

細粒分を含む砂の相対密度と液状化強度に関する検討

港湾空港技術研究所 正会員 ○中澤 博志
 不動産テトラ(株) 正会員 原田 健二

1. 目的

細粒分を多く含む砂の液状化について、1987年千葉県東方沖地震での液状化の発生を契機に検討され始めた。一般に、細粒分含有率あるいは塑性指数の増加に伴い液状化強度が増大するといわれているが、幾つかの既往の研究¹⁾によると、細粒分含有率の値によっては供試体の相対密度が大きく異なり、同一条件下における液状化強度が評価されていないようである。したがって、本報告では、細粒分含有率が5%以下であるきれいな砂から低塑性のシルト質砂およびシルトを対象に文献調査し、細粒分を含有する砂の相対密度の補正方法について検討し、これを基に液状化強度との関係について示した。

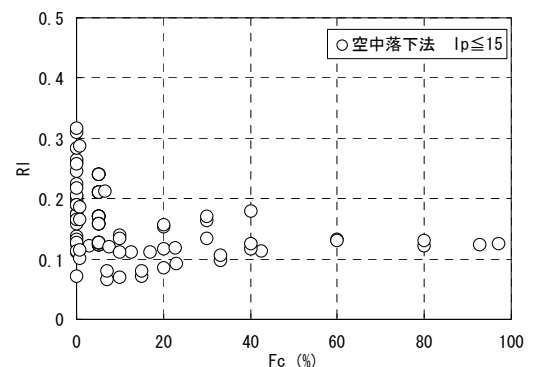
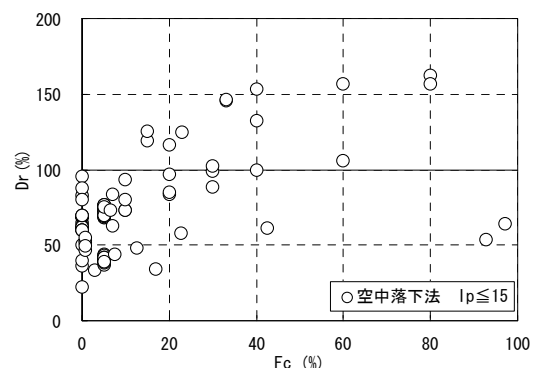
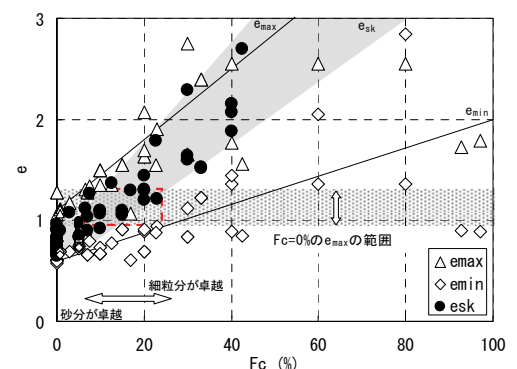
2. 既往の研究に基づく相対密度と液状化強度の関係

細粒分を多く含む砂に関し、参考文献1)等に示す試験結果を参考にまとめ、空中落下法により作成された $I_p \leq 15$ の供試体における細粒分含有率 F_c と R_l の関係を図-1に示す。 R_l は F_c の増加に伴い、一旦減少し、再び増加に転じている。一方、図-1に示すプロットについて、図-2に示す F_c と D_r の関係をみると、 F_c が概ね15~40%の範囲を超えると $D_r \geq 100\%$ となっている様子が見える。ここで、細粒分も間隙と見なして算出する骨格間隙比 e_{sk} の概念を用い、 F_c と e_{sk} の関係について図-3に示す。 F_c が10~20%程度を中心に e_{sk} が e_{max} を上回っており、図-2に示す $D_r \geq 100\%$ を示す F_c の範囲と概ね整合する。これは、砂分にある程度の細粒分が含まれると、砂粒子同士の接触が減少するためである。また、この状態よりも F_c が増加すると、細粒分の性質が次第に卓越すると考えられる。

細粒分を含む砂の D_r については、現行の試験規格による最大・最小密度試験(JGS 0161)を基に算出すると、全般的に過大評価され、同一条件下における液状化強度の評価が困難となる。したがって本研究では、細粒分の影響を考慮した D_r を評価するため、参考文献2)の「物理的に作り得る最小の間隙比」の概念により、 e_{min} に関し締固め試験(JGS 0711)から得られる ρ_{dmax} により e_{min}^* を求め、これにより補正相対密度 D_r^* として D_r を再評価することとした。

3. 相対密度の補正に関する検討

D_r の細粒分補正にあたり、主に参考文献2)等、また細粒分としてカオリンの含有率を変化させた豊浦砂について、 F_c と e_{max} 、 e_{min} および e_{min}^* の関係を図-4に示す。 e_{min} と e_{min}^* の分布

図-1 F_c と R_l の関係図-2 F_c と D_r の関係図-3 F_c と e_{sk} の関係

キーワード 砂質土、細粒分含有率、相対密度、液状化強度、最大乾燥密度

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 港湾空港技術研究所 TEL046-844-5058 E-mail : nakazawa@pari.go.jp

を見ると、カオリン含有豊浦砂では、 F_c が5%を超える範囲から両者に差が生じ、 e_{min} が増加している様子がわかる。一方、参考文献による既往データを見ると、 F_c が15%を超える範囲では、 e_{min}^* は概ね0.6程度の一定値を示している。既往データとカオリン含有豊浦砂の差については粒度特性等の影響があるものと考えられるが、ある F_c を超えると細粒分が砂骨格よりも卓越し、 e_{min}^* が概ね一定値になる点で、両者の傾向は一致している。図-5に e_{min} と e_{min}^* の関係を示し比較すると、 $F_c \leq 15\%$ において、両者は1:1のライン付近にプロットされ、15%を超えるとばらつきはあるものの、 e_{min}^* が小さい範囲に分布する。

以上の結果より、 D_r に対する細粒分補正については、 $F_c > 15\%$ の範囲で $e_{min}^* = 0.6$ として D_r^* を算出し、図-1～3に示すデータについて D_r と D_r^* の関係を図-6に示す。本方法における補正により、 $D_r \geq 100\%$ のデータが、 D_r^* では100%以内に分布し、より現実的な値を示している。

4. 相対密度と液状化強度の関係

$F_c = 15\%$ を補正の閾値として、図-7に D_r および D_r^* と R_l の関係を示す。図中には、既往の関係式^{3), 4)}を併記している。なお、 $F_c \leq 15\%$ の範囲では D_r の細粒分補正を行わないため、 D_r および D_r^* と R_l の関係は同一である。既往の関係式と試験結果を比べると、全体的に R_l が低くなっているものの、 F_c が15%を超える範囲にある D_r^* と R_l の関係は、細粒分補正によりプロットのばらつきが減少し、 $F_c \leq 15\%$ のきれいな砂の分布範囲の下限、かつ既往の関係に近づいている様子が確認できる。

5. まとめ

本検討では、細粒分の影響を考慮するため、締固め試験結果を利用した補正相対密度の算出および液状化強度との関係について検討し、細粒分含有率が15%を超える試料について、便宜的に $e_{min}^* = 0.6$ とすることで、現実的な相対密度が得られる可能性があることがわかった。なお、本検討は、空中落下法による試験結果に基づいているため、実用面を考慮し、不攪乱試料についても同様なことが言えるか検討したいと考えている。

参考文献

- 1) 例えば、桑野二郎, Sapkota, B. K., 橋爪秀夫, 高原健吾：細粒分を含む砂の液状化特性, 地盤工学会, 土と基礎, Vol.41, No.7, pp.23-28, 1993.
- 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, pp.665-pp.670, 2002.
- 3) Tokimatsu, K. and Yoshimi, Y.: Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N-value and Fines Content, Soils and Foundations, Vol.23, No.4, pp.53-74, 1983.
- 4) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, 2002

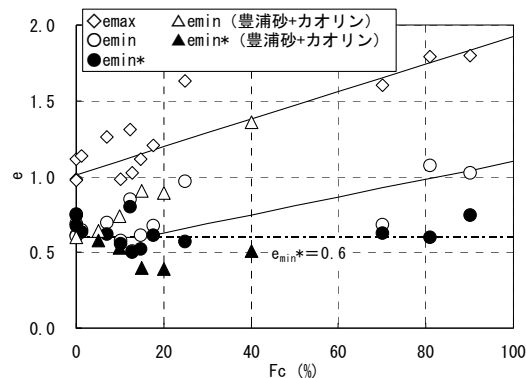


図-4 F_c と e_{max} , e_{min} の関係

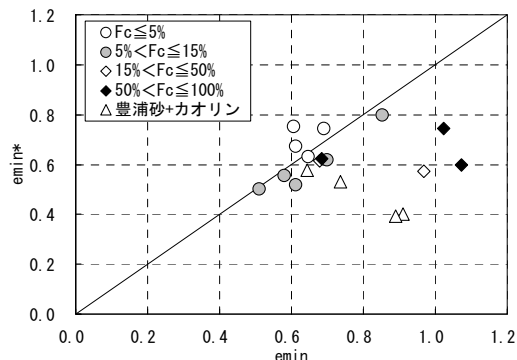


図-5 e_{min} と ρ_{dmax} より求めた e_{min}^* の比較

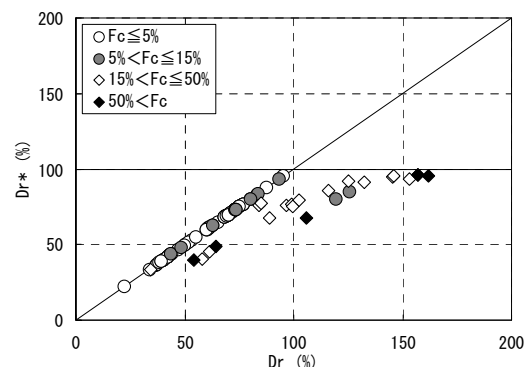


図-6 D_r と D_r^* の比較

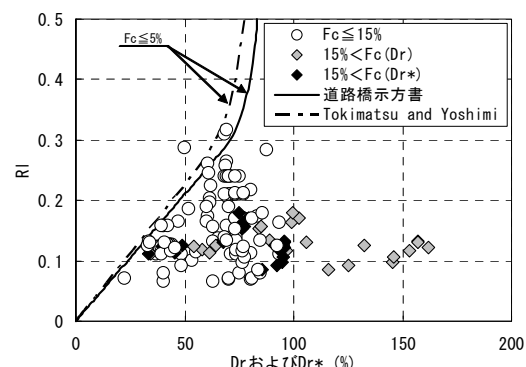


図-7 D_r , D_r^* と R_l の関係