

砂質土の骨格構造の違いが液状化特性に及ぼす影響に関する三軸及び振動台試験

三軸試験 構造 液状化

名城大学
名城大学
名城大学大学院
中部土質試験協同組合
日本工営株式会社

国際会員 小高猛司
学生会員 ○山下隼史・山下諒也・西村悠悟
学生会員 藤田 薫
国際会員 久保裕一
国際会員 李 圭太

1. はじめに

本研究グループでは細粒分を含む砂質土において、供試体作製時の初期含水比を変えることによって、異なる骨格構造を有する供試体を作製できることを明らかにした¹⁾。すなわち、供試体を締め固めて作製する際に、含水条件によって細粒分の団粒化の度合いが異なり、それら団粒化した細粒分が粗粒分の周囲に付着することで骨格構造を形成する（後述の写真 1）。本報では 2 種類の骨格構造の異なる砂質土の供試体を用い、三軸試験による単調載荷および繰返し載荷試験を実施する。さらに振動台試験を行い要素試験の挙動との比較を行う。

2. 試験の概要

試験試料は、三軸試験、模型試験ともに三河珪砂 4 号と 6 号、および野間精配砂を重量比 3 : 1 : 3 で配合したものである。図 1 に試験で使用する混合試料の粒度分布を示す。この配合割合は、実堤防の千歳川北島堤防の粒度に合わせて決めた。表 1 に三軸試験の諸元を示す。三軸試験では供試体作製時の初期含水比を 0%、10%と変化させ試験を実施した。初期含水比 10%は、乾燥試料を所定の含水比になるように蒸留水を加水し、均一になるまで十分に攪拌した。その後、湿潤試料をモールド内で所定の密度（間隙比 $e=0.7$ ）となるように 5 層に分けて締め固め、高さ 100mm、直径 50mm の供試体にした。一方、初期含水比 0%は三軸試験装置内に 2 つ割モールドを設置し、自然乾燥試料を 5 層に分けて供試体を作製した。写真 1 に供試体作製時のマイクロスコープによる観察画像である。初期含水比 10%の供試体では、細粒分の団粒化による骨格構造が形成されている。いずれの供試体も二重負圧法による完全飽和化を行うが、飽和後も写真 1 の骨格構造が維持されていることを別途確認している。CUB 条件による単調載荷試験は載荷速度は 0.1%/min、繰返し載荷試験は周波数 0.1Hz で載荷した。

図 2 に振動台模型の概要を示す。土槽の底部に通水孔を開けたアクリル板仕切られた給水槽が設置してある。模型地盤は、1 層あたり 20mm とし、5 層に分けて締め固めを行い、間隙比 $e=0.7$ となるように図の寸法の模型地盤を作製した。水頭差による地盤底部からの浸透による飽和化後、模型地盤を小型振動台の上に設置し、周波数 6Hz、振幅一定の正弦波を入力波で振動させた。計測項目は振動台の加速度と地盤内の過剰間隙水圧である。間隙水圧計は図 2 に示す地盤表面から深度 85mm および 45mm の位置に設置した。

3. 試験結果

図 3 に単調載荷試験の初期有効応力経路を示す。拘束圧 50kPa では、初期含水比 10%の供試体はピーク後の急激なひずみ軟化傾向がみられ、0%の供試体はひずみ硬化傾向を示した。拘束圧 100kPa、150kPa では初期含水比の違いにかかわらず、ひずみ硬化傾向を示した。初期含水比 0%は拘束圧にかかわらず 10%より大きく正のダイレイタンスを発現した。また、変相点を比べると初期含水比 10%の方が軸差応力が大きく、また有効応力の減少量が小さい。したがって、初期含水比が高い 10%の供試体の方が初期剛性が高いことがわかり、写真 1 のように明確な骨格構造を形成していることと明確な関連があると考えられる。図 4 に繰返し載荷試験の有効応力経路および軸差応力～軸ひずみ関係を示す。

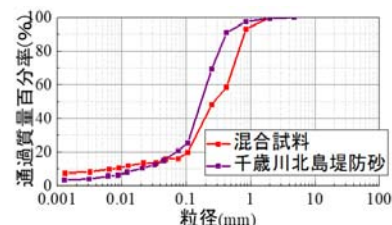


図 1 試験試料の粒度分布

表 1 三軸試験の諸元

試験条件	初期含水比(%)	拘束圧(kPa)	圧縮後間隙比
単調載荷試験	0	50	0.676
		100	0.659
		150	0.657
	10	50	0.674
		100	0.671
		150	0.667
繰返し載荷試験	0	100	0.661
	10		0.671

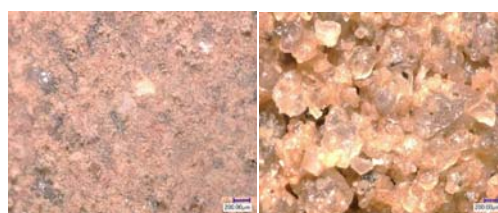


写真 1 供試体のマイクロスコープ画像

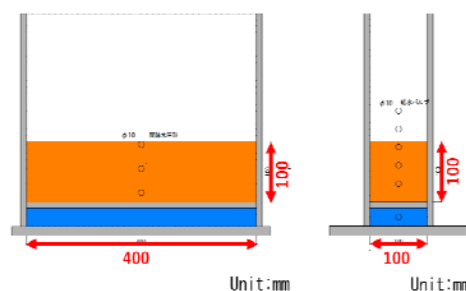


図 2 振動台模型の概要

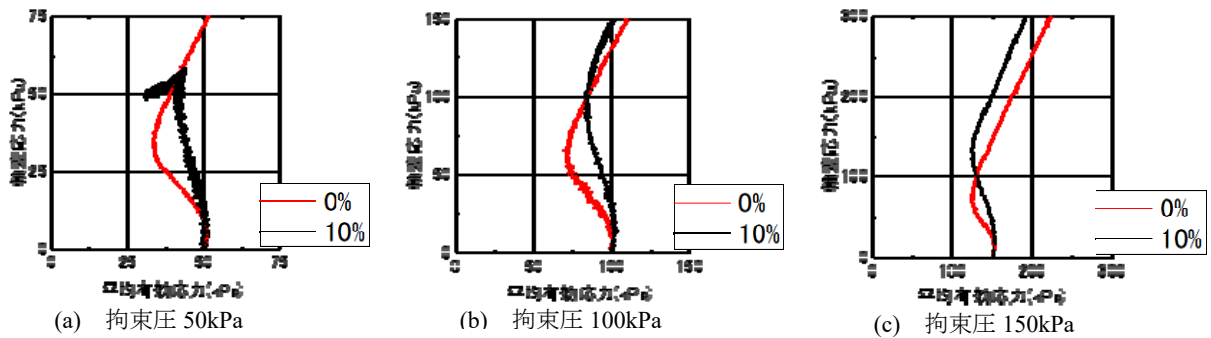


図3 単調載荷試験結果

本報では割愛しているが、初期含水比 0%および 10%の液状化強度比 RL20 は、それぞれ 0.095 および 0.154 であり、明らかに初期含水比 10%の液状化強度が高かった。図 4 は $N_c=20$ に近いデータで比較している。初期含水比 10%では、過剰間隙水圧が上昇して有効応力が 95%程度消失した途端に急激に軸ひずみが増加して液状化した。一方、初期含水比 0%では、有効応力が原点に近づいてからも、剛性の劣化と回復を繰り返すサイクリックモビリティ現象が確認され、軸ひずみも徐々に増加する傾向が見られた。有効応力経路には単調載荷試験での変相線を示すが、三軸試験は圧縮試験のみであるため、圧縮側の変相線のみを参考とする。有効応力経路において圧縮側で変相応力比を超えた付近を境に、軸ひずみ量が急激に増加して液状化に至る事を確認している。

図 5 に振動台試験での過剰間隙水圧の経時変化を示す。過剰間隙水圧の増加は、明らかに初期含水比 0%で作製した模型地盤の方が早いことがわかる。さらに、要素試験で観察されたサイクリックモビリティ現象に起因すると思われる大きな振動が、載荷周波数と同期して発生している。一方、初期含水比 10%で作製した模型地盤においては、過剰間隙水圧の増加は比較的ゆっくりであり、振動もほとんど観察されていない。この一連の結果は、初期含水比 10%で作製された地盤の方が、液状化抵抗が高いことを明確に示している。その理由として、マイクロスコプで観察されたように、初期含水比 10%の供試体は団粒化した細粒分で形成された高位な骨格構造を有しているからと考えている。さらに、その高位な骨格構造の存在によって、三軸試験の単調載荷試験では高い初期剛性が観察されるとともに、繰返し載荷試験では、高い液状化強度が確認されており、振動台試験の結果と整合している。

4. まとめ

供試体作製時の初期含水比を変えることによって、砂質土に含まれる細粒分の団粒化の程度が異なり、供試体内あるいは地盤内に形成する骨格構造が異なることが明らかになった。しかも、その骨格構造は供試体作製時の不飽和状態だけではなく、完全飽和後も維持されることが別途実施したマイクロスコプによる観察でも確認されている。さらに、その骨格構造は、特に砂質土の初期剛性に強く影響を及ぼし、液状化抵抗に大きな違いを与えることが本報の一連の試験から明らかとなった。原地盤からの凍結サンプリングによる高位な骨格構造を維持したままの不攪乱試料では、チューブサンプリングにより骨格構造が劣化した乱した試料よりも液状化強度が高く評価されることが示されているが、本報の試験結果からも、その事実の類推が可能である。

参考文献：1) 御手洗ら：砂質土の供試体作製時における初期含水比の違いが力学的挙動に及ぼす影響，第 72 回土木学会年次学術講演会，2017。

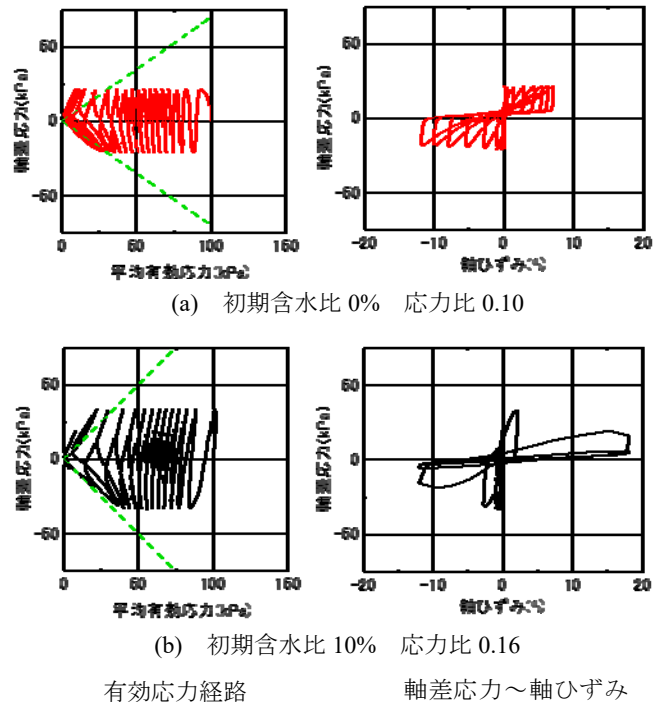


図4 繰返し載荷試験結果

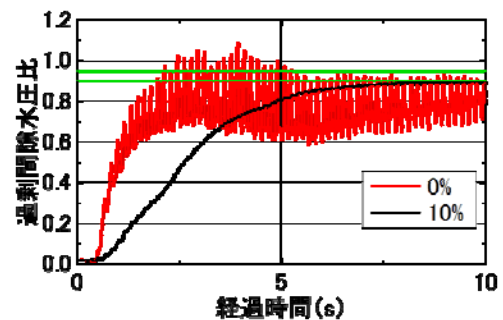


図5 振動台試験による過剰間隙水圧の経時変化
(地表面から深さ 85mm)