▲事例報告 🛶

各種のサンプリング手法により得られた砂質土試料の液状化強度

Evaluation of Liquefaction Resistance of Sandy Soils by Various Sampling Methods

松 尾 修 (まつお おさむ) 建設省土木研究所動土質研究室 室長 堤 達 也 (つつみ たつや) 建設省土木研究所動土質研究室

(出)全国地質調査業協会連合会

1. はじめに

地盤の地震時液状化の可能性を評価するためには,原 位置における液状化強度を求める必要がある。我が国で はもっぱら標準貫入試験のN値から経験式を用いて液 状化強度を推定することが多く,必要に応じて原位置に おいて不撹乱試料を採取して,室内非排水繰返しせん断 試験を行い,液状化強度を評価している。しかし,従来 より広く使われているチューブサンプリング法は,液状 化試験に供する砂質土の不撹乱試料採取法としては好ま しくないという指摘がある^{1)~3)}。他方,比較的きれい な砂に対しては,凍結サンプリング法⁴⁾により高品質の 不撹乱試料が採取できるとされている。

ここでは凍結サンプリング法により得られた液状化強 度と,試料の乱れを低減するための工夫を施した各種の チューブサンプリング法により得られた液状化強度を比 較することにより,チューブサンプリング試料の品質の 再評価を行ったので,その結果を報告する。

なお,建設省土木研究所と엞全国地質調査業協会連合 会(以下,全地連)は共同で,各種サウンディングおよ びチューブサンプリングの液状化強度評価への適用性に 関する研究を平成8年度から進めている。本報告は, 平成8年度に実施した内容の一部を紹介するものであ る。

2. 調査内容

2.1 凍結サンプリング

平成7年度に建設省土木研究所が全国4地点(名取 川,利根川,江戸川,淀川)の河川敷でチューブサンプ リングおよび凍結サンプリングを実施した。いずれの地 点も比較的密なきれいな砂地盤であり,採取した16試 料のうち,15試料の細粒分含有率 F_c は10%未満,残り 1 試料の F_c は12.3%であった³⁾。チューブサンプリング は三重管式サンプラーを用いた。凍結サンプリングは時 松ら⁴⁾による方法で実施した。凍結範囲はおおむね直径 1.3 m とし,凍結範囲の中心に位置する凍結管から50 cm 程度離れた位置でコアサンプリングを行った。試料 の直径は15 cm である。

2.2 チューブサンプリング

(1) サンプラーの概要

今回の研究に用いたサンドサンプラーは、ロータリー

式に分類される三重管式サンプラー,プラネットサンプ ラーおよび土圧バランス型サンプラー,固定ピストン式 に分類される水圧式サンプラーの4種類である。これ らのサンプラーの特徴を表-1に示す。これらのサンプ ラーは,比較的密な砂の採取が可能であり,それぞれに 乱れを低減するための工夫が施されている。

三重管式サンプラーは、古くから硬質地盤用サンプラ ーとして普及し、地盤工学会においても基準化されてい る。基本的な構造は、地盤を切削するアウターチューブ、 回転を伴わずに押込み力のみを伝達するインナーチュー ブおよび試料を収めるライナーからなっており、切削の 影響を極力受けないようにしている⁵⁾。

なお,三重管式サンプラーを用いたサンプリングについては,通常の泥水循環方式に加えて気泡ボーリングに よる切削も実施した。

プラネットサンプラーは、従来の二重管式サンプラー (デニソン式サンプラー)のスイベル機構に換えて遊星 歯車を組み込むことにより、ロータリー式サンプラーに 生じるインナーチューブの共回り現象を防止している点 が特徴である。あわせて、ロッドの揺動現象の影響を除 去している。また、フリーピストンの摩擦力を調整する ことで、応力解放を抑制している⁶⁾。

土圧バランス型サンプラーは、インナーチューブをフ リーピストンでふたをし、一定の圧力を供給できる圧力 室を設けている。圧力室に上載圧相当の圧力を供給する ことにより、応力解放を防止している点に特徴がある⁷⁾。 また、コアスパイク付きフリーピストンで試料を拘束す ることにより、試料の共回りを抑制している。

水圧式サンプラーは、軟弱な粘性土用のサンプラーと して古くから用いられてきた。従来のエクスパンション ロッド式に比べて、安定した貫入が可能であり、地盤工 学会でも基準の中に取り入れられている⁸⁾。今回用いた サンプラーは、これを砂質土に適用出来るように、給圧 と剛性の面で改良したものである。また、水圧式では困 難であった押込み長の測定も、ライナー内の空気の排気 量から換算できるように工夫されている。

(2) サンプリング

チューブサンプリングの実施に当たっては,先行して 実施した凍結サンプリング地点を中心に,半径10m以 内にボーリング地点を配置した。また,凍結サンプリン グならびに室内試験の内容を勘案し,サンプリング深度

事例報告



表-1 各種サンドサンプラーの概要

を設定した。

(3) 採取試料の取扱い

採取した試料については,現地で水抜きを行った後, ドライアイスあるいは冷媒を用いて凍結させ,衝撃を与 えない状態で試験室まで運搬した。試料の水抜きには, 大気圧状態で自然排水を行う方法,一定の吸引圧によっ て脱水する方法およびライナー下部から徐々に凍結させ ながら上面より排水を促進する方法を用いており,いず れも凍結時の膨張が十分抑制されている。

2.3 調査試験

原位置においては、自動落下法による標準貫入試験お よびサスペンション方式の PS 検層を実施した。また、 凍結試料およびチューブ試料については、直径 5 cm、 高さ10 cm の供試体に成型した後、解凍、通水を経て、 原位置の有効上載圧相当の圧力で等方圧密をさせてから 非排水繰返し三軸圧縮試験を実施した。液状化強度比 R_L は、繰返し回数 $N_c=20$ で両振幅ひずみ DA=5%に 達する応力比($\sigma_d/2\sigma_c$)で定義した。なお、試験前に 微小ひずみレベル(約10⁻⁵ 程度)での繰返し載荷を行 い、初期せん断剛性を測定した。ひずみは載荷軸変位計 より求めた。

3. 調査結果

図一1に換算N値 $N_1(N_1=1.7\cdot N/(\sigma_v'+0.7))$ と液 状化強度比 R_L の関係を示す。図中の線は、道路橋示方 書⁹⁾に示されているきれいな砂(細粒分含有率 $F_c \leq 10\%$) の液状化強度評価式を表す。今回の調査対象はいずれも 比較的密な砂地盤であるため、 N_1 が15~30の範囲にデ



図-1 換算 N 値と液状化強度比の関係



図-2 原位置および室内試験から求めた初期せん断剛性 の比較

ータが集中している。凍結試料の液状化強度は評価式の 実線に沿って、 N_1 が30付近で急激に大きくなる傾向を 示しているが、チューブ試料の液状化強度は、0.4で頭 打ちとなっている。サンプラー別に見ると、プラネット

> 土と基礎, 46—5 (484) NII-Electronic Library Service

サンプラー(△)が相対的には高めの強度を示している ようにも見える。

図一2に原位置のPS 検層から求めた初期せん断剛性 G_F と三軸供試体を用いた動的変形試験から求めた微小 ひずみレベルでの凍結試料およびチューブ試料の初期せ ん断剛性 G_{FS} , G_{TS} を比較した結果を示す。全体的に G_{FS} が G_{TS} より大きい傾向にある。また,従来から指 摘されているようにチューブ試料については,原位置の 剛性が高いほど乱れの影響による剛性の低下が顕著であ る。一方,凍結試料についても, G_F が1000 kgf/cm² 以上になると剛性の低下が見られる。これが試料の乱れ によるものか,測定誤差によるものかは今後の検討課題 である。

図一3に吉見ら¹⁰⁾にならい,乱れによるチューブ試料の初期せん断剛性 G_{TS} の低下と液状化強度 R_L の低下の関係を示す。なお、ここでは凍結試料の初期せん断剛性 G_{FS} についても原位置の剛性 G_F に比べると低下しているため、チューブ試料の剛性 G_{TS} を原位置の剛性 G_F で正規化している。非常にばらつきが大きいが、全体的には右上がりの傾向にある。

図一4に凍結試料とチューブ試料の相対密度*D*,を比較した結果を示す。凍結試料の相対密度が大きい場合には乱れにより試料が緩み、チューブ試料の相対密度は小



図一3 乱れによる初期せん断剛性の低下と液状化強度の 低下の関係



図-4 凍結試料とチューブ試料の相対密度の比較

さく,逆に凍結試料の相対密度が小さい場合には乱れに より試料が締まり,チューブ試料の相対密度が大きくな る傾向が見られる。

4. まとめおよび今後の課題

今回の調査では、それぞれに試料の乱れを低減するた めの工夫を施した各種のチューブサンプラーを用いて試 料採取を行ったが、これまでの指摘と同様に、少なくと も比較的密なきれいな砂地盤に対しては現在のチューブ サンプリング法による液状化試験用の不撹乱試料採取に 問題があることが明らかになった。

今後の課題として以下が挙げられる。

(1) チューブサンプリング法が砂質土試料の乱れを避けることができないとすれば、その乱れの程度を初期せん断剛性等を用いて評価し、室内試験により得られた液状化強度を補正する方法、ないしは微小ひずみ履歴載荷により供試体の初期せん断剛性を回復させて液状化試験に供する方法の適用性を検討する必要がある。

(2) 凍結サンプリング法はきれいな砂に対する適用性は高いが、細粒分が多くなると凍結膨張による乱れの影響が無視できないとされている。他方、チューブサンプリング法は粘性土の方が適用性が高いと考えられる。両者の中間部分にあたる細粒分の多い砂質土にはどのようなサンプリング法が適用できるかを検討する必要がある。

筆者らは,現在引き続きこれらの研究に取り組んでい るところであり,成果が得られたら別途報告したい。

参考文献

- 吉見吉昭: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, 1994.
- Hatanaka, M., A. Uchida and H. Oh-oka: Correlation between the liquefaction strength of saturated sands by insitu freezing method and rotary-type triple tube method, 地盤工学会論文報告集, Vol. 35, No. 2, pp. 67~75, 1995.
- 松尾 修・村田健司:砂質土の試料採取法による液状化 抵抗の違い,第32回地盤工学研究発表会,pp.711~712, 1997.
- 時松孝次・大原淳良:凍結サンプリング,土と基礎, Vol. 38, No. 11, pp. 61~68, 1990.
- 5) 地盤工学会編:地盤調査法, pp. 163~167, 1995.
- 6) 菅原紀明・伊藤義行:プラネットサンプラー,建設機械, Vol. 32, No. 2, pp. 35~37, 1996.
- 7) 坂上敏彦・市原浩司:土圧バランス型三重管サンプラーの開発,第50回土木学会年次学術講演会講演概要集,Ⅲ, pp. 44~45, 1995.
- 8) 地盤工学会編:地盤調査法, pp. 152~158, 1995.
- 9) 日本道路協会編:道路橋示方書·同解説, V 耐震設計編, pp. 94~95, 1996.
- Yoshimi, Y., K. Tokimatsu and Y. Hosaka: Evaluation of liquefaction resistance of clean sands based on highquality undisturbed samples, 地盤工学会論文報告集, Vol. 29, No. 1, pp. 93~104, 1989.

(原稿受理 1998.1.12)