

(Ⅲ-105) 礫の堆積状態が砂礫の液状化特性およびせん断波速度に与える影響

山梨大学大学院 学生会員 丸山 貴弘
 山梨大学工学部 正会員 後藤 聡
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 松枝 修平

1. はじめに

礫を含んだ砂の液状化強度特性に関する研究は、不攪乱供試体を用いた液状化試験や礫分含有率を変化させた実験など多く行われるようになったが、粒度分布の相違や平均粒径および均等係数に注目している場合が多い¹⁾。これらの実験では、主に不攪乱供試体やウェットタンピング法で作成した供試体を用いている。このような方法で作成した供試体については、礫の堆積状態は考慮されていない。そこで本研究では、礫の堆積状態に注目し、礫同士の接触を4つのタイプに分け人工的に供試体を作成した。そして礫の堆積状態が液状化強度およびせん断波速度に与える影響を実験的に検討した。

2. 用いた試料および供試体作成方法²⁾

試料は山梨県甲府市国母から採取したものをを用いた。実際の礫の堆積状態を観察すると、礫同士はほとんど接していなかった。そこで今回検討した礫の堆積状態として図-1に示すように、タイプ1は砂(2mm以下)のみのもの、タイプ2は礫(10~25mm)と礫が接していないもの、タイプ3は水平方向に礫と礫が接しているもの、およびタイプ4は水平方向および鉛直方向に接しているものの4種類を考えた。砂(2mm以下)の主な物理特性は、土粒子の密度 $\rho_s=2.73\text{g/cm}^3$ 、平均粒径 $D_{50}=0.44\text{mm}$ 、最小密度 $\rho_{\text{min}}=1.332\text{g/cm}^3$ および最大密度 $\rho_{\text{max}}=1.727\text{g/cm}^3$ である。本研究では、この4つのタイプの礫の堆積状態になるように、表-1に示すケースA~Eの供試体を作成し液状化試験を行った。

供試体は、原試料を砂と礫に分け、図-1に示す礫の堆積状態の供試体を人工的に作成した。タイプ1、タイプ2およびタイプ3については、供試体を6層に分けて砂は空中落下法、礫は各層で静かに1つずつ置き供試体を作成した。タイプ4については、礫が鉛直方向で接触するように層数を増やし、同様に供試体を作成した。その際、砂はすべてのケースで落下高さ30cmと統一した。なお、メンブレンに礫を触れないように供試体を作成したので、側面は滑らかな供試体ができ、よって、メンブレンペネトレーションの補正は行っていない。

3. 試験方法

供試体は高さ150mm、直径75mmの円柱供試体を用いて行った。せん断波測定装置は三軸試験装置のキャップとペDESTALにそれぞれ発信、受信のベンダーエレメントを取り付け³⁾、供試体中に5mm貫入させた。入力波は5kHzのサイン波を用い、出力波は100倍に増幅しデータレコーダによりサンプリング周波数200kHzで記録した。供試体の飽和は二重負圧法を用いて行い、次に背圧($\sigma_{\text{BP}}=100\text{kPa}$)を加圧してB値が0.95以上であることを確認した。その後、有効拘束圧 $\sigma'_v=100\text{kPa}$ まで等方圧密を行い、繰返し載荷周波数0.005Hz、両振幅幅ひずみが5%に達するまで液状化試験を行った。

礫の堆積状態 液状化特性 繰返し非排水三軸試験 せん断波速度

〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11 山梨大学工学部 E-mail:goto@ccn.yamanashi.ac.jp

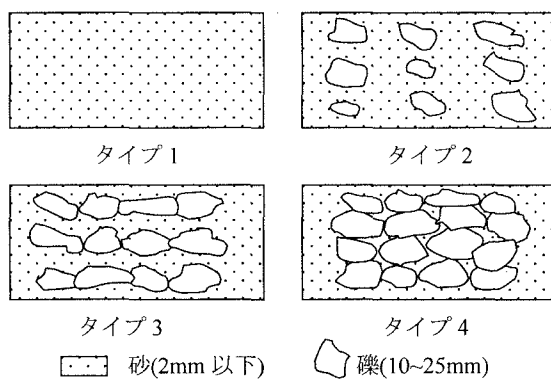


図-1 今回検討した礫の堆積状態の概略図

表-1 実験ケース一覧表

試験ケース	タイプ	礫分含有率 (%)	砂部分の相対密度 D_r (%)
A	1	0	77~86
B	2	5.4~5.5	
C		10.2~10.3	
D	3	19.9	
E	4	39.5~40.3	

4. 液状化試験結果および考察

(1) 液状化試験結果²⁾

図-2 に液状化強度曲線を示す。砂部分の相対密度は各ケースとも77~86%であった。ケースA~Dの液状化強度は、同じ近似曲線で表すことができた。この結果、タイプ1~3における礫の堆積状態では、砂部分の乾燥密度に影響されると考えられる。また、ケースE(タイプ4)の液状化強度は、ケースA~Dの液状化強度に比べて高い値を示した。この結果、砂礫の液状化特性は、砂の乾燥密度だけではなく礫の堆積状態が影響を与えることが分かる。

(2) せん断波速度測定結果

液状化試験中におけるせん断波速度 V_s は、圧縮側、伸張側および軸差応力 q が0に近い状態で測定した。図-3にケースC(タイプ2)およびケースE(タイプ4)の液状化試験中における軸差応力 q が0に近い状態での V_s と σ_c' の関係を示す。なおケースA~Cは、ほぼ同じせん断波速度特性であった。図-3より、ケースE(タイプ4)のほうが初期のせん断波速度は大きいことが分かる。これは、礫が鉛直方向に接しているため、ケースEのせん断波速度が大きくなると考えられる。次に、液状化している状態では2つのケースにおいて、せん断波速度は同じであることが分かる。これは液状化が起り、礫の堆積状態がケースCのように鉛直方向に接していない状態となったためと考えられる。

図-4に液状化試験後の V_s と σ_c' の関係を示す。このグラフは液状化試験後、コックを開閉し有効拘束圧を回復させる過程での V_s と σ_c' の関係を表している。なおケースA~Cは、ほぼ同じせん断波速度特性であった。図-4よりケースCおよびケースEの両方とも液状化している状態でのせん断波速度は同じである。しかし、有効拘束圧を回復させる過程では、せん断波速度はケースEのほうが大きくなっている。これは、礫が再び鉛直方向に接し始めたためと考えられる。また、2つのケースとも有効拘束圧を100kPaまで回復させたとき、初期のせん断波速度とほぼ同じであると分かる。しかし、ケースCおよびケースEの初期の砂部分の乾燥密度 ρ_d は、それぞれ1.644g/cm³、1.625g/cm³であったが、液状化試験後、有効拘束圧を100kPaまで回復させたときの ρ_d は、それぞれ1.686g/cm³、1.684g/cm³と初期値より大きかった。

5. まとめ

本研究では、砂(2mm以下)、礫(10~25mm)とに分けた試料を、4タイプの礫の堆積状態に分類し、繰返し非排水三軸試験を行い、同時にせん断波速度を測定した。その結果せん断波速度は、礫が荷重方向に接していれば大きな値となり、液状化している状態では礫の堆積状態によらずほぼ同じ値だった。また、液状化した供試体を、初期の有効拘束圧に回復させたとき、砂部分の乾燥密度は大きくなったが、せん断波速度はほぼ同じ値だった。

参考文献

- 1) 原忠・國生剛治: 砂礫の液状化強度および液状化後の非排水せん断強度に及ぼす粒度分布の影響, 土木学会論文集, No.645/III-50, pp.245-253, 2000.3.
- 2) 丸山貴弘・後藤聡: 礫の堆積状態が砂礫の液状化特性に与える影響, 第56回土木学会年次学術講演集 III-A068, pp.136-137, 2001.10
- 3) 松枝修平・後藤聡: 液状化試験中のせん断波速度の変化に関する一考察, 第55回土木学会年次学術講演集 III-A043, 2000.9

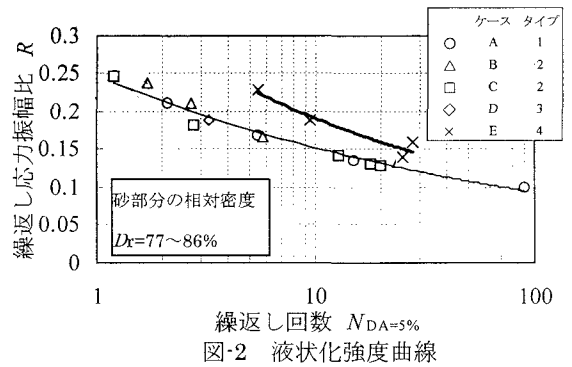


図-2 液状化強度曲線

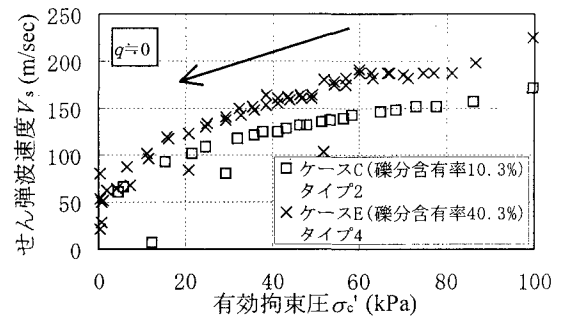


図-3 液状化試験中における V_s と σ_c' の関係

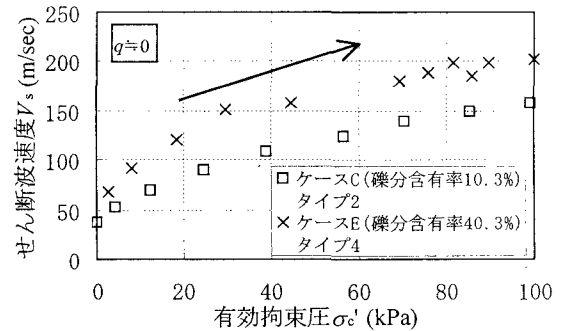


図-4 液状化試験後の V_s と σ_c' の関係