

供試体作製法の違いが礫混じり砂の単調ならびに繰返しせん断挙動に及ぼす影響

供試体作製法 礫まじり砂 三軸試験

名城大学
名城大学大学院
大日コンサルタント(元名城大院)正会員
建設技術研究所

国際会員 小高猛司・板橋一雄
学生会員 森 涼香
正会員 牧田祐輝
国際会員 李 圭太・上村俊英

1.はじめに

河川堤防土などの砂質土の土質パラメータを室内試験で求めるには、空中落下法で再構成した供試体が用いられる場合が多い。しかし、河川堤防の実務においては、供試体作製方法について明確に定められていない。Ishihara²⁾は、供試体作製法を変えることによって、同一の初期有効応力下でも異なる構造(空隙比)の砂供試体を作製し、それぞれの非排水せん断挙動が異なることを示した。本報では、実際の河川堤防で採取した礫混じり砂を対象として、空中落下法と湿潤締固め法の2つの方法によって供試体を作製して三軸試験を実施した結果を示す。なお、これらの供試体は同一の有効応力状態において、ほぼ同一の空隙比を有している点が特徴である。

2.試験手順

実験試料は鳥取県小鴨川の堤防で採取された砂礫であり、図1の黒のプロットに示す。小型三軸試験を行うため、9.5mm以上の礫を取り除く、せん頭粒度法を用いて粒度調整を行った。締固め試験により最大乾燥密度が 2.0g/cm^3 と求められたことから、供試体作製時の乾燥密度は 1.6 、 1.7 および 1.8g/cm^3 (それぞれ、締固め度80、85および90%に相当)とした。高さ10cm、直径5cmの供試体は、空中落下法と湿潤締固め法を用いていずれの方法でも5層に分けて作製した。空中落下法は、乾燥試料を試験機内に設置したモールド内に、試料を自然落下させた後、必要に応じて軽く突固めて所定の密度とする。湿潤締固め法は、含水比10%に調整した湿潤試料を用いて、モールド内で軽く突き固めて所定の密度とする。いずれの供試体も、二重負圧法によって飽和化を行った。

単調載荷試験では、初期有効拘束圧50、100、200kPa、載荷速度 $0.1\%/\text{min}$ でCU試験を行った。繰返し載荷試験では、乾燥密度 1.6 、 1.8g/cm^3 (締固め度80、90%)の供試体に対して、初期有効拘束圧100kPa、周波数0.01Hzの繰返し非排水せん断を行った。

3.単調載荷試験

図2の応力~ひずみ関係を見ると、湿潤締固め法の供試体では、ピーク強度後にひずみ軟化挙動が見られるが、空中落下法による供試体では、一貫して軸差応力は増加し続ける。一方、図3の有効応力経路を見ると、空中落下法の供試体では、いずれの締固め度の供試体であっても、最終的に正のダイレイタンスが発現しているが、せん断のごく初期においては大きく有効応力が減少(すなわち塑性圧縮)している。湿潤締固め法による供試体では、いずれの締固め度であっても、最終的には大きな塑性圧縮を伴う軟化を示しているが、ピーク強度までは空中落下法による供試体ほど有効応力の低下は見られない。特に締固め度の高い供試体においては、ピーク強度までは弾性体に近い挙動を示し、その後一気に脆性的に破壊していることが見て取れる。また、総じて湿潤締固め供試体の方が変相角は小さいが、締固め度が高くなると両者の差は小さくなる。

これらのことから、供試体作製時の乾燥密度が同じであっても、湿潤締固め法で作製された供試体の方が高位な骨格構造を有しており、小さなひずみレベルであれば、空中落下法での供試体より大きなせん断強度を有することがわかる。

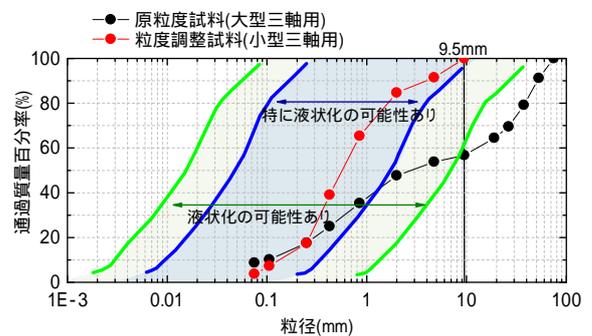


図1 実験試料の粒度分布

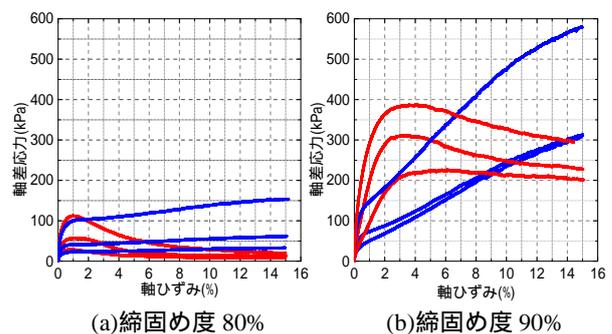


図2 応力~ひずみ関係

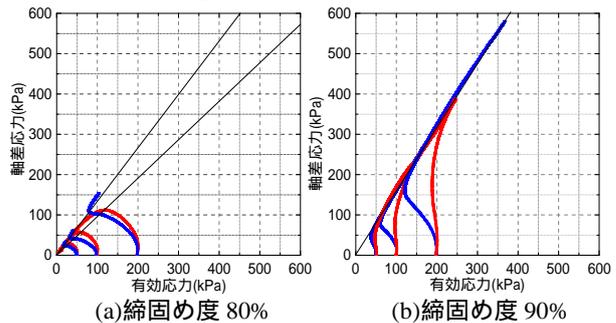


図3 有効応力経路

4. 繰返し載荷試験

締固め度 80% の供試体の応力～ひずみ関係および有効応力経路を図4および図5にそれぞれ示す。いずれの供試体でも変相線に近づくまでの繰返し過程においては、軸ひずみの発生は非常に小さいが、湿潤締固め法による供試体では、大きなひずみが発生した途端に一気に液状化に至る。一方、空中落下法による供試体では、変相線到達後もサイクリックモビリティによる有効応力の増加・減少を繰返し、徐々にひずみが大きくなる。変相線到達までの挙動に着目すると、湿潤締固め法による供試体の方が、1回の繰返しに伴う有効応力の低下量は小さく、単調載荷試験で観察された小ひずみレベルでの弾性挙動と調和している。また、一気に液状化に至る点も、単調載荷時に正のダイレイタンスの発現が見られないことと一致している。

図6は過剰間隙水圧比 95% で定義した液状化強度曲線である。締固め度が高いほど、曲線はグラフの上部へ位置している。空中落下法と湿潤締固め法での差に着目すると、締固め度 80% においては、両供試体で液状化強度曲線に差は見られないが、締固め度 90% では差が現れ、例えば、繰返し載荷回数 20 回での液状化強度比は空中落下法のほうが 0.04 程小さい値となる。

5. 供試体作製法の違いによる考察

単調、繰返し載荷試験共に、両供試体において差が生じた理由としては、供試体の均一性が挙げられる。写真1は湿潤締固め法、写真2は空中落下法を用いた供試体写真と 75 倍に拡大した写真を示す。供試体の全体写真から、湿潤締固め法を用いた供試体は均質的な表面となっているが、空中落下法を用いた供試体では、礫が多い所と細粒分が多い所に分かれていることがわかる。これは、乾燥試料を自然落下させ、突き固めた際に分級したことによるものである。礫と細粒分によって供試体に高位な構造が作られるため、分級しやすい空中落下法では、礫と細粒分による高位な構造ができにくい特徴がある。拡大写真においては、湿潤締固め法では礫のまわりに細粒分がついているが、空中落下法では礫の周りには細粒分が少なく、礫の形がはっきりと見て取れる。

6. まとめ

供試体作製法の違いにより、単調ならびに繰返しせん断試験で得られるせん断特性（特にダイレイタンス特性）が大きく異なることがわかった。これは、供試体作製時の均一性の違いにより、構造が異なるためだと推測できる。そのため、空中落下法を行う際には、極力分級しないように均一な供試体を作製する必要がある。ただし、湿潤締固め法による供試体の高位な構造の形成には締固め時のサクシオンの効果も寄与しているとも考えられる。

以上のことから礫と細粒分が混入した砂質土を使用して、土質パラメータを室内試験で求める場合は、供試体作製時の含水条件によって結果が異なることに注意する必要がある。

参考文献： 1) Ishihara: Liquefaction and Flow Failure during Earthquakes, Géotechnique, 43(3), 351-451, 1993.

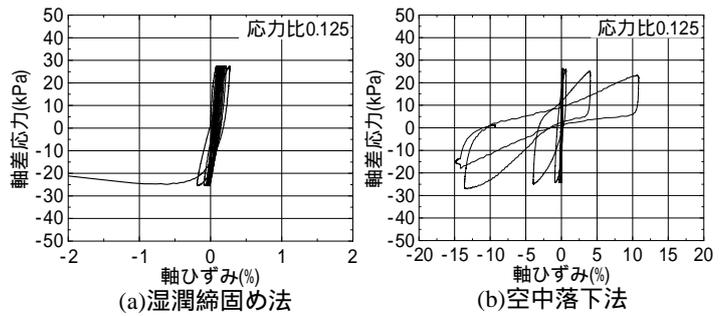


図4 応力～ひずみ関係

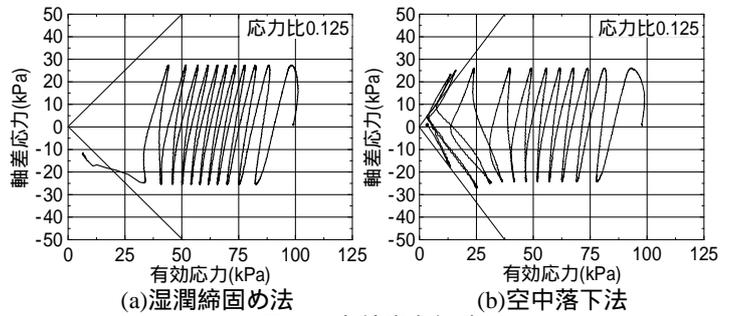


図5 有効応力経路

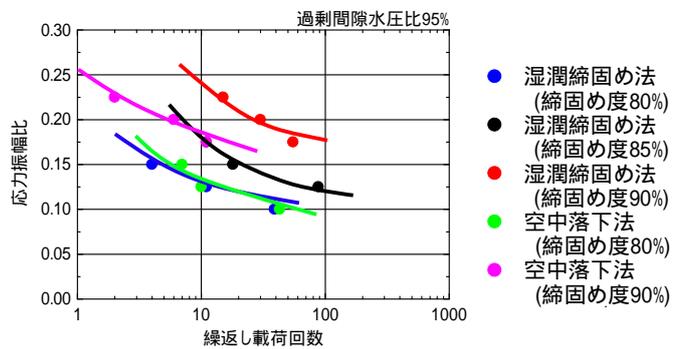


図6 液状化強度曲線



写真1 湿潤締固め法で作製した供試体の全体(左)と75倍で拡大した写真(右)



写真2 空中落下法で作製した供試体の全体(左)と75倍で拡大した写真(右)