新潟砂の液状化強度に及ぼすサンプリング方法の影響

防衛大学校 正会員 正垣孝晴,正会員 坂本 竜 (株)興 和 正会員〇中野義仁,正会員 柴田 東

1.はじめに

地盤材料の動的強度・変形特性に関する研究は1964年の新潟地震をきっかけに砂地盤に関して精力的に進められてきた。高品 質な砂のサンプリングは凍結サンプリング(FS)法¹⁾が有効な手段であると言われている。しかし、FS は莫大な費用と大掛かりな 装置を必要とするため、その採用は重要構造物や研究目的の地盤調査等に限られるのが現状である。大掛かりな装置を必要とし ない経済的な方法による高品質な砂試料採取方法が模索されている^{2),3),4)}。

筆者らは、1987年と1988年に(社)地盤工学会(JGS)が実施した一斉調査^{2),3)}と同じ場所で2000年に小径倍圧型水圧ピストンサンプラー(チューブ内径により45-mmと50-mmサンプラーと略記)とチューブ内径70mmの水圧サンプラー(70-mmサンプラー)を用いて新潟砂の試料採取を実施した。その結果、45-mmと50-mmサンプラーに対しては試料採取率*R*_r≧85%、70-mmサンプラーに対しては ラーに対しては*R*_r≧81%で採取することができた⁵⁾。本稿は、2000年調査⁵⁾で採取した砂試料に対する繰返し三軸試験やベンダーエレメント試験の結果と、過去に当該地で採取されたFS試料や各種TS試料の試験結果、原位置試験結果から推定した液状化強度等の比較から、新潟砂の相対密度、液状化強度に及ぼすサンプリング方法の影響について検討する。

2.新潟砂の相対密度に及ぼすサンプリング方法の影響

2000 年調査 ⁵⁾で採取した新潟砂は、細粒分含有率 F_c が z=8~10m の 4~7% を除いて 1%以下であり、均等係数 $U_c = 1.5$ 、平均粒径 $D_{50} = 0.25$ mm の中 砂である。

図-1に70-mm サンプラーのチューブ1本の平均相対密度 $D_{r(70)}$ に対する 45-mm と 50-mm 試料のそれら $\overline{D}_{r(45,50)}$ の比を $\overline{D}_{r(70)}$ に対してプロットした。 $\overline{D}_{r(45,50)}/\overline{D}_{r(70)}$ の平均は 0.89 であり $\overline{D}_{r(70)}$ には依存していない。また、1987 年調査²⁾のチューブ内径 125mm の三重管サンプラー(125T)の試料につい ての $\overline{D}_{r(125T)}/\overline{D}_{r(70)}$ もプロットした。その値も約1であり、採取試料の \overline{D}_{r} は チューブ径に依存していない。

図-2 は D_r と換算 N 値 N_1 (N 値を有効土被り圧 100kN/m²相当の値に換 算した値)の関係である。また、1986/1987 年調査^{2),3)}で得た FS と TS 試料 の結果、そして Meyerhof⁶⁾ による N 値と D_r の関係を N_1 に換算して示し ている。図中に示す直線は FS 試料のプロットに対する最小二乗法による 近似直線であり、FS 試料の \overline{D}_r は N_1 に対して右上がりの傾向を示す。しか し、45-mm と 50-mm 試料を含む TS 試料は N_1 に殆ど依存しておらず、 D_r =47~81%の範囲でばらついている。これはサンプラーの種類に関係なく 総ての TS が試料の D_r を変化させている可能性を示している。また、 N_1 >5 の大部分のプロットは Meyerhof⁶⁾ の曲線より D_r が小さい領域にある。こ の曲線は細粒分の影響等を考慮しておらず、1950 年代の試験結果から得



• 45-mm

図-2 $D_r \ge N_1 の関係$

た関係であることから、サンプリング技術が向上した現在では必ずしも実情に沿わないものと考えられる。

図-3に45-mmと50-mmサンプラーを含むTS試料とFS試料から得た各供試体の圧密後の間隙比 e_c, D_r 、そしてチューブ毎の D_r の深度分布を示す。z=7.5mは砂丘と河川堆積砂の境界であり、FS試料はその近傍で採取されたため、 D_r が大きく増加している。 $D_r & D_r$ の深度分布に示す破線は図-2で示したFS試料に対する近似直線(図-2中のEq.2)を用いて得た D_r の推定線である。 同様に Meyerhof⁶⁰の関係式(同Eq.1)によって計算した D_r も破線で示している。殆どのプロットはEq.1より小さい領域に位置する。 D_r の深度分布をみると、影で囲われたz=6~10mの領域において、45-mm と50-mm 試料を含む数個のTS 試料のプロットは、 Eq.2線上に位置している。すなわち、この範囲のzでは試料採取に伴う密度変化が小さいことが分かる。また、 D_r の深度分布で 試料脱落のために R_r が小さいチューブ試料のプロットを点線で囲っている。これらのプロットの内、 D_r が Eq.2より小さい領域 キーワード サンプリング、砂、試料の乱れ、相対密度、液状化強度、

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL 0468-841-3810

0

Depth,z (m)

10

に位置しているのはチューブの刃先に近い領域から作製した供 試体のプロットであり、Eq.2 近傍に位置するものは同じチュー ブの他の領域から作成した供試体のプロットである。すなわち、 試料脱落に起因する *D*_rの低下はチューブ内全体の試料には及ん でいない。

3.液状化強度に及ぼすサンプリング方法の影響

 $N_c=20$ の応力比 R_{L20} と換算 N 値 N_1 の関係を図-4 に示す。同 図には、道路橋示方書⁷⁾で採用されている簡易的な液状化判定法 の曲線(図-4中の Eq.3)と吉見^{1),8)}が当該地と 1986年調査以前に 他の新潟市内で得た FS 試料と TS 試料に対する結果から得た回 帰線(同 Eq.4,5)も併せて示している。ここで、吉見^{1),8)}は $N_c=15$ の応力比 R_{L15} で整理しているので、龍岡ら⁹⁾による補正式(R_{L20} = 1.05 R_{L15})を用いて R_{L20} に換算した。図-4 に示す道路橋示方書

⁷⁾や吉見^{1),8)}のFS 試料の結果から得た R_{L20} は、 $N_1 = 5 \sim 22$ の範囲ではほぼ直線的 に大きくなり、 $N_1 > 22$ で指数的に大きくなる。それに対して、 45-mm,50-mm,70-mm サンプラーの R_{L20} は N_1 に対してほぼ一定であり、平均値 は 0.24 である。しかし、 $N_1 \doteq 20 \sim 25$ の 45-mm,50-mm,70-mmの R_{L20} は 1986/1987 年調査^{2),3)}の TS で最も品質が良いとされた 125T と同等であり、他の TS はそ れらより最大 30%小さい。

Solution 図-5 は先端抵抗に占める水圧と有効土被り圧の影響を補正して正規化した コーン抵抗 q_{t1} と R_{L20} の関係である。図中には石原¹⁰⁾と鈴木ら¹¹⁾による回帰曲 線も示している。石原¹⁰⁾の回帰曲線は FS 試料や鈴木ら¹¹⁾の回帰曲線から大き く離れる。石原が回帰曲線を得た試料は、Osterberg ピストンサンプラーであり、 N<20 の地盤から採取された。したがって、この曲線から得る R_{L20} は過大評価 されている可能性が高い。鈴木ら¹¹⁾の曲線と FS 試料の R_{L20} は q_{t1} に対して右上 がりの傾向にあるが、45-mm, 50-mm, 70-mm を含む TS 試料ではその傾向は見 られない。しかし、 q_{t1} =15~16MPa の 45-mm, 50-mm, 70-mm 試料の R_{L20} は FS 試料のそれと同等であり、他の TS 試料は 10~30%程度小さい。

4.おわりに

本稿の主要な結論は、以下のように要約される。

1) 45-mm, 50-mm 試料の *D*_rは 70-mm, 125T 試料と大差はなく、サンプリングチ ューブ径に依存していない。すなわち、チューブ径を小さくすることによる 周面摩擦の影響は明らかでない。また、試料脱落に起因する 45-mm, 50-mm

試料の Drの低下はチューブ内の全体には及んでおらず、Rrがチューブ全体の試料の Drには影響していなかった。

2) 45-mm, 50-mm, 70-mm 試料の *R*₁₂₀ は、1987 年調査²⁾の TS で最も品質の良いとされた 125T 試料のそれと同等であり、他の従来の TS のそれらは最大で 30%程度小さかった。しかし、45-mm, 50-mm, 70-mm を含む TS の *R*₁₂₀ は *N*₁ に対してほぼ一定であり、FS に見られるような *N*₁や *q*₁₁ に対して大きくなる傾向は無かった。

参考文献: 1) Yoshimi, Y. et al. (1989): Evaluation of liquefaction resistance of clean sands based on high-quality undisturbed samples, Soils and Foundations, Vol.29, No.1, pp.93-104. 2) (社士質工学会サンプリング委員会 (1988): 砂質土試料の採取法および品質評価法に関 する研究報告書、71p. 3) (社主質工学会サンプリング委員会 (1996):砂質土試料の採取法および品質評価法に関する研究報告書 4) (社会国地質調査業協会連合会 (1998):「地盤の液状化に関する土木研究所との共同研究」全地連「技術フォ (その2), 161p. ーラム'98」講演集別冊, 全地連報告 第1部, 341p. 5) Shogaki, T., Nakano, Y., Shibata, A. (2002): Sample recovery ratios and sampler penetration resistance in tube sampling for Niigata sand, Soils and Foundations, Vol.42, No.5, pp.111-120. 6) Meyerhof, G., G (1956): penetration test and Bearing capacity of cohesionless soils, Proc. of the ASCE, Journal of the soil mech. And Found. Div., Vol.82, No.SM.1, 7) \

(社)日本道路協会 (2003): 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, pp.349-362. Paper 866. 8) 吉見吉昭 (1994): 砂の乱さない試料 の液状化抵抗-N値~相対密度関係,土と基礎, Vol.42, No.4, pp.63-67. 9) Tatsuoka, F. et al. (1980): Normalized dynamic undrained strength of sands subjected to cyclic and random loading, Soils and Foundations, Vol.20, No.3, pp.1-14. 10) Ishihara, K. (1985): Stability of natural deposits during earthquakes, Proc. of 11th ICSMGE, Vol.1, pp.321-390. 11) 鈴木康嗣ら.(1995): コーン貫入試験及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.

