

細粒分を含む築堤材料の締固め時に形成する骨格構造と力学特性に及ぼす影響

名城大学大学院	学生会員	○藤田 薫
名城大学		早坂 直
名城大学	正会員	小高猛司
中部土質試験協同組合	正会員	久保裕一

1. はじめに

河川堤防の質的強化や樋管等の構造物の建設の際には、堤防の築堤材料としてある基準の粒度の幅に調整した購入土が用いられることが多い。その際の粒度調整には、締め固めやすく、また、透水性を低下させる目的で適度な細粒分を含むように粘土やシルトが混入される場合もある。我々の研究グループは、細粒分を適度に含む砂質土では締め固め時の初期含水比によって形成される骨格構造が大きく異なり、それが力学特性に大きな影響を及ぼすことを示してきた¹⁾。本報では、実河川堤防の整備に使用された築堤材料を用いて、締め固め時に形成される微視的な骨格構造をマイクロスコープで示すとともに、その骨格構造を有する実河川堤防土の力学特性について検討を行う。

2. 試験条件

図1に今回対象とした築堤材料の粒度分布を示す。三軸試験を実施するために、粒径9.5mm以上の礫を取り除き、密度補正を施した。粒度調整試料の粒度分布が図1の赤線であり、細粒分含有率は約35%となった。供試体の大きさは、直径50mm、高さ100mmの円柱供試体であり、外部の鋼製モールドで5層に分けて作製した。今回の試験では、初期含水比を5、10、14%（最適含水比）

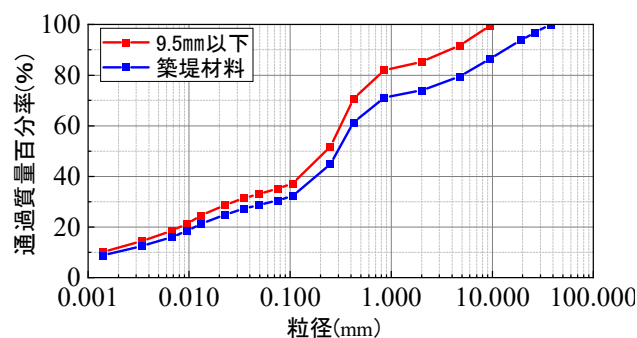


図1 実河川堤防土の粒度分布

の3種類に調整し、締め固め度90%となる間隙比で供試体を締め固めて作製した。その後、二重負圧法で完全飽和化し、初期有効拘束圧50、100、150kPaで等方圧密し、非排水せん断条件で三軸試験を実施した。

3. 供試体の観察

写真1に初期含水比が異なる供試体の表面をマイクロスコープで撮影したものを示す。写真1から、締め固め時の初期含水比が高くなるにつれて、細粒分同士の凝集性（団粒化）が高くなっていることが分かる。また、初期含水比10、14%の写真からは、団粒化した細粒分が、粒径が大きい土粒子同士の間に付着している様子が見られた。さらに最適含水比である初期含水比14%の供試体では、団粒化した細粒分の塊が一つの粒子として噛み合わさり、構造を形成しているように見える。一方、初期含水比5%の供試体では、わずかな細粒分の団粒化は確認できるが、明確な構造を形成しているようには見えない。紙面の都合上示していないが、完全飽和後にもマイクロスコープで観察を行い、これらの構造が維持されていることを確認している。



(a) 初期含水比5%



(b) 初期含水比10%



(c) 初期含水比14%

写真1 初期含水比が異なる供試体の表面

4. 試験結果

表 1 に三軸試験に用いた試料の圧密後間隙比を示し、図 2~4 に三軸試験から得られた有効応力経路、軸差応力~軸ひずみ関係を示す。表 1 と図 2~4 から間隙比がほぼ等しい値であっても、供試体作製時の初期含水比を変えたことで、完全飽和後の試験結果が大きく異なる。また、図 3 と 4 より、初期含水比が高いほど軸差応力のピーク値が大きく現れるが、有効応力経路より、初期含水比が高いほどピーク値に至るまでの塑性圧縮量が小さく、弾性膨張が抑えられていることがわかる。すなわち、高い初期含水比で作製した供試体ほど骨格構造が高位なことを示唆している。また、明確な軸差応力のピーク後には、脆性破壊を示唆する急激なひずみ軟化挙動を示している。高位な骨格構造によって高いピーク強度まで耐えられる一方で、崩壊を始めた後には容易には止まらない材料であると言える。図 2 の初期含水比 5% の試験結果からは、比較的大きく塑性圧縮した後に変相し、正のダイレタンシーの拘束によるひずみ硬化挙動が示された。この挙動は、骨格構造が低位な砂質土によく見られる挙動である。

図 5 に有効応力で整理したモールの応力円と破壊規準線を示す。細粒分含有率 35% であっても、いずれの供試体でも粘着力の発現は見られない。内部摩擦角は、初期含水比が高くなるにつれてやや増大するが、破壊時での評価であるため大きな差は生じていない。

5. おわりに

締固め時の不飽和状態で形成された骨格構造であっても、完全に飽和して、さらに等方圧密履歴を受けた後もその骨格構造は残存し続ける。その結果、マクロな間隙比が同一であっても、骨格構造が異なることにより、破壊に至るまでの力学挙動は大きく異なる。その相違は、変形ならびに液状化強度に大きく影響を及ぼすと考えている。また、この築堤土の浸透すべり破壊に対する強度評価については、小ひずみ、かつ、低有効応力条件で評価する吸水軟化試験で別途検討したが、締固め度 90% では極めて浸透すべり耐性が低いことが示されている。

参考文献: 1) 御手洗ら：砂質土の構造が単調ならびに繰り返し載荷挙動に及ぼす影響, 第 54 回地盤工学研究発表会, 2019.

表 1 各供試体の圧密後間隙比

圧密後間隙比		初期含水比		
		5%	10%	14%
拘束圧	50kPa	0.769	0.732	0.722
	100kPa	0.763	0.730	0.714
	150kPa	0.782	0.758	0.737

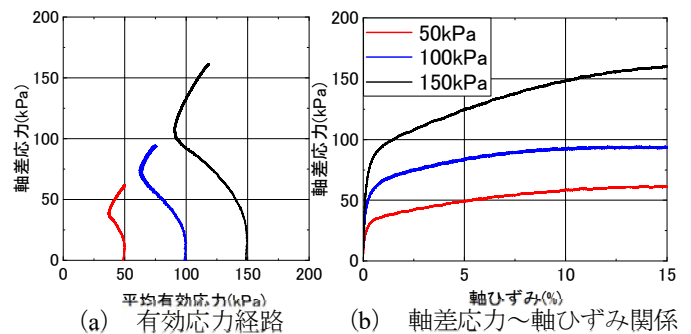


図 2 初期含水比 5% の試験結果

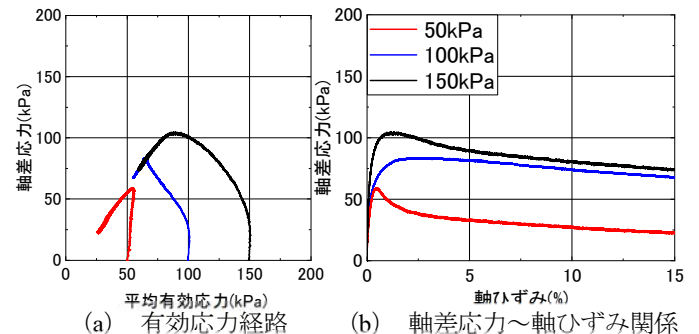


図 3 初期含水比 10% の試験結果

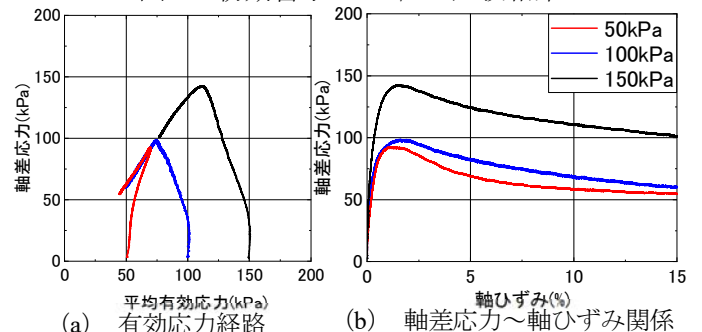


図 4 初期含水比 14% の試験結果

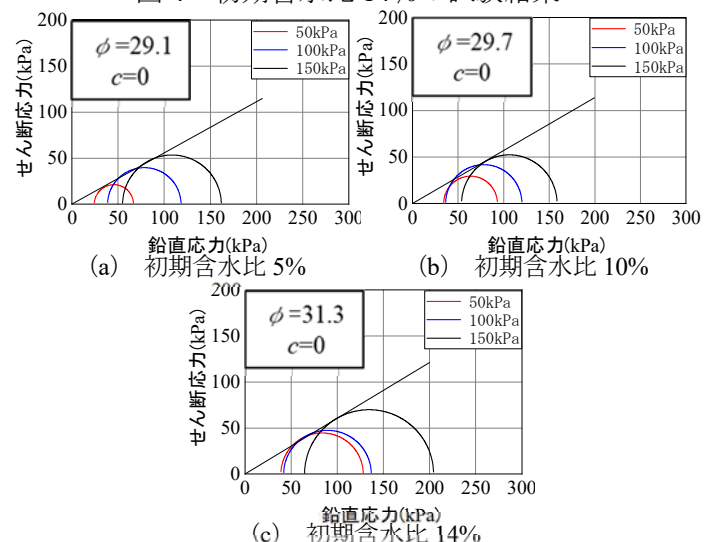


図 5 有効応力のモールの応力円と破壊規準