

供試体再構成時の含水比の違いによる礫混じり砂の変形・強度特性の変化

礫混じり砂, 含水比, 三軸圧縮試験

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 ○兼松祐志・森 涼香
 建設技術研究所 国際会員 李 圭太

1. はじめに

河川堤防の浸透時のすべり破壊の照査に用いる強度定数は、再構成試料による室内試験で求めることが一般的であるが、その際の供試体の再構成方法、密度、粒度調整法等の諸条件について明確に定められていない。しかし、砂礫材料で供試体を再構成する際には、粒度調整法や供試体密度によって力学特性が大きく異なることも指摘されている¹⁾など、供試体再構成法は試験結果に及ぼす影響が大きい。本報では、供試体作製時の含水比の違いによって、供試体に形成される骨格構造が異なり、その結果としてせん断挙動が異なることを実験的に示す。

2. 試験の概要

試験試料は鳥取県小鴨川の河川堤防で採取しており、図1の黒のプロットに原粒度試料を、赤のプロットに粒度調整試料を示す。本試験の供試体直径は5cmであるため、せん頭粒度法を用いて9.5mm以上の礫を除外した。また、突固めによる土の締固め試験(JIS A 1210 A-a法)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。今回用いた含水比は、0% (自然乾燥状態), 3%, 5%, 10% (最適含水比), 14%である。供試体は、含水比調整したのち、直径5cm, 高さ10cmのモールド内で軽く突き固めて作製した。なお、突固め後に自立できない含水比が低い供試体においては、三軸試験装置に設置した2割モールドを用いて作製し、そのまま負圧をかけて自立させた。いずれの初期含水比の供試体も、三軸試験装置に設置後、2重負圧法によって完全飽和化(B値0.95以上)した。

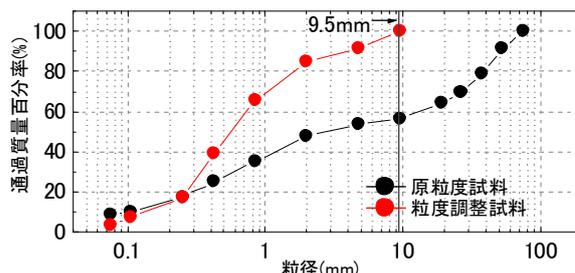


図1 実験試料の粒度分布

表-1 単調載荷試験の供試体の圧密終了後の間隙比

供試体作製時の含水比 (%)	締固め度 (%)		
	80	85	90
0	0.565	0.519	0.465
3	0.549	0.492	0.475
5	0.554	0.503	0.451
10	0.589	0.513	0.439
14	0.598	0.499	0.439

有効拘束圧100kPaで1時間圧密した後、せん断を行う。表-1

に圧密後の間隙比を示す。圧密後の間隙比にばらつきは見られるが、供試体作製時の含水比に依存する有意な差はないと判断した。なお、載荷速度は0.1%/minである。

3. 試験結果

図2に軸差応力~軸ひずみ関係を示す。締固め度80%の場合、供試体作製時の含水比(以下、単に含水比と記す)が14%と10%では、軸差応力が最大値に達した後、ひずみ軟化挙動が見られる。含水比5%では、軸差応力の最大値は14%、10%に比べて小さくなっているが、ひずみ軟化の度合いが小さいため、最終的な軸差応力は大きくなっている。含水比3%、0%では、ひずみ軟化がごくわずかに見られた後に硬化に転じて、軸差応力が増加する。応力~ひずみ曲線の初期立ち上がりは、供試体作製時の含水比によらずほぼ同一であるが、せん断後半になるにつれて差が顕著になる。この差は、締固め度が高くなるにつれて一層顕著になる。

図3に有効応力経路を示す。締固め度80%の場合、含水比14%、10%では、ゆる詰め傾向を示していることが分かる。含水比5%ではひずみ軟化の程度が小さくなり、さらに含水比3%、0%となると正のダイレイタンスー挙動が見られる。また、最大軸差応力に至るまでの経路を見ると、含水比が高いほどせん断初期の有効応力経路の増加度合いが大きく、弾性挙動が大きいことがわかる。締固め度85%の場合には、さらに上述の傾向が顕著になり、含水比14%、10%では弾性挙動後に急激な脆性破壊によるひずみ軟化を呈し、含水比5%以下では、せん断初期から塑性圧縮が顕著に見られ、含水比3%と0%では変相後の正のダイレイタンスーが発現している。締固め度90%の場合には、いずれの含水比でも密詰め傾向のせん断挙動を示しているが、やはり含水比の高い14%と10%では、せん断初期に弾性挙動を示している。

以上のように、供試体作製時の含水比によってせん断挙動が大きく異なることが明らかとなったが、それには各供試体が有する骨格構造が関係していると考えている。そのため、供試体を三軸試験機に設置し、飽和させた後に試験機から取り出し、観察を行った。写真-1に含水比10%、写真-2に含水比0%の供試体全体写真と拡大した写真を示す。供試体の全体写真から、含水比10%の供試体は均質な表面となっていることがわかる。しかし、含水比0%の供試体では、

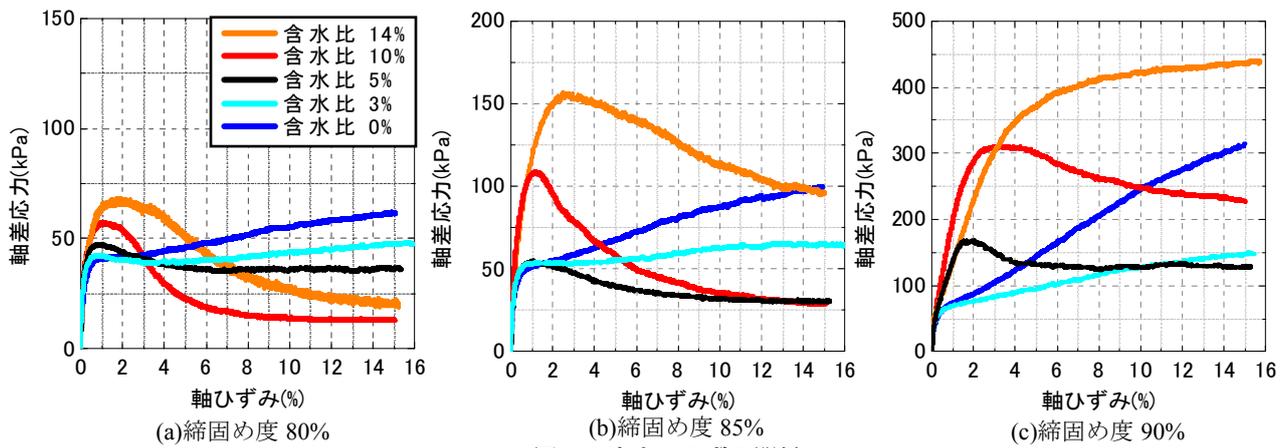


図 2 応力～ひずみ関係

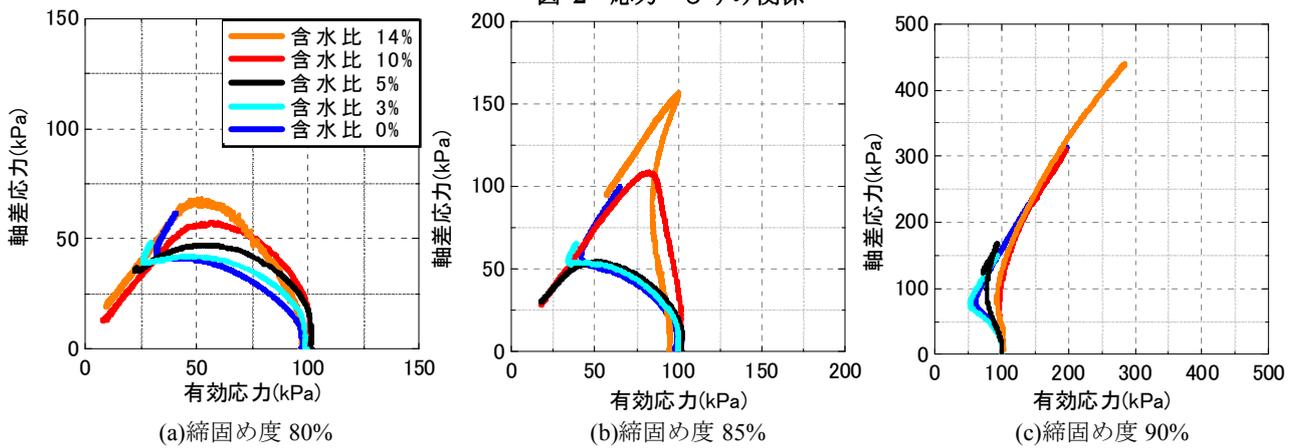


図 3 有効応力経路

礫が多い所と細粒分が多い所に分かれており、目視でも不均一性が確認できる。拡大写真に着目すると、含水比 10%では礫の周りに細粒分がついているが、含水比 0%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。含水比 10%の供試体は、あらかじめ含水比調整を行ったため、モールドに試料を投入する以前から、サクシヨンの作用によって粗粒分の周りに均一に細粒分が分布するため、比較的卓越した骨格構造が形成されるものと考えられる。一方、含水比 0%の供試体では、乾燥試料を自然落下させ、突き固めた際に細粒分と粗粒分との分級が進み、骨格構造が形成されづらいと考えられる。供試体作製時の含水比が高い供試体ほど、締固めて供試体を作製する際には強く突き固める必要があったが、これは含水比が高い供試体ほど骨格構造が高位であることと調和的である。骨格構造が卓越した含水比 14%と 10%の供試体では、せん断初期に弾性挙動をする反面、せん断が進行すると急激な脆性破壊を呈する傾向が強いが、顕著な骨格構造を持たない含水比 3%と 0%では、せん断初期から塑性的なせん断特性を示している。なお、せん断特性の傾向が変わるのは、締固め度にかかわらず含水比 5%となっている。

4. まとめ

供試体作製時の含水比の違いによって形成する骨格構造が大きく異なり、しかも完全飽和後もその骨格構造が維持される。そのため試験で得られる力学特性も大きく異なることが示された。不攪乱試料で試験を実施しない限りは、通常は自然乾燥試料を再構成して供試体を作製する。しかし、河川堤防は湿潤状態で築堤されていることも多く、実際の堤防の力学特性を得るためには、供試体作製法によって力学特性が異なることも想定しておく必要がある。今後は、供試体作製時の含水比によって異なる骨格構造が形成される要因を詳細に検討するとともに、動的試験における力学特性の差異についても検討してゆく予定である。なお、別報にて、本試験のシミュレーションを通して骨格構造の相違について検討した結果を示す²⁾。

参考文献：1) 小高猛司, 板橋一雄, 中島康介, 牧田祐輝, 李圭太, 上村俊英, 坪田邦治, 加藤雅也：河川堤防砂礫の変形・強度特性の評価手法に関する考察, 地盤工学ジャーナル, 5(2), pp193-205, 2010. 2) 小高ら：構造の異なる礫混じり砂再構成供試体の三軸試験シミュレーション, 地盤工学研究発表会, 2012.



写真-1 含水比 10%で作製した供試体の全体と拡大写真



写真-2 含水比 0%で作製した供試体の全体と拡大写真