

Ⅲ-145

三軸圧縮条件下における細かな粒径の砂の力学特性

基礎地盤コンサルタンツ（株） 正 阪上 最一
基礎地盤コンサルタンツ（株） 正 柳浦 良行
基礎地盤コンサルタンツ（株） 正 山田 真一
基礎地盤コンサルタンツ（株） 正 榎本 雅夫

1. まえがき

ひずみの局所化の研究の発展とともに、砂の力学特性として、「進行性破壊」や「粒子効果」の重要性が強調されてきている。¹⁾この粒子効果により、浅い基礎の支持力の遠心実験結果と1G実験結果とで極限支持力値に差異が生じることが報告されている。²⁾したがって、砂地盤を対象とする数値解析では、この「粒子効果」をなんらかのかたちで考慮する必要が生じているものと思われる。このようなことから、ここでは、1) 我が国の標準的な砂である豊浦標準砂と英国の Leighton Buzard 砂（粒径は豊浦砂の約半分である）の三軸圧縮試験を行い、それらの砂の強度・変形特性を比較し、また、2) 細かな粒径を有する砂の不攪乱試料の三軸圧縮試験を行い上記の標準的な砂の試験結果との比較を行い粒径が砂の力学特性に及ぼす影響を調べた。なを、砂の力学特性の評価は、中井の提案する弾塑性構成式³⁾に用いる土質パラメータの整理に基づいて行っている。

2. 砂の物理特性および実験方法

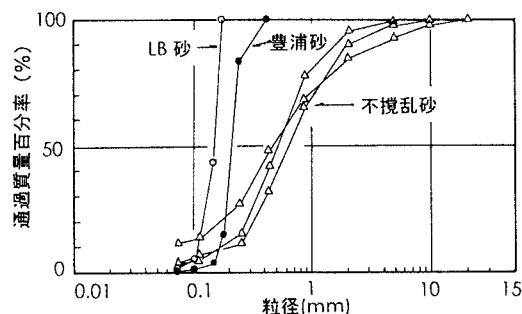
試験に用いた豊浦標準砂（以下豊浦砂と略称する）、Leighton Buzard 砂（以下 LB 砂と略称する）の物理的性質および粒度分布は表一、図一に示す通りである。

供試体として、豊浦砂、LB 砂はモールド内で水中突き固めにより作成したものを、不攪乱砂はサンプリングされた試料の周面を整形することなく端部のみを整形したものを、変形試験におけるゴムスリーブの貫入補正量については試験時と供試体表面の凹凸を等しくするため、豊浦砂・LB 砂は径の異なる鉄心棒の周辺に砂を詰める方法で、不攪乱砂は供試体の直径を変える方法で求めた。

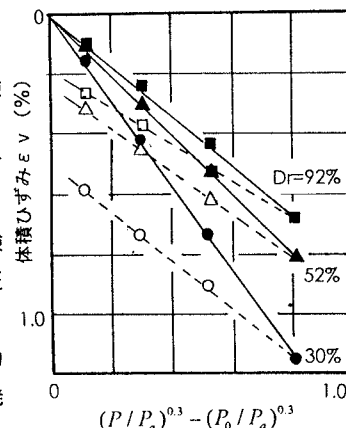
実験は、等方圧縮・除荷・再圧密試験後、側圧一定の三軸圧縮試験を行い、圧密・せん断時の変形特性、せん断時の強度特性について、圧縮性・膨潤性に関する係数 $C_t \cdot C_e$ 、ダイラテンシーに関する係数 α 、正のダイラテンシーに関する係数 D_f で整理した。試験結果の適用応力範囲は $P=0.5 \sim 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ であり、豊浦砂の試験データには過去に発表された論文から抜粋したデータも含まれている。⁴⁾

表一 物理定数一覧表

種類	土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)	平均粒径 D50 (mm)	均等係数 U _c	最大間隙比 e _{max}	最少間隙比 e _{min}
豊浦砂	2.689	0.15	1.44	1.051	0.657
LB 砂	2.667	0.23	1.36	1.006	0.637
不攪乱砂	2.665~ 2.680	0.34~ 1.08	2.97~ 11.35	1.006~ 1.147	0.589~ 0.677



図一 粒径加積曲線の例



図二 LB 砂の等方圧密・除荷試験結果の例

3. 変形特性

等方圧縮・除荷試験より求まるLB砂の体積歪 ε_v と平均主応力 P の0.3乗の指数で整理したものを図-2に示すが、相対密度 D_r の高低に関係なく $\varepsilon_v - P^{0.3}$ 曲線は相関係数0.90以上で直線に回帰できることがわかる。この $\varepsilon_v - P^{0.3}$ 関係より求まる勾配 C_t （圧縮）、 C_e （膨潤）と相対密度 D_r の関係を図-3に示す。同図より豊浦砂とLB砂を比較すると、粒径による違いはほとんど見られないのに対し、データは少ないが不攪乱砂は豊浦砂・LB砂に比較し若干低めの値を示している。これは粒度組成の違いあるいは化学的な結合作用の影響であると考えられる。全体的な特徴として、 D_r が高いほど $(C_t - C_e)$ が小さくなる傾向を示すが、 $(C_t - C_e)$ がダイラテンシー係数に比例することを考慮すれば、 D_r が高いほどダイレートしやすいことを示唆している。また、相対密度50%以下では C_t 、 C_e が急激に増加する傾向を示し、 D_r の低い範囲で圧縮・膨潤のパラメータを設定する場合に注意を要することが判る。

砂の変形特性において、せん断時のダイラテンシー成分も重要な要素であるが、 D_r 、 P 等の影響で D_f 、 α がどのような特性を示すか現在整理中であり、当日会場にて発表予定である。

4. 強度特性

図-4に $\phi - D_r$ 、 σ_3 関係を示す。 ϕ は D_r の増加にともない増加し、拘束圧の増加に伴い減少する傾向を示し、これは既往研究と同様な傾向である。これも変形特性と同様、豊浦砂とLB砂の粒径の違いによる差異が見られ無いのに対し、不攪乱砂はこれらに比べ若干大きくなる傾向にある。この原因としては C_t, C_e と同様なことが考えられる。

5. まとめ

以上、中井の提案する弾塑性構成式の土質パラメータの整理に基づいて評価した結果、砂の粒径が及ぼす力学特性への影響は少ないことが明らかになった。しかし、これらの土質パラメータは、限られた応力レベルにおける、しかも、応力～ひずみ関係のピーク前の挙動を表すものであるため、粒径の力学特性への影響についてはさらに検討が必要であると思われる。

（謝辞） LBSに関するデータの提供をいただいた関西電力（株）の方々、LB砂の実験の一部を行っていただいた岐阜高専吉村助教授に感謝いたします。

（参考文献）1）土質工学会：地盤の破壊とひずみの局所化に関する研究委員会，1991.4～1995.3.

2）Tatsuoka, F., Sakamoto, M., Kawamura, T. and Fukushima, S. : Strength and deformation characteristics of sand in plane strain compression at extremely low pressures, Soils and Foundations, 26 - 1, pp. 65 - 85. 1986.

3) Nakai, T. : An Isotropic Hardening Elastoplastic Model for Sand Considering the Stress Path Dependency in Three - Dimensional Stresses, Soils and Foundations, Vol.29, No.1, pp. 119 - 137.

4）例えば Fukushima, S., Tatsuoka, F., : Strength and Deformation Characteristics of Saturated Sand at Extremely Low Pressures, Soils and Foundations, 24 - 4, pp. 30 - 48. 1984.

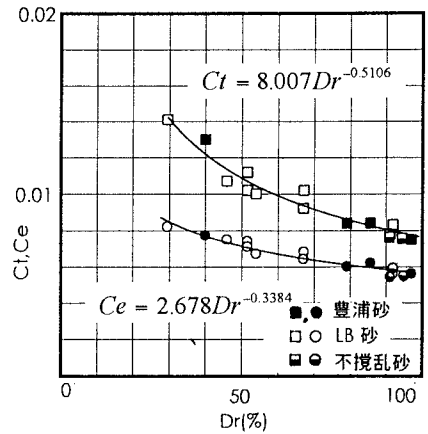


図-3 C_t 、 $C_e - D_r$ の関係図

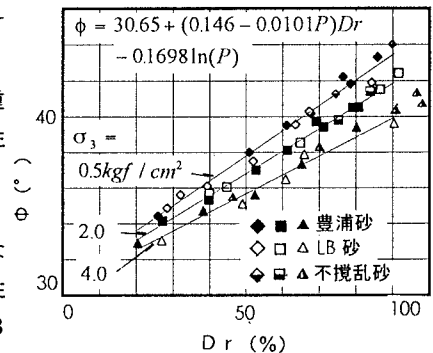


図-4 $\phi - D_r$ 、 P の関係図