

幅広い粒度と塑性を有する地盤の液状化予測と現地N値の合理化に関する研究

港湾空港技術研究所	正会員	○村田	一城
港湾空港技術研究所	正会員	佐々	真志
港湾空港技術研究所	非会員	梁	順晋
港湾空港技術研究所	非会員	小林	千紘
元港湾空港技術研究所	正会員	工代	健太

1. はじめに

港湾において、細粒分混じり混合砂質土の液状化予測判定は、細粒分含有率 F_c 及び塑性指数 I_p をもとに換算した N 値（以下、補正 N 値）から地盤の液状化強度を推定することでなされる（表-1）。著者らは、これまでに、細粒分の含有率・塑性および鉱物特性を変化させた混合砂質土が、液状化予測判定の精度に及ぼす影響について評価・検討し、現行基準の液状化予測判定において、危険側もしくは安全側となる細粒分混じり混合砂質土の地盤条件を細粒分含有率と塑性の観点から明らかにしてきている^{2),3)}。しかし、細粒分の塑性指数及び粒度、さらにはシルト質細粒分と粘土分の混合比等が液状化予測判定精度に及ぼす影響については十分な検討がなされていない。

本研究では、これらの課題を踏まえ、粒度と塑性が大きく異なる地盤の液状化予測と現地 N 値の合理化に資するため、各細粒分混じり混合砂質土を対象とした非排水繰り返し中空ねじりせん断試験と実物大標準貫入試験の実施を通じて、上記影響について詳細に評価・分析している。

2. 幅広い粒度及び塑性の細粒分混じり混合砂質土の非排水繰り返し中空ねじりせん断試験および実物大標準貫入試験

粒度と塑性が大きく異なる細粒分混じり混合砂質土の液状化の詳細特性について、非排水繰り返し中空ねじりせん断試験および実物大標準貫入試験を通じて評価・検討した。表-2 は、本検討で用いた代表的な試験ケースの各種物性である。中空ねじりせん断試験は、内径 60mm、外径 100mm、高さ 100mm の中空円筒形を用い、JGS 0550-2009「土のねじりせん断試験用中空円筒供試体の作製・設置方法」および JGS 0551-2009「土の中空円筒供試体によるねじりせん断試験方法」に準拠して実施した。また、図-1 に実物大室内標準貫入試験装置を示す。当該実物大標準貫入試験で用いる供試体は、直径 570mm、高さ 540mm であり、6層に分けて乾燥押し固め法により作成した。乾燥状態の試料の充填後に負圧を作用させ、地盤内の空気を脱気した。その後、水頭差および圧力制御システムにより、脱気水槽から通水を行い、完全飽和地盤を作成した。その後、供試体の上面及び側面のゴム膜に空圧を負荷し 100 kPa の拘束圧を再現し、等方圧密を行った。貫入試験は、現場と同様のボーリングロッドを用い、ドライブハンマーの自由落下により、 N 値計測を行った。

表-1 F_c および I_p に基づく N 値補正式¹⁾

	式①	式②
適用範囲	$I_p < 10$ または $F_c < 15$	$I_p \geq 10$ かつ $F_c \geq 15$
補正 N 値	$=N/C_N$	$=N+8+0.4(I_p-10)$
備考	N : 標準貫入試験で求めた N 値 I_p : 塑性指数 F_c : 細粒分含有率 C_N : 補正係数 ただし、 $C_N=1.0$ ($5 > F_c$) $C_N=-0.05F_c+1.25$ ($15 > F_c \geq 5$) $C_N=0.5$ ($F_c \geq 15$)	

表-2 試験ケースおよび試料物性一覧

DLクレー(DL)含有率 [%]	e_{min}	e_{max}	e^{*1}	トチクレー(To)試験ケース ^{※2}	クニホンド(Ku)試験ケース ^{※2}
0	0.617	1.002	0.694	25(3)	25(5)
15	0.476	0.888	0.558	25(5)	
25	0.426	0.854	0.512	25(10)	25(10)
35	0.413	0.890	0.508	25(15)	
50	0.487	1.011	0.591	35(5)	35(5)
100	0.924	1.656	1.070	35(15)	
				35(20)	35(15)

※1: 相対密度 $D_r=80\%$, ※2: () は細粒分混合砂質土中の粘土の含有率

キーワード N 値, 液状化, 細粒分, 塑性, 予測判定

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 TEL 046-844-5054

3. 結果および考察

現行の港湾基準における細粒分混じり混合砂質土の液状化予測判定の精度評価を行うため、非排水中空ねじりせん断試験で求めた混合砂質土の液状化強度 (R_{L20}) に対して母材砂との比 (R_{r1}) を取り、さらに実物大標準貫入試験で得られた各種試験ケースの補正 N 値についても同様に母材砂との比 (R_n) を取り、両者について正規化した結果 (R_{r1}/R_n) としてまとめた (図-2)。

図中 $R_{r1}/R_n=1.0$ 以上は安全側、1.0 未満の場合は危険側であることを示す。本結果から、細粒分混じり混合砂質土において非塑性細粒分の DL クレーのみを含有する場合、 $F_c=10\%$ 、 50% では R_{r1}/R_n が 1.0 以上を示し安全側の判定結果となり、 $F_c=15\%$ 、 25% 、 35% では危険側となることが確認できる。また、DL クレーのみの $F_c=25\%$ では $R_{r1}/R_n=0.59$ と危険側である一方、 F_c の内、高塑性細粒分であるクニボンドを 10% 程度含む場合には、 $R_{r1}/R_n=1.16$ と安全側となった。これらの結果は、現行の港湾基準における細粒分混じり混合砂質土の液状化予測判定は、粘土分の塑性の影響度により予測結果が大きく変化しうることを示している。クニボンドは高塑性 ($I_p=78.1$) の細粒分であり、 F_c の内、同程度の塑性の細粒分が占める割合が高くなるとその影響度が卓越する。また、中程度の塑性 ($I_p=22.8$) であるトチクレーでは、その含有率に関わらず、危険側となっていることが分かる。これらの危険側のケースは、細粒分混合砂質土の土全体としての I_p が、NP 又は非常に低い塑性である場合に対応しており、同領域が危険側となることが上述の一連の結果から明らかとなった。

4. おわりに

本研究で得られた主要な知見は下記のとおりである。

- ・ 細粒分の粒度・含有率及び塑性が液状化予測判定の精度に影響を及ぼす。
- ・ 現行の基準を用いた場合、 $F_c=15\%$ 以上であり、なおかつ細粒分混じり混合砂質土の塑性が 10 を下回る場合、特に細粒分混合砂質土の土全体としての I_p が NP もしくは非常に低い塑性である場合に危険側となる領域が存在する。

今後はこれらの知見を踏まえ、細粒分の粒度・含有率・塑性の影響を適切に考慮した細粒分補正式を構築していく必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省：港湾の施設の技術上の基準・同解説，地盤の液状化，pp. 408-417, 2018.
- 2) 工代健太，佐々真志，高田康平：母材砂の粒度分布と細粒分の塑性が液状化予測判定の精度に及ぼす影響の検討，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，第 76 巻，2 号，pp.I_1085-I_1090, 2020.
- 3) 工代健太，佐々真志，高田康平，梁順晋，大下倭駆，大塚悟：細粒分の物性及び含有率が混合砂質土の補正 N 値と液状化強度の相関に及ぼす影響の研究，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，第 77 巻，2 号，pp.I_505-I_510, 2021.

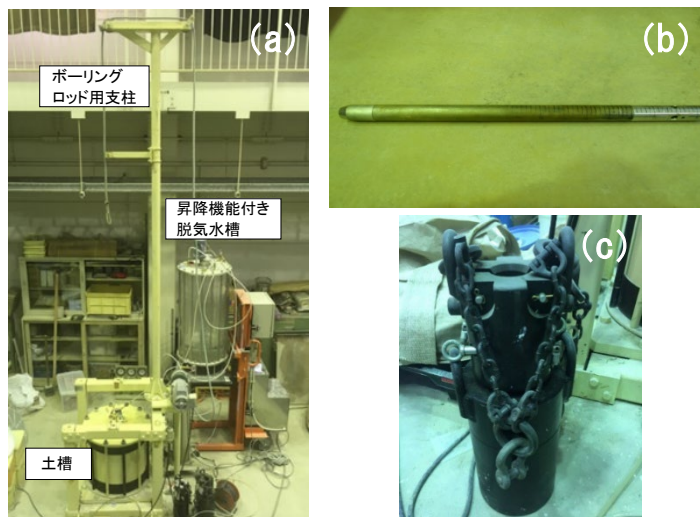


図-1 (a) 実物大標準貫入試験装置と (b) ボーリンググロッド，(c) ドライブハンマー

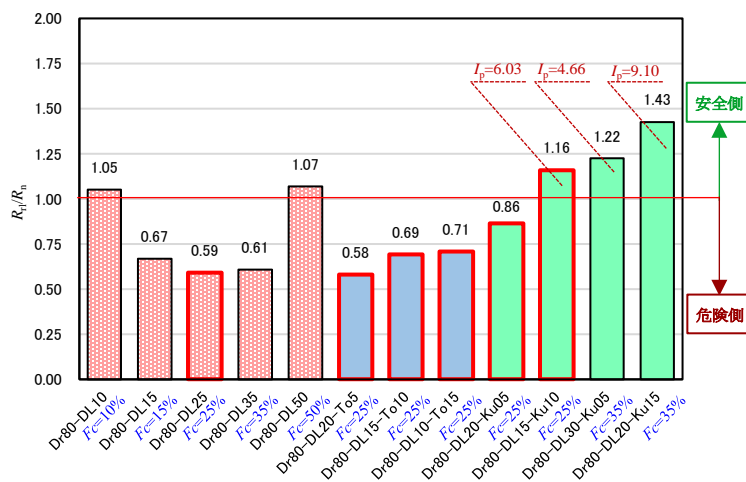


図-2 R_{r1}/R_n の結果