

砂の一次元圧縮下での降伏応力と破碎性について

九州大学工学部 学○前田英和 正 落合英俊 正 安福規之
九州大学工学部 正 大野司郎 正 大嶺 聖

1. はじめに

土の力学は土粒子が極めて堅固なものとして体系化されている。しかしながら本来、土は破碎性材料であり、低い応力域で粒子破碎が生じるまき土、しらす、カーボネイト砂などの地盤の杭の支持力算定においては粒子破碎に伴う高い圧縮性を考慮することの重要性が指摘され、地盤の変形、杭の変位量を含めた精度良い支持力算定法の確立が望まれている。変形を含めた支持力の推定には、土の物理的特性の一つとして破碎性を適切に表現するパラメータを不変量として組み込む必要がある。そのようなパラメータを見いだすべく破碎特性を簡便に把握するためにDogs bay 砂を用いて側方応力が測定できる一次元圧縮試験を実施し、破碎特性および過圧密状態における静止土圧係数 K_0 値について考察する。

2. 試料および試験方法

実験に用いた試料は2.0mm以下のDogs bay 砂($\rho_s=2.717\text{g/cm}^3$, $e_{max}=1.720$, $e_{min}=1.080$)である。試験の供試体は、気乾状態の砂を空中落下法により作製し、落下高さにより初期間隙比を調整した。一次元圧縮試験の載荷は、0.08mm/minの定変位速度で行い、載荷、除荷、再載荷を所定の荷重段階($\sigma'_v=1.0$ 、2.0、4.0、6.0、8.0、10.0MPa)まで実施した。所定の応力($\sigma'_v=1.0$ 、3.0、8.0MPa)および10.0MPaまでの載下終了後、供試体試料を丁寧に収集し、Ro-tap シェーカーで30分間ふるい分けを行い、粒度分布を測定した。なお、供試体の容器は、側面の摩擦を軽減するために浮動リングを用い、このリングには側圧計を軸対称の2カ所に装着し、側方応力を測定できるようにした。鉛直応力($=\sigma'_v$)は供試体下部で、側方応力(σ'_h)は2カ所の平均をとり、載荷過程における σ'_h と σ'_v の比 $K(=\sigma'_h/\sigma'_v)$ を求めた。

3. 試験結果および考察

3-1. 破碎性と降伏応力

図-1は初期間隙比が異なる圧縮曲線であり、降伏応力をCasagrande法により求めた。初期間隙比の異なる圧縮曲線は粘土のように正規圧縮曲線上での一致は見られないものの大きな鉛直応力域においてすべての圧縮曲線は収束していくことがわかる。また、初期間隙比が小さいほど降伏応力は大きくなっている。

3-2. 破碎性指標の表現

図-2は図-1における相対密度(20%)の試料を1.0、3.0、8.0MPaまで載荷し粒度分布を調べたものである。降伏応力0.62MPaを超える、1.0MPaの粒度分布は初期の粒度分布と比べ顕著な違いは見られなかった。ここで粒度分布から、破碎ポテンシャル $Br^1)$ 、細粒分 $F_c^2)$ (%)、表面積増加量 $\Delta S^3)$ で整理した。図-3は W と ΔS の関係で、図-4はその ΔS と Br 、 F_c の関係である。 W と ΔS はほぼ線形的な関係があり ΔS は Br 、 F_c に一義的な関係があるため、どの指標においても塑性仕事 W との間には一義的な関係があることがわかる。図-2の粒度分布における違いが細粒分の微増だけであることを考慮すると細粒分増加量 F_c と表面積増加量 ΔS の方がより精度よく表現していると言える。しかし ΔS の算出にあたっては最小粒径を仮定(今回は最小粒径を $5\mu\text{m}$

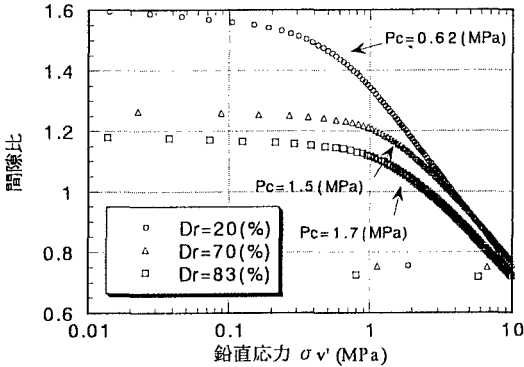


図-1 初期相対密度の異なる圧縮曲線

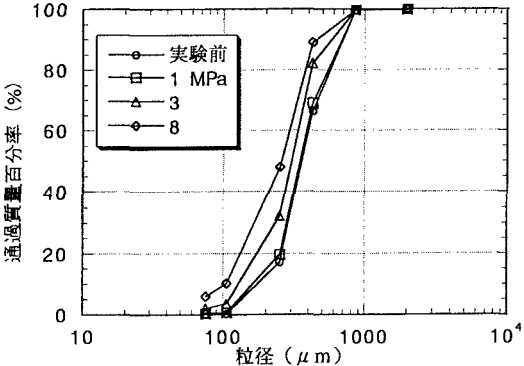


図-2 粒度分布、Dr=20%

と仮定) する必要もあり、算定法には注意を要する。

3-3. 破砕量におよぼす応力履歴の影響

載荷、除荷、再載荷した供試体と漸増載荷した供試体の圧縮曲線を図-5に示す。除荷する前の所定の最大となる載荷応力は先行圧密応力と位置付けられる。その後の除荷、再載荷の過程において圧縮曲線にはヒステリシスループが見られ、先行圧密応力よりも小さな応力(降伏応力付近)域から徐々に屈曲(降伏応力付近)し漸増載荷の圧縮線に一致する。

載荷履歴の異なる二つの供試体は最終荷重、10.0MPaにおける破砕量がほぼ一致した。このことから粒子破砕量は応力履歴の影響はほとんどなく、塑性仕事量のみに依存し試料の初期条件(初期密度、試料の初期の粒度分布)で圧縮曲線の形状が決まることがわかる。

3-4. 降伏応力と K_0 値

図-6は載荷、除荷、再載荷した $Dr=20\%$ の供試体において、再載荷時のある応力における K_0 値、過圧密比(OCR)を測定し、過圧密比(OCR)によって整理したものである。各載荷段階における降伏応力に対し、 K_0 値はOCRが減少すれば1から、0.4まで減少した後増加に転じ、 $K_0=0.47$ 程度に収束する傾向が現れる。先行圧密圧力が大きくなるとOCRの増加に伴い K_0 値が増加する傾向にあることがわかる。また、降伏応力を十分に超えた応力において本来のOCRといえる。これらの傾向は $Dr=70\%$ の供試体においても確認された。従来の過圧密比と K_0 の関係には先行圧密圧力すなわち降伏応力に依存する形がとられておらず、破砕性砂のような高い圧縮性をもつ材料の K_0 値は降伏応力、及び過圧密比に対応した適切 K_0 値を評価する必要があることがわかる。

4. まとめ

- (1) 破砕量には $75\mu m$ 以下の粒子の増加が大きく寄与しており、破砕性を塑性仕事に対して用いるならば、細粒分増加量 F_c と表面積の増加量 ΔS が適当である。
- (2) 粒子破砕量は応力履歴の影響が小さく、試料の初期条件(初期密度、試料の粒度分布)で決定される。
- (3) 破砕性の卓越する砂において制止土圧係数 K_0 は降伏応力及び過圧密比に依存する。

なお、この研究は平成8年度文部省科学研究費(奨励研究(A) 08750613)および前田記念工学振興財団研究助成金の補助を受けて実施されたものである。

参考文献

- 1) B.O. hardin : Crushing of Soil Particles, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. III, No.10 pp1177-1192.
- 2) 三浦清一ら: 北海道火山性粗粒土の静的および動的力学挙動と粒子破砕、土木学会論文集 No.547/III-36, pp159-170, 1996.9.
- 3) 三浦哲彦、山内豊聡: 砂のせん断特性に及ぼす粒子破砕の影響、土木学会論文報告集第260号、1977.6.

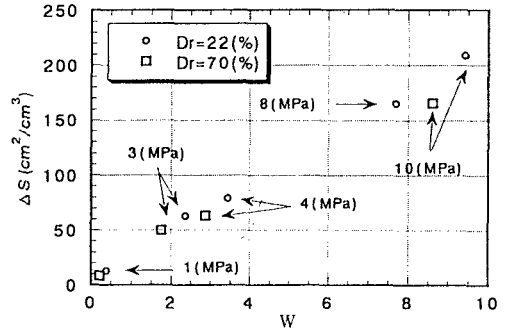


図-3 Wと ΔS の関係

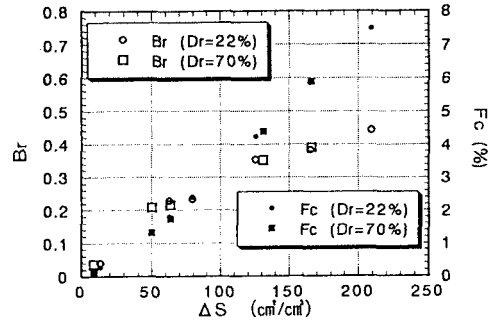


図-4 ΔS と Br 、 F_c の関係

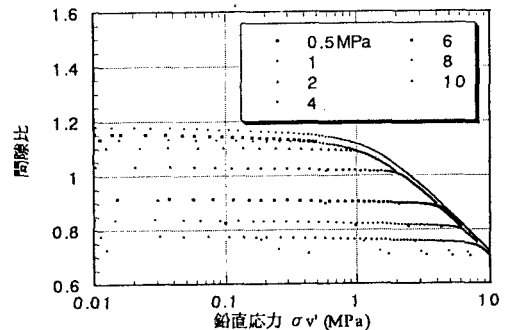


図-5 圧縮曲線(載荷、除荷)

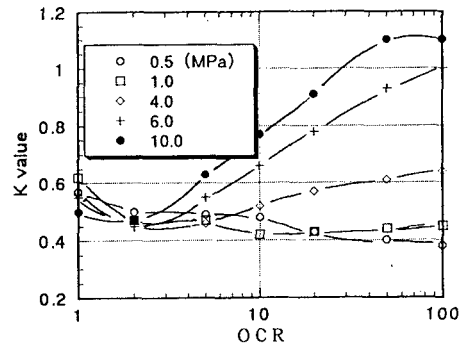


図-6 OCRと K 値の関係