

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

山口大学工学部 正 員 兵動正幸 村田秀一

応用地質 (株) 正 員 伊藤雅之

山口大学大学院 学生員 徳原裕輝 荒牧憲隆 松下純子

1. まえがき 石油採掘用プラットフォームなどの海洋構造物を建設する際、炭酸カルシウム質(CaCO_3)を多く含むカーボネイト砂地盤に遭遇することが多々ある。カーボネイト砂は、角張った粒子構造を持つ破砕性の材料であることが知られている¹⁰⁾。そのため海洋構造物の建設に伴う拘束圧の増加により粒子破砕を伴った挙動に変化が生じることが考えられる。さらに、海洋構造物には、荒天時の波浪や地震などの動的外力が作用することがあり、動的外力が海底地盤としてのカーボネイト砂地盤にいかなる影響をもたらすか調べるが必要とされる。そこで本研究は、カーボネイト砂が破砕性材料であることに着目し、様々な初期拘束圧下における繰返しせん断特性の違いを把握することを目的に実験を行ったものである。

2. 実験方法および実験条件 本研究では、試料としてカーボネイト砂($G_s=2.723, e_{ms}=2.451, e_{mi}=1.621, U_c=1.92$)を用いた。カーボネイト砂は粒子自体に間隙を持つため試料の飽和が困難であった。そのため、あらかじめ試料を脱気水で満たし、真空セル内で24時間脱気したものを用いて供試体を作成した。供試体作成法は、水中落下法であり、初期相対密度 $D_{ri}=80\%$ を目標とした。供試体作成後、初期拘束圧 $p_c=100\text{kPa}$, 300kPa , 500kPa で等方圧密を行い、非排水条件により、周波数 $f=0.1\text{Hz}$ の正弦波荷重で繰返しせん断を行った。

3. 実験結果の考察 図-1は、実験により得られた残留間隙水圧比 u/p_c と繰返し回数 N の関係を初期拘束圧 $p_c=100\text{kPa}$, 300kPa , 500kPa の場合について示したものである。この図より、いかなる拘束圧下においても残留間隙水圧比 $u/p_c=1.0$ まで上昇し、初期液状化に至っている様子が伺える。これらの結果は、ほぼ同程度の繰返し応力比 q_{cyc}/p_c によるものであるが、拘束圧が増加するにつれ、初期液状化に至るまでの繰返し回数が少なくなっていることが分かる。繰返し回数1回目に着目すると初期拘束

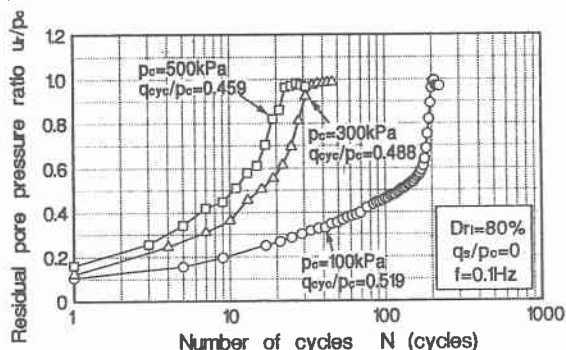


図-1 残留間隙水圧比-繰返し回数関係

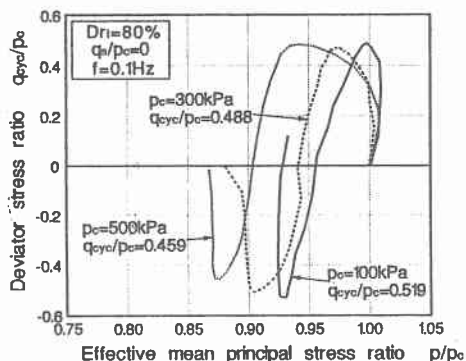


図-2 有効応力径路(1回目)

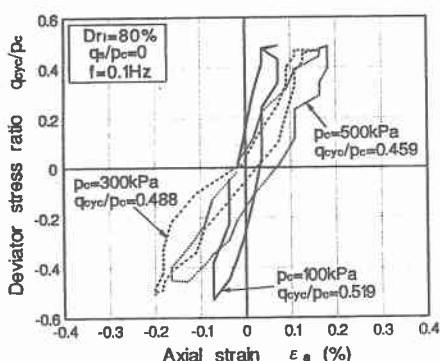


図-3 軸差応力-軸ひずみ関係(1回目)

圧の増加とともに残留間隙水圧の発生量が増加していることが分かる。

そこで、繰返し回数1回目に着目して有効応力径路を示したものが図-2である。この図より、拘束圧が増加するにつれて有効応力の減少量が増加しており、より強い収縮傾向を示していることが分かる。この傾向は、豊浦砂などのシリカ系の砂には見られずカーボネイト砂に特有のものであり、高拘束圧下におけるせん断時の粒子接点の破碎を引き起こして変形する結果であると思われる。図-3は、繰返し1回目の軸差応力比と軸ひずみの関係を示したものである。この図より拘束圧が増加するにつれて、繰返し1波目の軸ひずみが増加しており、骨格曲線の傾きが低下していることが理解できる。

次に、図-4は繰返しせん断中に動員される圧縮側の有効応力比 η_p と対応する軸ひずみ両振幅 ε_{DA} の関係について示したものである。併せて静的三軸試験より得られた変相線(P.T.L.)の結果も示した。この図を見ると、拘束圧の違いに依らず両者にユニークな曲線関係が存在し、その曲線には変相線付近に変曲点が現れ、その後 ε_{DA} が急増していく様子が同える。また、 $\varepsilon_{DA}=5\%$ 付近からはほぼ一定の有効応力比 $\eta_p \approx 2.0$ 程度に収束していく様子が認められる。そこで、 $\varepsilon_{DA}=5\%$ に至った時点を経済化と定義し、結果の整理を行う。図-5は、 $\varepsilon_{DA}=5\%$ に至るに必要な繰返し応力比 q_{cyc}/p_c と繰返し回数 N の関係を示したものである。併せて比較検討のため、豊浦砂(相対密度 $Dr=90\%$, $p_c=100\text{kPa}$)の結果も示した。豊浦砂と比較すると、カーボネイト砂の方が拘束圧 $p_c=100\text{kPa}$ ではより高い経済化強度を示している。しかしながら、拘束圧 $p_c=300\text{kPa}$ においては、豊浦砂とほぼ同程度の経済化強度を示しており、さらに拘束圧 $p_c=500\text{kPa}$ に至っては、豊浦砂より明らかに低い経済化強度を示していることが観察される。つまり、

カーボネイト砂の経済化強度は、拘束圧の増加に伴い低下していくことが理解できる。これも、拘束圧の増加に伴いカーボネイト砂の粒子接点がせん断中に破碎を生じやすくなり、せん断抵抗を減じるためであると推察される。以上の理由によりカーボネイト砂は、初期拘束圧の増加による経済化強度の低下を引き起こしているものと考えられる。

4. あとがき

以上の知見をまとめると次のようになる。

- 1) 初期拘束圧の増加に伴いカーボネイト砂は、繰返し初期においてより大きな有効応力の低下を伴い、その結果より大きなひずみを生ずる。
- 2) 初期拘束圧の増加に伴いカーボネイト砂の経済化強度は低下する。

【参考文献】1) 兵動・他:カーボネイト砂の動的・静的せん断特性について, 第30回土質工学研究発表会投稿中 2) 兵動・他: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

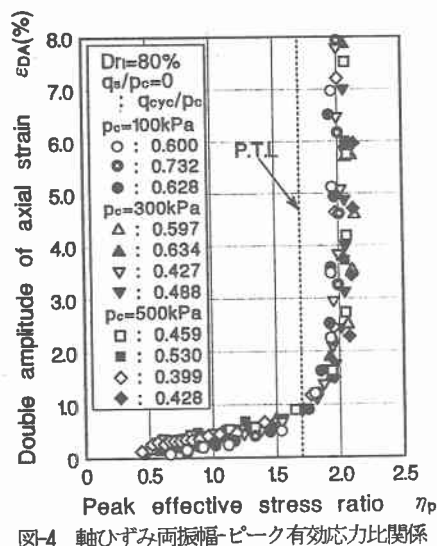


図-4 軸ひずみ両振幅・ピーク有効応力比関係

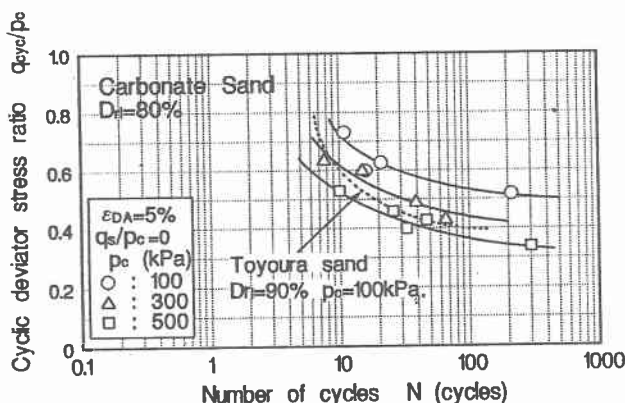


図-5 経済化強度曲線 ($\varepsilon_{DA}=5\%$)