

カーボネイト砂の非排水せん断時の破碎性について

九州大学工学部 学○高原 良太 正 落合 英俊
九州大学工学部 正 安福 規之 正 大嶺 聖
九州大学工学部 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法に際しては、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。そのためには、砂の破碎特性と強度変形特性の関係を明らかにする必要がある。これまで、三浦、山内らをはじめとした数多くの研究者によって、排水せん断による砂の破碎特性と強度変形特性の関係が明らかにされてきている¹⁾²⁾。しかしながら、透水性の極めて低い地盤中での杭の支持力問題を考えるときには、非排水状態での破碎特性と強度変形特性の関係を詳細に検討する必要がある。

そこで本研究では、比較的広範な応力域での圧密非排水三軸圧縮試験を行い、非排水せん断時の砂の破碎特性について考察した。

2. 試料および試験方法 用いた試料はDogs Bay砂 ($G_s=2.717\text{g/cm}^3$, $e_{\max}=1.720$, $e_{\min}=1.080$, $U_c=2.20$) である。これは CaCO_3 含有率が9.5%のカーボネイト系の砂であり、偏平で角張った軟らかい土粒子を多く含んでいる。

実施した試験は、等方圧密非排水三軸圧縮試験 (CU試験) であり、拘束圧 σ'_c は0.1、0.2、0.3、1.0、2.0、3.0MPaの6種類、供試体作製時の相対密度 D_r は60%と85%の2種類とした。また、 $\sigma'_c=1.0$ 、3.0MPaのものについては、せん断ひずみの大きさが所定の値 ($\varepsilon_s=1$ 、3、5、10、15、20) に達した時試験を停止して試料の破碎量を測定し、非排水せん断過程における破碎量の変化を調べた。

3. 粒子破碎の評価方法について 粒子破碎の評価方法としては、試験中のせん断過程における粒径加積曲線の変化によって得られる相対破碎率 Br を用いた。この指標の物理的意味は明らかでなく、最も適した手法とはいえないが、比較的簡便で精度良く粒子破碎を評価できるのでこの評価方法を採用した。

4. 試験結果および考察 図-2は非排水せん断過程での破碎量の変化を示している。 Br の値は、 $\varepsilon_s=3.0\%$ までのせん断初期に急激に増加しているが、これは、有効応力経路が軟化挙動を示し変相点に到るひずみレベルに対応している。また、 $\varepsilon_s=5.0\%$ までは破碎量は拘束圧によらないことも分かる。 $\varepsilon_s=5.0\%$ は、有効応力経路がちょうど変相点をむかえるひずみレベルに対応している。

図-3は非排水せん断中に供試体になされた塑性仕事 W^p とせん断ひずみの関係を示している。どちらの拘束圧下においてもほぼ線形関係が成り立っている。この関係と図-2の関係とから W^p と Br の関係を示したのが図-4である。この関係においても小さい範囲では拘束圧によらず一本の曲線とみなすことができる。

図-5は有効応力経路上に等破碎量の値をコンターで表示したものである。等破碎線は有効応力経路が軟化挙

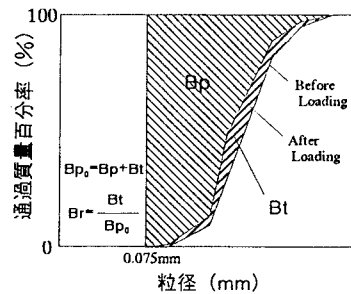


図-1 Brの定義

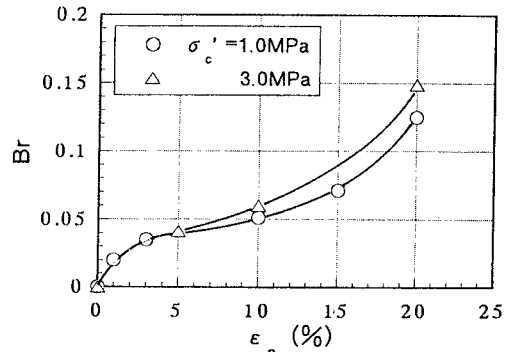


図-2 Brとせん断ひずみの関係

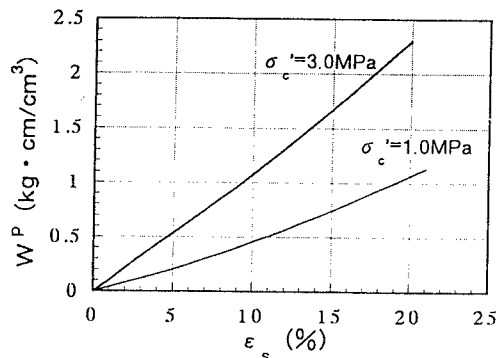


図-3 塑性仕事とせん断ひずみの関係

動に到るまでは直線にならず上に凸な曲線となっている。すなわち、拘束圧が大きいくほど小さな応力比で同量の粒子破碎が生じている。また、軟化から変相点に到るまでは等破碎線は直線となっており、粒子破碎の生じ方に拘束圧の影響は現れなくなっている。なお、 $\sigma'_c = 0.1, 0.2, 0.3 \text{ MPa}$ においては粒子破碎がみられなかった。

図-6は変相点でのセカントアングル ϕ'_{pt} と応力比最大の点でのセカントアングル ϕ'_{max} を拘束圧でまとめたものである。 ϕ'_{pt} の値は相対密度、拘束圧によらず一定であるが、 ϕ'_{max} の値は拘束圧の増加に伴って減少している。その減少傾向は相対密度が小さいほど顕著であり、 $Dr=60\%$ においては $\sigma'_c > 1.0 \text{ MPa}$ で ϕ'_{pt} と ϕ'_{max} が一致している。

図-7はせん断にともなって発現するセカントアングル ϕ'_{mob} と $-du/d\varepsilon$ の関係である。 $-du/d\varepsilon$ の値は、 ϕ'_{mob} の増加とともに増加し、 $\phi'_{mob} = \phi'_{pt}$ の点で $-du/d\varepsilon = 0$ となる。さらに、拘束圧の増加にともなって単調増加の傾きが徐々に小さくなっていることから、この変化は次式で近似できる。

$$-\frac{du}{d\varepsilon} = a\sigma'_c(\phi'_{mob} - \phi'_{pt})^2$$

a の値は $\sigma'_c = 0.1, 0.2, 0.3 \text{ MPa}$ の場合およそ0.03であり、 $\sigma'_c = 1.0, 2.0, 3.0 \text{ MPa}$ の場合、それぞれ0.007、0.0062、0.006となっていた。このことから a は何らかの破碎性指標で補正されるような定数であると推測される。ここでは Br を用いて $a = f(Br)$ と表現できる。また、拘束圧が大きいくほどせん断初期の間隙水圧の発生のみが顕著なことも分かる。

間隙水圧の発生は非排水せん断時の最も大きな特徴であり、本報のような破碎性砂におけるせん断初期の過大な間隙水圧の発生は、拘束圧が大きくなる杭の直下での動的な載荷や非排水状態となるような載荷形態をとる場合にせん断強度を過大評価する要因となり得る。

5. まとめ 今回の考察により、非排水せん断時の破碎特性について次のことが明らかとなった。

- 1) 非排水せん断時の粒子破碎は、せん断初期の微小なひずみレベルにおいて急激に増加する。
- 2) 供試体になされた塑性仕事と Br の関係は変相点に到るまではほとんど拘束圧による違いはみられない。
- 3) 拘束圧が大きいくほどせん断初期の間隙水圧は顕著に発生し、 ϕ'_{mob} と $-du/d\varepsilon$ の関係は拘束圧と破碎性をパラメータとした一つの近似式で表すことができる。

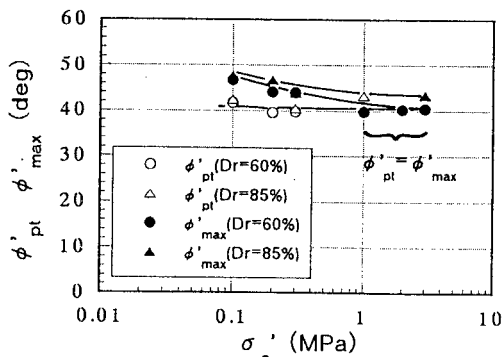


図-6 ϕ'_{pt} 、 ϕ'_{max} と拘束圧の関係

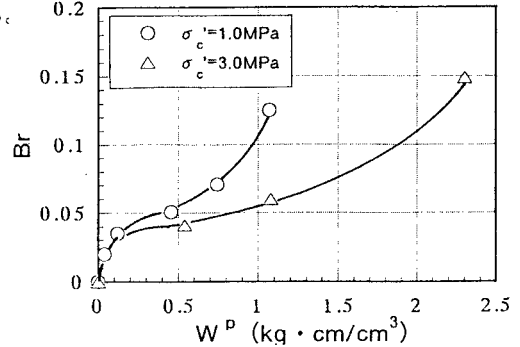


図-4 Br と塑性仕事の関係

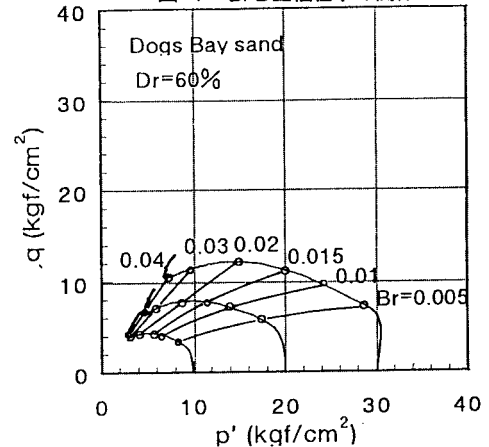


図-5 等破碎線を表示した有効応力経路

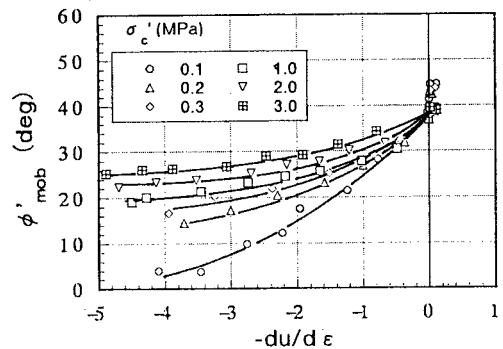


図-7 セカントアングルと $-du/d\varepsilon$ の関係

【参考文献】1) 三浦哲彦・山内豊聡：砂のせん断特性におよぼす粒子破碎の影響、土木学会論文報告集、No.260, pp.109～118, 1977. 2) 新城ら：さんご石灰質砂の強度特性、農業土木学会論文集、第163号、pp.95～101, 1993.