

鳥取大学大学院 学生会員 平原 裕介
鳥取大学大学院 正会員 清水 正喜
鳥取大学大学院 正会員 中村 公一

1. はじめに

鳥取県西部地震においては境港市の埋立地において液状化による被害が特に大きかった。同市内での填砂の液状化特性に関する研究は比較的多く行われているが、鳥取県内他地域の砂については殆んど研究が行われていない。境港市以外でも米子市では弓浜地区を中心として液状化現象による被害が広範囲にわたって生じた。本研究の目的は、鳥取県米子市西福原で採取した砂の液状化強度特性について、特に、液状化特性における相対密度の影響について実験的に明らかにすることである。

2. 試料および試験装置

本研究で使用した試料の物理的性質を表 1 に、粒径加積曲線を図 1 に示す（豊浦砂は橋本¹⁾を引用）。また、図の液状化の可能性のある粒径加積曲線の範囲は、港湾の基準²⁾によるものである。試料は細粒分が少ない砂（細粒分含有率=0.4%）である。また液状化の可能性のある粒度範囲の砂である。

	米子砂	豊浦砂
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.630	2.646
最大間隙比 e_{max}	0.975	0.993
最小間隙比 e_{min}	0.646	0.594
最大粒径 D_{max} (mm)	4.75	0.850
均等係数 U_c	2.632	1.857
曲率係数 U_c'	0.947	0.957
細粒分含有率 F_c (%)	0.4	

表 1 米子砂及び豊浦砂の物理的性質

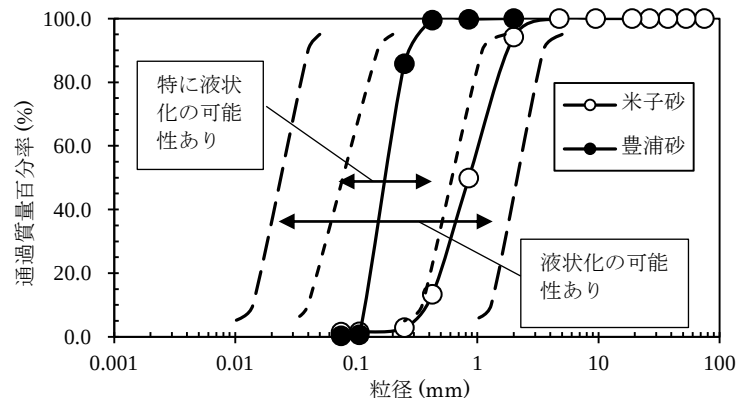


図 1 粒径加積曲線

3. 供試体作成方法および試験方法

本研究では、空中落下法によって $Dr=30\%$ （緩詰め）及び $Dr=60\%$ （密詰め）の供試体を作成した。相対密度は落下高さを変えることで調整した。非排水三軸圧縮試験及び繰返し非排水三軸試験を実施した。繰返し三軸試験装置の概略図を図 2 に示す。この装置は、油圧によって繰返し応力を制御する。試験は地盤工学会基準（JGS 0523-2009 及び JGS 0541-2009）³⁾ に従いそれぞれ実施した。

非排水三軸圧縮試験は側圧一定で、軸ひずみ速度 0.1 mm/min で圧縮した。試験は各相対密度を変えて 2 回実施した。せん断抵抗角 ϕ' は応力比が最大のときに対応し、 $\phi' = \sin^{-1}(\frac{\sigma_a' - \sigma_r'}{\sigma_a' + \sigma_r'})$ より求めた。

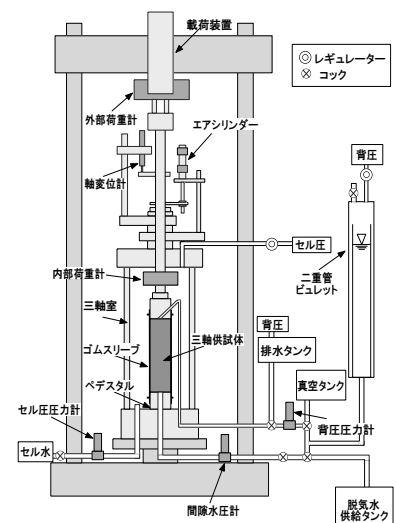


図 2 繰返し三軸試験装置

繰返し非排水三軸試験は有効応力 100 kPa で等方圧密後、載荷周波数 0.1 Hz の正弦波で応力制御によって繰返し載荷を行った。試験は相対密度に対して繰返し応力振幅比を変えて、計 10 回実施した。本研究では、繰返し載荷回数 20 回で、両振幅ひずみ $DA=5\%$ に達する時の、繰返し応力振幅比(R_{20})を液状化強度 R_L とした。

4. 結果および考察

4.1 非排水三軸圧縮試験

試験の条件と結果を表 2 及び図 3 に示す。図 3(a)は応力比一軸ひずみ曲線、図 3(b)は有効応力経路である。図 3(b)の有効応力経路より、緩詰めと密詰めで挙動に違いがみられる。通常は緩詰めの方が大きな過剰間隙水圧が発生するので、有効応力経路は密詰めよりも原点に近くなる。しかし、本研究では逆の結果になった。一方せん断抵抗角は、緩詰めの方が密詰めに比べて小さくなり、従来の知見と違わない。各条件で一回しか試験を実施していないので、今後試験の再現性について検討する必要がある。

試料	$Dr(\%)$	B 値	e	圧密有効応力(kPa)	ϕ'
米子砂	30	0.952	0.863	100	34.7°
	60	0.992	0.788	100	35.7°

表 2 非排水三軸圧縮試験の条件

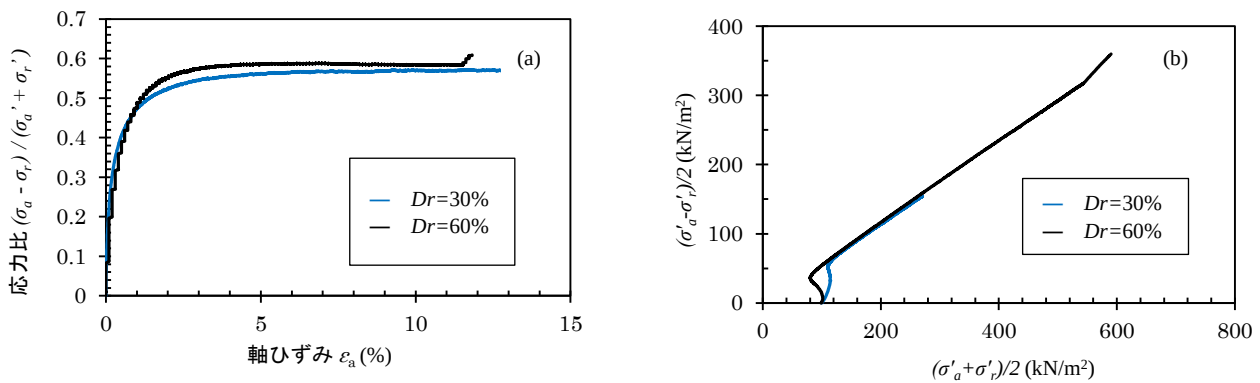


図 3 非排水三軸圧縮試験の結果

4.2 繰返し非排水三軸試験

米子砂及び豊浦砂の液状化強度曲線を図 4 に、試験時の相対密度と間隙比の関係を図 5 に、繰返し応力振幅比 R_{20} を表 3 に示す。図 4 より、どちらの試料でも密詰めの方が緩詰めよりも液状化強度は大きい。米子砂の液状化強度は緩詰めの際は豊浦砂よりも大きいですが密詰めになると豊浦砂よりも小さくなった。また、表 3 より、液状化強度比 R_{20} は、密詰めの際は米子砂の方が豊浦砂よりも大きいですが、緩詰めになると豊浦砂よりも小さくなる。

緩詰めから密詰めになったときの液状化強度比 R_{20} の増加の割合は、米子砂で 12%、豊浦砂で 79%であり、米子砂の方が豊浦砂よりも液状化強度比 R_{20} の増加の割合が小さい。

以上のことから、米子砂は液状化強度特性に与える相対密度の影響度が豊浦砂と比べて低いのではないかと考えられる。表 1 より、米子砂の最大間隙比は豊浦砂よりも小さく、最小間隙比は豊浦砂よりも大きい。即ち最大間隙比・最小間隙比間の幅は豊浦砂と比べて小さくなっている。図 5 より、緩詰めの際の間隙比は豊浦砂と同じぐらいだが、密詰めの際の間隙比は豊浦砂よりも大きくなっており、最大間隙比・最小間隙比間の幅と同様に、緩詰め・密詰め間での間隙比の幅は豊浦砂よりも小さくなっている。このように最大・最小間隙比の特性によって液状化特性における相対密度の影響が異なると思われる。

試料	$Dr(\%)$	液状化強度比 R_{20}
米子砂	30	0.116
	60	0.130
豊浦砂	30	0.095
	60	0.170

表 3 液状化強度比 R_{20}

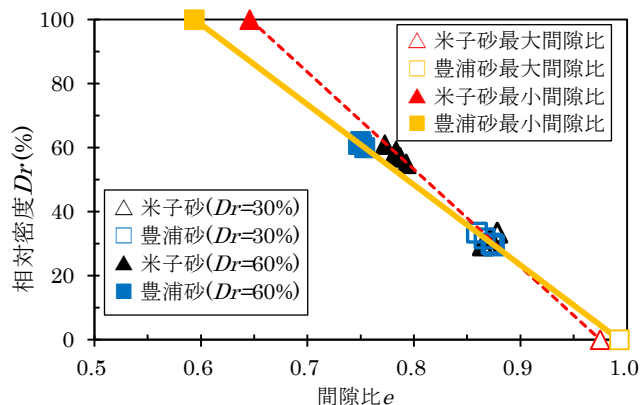


図 5 間隙比－相対密度

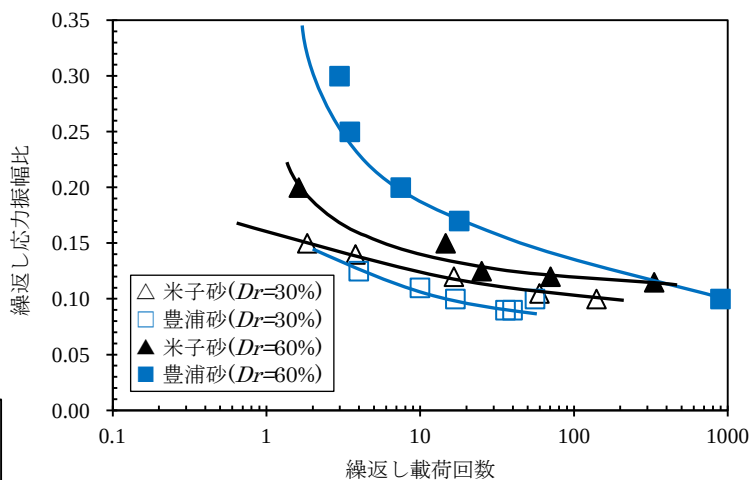


図 4 液状化強度曲線

5. 結論

本研究で得られた鳥取県米子砂の液状化特性について以下に記す。

- 1) 相対密度が増加するとそれに伴い液状化強度が増加した。
- 2) 同じ相対密度で比較すると、緩詰めときの液状化強度は豊浦砂よりも大きいですが、密詰めになると豊浦砂よりも小さくなった。これは、相対密度が液状化特性に与える影響が最大・最小間隙比の特性に符合するためだと考えた。

参考文献

- 1) 橋本司:砂の液状化特性における気泡水の効果に関する研究, 鳥取大学工学部土木工学科 卒業論文, 2011.
- 2) (財)沿岸開発技術研究センター:埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版), 1997
- 3) (社)地盤工学会:地盤材料試験の方法と解説, 2009.