

埋め戻し砂の締固め特性と液状化特性に関する研究

山梨大学大学院 学生会員 山邊 恵太
 山梨大学工学部 正会員 後藤 聡

1. はじめに

液状化の発生により上下水道などの地下構造物が被害を受けると、復旧に多大な時間がかかるため液状化の被害を軽減する必要がある。そこで、本研究では実際に用いられている埋め戻し砂の液状化特性について実験的検討を行った。また、数回の応力振幅一定の繰返し非排水三軸試験より得られる、液状化強度曲線から求めた液状化強度と1回の試験により液状化強度を求められる、漸増载荷による繰返し非排水三軸試験¹⁾についても検討した。

2. 実験で用いた埋め戻し試料の物理特性

本研究では、甲府市のある下水道管の敷設現場で用いられている埋め戻し砂(甲府砂)および他の県で用いられているA砂の2種類の試料を用いた。実験で用いた試料の物理特性および粒径加積曲線を図-1および表-1にそれぞれ示す。図-1および表-1より、埋め戻し砂(甲府砂)は、礫分29.5%、砂分67.8%、細粒分2.7%およびA砂は、礫分38.0%、砂分60.3%、細粒分1.7%から構成されており、両者とも砂分が多く含まれていることが分かる。一般的に細粒分5%未満の粗粒土に対し、均等係数 $U_c < 10$ の土を「分級された」といい、締固め特性の悪い土、すなわち最適含水比を得るのが難しいとされている²⁾。甲府砂およびA砂は $U_c = 9.6$ および $U_c = 7.6$ であるが、10に近いので締固め特性は悪いとはいきり切れない。また、両者を比較すると、粒径加積曲線にそれほど大きな違いはないことが分かる。

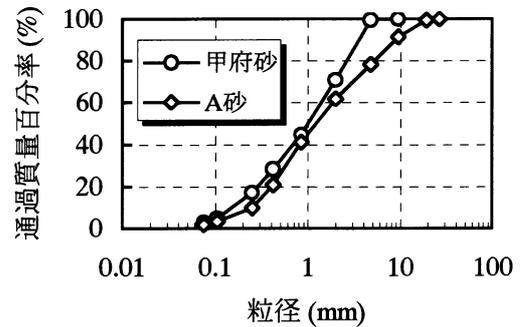


図-1 粒径加積曲線

表-1 実験で用いた試料の物理特性

試料名	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	粒度分布			平均粒径 D_{50} (mm)	均等係数 U_c	曲率係数 U_c'	最大粒径 (mm)
		礫分 (%) (2mm以上)	砂分 (%) (2~0.075mm)	細粒分 (%) (0.075mm以下)				
甲府砂	2.68	29.5	67.75	2.75	1.01	9.6	0.63	9.5
A砂	2.74	38.0	60.3	1.7	1.40	7.6	0.7	19

3. 締固め特性

図-2に締固め試験結果を示す。締固め試験では、鉄の突き棒(直径14mm、質量123.44g)、モールド(容積113.28cm³)を用いて、締固めエネルギー $E_c = 5.584 \text{ cm} \cdot \text{kgf/cm}^3$ で行った。図-2は、締固め試験結果と液状化試験での供試体作成時の含水比および乾燥密度をプロットし、近似曲線を引いた結果である。最大乾燥密度(ρ_{dmax})および最適含水比(w_{opt})は、甲府砂の場合 $\rho_{dmax} = 2.051 \text{ g/cm}^3$ および $w_{opt} = 9.6\%$ 、A砂の場合 $\rho_{dmax} = 1.867 \text{ g/cm}^3$ および $w_{opt} = 10.5\%$ であった。

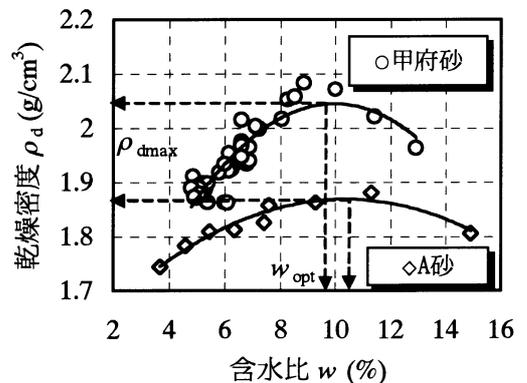


図-2 締固め試験結果

4. 液状化特性

4.1 試験方法

供試体は高さ12cm、直径6cmの円柱供試体を用いて行った。あらかじめ所定の含水比に調整した試料を、三軸装置に装着したモールドの中で5層に分けて締固め、供試体を作成した。突き棒は締固め試験と同様のものを用

液状化特性 締固め度 初期有効拘束圧 埋め戻し砂 漸増载荷による繰返し非排水三軸試験

〒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

いた。なお、目標締固め度を 92%、94%、96%の 3 種類に設定した。その後、有効拘束圧 $\sigma'_c=30\text{kPa}$ で自立させ、供試体の飽和は、二重負圧法の下で脱気水を 2~3 時間通水させた後、背圧 $\sigma_{BP}=100\text{kPa}$ を加圧することにより行った。次に、B 値が 0.95 以上であることを確認し、所定の有効拘束圧(100kPa)まで等方圧密を行い、液状化試験を行った。ここで、目標締固め度 92%については、初期有効拘束圧を 100kPa、50kPa、30kPa の 3 種類に設定して行った。また、1 回の試験で液状化強度 R_{L20} を求めるために、漸増载荷による繰返し非排水三軸試験を行なった。繰返し载荷周波数 0.1Hz のもとで、繰返し応力振幅比を繰返し载荷回数が 20 回行うごとに、0.025 ずつ増加させて、両振幅軸ひずみが 5%に達するまで繰返し载荷を行った。

4.2 試験結果および考察

図-3 に 3 種類の目標締固め度における繰返し応力振幅比と繰返し载荷回数の関係を示す。液状化強度 R_{L20} は、繰返し载荷回数 20 回の時に両振幅軸ひずみ(DA)が 5%に達するような繰返し応力振幅比である。図-3 における締固め度は、圧密後の締固め度(D)を平均した値である。圧密後の締固め度を用いて以下の考察を行う。図-3 より締固め度が増加すると液状化強度が増加していることが分かる。図-4 に 3 種類の初期有効拘束圧における繰返し応力振幅比と繰返し载荷回数の関係を示す。ここで、圧密後の締固め度は、約 93%である。この図より、初期有効拘束圧が小さくなると液状化強度が増加することが分かる。これは、粒子破碎の影響であると考えられる。図-5 に液状化強度と圧密後の締固め度の関係を示す。この図から、甲府砂において締固め度がわずかに増加すると、液状化強度が顕著に増加していることが分かる。また、甲府砂について、原位置での締固め度を現場密度試験(水置換法)により 1ヶ所実施した結果、原位置での締固め度は約 93%となった。今後、さらに現場密試験を実施することにより、原位置の締固め度を詳細に検討する必要がある。

次に、甲府砂を用いて圧密後の締固め度が 95.4%の時の、漸増载荷による繰返し非排水三軸試験結果を図-5 にプロットする。図-3 および漸増载荷により求めた液状化強度は、ほとんど一致していることが分かる。この結果から漸増载荷により液状化強度を求めることができる。そこで、A 砂について漸増振幅による繰返し非排水三軸試験を行った。試験結果を図-5 に示す。この図より、A 砂は同じ埋め戻し砂である甲府砂に比べて、液状化強度が低いことが分かる。これは、A 砂の乾燥密度が甲府砂に比べて低いためであると考えられる。以上のことから、両者とも締固め度の増加に伴い、液状化強度も増加するが、液状化強度はあまり高い値であるとは言えないことが分かる。

5. まとめ

本研究より、甲府砂については、締固め度(D)および初期有効拘束圧(σ'_{c0})が液状化強度(R_{L20})に与える影響は大きいことが分かった。また、漸増载荷により求めた液状化強度は、液状化強度曲線より求めた液状化強度とほとんど一致することが分かった。

【参考文献】1)田本修一,佐々木哲也,松尾修(2000): 下水管理設に用いられる砂質土の液状化特性,第 35 回地盤工学研究発表会, pp.773-774. 2) (社)地盤工学会(2000): 土質試験の方法と解説-第一回改訂版- 第 2 編 第 4 章粒度試験.

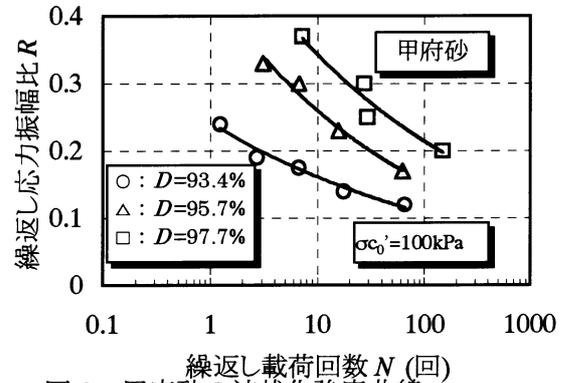


図-3 甲府砂の液状化強度曲線 (締固め度の影響)

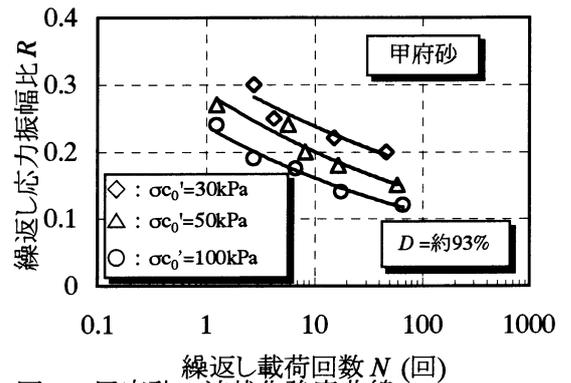


図-4 甲府砂の液状化強度曲線 (初期有効拘束圧の影響)

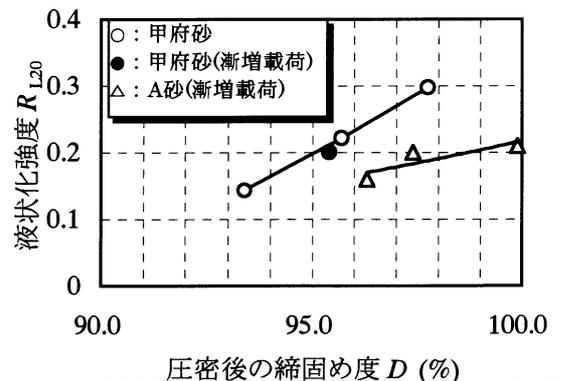


図-5 液状化強度と圧密後の締固め度の関係