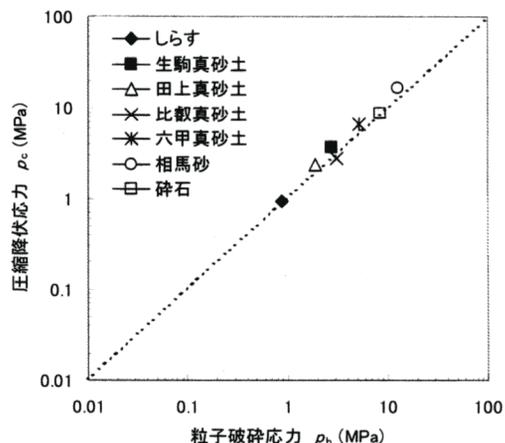


Fig. 4 p_c と p_b の関係

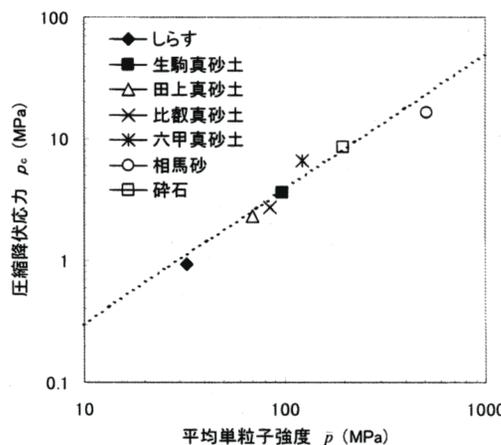


Fig. 5 p_c と \bar{p} の関係