

III-A 26

破碎性に着目した砂の非排水変相状態における特性について

九州大学工学部 学○高原 良太

九州大学工学部 正 落合 英俊 正 安福 規之

九州大学工学部 正 大嶺 聖 正 大野 司郎

**1.はじめに** まさ土、しらす、カーボネイト砂などの破碎しやすい地盤中の杭の支持力算定に際しては、粒子破碎に伴う圧縮性を考慮することの重要性が指摘されており、地盤の変形を取り入れた合理的で精度の良い支持力算定法の確立が望まれている。著者らは、このような立場から先端支持力を評価する方法として、1) 空洞膨張理論と破壊モードを組み合わせた手法<sup>1)</sup>、2) 古典的な支持力理論に圧縮性の効果を組み入れた手法<sup>2)</sup>、3) 応力ひずみ挙動の拘束圧依存性を考慮できる構成式に基づく解析的な手法<sup>3)</sup> について検討を加えている。しかし、このような方法で支持力を合理的に評価するためには、拘束圧とひずみレベルに対応した精度の良い地盤物性値の把握が不可欠である。本文では、材料の破碎性に着目して非排水条件下で重要な意味をもつ変相状態でのせん断特性に焦点をあて、それを考察する。

**2. 試料および実験方法** 試料は、Dogs Bay砂 ( $G_s = 2.717 \text{g/cm}^3, e_{\text{max}} = 1.720, e_{\text{min}} = 1.080, U_c = 2.20, \text{CaCO}_3 \text{含有率} = 95\%$ ) と豊浦砂 ( $G_s = 2.640 \text{g/cm}^3, e_{\text{max}} = 0.985, e_{\text{min}} = 0.606, U_c = 1.58, \text{CaCO}_3 \text{含有率} = 0\%$ ) の2種類を用いた。Dogs Bay砂はカーボネイト系の砂質土であり、粒子形状が扁平で角張っているため大きな間隙を形成しやすく、また粒子自体に多くの間隙を含んでいる。実施した試験は等方圧密非排水三軸圧縮試験 (CU試験) である。供試体は内径50mm、高さ100mmのモールド内に脱気水を満たし、水中保存しておいた試料を水中落下させて作製した。

作製時の相対密度 ( $D_r$ ) は50~60%を目標とした。また、供試体のB値は2重負圧法により0.95以上を確保した。拘束圧は低圧域として0.1、0.2、0.3MPa、中圧域として1.0、2.0、3.0MPaとした。また、ひずみ速度は0.2 (%/min) とした。実験終了後、各試料の破碎状況を調べるためにRo-tapシーカーにより5分間ふるい分け試験を行い粒度を調べた。

**3. 試験結果および考察**

**1) 試料の破碎性** 粒子破碎を評価するためには、破碎性を簡便かつ精度よく表すことのできる指標が必要となるが、今回はその指標として相対破碎率  $Br$  を用いた<sup>4)</sup>。図-1 はせん断過程で軸ひずみ20%を与えた試験終了後の各試料の  $Br$  と拘束圧の関係を示している。これを見ると、Dogs Bay砂は豊浦砂に比べ  $Br$  の値が総じて大きく、 $\sigma'_c = 0.3 \sim 0.5 \text{MPa}$  から急激に増加していることも分かる。ここで、基準となる  $Br$  値として  $\sigma'_c = 1 \text{MPa}$  の時の  $Br$  の値を用いると、Dogs Bay砂の場合0.14、豊浦砂の場合0.03となり Dogs Bay砂の破碎性が極めて大きいことが分かる。

**2) 正規化した有効応力経路とセカントアンゲル  $\phi'_{ps}$**  図-2 はDogs Bay砂の有効応力経路を圧密圧力  $p_0$  で正規化したものである。これを見ると、拘束圧の増加にともない有効応力経路が膨張性を示す特性から収縮性の特性へと徐々に変化する様子が表れているが、中圧域においては、拘束圧の変化による有効応力経路の変化はほとんどみられなくなっている。図-3 は両試料の有効応力経路における変相点でのセカントア

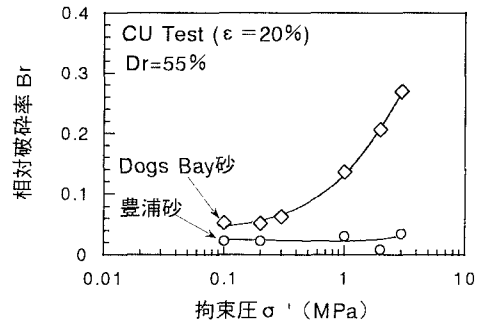


図-1 Br と拘束圧の関係

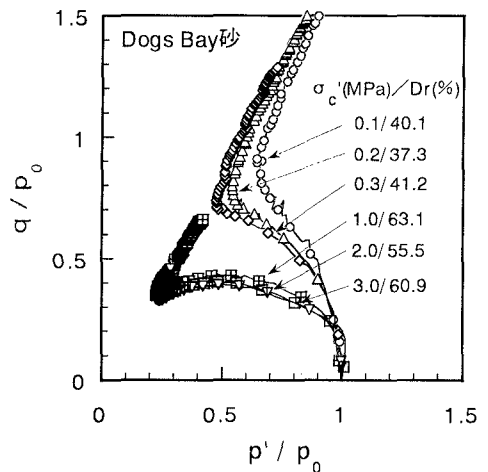


図-2 Dogs Bay砂の有効応力経路

ンゲル $\phi'_{pt}$ と拘束圧 $\sigma'_c$ の関係を示している。この図より、圧縮せん断過程で破砕量(Br値)が増加するにもかかわらず両試料とも $\phi'_{pt}$ の値は拘束圧によらず一定であることが分かる。また、Dogs Bay砂は豊浦砂に比べ $\phi'_{pt}$ の値が10程度大きくも見てとれる。

3) 変相点に至るまでのひずみ量 $\epsilon_{pt}$ と破砕性 図-4は各試料の変相点に至るまでのひずみ量 $\epsilon_{pt}$ と拘束圧 $\sigma'_c$ の関係を示している。これを見ると $\epsilon_{pt}$ の値は、豊浦砂の場合、低圧域においては拘束圧の変化によらずほぼ一定であり、中圧域においては拘束圧の増加にともない増大する傾向にある。一方Dogs Bay砂は、低圧域のうちから拘束圧の増加にともない増大しているが、その傾向は中圧域においてさらに著しくなる。この傾向は、図-1に示した $Br-\sigma'_c$ 関係と類似したものであり $\epsilon_{pt}$ の拘束圧依存性が粒子破砕に起因するものであることを示唆する。

4) 非排水せん断剛性と破砕性 変形を考慮して杭の先端支持力を評価する場合、問題となるひずみレベルに応じたせん断剛性の評価が重要となる<sup>1)</sup>。図-5は両試料の変相点における非排水せん断剛性 $G_{pt}$ と拘束圧 $\sigma'_c$ の関係を示したものである。この図より、Dogs Bay砂の場合、豊浦砂に比べて $G_{pt}$ の拘束圧による増加が極めて小さいことが分かる。このことから、破砕の増加が $G_{pt}$ の増加を抑制すると判断できる。図-6はせん断ひずみ0.1%~1%においてDogs Bay砂のせん断剛性 $G(D)_{sec}$ を豊浦砂の $G(T)_{sec}$ で正規化した量とせん断ひずみの関係を示したものである。この図から、1) いずれの拘束圧においてもその比は $\epsilon$ の増加すなわち破砕量の増加とともに低下すること、2) この比は拘束圧の大きさにも依存し、2つの材料の破砕性とのかねあいによってその比が最も小さくなるような拘束圧が存在することが分かる。

4.まとめ 本研究では破砕性の違いに着目して砂の非排水せん断特性、特に変相状態における挙動についての検討を行った。得られた結果をまとめると次のようである。

- 1) 相対破砕率Brは、せん断変形、せん断剛性の拘束圧依存性を解釈する上で有効な指標である。
- 2) 圧縮せん断過程で破砕率が大きく変化する材料であっても変相状態でのセカントアンゲル $\phi'_{pt}$ は拘束圧によらず一定である。
- 3) ただし、変相点に至るまでのせん断ひずみ、また変相点でみたせん断剛性には破砕の生じ方の違いが明確に表れる。

【参考文献】

- 1) Yasufuku, N.&Hyde, A.F.L.: Pile end-bearing capacity in crushable sands, Geotechnique 45, No.4, 663-676
- 2) 安福ら：圧縮性の卓越した砂中の杭の先端支持力とその評価、土木学会論文集 No.505/ III -29, pp.191-200, 1994
- 3) 安福ら：拘束圧依存性を取り入れた弾塑性構成式の支持力解析への利用
- 4) 大野ら：一次元圧縮下での砂質土の破砕性について、第31回地盤工学研究発表会 1996（投稿中）

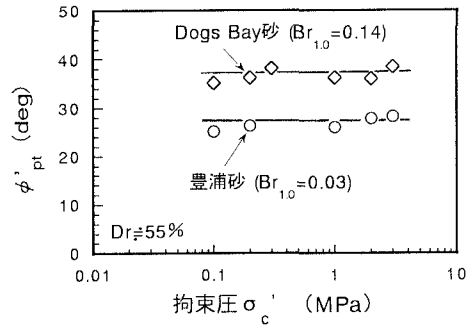


図-3  $\phi'_{pt}$ と拘束圧の関係

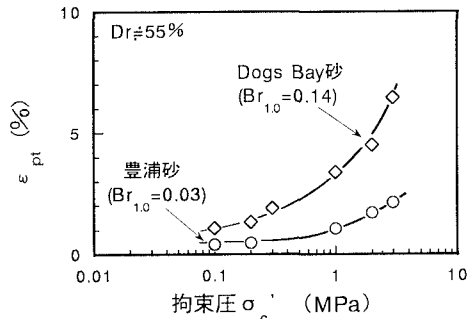


図-4  $\epsilon_{pt}$ と拘束圧の関係

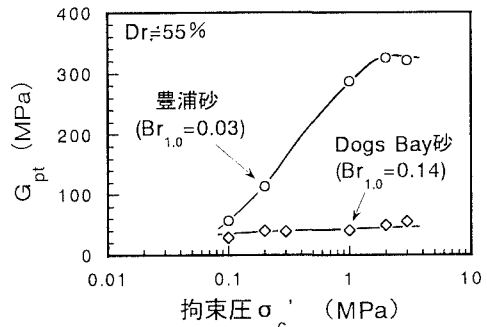


図-5  $G_{pt}$ と拘束圧の関係

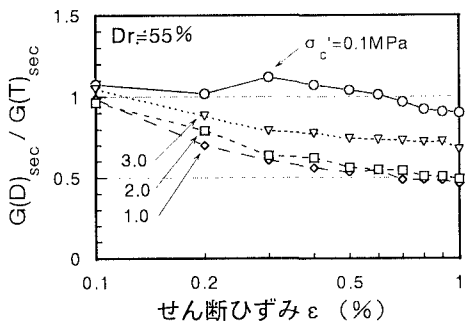


図-6 両試料の非排水せん断剛性の比較