

Ⅲ-241

カーボネイト砂の非排水単調および繰返しせん断特性
に及ぼす初期拘束圧の影響

山口大学工学部 正 員 兵動正幸 村田秀一
山口大学大学院 学生員○荒牧憲隆 徳原裕輝
応用地質（株） 正 員 伊藤雅之

1. まえがき

カーボネイト砂地盤は、世界の海底地盤の約1/3を占め、炭酸カルシウム成分を主体とした砂であり、圧縮性が卓越していることや破砕性に富む材料として知られている。このような砂地盤に海洋構造物を建設する場合、拘束圧の増加が考えられ、粒子破砕を伴ったせん断挙動に変化が生じると考えられる。さらに海洋構造物には荒天時の波浪や地震等の動的外力が作用することがあり、動的外力がカーボネイト砂地盤に及ぼす影響について種々の問題点^{1)~3)}が取りざたされている。本研究は、カーボネイト砂の圧縮特性を調べ、それに起因する初期拘束圧の違いが、静的・動的せん断特性に与える影響について述べる。

2. 試料の物理特性および実験方法

本研究で用いたカーボネイト砂 ($e_{max}=2.451$, $e_{min}=1.621$, $G_s=2.723$) は、アイルランド西海岸Dogs Bayから採取されたものであり、炭酸カルシウム ($CaCO_3$) を94%含有したものである。その粒子は、主に珊瑚礁や貝殻等の海洋生物の死骸を含み、粒子自体に間隙を多く有する。この試料は、豊浦標準砂 ($e_{max}=0.973$, $e_{min}=0.635$, $G_s=2.643$) と比べ、 e_{max} , e_{min} とともにかなり大きいことが特徴的である。図-1はカーボネイト砂の三軸等方圧縮・除荷試験の結果であり豊浦標準砂と比較したものである。カーボネイト砂は約300kPaで降伏点に至り、その後の体積変化が大きくなることが認められる。

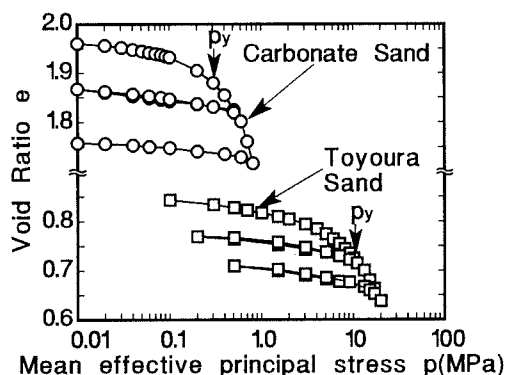


図-1 圧密除荷曲線

本研究では、初期相対密度 $D_{ri}=80\%$ のカーボネイト砂に対し、初期拘束圧 p_c を降伏点前後の100, 300, 500kPaに設定し、非排水単調載荷試験および非排水繰返し三軸試験を行った。供試体は24時間水浸し真空脱気試料を用いて水中落下法により作成した。用いた試験機は、ひずみ制御式三軸試験機（ひずみ速度0.1mm/min）、空圧制御式繰返し三軸試験機（周波数 $f=0.1$ Hz）である。

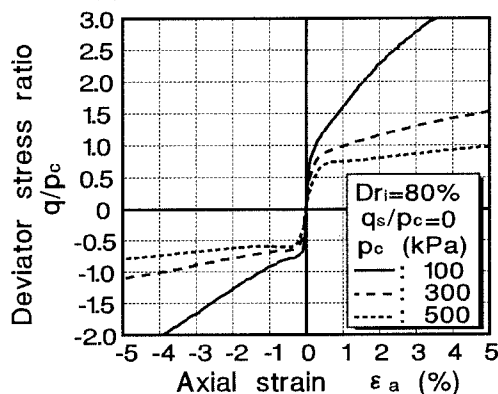


図-2 軸差応力-軸ひずみ関係(単調載荷試験)

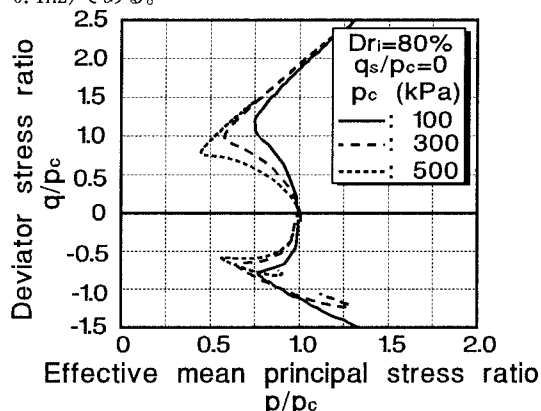


図-3 有効応力経路(単調載荷試験)

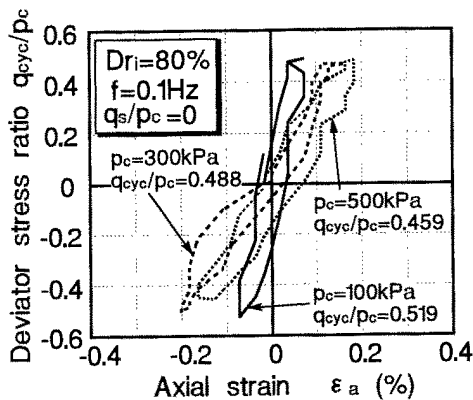


図-4 軸差応力-軸ひずみ関係（繰返し三軸試験）

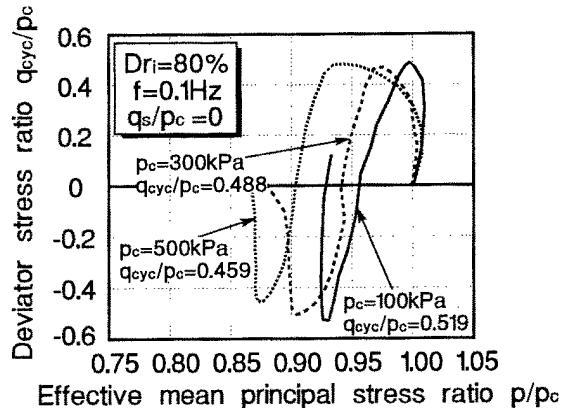


図-5 有効応力経路（繰返し三軸試験）

3. 実験結果および考察

図-2, 3に非排水単調載荷試験より得られた応力-ひずみ関係および有効応力経路をそれぞれ示す。ここで、拘束圧の影響を明確にするため軸差応力 q 、平均有効主応力 p はそれぞれの初期拘束圧 p_c で正規化している。図-2から、圧縮・伸張側ともに拘束圧の増加に伴い、硬化傾向が弱まり正規化強度が低下していく傾向が認められる。図-3より、拘束圧の増加に伴い圧縮・伸張側ともに変相点における応力比 q/p_c は低下しており、より強い収縮挙動を示していく傾向が認められる。図-4, 5に非排水繰返し三軸試験より得られた繰返し回数1回目に着目した軸差応力-軸ひずみ関係、有効応力経路を示す。図-4では、拘束圧の増加に伴い、せん断剛性の低下が観察され、軸ひずみの発生量が大きくなる様子が観察される。図-5においては、拘束圧が増加するにつれ、有効応力の減少量が大きくなっており、収縮挙動が強くなっていく様子がわかる。図-6には同試験より得られた軸ひずみ両振幅 $DA=5\%$ に至るに必要な応力比と繰返し回数の関係を示す。図中、比較のために豊浦標準砂の結果も示している。一般に豊浦標準砂に代表されるようなシリカ系の砂の液化化強度は拘束圧に影響されないと言われている⁴⁾。しかし、カーボネイト砂は拘束圧の増加に伴い液化化強度が減少していることが確認される。以上のようなカーボネイト砂の静的および動的せん断特性に及ぼす拘束圧の影響は、圧縮性（破砕性）の卓越するカーボネイト砂特有の性質により、せん断中に粒子接点における粒子破砕により生じたものと推察される。

4. あとがき

以上、得られた知見をまとめると、カーボネイト砂の静的非排水せん断特性については、初期拘束圧の増加に伴い、有効応力の減少量が大きくなり、強度が低下していく様子が見られた。動的非排水せん断時には、初期拘束圧の増加に伴い、動的強度は低下していく傾向が認められた。

【参考文献】：1) M. Hyodo, Hyde, A.F.L. and T. Konami (1994), Cyclic shear behavior of crushable carbonate sand, BOSS'94 2) 兵動・村田・荒牧・伊藤・徳原：カーボネイト砂の動的強度特性に及ぼす初期せん断応力の影響，第30回土質工学研究発表会（投稿中） 3) 兵動・村田・徳原・伊藤・荒牧：カーボネイト砂の非排水繰返しせん断特性における初期拘束圧の影響，第30回土質工学研究発表会（投稿中） 4) K. Ishihara, F. Tatsuoka and S. Yasuda (1975), Undrained deformation and liquefaction of sands, Proc. ASCE, Soils and Foundations Vol. 15, No. 1, pp. 29-44.