チューブサンプリングで得た新潟東港堆積砂の動的強度・変形特性

防衛大学校 ○(学)吉津考浩	•(正)正垣孝晴
(株)興和	(正)中野義仁
(独)港湾空港研究所	(正)菅野高弘

1. はじめに

新潟地震(1964 年)を踏まえて構築された耐震基準や調査・試験法は、兵庫県南部地震(1995 年)や東北地方太平洋 沖地震での液状化対象地盤や地震動の拡大に伴う各種基準・示方書や設計法の改訂・改良のための研究として進展 している。しかし、砂地盤の試料採取法については、大きな進展がないのが現状である。本稿は、新潟東港でチュ ーブサンプリング(TS)を行い、その近傍の凍結サンプ

リング(FS)の液状化強度 R_{L20} ,繰返し3 軸試験によっ て求めた初期せん断係数 G_{CTX} と, PS 検層や当該地の 過去の室内試験結果との比較から, TS の採取試料の 品質を検討する。

2. 調査位置と 試験方法

供試土は,新潟東港に堆積した沖積砂である。FS とTSの試料採取位置を図-1に示す。FSの動的試 験結果は,国交省北陸地方整備局¹⁾を用いる。TS の試料はFSの位置から水平距離で1.8m離れた位置 から,小径倍圧型水圧ピストンサンプラ(試料径 50mm)を用いて採取した。両試験結果の検討で用い る標準貫入試験(SPT)を行った位置も図-1 に併せ て示している。

図-2 に TS 試料に対して行った粒度試験結果を 示す。細粒分含有率 $F_c \leq 2.4\%$,均等係数 $U_c \approx 1.6 \sim 3.1$, 平均粒径 $D_{50}=0.31 \sim 0.36$ mm の中砂である。動的強度・ 変形試験 CTX は、地盤工学会基準(JGS0541-2009, 0542-2009) に従った。また、PS 検層から得た S 波 速度 V_s は、文献 ¹⁾の結果を用いる。

3. 相対密度に及ぼすサンプリング方法の影響

図-3 は SPT から得た N値と D_r の関係である. N値は有効土被り圧 σ'_{vo} の影響を考慮して,道路橋 示方書²⁾の式(1)による換算 N値 N_1 を用いる。N 値 と D_r の関係として良く知られている Meyerhof³⁾に よる式(2)を N_1 値から換算して用いている。

$$N_1 = 170 \cdot N / (\sigma'_v + 70)$$

$$D_{\rm r} = 208 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_{\rm vo} + 69}} \qquad \cdot \cdot \cdot (2)$$

同図に示す直線はFS 試料のプロットから最小二



•••(1)

乗法により求めた直線であり、式(3)を得る。

$D_{\rm r} = 5.45 N_{\rm l} - 65.3$ • • • (3)

ここで、相関係数は 0.70 である。すなわち、 D_r と N_1 には正の関係がある。同じ N_1 下で TS(〇)の D_r は値が幾分小さい。TS のすべてのプロットが Meyerhof の曲線より小さい領域に位置している。こ の曲線は細粒分の影響等を考慮しておらず、また、 1950 年代の結果から得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 合わない回帰式である⁴⁾ことが考察されている。

各供試体の圧密後の間隙比 ecと Drを深度に対し



て図-4にプロットした。 D_r は同じチューブ内の供試体の D_r の平均値であり、この値から D_r のzに対する平均的な変動を検討する。 $D_r & D_r$ の深度分布に示す破線は各zのN値から式(3)を用いて得た D_r の推定線である。 Meyerhofの関係(式(2))から計算した D_r も実線で示している。ほとんどのプロットが Meyerhof³⁾による実線より小さい領域に位置するのは図-3の結果を反映している。 \overline{D}_r の深度分布をみると、z < 9.5mの領域において、FS 試料のプロットは、式(3)で得た D_r の推定線近傍に位置しているが、それ以深は、式(4)のそれに近い。

FS(\triangle)とTS(+)の D_r を比較すると, *z*<9.5m の領域では,後者の値が小さいが,それ以深は同等の値である。 通常,TS で得た試料の D_r は, $D_r = 70\%$ 近傍で変化するが, $D_r<70\%$ の地盤では,TS によって D_r が大きくなる⁵⁾。FS の $e_c \ge (D_r)$ は地盤内のそれらに近いと考えると,*z*<10m の D_r は 50%以下であるので,この深度のTS の D_r は地盤内のそれらより過大に評価している可能性がある。それにもかかわらず,FS の $e_c = 0.9$ より大きいのは,両者の地盤内の $e_c \approx D_r$ が異なっていると推察される。

4. 原位置試験による液状化強度の推定と測定値の比較

原位置試験結果から液状化強度を推定する方法がいくつか提案されている。本章ではこれらの原位置液状化 強度推定値と、FS と TS 試料から得た CTX の測定値の比較から、採取試料の品質を検討する。N 値による液 状化強度の推定法は数多くあり、種々の設計基準等にも用いられている。道路橋示方書²⁾の簡易的な液状化判 定法による N 値と R_{L20} の関係式は、細粒分の少ない砂質土地盤に対しては式(4)と(5)で示される。また、時松・ 吉見⁶は新潟女池を含む FS 試料の試験結果から $D_r \sim N_1$ の関係と $N_1 \sim R_{L15}$ の関係を結びつけて、N 値と R_{L15} の関係として式(6)を得ている。

$$R_{L20} = 0.0882 \sqrt{N_1/1.7} \quad (N_1 < 14) \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad (4)$$

$$R_{L20} = 0.0882 \sqrt{N_1/1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \times (N_1 - 14)^{4.5} \quad (N_1 \ge 14) \quad \cdot \quad \cdot \quad (5)$$

$$R_{L15} = 0.45 \times \left\{ \frac{16\sqrt{N_1}}{100} + \left(\frac{16\sqrt{N_1}}{97 - 19\log DA} \right)^{14} \right\} \quad (F_c \le 5\% \, \mathcal{O}) \stackrel{\text{\tiny IB}}{=} \Omega \right\} \quad \cdot \quad \cdot \quad (6)$$

式(4)と(5)から得た N₁ と R_{L20}の関係を図-5 に示す。図-5 には吉見 7(破線)が新潟女池と 1986 年以前に新 潟市内の他地域で得た TS 試料に対する結果から得た回帰線も示している。また,吉見ら 8は N₆ が 15 の液状 化応力比 R_{L15} で整理しているので, 龍岡ら 9による式(7)を用いて R_{L20} に換算した。

$$R_{\rm I} = R_{\rm I,20} (N_{\rm c}/20)^{-0.1-0.1\log_{10}DA} \cdot \cdot \cdot (7)$$

ここで、式(7)は R_{L20} =1.05 R_{L15} となる.この式は Bishop サンプラーで採取した不撹乱試料に対する関係式 であり、FS 試料に直接適用するのには難があるが、他の研究報告 ¹⁰にも用いられている。図-5 に示す道路橋 示方書 ²⁾や吉見 ⁷⁾の FS 試料の結果から得た R_{L20} は、 N_1 =5~22 の範囲では緩やかに増加し、 N_1 >22 で指数的に

大きくなる。しかし,本実験の測定値はそれらとは 大きく異なる傾向を示しており,以下のように要約 される。

- 1) FS のプロットは,式(7)の曲線の上位に位置している。
- TS のプロットの *R*_{L20}は、式(7)の曲線の下位にあり、 *N*₁に対してほぼ一定であり、平均値は 0.18 であ る。また、プロットは、新潟砂に対する吉見の線 の近傍に位置している。
- 5. ぽ20, み, らに及ぼすチューブサンプリングの影響

図-6(a), (b)は TS 試料の各チューブから得た供試 体の $D_r \ge R_{L20} \ge FS$ 試料のそれらと直接比較してい る。いずれも TS の値が小さく, TS 試料の乱れが原因であると 推察される。図-4 で示した \overline{D}_r に加え, チューブ内の供試体の 平均値として $\overline{G}_{CTX} \ge \overline{G}_{CTX}/G_F$ の深度分布を図-7 に示す。ここ で $G_F = \rho V_s^2$ である。FS 試料の G_{CTX} のプロットは $\gtrsim 15m$ の 2 つのプロットを除いて G_F よりも小さい。また, G_F を基準とし た場合, これらはサンプラーの貫入と引抜き等に起因する応 力変化や D_r が大きくなることによる G の増加と, 粒子配列の 変化などの構造を崩すことによる G の減少とが複雑に影響し ていると解釈されるが, 新潟女池砂(\blacktriangle)の三つの \overline{G}_{CTX} は G_F に 近い。FS の \overline{G}_{CTX} は表層の $z = 4 \ge 5m$ を除いて, TS の値より, 20~50MPa 程度大きい。

図-8は、G_{CTX}/G_FとG_Fの関係である。これらの図には澁谷ら¹⁰⁾が整理した各種室内試験で得た初期剛性率とG_Fの関係を 併せて示している。これらの図からは、以下が考察できる。 1) TS 試料のG_{CTX}/G_Fは0.20~0.75の範囲にあり、三重管サンプ ラーで得た試料のそれらの範囲内に位置している。このこと は、小径倍圧型水圧ピストンサンプラーで得た試料の品質は、

ー般的な三重管サンプラーのそれと同等であることを意味 する。

2) FS 試料の G_{CTX}/G_F は, $G_F \rightleftharpoons 50$ MPa の 2 点を除き FS のそれら と同等である。すなわち、FS $O\overline{G}_{CTX}/G_F$ は G_F に対して一定 値ではなく、三重管サンプラーと同様に G_F とともに小さく なる。



原位置の液状化強度 R_F に対する R_{L20} の測定値の比 R_{L20}/R_F と G_{CTX}/G_F の関係には試験前に受けた応力履歴等 の条件に関わらず正の相関があるとされている。図ー9 は R_{L20}/R_F と G_{CTX}/G_F の関係であり、本研究の新潟東 港に加え女池⁴⁾の FS の結果もプロットしている。ここに, R_F は式(6)と(7)で N_1 から推定した値を用いた。また、 この図には併せて文献¹¹⁾のプロット(・)とその回帰直線を示している。これらのプロット(・)とそれに対する 回帰線は、国内 4 河川の流域の FS と TS 砂試料の比較から得た結果である¹¹⁾。新潟東港の TS(+)のプロット もこの直線の近傍に位置しているが、FS(Δ)は、この直線から離れた位置のプロットも見られる。図ー9 の関 係において TS と F S が同様であることは、両者の試料の品質に有意差がないとも解釈される。FS の R_{L20} が

Stress ratio in 20cycles, RL20



TS のそれより大きい(図-6(b))のは, $e_c \ge D_r$ が小さい(図- $4 \ge 6(a$))ことが理由であるとも推察されるが 今後の詳細な検討が必要である。

6. おわりに

小径倍圧型水圧ピストンサンプラーTS の R_{L20} は, N_1 に対してほぼ一定であり、試料採取時の乱れと推察された。また、TS 試料の G_{CTX}/G_F は 0.20~0.75 の範囲にあることから、三重管サンプラーのそれと同等であった。一方、 $R_{L20}/R_F \ge G_{CTX}/G_F$ の関係は、TS と凍結で同等であり、TS 試料の品質は FS のそれと同等であるとも解釈される。FS の R_{L20} が大きいのは、TS の試料より e_c 小さく D_f が大きいのが理由であると推察された。

TS 試料の採取は,国交省北陸地方整

備局港湾空港部の高野政弘様にご尽力頂いた。深甚の謝意を表します。

参考文献

1) 国土交通省北陸地方整備局:新潟港(東地区)岸壁(-12m)(西)(1 号)土質調査, 2009. 2) 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. 3) 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, Paper 866. 4) Shogaki, T., Sakamoto, S., Nakano, Y. and Shibata, A.: A applicability of the small diameter sampler for Niigata sand deposits, Soils and Foundations, Vol.46, No. 1, pp. 1-14, 2006 5) Shogaki, T. and Sato, M. (2011): Estimating *in-situ* dynamic strength properties of sand deposits, The 14th Asian Regional Conference on Soil Mechanic and Geotechnical Engineering, Hong-Kong, CDR. 6) Tokimatsu, K. and Yoshimi, Y. (1983): Empirical correlation og soil liquefaction based on SPT N-value and fines content, Soils and Foundations, Vol.23, No.4, pp.56-74. 7) 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. 8) Yoshimi, Y., Tokimatsu, K.and Hosaka,Y.: Evalution of liquefaction resistance of clean sands based on hi-gh quality undisturbed samples, Soils and Foundations, 20, Vol.29, No.1, pp.93-104, 1989. 9) Tatsuoka, F., Yasuda, S., Iwasaki, T., Tokida, K. (1980): Normalized dynamic undrained strength of sands subjected to cyclic and random loading, Soils and Foundations, Vol.20, No.3, pp.1-14. 10) 澁谷啓, 三田地 利之,山下聡,田中洋行,中島雅之,古川卓,稲原英彦 (1995): サンプリング方法が地盤材料の微小ひずみの変形特性に及ぼす 影響, サンプリングに関するシンポジウム発表論文集, pp.71-78. 11)(社)全国地質調査業協会連合会:「地盤の液状化に関する 土木調査との共同研究」全地連「技術フォーラム '98」講演集別冊,全地連報告,第1部,341p.

