

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

液状化強度 砂質土 構造

名城大学

国際会員 小高猛司

名城大学

学生会員 ○御手洗翔太・長瀬聡良

建設技術研究所

国際会員 李 圭太

中部土質試験協同組合

国際会員 久保裕一

1. はじめに

骨格構造の概念を持たない一般的な土質力学では、せん断強度は間隙比によって決まると考えるのが通常である。本報では、供試体作製時の初期含水比を変えることによって、同じ間隙比であっても骨格構造が大きく異なる砂質土供試体を作製できる¹⁾ことを利用し、単調載荷と繰り返し載荷時の力学挙動に骨格構造が及ぼす影響を示す。具体的には、供試体作製時の含水比が高いほど、団粒化した細粒分が粗粒土の周りに強固な骨格構造を形成するために、載荷初期には弾性が卓越して比較的高い抵抗性を示すものの、一旦骨格構造が崩壊し始めると脆性的な破壊を示すことを示す。

2. 試験条件

試験試料は、三河珪砂 4 号と 6 号、およびシルト分に富む野間精配砂を 3:1:3 の重量比で配合したものである。図 1 に試験に使用した混合試料の粒度分布を示す。この配合割合は、実堤防砂（千歳川北島堤防）の粒度に合わせて決めた。表 1 に本試験で使用した各供試体の諸元を示す。単調ならびに繰り返し三軸試験に使用する供試体の粒度や密度は図や表に示すようにほぼ一緒になるよう合わせた。各初期含水比は 0%, 5%, 10%とし、この 3 ケースで非排水せん断試験を実施した。供試体作製においては、初期含水比 5%および 10%のケースでは、乾燥状態の試料を所定の配合で十分に混合した後に、所定の含水比になるように蒸留水を加水し、均一になるように十分に攪拌混合した。その混合試料をモールド内で所定の密度となるように 5 層に分けて締め固めて高さ 100mm, 直径 50mm の供試体とした。一方、初期含水比 0%のケースでは、三軸試験装置にゴムスリーブを被せたモールドを設置し、乾燥状態の試料を空中落下させて供試体を作製した。いずれの供試体も、乾燥あるいは不飽和状態で供試体を作製するが、その後二重負圧法を用いて完全飽和させてから圧密非排水せん断試験を実施する。繰り返し載荷試験の拘束圧は 3 ケース共に 100kPa とし、周波数 0.01Hz で載荷した。

3. 試験結果

図 2 に単調載荷試験の有効応力経路を示す。初期含水比 0%の有効応力経路に着目すると、せん断初期で急激な塑性圧縮をして変相状態に到達し、その後は正のダイレイタンスの拘束によってせん断終了まで軸差応力が上昇している。初期含水比 5%の場合、0%と同

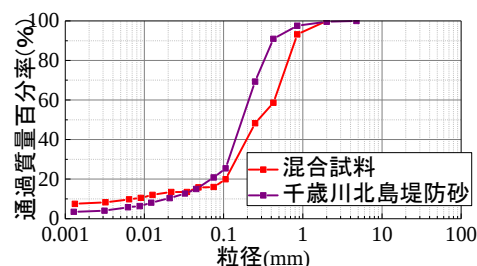


図 1 試験試料の粒度分布

表 1 三軸試験に使用した各供試体の諸元

試験条件	初期含水比[%]	拘束圧 [kPa]	圧密後間隙比
単調 載荷試験	0	50	0.637
		100	0.614
		150	0.608
	5	50	0.679
		100	0.645
		150	0.651
	10	50	0.659
		100(1)	0.656
		100(2)	0.645
繰り返し 載荷試験	0	100	0.622
	5		0.614
	10		0.624

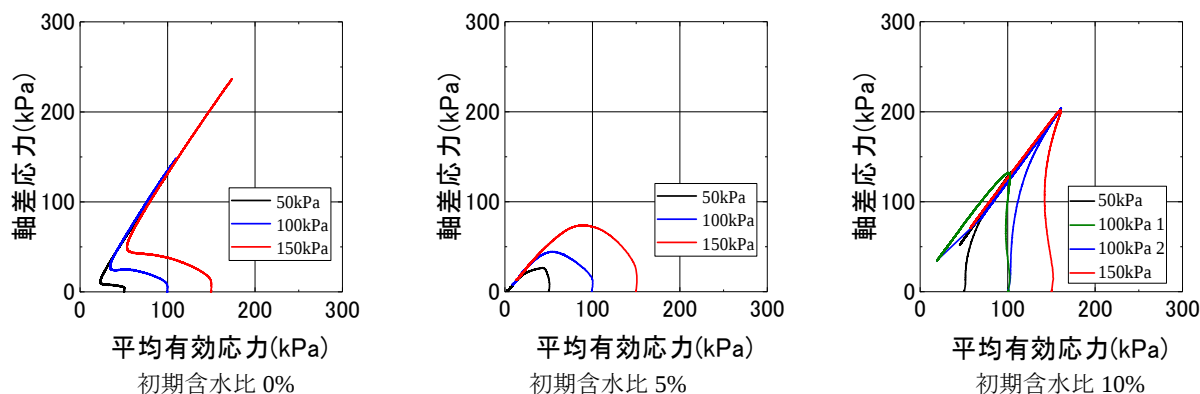


図 2 単調載荷試験結果

様に塑性圧縮は呈するが、軸差応力のピークまでは 0%と比較して高い剛性を示している。しかし、ピーク後は急激に軟化挙動を示し、静的液状化に近い状態を示す。初期含水比 10%では、0%, 5%と比較して、せん断初期に明確な弾性応答を示し高い軸差応力まで達するものの、その後急激な脆性崩壊を示す。

図 3 に繰返し載荷試験の結果を示す。初期含水比 5 と 10%では、繰返し載荷毎の有効応力の低下の度合いが小さく、軸ひずみも非常に小さい。しかし、有効応力がゼロに近づき液状化に至った途端に大きな軸ひずみが一気に発生している。これは単調載荷における脆性破壊の傾向と全く同じである。初期含水比 0%の場合には、せん断初期から繰返し載荷毎の有効応力の低下の度合いが大きく、比較的大きな軸ひずみも載荷初期から発生している。

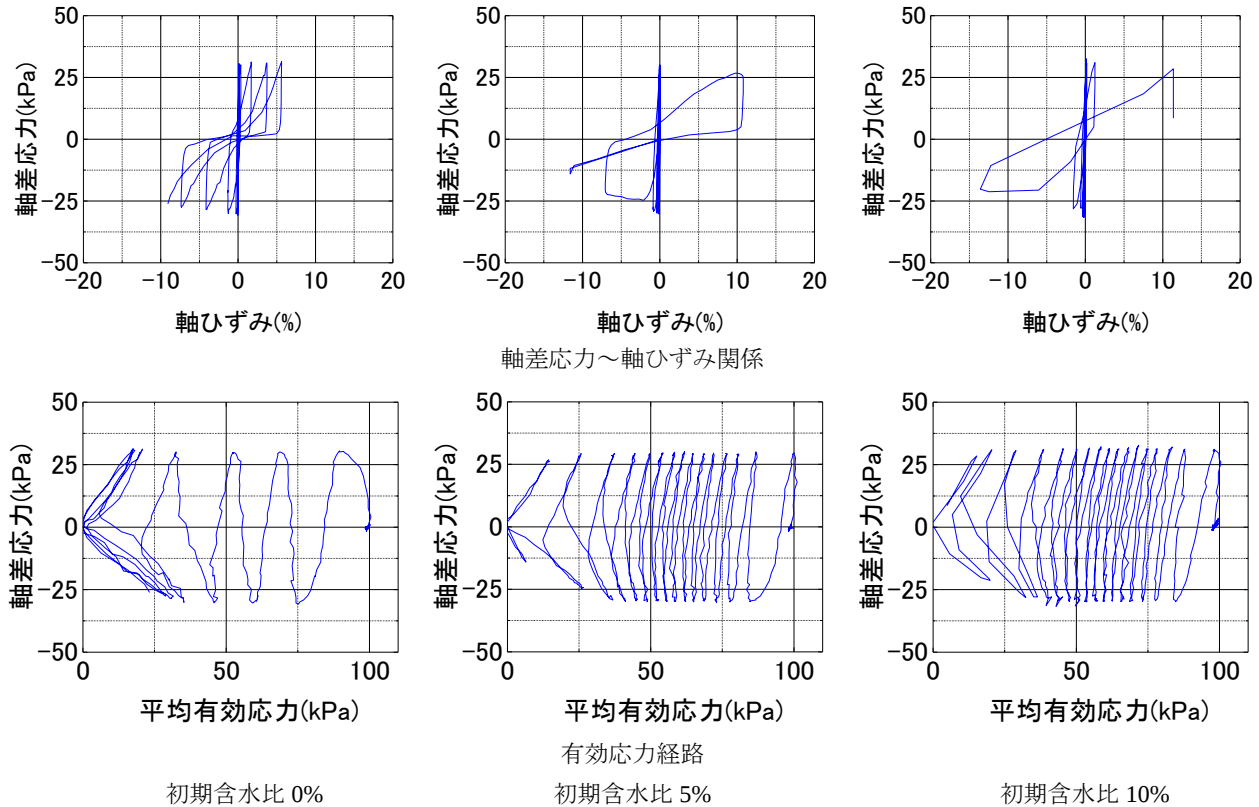


図 3 繰返し載荷試験結果

図 4 に他の繰返し応力比（応力振幅比）での試験結果を含めた液状化強度曲線を示す。繰返し載荷時の初期の挙動の違いを反映して、初期含水比 5, 10%と比べて、初期含水比 0%（乾燥砂）で作製した供試体の液状化強度は明確に低く現れている。かつて、自然堆積の不攪乱砂と再構成砂との液状化強度の違いについて、乱れをベースに議論され、現場の液状化強度は凍結サンプリングなどの高品質な不攪乱試料でなければ正確な予測は困難という共通認識ができていた。本報の試験結果は、砂供試体において骨格構造を形成している要因を明確にすることによって、人為的に不攪乱試料を再構成できる可能性を示唆している。

4. まとめ

供試体作製時の初期含水比の違いによって、単調載荷試験のみならず、繰返し載荷試験においてもせん断挙動が大きく異なることが示された。今回の場合には、供試体作製時において、異なる含水比によって土粒子間に発生するサクシオンも異なり、含水比が大きくなるに従って細粒分が粗粒分の周りに凝集することによって骨格構造が形成されたと考えている。本紙には示していないが、マイクロスコープによるそれぞれの供試体の表面の観察により、各供試体の土粒子構造の違いを明確に観察できている。不飽和状態で形成されたその骨格構造の違いが、完全飽和した後も、さらには等方圧密した後も残存しつづけているために、それぞれの供試体における試験結果が大きく異なったと考えられる。

本報で示した繰返し載荷試験の結果の相違は、砂質土においては骨格構造と乱れが密接に関係していることを暗示している。すなわち、乱れを骨格構造の変化（劣化）と捉えることによって、その骨格構造の生成要因を明確にすれば、不攪乱試料と同等の試験結果を再構成試料から得ることができると考えている。

参考文献：1) 小高ら：河川堤防砂の構造の程度が力学特性の評価に及ぼす影響，河川技術論文集，18，339-344，2012。

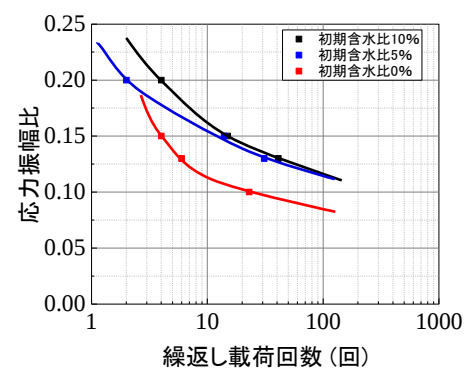


図 4 液状化強度曲線