

カーボネイト砂のせん断挙動に与える主応力方向の影響

(財) 大阪土質試験所 正会員 ○下野段朋恵

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

学生員

林勝彦

1. はじめに

カーボネイト砂は珊瑚礁や貝殻などの海洋生物の死骸を多く含み、粒子自体にも間隙を有した脆弱な粒子からなっている。これまでに、カーボネイト砂についての詳細な力学特性を明らかにする研究が三軸圧縮試験を中心に行われ数多くの研究成果が報告されている^{1),2)}。しかし、せん断挙動に与える初期構造異方性、拘束圧依存性、排水条件の影響、またそれらが相互に与える影響についての研究は十分とはいえず、これらの影響を系統立てて実験的に検討することは、地盤の設計において経済性や安全性等を発展させるために必要であるといえる。そこで本研究では、カーボネイト砂である Dogs Bay 砂と、比較のためにシリカ系の秋穂砂について中空ねじりせん断試験機を用いて主応力方向固定せん断試験を行い、拘束圧に着目してそれぞれのせん断挙動について検討を行う。

2. 試料および実験方法

本研究で用いた試料は、カーボネイト砂である Dogs Bay 砂とシリカ系の秋穂砂である。試料の物理的性質を表 1 に示す。

SAMPLE	G_s	e_{max}	e_{min}	D_{50} (mm)	U_c	CaCO ₃ (%)
Dogs Bay	2.723	2.451	1.621	0.22	1.92	95.0
Aio	2.623	0.975	0.624	0.84	2.35	0.0

Dogs Bay 砂は秋穂砂と比較して最大、最小間隙比ともに大きいこと、粒径が小さいこと、炭酸カルシウム質の含有量が多いことがわかる。また Dogs Bay 砂の粒子形状は、球状から針状や扁平な形状まで様々である。実験は、中空ねじりせん断試験機を用いて行った。供試体は、概ね高さ 20cm、内径 6cm、外径 10cm の中空円筒形で、それぞれ相対密度 $Dr=65\%$ を目標に、Dogs Bay 砂は水中落下振動法を用い、秋穂砂は空中落下法を用いて作成した。また、本研究では鉛直軸 z と最大主応力 σ_1 とのなす角を主応力方向角 α_σ と定義している(図 1 参照)。図 2 は主応力方向固定試験の応力経路を p - q 関係、 σ_z - $(\sigma_z-\sigma_\theta)$ 関係に示したものである。圧密は応力制御方式を用い、自立時の拘束圧 29kPa から所定の拘束圧まで等方圧密を行った。その後せん断は、平均主応力 p 、中間主応力 $b=0.5$ および主応力方向角 α_σ を一定に保ち、ひずみ制御方式で排水、非排水条件の 2 種類について行った。

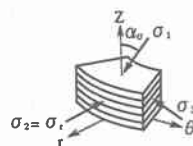


図 1 供試体要素に作用する応力

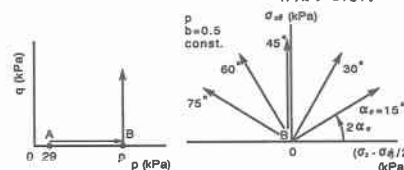


図 2 試験に用いた圧密経路とせん断経路

3. 実験結果と考察 図 3(a),(b) は、それぞれ $p_c=98\text{kPa}$ における Dogs Bay 砂、秋穂砂の非排水せん断試験より得られた軸差応力 q と平均有効主応力 p' の関係を示している。いずれの結果においても、主応力方向角 α_σ の違いは有効応力経路に影響を与え、 α_σ が増加するにつれて変相状態、また変相状態以降における軸差応力が減少し、間隙水圧の発生量が増加していることがわかる。2つの試料を比較した場合、Dogs Bay 砂は、秋穂砂よりも過剰間隙水圧の発生量が多いことがわかる。図 4(a),(b) は、それぞれ Dogs Bay 砂、秋穂砂の図 3 の有効応力経路に対応した軸差応力 q と軸差ひずみ γ の関係を示している。Dogs Bay 砂について、 $\gamma=6\%$ 付近までは軸差ひずみの増加とともに軸差応力は大きく増加しているが、 $\gamma=6\%$ 付近を越えると軸差応力の増加は緩やかになり、 $\gamma=15\%$ 付近では軸差応力は増加せず、定常状態に至っていることがわかる。一方秋穂砂については、軸差ひずみの増加とともに軸差応力は大きく増加しており、平均有効主応力の増加とともに軸差応力は増加しているといえる。図 5(a),(b) は、Dogs Bay 砂の排水および非排水試験より得られた軸差ひずみ $\gamma=7\%$ における軸差応力 $q_{\gamma=7\%}$ と初期拘束圧 p_c の関係を示している。(a) は排水試験結果、(b) は非排水試験結果を示したものである。いずれの排水条件においても α_σ の増加とともに軸差応力は減少している。拘束圧に着目した場合、初期拘束圧の増加に伴い軸差応力は増加しているが、排水条件によってその増加量は

異なり、排水試験結果に比べて非排水試験結果における軸差応力の増加量が小さいことがわかる。また、(a),(b)の強度を比較すると、 $p_c=49\text{kPa}$ では排水強度よりも非排水強度の方が高いが、ある拘束圧から排水強度の方が高くなり $p_c=294\text{kPa}$ では排水強度の方が高くなっていることが明らかである。排水条件による初期拘束圧と軸差応力の関係を具体的にみるために、Dogs Bay 砂と秋穂砂について示したものが図 6(a),(b)である。図 6(a),(b)はそれぞれ、 $\alpha_o=45^\circ$ における Dogs Bay 砂、秋穂砂の軸差ひずみ $\gamma=7\%$ に達したときの排水および非排水試験から得られた軸差応力と初期拘束圧の関係を示している。図より、Dogs Bay 砂について、排水での軸差応力は $p_c=49\text{kPa}$ でおよそ 50kPa 、 $p_c=294\text{kPa}$ でおよそ 340kPa を示し、約 300kPa と軸差応力の増加量が大きいのにに対し、非排水での軸差応力は 200kPa から 250kPa と、ほぼ一定の値をとっている。そのため、排水せん断強度と非排水せん断強度とが等しくなる拘束圧が $p_c=130\text{kPa}$ 付近で現れ、初期拘束圧が 130kPa より低い領域では非排水せん断強度の方が高く、 130kPa より高い領域では排水せん断強度の方が高いことがわかる。これは、Dogs Bay 砂のせん断挙動について今回実験を行った初期拘束圧域内において、Dogs Bay 砂の粒子が脆弱なため 300kPa 程度の拘束圧下で顕著な粒子破碎が起こり、砂のせん断の最終状態、定常状態が現れたことに起因すると考えられる。一方秋穂砂については、今回示す拘束圧域内においては顕著な粒子破碎を示さず、Dogs Bay 砂とは対照的に、拘束圧の増加とともにせん断強度も増加し、非排水せん断強度の方が排水せん断強度よりも高く現れたといえる。

4.まとめ 主応力方向は砂の応力径路に影響を与え、主応力方向角の増加は強度の低下、ダイレタンシー量の増加を引き起こす。また、今回行った実験の拘束圧域内において、秋穂砂は非排水せん断強度の方が排水せん断強度よりも高く現れたのに対し、Dogs Bay 砂では顕著な粒子破碎を起こし定常状態が現れ、非排水せん断強度が排水せん断強度を下回る結果が現れた。【参考文献】1) C.R.Golightly & A.F.L.Hyde(1988): Engineering for Calcareous Sediments, Jewell & Andrews(eds), pp.69-78. 2) 板倉志保美・中田幸男・兵藤正幸・村田秀一(1997): 第32回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.473-474.

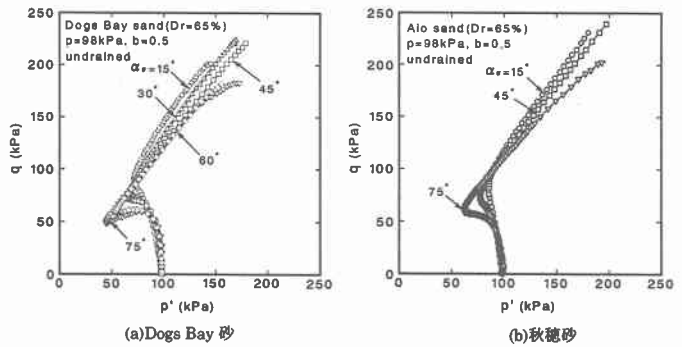


図3 軸差応力-平均有効主応力関係

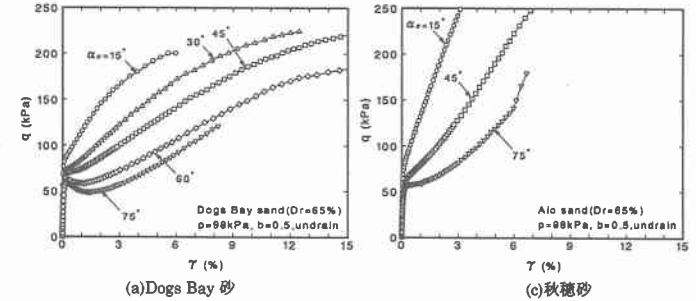


図4 軸差応力-軸差ひずみ関係

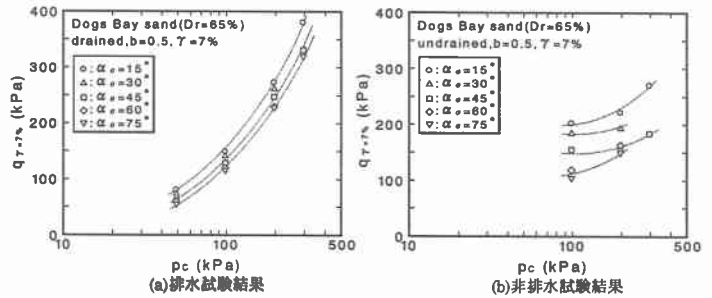


図5 軸差ひずみ7%に達したときの軸差応力-初期拘束圧関係

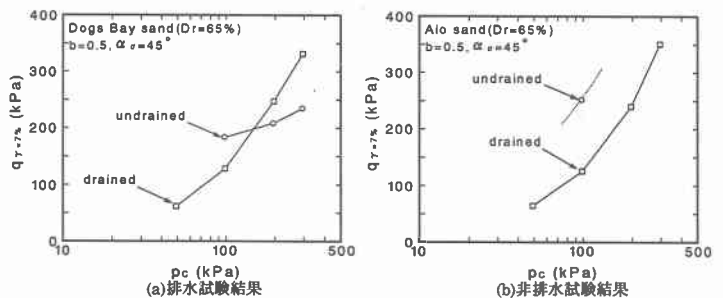


図6 Dogs Bay 砂と秋穂砂の軸差ひずみ7%に達したときの軸差応力-初期拘束圧関係