

脆弱粒子から成る粒状体のせん断特性

立命館大学理工学部○正会員 福本武明

立命館大学大学院 学生員 橋口正悟

1. はじめに

関西以西に多く分布する真砂土や九州地方のしらすなどは、わが国の典型的な砂質系の特殊土である。この種の土、いわゆる脆弱粒子から成る粒状体のせん断特性の特異性を理解することは、設計施工上極めて重要なことである。そこで著者らは、先ずせん断特性の硬・軟粒子による差異を鮮明にして粒子破碎を伴うせん断変形機構がどのようなものかその様子を具体的に知るために、鋼棒とチョーク棒を二次元粒子モデルとして選び、二軸圧縮試験を実施して比較検討を行った。既にせん断変形機構などに関する詳細な比較検討結果については、公表済み¹⁾であるのでそれを参照されたい。本報では、鋼棒とチョーク棒の積層体に対する応力-ダイレイタンスー関係の差異に着目し、脆い粒状体のせん断特性に内在する粒子破碎の影響量の推測に主眼を置いて考察を行ったので、その結果について報告する。

2. 二軸圧縮モデル実験

堅固な粒子と脆弱な粒子から成る粒状体のせん断挙動を比較するために、二次元粒子モデルとして鋼棒(直径10mm,長さ80mm,密度2.78g/cm³)とチョーク棒(直径10.5mm,長さ63.5mm,密度1.72g/cm³)を用い、それらを Fig.1 に示す二軸圧縮試験装置の中に密詰め状態で積み上げて供試体(積層体)を作製し、その両側面から拘束圧 σ_3 (鋼棒:98kPa,チョーク棒:127kPa)をかけた状態で上下方向に一定のひずみ速度(供試体高さの1%/min)で二次元的圧縮载荷を行った。なお、実験装置を含む試験方法の詳細については、紙面の都合上文献1)に譲る。

二軸圧縮モデル実験の結果、得られた鋼棒とチョーク棒積層体の応力-ひずみ-体積変化関係を対比して示せば、Fig.2 のようになる。図から直感的に察知できることは、鋼棒とチョーク棒積層体の応力-ひずみ曲線の傾き、すなわち変形性に顕著な差異が現れること、それと連動してピーク強度やピークに至るまでの変形量、あるいは体積変化の状況にも相当な差異が生じることなどである。こうした差異の主因がせん断中に生起する粒子破碎現象にあることは明白である。

3. 応力-ダイレイタンスー関係

Fig.3 は、前述の Fig.2 において(b)図中の凹凸の激しい実測線(ε_v - ε_1 関係)をならした平均的な曲線(図中の点線)を用い、応力とダイレイタンスーの関係に整理し直して示したものである。図から明らかなように、粒子の硬・軟を問わず Rowe²⁾の応力-ダイ

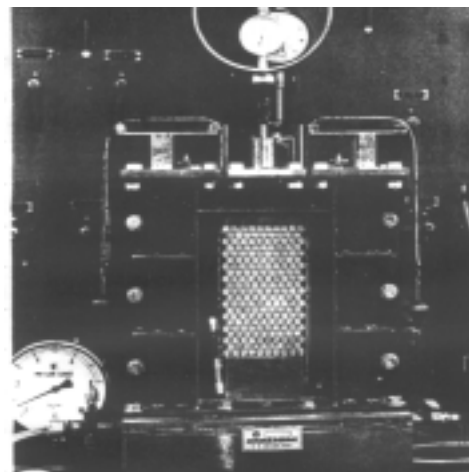


Fig.1 二軸圧縮試験装置

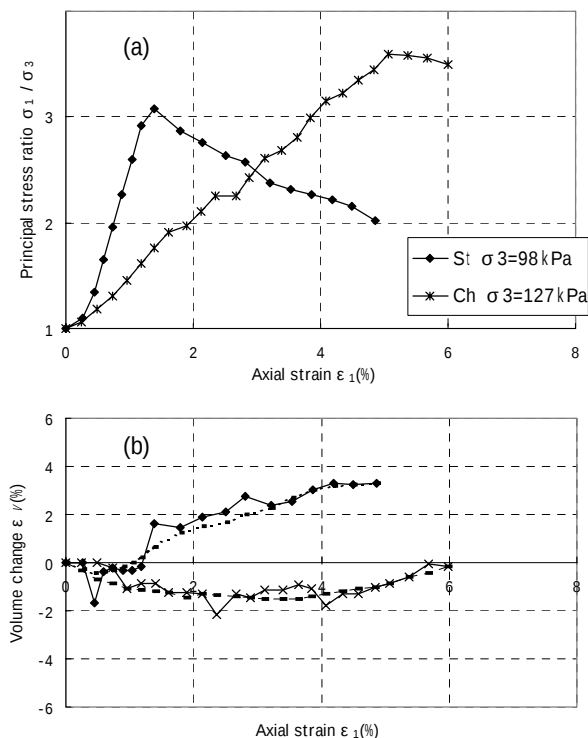


Fig.2 密な配列の鋼棒とチョーク棒積層体の応力-ひずみ-体積変化関係

キーワード；二軸圧縮試験，脆い粒状体，粒子破碎，せん断

住所；滋賀県草津市野路東 1-1-1，電話；077-566-1111（内線 8228），FAX；077-561-2667

レイタンシー式, すなわち次式が成り立つ。

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_3}\right) = K \left(1 + \frac{d\varepsilon_v}{d\varepsilon_1}\right) \quad \dots (1)$$

式中の K は, 材料定数と考えられ今回の場合, 鋼棒で約 1.32, チョーク棒で約 2.26 程度の値である。

4. 粒子破碎の影響量の推測

Rowe の応力-ダイレイタンシー式が硬・軟粒子を問わず成り立つという実験事実に基づけば, 次のような議論が可能と思われる。

まず'無破碎状態'の粒状体の定義を, 対象とする脆い粒状体(今回の場合, チョーク棒積層体)と同一物性を保有しながら, せん断過程で全く粒子破碎を生じない状態で変形するような仮想上の粒状体とする。このような'無破碎状態'の粒状体の応力 $(\sigma_1/\sigma_3)_0$ とダイレイタンシー $(d\varepsilon_{v0}/d\varepsilon_1)$ の間にも Rowe の式が成り立つと考えられることから式(2)が成り立つ。

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_3}\right)_0 = K \left(1 + \frac{d\varepsilon_{v0}}{d\varepsilon_1}\right) \quad \dots (2)$$

いま対象の脆い粒状体に対する式(1)とこの式(2)から次式が得られる。

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_3}\right) = \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_3}\right)_0 - K \left(\frac{d\varepsilon_{v0}}{d\varepsilon_1} - \frac{d\varepsilon_v}{d\varepsilon_1}\right) \quad \dots (3)$$

ここで

$$\frac{d\varepsilon_{v0}}{d\varepsilon_1} - \frac{d\varepsilon_v}{d\varepsilon_1} = \frac{d\varepsilon_{vc}}{d\varepsilon_1} \quad \dots (4)$$

とおけば, 式(3)は次式のように書ける。

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

式中の右辺第二項が粒子破碎の影響量であり, 別文献³⁾⁴⁾の考察から推量可能と思われる。それ故, 無破碎状態の応力-ひずみ関係は, 式(5)から求められる。Fig.4 は, 以上の考え方を図示したものである。

5. 結び

以上より, 硬・軟粒子を問わず Rowe の応力-ダイレイタンシー式が成り立つという実験事実を踏まえて一応, 脆い粒状体のせん断特性に内在する粒子破碎の影響量を推測できる式を提示することができたのではないかと考えている。

参考文献

1) 福本武明, 橋口正悟: 脆い粒状体のせん断機構に関する基礎的考察, 立命館大学理工学研究所紀要, 第 60 号, pp.171 ~ 178, 2002. 3. 2) Rowe, P.W.: The Stress-dilatancy Relation for Static Equilibrium of an Assemblage of Particles in Contact, Proc. Roy. Soc. London, Ser. A, Vol. 269, pp.500 ~ 527, 1962. 3) 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. 4) 福本武明: 粒子破碎現象の定式化, 第 32 回地盤工学研究発表会, pp.315 ~ 316, 1997.

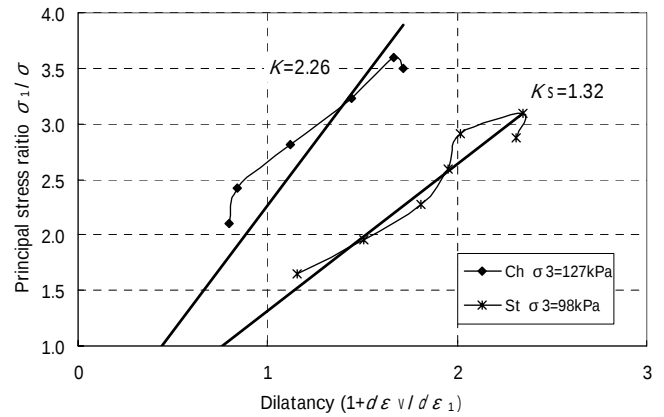


Fig.3 鋼棒とチョーク棒積層体の応力-ダイレイタンシー関係

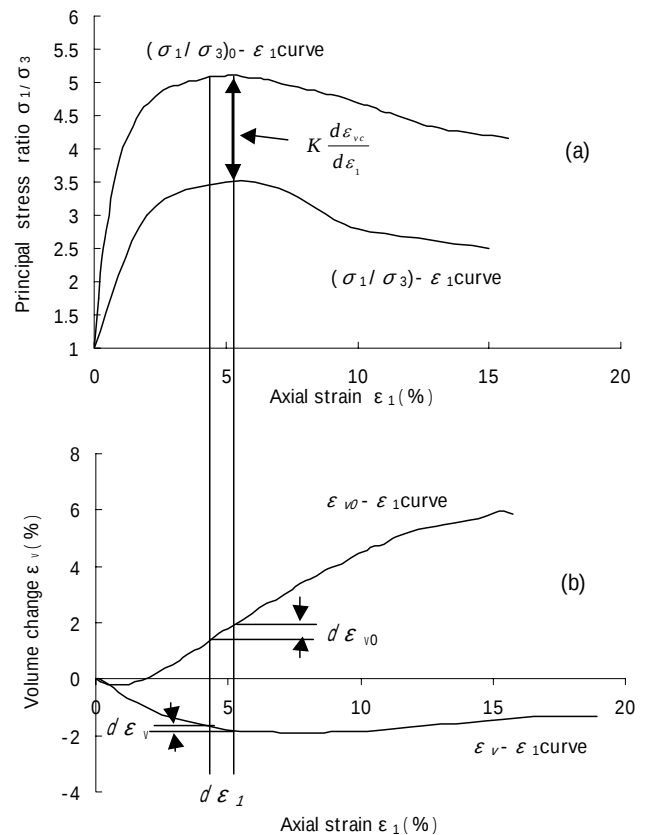


Fig.4 概念図