

Ⅲ - A37

主応力方向固定下におけるカーボネイト砂の排水せん断挙動

第一復建 正会員 板倉志保美

山口大学工学部 正会員 中田幸男 兵動正幸 村田秀一

山口大学大学院 山田泰弘

1. まえがき

カーボネイト砂は、熱帯・亜熱帯の海域を中心に世界中に広く堆積し、炭酸カルシウム質を含む砂質土系の材料としてよく知られている。この砂は、杭基礎を設置する際に支持力や周面摩擦力が発揮されないといった工学的に問題を抱えた試料として捉えられている。これまでに三軸圧縮条件下におけるカーボネイト砂の力学試験結果が数多く報告されている^{1),2)}。しかし、実際の地盤の応力状態を考慮すると試験の応力条件は三軸圧縮条件だけでは不十分であると考えられる。本研究では、以上のことを踏まえ、拘束圧に着目してカーボネイト砂の排水せん断挙動に与える主応力方向の影響を明らかにすることを目的として、一連の試験を行うものである。

2. 試料および試験方法

用いた試料は、カーボネイト砂である Dogs Bay 砂で、物性値は表-1に示している。また、比較のためにシリカ砂である秋穂砂の物性値も示している。Dogs Bay 砂は、秋穂砂と

表-1 試料の物性値

SAMPLE	G _s	e _{max}	e _{min}	N _{intra} (%)	D ₅₀ (mm)	U _c	CaCO ₃ (%)
Dogs Bay	2.723	2.451	1.621	13.68	0.22	1.92	95.0
Aio	2.623	0.975	0.624	1.63	0.84	2.35	0.0

比べて粒子内間隙率 N_{intra} が大きく、最大・最小間隙比も大きい。また、Dogs Bay 砂は貝殻を多く含んでおり、粒子形状は球状から針状まで様々である。試験は中空ねじりせん断試験機を用いて行い、供試体は高さ 20cm、外径 10cm、内径 6cm の中空円筒形で、相対密度 $Dr=65\%$ を目標に水中落下振動法を用いて作成した。飽和は脱気水の通水および 100kPa の背圧を負荷することで行った。本研究では、最大主応力方向 σ_1 と鉛直軸 z とのなす角を主応力方向角 α_0 と定義している(図-1)。応力とひずみのパラメータは軸差応力 $q = 1/\sqrt{2} \{ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \}^{0.5}$ 、応力比 $\eta = q/p$ 、軸差ひずみ $\gamma = \sqrt{2}/3 \{ (\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2 \}^{0.5}$ 、体積ひずみ $\epsilon_v = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3$ である。試験の応力経路を、図-2(a)(b)に示す。 $p = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3 = 30\text{kPa}$ から $p_c (=50, 100\text{kPa})$ まで等方圧密を行い(図(a))、その後のせん断は平均有効主応力 $p = p_c$ 、中間主応力係数 $b=0.5$ および主応力方向角 α_0 をそれぞれ $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ に固定して、ひずみ制御方式で行う(図(b))³⁾。

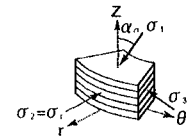


図-1 供試体要素

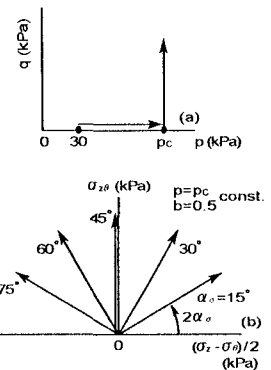


図-2 試験の応力経路
(a) 圧密経路 (b) せん断経路

3. 試験結果

図-3は、応力比 η - 軸差ひずみ γ - 体積ひずみ ϵ_v 関係を示している。(a) 図が $p_c=50\text{kPa}$ 、(b) 図が $p_c=100\text{kPa}$ の結果である。また、図中には三軸圧縮 ($b=0, TC$)・三軸伸張 ($b=1, TE$) 試験結果も併せて示している。いずれの結果においても、せん断初期の応力ひずみ挙動は α_0 の大きさに依存しないものの、ピーク時の応力比は α_0 の増加に伴い $p_c=50\text{kPa}$ で 1.7 から 1.2、 $p_c=100\text{kPa}$ で 1.6 から 1.1 と低下している。 $\gamma - \epsilon_v$ 関係では、特性状態の体積ひずみは、いずれの拘束圧においても α_0 に依存していることがわかる。このような主応力方向による応力ひずみ挙動の違いは、シリカ系

Key word : carbonate sand , principal stress direction , drained test , anisotropy , confining pressure

〒755 山口県宇部市常盤台 2557 山口大学工学部 TEL (0836)35-9111 FAX (0836)35-9429

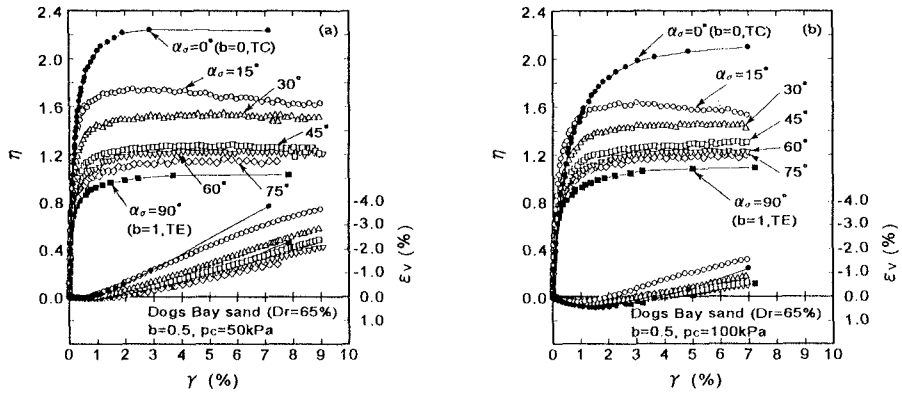


図-3 応力比-軸差ひずみ-体積ひずみ関係 (a) $p_c=50\text{kPa}$ (b) $p_c=100\text{kPa}$

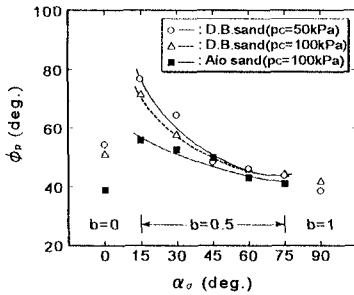


図-4 ピーク時の内部摩擦角-主応力方向角関係

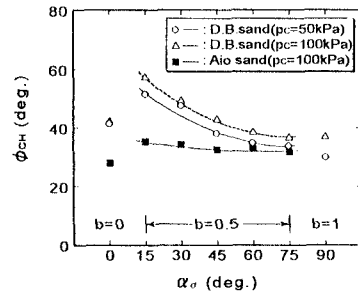


図-5 特性状態の内部摩擦角-主応力方向角関係

の砂を対象に行われた初期構造異方性に関する研究(例えば小田⁴⁾)で得られた挙動と類似の傾向を示していることから、重力下で堆積したときに現れる構造的な異方性に起因しているものと考えられる。図-4、図-5は、ピーク時の内部摩擦角 ϕ_p および特性状態の内部摩擦角 ϕ_{ch} と主応力方向角 α_σ の関係を示している。図中には秋穂砂($p_c=100\text{kPa}$)の結果も併せて示している。いずれの図においても、 ϕ_p および ϕ_{ch} はDogs Bay砂の方が秋穂砂よりも高いことがわかる。また、主応力方向角 α_σ が鉛直軸から水平軸に傾くにつれ、 ϕ_p および ϕ_{ch} は低下していることを示している。しかし、具体的にみると、図-4では $\alpha_\sigma=15^\circ$ から 75° の ϕ_p の低下は、Dogs Bay砂の $p_c=50\text{kPa}$ で 33° 、 $p_c=100\text{kPa}$ で 28° 、秋穂砂で 12° となっており、Dogs Bay砂の低下率が大きいことがわかる。これは、Dogs Bay砂が針状の粒子を多く含み、供試体作成時にそれらの粒子が水平方向に卓越して配列することによって、初期構造異方性の影響が強く現れたためと考えられる。また、拘束圧の増加と共に ϕ_p の値が減少し、 α_σ の増加に対する ϕ_p の低下の程度が小さくなることがわかる。図-5においては、 $\alpha_\sigma=15^\circ$ から 75° の ϕ_{ch} の低下はDogs Bay砂の $p_c=50\text{kPa}$ で 18° 、 $p_c=100\text{kPa}$ で 21° 、秋穂砂で 4° となっており、 ϕ_p の場合と同様にDogs Bay砂の低下率が秋穂砂よりも大きいことがわかる。しかし、拘束圧の増加と共に ϕ_{ch} の値が増加し、 α_σ の増加に対する ϕ_{ch} の低下の程度は大きくなっていることがわかる。

4. まとめ

本報では、カーボネイト砂を用いて主応力方向を固定した条件下における排水せん断試験を実施した。その結果、主応力方向の違いはカーボネイト砂の応力ひずみ挙動に影響を与え、主応力方向角の増加と共に、強度の低下が認められた。また、拘束圧の増加に伴って、 ϕ_p の低下は小さくなるが、 ϕ_{ch} の低下は大きくなることがわかった。

(参考文献)1)C.R.Golightly & A.F.L.Hyde(1988): Engineering for Calcareous Sediments, Jewell & Andrews(eds), pp.69-78. ;2)T.S.Hull, H.G.Poulos & H.Alehossein(1988): Engineering for Calcareous Sediments, Jewell & Andrews(eds), pp.87-96. ;3)中田幸男ら(1995):土木学会論文集, No.511/Ⅲ-30, pp.209-220. ;4)Oda,M.(1972a):Soils and Foundations, Vol.12, No.1, pp.17-36