

非塑性細粒分を含む砂を用いた液状化強度とコーン貫入抵抗の関係についての基礎的実験
～過圧密効果の影響～

中央大学 正会員 國生 剛治
和歌山工業高等専門学校 正会員 原 忠
中央大学 学生会員 田中 正之 ○吉野 拓也

1. はじめに

一般に長い年月を経て形成された自然堆積土は、年代効果により骨格構造が安定し液状化強度が増大する。その差異を把握することは原位置液状化強度の推定において重要である。しかし、年代効果がコーン貫入抵抗値に及ぼす影響に着目し、液状化強度と直接結びつけた研究事例はない。本研究では、同一供試体内でコーン貫入試験と液状化試験を行う試験機を用いて、過圧密履歴により年代効果を与えて、コーン貫入抵抗値と液状化強度に及ぼす影響を検討した。

2. 試験試料

図-1 に試料の粒径加積曲線を示し、表-1 に物理特性を示す。試料は比較的堅硬な土粒子からなる利根川砂の河床砂を用い、非塑性細粒分として塑性指数 $I_p=6$ 程度のまさ土細粒分を用いた。細粒分含有率 F_c は重量比で 0%・5%・20% になるように配合した。ここでの相対密度 D_r は砂の最小密度・最大密度試験法(JIS A 1224:2000)¹⁾より得られた最小・最大密度により計算した。

3. 試験方法

小型コーン貫入試験は、供試体直径 100mm、高さ 200mm の中型三軸試験機の下部ペDESTAL を、図-2 に示すとおり、貫入ロッド付きの物に替えて行った。この貫入コーンは、下部ペDESTAL 内部を満たした脱気水を排水することにより、供試体内に 2.5cm 貫入される。コーンの先端部は 60°、貫入ロッドの寸法は高さ 115.2mm、底面積 28.3mm² 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、コーン先端部に貼り付けたひずみゲージにより測定する。

供試体は、圧密後の相対密度が $D_r=30\%$ と 50% 程度になるようウェットタンピング法(WT法)により作成する。供試体作成後、内部に二酸化炭素、脱気水を通す。有効拘束圧 392kPa で 1 時間等方圧密した後にこれを 29kPa まで除荷し、背圧を 196kPa 負荷させる。B 値が 0.90 以上に到達したのを確認し、有効拘束圧 98kPa で等方圧密する。その後、非排水条件のもと小型コーン貫入試験を貫入速度 0.1cm/sec で行う。貫入終了後、再度 98kPa で圧密させ、0.1Hz の正弦波を加え液状化試験を行う。

4. 試験結果

図-3 に貫入距離と貫入抵抗の関係を示す。これより、貫入初期急激な増加傾向が見られ、それ以降はほぼ一定の割合で緩やかに増加した。この

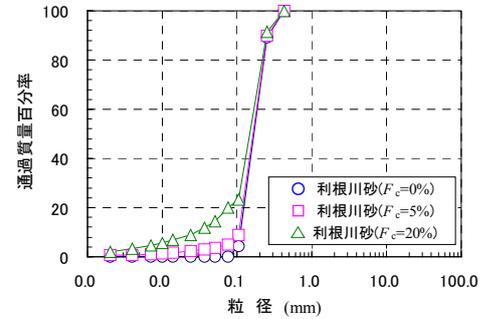


図-1 試料の粒径加積曲線

表-1 試料物理特性

	F_c (%)	ρ_s (g/cm ³)	ρ_{max} (g/cm ³)	ρ_{min} (g/cm ³)	e_{max} (g/cm ³)	e_{min} (g/cm ³)
利根川砂	0	2.723	1.654	1.342	1.029	0.646
	5	2.744	1.699	1.287	1.132	0.615
	20	2.747	1.690	1.124	1.444	0.625

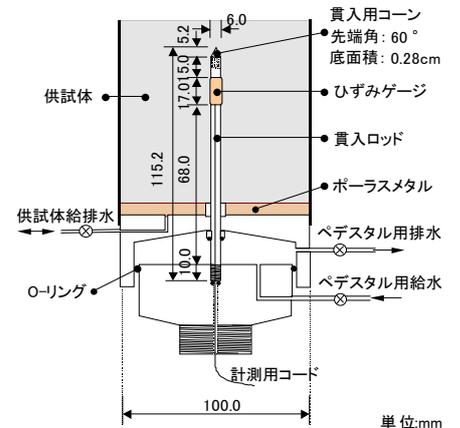


図-2 貫入ロッド付きペDESTAL の概要

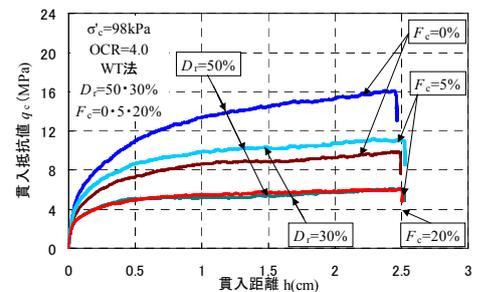


図-3 貫入試験での貫入抵抗と貫入距離の関係

キーワード 年代効果, 過圧密履歴, 非塑性細粒分, コーン貫入抵抗値, 液状化強度

連絡先 〒112-0003 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科土質研究室 TEL03-3817-1799

傾向は、OCR=1.0で行った実験結果²⁾と類似している。

図-4に貫入距離と過剰間隙水圧の関係の一例を示す。これより、貫入初期($F_c=20\%$ の場合)または貫入全般($F_c=0\%,5\%$ の場合)において負の過剰間隙水圧が発生し、正のダイレイタンシー特性が見られた。これは、OCR=1.0で行った実験²⁾では、貫入初期から正の過剰間隙水圧が発生し、負のダイレイタンシー特性が見られたこととは大きく異なる。

図-5にコーン貫入抵抗値 q_c と細粒分含有率 F_c の関係を示す。同図中にはOCR=1.0で行った実験結果²⁾、および、用いた試料の限界細粒分含有率³⁾を併せて示している。OCR=4.0の最大貫入抵抗値はOCR=1.0に比べ、 $D_r=30\%$ のとき約2.0倍、 $D_r=50\%$ のとき約1.5倍となった。

図-6に液状化試験での繰返し応力比 $R_{L20}(N_L=20回, \epsilon_{DA}=5\%)$ と細粒分含有率 F_c の関係を示す。同図中にはOCR=1.0で行った実験結果²⁾、および、用いた試料の限界細粒分含有率³⁾を併せて示している。OCR=4.0の繰返し応力比 R_{L20} はOCR=1.0に比べ、 $D_r=30\%$ のとき約1.7倍、 $D_r=50\%$ のとき約1.4倍となった。また、 F_c が低い場合では R_{L20} は増加するが、限界細粒分含有率付近ではOCRに関わらずほぼ同程度となった。これは q_c については限界細粒分含有率付近でOCRによる差異が見られたこととは異なっている。

図-5と図-6の結果に基づき、液状化強度 R_{L20} と換算貫入抵抗値 q_{c1} の直接的関係を示したのが図-7である。細粒分含有率の違いはOCR=4.0のみ矢印で指し示した。これより、 q_c と R_{L20} の間にはOCR・ D_r ・ F_c に関係なく、ほぼ一意的な直線関係が成り立つことが分かる。同図中に、実物のCPTを用いた既往の研究^{4)~7)}により提案されている同様な関係を併せて示す。これより、本研究では実際に現場で用いられるコーンとサイズ・貫入速度が大きく異なっているが、 q_{c1} - R_{L20} の関係は細粒分をあまり含まない砂地盤についての既存の提案式に良く一致している。

5. まとめ

1. 過圧密履歴を受けた砂の q_c および R_{L20} は、過圧密履歴を受けない砂と比較すると、共に大きい値を示す。しかし、両者の直接的関係をプロットするとOCR・ D_r ・ F_c に関係なく、ほぼ一意的な直線関係を示す。
2. 本研究で得られたデータは、実際に現場で用いられるコーンとサイズ・貫入速度が大きく異なっているが、 q_{c1} - R_{L20} の関係は既存の細粒分の少ない砂の提案式にほぼ一致する。しかし、 F_c が q_{c1} - R_{L20} の関係に大きな影響を及ぼすとしている既往の提案式に対し、本研究のデータは F_c や D_r に関わらず、ほぼ一意的関係が見られる点は大きな相違点である。

参考文献 1) (社)地盤工学会：土質試験の方法と解説，第一回改訂版，pp136-145，2000.
 2) 田中正之，國生剛治，原忠，液状化強度とコーン貫入抵抗値に及ぼす非塑性細粒分の影響，第33回土質工学研究発表会，2007. 3) Skempton, A.W. and Brogan, J.M.: Experiments on piping in sandy gravels, Geotechnique, Vol.44, No.3, pp.449-460, 1994. 4) Ishihara, K.: Stability of natural deposits during earthquakes, Proc. 11th Int. Conf. on SMFE, San Francisco, Vol.1, pp.321-376, 1985. 5) Shibata, T. and Teeparaksa, W.: Evaluation of liquefaction potential of soils using cone penetration tests, Soils and Foundations, Vol.28, No.2, pp49-60, 1988. 6) 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. 7) 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.

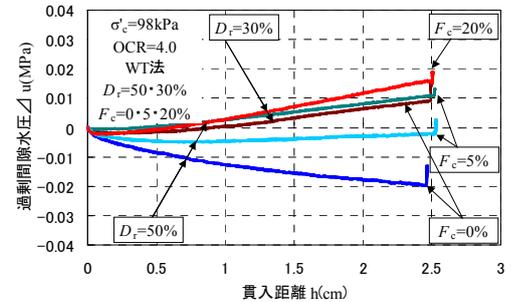


図-4 貫入試験での貫入距離と過剰間隙水圧の関係

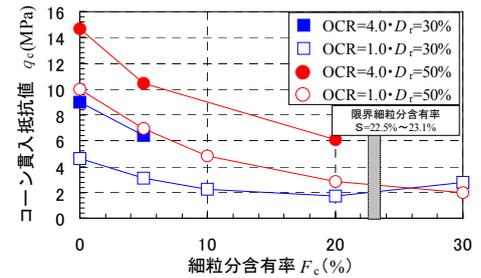


図-5 貫入試験での貫入抵抗値と細粒分含有率の関係

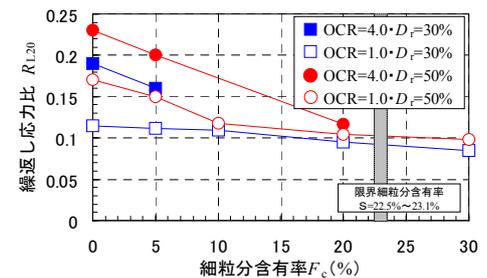


図-6 液状化試験での繰返し応力比と細粒分含有率の関係

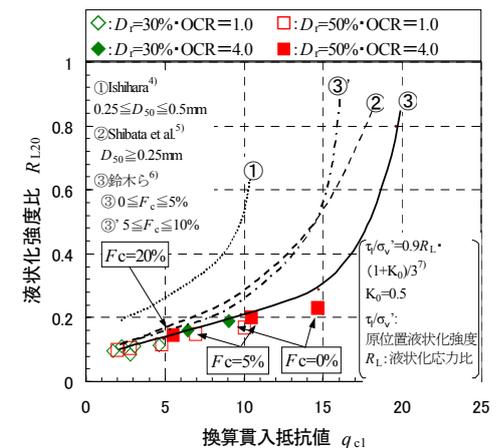


図-7 液状化強度と換算貫入抵抗値の関係