

礫の堆積状態が砂礫の液状化特性に与える影響

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

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の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、礫の堆積状態を4つのタイプに分け、人工的に供試体を作成した。その際、空中落下法による砂の堆積状態を統一した。そして礫の堆積状態が液状化強度に与える影響を実験的に検討した。

2. 用いた試料と供試体作成方法

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、ほとんどの礫と礫は接していなかった。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 $\rho_{\text{dmin}}=1.332\text{g/cm}^3$ および最大密度 $\rho_{\text{dmax}}=1.727\text{g/cm}^3$ である。本研究では、この4種類における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。採取した試料および実際に用いた各ケースの粒径加積曲線を図-2に示す。

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。供試体の飽和は二重負圧法を用いて行った。次に背圧($\sigma_{\text{BP}}=100\text{kPa}$)を加圧してB値が0.95以上である礫の堆積状態 液状化特性 繰返し非排水三軸試験

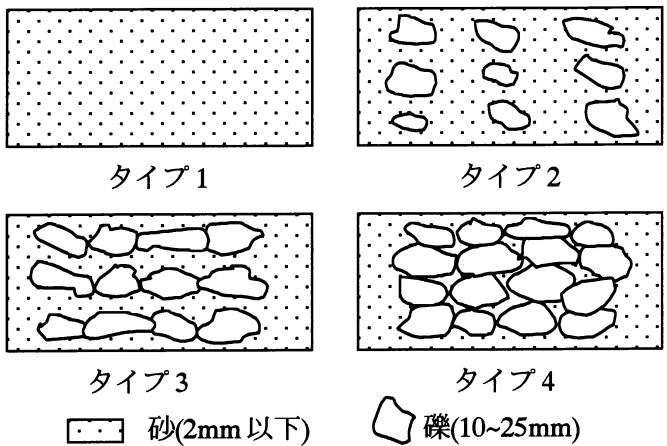


図-1 今回検討した礫の堆積状態の概略図

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	39.5~39.9	

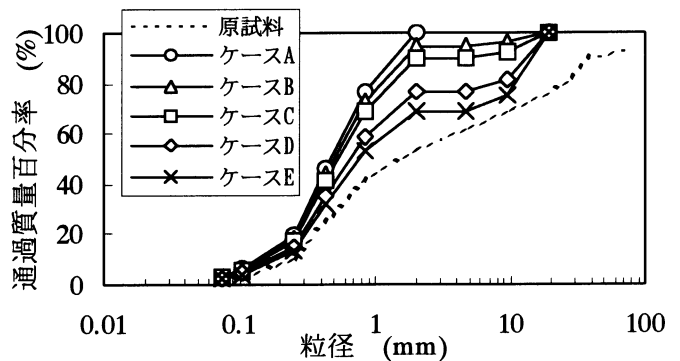


図-2 原試料および各ケースの粒径加積曲線

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、繰返し载荷周波数 0.005Hz で液状化試験を行った。

4. 液状化試験結果および考察

表-2 試験結果一覧

表-2に試験結果一覧および図-3に各供試体の乾燥密度と礫分含有率の関係をそれぞれ示す。表-2よりケース A~Eの砂部分の相対密度 D_r は77~86%であり、砂部分の相対密度は各ケースともほとんど同じである。

図-3より全体の乾燥密度は、礫分含有率が増加するとともに大きくなっているが、砂部分の乾燥密度は各供試体ともほぼ同じである。

図-4に液状化強度曲線を示す。図-4より、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。なおケース Dについては1回しか液状化試験を行っていないが、ケース A~Cと同じ曲線上に点がプロットされたので、ケース A~Cと同様な液状化強度であると考えられる。一般的に液状化強度は乾燥密度に比例するといわれているが、図-4より、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ことがいえる。図-4より、ケース E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。これは、载荷方向に礫と礫が接しているためと考えられる。これらの結果、砂礫の液状化特性は、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。

図-4に液状化強度曲線を示す。図-4より、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。なおケース Dについては1回しか液状化試験を行っていないが、ケース A~Cと同じ曲線上に点がプロットされたので、ケース A~Cと同様な液状化強度であると考えられる。一般的に液状化強度は乾燥密度に比例するといわれているが、図-4より、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ことがいえる。図-4より、ケース E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。これは、载荷方向に礫と礫が接しているためと考えられる。これらの結果、砂礫の液状化特性は、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。

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つのタイプにおける礫の堆積状態に分類し、繰返し非排水三軸試験を行った。また、乾燥密度が砂の部分で同じになるように供試体を作成した。その結果、礫が含まれた砂の液状化特性は、载荷方向に礫と礫が接していなければ、砂部分の乾燥密度に影響され、载荷方向に礫と礫が接していれば、砂部分の乾燥密度に影響されないことが分かった。つまり、礫を含んだ砂の液状化特性は、乾燥密度だけではなく礫の堆積状態も影響を与えることが分かった。

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、土木学会論文誌、No.645/III-50, pp.245-253, 2000.3.

試験ケース	礫分含有率 (%)	礫・砂の乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	砂の乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	砂部分の相対密度 D_r (%)	繰返し応力振幅比 R	繰返し回数 ($DA=5\%$) N	タイプ
A1	0		1.634	80.8	0.1	90	1
A2			1.643	82.9	0.135	15	
A3			1.660	86.3	0.169	5.5	
A4			1.660	86.3	0.211	2.1	
B1	5.4	1.687	1.655	85.3	0.133	24	2
B2	5.5	1.679	1.646	83.4	0.166	5.8	
B3	5.4	1.686	1.653	85.0	0.212	2.7	
B4	5.5	1.673	1.640	82.1	0.238	1.7	
C1	10.2	1.699	1.634	80.8	0.129	20	2
C2	10.2	1.701	1.636	81.3	0.131	18	
C3	10.3	1.709	1.644	83.0	0.142	12.9	
C4	10.3	1.699	1.634	80.8	0.183	2.8	
C5	10.3	1.703	1.638	81.7	0.246	1.2	
D1	19.9	1.757	1.641	82.3	0.188	3.3	3
E1	39.9	1.896	1.619	77.4	0.188	9.4	4
E2	39.5	1.885	1.617	77.1	0.23	5.5	

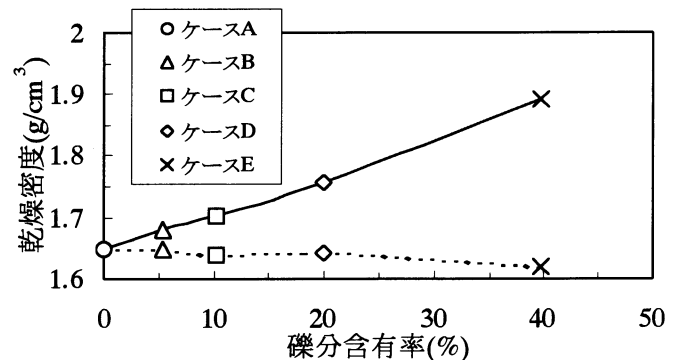


図-3 各供試体の乾燥密度と礫分含有率の関係

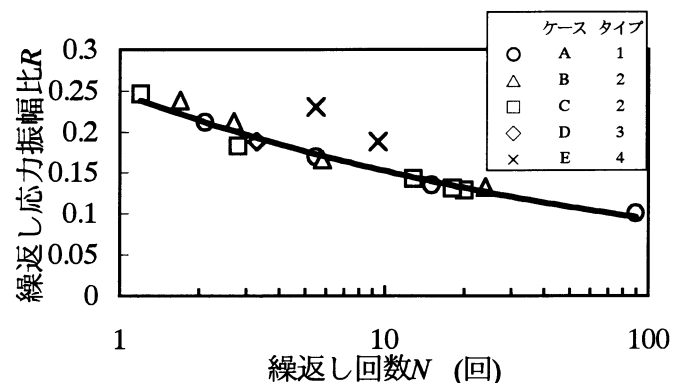


図-4 液状化強度曲線