

## 液状化強度曲線に与えるサンプリング方法の影響

液状化強度曲線 サンプリング 実験式

応用地質 正会員 ○三上武子  
東北学院大学 国際会員 吉田 望  
不動テトラ 国際会員 原田健二

## 1. はじめに

地震時の砂質地盤の液状化挙動を評価するために、有効応力解析が行われるケースが増えつつある。精度のよい解析を行うためには、高密度で高品質な液状化特性の把握が不可欠であるが、実務では必要十分なデータが得られないケースもある。このような場合には、既往の実験式を利用することになる。各種設計指針では  $N$  値や粒度に関する情報から液状化強度を推定する実験式が示されている。しかし、これらの式では、特定の繰返し回数（たとえば、道路橋示方書では 20 回）に対する液状化強度が得られるだけであるから、指針で目的としている液状化発生の有無の検討はできても、不規則波形である地震時挙動の解析では、広い範囲の繰返し回数に対して、液状化強度曲線が一致するように解析パラメータを決めるので、指針の値だけでは不十分であり、液状化強度曲線を推定する方法が必要となる。これまでに様々な液状化強度曲線の実験式が提案されてきたが、これらは室内で調整された試料や特定の材料をもとに構築されたもので、地盤の締めり具合や粒度分布などの材料特性が異なる場合には、その適用性は限定される。筆者らは、原位置から採取した 194 個の試料による液状化試験データを収集・整理し、液状化強度自体のばらつきは非常に大きい、繰返し回数 5 回、20 回、100 回の液状化強度 ( $R_{L5}$ ,  $R_{L20}$ ,  $R_{L100}$ ) の関係はほぼ一意的であることを見出し、 $R_{L20}$  から  $R_{L5}$ ,  $R_{L100}$  を推定する実験式を提案した<sup>1)</sup>。ところで、この研究ではチューブサンプリング試料（以下、チューブ試料と記す）を用いていたので、乱れの影響が懸念される。そこで、凍結サンプリング試料（以下、凍結試料と記す）の試験データとの比較を行い、液状化強度曲線に与えるサンプリング手法の影響について検討を行った。

## 2. 検討方法

検討に用いたデータは、82 地点から採取した 194 個のチューブ試料<sup>2)</sup>および 10 地点から採取した 37 個の凍結試料の液状化試験データである<sup>3,4)</sup>。採取試料の物性を表 1、表 2 に示す。凍結試料には、自然地盤だけでなく砂杭および砂杭の杭間から採取した改良地盤の試料も含む。チューブ試料には細粒分含有率  $F_c$  が 35% を超える試料もあるが、凍結試料の  $F_c$  はすべて 35% 以下である。換算  $N$  値  $N_1$  に着目すると、凍結試料はチューブ試料に比べて 20 を超える試料の割合が多く 10 以下の割合が少ない。

液状化試験は、チューブ試料では繰返し三軸試験装置を用いて JGS 0541-2000 に準拠して実施した。また、凍結試料においても繰返し三軸試験を標準とするが、一部の試料では繰返し中空ねじり試験装置を用いて試験を実施している。ただし、この場合も応力条件は等方である。本検討では、液状化の定義を両振幅軸ひずみ  $DA=5\%$ （中空ねじり試験では、両振幅せん断ひずみ  $\gamma_{DA}=7.5\%$ ）とした。繰返し応力比  $R$  と繰返し回数  $N_c$  の関係をプロットし、なめらかな曲線で結んで  $N_c=5, 20, 100$  のときの  $R$  を読み取り、それぞれ  $R_{L5}$ ,  $R_{L20}$ ,  $R_{L100}$  とした。曲線の設定は試験者によって異なる可能性があることから、人的誤差を排除するために、同一の試験者が設定した。データにばらつきが認められる場合は平均的な曲線を設定したが、密度や含水比、繰返し載荷前までに発生した変形量などから明らかに性状が異なると判断したデータは除外した。

## 3. 実験結果

$R_{L20}$  と補正  $N$  値  $N_a$  の関係を図 1 に示す。a)  $F_c \leq 15\%$  を見ると、チューブ試料のデータはばらつきが大きく、そのほとんどが道路橋示方書の推定式（以下、道示式と記す）の下側に分布するのに対して、凍結試料のデータは比較的ばらつきが小さく、道示式の両側に分布する。b)  $15\% < F_c \leq 35\%$  の凍結試料は、道示式からやや離れた上側に分布するが、これらは同一地点から採取された洪積砂 Ds の試料である。

$R_{L5}$ – $R_{L20}$  関係および  $R_{L100}$ – $R_{L20}$  関係を図 2、図 3 に示す。図中の黒および赤の実線は、それぞれチューブ試料、凍結試料の近似線である。a)  $F_c \leq 15\%$  に着目すると、図 2 の  $R_{L5}$ – $R_{L20}$  関係ではチューブ試料と凍結試料でやや異なる結果とな

表 1 チューブ試料の物性

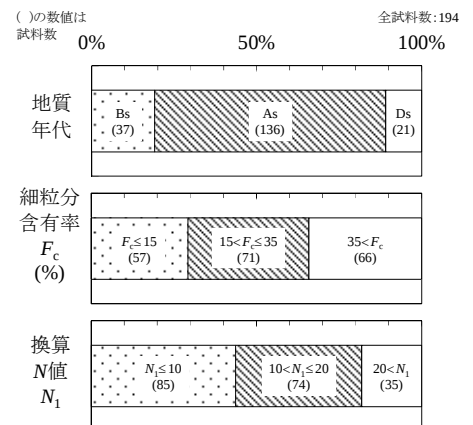
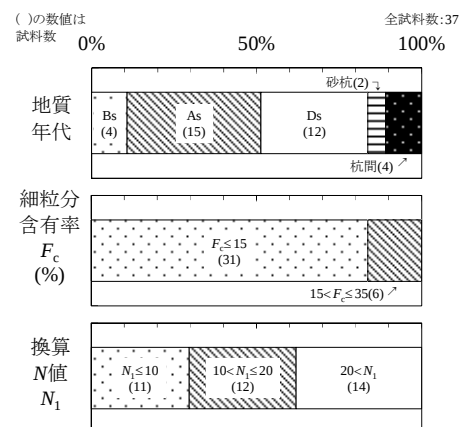


表 2 凍結試料の物性

Liquefaction strength curve under different sampling  
methodMIKAMI Takeko (OYO Corporation)  
YOSHIDA Nozomu (Tohoku Gakuin University)  
HARADA Kenji (Fudo Tetra Corporation)

り、近似線に差が生じた。特に、係数部の数値の差が大きく、同一の  $R_{L20}$  に対して凍結試料の方が大きな  $R_{L5}$  となる傾向となった。一方、図 3 の  $R_{L100}$ - $R_{L20}$  関係では  $R_{L5}$ - $R_{L20}$  関係ほどの差は認められなかった。そこで、 $F_c \leq 15\%$  での  $R_{L5}$ - $R_{L20}$  関係におけるサンプリング方法の違いについてさらに検討を行う。なお、b)  $15\% < F_c \leq 35\%$  の凍結試料については数量が少なく、採取地も限定的であることから近似式は求めなかった。

$F_c \leq 15\%$  をさらに細かく分類した  $R_{L20}$ - $N_a$  関係および  $R_{L5}$ - $R_{L20}$  関係を図 4、図 5 に示す。図 4 では、細粒分が少ないほど道式の下側に分布するデータの割合が多くなることが確認できるが、図 5 では  $F_c$  の多寡による明瞭な違いは認められない。図 6 は  $R_{L5}$ - $R_{L20}$  関係を  $N_a$  別にプロットしたものであるが、この図においても  $R_{L5}$ - $R_{L20}$  関係に及ぼす  $N_a$  の影響は明瞭でない。液状化強度比  $R_{L5}/R_{L20}$  を  $F_c$  および  $N_a$  の関係にまとめて図 7、図 8 に示す。また、試料の乱れを原位置の剛性率  $G_{0F}$  と室内で求めた剛性率  $G_{0L}$  の比を用いて評価することが行われているので、PS 検層と微小繰返し試験の両方を実施した試料について  $G_{0L}/G_{0F}$ - $R_{L5}/R_{L20}$  関係を図 9 に示した。いずれの図においてもばらつきが大きく、 $R_{L5}/R_{L20}$  に差が生じる要因は明らかにできなかった。

#### 4. まとめ

チューブ試料と凍結試料の液状化試験データを用いて、液状化強度曲線に与えるサンプリング方法の影響を検討した。 $R_{L5}$ - $R_{L20}$  関係ではサンプリング方法の影響が認められ、同一の  $R_{L20}$  に対して凍結試料の方が大きな  $R_{L5}$  となる傾向となった。この要因について、 $F_c$ 、 $N_a$  および  $G_{0F}/G_{0L}$  を指標として検討を行ったが明確な結論は得られなかった。今後は、液状化強度曲線に差が生じる要因を解明し、既報の実験式から凍結試料の結果を予測する方法を提案したい。

#### 謝辞

本検討で用いた凍結試料の液状化試験データは、(独) 土木研究所・佐々木哲也氏および(株) 竹中工務店技術研究所・内田明彦氏から提供していただきました。ここに記して感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 三上他：液状化強度曲線の類型化と実験式の提案，第 14 回日本地震工学シンポジウム論文集，pp.2419-2426，2014。
- 2) 三上他：液状化強度曲線の類型化と経験式の提案（その 2），土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集，pp.61-62，2014。
- 3) 松尾修，堤達也（1998）：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，土と基礎，Vol. 46，No. 5，pp. 25- 27
- 4) 安浩輝，内田明彦，田屋裕司，畑中宗憲：不攪乱砂質土試料による液状化強度曲線の定式化，日本建築学会大会学術梗概集，B-1，pp.419-450，2002。

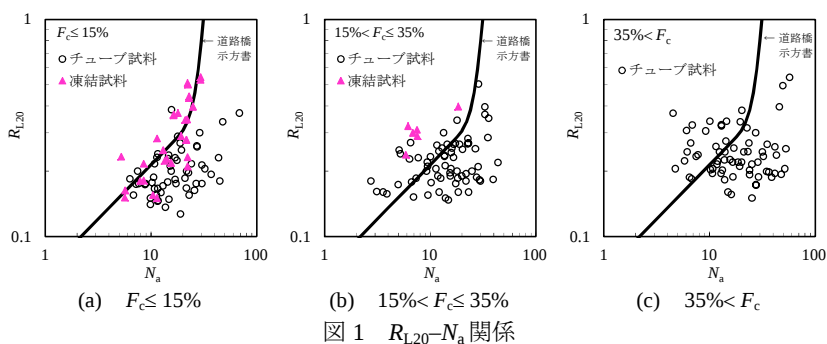


図 1  $R_{L20}$ - $N_a$  関係

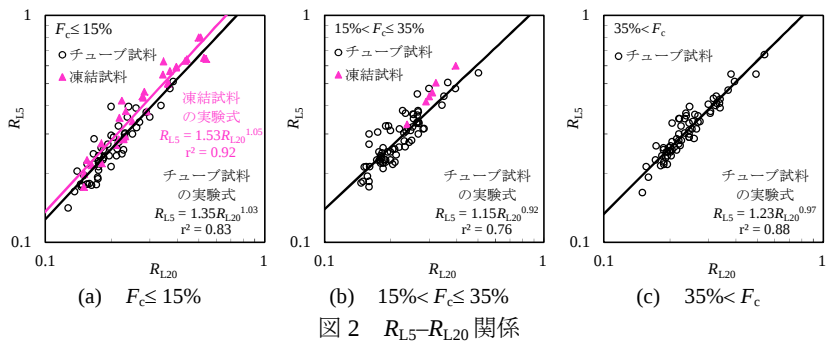


図 2  $R_{L5}$ - $R_{L20}$  関係

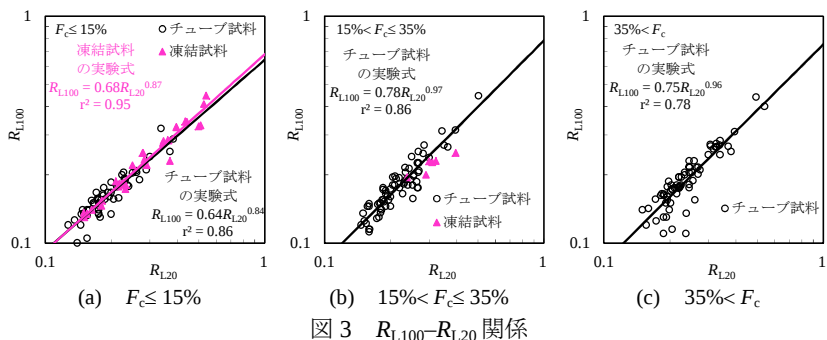


図 3  $R_{L100}$ - $R_{L20}$  関係

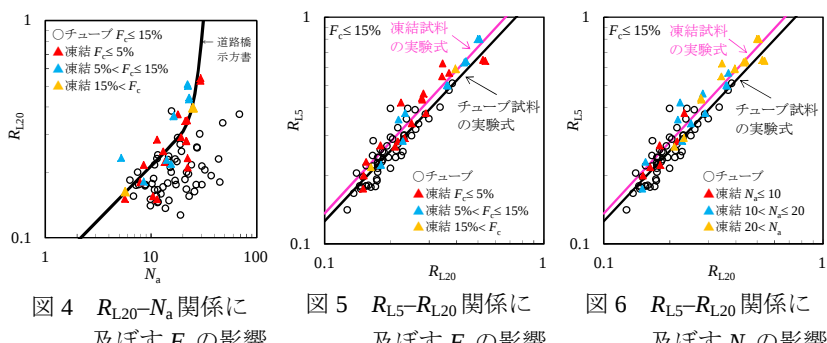


図 4  $R_{L20}$ - $N_a$  関係に及ぼす  $F_c$  の影響

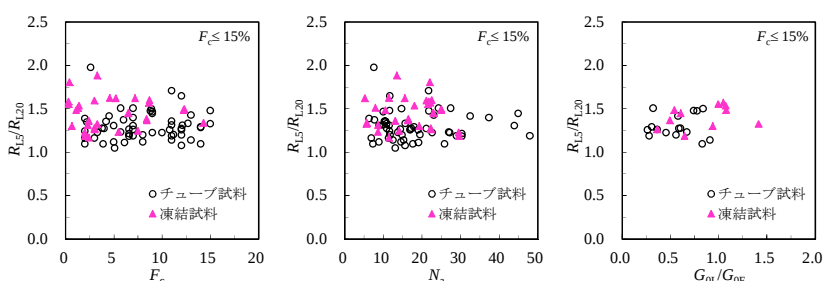


図 5  $R_{L5}$ - $R_{L20}$  関係に及ぼす  $F_c$  の影響

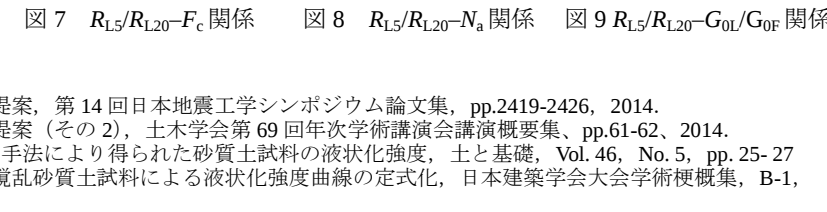


図 6  $R_{L5}$ - $R_{L20}$  関係に及ぼす  $N_a$  の影響

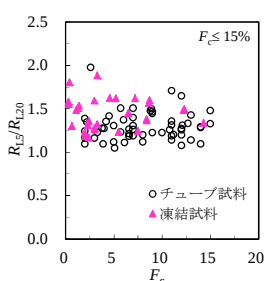


図 7  $R_{L5}/R_{L20}$ - $F_c$  関係

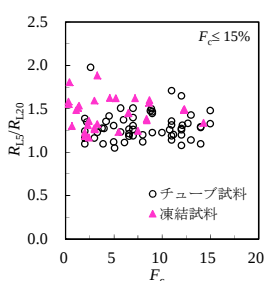


図 8  $R_{L5}/R_{L20}$ - $N_a$  関係

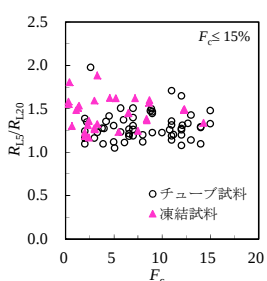


図 9  $R_{L5}/R_{L20}$ - $G_{0L}/G_{0F}$  関係