

繰返し非排水三軸試験の補正について

川崎地質株式会社 ○清水 秀倫, 樺淵 俊樹, 栗林 正樹

1. はじめに

液状化判定に必要となる液状化強度比を得ることを目的として、繰返し非排水三軸試験が広く実施されている。実際の地震や波浪による繰返し応力を試験室で復元することは難しいが、同試験は地盤の液状化強度特性の良い指標とされている。

繰返し非排水三軸試験を行うためには、原位置状態を保持した試料を得る必要があり、原位置凍結サンプリング法を適用することで、良質な原位置試料を得ることができるが、非常に高価であるという欠点がある。そのため、実務の殆どは通常のサンプリング方法（ロータリー式三重管サンプラー等を用いたチューブサンプリング）で採取した試料が使用されている。しかし、繰返し非排水三軸試験は、ごく僅かであっても試料の乱れの影響を受けることが指摘されており、チューブサンプリング試料を用いた試験では、 N 値 10 回程度未満の緩い砂質土では過大評価、10 回程度以上の場合には過小評価となることが指摘されている。「地盤材料試験の方法と解説」¹⁾および Tokimatsu et al. (1986)²⁾には、これを解消するための次善の策として、供試体に微小ひずみを加え、試験供試体の剛性率を原位置のものと同等となるように調整した後に試験を行う方法が記されている。本発表は北陸地方で採取した砂質土に対してこの方法を適用し、少なくとも通常の試験を行うよりも妥当な液状化強度比が得られると評価されたことについて報告するものである。

2. 手法

試料は、新潟県および富山県において、ロータリー式三重管サンプラーを用いて採取した。採取した試料は現地で自由水を自然排水させた後、ドライアイスで凍結し、試験室へ運搬した。試料は全て、沖積砂質土層から採取している。

採取したサンプリング試料に対し、各種物理試験および繰返し非排水三軸試験（供試体数4）を行った。供試体サイズは直径50mm、高さ100mmとした。繰返し非排水三軸試験の補正手法として、初期剛性率を確認後、PS 検層から推定した剛性率となるまで、1000回ずつ微小ひずみを加え、試料の原位置状況を復元した。累計10000回の微小ひずみを加える、もしくは剛性率が一定値となった時点で繰返し非排水三軸試験を行った。新潟県試料では、比較のために剛性率を復元しない、通常的手法でも繰返し非排水三軸試験（供試体数1）を行った。その際の繰返し応力振幅比は、補正手法を適用した試験で求められた、繰返し応力振幅比 $N_c=20$ 時の応力振幅比とした。

3. 試験結果

(1) 試料特性

表-1に試料の試験結果を示す。新潟①～③は細粒分をほとんど含まない、均一な砂質土である。一方で、富山①～③は細粒分を15.5～18.9%含む細粒分質な砂であり、富山①、③は細砂を主体とするが、富山②は中砂主体で均等係数も大きい試料である。

表-1 試料の諸元・試験結果一覧

試料名	試料中央深度 GL-(m)	換算 N 値	50%粒径 D_{50} (mm)	細粒分含有率 F_c (%)	均等係数 U_c	液状化強度比 $\sigma_v / 2\sigma'_0$ DA=5%
新潟①	7.35	24.4	0.2943	3.3	1.80	0.719
新潟②	10.43	29.1	0.3048	4.0	1.75	0.429
新潟③	16.45	21.1	0.2375	3.2	1.94	0.366
富山①	15.05	14.3	0.1499	18.8	20.72	0.536
富山②	11.00	24.7	0.3144	15.5	95.14	0.476
富山③	14.00	20.7	0.1472	18.9	22.33	0.569

(2) 試料の剛性率復元結果

せん断履歴を加えた結果、どの供試体も剛性率が増加した。PS 検層から推定した目標剛性率 G_{of} に対し、せん断履歴後剛性率 G_0 は新潟①～③で53～77%、富山①～③で45～100%となった。新潟①～③では、試料深度が浅いほど、初期剛性率からの増加量が大きくなる傾向が顕著であった。また、新潟①～③では試料深度が深いほど、目標剛性率に近いせん断履歴後剛性率を示した。富山①～③は互いに近い深度でサンプリングしており、これらの傾向は確認できなかった。

(3) 繰返し非排水三軸試験結果

図-1に新潟①～③の両振幅軸ひずみ DA=5%時の液状化強度曲線を示す。

補正手法を適用していない試料の試験では、繰返し応力振幅比を、補正手法適用により求められた繰返し応力振幅比 $N_c=20$ 時の応力振幅比としたため、サンプリング試料の原位置状態が保たれていれば、両振幅軸ひずみ DA=5%に達する際に、繰返し応力振幅比 $N_c=20$ 付近を示すと考えられる。しかし、補正手法を適用しない場合は、DA=5%に必要な応力振幅比は1桁程度と20を大きく下回る結果となった。補正手法により微小ひずみを加えることで、繰返し応力振幅比は上昇したと考えられる。

液状化強度曲線が、繰返し応力振幅比 N_c を無限とした時に、補正手法を適用した際の液状化強度曲線と一致する仮定のもと、補正手法を適用しない場合の液状化強度比を推定した。その結果、補正手法を適用しない場合の液状化強度比は、補正手法を適用した際の77～88%と推定された。

(4) 液状化強度比とN値の関係

図-2に吉見(1994)³⁾で示されている液状化強度比と換算N値の関係を示す。同図上に本報告結果を追記した。吉見(1994)³⁾では、試料採取層のN値に対し、ロード長および有効上載圧に基づく補正を行い、換算N値を算出している。同図上に本報告結果を追記する際は、半自動法で測定したN値に対して同様の処理を行い、換算N値を算出して追記した。

この図によれば、N値が20を超えると、原位置凍結試料の液状化強度比は大きく増加する傾向が見られる。なお、吉見(1994)³⁾で示されているデータは、細粒分を殆ど含まない、均一な砂質土のデータである。本報告結果(赤点部)は、液状化強度比が0.3以上を示し、原位置凍結試料(黒実線部の理想曲線)に近い値を示す。

試料毎に見ると、新潟①～③の細粒分をほとんど含まない砂質土では概ね原位置凍結試料の理想曲線に近い値を示しているのに対し、細粒分を多く含む富山①、③では、換算N値20前後の比較的緩い砂質土層であるにも拘らず、液状化強度比が0.5以上となった。この原因として、細粒分を含んでいるため実際に液状化強度比が高いのか、補正により過大な値となってしまっているのかは現段階では判断できない。

4. まとめ

微小ひずみを加え、原位置での剛性率を再現したチューブサンプリング試料を用いることで、原位置凍結試料に近い液状化強度比を得ることができた。特に浅い深度の試料では、微小ひずみを加えた際の剛性率の復元程度が高く、適用効果が高いと考えられる。細粒分を多く含む砂質土では、比較的高い液状化強度比を得られたが、適切に評価できたものなのか、過大値となっているのかは現段階では判断できない。

本報告の試料はN値が10以上を示す、相対密度が中位以上の試料で試験を行っている。そのため、緩い砂質土層で同様の結果が得られるかは今後の課題である。また、細粒分含有率が15%程度以上の砂質土に対し、本補正方法を適用すべきかどうかを判断するために、細粒分含有率に着目して、データを蓄積する必要がある。

《引用・参考文献》

- 1) 地盤工学会編(2020):地盤材料試験の方法と解説[第一回改訂版], pp. 783-784.
- 2) Tokimatsu, K., Yamazaki, T. and Yoshimi, Y.: Soil liquefaction evaluations by elastic shear moduli, Soils and Foundations, Vol.26, No.1, pp. 25-35, 1986.
- 3) 吉見吉明(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.

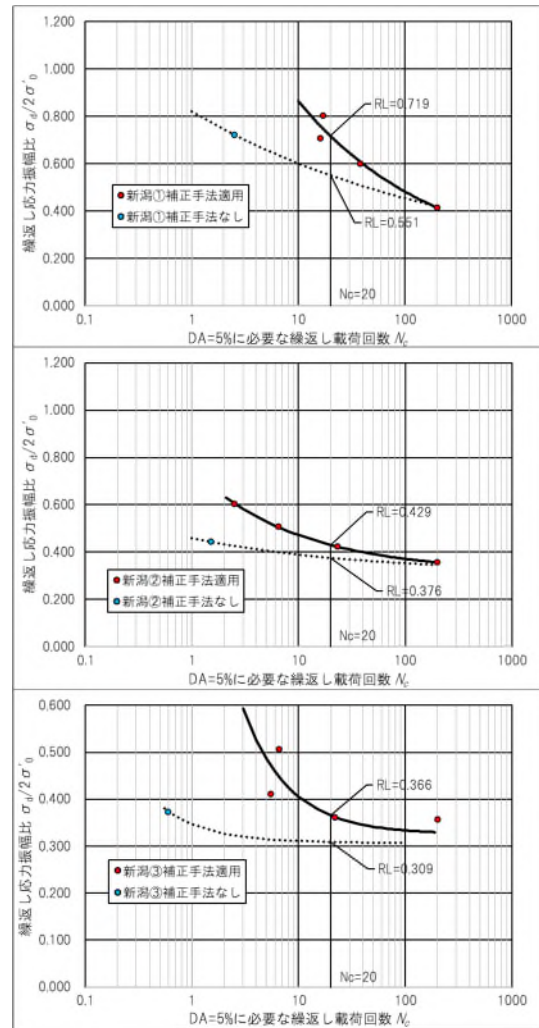


図-1 液状化強度曲線の比較 (DA=5% 新潟①～③)

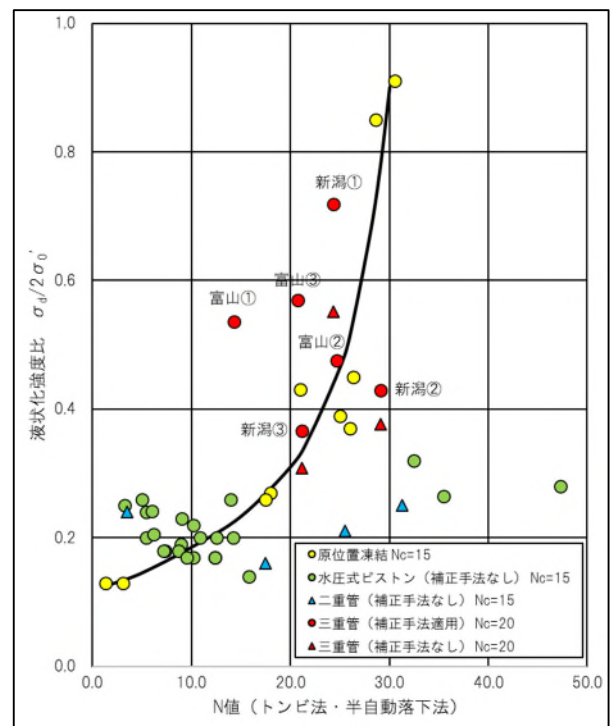


図-2 各サンプリング方法の液状化強度比とN値の比較
※吉見(1994)³⁾に本報告結果を追記