

三軸試験を用いた小型コーン貫入試験による非塑性細粒分含有砂の液状化強度と貫入抵抗値との関係

中央大学理工学部 正会員○原 忠，國生剛治

村端敬太，鈴木一義，前田和伸

1. はじめに

道路盛土や河川堤防などの大規模な構造物基礎地盤の耐震性評価には、標準貫入試験に比べ測定誤差が小さく、地盤性状を連続的に把握できるコーン貫入試験の適用が望まれている。コーン貫入抵抗値から液状化強度を予測する方法は、近年コーン貫入試験結果と原位置凍結試料の液状化強度とを組合せた研究^{例へば、¹⁾}などが行われており、細粒分を多く含む砂に対しては、標準貫入試験の N 値よりも有効な方法であることが示されつつある。

本研究では、非塑性細粒分含有率を変化させた砂に対して、貫入試験を三軸供試体内で簡便に行えるよう改良した三軸試験機を作成し、コーン貫入過程での先端抵抗と間隙水圧の変化を測定する。さらに、貫入試験後に行う非排水繰返しせん断試験結果に基づき、コーン貫入抵抗値と液状化強度との関係を検討する。

2. 試験装置

三軸試験は、供試体径 100 mm、高さ 200 mm の中型振動三軸試験機のペDESTAL部分²⁾を、**図-1**に示す新たに開発した貫入ロット付ペDESTAL²⁾に取り替えて行う。貫入用コーンの寸法は、高さ 11.2 mm、内径 6.0 mm であり、地盤工学会基準（断面積 10 cm²）のコーンと比較して、断面積は 1/35 のサイズである。コーンの先端角度は通常のコーンの仕様に合わせて 60° にしており、先端抵抗 q_t はロッド先端部に取り付けたひずみゲージにより測定する。貫入ロッドは、予めペDESTAL内に注水した水を排水させることにより供試体が落下し、供試体内に貫入されるシステムとなっている。

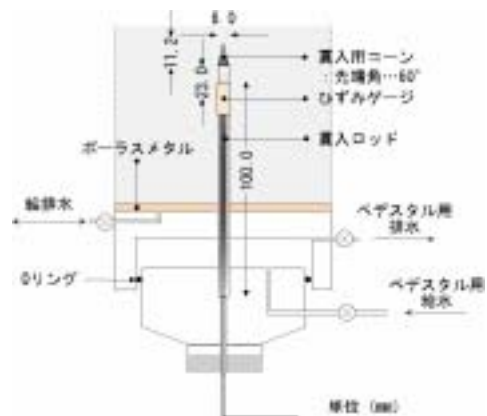


図-1 コーン貫入試験用ペDESTALの概略

3. 試験試料

図-2に本研究で用いた試料の粒径加積曲線を、**表-1**にそれら試料の物理特性をそれぞれ示す。試料は豊浦砂とほぼ等しい粒度組成を有する $U_c=1.44$ の河床砂（試料1）、および河床砂にまさ土細粒分を細粒分含有率 F_c が 5, 10, 20, 30% になるよう粒度調整した5種類の砂³⁾である。まさ土細粒分は、兵庫県南部地震（1995年）の際、液状化が生じたポートアイランド埋立地盤より採取した試料を 0.075mmふるいにて水洗いし抽出したものであり、塑性指数 $I_p=6$ 程度のほぼ非塑性材料と判断できる。

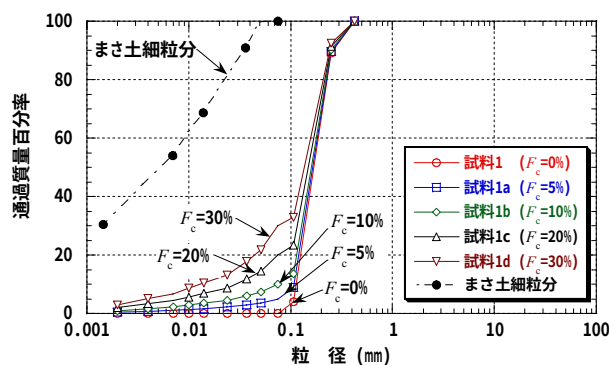


図-2 試料の粒径加積曲線

表-1 試料の物理特性

	F_c (%)	U_c	D_{50} (mm)	ρ_s (g/cm ³)	ρ_{dmin} (5回平均値) (g/cm ³)	ρ_{dmax} (10回平均値) (g/cm ³)
試料1	0	1.44	0.17	2.696	1.280	1.629
試料1a	5	1.68	0.17	2.699	1.310	1.666
試料1b	10	2.36	0.16	2.701	1.314	1.746
試料1c	20	5.83	0.15	2.706	1.280	1.842
試料1d	30	12.2	0.14	2.711	1.173	1.704

各試料の最小・最大密度は、内径20.0cm、高さ20.0cmの鋼製モールドとバイブレーター、大型ロートを用いた試験法⁴⁾により求めた。

4. 試験方法と結果

供試体は粒子分級による影響を最小限に抑えるためウェットタンピング法により作成し、各試料の相対密度は

キーワード：コーン貫入試験，液状化，砂質土，三軸試験，細粒分含有率，相対密度

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 Tel:03-3817-1799 / Fax:03-3817-1803

D_r 50%になるよう試料投入量を調整した。各供試体とも B 値が 0.95 以上になることを確認し、有効拘束圧 98kPa で 1～3 時間程度等方圧密した。貫入試験は非排水条件で貫入速度約 0.1cm/sec で初期貫入長 4.7 cm から 7.2 cm まで 2.5 cm 貫入させた。非排水繰返しせん断試験は、貫入試験後再圧密した後、0.1Hz の正弦波軸応力を加えて行った。

図-3,4 は D_r 50%の細粒分含有率の異なるコーン貫入試験により得られた先端抵抗、過剰間隙水圧と貫入変位との関係をそれぞれ示したものである。 $F_c=0\%$ の試料 1 (D_r 56%) の先端抵抗は、同図中に示す D_r 47%のそれに比べ明らかに大きく、相対密度依存性が顕著に見られる。非塑性細粒分を含む砂の先端抵抗 q_t は、相対密度がほぼ同程度である場合も F_c の増加とともに大きく低下しており、 $F_c=30\%$ の試料 1d の q_t は $F_c=0\%$ の試料 1 の 1/5 程度である。図-4 の過剰間隙水圧～貫入変位関係で比較した場合、 F_c の違いによらず貫入初期から正の過剰間隙水圧が直線的に生じている。また、その発生量は多少のばらつきは見られるが、 F_c の大きい砂ほどより大きく上昇している。

図-5 は非塑性細粒分含有砂 (D_r 50%) より得られた先端抵抗の最大値を細粒分含有率との関係でまとめたものである。これより、 $F_c=0\%$ でややばらつきが見られるが、非塑性細粒分を含む砂の先端抵抗は液状化強度³⁾同様に、 F_c の増加とともに減少しており、理論限界細粒分含有率⁵⁾付近 (S 23%) でほぼ漸近値を示している。

図-6 はコーン貫入試験後に行った非排水繰返しせん断試験から得られた、繰返し載荷回数 $N_c=20$ における繰返し応力比 R_{L20} と先端抵抗 q_t の関係を整理したものである。同図中には豊浦砂より得られた同様な関係²⁾も併せて示す。ここで、貫入ロットの有無が液状化強度に及ぼす影響が軽微であることを、別途研究⁶⁾により確認している。これより、同程度の相対密度を有する供試体においては、細粒分含有率の増加に伴い先端抵抗や液状化強度は共に減少することが確認できるが、両者には正の相関性が見られる。

5. まとめ

三軸試験機を用いたコーン貫入試験結果より、相対密度や細粒分含有率がコーン貫入抵抗に大きな影響を与えることがわかった。さらに、非塑性細粒分の増加により貫入抵抗値と液状化強度はともに低下し、両者は一意的な関係で結ばれる可能性があることを示した。このように貫入抵抗と非塑性細粒分含有砂の液状化強度には相関関係が見られるので、液状化評価法の一つとしてコーン貫入試験が活用できる可能性あることが明らかになった。

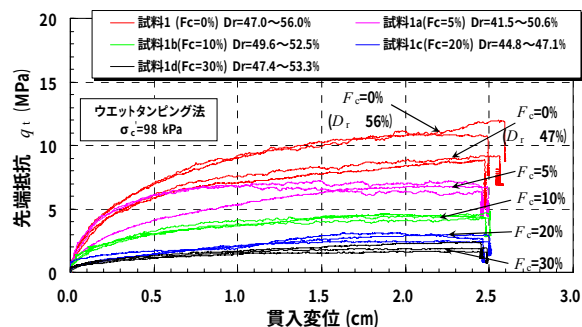


図-3 先端抵抗と貫入変位の関係

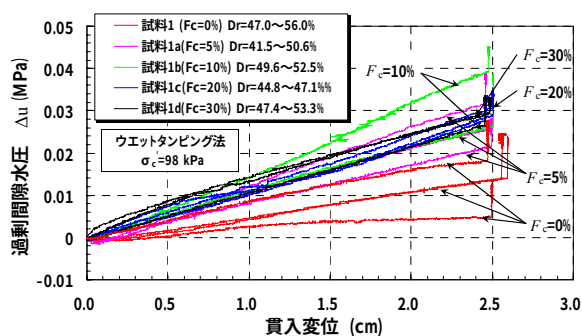


図-4 過剰間隙水圧と貫入変位の関係

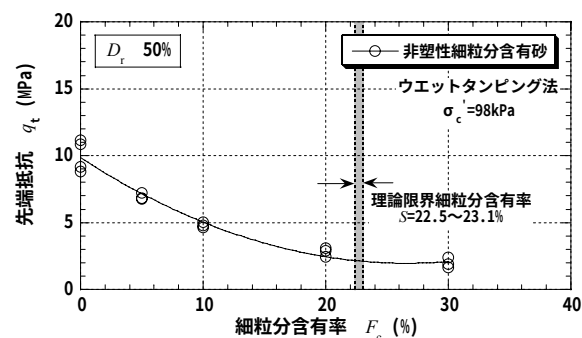


図-5 先端抵抗と細粒分含有率の関係

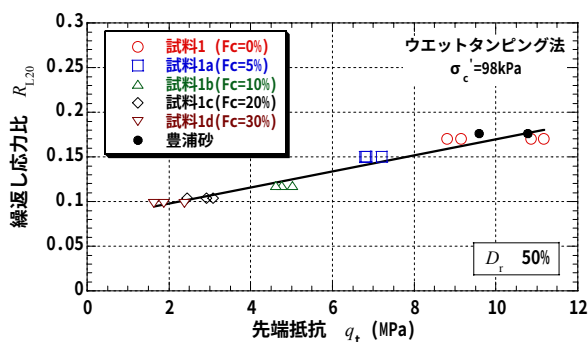


図-6 繰返し応力比と先端抵抗の関係

【参考文献】 1) 時松孝次, 鈴木康嗣: 液状化の判定方法と実際の現象, 基礎工, Vol.24, No.11, pp.36-41, 1996. 2) 國生剛治, 原 忠, 村端敬太, 森山豊: 三軸試験機を用いた小型コーン貫入試験による貫入抵抗と液状化強度の関係, 土木学会第 59 回年次学術講演会講演概要集, III-232, pp.463-464, 2004. 3) 原 忠, 國生剛治, 村端敬太: 細粒分を含む砂および砂礫の液状化特性, 日本地震工学会・大会-2004 梗概集, pp.222-223, 2005. 4) 原 忠, 國生剛治: 砂礫の最小・最大密度に及ぼす影響因子の分析, 土木学会論文集, No.778/III-69, pp.151-162, 2004. 5) Skempton, A.W. and Brogan, J.M.: Experiments on piping in sandy gravels, *Geotechnique*, Vol.44, No.3, pp.449-460, 1994. 6) 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 回年次学術講演会講演概要集, III-096, pp.191-192, 2003.