

粒子構造と粒子形状がひずみの発達過程と損失エネルギーに及ぼす影響

粒子構造, 粒子形状, 損失エネルギー

(株)不動テトラ 正会員

○出野 智之

(株)不動テトラ 正会員

原田 健二

矢部 浩史

(株)不動テトラ 正会員

江副 哲

日下部真佑

1.はじめに

前報¹⁾では異なる供試体作製方法で密度調整した同じ粒度分布の試料について粒子構造と粒子形状の違いによる液状化強度の影響について報告をした。結果として液状化強度 $R_{L20}=(\sigma_d/2\sigma'_0)_{Nc=20}$ と載荷前の相対密度 D_{rc} の関係を図1に示す。中密の場合では空中落下法（以下、空中法）と打撃による締固め法（以下、打撃法），すなわち粒子構造による液状化強度の相違は見られず，粒子形状による液状化強度の相違も見られなかった。高密の場合では空中法より打撃法のほうが液状化強度は大きくなり，粒子形状が丸い鹿島砂より粒子形状が角張っている熊本砂の液状化強度が高くなる傾向を示した。本報においてはひずみの発達過程と損失エネルギーの観点から同実験結果を整理・分析して報告する。

2.ひずみと損失エネルギーの発達過程

2.1 ひずみの発達過程

三上ら²⁾はひずみの発達とは「初期の繰返し載荷によりひずみが発生し，その後の間隙水圧の上昇によりひずみが増加していく過程」と定義した。図2に各試料の同じ繰返し応力比 $\sigma_d/2\sigma'_0$ (σ_d : 繰返し軸差応力, σ'_0 : 有効拘束圧) における応力ひずみ曲線を示す。各試料において，空中法より打撃法のほうが，引張側ひずみが増加していく様子が確認でき，打撃により圧縮方向に強い粒子構造になったと推察される。

図3に両振幅軸ひずみ $\varepsilon_{aDA}=5\%$ となる載荷回数 $N_{c(DA=5\%)}$ を繰返し載荷回数 N_c で正規化した載荷回数比率 $N_c/N_{c(DA=5\%)}$ をとり，(a)に両軸ひずみ振幅 ε_{aDA} ，(b)に過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma'_0$ (Δu : 過剰間隙水圧比) との関係図を示す。また，各々の曲線は初期相対密度 $D_{r0}=65\%$ ， $\sigma_d/2\sigma'_0=0.250$ と同じ試験条件であり， $D_{r0}=65\%$ における R_{L20} の結果は図1に示すようにほぼ同程度の R_{L20} となっている。供試体作製方法に着目すると，打撃法は空中法に比べて， ε_{aDA} ， $\Delta u/\sigma'_0$ とともに緩やかに発達する傾向であった。また，粒子形状に着目すると熊本砂は鹿島砂に比べて， ε_a ， r_u

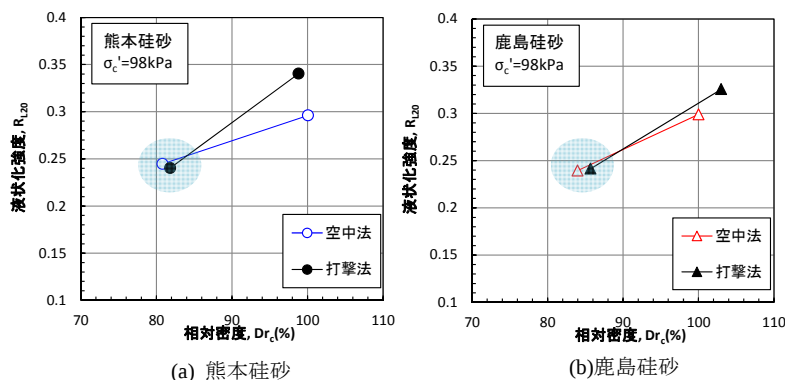


図1 液状化強度-相対密度関係

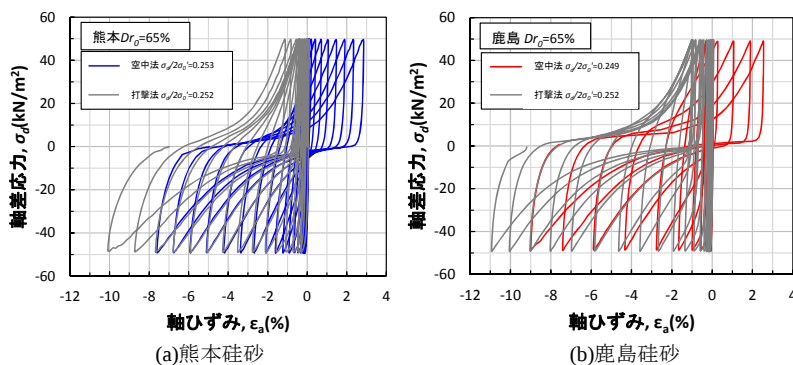


図2 応力-ひずみ関係

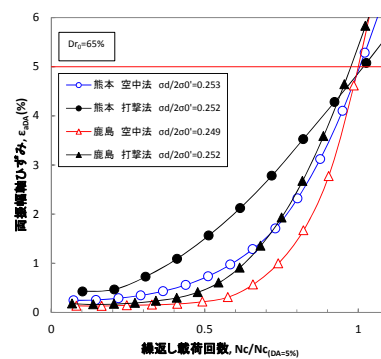


図3(a) 両軸ひずみ振幅-繰返し載荷回数

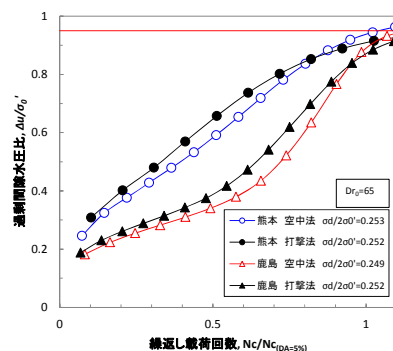


図3(b) 過剰間隙水圧比-繰返し載荷回数

キーワード：粒子構造, 粒子形状, 損失エネルギー 連絡先：〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町7-2 TEL03-5644-8534

ともに繰返し载荷初期から緩やかに発達する傾向を示し、同じ粒度、密度、液状化強度に関わらず、粒子構造と粒子形状の違いによる傾向の違いが確認できる。

2.2 損失エネルギーの発達過程

図4に各相対密度における N_c と $\sigma_d/2\sigma'_c$ 、 $\varepsilon_{aDA}=5\%$ となる正規化累積損失エネルギー³⁾ $\sum \Delta W/\sigma'_c$ (以下、損失エネルギー) の関係を示す。 $Dr_0=65\%$ の場合、同じ液状化強度であっても同じ繰返し応力に対する損失エネルギーに相違が見られ、 $Dr_0=85\%$ になるとその差が顕著になる結果となることが分かる。

3. 繰返し応力比と損失エネルギーの関係

図5に各初期相対密度における $\sigma_d/2\sigma'_c$ と $\sum \Delta W/\sigma'_c$ の関係を示す。図には R_{L20} に対する損失エネルギー量 $(\sum \Delta W/\sigma'_c)_{N_c=20}$ をプロット (赤丸) している。全体的に各ケース内では $\sigma_d/2\sigma'_c$ が小さいほど損失エネルギー量が大きくなる傾向がある。赤丸のプロット値に着目すると R_{L20} が大きくなると $(\sum \Delta W/\sigma'_c)_{N_c=20}$ も大きくなることが分かる。

粒子構造と粒子形状について定量的に把握するために作成したものが図6である。これは鹿島珪砂の空中法、 $Dr=65\%$ における R_{L20} 、 $(\sum \Delta W/\sigma'_c)_{N_c=20}$ の値を 1.0 とした比率で表している (図5赤丸)。図より、どの条件においても R_{L20} (○, ●) より $\sum \Delta W/\sigma'_c$ (△, ▲) の増加比率が高い傾向を示している。 $Dr_0=65\%$ の場合、粒子構造 (空中法, 打撃法) について R_{L20} ではさほど相違は見られない。一方、 $(\sum \Delta W/\sigma'_c)_{N_c=20}$ では若干打撃法が大きな比率を示している。粒子形状 (熊本珪砂, 鹿島珪砂) について、 R_{L20} では差が見られないが、 $(\sum \Delta W/\sigma'_c)_{N_c=20}$ は熊本珪砂のほうが、比率が大きいことが分かる。 $Dr_0=85\%$ の場合、粒子構造について R_{L20} では打撃法が大きな比率を示している。 $(\sum \Delta W/\sigma'_c)_{N_c=20}$ では熊本珪砂は打撃法、鹿島珪砂は空中法が大きな比率となっている。粒子形状について R_{L20} ではさほど相違は見られず、 $(\sum \Delta W/\sigma'_c)_{N_c=20}$ では熊本珪砂のほうがさらに大きな比率を示している。

4. まとめ

粒子構造と粒子形状が液状化強度に及ぼす影響は前報で考察し、本報では同じ試験のひずみの発達過程と損失エネルギーに着目してその影響を定量的に考察した。その結果、同じ液状化強度であっても粒子構造では打撃法による供試体作製方法が、粒子形状では角張ったもののほうが損失エネルギーは大きいことが分かった。

参考文献 1) 日下部真佑, 原田健二, 矢部浩史, 江副哲: 粒子構造と粒子形状が液状化強度に及ぼす影響, 第54回地盤工学研究発表会 (投稿中)。2) 三上武子, 一井康二, 上村一瑛, 仁科春貴: 非排水繰返しせん断時のひずみの発達モデル, 地盤工学ジャーナル, Vol.7, No.1, 311-322, 2012。3) 國生剛治: エネルギーによる液状化判定法の適用性検討とFL法との対比, 地盤工学ジャーナル, Vol.8, No.3, 463-475, 2013。

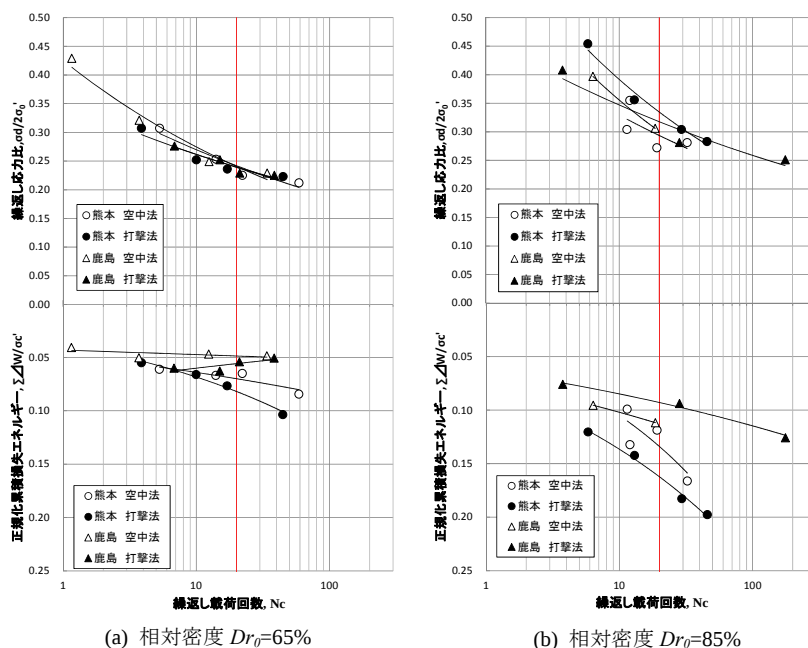


図4 繰返し応力比-繰返し载荷回数-正規化累積損失エネルギー

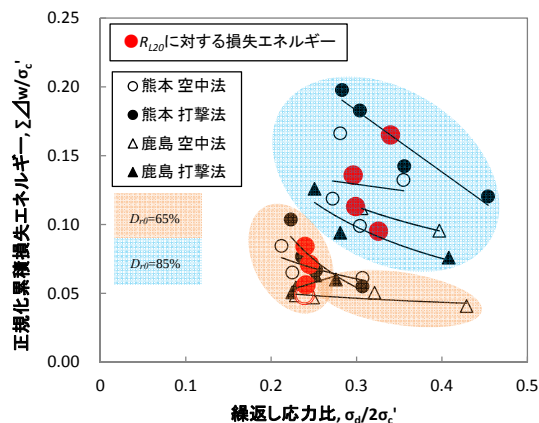


図5 繰返し応力比-正規化累積損失エネルギー

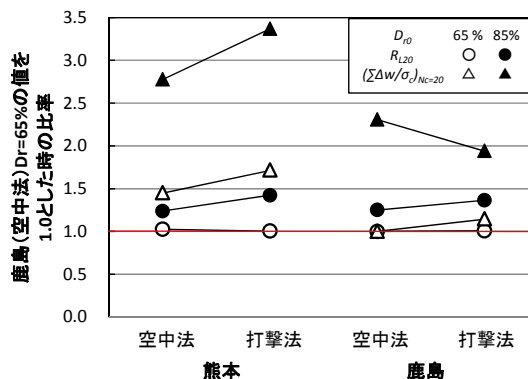


図6 粒子構造・形状に関する液状化強度・エネルギーの関係