

破砕性粒状材料における一次元圧縮挙動とその時間依存性

九州大学大学院 学○松原 寛之 F 落合 英俊 正 安福 規之 正 大嶺 聖 正 中島 通夫

1.はじめに

石灰質系および風化残積土系の相対的に破砕の起こりやすい破砕性地盤では、構造物直下において粒子破砕に起因した沈下が問題となっている¹⁾。また、粒子破砕の顕著に生じるような応力域では長期間にわたる圧縮・沈下の起こることも指摘されており²⁾、時間経過に伴う圧縮特性を把握することの重要性が述べられている。本研究では、単粒子破砕強度の異なる3種類の粒状材料を用いて変位速度の違いに着目した変位制御による一次元圧縮試験、および応力状態の違いに着目した応力制御による一次元圧縮条件下での長期载荷試験(クリープ試験)を実施し、粒子破砕による一次元圧縮特性とその時間依存性について検討した。

2.試験概要

試験(図-1 参照)には D_{50} の粒子の単粒子破砕強度 σ_{sf} の異なる3種類の材料を用いた。変位制御による側方変位を拘束した一次元圧縮試験(図中の経路OAに相当)は2種類の砂を用い、相対密度 $D_r=40\%$ について変位速度 0.05, 0.1, 1.0mm/min の条件下で実施した。長期载荷試験では所定の応力に至るまでは変位制御によって载荷を行い、それ以降は応力制御により一定応力を長時間保持(図中の経路 AB に相当)させた。この長期载荷試験では $D_r=40\%$ に調整した球状の焼菓子($\sigma_{sf}=0.3\text{MPa}$)と Quiou 砂($\sigma_{sf}=8.8\text{MPa}$)を用いた。球状の焼菓子については装置にアクリル製のセルを使用し外側から粒子破砕の現象を観察できるように工夫した。粒子破砕の程度を評価するために破砕性指標として表面積増加量 $\Delta S(\text{cm}^2/\text{cm}^3)$ を導入した^{3),4)}。表面積増加量 $\Delta S(\text{cm}^2/\text{cm}^3)$ は次式で求められる比表面積 $S_w(\text{cm}^2/\text{g})$ に材料の乾燥密度 $\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$ を乗じた値 $S(\text{cm}^2/\text{cm}^3)$ である。

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

$F(\%)$: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

3.試験結果および考察

3.1 変位制御による一次元圧縮試験

図-2 は3種類の材料について相対密度 $D_r=40\%$ 、変位速度 0.1mm/min の条件下で鉛直応力 9.5MPa まで载荷したときの空隙比 e ~鉛直応力 σ_v' 関係である。カサグランデ法により求めた降伏応力 P_y は材料によって異なり、単粒子破砕強度 σ_{sf} の小さい材料ほど降伏応力 P_y は小さくなっている。図-3 は表面積増加量 ΔS ~変位速度関係である。この図から σ_{sf} が相対的に小さい Quiou 砂では変位速度が遅いほど表面積増加量 ΔS 、すなわち粒子破砕は大きくなる傾向が現れている。この要因として Quiou 砂($\sigma_{sf}=8.8\text{MPa}$)は単粒子破砕強度 σ_{sf} が岡垣砂($\sigma_{sf}=76.2\text{MPa}$)に比べて小さいことが挙げられる。図-4 に表面積増加量 ΔS ~鉛直応力 σ_v' 関係を示す。この図より降伏応力 P_y 付近から表面積増加量 ΔS が著しく増加していることが分かる。このことは、粒子破砕が P_y 以降の圧縮変形の大きな要因であることを示唆している。

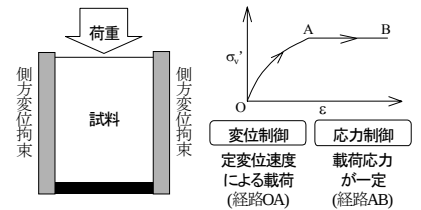


図-1 試験概略図

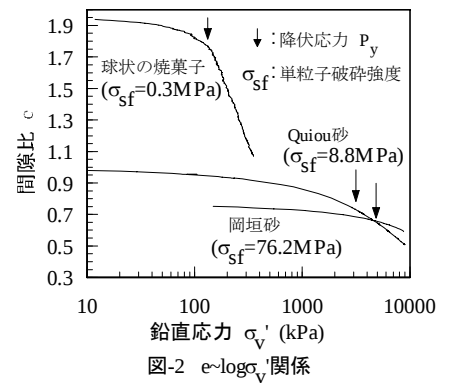


図-2 e ~ $\log \sigma_v'$ 関係

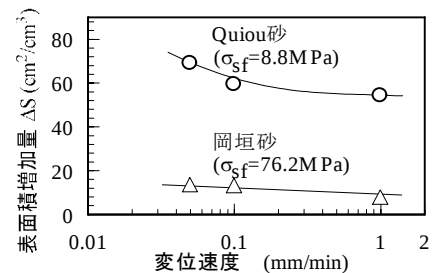


図-3 ΔS ~変位速度関係

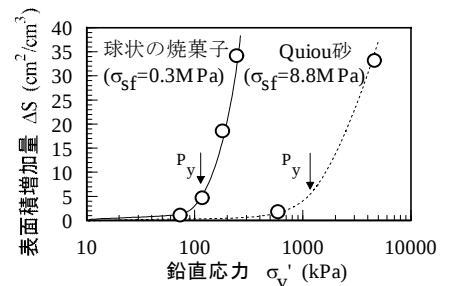


図-4 ΔS ~ σ_v' 関係

キーワード:粒子破砕、一次元圧縮、単粒子強さ、粒状材料、時間依存性

連絡先:〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 TEL. 092-642-3286 FAX. 092-642-3285

3.2 応力制御による長期载荷試験

図-5 は球状の焼菓子($\sigma_{sf}=0.3\text{MPa}$)について、降伏応力 P_y を超える鉛直応力 $P_{C2}=185\text{kPa}$ を保ったまま長期間载荷したときの鉛直応力 σ_v' ~ 圧縮ひずみ ϵ 関係である。この図から、一定応力下であっても経路 AB に示されるような時間経過に依存した圧縮が生じていることが確認される。球状の焼菓子では P_y 以前の応力状態 $P_{C1}=75\text{kPa}$ についても長期载荷試験を行った。一定の鉛直応力下での圧縮ひずみ増加量 $\Delta\epsilon$ ~ 経過時間 t 関係を図-6 に示す。この図から、 $\Delta\epsilon$ は P_y を超える応力状態の場合、より顕著に生じていることが理解できる。ここで、図-5 中の経路 AB 過程における表面積増加量 ΔS を ΔS_C とし、図-7 に ΔS_C ~ $\Delta\epsilon$ 関係を示す。この図より、 $\Delta\epsilon$ が増加するに従って ΔS_C も増加していることから、一定の鉛直応力下で増加する圧縮ひずみは粒子破碎およびそれに伴う粒子の再配列に起因していると推察される。次に、図-5 中の経路 OAB での圧縮ひずみ ϵ と表面積増加量 ΔS の関係を考える。表面積増加量 ΔS ~ 圧縮ひずみ ϵ 関係を示した図-8 から、表面積増加量 ΔS と圧縮ひずみ ϵ の間には変位制御や応力制御にかかわらず一義的な関係のあることが知れる。Quiou 砂についても同様に図中に示したが、この場合も表面積増加量 ΔS ~ 圧縮ひずみ ϵ 関係は一義的である。この一義的な関係は材料によって異なっており、その要因として単粒子破碎強度 σ_{sf} の違いが考えられる。なお、図-9 に圧縮ひずみ ϵ ~ 仕事量 W 関係を示した。この図から、単粒子破碎強度 σ_{sf} の小さい球状の焼菓子は、Quiou 砂よりも小さな仕事量で粒子破碎に起因した圧縮ひずみが顕著に生じていることが分かる。

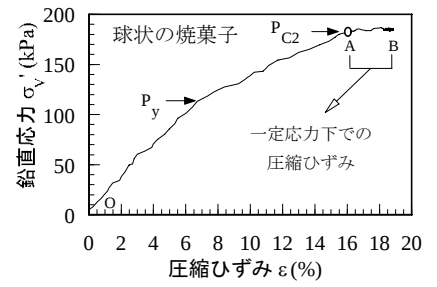


図-5 σ'_v ~ ϵ 関係

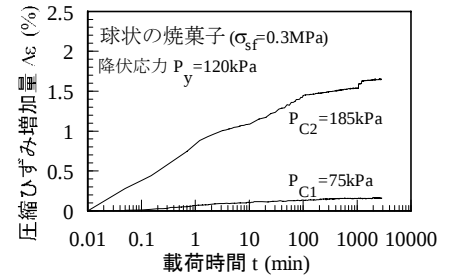


図-6 ϵ ~ log 関係

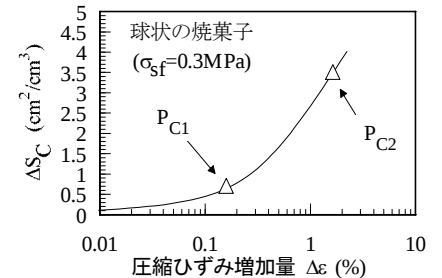


図-7 ΔS_C ~ $\Delta\epsilon$ 関係

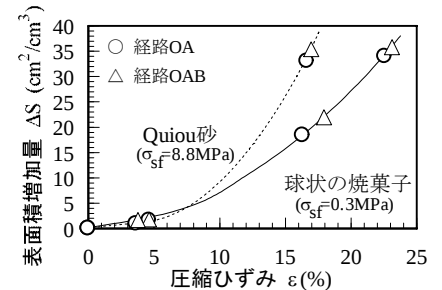


図-8 ΔS ~ ϵ 関係

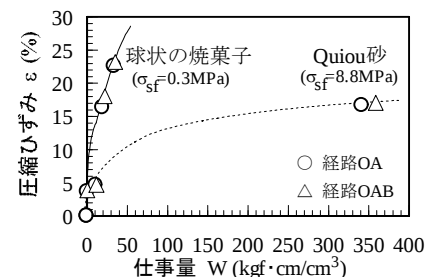


図-9 ΔS ~ W 関係

4. まとめ

本研究で得られた結果をまとめ、以下に示す。

- 1) 変位制御による一次元圧縮試験において、 D_{50} の単粒子破碎強度 σ_{sf} が小さい材料ほど降伏応力 P_y は小さくなる。
- 2) 破碎性粒状材料の変位制御による一次元圧縮試験での圧縮挙動は、変位速度が遅いものほど粒子破碎は大きくなる傾向にあり、粒子破碎の時間依存性を反映しているものと判断された。
- 3) 一定の鉛直応力下で増加する圧縮ひずみは粒子破碎およびそれに伴う粒子の再配列が大きな要因となっている。
- 4) 表面積増加量 ΔS と圧縮ひずみ ϵ の間には载荷速度、载荷方法、载荷時間などの载荷条件の違いに関わらず材料によって決まる一義的な関係が存在する。

【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・山内豊聡: 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