

# III-282 低拘束圧における砂の内部摩擦角について

中国鉄道部科学研究所 周 神根  
 東京大学生産技術研究所 龍岡 文夫

## 1. はじめに

筆者らはこれまで細粒分を含まないきれいな砂である豊浦砂の飽和供試体を用いた三軸圧縮試験（TCT）、平面ひずみ圧縮試験（PSC）、等方圧密した供試体のねじりせん断試験（ITS）、一次元圧密した供試体のねじり単純せん断試験（TSS）を系統的に行ってきた<sup>1)</sup>。その結果、図-1に示す様に破壊時有効最小主応力（ $\sigma'_3$ ）が大略0.02~0.5kgf/cm<sup>2</sup>の範囲では、やや大きいひずみの範囲での $\sigma'_1/\sigma'_3 \sim \gamma = \epsilon_1 - \epsilon_3$ 関係と内部摩擦角 $\phi = \arcsin \{ (\sigma'_1 - \sigma'_3) / (\sigma'_1 + \sigma'_3) \}$  maxは（ $\sigma'_3$ ）に殆ど依らないことが判明した。今回この様な傾向が細粒分を含む浅間山砂にもあるのかを調べたので、その結果を報告する。

## 2. 浅間山砂の排水三軸圧縮試験

浅間山砂と豊浦砂の粒度分布を図-2に示す。浅間山砂は豊浦砂と比べると平均粒径は大きい、2-3%の細粒分を含んでいる。浅間山砂の $\phi$ の拘束圧依存性を調べるために $\sigma'_3 = 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0$ kgf/cm<sup>2</sup>で三軸圧縮試験を行った。供試体は直径7.5cm、高さ17.5cmである。供試体の両端面には濾紙を設けた。供試体は三層に分け、水中落下法プラス水中振動法で次の様に作成した。各層が先ず所定の密度になるように一層毎に空気乾燥した試料を用意しこれに脱気水を注ぎ、-1kgf/cm<sup>2</sup>の負圧で一日掛けて脱気した。これをモールド内の脱気水中に少しずつ落下させて堆積させた。この方法の問題点は材料分離が生じることであり、この為データにばらつきが生じたようである。次に各層の上に1.263kg/cm<sup>2</sup>の重量を置いて、所定の高さになるまでモールドの外側に小型振動器を当てて振動させた。供試体をセットして0.05kgf/cm<sup>2</sup>の負圧で自立させてから三軸セルを組み立て、有効応力が0.05 kgf/cm<sup>2</sup>から変動しない様に注意深く負圧をセル圧と交換した。載荷は軸ひずみ制御（速度 0.1%/min）で行った。

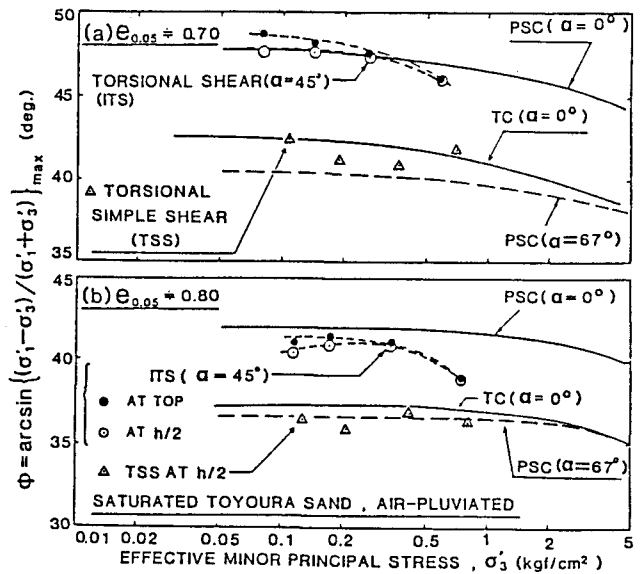


図-1. 豊浦砂 $\phi$ の拘束圧依存性<sup>1)</sup>

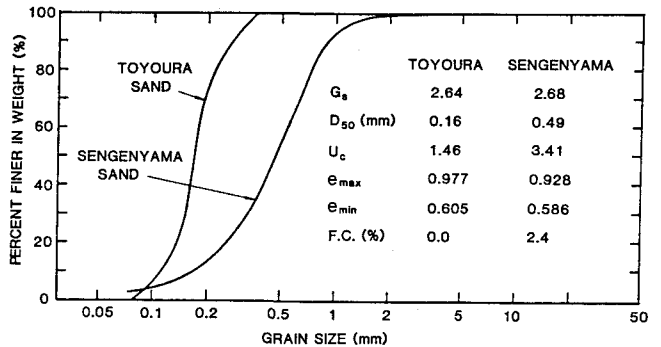


図-2. 豊浦砂と浅間山砂の粒度分布図

## 3. 実験の結果

図-3は密度が似ている供試体の試験の結果である。この図を見ると次のことが分かる。①密度が似ていると、応力比 $\sigma'_1/\sigma'_3$ の最大値即ち内部摩擦角がほぼ似た値になる。②拘束圧が小さくなるほど体積収縮の最大値は小さくなる。③応力比が最大値になる軸ひずみは拘束圧が大きくなる程大きくなる。

図-4に $\sigma'_3=0.05\text{kgf/cm}^2$ の時の間隙比 $e_{0.05}$ と内部摩擦角 $\phi$ の関係を示す。 $e_{0.05}$ と $\phi$ には直線の関係が見られ、 $2\text{kgf/cm}^2$ までの拘束圧では内部摩擦角の拘束圧依存性が見られない。その関係を最小二乗法で求めると次の式のようになる。

$$\phi = 58.62 - 28.66 \cdot e_{0.05} \quad (1)$$

各々の供試体の測定された $\phi$ から式(1)を用いて $e_{0.05}=0.673$ に対する $\phi$ を求め、図-5のように破壊時有効最小主応力 $(\sigma'_3)_r$ の対数に対してプロットした。試験データに若干のばらつきが見られるが、全体として見ると $\phi$ の $(\sigma'_3)_r$ に対する依存性は大変小さいことが分かる。

#### 4. まとめ

浅間山砂は豊浦砂より細粒分が多いが、 $\sigma'_3=2\text{kgf/cm}^2$ 以下で豊浦砂と同様に内部摩擦角 $\phi$ の拘束圧に対する依存性は大変小さい。すなわち、今回試験をした飽和浅間山砂では $\sigma'_3=0.05\text{--}2.0\text{kgf/cm}^2$ の範囲で、モールクーロンの破壊規準 $\tau_r = c + \tan \phi$ における $\phi$ は一定であり、 $c=0$ ということが分かる。

しかし、図-3に示すように変形特性には拘束圧依存性がある。更に、拘束圧 $2\text{kgf/cm}^2$ 以上で $\phi$ がどのような変化するかは今回のデータからは分からない。今後の研究課題である。

謝辞：本研究を行うに当たって浅間山砂を東京湾横断道六社会に提供して頂いた。末筆ながら感謝の意を表します。

#### 参考文献

1. 龍岡文夫・プラダン、テージ、B.S.・ラム、ウーカン・堀井宣幸(1987)：各種のせん断試験による砂の内部摩擦角、土と基礎、35-12、55-60頁。

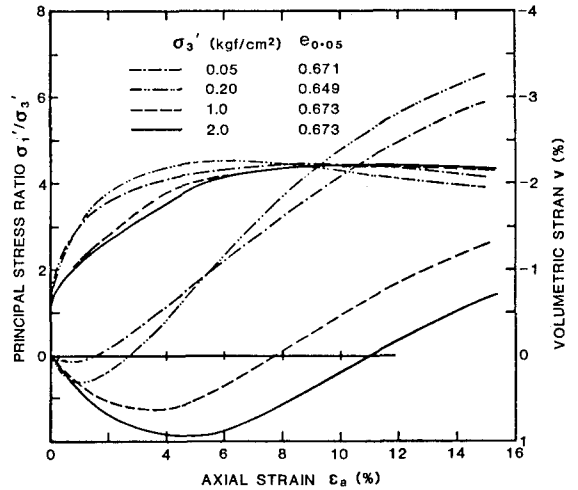


図-3. 代表的な試験の結果

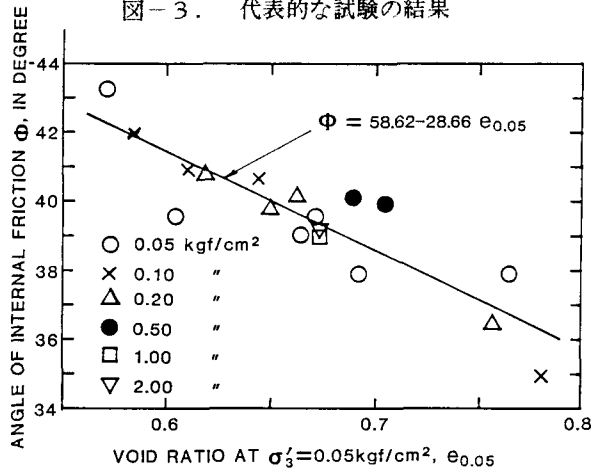


図-4. 浅間山砂の $\phi$ と $e_{0.05}$ の関係

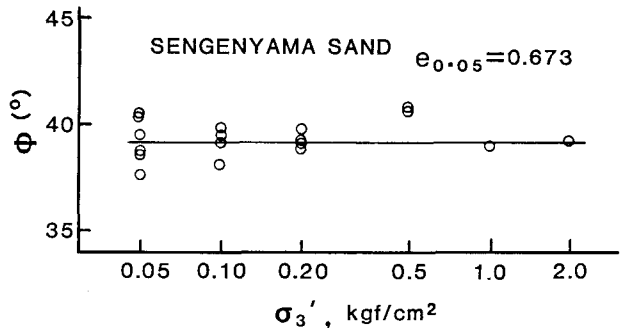


図-5. 浅間山砂の $e_{0.05}=0.673$ のときの $\phi$ と $\sigma'_3$ の関係