

コーン貫入抵抗値と液状化強度に及ぼす非塑性細粒分の影響

中央大学

正会員 原 忠

中央大学

正会員 國生 剛治

中央大学

学生会員 ○田中 正之

1. はじめに

近年、盛土地盤などの大規模な構造物の耐震性評価に、地盤構造を連続的に測定できるコーン貫入試験が用いられるケースがみられる。しかし、コーン貫入抵抗値から液状化強度を同一供試体内で直接的に結びつけたデータが乏しく研究事例が少ない。

本報では、液状化の可能性が考えられる非塑性細粒分を含む砂質土に対し、細粒分含有率や相対密度を系統的に変化させた小型コーン貫入試験と液状化試験を行い、非塑性細粒分がコーン貫入抵抗値や液状化強度に及ぼす影響を調べた。

2. 試験試料

図-1 に試料の粒径加積曲線を示す。試料は、比較的堅硬な土粒子からなる河床砂(利根川砂)に、ほぼ非塑性なまさ土細粒分($I_p=6$ 程度)を細粒分含有率 $F_c=0\sim30\%$ になるよう粒度調整したものである。表-1 に各試料の物理特性を示す。ここでの相対密度 D_r は JIS 法とは異なる最小・最大密度試験法¹⁾により計算している。

表-1 試料の物理特性

	F_c (%)	U_c	ρ_s (g/cm^3)	ρ_{dmin} (g/cm^3)	ρ_{dmax} (g/cm^3)	e_{max}	e_{min}
試料1	0	1.44	2.696	1.280	1.629	1.106	0.655
試料1a	5	1.68	2.699	1.310	1.666	1.060	0.620
試料1b	10	2.36	2.701	1.314	1.746	1.056	0.547
試料1c	20	5.83	2.706	1.280	1.842	1.114	0.469
試料1d	30	12.2	2.711	1.173	1.704	1.311	0.591

3. 試験概要

試験は、供試体直径 100mm、高さ 200mm の中型三軸試験装置の下部ベDESTALを、図-2 に示す貫入ロッド付きに替えて行った。コーンの先端部は 60° 、寸法は高さ 115.2mm、底面積 $28.3mm^2$ であり、実物のコーンのそれに比べ、断面積は $1/35$ のサイズである。貫入抵抗値は、コーン先端部より 28.7mm 下の部分に貼り付けたひずみゲージにより測定し、コーンの供試体内への貫入は、下部ベDESTAL内に充填しておいた内部の水を排水することにより行う。

供試体は圧密後に相対密度が $D_r=30\%$ 、 50% 、 70% 程度になるようウェットタンピング法(WT法)で作成した。B 値が 0.95 以上に到達したのを確認した後、有効拘束圧 98kPa、背圧を 196kPa で等方圧密し、非排水条件にて貫入速度 0.06cm/sec で 2.5cm 貫入する。その後、いったん排水して再圧密させた後、非排水条件にして 0.1Hz の正弦波を加え液状化試験を行った。

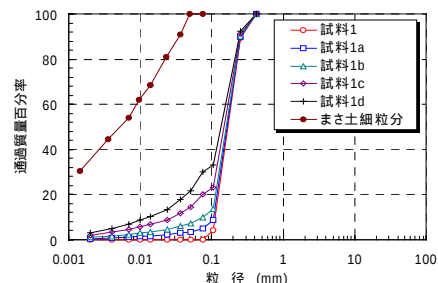


図-1 試料の粒径加積曲線(細粒分含有砂)

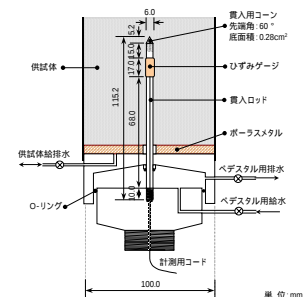
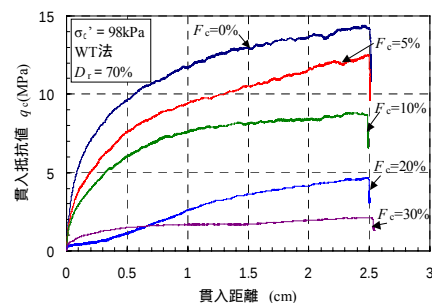
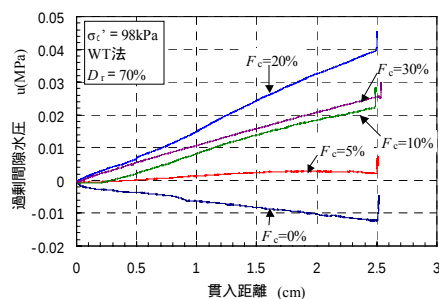


図-2 貫入ロッド付きベDESTAL



(a) 貫入抵抗値と貫入距離の関係



(b) 過剰間隙水圧と貫入距離の関係

図-3 貫入抵抗値・過剰間隙水圧と貫入距離の関係

キーワード 小型コーン貫入試験、液状化、細粒分含有率

連絡先〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 TEL:03-3817-1799 FAX:03-3817-1803

4. 細粒分含有砂の液状化試験・コーン貫入試験

図-3 にコーン貫入試験より得られた貫入抵抗値・過剰間隙水圧と貫入距離の関係の一例を $D_r=70\%$ の結果について示す。貫入抵抗値と貫入距離の関係を比較した場合、既存のデータ²⁾と同様に F_c の増加により貫入抵抗値は明瞭な減少傾向を示している。また、過剰間隙水圧と貫入距離の関係を比較した場合、 $F_c=0\%$ の試料 1 では負の過剰間隙水圧が発生し、正のダイレイタンシー特性を示すが、非塑性細粒分を含む砂質土はおおよそ F_c の増加に伴い正の過剰間隙水圧が発生し、負のダイレイタンシー特性を示している。図-4 に複数回行った貫入試験結果より計算した最大貫入抵抗値の平均値を F_c との関係で示す。同図中には各試料での最大値と最小値と、用いた試料の限界細粒分含有率³⁾を合わせて示している。これより、非塑性細粒分を含む砂質土は相対密度 D_r がいずれの場合も、 F_c の増加に伴い貫入抵抗値は低下傾向を示しており、試料の最小・最大間隙率より計算した限界細粒分含有率($S=22.5 \sim 23.1\%$)付近でほぼ下限値を示している。

図-5 は各試料の繰返し回数 20 回における繰返し応力比 R_{L20} を F_c の関係で示したものである。図中には既往の試験結果⁴⁾も併せて示す。これより非塑性細粒分を含む砂質土の液状化強度はコーンの有無によらず F_c の増加と共に低下傾向を示している。また、貫入抵抗値と同様に試料の限界細粒分含有率程度でほぼ下限値を示す。

図-6 に液状化強度 R_{L20} と最大貫入抵抗値の平均値の関係を示す。これより、最大貫入抵抗値が 10MPa 付近までは D_r や F_c の違いによらず最大貫入抵抗値と R_{L20} は直線的関係を示すが、それ以上では非線形的な傾向を示している。図-7 に液状化強度比 R_L と 98kPa の有効上載圧に換算した貫入抵抗値 q_{c1} の関係を示す。同図中にはこれまで提案されている同様な関係を併せて示す。これより、本研究で得られた結果は原位置データとは実験手法が大きく異なるが、鈴木ら⁷⁾の提案式($F_c: 0 \sim 5\%$)におおよそ一致している。さらに傾向的に各提案式と類似している。

5. まとめ

- (1) 細粒分を含む砂質土の貫入抵抗値と液状化強度は、 D_r がいずれの場合も F_c の増加と共に低下傾向を示し、限界細粒分付近でほぼ下限値を示す。
- (2) 非塑性細粒分を含む砂質土の貫入抵抗値と液状化強度は、最大貫入抵抗値が 10MPa 付近までは D_r や F_c によらず直線的な関係を示すが、それ以上では R_{L20} の急増により非線形的な傾向を示す。
- (3) 本研究の q_{c1} と R_L の関係は、今回用いた試料の範疇では各提案式と類似した傾向を示す。

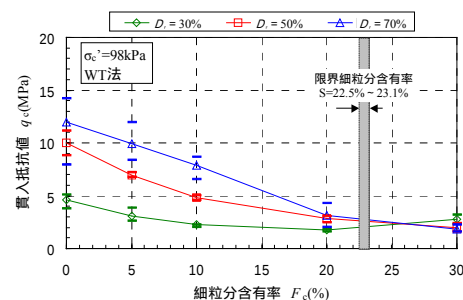


図-4 貫入抵抗値と細粒分含有率の関係

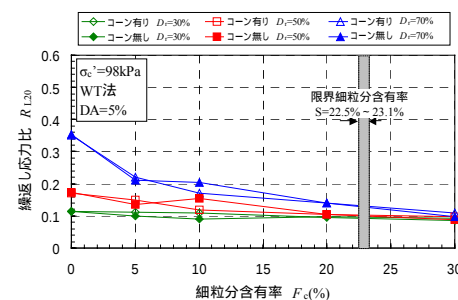


図-5 液状化強度と細粒分含有率の関係

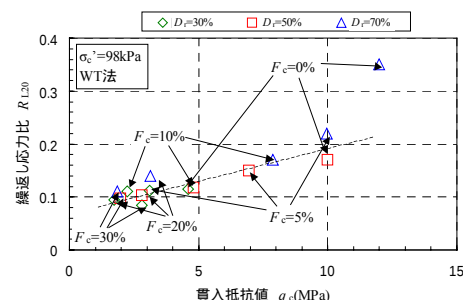


図-6 液状化強度と貫入抵抗値の関係

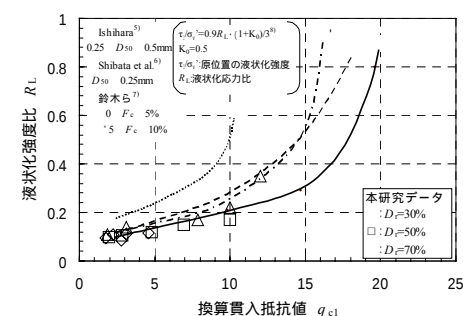


図-7 液状化強度比と換算貫入抵抗値の関係

[参考文献] 1) 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/ -69, pp.151-162, 2004. 2) 國生剛治, 原 忠, 村端敬太: 三軸試験機を用いた小型コーン貫入試験による細粒分含有砂の液状化強度評価, 第 40 回地盤工学研究発表会, 2005, pp.2245-2246. 3) Skempton, A.W. and Brogan, J.M.: Experiments on piping in sandy gravels, Geotechnique, Vol.44, No.3, pp.449-460, 1994. 4) 原 忠, 國生剛治: 砂および砂礫の非排水強度特性に及ぼす非塑性細粒分の影響, 土木学会地震工学論文集, Vol.28, 2005. 5) Ishihara, K.: Stability of natural deposits during earthquakes, Proc. 11th Int. Conf. on SMFE, San Francisco, Vol.1, pp.321-376, 1985. 6) Shibata, T. and Teparaksa, W.: Evaluation of liquefaction potential of soils using cone penetration tests, Soils and Foundations, Vol.28, No.2, pp.49-60, 1988. 7) 鈴木康嗣, 時松孝次, 田屋裕司, 窪田洋司: コーン貫入試験および標準貫入試験結果と原位置凍結試料の液状化強度との関係, 第 30 回土質工学研究発表会, pp.983-984, 1995. 8) Yoshimi, Y., Tokimatsu, K. and Hosaka, Y.: Evaluation of liquefaction resistance of clean sands based on high-quality undisturbed samples, Soils and Foundations, Vol.29, No.1 pp.93-104, 1989.