

締固めによる改良地盤における液状化強度と密度の関係

不動建設株式会社 正会員 原田健二 正会員 新川 直利
 東京電機大学 正会員 安田 進 学生会員 丹羽 俊輔

1. はじめに

きれいな砂の液状化強度は、砂の最小密度・最大密度試験方法¹⁾（JIS A 1224:2000）により定義される相対密度を使った指標で評価される。しかしながら、細粒分が混入してくると緩く試料を作成したつもりでも同じ試験方法による相対密度で評価すると中密な状態とされる 70~80%となり、この密度状態を適切に評価できない現状がある。これについて、沼田ら²⁾は、締固め試験により求められる最小間隙比を使った相対密度は、N 値や液状化強度との相関が高いことを示している。

筆者らは、従来より締固めによる改良地盤が静止土圧係数 K_0 が増加することを考慮した異方圧密状態での液状化試験を実施してきた³⁾が、今回、細粒分を含んだ試料についても実施し、液状化強度と密度指標の関係について考察したので、その結果について報告する。

2. 試験概要

実験に供した試料は、図 - 1 に示す粒度分布の3種類の土である。以下、豊浦砂を TS 試料，高浜砂を TA 試料，尾久土を OK 試料と略す。これらの試料について、最小密度・最大密度試験方法で求めた最大間隙比 e_{max} と最小間隙比 e_{min} 、最小間隙比については、突固めによる土の締固め試験方法（JIS A 1210:1999）の A-a 法（締固め仕事量 E_c 550kJ/m³，乾燥繰返し法）により求められた最大乾燥密度を最小間隙比に換算したものを e_{min}^* として併せて表 - 1 に示している。同表をみると、TS 試料のような細粒分を含まないきれいな砂については、 e_{min}^* の方が大きくなっているが、細粒分を含むようになると e_{min}^* は e_{min} に比べてかなり小さくなっていることが分かる。

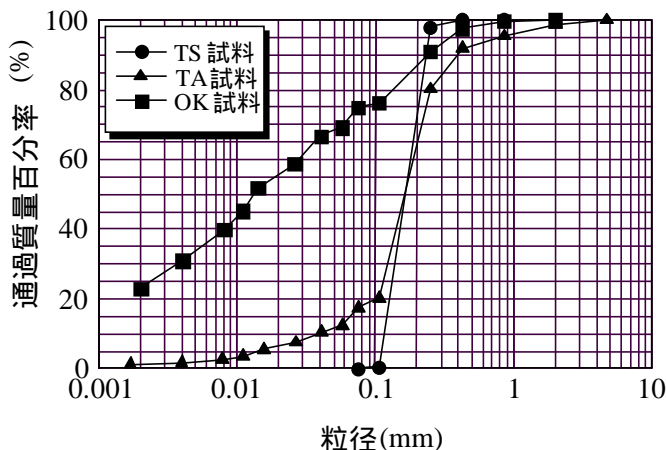


図 - 1 使用した試料の粒径加積曲線

表 - 1 使用した試料の物性値

	s	Fc (%)	U_c	e_{max}	e_{min}	e_{min}^*
TS試料	2.650	0	1.51	0.985	0.611	0.674
TA試料	2.688	17.7	5.00	1.207	0.677	0.616
OK試料	2.713	70.0	-	1.605	0.985	0.624

液状化試験については、締固めによる

改良地盤では、 K_0 が増加することを想定し、中空ねじり試験装置による異方圧密非排水繰返し載荷試験を実施した。試料はそれぞれ緩詰め，中密詰め，密詰めで作成し、その後、異方圧密状態は、有効鉛直応力 σ'_v は 98kPa とし、有効水平応力 σ'_h を 49kPa ($K_0=0.5$)、147kPa ($K_0=1.5$) とすることで実現した。等方圧密 ($K_0=1.0$)・異方圧密終了後、繰返し載荷中に軸ひずみを生じさせないようにストッパーをつけ、側方のひずみをゼロにして繰返しせん断を行なった。

3. 液状化強度と密度の関係

液状化試験では、全試料に対し破壊基準を両振幅せん断ひずみを 7.5%として規定した。その時に発生する間隙水圧は、TS，TA 試料は水圧比で 0.95 以上になったのに対し、OK 試料は 0.7~0.8 程度であった。

密度指標として以下の3つの方法で液状化強度と密度の関係を整理した。の方法は通常の相対密度、は土工などの締固め管理に用いられる締固め度、ではの締固め試験により求められた最大乾燥密度 d_{max} を e_{min}^* として相対密度としたものである。

$$Dr = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

$$Dc = \frac{d}{d_{max}} = \frac{e_{min}}{e}$$

$$Dr^* = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}^*}$$

3つの試料についてそれぞれの密度指標と液状化強度との関係で示したのが図-2～4である。図-2の通常の相対密度 Dr で示すと、各試料で K_0 による強度の相違は明確に示されるが、細粒分の最も多いOK試料については緩く詰めた試料でも相対密度が100%以上となり、3試料は同じ異方圧密状態でもそれぞれ異なる曲線となる。また、図-3の締固め度 Dc で密度を定義すると、その傾向が多少緩和されるが、やはり3試料は別々の曲線となる。これに対し、の密度指標で整理すると図-4に示すように細粒分の区別なくそれぞれの K_0 でほぼ1本の曲線となることわかる。同図の破線で示したものは、TS試料の最小間隙比が締固め試験より得られた最小間隙比 e_{min}^* の方が大きかったため e_{min} を使ったものである。これでもの方法であれば液状化強度との関係において適切な密度指標となっていることがわかる。

なお、液状化強度の分母の有効鉛直応力の代わりに平均有効主応力を用いた場合、緩い試料については $K_0=0.5$ と 1.5 の値は $K_0=1.0$ の値にほぼ一致するが、密で細粒分含有率が少ない試料ほど一致しない傾向がみられた。

4.まとめ

以上、細粒分含有率の異なる3つの試料に対する液状化試験を実施し、締固め試験による最小間隙比を用いて相対密度を定義すれば、異なる異方状態においても細粒分含有率に関わらず液状化強度と良好な関係が得られることを示した。

[参考文献]

- 1) (社)地盤工学：土質試験の方法と解説，第8章 砂の最小密度・最大密度試験，pp.136-144，平成12年
- 2) 沼田淳紀，染谷昇，田雑満孝，國生剛治：細粒な土に対する最小間隙比定義方法の提案，第11回日本地震工学シンポジウム講演論文集，pp.665-670，2002.
- 3) 原田健二，大林淳，山本実，安田進：第11回日本地震工学シンポジウム講演論文集，pp.707-710，2002.11.

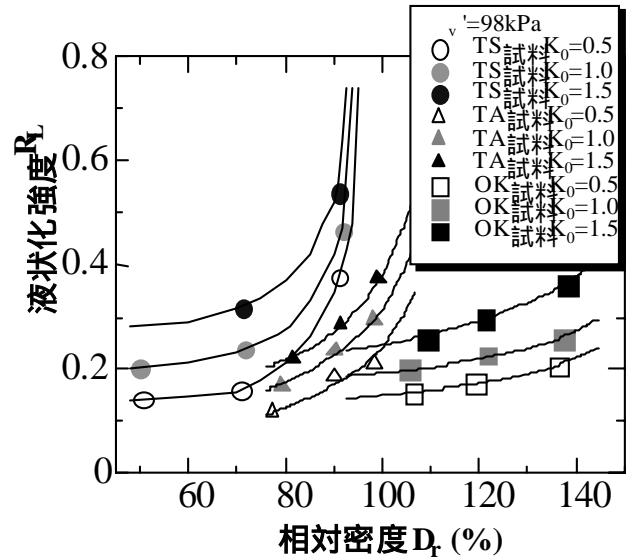


図-2 密度と液状化強度の関係（式による）

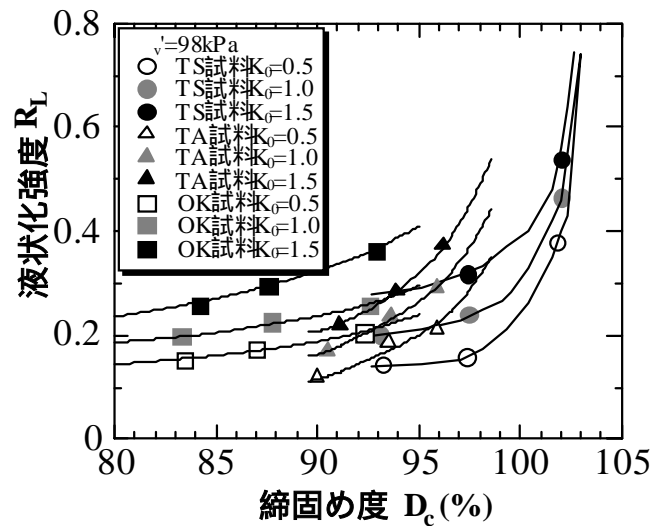


図-3 密度と液状化強度の関係（式による）

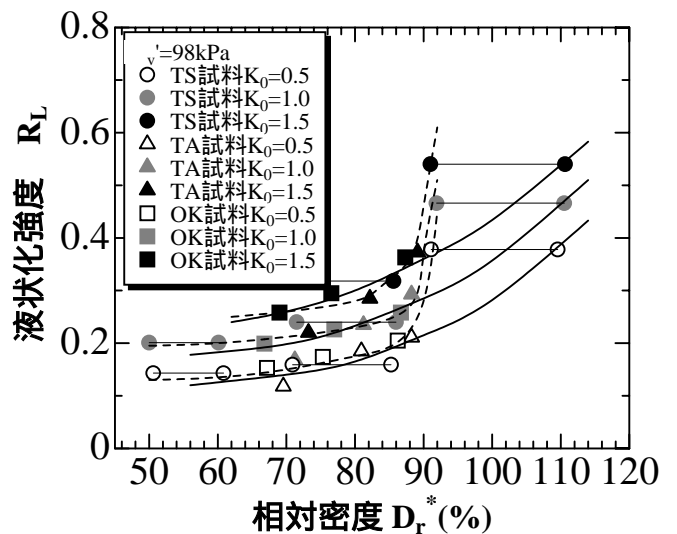


図-4 密度と液状化強度の関係（式による）