

非排水および排水せん断時のゆる詰め砂礫地盤の力学挙動に関する考察

名城大学	学生会員	○小林芳樹・間宮健太
名城大学大学院	学生会員	森 涼香・兼松祐志
名城大学	正会員	小高猛司・崔 瑛
建設技術研究所	正会員	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

阪神大震災以降、液状化判定に礫地盤も含まれるようになり、相当数の礫地盤が液状化対策対象地盤となっている。特に、高知県の河川堤防では河口付近まで礫質土の基礎地盤が広く分布していることから、南海トラフ地震時には多くの河川堤防が液状化によって被災することが懸念されている。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 値と粒度分布だけから液状化を判定すると過剰判定に繋がりがかねない。本報では、高知県の河川で実際に液状化対策が必要と判定されている河川堤防の基礎地盤から砂礫を採取し、原粒度試料にて大型三軸試験を実施し、力学特性の評価を試みる。

2 試験の概要

試料は高知県 N 川河口部での河床掘削時に採取した。図 1 に粒度分布を示す。供試体は含水比 4% に調整した湿潤試料を用いて、5 層にわけて湿潤締固め法により再構成した。供試体寸法は、直径 30cm、高さ 60cm である。供試体の相対密度は 70 および 80% の 2 種類としたが、その際に用いた最大および最小密度は、高知大学原忠研究室で実施された最大最小密度試験結果を参考にした。また、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れば、その N 値は相対密度 60% 程度に相当するとされている。今回の試験の相対密度はそれより若干大きめの値とした。

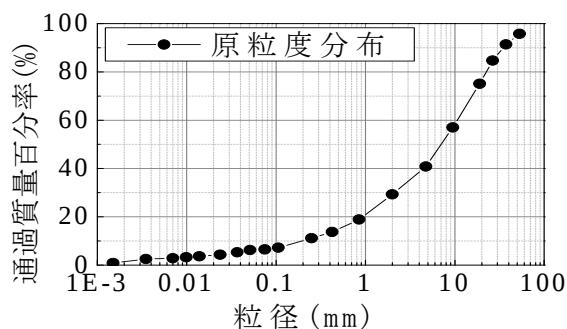


図 1 試験試料の粒度分布

供試体を三軸試験機に設置後、二重負圧法による飽和化を行うことで、B 値は 0.95 以上であることを確認した。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（CU 試験）を実施した。なお、载荷速度は 0.1%/min である。

3 試験結果

図 2 および 3 にそれぞれ、軸差応力～軸ひずみ関係および有効応力経路を示す。いずれの相対密度においても、CD 試験による軸差応力は、 $\overline{\text{CU}}$ 試験による軸差応力を大きく上回る。 $\overline{\text{CU}}$ 試験においては、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。CD、 $\overline{\text{CU}}$ 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。全般的な傾向はほとんど同じである。すなわち、 $\overline{\text{CU}}$ 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 および図 5 に、それぞれ相対密度 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。 $\overline{\text{CU}}$ 試験は全応力でも整理しており、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、その差は非常に小さい。むしろ試験条件による差は非常に大きく、 $\phi_{\text{cu}} < \phi' < \phi_d$ 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。

以上の試験結果、特に $\overline{\text{CU}}$ 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。したがって、当該現場の砂礫の基礎地盤は、さらにゆる詰めの堆積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、繰返し载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。ただし、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が示されており、実地盤にて透水性が高い場合には、必ずしも液状化が発生するとは言い切れないことに注意すべきである。

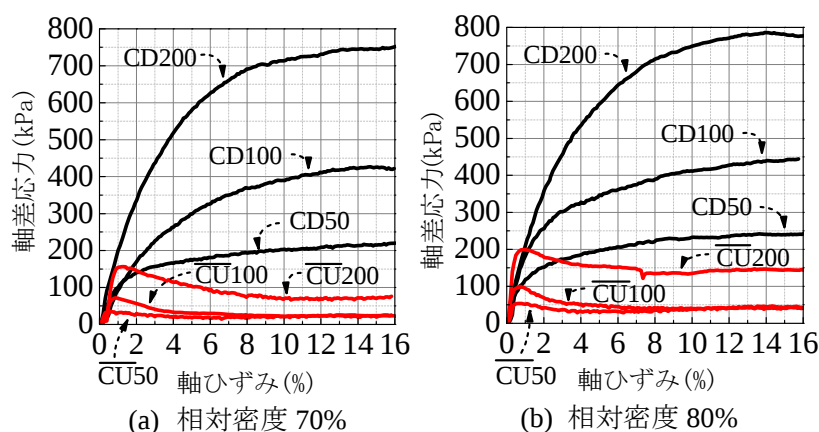


図2 軸差応力～軸ひずみ関係

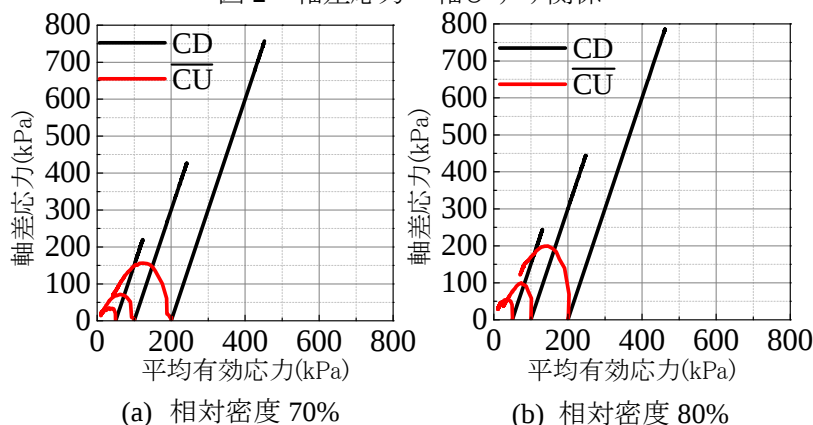


図3 有効応力経路

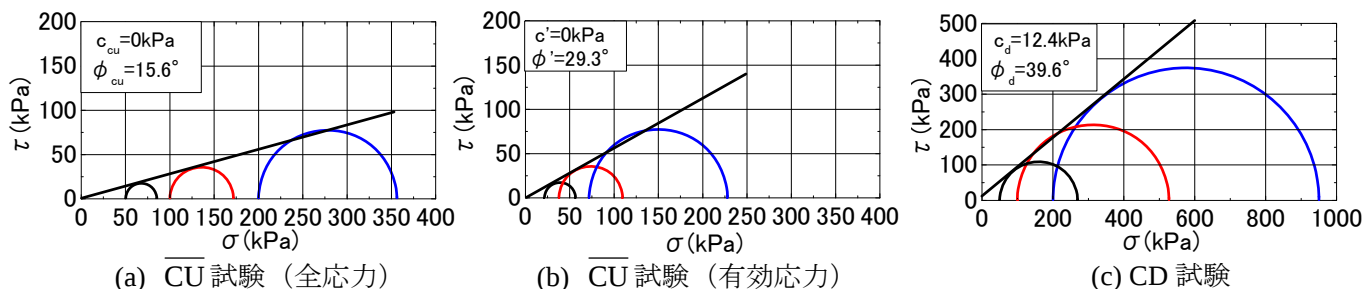


図4 全応力と有効応力のモールの応力円 (相対密度 70%)

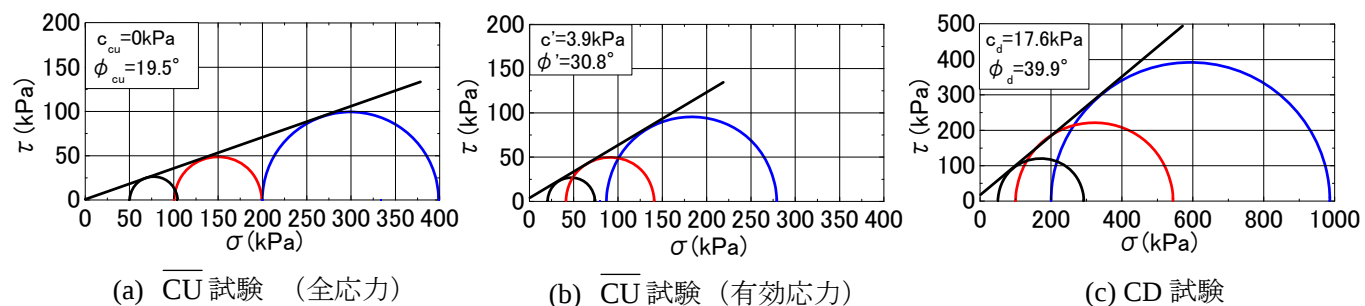


図5 全応力と有効応力のモールの応力円 (相対密度 80%)

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、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対象に繰返し载荷試験も実施する。