

低塑性および高塑性細粒分を含む砂の液状化特性に関する研究

九州工業大学大学院 学生会員 ○宮地 恵一朗 中野 武大
九州工業大学大学院 正会員 永瀬 英生 廣岡 明彦

1.はじめに

過去の地震により細粒分が含まれる地盤における液状化現象およびそれに伴う被害は数多く確認されている。しかしながら、細粒分含有率が高いが細粒分そのものは低塑性の場合や塑性が高くてもゆるく堆積している場合等、細粒分を含む砂の液状化特性や変形挙動は十分に解明されていないのが現状である。

筆者らはこれまで低塑性細粒分を含む砂の液状化特性について研究し知見を得てきた。この成果を踏まえ、本研究では豊浦砂に低塑性細粒分に加え、高塑性細粒分であるベントナイトを含ませることで塑性指数 I_p が 10 程度となるように塑性を調整し、より自然条件に近づけた混合試料を用いて中空ねじりせん断試験を行うことで細粒分を含む砂の液状化挙動・変形特性について実験的に検討を加えた。

2.試料及び実験方法

本研究では、豊浦砂と非塑性細粒分の DL クレーに加え、高塑性細粒分であるベントナイトを混合した試料を用いて試験を行った。また、細粒分含有率 $F_c=20, 40\%$ でそれぞれ粘土分含有率 $C_c=0, 10\%$ とした。各条件の混合試料の粒径加積曲線は図 1、物理特性については表 1 に示す。ここで、砂の最小密度・最大密度試験方法 (JGS 0161) は $F_c \leq 5\%$ を適用条件としており、今回の混合試料の条件である $F_c=20, 40\%$ において適用範囲外であるので最大・最小密度の値はあくまで参考値としている。

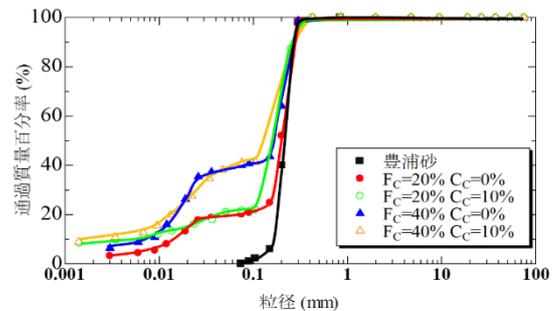


図 1 粒径加積曲線

試験は中空ねじりせん断試験装置を用い、供試体は外径 10cm、内径 6cm、高さ 10cm の中空円筒形で乾燥状態の混合試料を用いて、水中落下法での供試体作製が困難であることから、空中落下法に加え軽い突き固めにより作製した。そして、間隙圧係数 B 値が 0.95 以上になるまで脱気水を通水することによって供試体を飽和させ、初期有効拘束圧 $\sigma'_0=98\text{kPa}$ で等方圧密を行った。また、今回の試料は飽和に時間がかかることから、セル水と供試体内部との両方に負圧を作用させ膨張する気泡を通水によって排出させる二重負圧法にて供試体を飽和させた。その後、非排水状態で 0.1Hz の正弦波形を用いて繰返し載荷試験を行った。液状化発生の判断基準は、両振幅せん断ひずみ $DA=7.5\%$ のときとした。繰返し載荷試験後、非排水状態を保ったまま静的単調載荷試験を行った。静的単調載荷はひずみ制御方式で行い、載荷速度は $\dot{\gamma}=5\%/min$ とした。

表 1 混合試料の物理特性

	密度 (g/cm^3)	ρ_{dmax} (g/cm^3)	ρ_{dmin} (g/cm^3)	液性限界 W_L (%)	塑性限界 W_P (%)	塑性指数 I_p
Fc=20% Cc=10%	2.626	1.811	1.329	30.5	9.5	9.5
Fc=40%、Cc=10%	2.584	1.792	1.303	29.4	17.8	11.6
Fc=40%、Cc=0%	2.632	1.966	1.374	NP	NP	

3.混合試料の液状化強度特性

混合試料によって作製した供試体を用い繰返し載荷試験を行ったときの、繰返し応力比 R と両振幅せん断ひずみ $DA=7.5\%$ に達するまでの繰返し回数 N_c の関係に加え、既往の研究¹⁾で得られた水中落下法あるいは豊浦砂のみによる供試体の R と N_c の関係を図 2 に、 $N_c=20$ のときの R を液状化強度比 R_{L20} とし、表 2 に示す。

図 2 および表 2 から本試験において供試体の作製方法は液状化強度比に大きく影響していないといえる。低塑性細粒分は砂粒子同士の接触を減らし、液状化強度比を小さくする働きを持つが、高塑性細粒分は粘着力を発揮し液状化強度を増加させる働きがあると考えられている。今回の結果では、高塑性・低塑性細粒分を同時に用いるとき、 $F_c=40\%$ の場合は低塑性細粒分のみ含む場合と比べ大きく強度が増大するが、 $F_c=20\%$ の場合は低塑性細粒分のみ含む場合と強度に大きな差は見られないことが分かる。

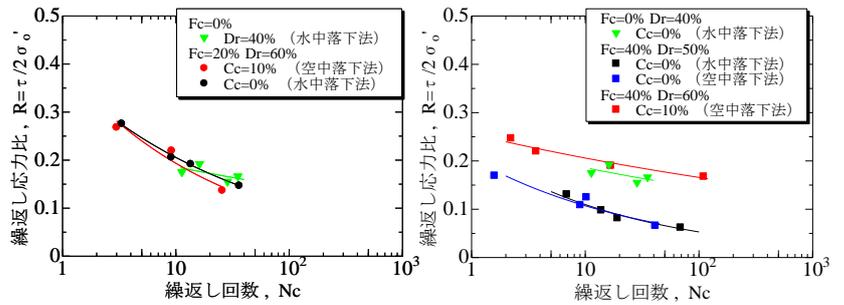


図 2 R と N_c の関係

表 2 各条件における R_{L20} (*印は空中落下法にて作製)

Fc(%)	0	20		40		
Cc(%)	0	0	10	0	0	10
Dr(%)	40	60				
R_{L20}	0.172	0.172	0.156*	0.088	0.088*	0.193*

4.混合試料の液状化後の変形特性

繰返し載荷試験により供試体を液状化させた後、非排水状態を保ったまま静的単調載荷試験を行い、せん断応力とせん断ひずみの関係を調べた。その結果を図 3 に示す。

図より高塑性細粒分を含むものはそれを含まないものより液状化の程度が激しい場合も液状化後の剛性が保たれていることが分かる。特に $F_c=20\%$ の場合は液状化安全率が 0.71 と 1.0 より大きく下回っても静的単調載荷試験のみ行ったものとほとんど変わらない剛性を液状化後も有していることが分かる。

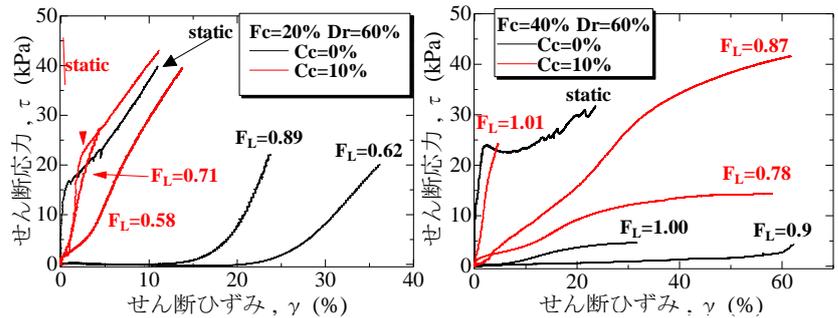


図 3 τ と γ の関係

5.結論

本研究から得られた結論は以下の通りである。

- 1) 液状化強度比について、低塑性細粒分のみ含むものと高・低塑性細粒分を含むものを比較した際、 $F_c=20\%$ では大きな差はないが、 $F_c=40\%$ では高塑性細粒分を含むものの方が液状化強度が大きい。
- 2) 液状化後の剛性について、高塑性細粒分を含むものは含まないものより剛性が高く保たれる。このことは $F_c=20\%$ において顕著に表れている。

6.参考文献

- 1) 中野武大ら(2017)：密度の異なる低塑性細粒土の液状化特性，地盤工学研究発表会発表講演集，Vol.52, pp.ROMBUNNO.0198
- 2) 桑野二郎ら(1993)：細粒分を含む砂の液状化特性，土と基礎，Vol.41, No.7, pp.23-28