

細粒分を含む2種類の砂の液状化強度とコーン貫入抵抗の関係

中央大学理工学部 正会員 國生 剛治  
 中央大学大学院 非会員 古賀 洋平  
 中央大学理工学部 学生会員 ○相川 宗一郎

1. はじめに

最近、緩い砂地盤に対して標準貫入試験の  $N$  値に比べて信頼度の高く地盤構造を連続的に測定できるコーン貫入試験(CPT)が用いられる機会が増えている。しかし、コーン貫入抵抗値から液状化強度を予測するための実測データが  $N$  値に比べ少なく、各種土質パラメータが与える影響が不明な点多々ある。そこで、当研究室では同一供試体で小型コーン貫入試験と繰り返し载荷液状化試験ができる装置を開発し<sup>1)</sup>、貫入抵抗と液状化強度の関係を調べてきた<sup>2) 3)</sup>。それによると、相対密度  $D_r$  や細粒分含有率  $F_c$  の違いに関わらず、貫入抵抗値  $q_t$  と液状化強度  $R_L$  は一本の直線関係となることが示された。

今回はこの三軸試験機を用い、2種類の砂の三軸供試体に対して相対密度  $D_r=30, 50, 70\%$ 、細粒分含有率  $F_c=0, 10\%$  の条件で小型コーン貫入試験と液状化試験を行い、各パラメータが与える影響について検討した。

2. 試料と試験方法

試験試料には細粒分含有率  $F_c=0\%$  の千葉県富津砂にマサ土から取り出した細粒分を混合した土及び千葉県浦安砂に同砂から取り出した細粒分を再配合した土を用いた。図-1 に試料の粒径加積曲線、表-1 に物理特性を示す。

試験には供試体直径 100mm、高さ 200mm の中型三軸試験機を用いたが、下部ペDESTALは図-2 に示す貫入ロッドつきのものに付け替えてあり、下部ペDESTAL内の空間を満たした水を排水することにより供試体内に 2.5cm 貫入される。コーンの先端角は  $60^\circ$ 、直径 6mm で、実務で用いられるコーンの 1/6 サイズであり、貫入ロッドの寸法は長さ 115.2mm、断面積  $28.3\text{mm}^2$  である。貫入は非排水条件で行い、貫入抵抗値はロッド先端部に内蔵されているひずみゲージにより測定する。

供試体はウェットタンピング法により圧密後相対密度が目標値になるように作成し、 $B$  値が 0.95 以上であることを確認した後、有効拘束圧  $\sigma'_e=98\text{kPa}$ 、背圧 196kPa で等方圧密する。その後、非排水条件の下で貫入速度約 2mm/sec でコーン貫入試験を行う。コーン貫入試験後、再度圧密を行った後、液状化試験を行う。液状化試験では応力制御にて両振幅ひずみ  $\varepsilon_{DA}$  が 10% 発生するまで、非排水条件で载荷周波数 0.1Hz の正弦波を加える。ちなみにコーンが貫入された状態でも液状化強度は大きな影響を受けず、またコーン貫入を排水条件で行っても貫入抵抗に大きな差異が生じないことも本試験機で行った研究で確認している<sup>2)</sup>。

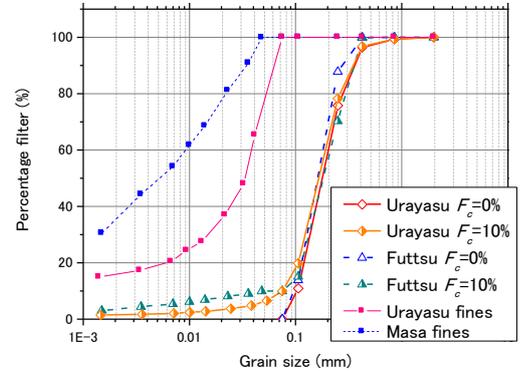


図-1 試料の粒径加積曲線

表-1 試料の物理特性

|     | $F_c$ (%) | $U_c$ | $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\rho_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\rho_{dmin}$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $e_{max}$ | $e_{min}$ |
|-----|-----------|-------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------|-----------|
| 浦安砂 | 0         | 1.97  | 2.687                         | 1.507                              | 1.166                              | 1.304     | 0.783     |
|     | 10        | 2.46  | 2.705                         | 1.587                              | 1.204                              | 1.246     | 0.704     |
| 富津砂 | 0         | 1.88  | 2.716                         | 1.62                               | 1.289                              | 1.107     | 0.677     |
|     | 10        | 2.7   | 2.717                         | 1.762                              | 1.254                              | 1.167     | 0.542     |

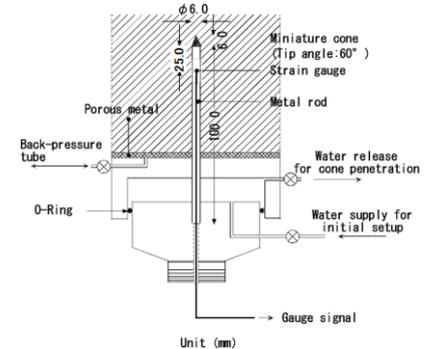


図-2 貫入ロッドつきペDESTAL概略図

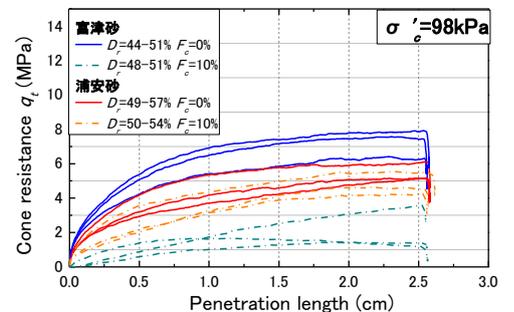


図-3 貫入抵抗  $q_t$  と貫入長の関係

キーワード コーン貫入抵抗, 液状化強度, 細粒分含有率, 相対密度, 粒径

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部都市環境学科土質研究室 Tel 03-3817-1799

3. 試験結果

図-3は小型コーン貫入試験によって得られた貫入長に対する貫入抵抗値  $q_t$  の関係を富津砂の細粒分含有率が  $F_c=0\%$  ものを青色の実線,  $F_c=10\%$  ものを緑色の一点鎖線, 浦安砂の細粒分含有率が  $F_c=0\%$  ものを赤色の実線,  $F_c=10\%$  ものを橙色の一点鎖線で示している. 富津砂も浦安砂も  $F_c=0\%$  より  $F_c=10\%$  の方が  $q_t$  は減少している. しかし, 浦安砂の減少傾向よりも富津砂の減少傾向の方が大きい結果となった.

図-4は  $F_c=0\%$  の条件でコーン貫入抵抗値  $q_t$  と相対密度  $D_r$  の関係をプロットしたグラフである. この際,  $q_t$  の値は図-3 に示したような貫入抵抗のカーブより, 貫入抵抗の最大値を読み取り使用している. 富津砂も浦安砂も  $D_r$  と  $q_t$  の間には正の相関がみられる.  $D_r \approx 30\%$  において浦安砂の  $q_t$  と富津砂の  $q_t$  はほぼ一致している. また,  $D_r \approx 50\%$  においては富津砂の  $q_t$  の方が大きい,  $D_r \approx 70\%$  においては浦安砂の  $q_t$  の方がわずかに大きくなっている.

図-5は両振幅軸ひずみ  $\epsilon_{DA}=5\%$  で定義した繰返し応力比  $R_L$  と繰返し载荷回数  $N_c$  の関係を示している. 尚, 図中のプロットはメンブレンペネトレーション (MP) 効果の補正<sup>4)</sup>を行っている. 富津砂も浦安砂も  $F_c=0\%$  より  $F_c=10\%$  の方が  $R_L$  は下がる傾向があるが, 富津砂は浦安砂に比べて,  $F_c=10\%$  において  $R_L$  が大きく下降した.

図-6にコーン貫入抵抗  $q_t$  と図-5から読み取った  $N_c=20$  回での液状化強度  $R_{L20}$  の直接的関係をプロットしている. 尚, 図-6のラインはこれまでにやってきた  $D_r$  と  $F_c$  を変化させた試験結果<sup>3)</sup>から求めた細粒分含有率や相対密度の違いによらない一意的な関係を示す直線である.  $F_c=0\%$  と  $F_c=10\%$  を比較すると, 明らかに浦安砂の  $q_t$  と  $R_L$  の減少傾向に比べて富津砂の  $q_t$  と  $R_L$  の減少傾向の方が大きい. そこで, 両試料の違いを検討すると, 図-1に示すように両試料に混ぜた細粒分の粒径は明らかに異なっている. つまり, 浦安砂の細粒分は  $30\mu\text{m}$  から  $75\mu\text{m}$  ほどの粒径のシルト分が多いのに対して, マサ土の細粒分は粘土分も多く含んでおり, この違いが2種類の砂に細粒分を加えた時の強度差の原因となっていると考えられる. しかし, このような違いにも関わらず,  $q_t \sim R_L$  関係には図-6のようにほぼ一意的な相関が見られることは, 貫入試験による液状化強度評価の広範な砂質土への適用性を示すものと考えられる.

4. まとめ

- (1) コーン貫入抵抗値  $q_t$  は相対密度の増加とともに増大していくが, 細粒分含有率  $F_c$  の増加にもなって減少する.
- (2) 室内調整試料において,  $F_c$  を増加させると液状化強度  $R_L$  は低下する. ただし, その低下は砂や混ぜた細粒分によって大きく異なる.
- (3)  $q_t \sim R_L$  関係において, 細粒分の有無や粒度の違いによらず一意的な直線にのる結果となり, 貫入抵抗による液状化強度評価の広い適用性が示された.

[参考文献] 1) 國生剛治, 村端敬太, 伏木田達朗, 伊藤菜穂子: 三軸試験機を用いた小型コーン貫入試験法の開発と液状化強度との相関, 土木学会第58回年次学術講演集III-96, pp191-192, 2003. 2) Kokusho, T. Hara, T. and Murahata, K.: Liquefaction strength of fines-containing sands compared with cone-penetration resistance in triaxial specimens, Proc. 2nd Japan-US Workshop on Geomechanics, ASCE Geo-Institute Publication No. 156, pp356-373, 2005. 3) 伊藤文樹, 國生剛治, 長尾洋太: 非塑性細粒分を含む砂の液状化強度~コーン貫入抵抗関係への年代効果の影響, 土木学会論文集C (地圏工学) Vol. 67, No. 1, p 26-35, 2011. 4) Tokimatsu, K. (1990): System compliance correction from pore pressure response in undrained cyclic triaxial tests, Soils & Foundations, 30 (2), 14-22.

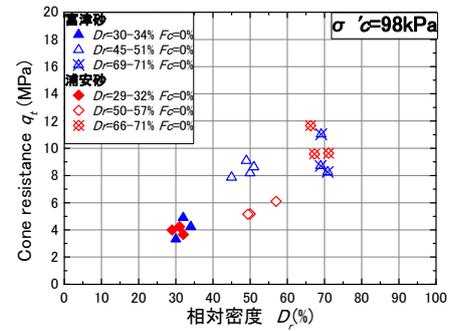


図-3 相対密度  $D_r$  と貫入抵抗  $q_t$  の関係

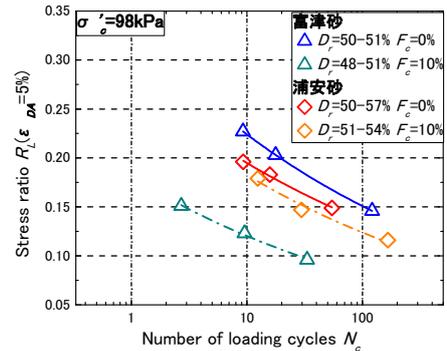


図-4 繰返し応力比  $R_L$  と繰返し载荷回数  $N_c$  の関係

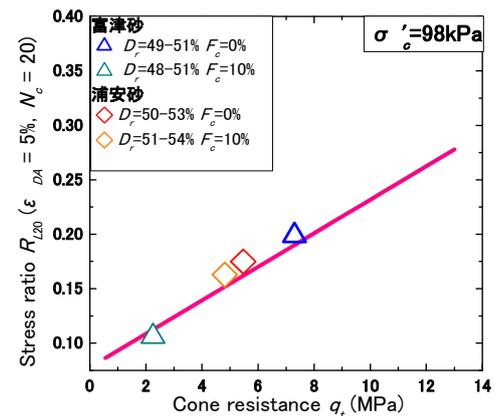


図-5 コーン貫入抵抗  $q_t$  と液状化強度  $R_{L20}$  の関係