

粒子破碎に着目した砂の一次元圧縮挙動とその時間依存性

九州大学工学部 学○松原 寛之

九州大学大学院 F 落合 英俊 正 安福 規之

九州大学大学院 正 大嶺 聖 正 中島 通夫

1. はじめに

破碎性地盤では破碎によって粒子が細粒化し、粒子の再配列が起こることで間隙が詰まり、その結果として沈下を引き起こすことが問題となっている¹⁾。粒子破碎に着目した砂の力学特性についての検討は古くから行われてきているが粒子破碎を取り入れた力学体系の確立には至っていない²⁾。また最近では、破碎が時間経過とともに進行していくことが指摘され、破碎現象による圧縮挙動の時間依存性の挙動を明らかにすることも重要視されている。本研究では、変位速度の違いに着目した砂の一次元圧縮試験とクリープ試験を実施し、 K_0 値や破碎現象の時間依存性と圧縮性との関係について検討した。

2. 粒子破碎の指標

粒子破碎が起きると粒径が小さくなるということから、粒径に着目した粒子破碎の指標として表面積増加量 $\Delta S(\text{cm}^2/\text{g})$ を用いた^{3,4)}。ふるい分けによって得られた粒径加積曲線から、以下のように算出される比表面積 $S_w(\text{cm}^2/\text{cm}^3)$ に乾燥密度 $\gamma_d(\text{g}/\text{cm}^3)$ を乗ずることで ΔS を求めている。

$$S_w = \Sigma \frac{F}{100} \cdot \frac{4\pi(d_m/2)^2}{(4/3)\pi(d_m/2)^3 G_s \gamma_w}$$

ここに、 $F(\%)$:各粒径の試料の残留率、 $\gamma_w(\text{g}/\text{cm}^3)$:水の単位体積重量、 $d_m(\text{cm})$:各粒径ごとの平均粒径、である。

3. 実験方法

3.1 試料 試料は岡垣砂($G_s=2.63$)と Quiou 砂($G_s=2.68$)で、2mm ふるい通過分から 0.075mm 未満の細粒分を除去したものをを用いた(共に乾燥砂)。岡垣砂は空中落下法の落下高さを変えて初期相対密度 D_r を調節し、Quiou 砂では試料を静かにリングの内側に注いだ後にリングの外側を木槌でたたくことによって供試体を作製した。

3.2 実験装置 10MPa の鉛直応力までの載荷が可能な装置を用いて一次元圧縮試験を行った。試験装置は側面摩擦の影響を軽減するために浮動リングを用い、ピストンには空気抜き孔を設けた。またリングの側面に土圧計を取り付け、供試体の水平応力を計測できるようにし、その土圧計の受圧面にメンブレンを取り付けることで側面摩擦を軽減し、実験から得られる水平応力値の精度を高めた。

3.3 実験方法 一次元圧縮の載荷は 0.05, 0.1, 1.0mm/min の 3 種類の定変位速度により、2 つの試料それぞれを初期相対密度 $D_r=40\%$, 60%, 90% に調整した供試体について鉛直応力 $\sigma_v'=10\text{MPa}$ まで行った。載荷終了後にリングから丁寧に供試体試料を収集し、ふるい分けを行い粒度分布を調べ

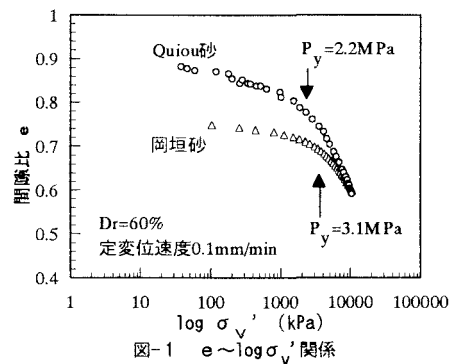


図-1 $e \sim \log \sigma'_v$ 関係

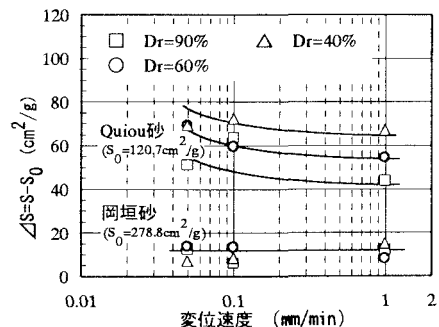


図-2 $\Delta S \sim$ 変位速度関係

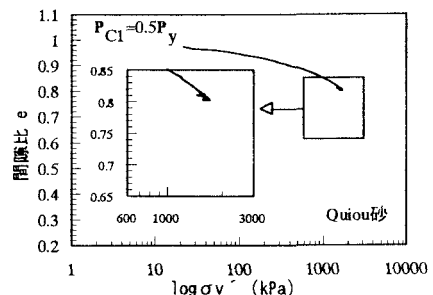


図-3 (a) $e \sim \log \sigma'_v$ 関係 ($P_{C1}=0.5P_y$)

た。この際、岡垣砂は Ro-tap シェーカーに 5 分間かけたが、Quiou 砂は破碎しやすいために 1 分間手でふるう方法をとった。また、クリープ試験については、Quiou 砂を用い $D_r=40\%$ に調整した供試体で実施した。降伏応力 P_y として $P_{C1}=0.5P_y$ となる過圧密状態と、 $P_{C2}=2P_y$ となる正規圧密状態の 2 つの応力状態を選び、16 時間のクリープ試験を行った。

4. 実験結果および考察

4.1 一次元圧縮試験 図-1 は $D_r=60\%$ の供試体を変位速度 0.1mm/min で載荷したときの $e \sim \log \sigma_v'$ 関係であり、カサグランデ法により降伏応力 P_y を求めると岡垣砂が $P_y=3.1\text{MPa}$ 、Quiou 砂が $P_y=2.2\text{MPa}$ であった。表面積増加量 ΔS と変位速度の関係は図-2 のようになり、Quiou 砂(試験前の表面積量 $S_0=120.7\text{cm}^2/\text{g}$)が岡垣砂($S_0=278.8\text{cm}^2/\text{g}$)に比べて破碎しやすいことが分かる。また岡垣砂は変位速度の影響がほとんど現れていないが、Quiou 砂では変位速度が遅いほど ΔS が大きくなる傾向を示している。また、初期相対密度 D_r の影響も現れている。

4.2 クリープ試験 図-3 に $e \sim \log \sigma_v'$ 関係を、図-4 に $\varepsilon \sim \log t$ 関係を示す。クリープ軸ひずみ ε はこの場合体積ひずみと等価であり、経過時間 t は一定応力になってからの値である。 $P_{C1}=0.5P_y$ ($\text{OCR}=2$) の試験ではクリープ軸ひずみはほとんど現れず、むしろ膨張の挙動を示しているのに対し、 $P_{C2}=2P_y$ ($\text{OCR}=1$) の試験ではクリープ軸ひずみが時間とともに増加している。また、クリープ状態前後の表面積増加量は、前者で $\Delta S_{\text{creep}}=0.9\text{cm}^2/\text{g}$ 、後者では $\Delta S_{\text{creep}}=2.3\text{cm}^2/\text{g}$ でありクリープの応力状態異なった値を示している。このことから、後者に生じるクリープ軸ひずみは粒子破碎が一つの要因であると考えられる。水平応力 σ_h' の経時変化を図-5 に示す。時間が経過するにしたがって水平応力 σ_h' は若干ではあるが減少する傾向が現れており、結果として $K_0=\sigma_h'/\sigma_v'$ で与えられる K_0 値も経過時間とともに減少することとなる。

5. まとめ

- 1) 破碎性が著しい砂の一次元圧縮試験での圧縮挙動は定変位速度の影響を受け、変位速度が遅いほど表面積増加量は大きくなる傾向にある。
- 2) 応力状態が降伏応力より小さな応力域ではクリープ軸ひずみは生じず、むしろ膨張傾向にあった。一方、降伏応力より大きな応力域では粒子破碎にともなうクリープ軸ひずみが観察された。
- 3) 破碎性砂のクリープ試験では、時間経過とともに K_0 値、すなわち水平応力 σ_h' は若干ではあるが減少する傾向を示した。

【参考文献】

- 1) 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, No.10, pp.3-6, 2000.
- 2) 北村良介ら編: 破碎性地盤の工学的諸問題に関する研究委員会報告書およびシンポジウム発表論文集, pp.11-13, 1999.
- 3) 三浦哲彦・山内豊隆: 砂のせん断特性に及ぼす粒子破碎の影響, 土木学会論文集, No.260, pp.109-118, 1977.
- 4) 安福規之: 広範な応力域における異方圧密砂の降伏特性と弾塑性構成式に関する研究, 九州大学博士論文, pp.31-64, 1991

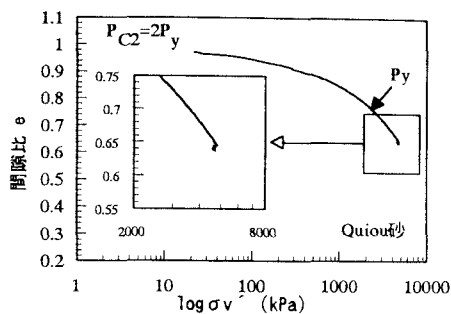


図-3(b) $e \sim \log \sigma_v'$ 関係 ($P_{C2}=2P_y$)

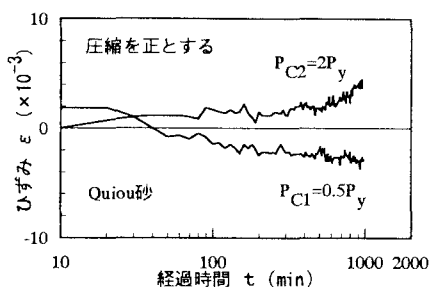


図-4 $\varepsilon \sim \log t$ 関係

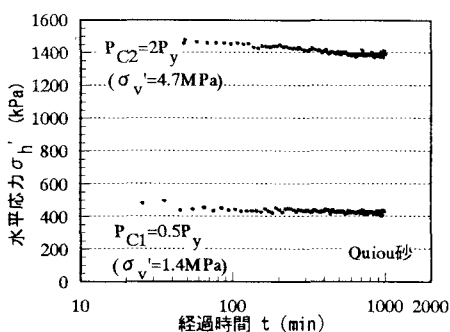


図-5 $\sigma_h' \sim \log t$ 関係