

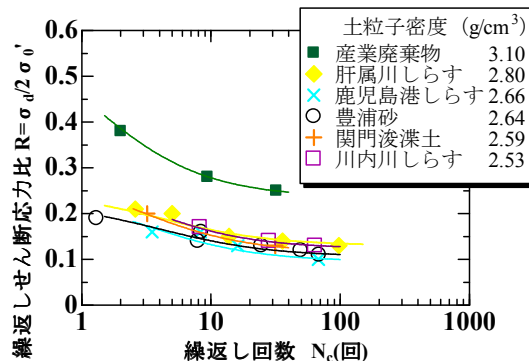
砂の液状化特性に及ぼす土粒子密度の影響に関する研究

九州工業大学工学部 学生会員 ○濱地将平 増田雄太郎

九州工業大学工学部 正会員 永瀬英生 廣岡明彦

1. はじめに

一般に、液状化発生の予測や液状化対策について検討する際、液状化強度の値は重要なパラメータである。これまでの筆者らの研究では、非排水繰返し三軸試験を行って様々な試料について液状化強度を求めている。この試験より得られた繰返し応力比 R と繰返し回数 N_c の関係を図 1 に示す。これより、物理的性質である土粒子密度と液状化強度に関係性があるのではないかと考察される。そこで本研究では、非排水繰返し三軸試験（繰返し試験）によって液状化強度に及ぼす土粒子密度の影響を定量的に把握することを目的とする。また、繰返し試験後、非排水三軸圧縮試験（静的単調載荷試験）を行うことで液状化後の変形特性について調べる。

図 1 R- N_c 曲線（水中落下法）

2. 試料および試験方法

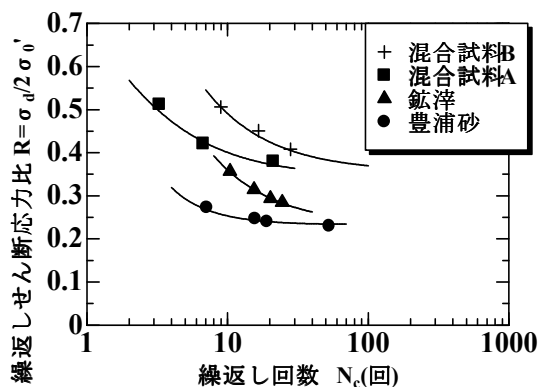
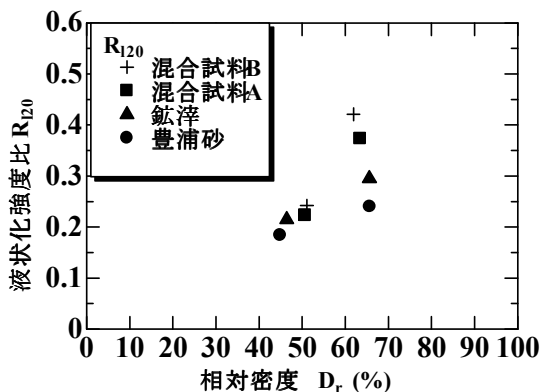
本研究で使用した試料の物理的性質を表 1 に示す。試料はすべて非塑性である。混合試料 A, B は豊浦砂と酸化鉄を乾燥重量比 1:0.5, 1:1.5 で混合させることで、豊浦砂よりも土粒子密度が高い試料を再現したものである。土粒子密度が液状化強度に及ぼす影響を定量的に把握するため、試料の粒度分布を豊浦砂の粒径加積曲線に揃えて試験を行った。供試体は直径 7.5cm, 高さ 15cm の円柱形である。供試体は、水中落下法と水中振動法で作製した。水中振動法とは、水中落下させた試料に振動を加えて締め固めた供試体を作製する方法である。供試体の相対密度は $D_r \div 45\%$, 65% , 75% の 3 通りで作製した。

作製した供試体は、脱気水を通して飽和させた後、初期有効拘束圧 $\sigma'_0 = 49\text{kPa}$ にて等方圧密した。繰返し載荷は 0.1Hz の正弦波荷重にて行い、液状化判定基準は両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ としている。

また、繰返し試験で繰返し回数 20 回載荷した後、静的単調載荷試験を行い、単調にひずみを増加させて（ひずみ速度 1%/min）、応力-ひずみ関係を調べた。具体的には、繰返し回数が 20 回のときのせん断応力比を液状化強度比 R_{120} （液状化安全率 $F_L=1.0$ ）とし、それより大きい応力比（ $F_L < 1.0$ ）、小さい応力比（ $F_L > 1.0$ ）でそれぞれ 20 回載荷し、その後非排水状態を保ったまま静的単調載荷を行った。それにより F_L の値（液状化の程度）に応じたせん断剛性の低下度合いを求めた。

表 1 使用した試料の物理的性質

試料名	土粒子の密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$	最大間隙比 $e_{\max}$	最小間隙比 $e_{\min}$
混合試料B	4.158	1.23	0.81
混合試料A	3.310	1.05	0.69
鉾津	3.167	1.44	0.89
豊浦砂	2.637	0.97	0.62

図 2 R- N_c 曲線（ $D_r \div 65\%$ ）図 3 R_{120} - D_r の関係

3. 繰返し試験結果

図2に相対密度 $D_r \approx 65\%$ における各試料の繰返し応力比 R と繰返し回数 N_c の関係を示す。それぞれの試料の液状化強度曲線を見ると土粒子密度が大きいと高い位置にあり、土粒子密度が小さいと低い位置にあることが確認できる。

図2の $R-N_c$ 曲線より、 N_c が20回のときの繰返し応力比 R を算出し、液状化強度比 R_{l20} とした。図3に相対密度 $D_r \approx 45\%$ 、 65% における液状化強度比と相対密度の関係について示す。同程度の相対密度で比較すると土粒子密度が大きいほど液状化強度比が大きいことが分かる。このことから、土粒子密度と液状化強度に関係性があると考えられる。

4. 繰返し載荷後の静的単調載荷試験結果

繰返し載荷後、非排水状態で単調にひずみを増加させたときの応力-ひずみ関係を図4、図5に示す。これらの試験では、豊浦砂と鉾津を用いている。図中の static は単調載荷のみ受けた供試体の結果である。豊浦砂と鉾津ではともに、供試体の剛性が回復し始めるまでのひずみは、 F_L が小さいほど大きくなっている。また、図6に剛性の低下度合いと液状化安全率 F_L の関係について示す。 F_L が小さいほど剛性低下率は小さくなり、豊浦砂と鉾津で同様の傾向を示している。

図7に剛性の低下度合いと繰返し載荷時に生じた最大両振幅軸ひずみの関係について示す。剛性低下率とこのひずみの関係には右下がりの相関が見られる。この相関より、剛性の低下度合いにおいては、繰返し試験で生じた変形量が重要なパラメータとなると言える。このことから、土粒子密度と液状化後の変形特性には関係性が見られないようである。

5. まとめ

本研究で得られた知見は以下の通りである。

- (1) 豊浦砂、鉾津、混合試料 A、混合試料 B における繰返し試験結果より、土粒子密度が大きいと液状化強度も大きくなるという関係性を確認できた。
- (2) 豊浦砂と鉾津における静的単調載荷試験結果では、液状化後の変形特性に及ぼす土粒子密度の影響はほとんど見られなかった。
- (3) 液状化安全率や最大両振幅軸ひずみは、液状化後の変形特性に影響を及ぼすキーパラメータになり得ると考えられる。

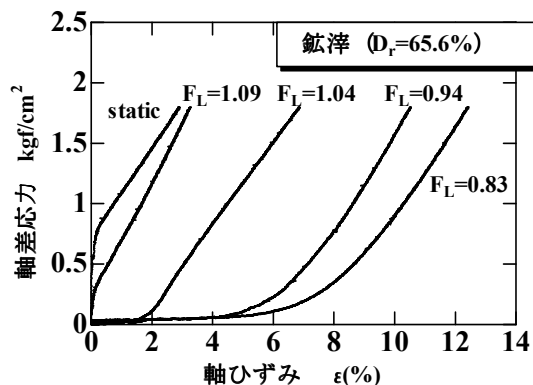


図4 応力-ひずみ関係（鉾津）

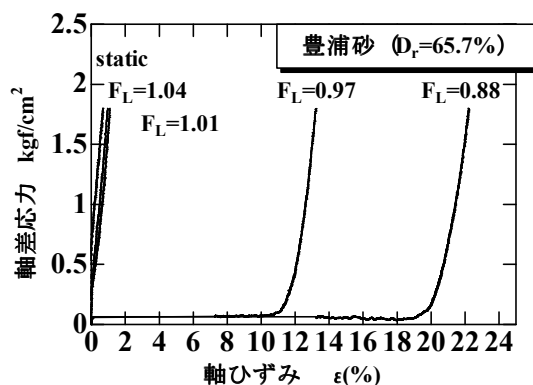


図5 応力-ひずみ関係（豊浦砂）

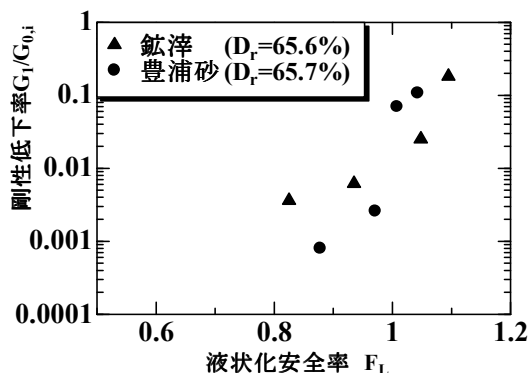


図6 剛性低下率と F_L の関係

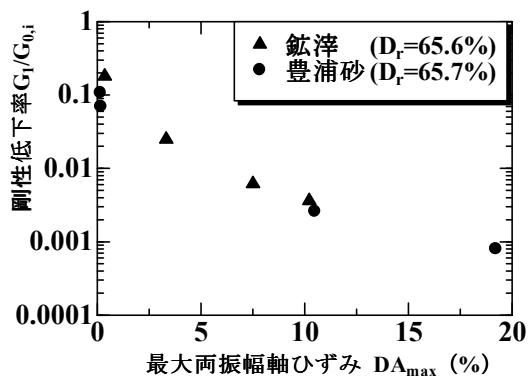


図7 剛性低下率と DA_{max} の関係