

## 原位置と室内試験における $V_s$ を用いた液状化強度比の推定

東京大学生産技術研究所 正会員 ○清田 隆  
同上 学生会員 呉 杰祐

### 1. 目的

地盤の液状化強度比の評価にあたっては、標準貫入試験に基づく簡易評価法と不攪乱試料を用いた非排水繰返し載荷試験（液状化試験）結果を使用する方法がある。しかし、精度の問題や採取試料の乱れにより、原位置の液状化強度比が適切に評価されないケースも多くある。本研究では一連の室内試験により、「密度が同じで異なる構造を有する供試体」の液状化強度比  $R_L$  とせん断波速度  $V_s$  のそれぞれの比の間には、高い相関があることを確認した。ここでは、この関係を利用した原地盤の液状化強度比の推定に関するアイデアを示す。

### 2. 背景と実験概要

ある砂質地盤の液状化強度比に影響を及ぼす一般的な要因としては、①密度、②土粒子構造、③時間（年代）効果、④過去の地震や環境変化に起因する応力履歴、⑤現在の応力状態（ $K_0$ ）が考えられる<sup>1)</sup>。ここで、③と④の影響は、②土粒子構造の影響に含まれると考える。③にはセメンテーション効果も含まれるが、ここでは埋立地盤や若年堆積地盤を対象とするため考慮しない。実務的には、N 値や PS 検層による  $V_s$  の値が、これらの要因を総合的に反映するパラメータとして液状化判定<sup>2)</sup>に用いられるが、過去の液状化事例と比較すると、たとえ細粒分含有率で補正したとしてもその精度には限界がある<sup>3)</sup>。これに対して、不攪乱試料を用いた液状化試験により液状化強度比を得る詳細法があるが、その値は試料の品質に大きく左右される<sup>4)</sup>。

以上の背景のもと、著者らの研究グループは高精度な液状化予測法の開発を目的とし、微小変形特性（ $V_s$  や微小せん断剛性率）と液状化強度比の関係を室内試験により検討してきた<sup>5)</sup>。また、液状化強度比に及ぼす②土粒子構造の影響のみを評価するため、密度一定条件で異なる  $V_s$  を有する供試体を作成し、一連の液状化試験を実施してきた<sup>6)</sup>。この実験概要は以下のとおりである。

試験機は三軸試験機、実験試料は豊浦砂とし、相対密度  $D_r$  は 50%、65%、75% の 3 シリーズとした。空中落下法で密度を調整し、飽和・圧密（ $\sigma'_v=100$  kPa）後、各シリーズにおいて供試体に排水・非排水繰返し載荷による応力履歴を与え、土粒子構造を変化させることを試みた。この手法は、既往研究<sup>7)</sup>を踏襲したものである。繰返し載荷回数を適宜変化させ、供試体の  $V_s$  が異なる値になるよう調整したが、応力履歴後の供試体密度は各シリーズの目標密度となるよう設定している。したがって、密度一定条件での  $V_s$  の違いは②土粒子構造の違いと解釈できる。その後、繰返しせん断応力比一定の液状化試験を実施した。実験方法の詳細は既往文献<sup>6)</sup>を参照されたい。

### 3. 実験結果

図 1 に両振幅軸ひずみ  $\varepsilon_{v(DA)}=5\%$ 、繰返し回数 20 回で定義した液状化強度比  $R_L$  と供試体相対密度の関係を示す。また、図 2 に  $R_L$  と液状化試験前に計測した  $V_s$  の関係を示す。図 1 では、同じ試料（豊浦砂）かつ同等の  $D_r$  に対して 2 倍以上異なる  $R_L$  が得られているが、同様の報告はこれまでも多くなされてきた<sup>8)</sup>。また図 2 より、 $V_s$  と  $R_L$  には良い相関性が確認されたが、その関係は  $D_r$  によって大きく異なることが確認できる。これらの結果は、 $D_r$  のみ、もしくは  $V_s$  のみを用いるだけでは液状化強度の推定は困難であることを示している。

一方、各密度シリーズにおいて、異なる  $V_s$  と  $R_L$  のそれぞれの比（ $V_s/V_s^*$  と  $R_L/R_L^*$ ）の関係を図 3 に示す。ここで、 $V_s^*$  と  $R_L^*$  は  $V_s$  と  $R_L$  の基準値であり、図 3 では各シリーズの応力履歴の無い供試体の値を設定している。図 3 より、 $D_r$  に寄らず、 $V_s/V_s^* - R_L/R_L^*$  の間には良い相関性が見られた。また、同図には凍結採取不攪乱試料を含む様々な地盤試料の結果も示すが、指数関数による fitting では  $R^2=0.9$  以上の高い相関性が得られた。

キーワード 液状化強度比、せん断波速度、土粒子構造、室内土質試験

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 TEL 03-5452-6149

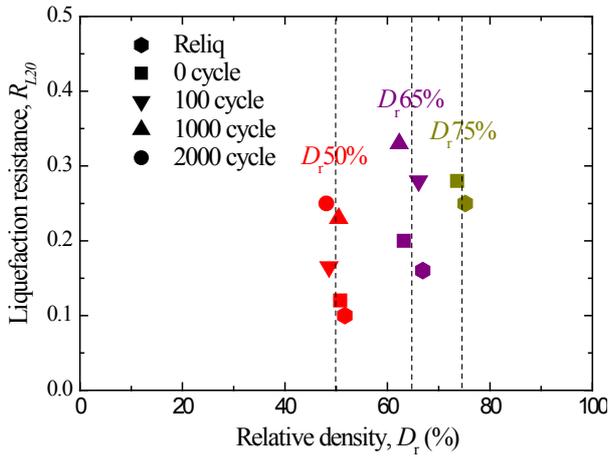


図1 液状化強度と相対密度の関係

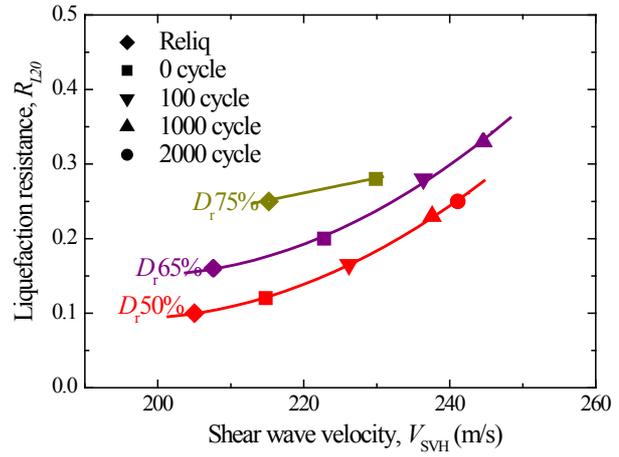


図2 液状化強度とせん断波速度の関係

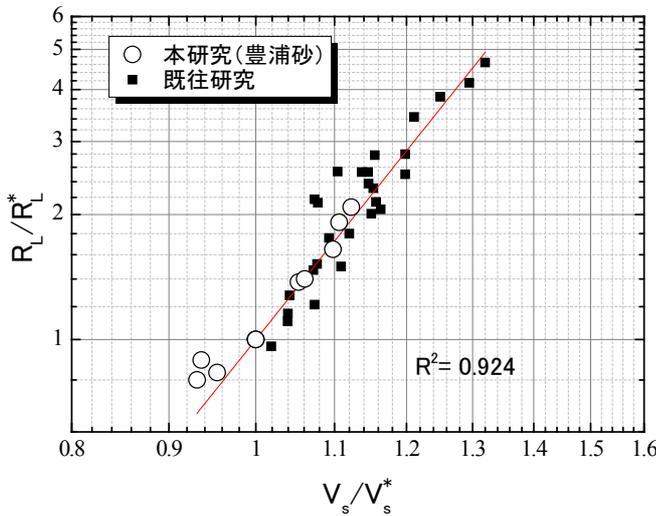


図3  $V_s/V_s^*-R_L/R_L^*$  関係<sup>10)</sup>

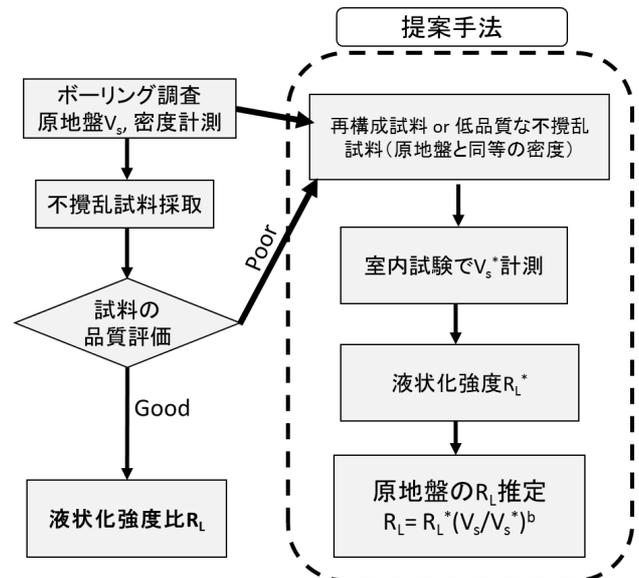


図4 原位置液状化強度比の推定法

4.  $V_s$ を用いた原位置液状化強度比の推定法

原位置の液状化強度比を推定するため、原位置試料を用いて室内液状化試験を行う。最も適切な手法は、不攪乱試料を採取し、その品質が確保されていることを確認して室内試験を行うことであろう。また、再構成試料の  $V_s$  を原位置の値に合せた試料による試験<sup>7)9)</sup>もあるが、それが困難な場合に対し、図4のフローを考えた。

まず、現場調査では、原位置  $V_s$  と RI 等による地盤密度の把握が必要である。その後、原位置試料を用いて原位置密度に調整した再構成試料を作成する。原位置試料は標準貫入試験時に採取される試料でも構わない。また、低品質な不攪乱試料でも供試体密度が原位置と同等と判断されれば、それを用いても良い。それらの試料について  $K_0$  を考慮した応力状態まで圧密後、せん断波速度  $V_s^*$  を計測し、液状化試験により液状化強度比  $R_L^*$  を求める。室内で計測された  $V_s^*, R_L^*$ 、および原位置の  $V_s$  を使い、図4に示す式より、原地盤の液状化強度比  $R_L$  を求める。本研究では、同じ地盤試料(豊浦砂)と拘束圧 ( $\sigma'_c=100$  kPa) の結果のみであるが、図3に示した既往研究の整理により、密度一定条件下では細粒分を含む様々な地盤試料・拘束圧でも、 $V_s/V_s^*-R_L/R_L^*$  の相関性は良いことが確認されている<sup>10)</sup>。このため、本手法は実務に広く適用できる可能性がある。

参考文献

1) Seed, *Jour. Geotech. & Geoenv. Eng.* 105.ASCE 14380, 1979.; 2) Andrus & Stokoe, *Jour. Geotech. & Geoenv. Eng.* 126.11, 2000.; 3)国土交通省 液状化対策技術検討会議, 2011.; 4) 吉見, *土と基礎*, 42(4), 1994.; 5) Kiyota et al., *S&F*, 49(2), 2009.; 6) 呉ら, *土木学会論文集 A1*, 72(4), 2016.; 7) Tokimatsu et al., *S&F*, 26(1), 1986.; 8) Finn et al., *Jour. Soil Mech. Div* 96.SM6, 1970.; 9) Kiyota et al., *S&F*, 56(4), 2016.; 10) Kiyota & Wu, *S&F*, 2017 (submitted).