

粒度組成の違いが異方性の発展および再液状化挙動に与える影響

福岡大学 学生会員 高森智子 長野孝広
正会員 山田正太郎 佐藤研一

1. はじめに

別報¹⁾で示した通り、かつて液状化しにくいといわれていた粒度のよい砂は、粒径の揃った砂と液状化挙動の特徴に違いが認められるものの、端的に液状化を生じにくい材料であるとは言い難い。それでは、粒度の良い砂が、かつて経験的な見地から液状化を生じにくい材料として認識されていたのは何故だろうか？ また、かねてより液状化を生じやすい土として認められてきた粒径の揃った砂とは他の砂質系材料にないどのような特徴を持っているのだろうか？ 本報告では、その理由の一端を再液状化の観点から示す。

2. 実験概要

2-1 実験試料 試料には豊浦砂、筑後川砂、北九州埋立砂の粒度組成の違う三試料を用いた。各試料の粒経加積曲線と物理特性は別報に記した通りである¹⁾。供試体作成には空中落下法を用い、目標相対密度は $D_r = 80\%$ とした。

2-2 実験条件 拘束圧 98.1kPa、バックプレッシャー 294kPa の下で実験を行った。いずれの試料も B 値が 0.96 以上であることを確認している。単調非排水せん断、液状化試験共に、载荷速度 0.4%/min でひずみ制御にて行った。液状化試験の応力振幅は $q_{\max}/p_0' = 0.4$ とした。実験のパターンは大きく分けて、①単調非排水せん断（液状化履歴あり）、②液状化試験（液状化履歴なし）＝再液状化試験である。

2-3 液状化履歴の与え方 液状化履歴の与え方は、液状化試験（別報¹⁾図-3）を両振幅軸ひずみが 5% に達するのを確認した後、伸張側から等方応力状態まで帰ってきたところ（図-1 点(a)に相当する位置）で停止し、軸変位を許した状態で一旦排水させ（点(a) → (s)）、再び軸を固定してひずみ制御にて単調非排水せん断もしくは液状化試験を行った。

3. 液状化履歴を受けた状態での単調非排水せん断挙動

図-2 に液状化履歴を受けた状態での単調非排水せん断挙動を示す。一度液状化履歴を受けた粒経の揃った豊浦砂は高位に異方性が発達しており、あるせん断方向において非常に緩い砂に似た挙動を示す傾向にある。一度液状化履歴を受けた比較的粒度の良い筑後川砂や北九州埋立砂にも若干の異方性は認められるが、その発達程度は豊浦砂に比べ明らかに低い。粒経の揃った砂は高位に異方性が発達しやすく、粒度の良い砂は異方性が発達しにくいと言える。

4. 液状化履歴を受けた状態での繰返し非排水せん断挙動（＝再液状化挙動）

図-3 に液状化履歴を受けた状態での繰返し非排水せん断挙動（＝再液状化挙動）を示す。豊浦砂のみが一発で液状化を生じており、液状化履歴を受けることで明らかに液状化抵抗が低下していることが分かる（別報¹⁾図-2(i)と比較）。一方、その他の二試料はせん断初期に大きく有効応力が減少するものの、その後の有効応力の減少の仕方は非常に緩やかで、ひずみもなかなか大きくならない。特に、細粒分を含んでいる北九州埋立砂はその傾向が強く、液状化履歴を受けることで明らかに初期よりも液状化しにくくなっている（別報²⁾図-2(iii)と比較）。つまり、粒径の揃った砂と粒度のよい砂で

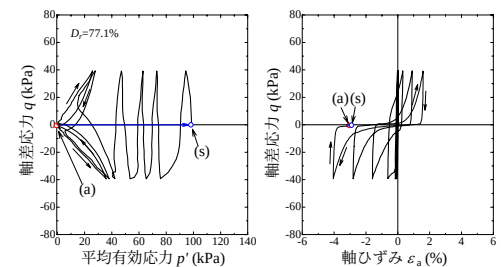
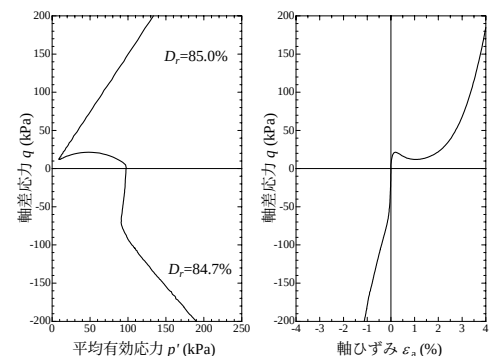
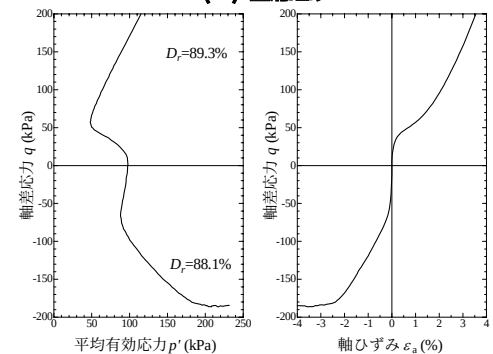


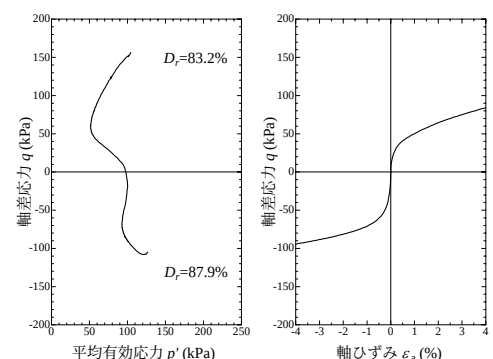
図-1 液状化停止位置



(i) 豊浦砂



(ii) 筑後川砂



(iii) 北九州埋立砂

図-2 単調非排水せん断挙動（液状化履歴あり）

は、液状化のしやすさに明確な違いが認められない一方で、再液状化のしやすさには明確な違いが現われると言える（これらを裏付けるような調査事実⁴⁾もある）。また、図-2からも容易に想像がつくように、粒径の揃った砂が容易に再液状化を生じるのは、異方性が高位に発達しているためであり、このような状態ではあるせん断方向において非常にゆるい砂に似た軟化挙動を示すためである^{2),3)}。異方性の発達程度が低い粒度のよい土が再液状化を生じにくいのは当然の成り行きである。このように、異方性の発達のしやすさは再液状化のしやすさを司る主要な因子になっているものと考えられる。

5. 「液状化しやすい土としにくい土」

最後に著者ら自らが冒頭で示した問題提起に答えたい。まず、粒度のよい砂が液状化しにくいという認識は、このような土はかつて受けた液状化履歴（ないしはそれに類するなんらかの力学的作用）によって液状化しにくい状態にある場合が多いことを反映して生まれたものと考えられる。また、かねてより液状化を生じやすい土として認められてきた粒径の揃った砂とは、実は他の材料と比べてとりわけ再液状化を生じる可能性が高い土（より根源的には、異方性が発達しやすく、かつ異方性の影響が有効応力経路に表れやすい土）であると言える。つまり、「液状化のしやすさに関するかつての認識は、再液状化のしやすさを反映して生まれたものではないか？」というのが著者らの提言である。ただ、かつての認識は粒度のよい土が実際に液状化を生じたこと⁵⁾で覆されるようになったわけであるが、それでは、なぜ昔は液状化しなかった種類の土がここ何十年の間に液状化するようにな

ったのか？当然このような疑問も新たに生まれてくる。それは「近代に入って頻繁に埋立工事が行われるようになったから」、「液状化履歴を受けたことがない若い地盤が生まれ続けているから」というのが著者らの考えるシンプルな答えである。

液状化時の噴砂について統計的に調べた既往の研究^{4),6)}では、細粒分を含む砂が液状化を生じるのは決まって埋立地であって、自然堆積した地盤では粒径の揃った砂しか液状化を生じていないことが述べられている。加えて、埋立後、経過年数が長い地盤ほど、液状化が観測されにくいということも述べられている。いずれの事柄も著者らの考えを裏付けてくれる事実のように思えてならない。（噴砂の粒度は噴出するまでの間に級化が生じるためかならずしも液状化層の砂の粒度と一致しないこと⁷⁾には若干の注意が必要。沼田らの論文⁶⁾では細粒分を含む噴砂の粒度は比較的揃っているが、これは主に細粒分が地表に噴出したからであって、液状化層の砂はこれらの細粒分を含む粒度のよい砂であった可能性が高い。）

6. まとめ

本報告では、かねてより液状化を生じやすい土として認められてきた粒径の揃った砂は再液状化しやすい状態を取りうるのに対し、粒度のよい砂、特に細粒分を含むものはそのような状態を取りにくいことを示した。また、再液状化のしやすさに違いが生まれるのは各材料の異方性の発展のしやすさが異なるためであることを示唆した。加えて、かつて経験的に見出された液状化のしやすい土に関する知見が、再液状化のしやすさを反映して生まれた可能性について指摘した。

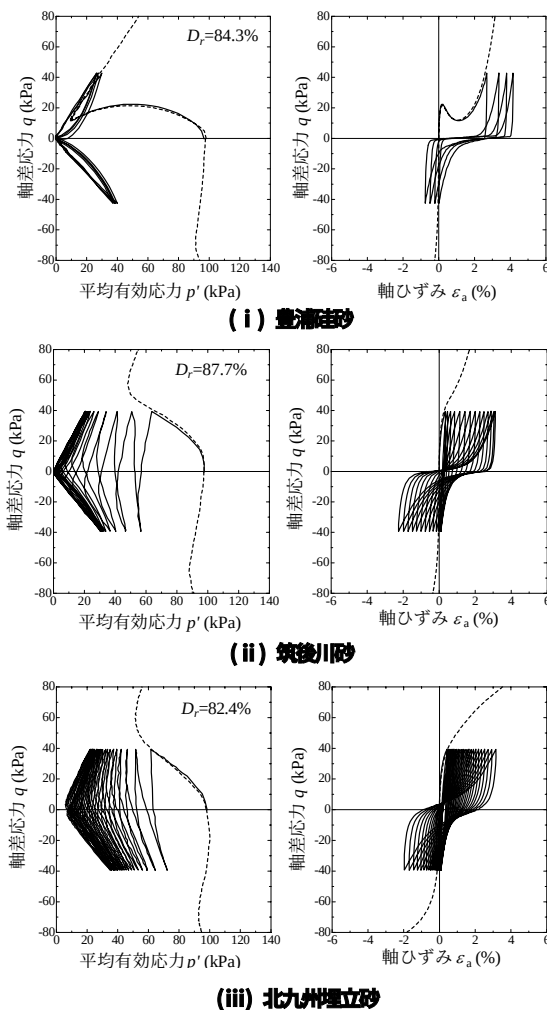


図-3 繰り返し非排水せん断挙動（液状化履歴あり）
＝再液状化挙動

参考文献) 1) 長野孝広, 高森智子, 山田正太郎, 佐藤研一 (2009): 粒度組成の異なる砂の単調および繰返し非排水せん断挙動, 平成 20 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集. 2) 山田正太郎, 佐藤研一, 高森智子 (2008): 液状化中の応力誘導異方性の変動に関する実験的研究, 第 43 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp. 417-418. 3) 高森智子, 山田正太郎, 佐藤研一 (2008): 液状化に伴う応力誘導異方性の発達と再液状化抵抗に与える影響, 第 43 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp. 419-420. 4) 阿部博, 草野郁 (1996): 東京低地における地盤の再液状化現象, 土木学会論文集, No. 554, III-37, pp. 157-171. 5) 森伸一郎, 沼田淳紀, 境野典夫, 長谷川昌弘 (1991): 埋立地の液状化で生じた噴砂の諸特性, 土と基礎, Vol. 39, No. 2, pp. 17-21. 6) 沼田淳紀, 森伸一郎 (2002): 噴砂の粒度組成, 土木学会論文集, No. 722, III-61, 129-147. 7) 寒川旭 (1992): 遺跡の地震跡, 土と基礎, Vol. 40, No.1, pp.13-18.