

カーボネイト砂の非排水静的および動的せん断強度特性について

応用地質学	正 員	○伊藤雅之	
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 松下純子

1. はじめに 著者らは、カーボネイト砂の粒子破砕性に着目し、動的せん断挙動に及ぼす拘束圧や初期せん断応力の影響について調べるために一連の実験^{1)~3)}を行ってきた。その中で、密詰めカーボネイト砂は、初期拘束圧の増加と共に動的強度が低下し、また、初期せん断応力の増加に伴い、変形が発生しやすくなるという結果を得ている。本報では、これらの繰返し試験と同様の圧密条件下で静的せん断試験を行い、静的および動的強度の対応関係について検討を行った。

2. 試料および実験方法 実験に用いた試料は、アイルランド西海岸のドッグズベイで採取されたカーボネイト砂($G_s=2.723$, $e_{max}=2.451$, $e_{min}=1.621$, $U_c=1.92$)であり、炭酸カルシウム含有率は94%であった。供試体は脱気水で満たされたペースト状の試料を水中落下させて作成した。飽和供試体に対し、所定の平均有効主応力 p_c になるように、等方圧密後、圧縮側に初期せん断応力を様々に与え異方圧密とした。静的せん断試験では軸ひずみ速度0.1%/minのひずみ制御方式で、繰返しせん断試験においては周波数0.1Hzの正弦波荷重を応力制御方式によりそれぞれ、軸方向に載荷を行った。

3. 静的せん断試験結果と考察 図-1は初期拘束圧を $p_c=100, 300, 500$ kPaの3種類として非排水静的せん断試験を行ったときの有効応力経路であり、拘束圧の影響をより明確にするため初期拘束圧 p_c で正規化して表したものである。図から圧縮・伸張側共に拘束圧の増加に伴い強い収縮挙動を示し、カーボネイト砂の拘束圧依存性が確認できる。このような静的せん断挙動に対し、変相点での軸差応力 q_s を S_{T-q_s} として、図中に示すように初期圧密点から圧縮または伸張側の変相点までの軸差応力 $|S_{T-q_s}|$ によりせん断強度を定義した³⁾。図-2はこの定義に基づいて、 p_c で正規化した静的せん断強度と初期せん断応力比 q_s/p_c の関係について示したものであり、白抜きのプロットは圧縮側、黒塗りのプロットは伸張側の試験結果を示している。図から圧縮・伸張側共に拘束圧の増加に伴い静的せん断強度は低下していることが分かる。また圧縮側では初期せん断応力比の増加と共に静的せん断強度は低下するが、伸張側においては逆に増加する傾向が認められる。さらに、いずれの拘束圧下においても、初期せん断応力比 $q_s/p_c=0.1\sim0.2$ 付近において圧縮および伸張側の静的せん断強度が逆転する様子が確認できる。

4. 繰返しせん断試験結果と考察 図-3(a), (b)は、静的および繰返し試験より得られた有効応力比 $\eta\sim$ 軸差ひずみ ε_a 関係である。まず、同図(a)の等方圧密の試験から見ると、繰返し試験から得られた $\eta\sim\varepsilon_a$ 関係は静的試験の伸張側の $\eta\sim\varepsilon_a$ 関係に沿った軸ひずみの発達を確認できる。これに対し、同図(b)の初期せん断応力比 $q_s/p_c=0.4$ の試験では、繰返し試験より得られた $\eta\sim\varepsilon_a$ 関係が、静的試験の圧縮側の $\eta\sim\varepsilon_a$ 関係に依存した軸ひずみの発達を起こしている様子が認められる。次に、図-4は、カーボネイト砂の軸ひずみ両振幅 $\varepsilon_{DA}=5\%$ に至るに必要な繰返し軸差応力比 q_{cyc}/p_c と繰返し回数 N の関係を示したものである。図中、等方圧密下で行った試験結果を白抜きのプロット、異方圧密の結果を黒塗りのプロットでそれぞれ表している。図から等方および異方圧密共に拘束圧が増加するに従い、液状化強度は減少する傾向が認められる。このような液状化強度の拘束圧依存性は、カーボネイト砂が高拘束圧下のせん断時に粒子破砕を生じるために生じるものと推察される。

カーボネイト砂の軸ひずみの発達が初期せん断応力の影響を受けることや、カーボネイト砂の液状化強度と静的せん断強度の拘束圧による依存性に対応関係があることから、繰返し応力 q_{cyc} を圧縮あるいは伸張側の静的せん断強度 $|S_{T-q_s}|$ で正規化したせん断強度比により、液状化強度の再評価を試みた。図-5はその結果を示したものである。図から、プロットが等方および異方圧密に対して、規定される拘束圧によらないユニークな曲線上に集まる結果となることが認められる。また、異方圧密の方が、等方圧密の場合に比較し繰返しせん断強度が高くなる傾向が観察できる。これは、異方圧密した試験では、繰返しせん断初期において、最初、圧縮側に残留ひずみが蓄積した後、軸ひずみ両振幅が遅れて発達するのに対し、等方圧密の試験では、繰返しせん断初期より伸張側から大きく軸ひずみ両振幅が発達した両者の違いのためと推察される。

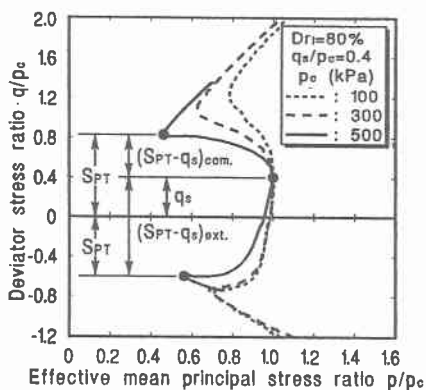


図-1 正規化された有効応力経路

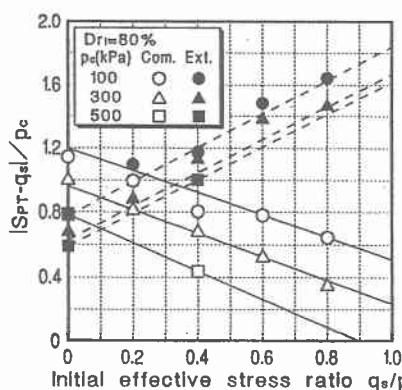


図-2 非排水静的せん断強度と初期せん断応力の関係

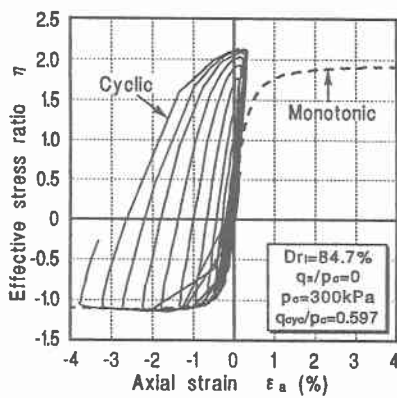
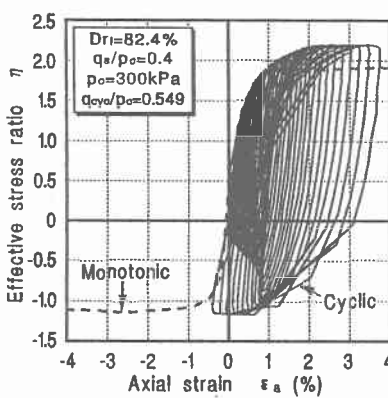
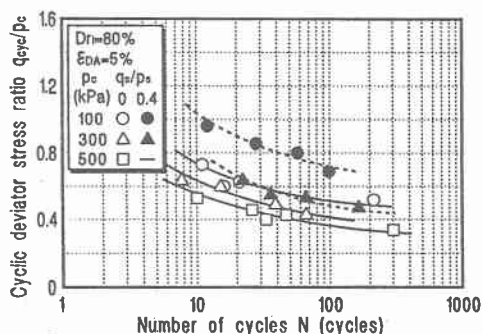
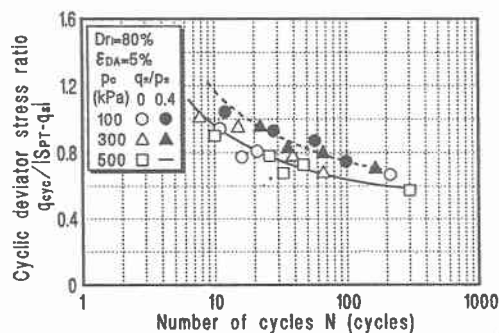
(a) $q_s/p_c=0$ (b) $q_s/p_c=0.4$

図-3 有効応力比～軸ひずみ関係

図-4 軸ひずみ $\varepsilon_{DA}=5\%$ に至るに必要な繰返し応力比と繰返し回数の関係図-5 $|SPT-q_s|$ で正規化された繰返しせん断強度

【参考文献】1) 小浪・兵動・安福・村田・Hyde: カーボネイト砂の動的強度について, 第26回土質工学研究発表会発表講演集, pp.845-848, 1991., 2) 松下・兵動・村田・徳原: 種々の初期せん断応力を受けるカーボネイト砂の動的せん断特性, 第47回土木学会中国支部研究発表会講演概要集投稿中, 3) 徳原・兵動・村田・伊藤: カーボネイト砂の様々な初期拘束圧下における非排水繰返しせん断挙動, 第47回土木学会中国支部研究発表会講演概要集投稿中, 4) Y.P.Vaid and J.C.Chen: Cyclic and Monotonic Undrained Response of Saturated Sands, Advances in The Arts of Testing Soils under Cyclic Conditions, ASCE, Convention, Detroit, pp.120-147, 1985., 5) 木村・兵動・安福・村田・小浪: カーボネイト砂の排水、非排水せん断特性について, 第43回土木学会中国四国支部研究発表会概要集, pp.298-299, 1991.