

III-269

砂質土の相対密度を考慮した液状化強度曲線の定式化

建設省土木研究所 正会員 東 拓生

正会員 大塚久哲

正会員 二宮嘉朗

1. まえがき

現在液状化の判定法に用いられている動的せん断強度比(R)は、N値、平均粒径(D50)、細粒分含有率(FC)から、簡易な方法によって求められている。¹⁾

しかし、この方法は緩い砂質地盤(相対密度60%以下)を対象としているため、サンドコンパクション工法等の液状化対策工を施した締め固めた砂質地盤における液状化強度を推定するためには、より大きな相対密度の地盤を含む液状化判定法が必要となる。また今後、液状化を判定する際に、液状化を判定するひずみ、繰返し回数、地震動波形の不規則性等を考慮した詳細な判定法が必要となってくる。

液状化強度曲線(R-N曲線)は、繰返し三軸試験の結果から繰返し回数(N)とそのときの繰返しせん断応力比(R)の関係を示す曲線である。この曲線は、供試体の相対密度および軸ひずみ両振幅(DA)によって形状が変化するため、これらのパラメータと液状化強度曲線の特性との関係を利用することにより、前述のような詳細な液状化判定を行うことができる。

本文は、攪乱砂質土の非排水繰返し三軸試験を行い、その結果に基づいて砂質土の相対密度と液状化強度曲線の関係について検討を行ったものである。

2. 試験および整理方法

豊浦標準砂を用いた非排水繰返し三軸試験を行った。試験条件は相対密度30,50,70,80,90%、有効拘束圧 $\sigma'_c=1.0$ (kgf/cm²)、繰返し載荷周波数0.1(Hz)とし、供試体はすべて空中落下法によって作製した。

この非排水繰返し三軸試験の結果をもとに、液状化強度曲線式を求め、相対密度、繰返し回数、液状化を判定するひずみと動的強度特性の関係について検討した。

液状化強度曲線の回帰方法の概要を図-1に示す。基礎となる回帰式は、

$$R = \frac{a}{N} + b \quad \text{.....(1)}$$

で示される双曲線とした。ここで、Rは繰返しせん断応力比、Nは繰返し回数、a,bは液状化強度曲線の特性を表す係数である。既往の報告²⁾では、密な砂の液状化強度曲線は両対数軸上で2本の直線で近似できるとされているが、この式は、1本の曲線で表すことができる。ここで、係数aは曲線のなだらかさを示しており、aが大きくなると曲

線は急峻に立ち上がる。また、係数bは、液状化を発生させるために必要な最小限の繰返しせん断応力比に対応する。

3. 試験結果および液状化強度曲線の回帰結果

非排水繰返し三軸試験の結果から得た液状化強度曲線を図-2に示す。相対密度が増大すると、曲線は

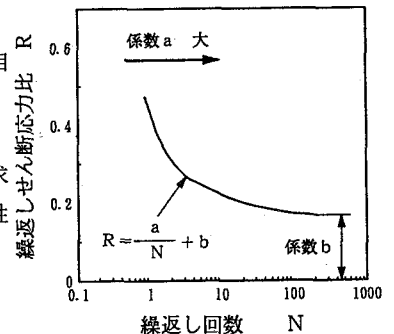


図-1 液状化強度曲線の回帰方法の概要

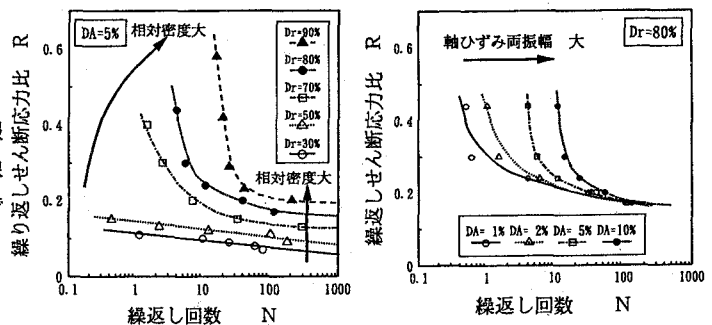


図-2 非排水繰返し三軸試験の結果

急に立ち上がるとともに、曲線全体が上方にずれる。また、軸ひずみ両振幅については曲線の傾きは急になるが、曲線全体の上方へのずれはないことがわかる。これは既往の報告³⁾と同様の結果を示している。

図-3 (a),(b),(c) は、この試験から得られた相対密度および軸ひずみ両振幅と式(1)の係数 a, b の関係を示している。図-3 (b) (係数 b と相対密度の関係) と、(c) (係数 a と軸ひずみ両振幅の関係) は直線とみなせるが、(a) (係数 a と相対密度の関係) は相対密度の増大に伴って a が急激に上昇している。

これらを考慮して液状化強度曲線の回帰を行い、次式を得た。

$$R = \frac{a}{N} + b$$

$$a = DA \left[0.05 \left(\frac{Dr}{100} \right) + 6 \left(\frac{Dr}{100} \right)^{15} \right] \dots\dots(2)$$

$$b = 0.21 \left(\frac{Dr}{100} \right)$$

また、上式に道路橋示方書に示されている、 $DA=5\%$, $N=20$ 回を代入し、繰返しせん断強度比 RI を求めると、

$$RI = 0.22 \left(\frac{Dr}{100} \right) + 1.5 \left(\frac{Dr}{100} \right)^{15} \dots\dots(3)$$

となる。式(2)の係数 a および式(3)は国生らが提案した式⁴⁾に基づいている。式(3)の相対密度-繰返しせん断強度比関係を図-4に示す。図中には、国生らが提案した式および現行の道路橋示方書の式¹⁾を示している。式(3)は相対密度の低い領域では、国生式および道路橋示方書式を下回っている。これは、道路橋示方書式は、不攪乱試料から得たデータを基にしているためであり、また国生式は相対密度の小さい領域を道路橋示方書に準じているためである。また、 Dr が80%以上になると式(3)は、急激に強度が増加する。

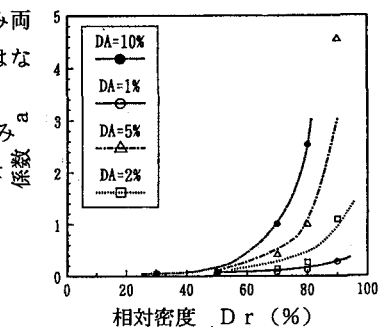
4. あとがき

相対密度を考慮した液状化強度曲線の定式化を行った。これによって、繰返し回数と繰返しせん断応力比の関係を1つの式に統合して表すことができた。

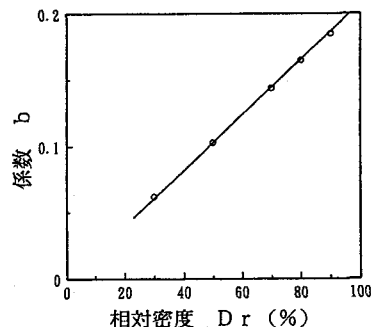
今回は攪乱砂質土のデータを用いたが、今後は不攪乱砂質土のデータを用いて定式化することが望ましい。原位置凍結サンプリング等を利用してデータを蓄積し、式を再考する必要がある。また、粒度組成と液状化強度曲線の関係についても検討する予定である。

【参考文献】

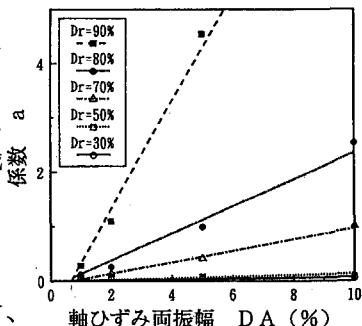
- 1) 日本道路協会：道路橋示方書V 耐震設計編
- 2) 国生，嶋田，加藤：密な砂の非排水繰返しせん断特性 第16回土質工学研究発表会 pp.609～612
- 3) 東，常田，二宮：締め固めた砂質土の液状化強度特性 第28回土質工学研究発表会 pp.989～990
- 4) 国生，吉田，長崎：密な砂地盤のN値による液状化判定法 第19回土質工学研究発表会 pp.559～562



(a) 相対密度 Dr と係数 a



(b) 相対密度 Dr と係数 b



(c) 軸ひずみ両振幅 DA と係数 a
図-3 相対密度および軸ひずみ両振幅と係数 a, b の関係

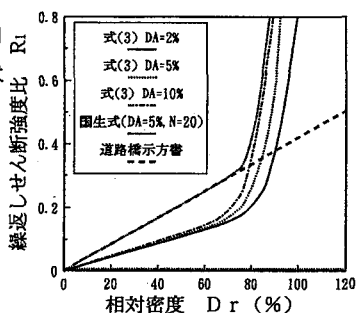


図-4 相対密度と繰返しせん断強度比の関係