

III-A 27

破碎性に着目した砂のせん断抵抗角について

九州大学 工学部 学〇郭 理敏 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. まえかき

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いる¹⁾。著者らは、この観点から地盤の変形性や圧縮性を取り入れた杭の先端支持力の評価手法について検討してきている²⁻³⁾。しかし、地盤の変形を考慮した方法で支持力を合理的に評価するためには、ひずみレベルや拘束圧に着目した地盤物性値の精度のよい把握が必要となる。本文では、1.0~3.0MPaの応力域において排水三軸圧縮試験を行い、特に、せん断過程で発揮されるセカントアングルの発現特性を破碎性の違いに着目して検討する。

2. 試料及び試験方法

用いた試料はシリカ系の砂として豊浦標準砂、カルシウム成分を約60%含む奄美砂、カルシウム成分を約95%含む Dogs bay砂の3種類の砂である。それぞれの試料の物理的性質を表1に示す。特徴的なこととしてDogs Bay砂の初期間隙比が他の試料に比べて大きくなっていることがわかる。三軸試験の全ての供試体は、水中落下法で作成された。それぞれの相対密度は50%を目標とした。0.1、0.2、0.3、1.0、2.0、3.0MPaの拘束圧(以後便宜上、0.1~0.3MPaの拘束圧を低圧域、1.0~3.0MPaの拘束圧を中圧域と称する)でひずみ速度0.2%/minの条件で排水三軸圧縮試験を行った。また、粒子破碎を数量化するために、三軸圧縮試験後の試料を用いてふるい試験を行い、その粒度を調べた。

表-1 試料の物理的性質

	ρ_s (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}	D_{50} (mm)	U_c	CaCO ₃ 含有量(%)
豊浦砂	2.640	0.985	0.606	0.16	1.6	0
奄美砂	2.753	1.114	0.711	0.22	2.2	60
Dogs bay砂	2.717	1.720	1.080	0.60	2.3	95

3. 実験結果と考察

3.1) 破碎性の評価

本研究では粒子破碎の定量的指数として、相対破碎率 Br ⁴⁾を用いる。図-1はせん断ひずみ12%まで排水三軸圧縮試験を行った後の各試料の相対破碎率 Br と拘束圧の関係である。この図をみるといずれも拘束圧依存性があるが、その度合いは砂の種類によって異なり、特にDogs Bay砂の相対破碎率 Br が拘束圧に伴って大きく増加することがわかる。図-1から基準となる破碎性の指標を便宜上、拘束圧1.0MPaの時の相対破碎率 Br を $Br_{1.0}$ と定義すると、豊浦砂の場合、 $Br_{1.0}=0.025$ 、奄美砂の場合、 $Br_{1.0}=0.067$ 、Dogs Bay砂の場合、 $Br_{1.0}=0.161$ となり、Dogs Bay砂の破碎性が最も大きいことが示される。

3.2) セカントアングル及びダイレタンシー挙動

各試料の中で破碎性の最も大きいDogs Bay砂のせん断過程で発揮されるセカントアングル (Φ'_{sm}) およびダイレタンシー挙動 ($-d\epsilon_v/d\epsilon$) とせん断ひずみの関係を図-2に示す。この図より、せん断ひずみに対するセカントアングル Φ'_{sm} と $(-d\epsilon_v/d\epsilon)$ の発現は共に著しい拘束圧依存性を示すことがわかる。

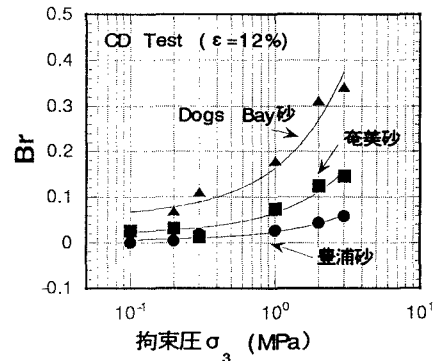


図-1 相対破碎率 Br と拘束圧の関係

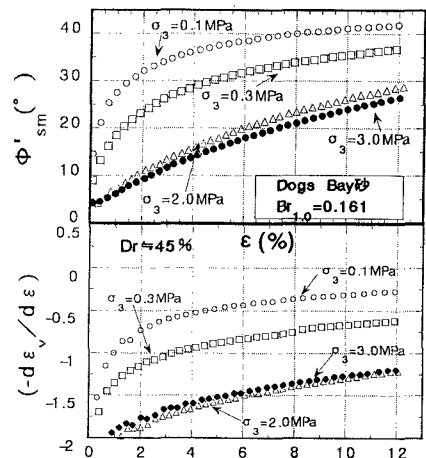


図-2 Dogs Bay砂の Φ'_{sm} 、 $(-d\epsilon_v/d\epsilon)$ とせん断ひずみ ϵ (%) の関係

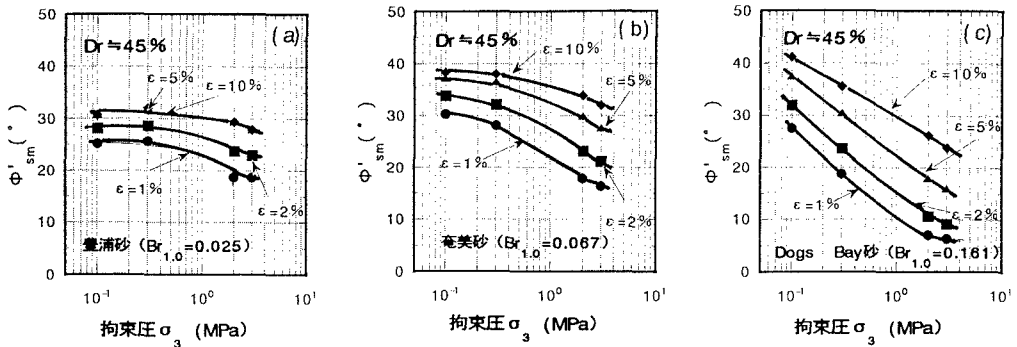


図-3 せん断過程における Φ'_{sm} と拘束圧の関係

3.3) Φ'_{sm} の拘束圧依存性と破砕性

変形を考慮した杭の先端支持力の評価法を検討する際には、ひずみレベルや拘束圧に着目した地盤物性値としてのせん断抵抗角の把握が重要となる²⁾。図-3は、各試料の Φ'_{sm} と拘束圧の関係をせん断ひずみに着目してまとめたものである。図(a)～(c)はそれぞれ豊浦砂 ($Br_{1.0}=0.03$)、奄美砂 ($Br_{1.0}=0.07$)、Dogs Bay砂 ($Br_{1.0}=0.16$)の結果を示しており、破砕性の小さい順に並べられている。これらの図から、破砕性の大きい試料、すなわち、 $Br_{1.0}$ 値の大きい試料ほど、 Φ'_{sm} の値は、拘束圧の影響を顕著に受け、その値はいずれのひずみレベルでも著しく小さいことが知れる。

図4(a),(b)は、せん断ひずみ1%と5%で発現される Φ'_{sm} を限界状態におけるせん断抵抗角 Φ'_{cv} で正規化した Φ'_{sm}/Φ'_{cv} と相対破砕率 $Br_{1.0}$ の関係を示したものである。なお、 Φ'_{cv} は、その材料の最低限の強度を保証するものであり、豊浦砂で31.0度、奄美砂で36.7度、Dogs Bay砂で46.0度であった。図4から、 Φ'_{sm}/Φ'_{cv} は $Br_{1.0}$ の値が大きいほど小さくなり、この傾向は拘束圧が大きくなるにつれて顕著となることがわかる。このような Φ'_{sm}/Φ'_{cv} の特性は、他のせん断ひずみの場合にも同様に認められた。したがって、このことは、拘束圧が大きいほど、また破砕性の大きいほど、同じひずみレベルにおいて発現する Φ'_{sm} は小さく、結果として Φ'_{sm} の発現には相対的に大きなせん断変形を必要とすることを意味する。

4. まとめ

本研究では、拘束圧と破砕性の違いに着目して、砂のせん断抵抗角の特性について検討した。得られた結果は、1) 相対破砕率 Br は、せん断過程で発現されるセカントアンゲルの特性を解釈する上で有用な指標となる。2) 破砕性の大きい材料ほど Φ'_{sm} の発現には、大きなせん断変形を必要とする。

参考文献

- 1) Miura, N(1985) : Point Resistance of Piles in Sand, Proc. 11th Int. Conf. on Soil Mech. San Francisco 3, 1448-1455.
- 2) 安福ら (1994) : 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, 191-200.
- 3) Yasufuku N and Hyde A.F.L F Pile end-bearing capacity in crushable sands, Geotechnique 45, No.4, 663-676.
- 4) B.O.Hardin (1984) : Crushing of Soil Particles, Journal of Geotechnical Engineering, Vol.111, No.10, 1177-1192

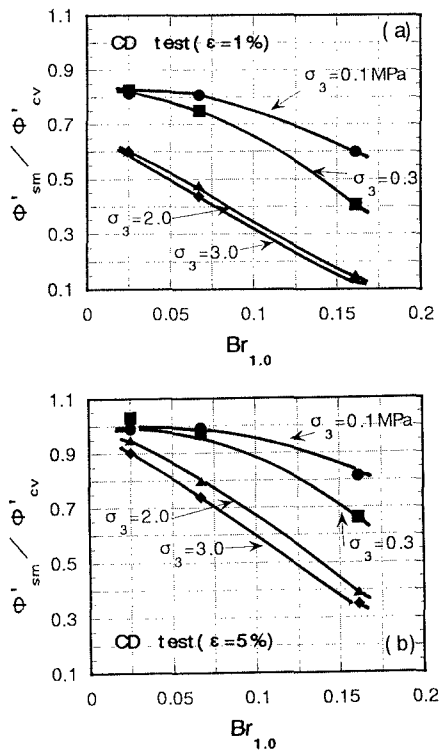


図-4 基準となる破砕性指標 $Br_{1.0}$ と Φ'_{sm} / Φ'_{cv} の関係