

締固めによる液状化強度の改善効果と細粒分の物性の関係

Relationship between improvement effect of liquefaction strength due to compaction and physical property of fine fraction

○上野和広\*, 毛利栄征\*, 堀俊和\*, 松島健一\*, 有吉充\*

UENO Kazuhiro\*, MOHRI Yoshiyuki\*, HORI Toshikazu\*, MATSUSHIMA Kenichi\*,  
ARIYOSHI Mitsuru\*

1. はじめに

地震時に液状化が発生すると地盤は著しく不安定化し、構造物に多大な被害が生じる。土の液状化強度が密度の増大に伴って上昇することは良く知られており、既往の研究では主に砂地盤を対象として相対密度と液状化強度の関係について検討が進められてきた。しかしながら、実際の施工で使用されるような細粒分を含む土について、施工時の管理基準に用いられる締固め度 ( $D_c$  値) と液状化強度との関係は明確になっていない。本研究では、細粒分含有率 ( $F_c$ ) の異なる土質材料を用い、 $D_c$  値と液状化強度との関係に  $F_c$  および細粒分の物性が与える影響について検討した。

2. 試料および実験条件

液状化試験には図-1 に示す粒度分布の試料5種類を用いた。各試料の粒度構成を表す物性値を表-1 に示す。供試体は、直径5cm×高さ10cmのモールド内で表-1 に示す乾燥密度 ( $\rho_d$ ) となるよう突固めて作製した。なお、 $\rho_d$  の後に括弧書きで記した数字は、「JIS A 1210 突固めによる土の締固め試験 (A-b 法: 標準プロクター)」による最大乾燥密度 ( $\rho_{dmax}$ ) に対する  $D_c$  値である。供試体を  $CO_2$  置換および脱気水の通水によって飽和を行い、背圧  $200kN/m^2$  を作用させて飽和度を高めた後 (B 値 0.95 以上を確認)、等方圧密を行った。圧密後に非排水条件にし、繰返し軸差応力 (周波数 0.1Hz の sin 波) を与えて液状化試験を行った。

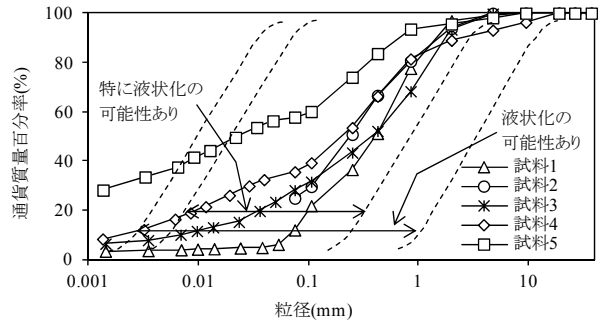


図-1 試料の粒径加積曲線  
Grain size distribution curve of soil

表-1 試料の物性値

試料名, 工学的分類	$F_c$ (%)	$U_c$	$U_c'$	$I_p$ (%)	$\rho_d$ ( $D_c$ 値) ( $g/cm^3$ )
[試料 1] 細粒分 まじり砂	12.0	7.4	0.9	NP	1.336 (79.7) 1.385 (82.6) 1.509 (90.0)
[試料 2] 礫まじり 細粒分質砂-1	24.8	-	-	11.2	1.208 (85.0) 1.279 (90.0) 1.350 (95.0)
[試料 3] 礫まじり 細粒分質砂-2	28.2	88.0	2.0	4.3	1.455 (85.0) 1.529 (89.3) 1.626 (95.0)
[試料 4] 礫まじり 細粒分質砂-3	35.5	156.1	1.2	NP	1.186 (85.9) 1.215 (88.0) 1.315 (95.2)
[試料 5] シルト (高液性限界)	57.8	-	-	31.6	0.867 (81.4) 0.929 (87.2) 0.955 (89.7) 0.980 (92.0)

※ $F_c$ : 細粒分含有率,  $U_c$ : 均等係数,  $U_c'$ : 曲率係数,  
 $I_p$ : 塑性指数

3. 結果と考察

図-2 に、 $D_c$  値に近い (約 89%) 供試体へ繰返し载荷を与えた時の軸ひずみ ( $\epsilon_a$ ) および過剰間隙水圧比  $\Delta u/\sigma'_0$  ( $\Delta u$ : 過剰間隙水圧 ( $kN/m^2$ ),  $\sigma'_0$ : 繰返し载荷直前の有効拘束圧) の経時変化を示す。なお、図中の SR は繰返し応力振幅比 ( $SR=\sigma_d/(2\sigma'_0)$ ) ( $\sigma_d$ : 繰返し軸

\*農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所, National Institute for Rural Engineering  
キーワード: 液状化, 細粒分, 締固め度

差応力の片振幅 ( $\text{kN/m}^2$ ) であり、 $N_{5\%}$  は両振幅軸ひずみ  $DA=5\%$  に達した時の繰返し回数である。同程度の  $D_c$  値であっても  $N_{5\%}$  は試料毎に異なっており、試料の物性が液状化に対する抵抗力へ大きく影響していることが分かる。試料 1, 3, 4 は、試料 2, 4 と比較して小さな  $SR$  であるにも拘らず、少ない繰返し回数で  $\varepsilon_a$  および  $\Delta u/\sigma'_0$  が大きくなっており、液状化に対する抵抗力が小さい。

図-2 に示した  $D_c$  値 89% の供試体について、地盤の許容変形量を  $DA=5\%$  とした場合の液状化強度曲線を図-3 に示す。繰返し回数 20 回に対応する  $SR$  を液状化強度  $R_{L20}$  と定義し、 $R_{L20}$  と  $F_c$  の関係を見ると、試料 2, 5 の  $R_{L20}$  が大きくなっているのに対し、 $F_c$  は試料 1→5 の順で大きくなっており、両者に相関性は確認できない。次に、細粒分の塑性と液状化強度の関係を見ると、細粒分が低塑性の場合(試料 1, 3, 4) は塑性を有する場合(試料 2, 5) よりも  $R_{L20}$  が小さい。すなわち、低塑性の細粒分を含むと  $R_{L20}$  は減少し、塑性を有する細粒分を含むと  $R_{L20}$  は増加する傾向にある。

次に、 $D_c$  値と  $R_{L20}$  の関係を図-4 に示す。 $R_{L20}$  は  $D_c$  値の上昇に伴って増加しており、特に試料 2 は顕著な  $R_{L20}$  の増加を確認できる。しかしながら、その他の試料では僅かに増加する程度に留まっており、締固めによる  $R_{L20}$  の増加効果は試料によって異なっている。既往の研究では、低塑性の細粒分を含むと密度の増加による液状化強度の増加効果が低くなると報告されており<sup>1)</sup>、試料 1, 3, 4 は同様の傾向を示している。一方、塑性を有する細粒分の場合、試料 2 では締固めによって  $R_{L20}$  が大きく上昇し、試料 5 ではあまり変化していない。試料 5 の  $F_c$  が試料 2 と比較して大きいことを考慮すると、塑性を有する細粒分であっても  $F_c$  が高いと締固めによる液状化強度の増加効果は低下すると考えられる。

#### 4. まとめ

$F_c$  の異なる土質材料を用いて  $D_c$  値と  $R_{L20}$

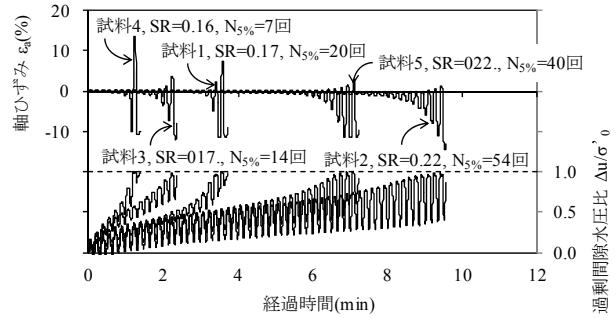


図-2 軸ひずみと過剰間隙水圧比の経時変化 ( $D_c$  値 89%)  
Progress of axial strain and excess pore water pressure ratio ( $D_c$  value = 89%)

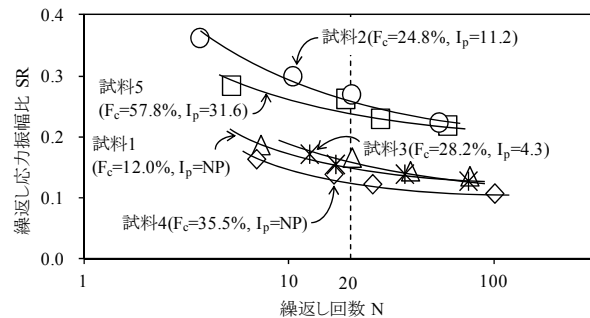


図-3 液状化強度曲線 ( $D_c$  値 89%,  $DA=5\%$ )  
Stress ratio versus number of loading cycles ( $D_c$  value=89%,  $DA=5\%$ )

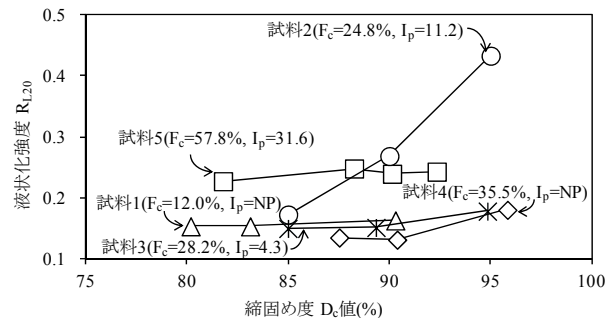


図-4 締固め度と液状化強度の関係  
Liquefaction strength versus degree of compaction

の関係性を求めた。土が細粒分を含むと締固めによる液状化強度の増加効果は低下する。特に、細粒分が低塑性(今回の検討では  $I_p$  が 5 程度以下) の場合には  $D_c$  値を 95% まで高めても  $R_{L20}$  は大きく改善されなかったため、低塑性の細粒分を含む土質材料を液状化の発生が懸念される箇所へ使用しないよう留意する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 足立雅樹, 安原一哉, 島袋淳 (1998) : 塑性のない細粒分を含む砂質土の液状化とそれに伴う体積変化特性, 土木学会論文集, No.596/III-43, pp.29-38