

液状化が懸念される堤防基礎礫質土の大型三軸試験

砂礫, 大型三軸試験, 排水条件

名城大学

国際会員

小高猛司・崔 瑛

名城大学大学院

学生会員

○小林芳樹・兼松祐志

森 涼香

(株)建設技術研究所

国際会員

李 圭太

中部土質試験協同組合

正会員

坪田邦治・加藤雅也

1. はじめに

南海トラフ地震に対して礫質土を基礎地盤とする多くの河川堤防で液状化が懸念されている。しかし、礫地盤は透水性が高い場合も多く、地震時に過剰間隙水圧がそれほど高く上昇しないことも考えられることから、N 値と粒度分布による液状化判定では過剰判定に繋がる可能性もある。一方、大きな礫を含む礫質土の場合、原粒度のまま液状化試験を実施することは、試験装置の整備状況やコストの面からも現実的ではなく、液状化試験を実施するとしても粒度調整試料でなされる場合がほとんどであり、原地盤の力学特性を正確に評価できているか不明瞭である。本報では、実際に液状化対策が必要と判定されている礫質土を基礎地盤とする河川堤防より採取した砂礫を用いて、原粒度試料の大型三軸試験を実施し、静的な力学特性の評価を行った結果を示す。

2. 試験の概要

試験試料は河口部での河床掘削時に採取した砂礫であり、図 1 に粒度分布を示す。供試体は、最適含水比に近い含水比 4% に調整した湿潤試料を用いて、5 層にわけて締め固めて再構成した。供試体寸法は、直径 30cm, 高さ 60cm である。当該現場の N 値は 20 程度であるが、原・國生の礫質土の研究成果によるとその N 値は相対密度 60% 程度に相当する。本試験では、それより若干大きめ相対密度を設定し、70 および 80% の 2 種類の供試体を作製した。

供試体は三軸試験機に設置後、二重負圧法による飽和化を行い、B 値 0.95 以上を確保した。初期有効拘束圧は 50, 100 および 200kPa とし、等方圧密後に排水 (CD 試験) ならびに非排水せん断 (\overline{CU} 試験) を実施した。なお、載荷速度は 0.1%/min である。

3. 試験結果

図 2 および図 3 に、軸差応力～軸ひずみ関係および有効応力経路を示す。軸差応力～軸ひずみ関係より、 \overline{CU} 試験では、相対密度にかかわらず、いずれの試験でも、軸ひずみ 1% 程度で最大軸差応力を示した後、急激なひずみ軟化挙動を示している。しかし、有効拘束圧 50kPa の試験ではひずみ軟化挙動は見られるが有効拘束圧 100kPa および 200kPa の試験と比べて、ひずみ軟化の度合いが小さくなっており、軸ひずみ 6% 程度からゆるやかに軸差応力が増加し、最終的に有効拘束圧 100kPa とほぼ同様の値となっている。CD 試験では、せん断終了時まで軸差応力が緩やかに増加しており、有効拘束圧が大きいほど最終的な軸差応力の値は大きくなっている。有効応力経路より、 \overline{CU} 試験では、相対密度にかかわらず、いずれの試験でも、ゆる詰め傾向を示しており、塑性圧縮による脆性破壊が見られる。また、CD、 \overline{CU} いずれの試験においても、相対密度 80% の軸差応力の方が若干大きいが、全般的な傾向はいずれの相対密度の供試体でもほとんど同じである。以上のことから、 \overline{CU} 試験では有効応力経路において非排水せん断に伴って原点に向かう静的液状化に近い挙動を示しており、CD 試験ではそれと対照的に大きな軸差応力が発揮されている。CD 試験の軸差応力がこのように大きくなるのは、せん断時の排水に伴って大きく体積圧縮し、密詰めに遷移していくからである。図 4 に CD 試験における体積ひずみ～軸ひずみ関係を示す。いずれの相対密度においても緩やかに体積ひずみが増加している。相対密度 80% では有効拘束圧が高くなるにつれ、体積ひずみの値が大きくなる傾向がみられた。しかし、相対密度 70% の有効拘束圧 200kPa においてはその傾向がみられず、有効拘束圧 50kPa および 100kPa における体積ひずみよりも最終的に低くなっている。相対密度 80% と比較すると拘束圧 200kPa 以外は体積ひずみが大きくなっており、相対密度が低く、有効拘束圧が大きいほど、体積ひずみは大きくなっている。

図 5 および図 6 に、相対密度 70 および 80% の破壊時のモールの応力円と破壊規準を示す。 \overline{CU} 試験は全応力でも整理しており、 \overline{CU} 試験結果に相当する。いずれの試験条件においても、相対密度が大きい方が内部摩擦角はわずかに大きいものの、内部摩擦角 ϕ' 、内部摩擦角 ϕ_d においてはその差は非常に小さい。しかし、内部摩擦角 ϕ_{cu} では相対密度による差が顕著に表れている。相対密度による違いよりも試験条件による差が非常に大きく現れている。また、内部摩擦角は、

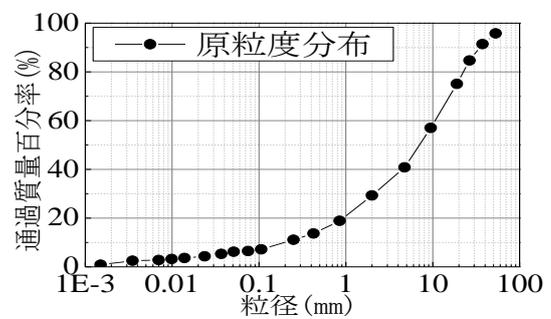


図 1 試験試料の粒度分布

$\phi_{cu} < \phi' < \phi_d$ の順に値が大きくなる。ただし、
 相対密度 80% ではわずかに粘着力が観察できる。

以上より、特に \overline{CU} 試験の有効応力経路から判断すると、相対密度 80% であっても、相当なゆる詰め構造であることがわかる。当該現場の砂礫の基礎地盤は、本試験の供試体と同程度あるいはそれ以上のゆる詰め構造を形成していると予想できる。本報の試験では、非排水条件でせん断した場合、過剰間隙水圧の増加により極めてせん断抵抗は小さくなった。今回、繰返し
 載荷による液状化試験は実施していないが、完全非排水条件下での試験を実施すれば、容易に液状化するものと推測できる。しかし、CD 試験結果より、せん断中に排水が許されれば、せん断抵抗はたちまち上昇することも示されており、実地盤において透水性が高い場合には、必ずしも液状化現象が発生するとは言いきれないことにも注意すべきである。

4. まとめ

砂礫の基礎地盤を対象にして、N 値から推測した相対密度で供試体を再構成して大型三軸試験を実施した結果、相対密度で比較すると全般的な傾向はほとんど同じような結果になるが、排水条件によってせん断挙動は大きく異なる。非排水せん断条件下では極めてせん断抵抗が小さいことが示された。一方、排水せん断時には大きなせん断抵抗を発揮することも同時に示され、実地盤での液状化の発生については透水性を考慮して慎重に検討する必要があることが示唆された。今後は、原粒度に近い礫質土を用いて完全非排水条件のみならず、部分排水条件などの各種の排水条件下での繰返し載荷試験を実施し、砂礫基礎地盤の液状化に対する危険度評価を行う予定である。

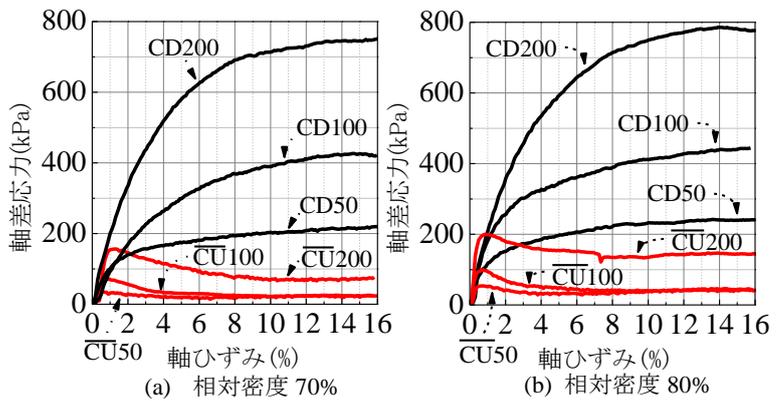


図2 軸差応力～軸ひずみ関係

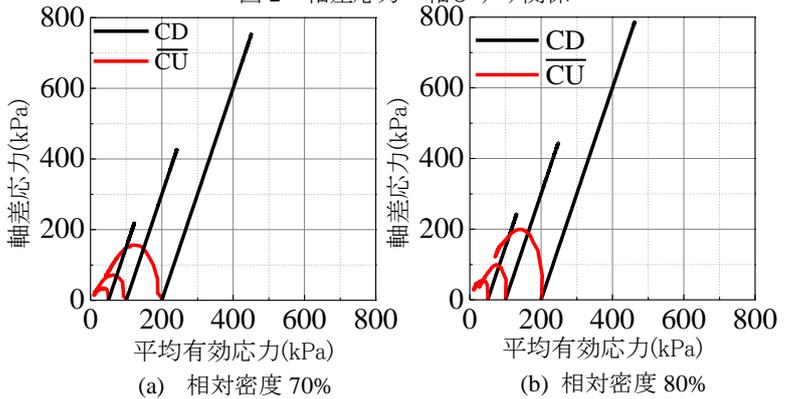


図3 有効応力経路

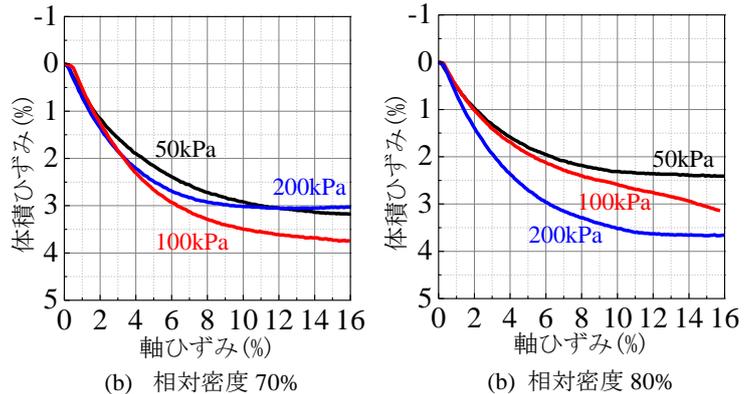


図4 CD 試験における体積ひずみ～軸ひずみ関係

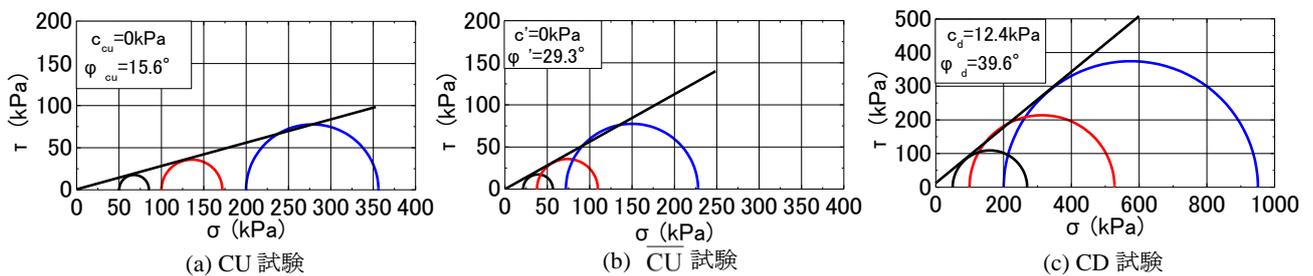


図5 全応力と有効応力のモールの応力円 (相対密度 70%)

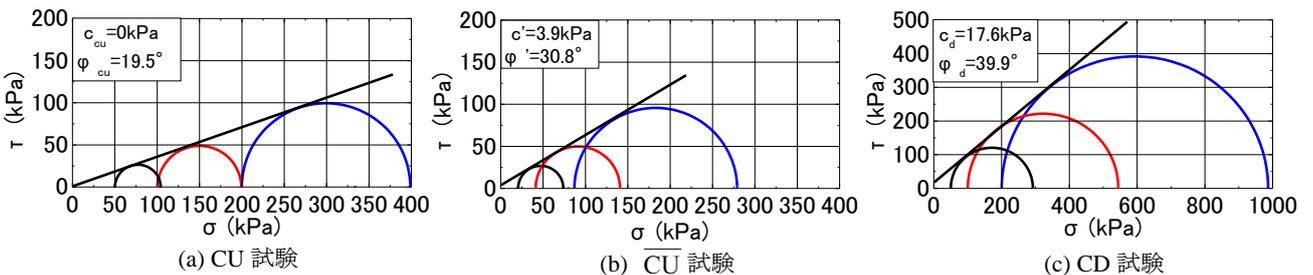


図6 全応力と有効応力のモールの応力円 (相対密度 80%)