

## しらすのせん断特性に及ぼす粒子破碎の影響

立命館大学大学院 学生員 橋口正悟 西村建設 内山高弘  
立命館大学理工学部 正会員 福本武明

### 1. はじめに

しらすは、主成分鋇物が火山ガラスから成る砂質系の粒状土で破碎を生じやすく日本の特殊土<sup>1,2)</sup>の一つに数えられており、典型的な災害土でもある。このような脆弱な粒子から成る粒状土のせん断特性は、多くの人が指摘<sup>3)</sup>するように通常の応力下でもそのせん断過程において相当量の粒子破碎を生じるため、堅固な粒子から成る粒状土の場合に比べてかなり異質なものとなる。このような粒子破碎現象のせん断特性への影響量を具体的に知ることは設計施工上重要であるにもかかわらず未だ明らかにされていない現状である。そこで本報では、既報<sup>4)</sup>に引き続きさらに考察を行い、しらすのせん断過程における粒子破碎の程度を詳しく調べるとともに、せん断特性への影響がどの程度のものかに着目し定量的に把握しようと試みたので、その結果について報告する。

### 2. 粒子破碎の影響量の推定

福本<sup>5),6)</sup>は、まさ土の締固め特性と透水性に及ぼす粒子破碎の影響について基本的考察を行い、脆い粒状土の粒子破碎に伴う密度増加が式(1)で推量できることを提示した。ここで、 $d$ は実測上の乾燥密度( $g/cm^3$ )、 $d'$ は粒子破碎を生じない状態で得られた仮想上の、つまり'無破碎状態'の乾燥密度( $g/cm^3$ )、 $s$ は土粒子密度( $g/cm^3$ )、そして  $I_s$  は粒子破碎量である。なお、 $I_s$  は式(2)で定義される量である。式中の  $S_w', S_w$  はそれぞれ破碎後と破碎前の比表面積 ( $cm^2/g$ ) である。式(1)を  $d$  のかわりに間隙比  $e$  で表現すれば式(3)のようになる。式(3)がせん断試験

$$d' = \frac{d}{1 + 0.19(1 - \frac{d}{\rho_s \cdot w}) \cdot I_s} \quad (1)$$

$$I_s = 10 \cdot \log_{10}(S_w' / S_w) \quad (2)$$

$$e_0 = e + 0.19e \cdot I_s \quad (3)$$

$$\varepsilon_{v0} = \varepsilon_v + \varepsilon_{vc} = \varepsilon_v + 0.19 \frac{e_s}{1 + e_c} I_s \quad (4)$$

$$\left( \frac{\sigma_1}{\sigma_3} \right)_0 = \left( \frac{\sigma_1}{\sigma_3} \right) + K \frac{d\varepsilon_{vc}}{d\varepsilon_1} \quad (5)$$

時においても成り立つとすれば、式(3)の関係をせん断過程時の体積ひずみ  $\varepsilon_v$  を用いて書き直し、式(4)が得られる。ここで、 $\varepsilon_{v0}$  と  $\varepsilon_v$  はそれぞれ'無破碎状態'と実測された体積ひずみ、 $e_c$  と  $e_s$  はそれぞれ圧密終了後とせん断過程における間隙比、 $I_s$  はせん断過程における粒子破碎量(せん断の場合、 $S_w', S_w$  はせん断中と圧密終了直後の比表面積)である。上式の関係から脆い粒子から成る粒状土の無破碎状態の軸ひずみに伴う体積変化を推定することができる。

次に Rowe<sup>7)</sup>の応力-ダイレイタンシー式を用いれば、無破碎状態の主応力比  $(\sigma_1 / \sigma_3)_0$  は、式(5)により表される<sup>8)</sup>。式中、右辺第一項の  $(\sigma_1 / \sigma_3)$  は実測主応力比、右辺第二項の  $K(d\varepsilon_{vc} / d\varepsilon_1)$  は粒子破碎によるダイレイタンシー効果減少分に相当するエネルギー補正項であり、 $K$  は材料定数である。

### 3. 試験方法及び結果

試料は、鹿児島県川辺郡で採取したしらすをふるい分け、粒径 0.85~0.60mm のものを取り出して絶乾状態にしデシケータ内で室温に冷やしたものを使用した。

Table-1 試料の物理試験結果

試料	粒径 (mm)	相対密度 $D_r$ (%)	最大密度 $d_{max}$ ( $g/cm^3$ )	最小密度 $d_{min}$ ( $g/cm^3$ )	土粒子密度 $s$ ( $g/cm^3$ )
しらす	0.85~0.6	80	1.078	0.833	2.363

なお、しらすの物理試験結果を Table-1 に示す。せん断試験は、供試体の相対密度を  $D_r$  80%、ノルウェー型三軸圧縮試験機により拘束圧を 196kPa に設定し CD 条件下で実施した。また、粒子破碎現象をより詳細に把握するためにあらかじめ決めておいた軸ひずみ(4ヶ所)で試験を停止し、その都度ふるい分けを行い粒子破碎量  $I_s$  を測定することにした。得られた応力-ひずみ-体積変化関係を Fig.2(a)に示す。Fig.2(b)には、せん断に伴う粒子破碎量  $I_s$  の変形状況を示す。まず、(b)図よりせん断に伴って粒子破碎量が増加し、ピーク強度に近づく頃から少し鈍化することがわかる。また、(a)図よりしらすの応力-ひずみ関係が、堅固な粒状土の場合と異なり明瞭なピークを示さず、キーワード；しらす、粒子破碎、せん断、変形

住所；滋賀県草津市野路東 1-1-1，電話；077-566-111（内線 8717），FAX；077-561-2667

体積変化も密な状態にもかかわらず体積膨張を示さず一貫して収縮挙動を示すことがわかる。

しらすのこのような特異性の背景に粒子破碎現象が密接に絡んでおり、この関連の具体的な確認を次節で試みたい。

4. 無破碎状態の応力-ひずみ-体積変化関係

Fig.3 は、実験データに基づき、2 節で述べた方法によりしらすのせん断過程で粒子破碎を起こさずに変形したと仮想した場合の、いわゆる‘無破碎状態’の応力-ひずみ-体積変化関係を推量し描いた図である。同図上には、比較のために四種の堅固な粒子からなる砂(愛知川砂,木津川砂,相馬砂,豊浦砂)に対応する応力-ひずみ-体積変化関係( $D_r = 80\%$ 、 $\sigma_3 = 196\text{kPa}$ )を一括併記してある(半透明部分参照)。まず(b)図から説明すると、式(4)より粒子破碎に起因する体積変化量  $v_c$  が推定でき、実測値  $v_v$  に加算して無破碎状態の体積変化  $v_0$  が求まる。こうして得られた  $v_0 - \epsilon_1$  曲線は、最初若干収縮し軸ひずみの増大とともに体積膨張がみられ、堅固な粒子から成る砂の体積変化の曲線に似通ったものとなる。

次に Fig.3(a)であるが、これは式(5)より  $K(d_{vc}/d_{v1})$  の推定値に実測値( $\sigma_1/\sigma_3$ )を加算することによって無破碎状態の主応力比( $\sigma_1/\sigma_3$ )<sub>0</sub> が定まる。その際、材料係数  $K = 3.0$ (実測値)を用いた。こうして得られた無破碎状態の応力-ひずみ関係は、堅固な粒子から成る砂の応力-ひずみ関係と同様に明確なピークを有し、ピーク強度も諸砂に匹敵する値を持つものであることが一目で確認できる。このことから、しらすのせん断特性における主応力比への粒子破碎の影響量が、この場合、最大で 3.34 kPa 程度の大きさであることがわかる。

5. まとめ

以上により、しらすの応力-ひずみ-体積変化関係の特異性に対する粒子破碎現象の大きな関与が、定量的に確認できた。引き続き今後、破碎性地盤材料としてのしらすのせん断抵抗角、変形係数などせん断特性全般にわたって粒子破碎の影響量を明確にしてゆきたい。

参考文献

1) 土質工学会編:日本の特殊土, pp.107-126, 1974. 2) 北村良介:破碎性土の力学特性と破碎性地盤の工学的諸問題, 土と基礎 vol.48, pp.3-6, 2000. 3) 例えば三浦清一, 八木一善:火山灰質粒状土の圧密・せん断による粒子破碎とその評価, 土木学会論文集 No.561/ -38, 257-269, 1997. 4) 橋口正悟, 伊藤謙司, 福本武明:しらすのせん断特性に関する一考察, 土木学会第 56 回年次学術講演会概要集, pp.614-615, 2001. 5) 福本武明:もろい粒状体のせん断特性に関する考察, 第 17 回土質工学研究発表会, pp.469-472, 1982. 6) 福本武明:粒子破碎現象の定式化, 第 32 回地盤工学会研究発表会, 1997. 7) Rowe, P.W.: The Stress-dilatancy Relation for Static Equilibrium of an Assembly of Particles in Contact, Proc. Roy. Soc. London, Ser. A, Vol. 269, pp. 500 ~ 527, 1962 8) 福本武明, 橋口正悟:脆弱粒子から成る粒状体のせん断特性, 土木学会第 57 回年次学術講演会概要集, 2002.

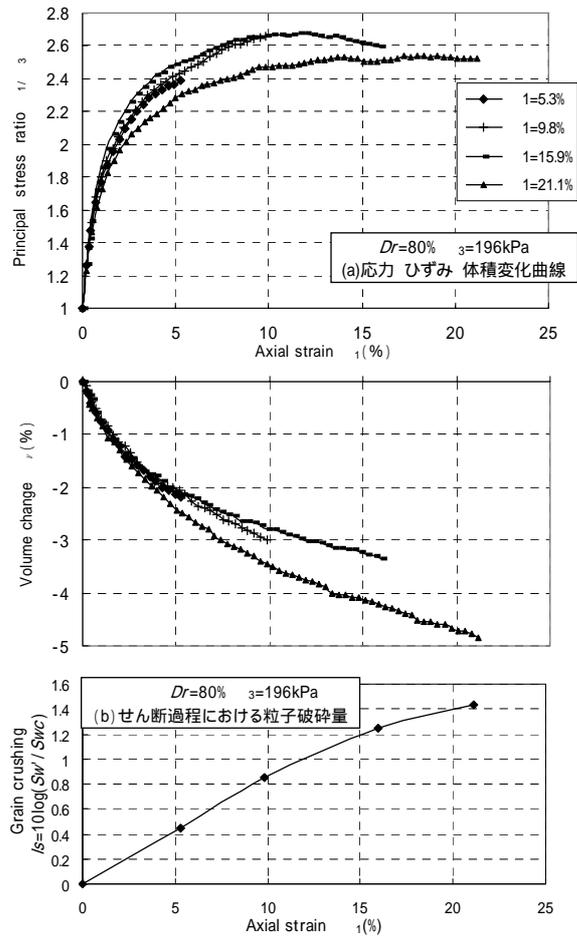


Fig.2 しらすの応力-ひずみ-体積変化関係

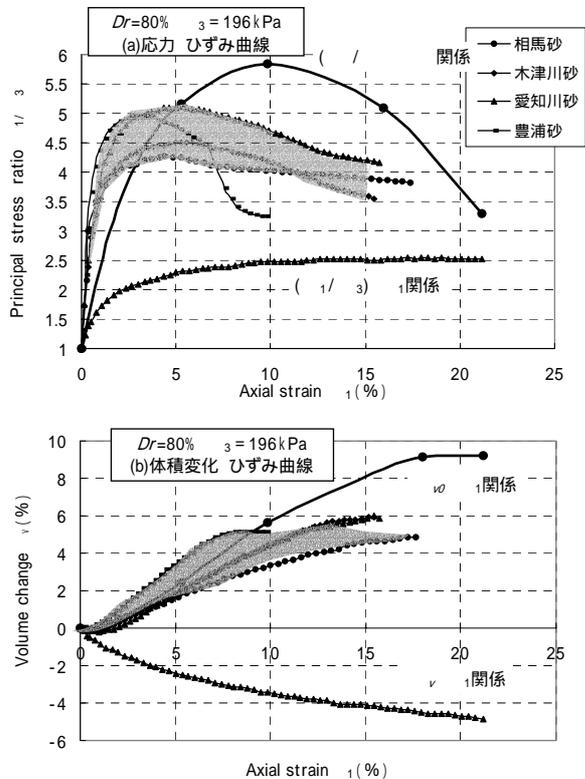


Fig.3 無破碎状態の応力-ひずみ-体積変化関係