

埋立土に細粒分含有率の異なる土を用いた場合の液状化強度に与える締固め効果

九州工業大学大学院 学生会員 ○高岡伸光
 九州工業大学工学部 正会員 永瀬英生 廣岡明彦
 九州工業大学工学部 門前亨

1.はじめに

一般に浚渫土砂等の投入により埋め立てられた地盤は埋立時に分級作用が起こり、水平方向の粒度組成が不均質になる。このような地盤に密度増大工法を適用する際の留意点としては細粒分の多い箇所では締固めが困難な場合があり、改良効果が低減することである。このように細粒分や水分を多く含む埋立地盤においては、地盤を強固にする地盤改良工法を検討する必要がある。そこで本研究では、細粒分含有率の異なるしらす、および豊浦砂を用い、繰返し三軸試験装置を用いて液状化強度を求め、細粒分含有率の締固め効果に及ぼす影響および供試体作製方法の液状化強度に与える影響について検討することを目的とする。

2.試料および実験方法

本研究で用いた試料には河口付近で採取した浚渫土砂である鹿児島港しらす ($\rho_s=2.656\text{g/cm}^3$ 、 $\rho_{dmax}=1.533\text{g/cm}^3$ 、 $W_{opt}=20.3\%$ $F_c=8.0\%$)、鹿児島県国分市近郊で採取した一次しらすである口輪野しらす ($\rho_s=2.468\text{g/cm}^3$ 、 $\rho_{dmax}=1.335\text{g/cm}^3$ 、 $W_{opt}=25.8\%$ $F_c=19.9\%$)、および豊浦砂 ($\rho_s=2.637\text{g/cm}^3$ 、 $\rho_{dmax}=1.645\text{g/cm}^3$ 、 $W_{opt}=10.3\%$ $F_c=0.5\%$)を用いた。試料の粒径加積曲線を図1に示す。

液状化試験は繰返し三軸試験装置を用いて行った。供試体は直径 7.5cm、高さ 15cm の円柱形である。供試体作製方法としては湿潤突固め法、水中突固め法、水位低下突固め法を採用した。湿潤突固め法は試料の含水比を最適含水比で突き固める方法、水中突固め法はモールド内を脱気水で満たした後、試料を投入し飽和状態で突き固める方法、水位低下突固め法はモールド内の水位を層ごとに低下させて試料を不飽和状態にした後、突き固める方法のことである。これらの方法で作製した供試体は、炭酸ガスを一定時間通気し、脱気水を通して飽和させた後、初期平均有効拘束圧 $\sigma'_0=49\text{kPa}$ にて等方圧密した。繰返し载荷は 0.1Hz の正弦波荷重にて行い、液状化判定基準は両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ としている。また、本実験においては供試体の締めり具合を締めり密度比 $R_p = \rho_d / \rho_{dmax} \times 100 (\%)$ で表した。表1に締めりエネルギー E_c に対する締めり密度比 R_p の値を示す。

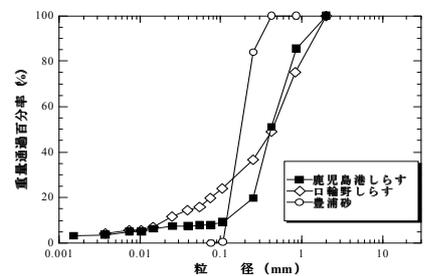


図1 試料の粒径加積曲線

各供試体作成方法における締めりエネルギーは締めり仕事量で定義され、 $E_c = W_R * H * N_L * N_B / V (\text{kJ/m}^3)$ と表される。ここに、 W_R はランマー重量 (kN)、 H は落下高さ (m)、 N_L は層数、 N_B は 1 層当たりの突固め回数、 V はモールド容積 (m^3) をそれぞれ表す。

3.試験結果および考察

3.1 液状化試験結果

図 2~4 にそれぞれの試料における繰返し応力比 $R = \sigma_d / 2\sigma'_0$ と $DA=5\%$ に至るまでの繰返し回数 N_c の関係を示し、表 2 に水位低下突固め法における各層の含水比を示す。

口輪野しらすにおいては、湿潤突固め法で供試体を作製した場合の液状化強度曲線が高い位置にある。これは、突き固めることに

表1 締めりエネルギーによる締めり密度変化

試料	締めりエネルギー	湿潤突固め法	水中突固め法	水位低下突固め法
	$E_c(\text{kJ/m}^3)$	$R_p(\%)$	$R_p(\%)$	$R_p(\%)$
鹿児島港しらす	150	96	103	96
	300	98	104	98
口輪野しらす	150	96	103	108
	300	103	103	110
豊浦砂	150	95	99	95
	300	94	99	94

表2 各層の含水比

$E_c(\text{kJ/m}^3)$	鹿児島港しらす		口輪野しらす		豊浦砂	
	150	300	150	300	150	300
1層目	18.4	17.2	26.1	26.4	12.5	14.1
2層目	19.1	21.0	27.0	23.6	12.7	17.3
3層目	15.3	18.6	25.8	26.9	12.9	10.8
4層目	16.4	20.3	26.5	25.8	11.3	11.1
5層目	14.9	16.1	26.3	24.8	13.1	13.6

数値は含水比 (%) を示す

より試料が過圧密されたときのような作用を受け、粒子構造が安定化したためであると考えられる。また、締め固めエネルギーが増加すると液状化強度曲線は上昇している。これは締め固めエネルギーの増加により、粒子間隙がつぶれ、粒子の噛み合いがより改善され、供試体の密度が大きくなったことによるものと考えられる。一方、水中突固め法では、湿潤突固め法の場合よりも液状化強度が全体的に小さく、突固め回数を増やして締め固めエネルギーを増加させても液状化強度曲線の上昇が見られない。これらの原因として、細粒分を多く含むしらすにおいては、水中で突固めることにより、試料の一部が液状化する等、供試体内の粒子構造の乱れが大きいために、粒子構造が安定化しない、または逆に不安定化したことが考えられる。水位低下突固め法においては水中突固め法の場合と比べると液状化強度曲線の上昇が明確に確認できた。これは飽和状態にあった試料を不飽和状態にすることによって試料の攪乱が大幅に抑えられ、締め固めエネルギーが水中突固め法の場合よりも効率良く伝わったことによるものと考えられる。

鹿児島港しらす、豊浦砂については液状化強度曲線が湿潤突固め法の場合よりも水中突固め法の場合において高い位置にある。これは、水中突固め法においてモールドを脱気水で満たした状態、すなわち飽和状態にしているため、サクシオンが働かず間隙がつぶれ、効率よく締め固まったことによるものと考えられる。また、細粒分含有率が小さいため、水中で突き固めることによる粒子構造の乱れが最小限に抑制され、粒子構造が安定化したことが考えられる。また水位低下突固め法においては湿潤突固め法の場合と同程度あるいは低い液状化強度曲線が得られた。これは不飽和状態になりサクシオンが働くことにより締め固め効果が低減されたからではないかと考えられる。

3.2 締め固めエネルギーの影響

図5に締め固めエネルギー E_c と液状化強度比 R_{120} の関係を示す。豊浦砂を除いて、締め固めエネルギーが増加すると液状化強度も増加することが確認できる。ただし、 $E_c=150\sim 300(kJ/m^3)$ においては締め固めエネルギーに対する強度増加がほぼ収束傾向にある。この傾向より、これ以上締め固めエネルギーを増加しても、密度が増加しない、もしくは粒子構造が安定化しないものと推察される。

4.まとめ

本研究では細粒分含有率の異なる試料を用いて異なる供試体作製方法で液状化強度を調べた結果、以下のことが明らかとなった。すなわち、比較的細粒分を含む試料においては水中突固め法の場合よりも湿潤突固め法の場合の方が効果的な締め固め効果が得られ、細粒分をあまり含まない試料では水中突固め法の場合の方が効果的な締め固め効果が確認できた。また、比較的細粒分を多く含む試料においては水位を下げて突き固めた結果、効果的な液状化強度曲線の上昇が確認できた。

[参考文献] 1) 上野, 永瀬, 清水, 廣岡, 姫野: 締め固めた再構成しらす試料の液状化強度特性, 平成15年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III-26, pp226-227, 2004

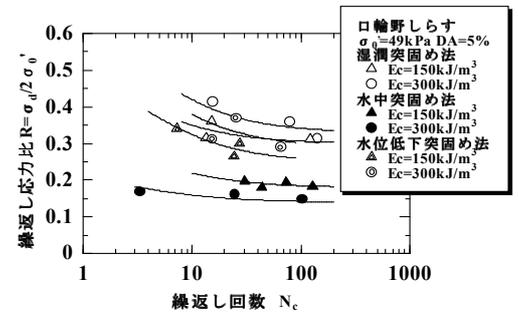


図2 R-Nc 曲線 (口輪野しらす $F_c=19.9(\%)$)

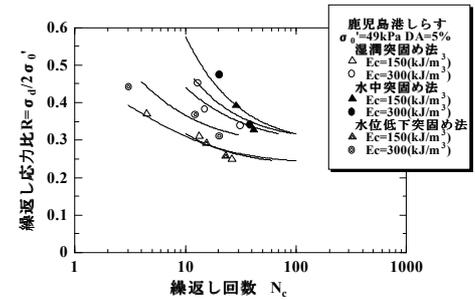


図3 R-Nc 曲線 (鹿児島港しらす $F_c=8.0(\%)$)

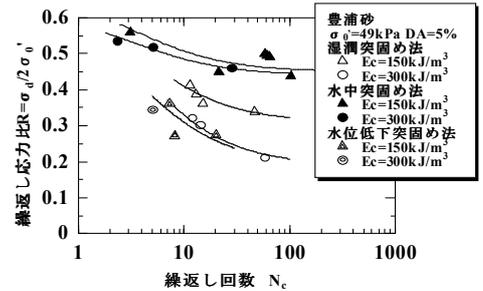


図4 R-Nc 曲線 (豊浦砂 $F_c=0.5(\%)$)

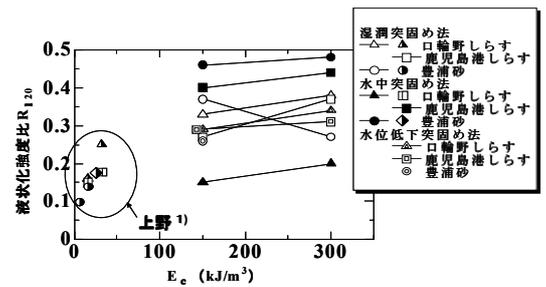


図5 E_c - R_{120} 関係