

Ⅲ-A106

堆積環境を考慮したまさ土の液状化抵抗

東北大学大学院工学研究科 土木工学専攻 学生員 ○糸谷寛・加賀谷俊和
東北大学大学院工学研究科 土木工学専攻 正会員 風間基樹・柳澤栄司

1. はじめに

砂の液状化抵抗は必ずしもその密度に依存せず、供試体の作成方法などで異なることが知られている。また、砂質土に含まれる細粒分の影響を調べる場合、実験室内では様々な密度で供試体を作成することができる。しかしながら、原位置にある地盤は、ある堆積環境下で形成された土である。例えば1995年兵庫県南部地震で液状化の被害を受けた神戸ポートアイランドの埋立地盤のまさ土はバージ船からまき出されたまさ土が海中を沈降し堆積したものである。このとき、まさ土は水中を落下する間に粒子の終端沈降速度に達した状態で沈降、堆積したと考えられる。福島ら¹⁾はすでにまさ土の堆積中の分級作用、まさ土の堆積構造に着目し、堆積物の互層状態が液状化強度に及ぼす影響について検討している。本研究では、土粒子の終端沈降速度を考慮した水中落下法を用いて供試体を作成した。また、まさ土の液状化抵抗は定みずみ繰返し三軸せん断試験から得られる正規化累積損失エネルギー量²⁾に基づいて評価した。

2. 試料及び堆積環境を考慮した供試体の作成方法

実験に用いた試料はポートアイランドで採取されたまさ土のうち2mmふるいを通したものである。また、豊浦砂でも実験を行い比較した。図-2は球形の土粒子が初期速度0から水中を自由落下するときの運動の解析から得られた土粒子の大きさと終端速度の99%に達するまでの水中落下距離の関係を示したものである。例えば、粒径が2mmのとき、水中で終端沈降速度に達するまでの落下距離は56.3cmとなる。本研究ではそれを目安としてその約3倍の長さ、170cmの水中を落下させて堆積した試料を作成した。堆積状態の違いによる粒度分布と液状化抵抗の違いを検討するため試料の水中への投入の仕方を変えた試料も作成した。具体的には、供試体部分を3層に分けて各120gづつ堆積させた場合の試料と、一気に360gを堆積させた場合の試料、一気にその倍の720gのまさ土を投入した試料を作成した。図-1に実験で使用した試料の粒度分布を示す。図から、一気に720g投入した試料は、分級作用によってより多くの砂分が下層に存在していることがわかる。具体的な供試体作成手順は以下の通りである。内径5cm、長さ200cmの亚克力管中に水位170cmの位置から漏斗を用いて落下させた。12cmの高さに堆積した供試体部分を取り外して水槽内に入れ、重りによる上載圧を与えて圧密を行った。上載圧は無負荷状態から30分のうちに25kPaまで、後は30分ごとに50kPa、75kPa、98kPaと段階的に圧力を上げていった。最終的に98kPaの上載圧で圧密を終了し、水槽内の水と圧密した堆積試料内の水を徐々に排水し

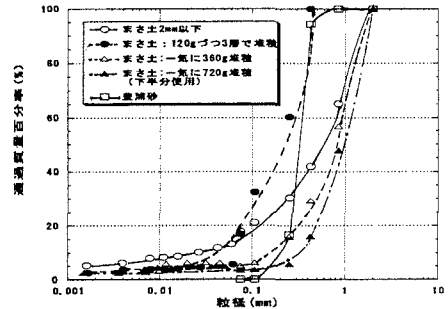


図-1 粒径加積曲線

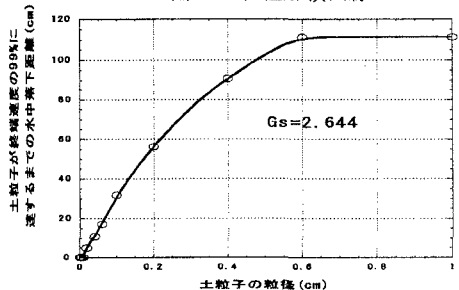


図-2 土粒子の粒径と終端速度の99%に達するまでの水中落下距離の関係

表-1 実験条件

試料No.	試料	作成方法	Dr(%)	e _i	Dr(%)	e	ε _v (%)
MA1	まさ土: Dry	空中落下	41.2	0.835	55.5	0.762	-
MA2	まさ土: Dry	空中落下	58.0	0.745	72.0	0.678	-
MA3	まさ土: Dry	空中落下	73.8	0.669	84.4	0.615	-
MA4	まさ土: Dry	空中落下	75.8	0.659	86.7	0.603	-
MA5	まさ土: Dry	空中落下	78.7	0.644	91.9	0.576	-
MA6	まさ土: Dry	空中落下	95.0	0.581	100.5	0.532	4.4
MA7	まさ土: Dry	空中落下	101.0	0.530	107.5	0.497	3.2
MA8	まさ土: Dry	空中落下	105.0	0.510	109.7	0.486	3.2
MAD1	まさ土: 水中堆積	120gづつ3層で堆積	43.9	0.821	60.6	0.736	3.9
MAD2	まさ土: 水中堆積	120gづつ3層で堆積	23.2	0.927	43.5	0.623	3.3
MAD3	まさ土: 水中堆積	120gづつ3層で堆積	33.1	0.876	50.2	0.789	3.3
MAD4	まさ土: 水中堆積	一気に360g堆積	52.2	0.779	57.8	0.750	-
MAD5	まさ土: 水中堆積	一気に720g堆積	82.5	0.728	87.0	0.703	3.7
WMA1	まさ土: Wet	直線落下(20回)	85.4	0.608	92.1	0.575	5.3
WMA2	まさ土: Wet	直線落下(50回)	103.5	0.517	108.1	0.494	5.3
WMA3	まさ土: Wet	直線落下(80回)	114.3	0.482	118.0	0.453	3.4
WMA4	まさ土: Wet	直線落下(120回)	119.0	0.438	123.0	0.418	3.3
WMA5	まさ土: Wet	稀釈き固め	109.0	0.489	110.7	0.480	3.6
WMA6	まさ土: Wet	稀釈き固め	122.8	0.420	124.3	0.411	3.6
TO1	豊浦砂: Dry	空中落下	12.1	0.922	16.1	0.907	-
TO2	豊浦砂: Dry	空中落下	42.9	0.808	45.4	0.799	-
TO3	豊浦砂: Dry	空中落下	47.4	0.791	49.9	0.782	2.1
TO4	豊浦砂: Dry	空中落下	51.8	0.775	54.2	0.769	-
TO5	豊浦砂: Dry	空中落下	65.7	0.723	67.1	0.718	1.5
TO6	豊浦砂: Dry	空中落下	77.0	0.681	78.1	0.677	-
TO7	豊浦砂: Dry	空中落下	80.8	0.667	82.0	0.663	0.7
TO8	豊浦砂: Dry	空中落下	84.8	0.652	86.3	0.647	-
TD01	豊浦砂: 水中堆積	120gづつ3層で堆積	31.9	0.849	35.4	0.836	1.6
TD02	豊浦砂: 水中堆積	120gづつ3層で堆積	41.0	0.815	44.3	0.803	1.6
TD03	豊浦砂: 水中堆積	120gづつ3層で堆積	47.3	0.792	50.7	0.779	1.5
WTO	豊浦砂: Wet	直線落下(100回)	71.9	0.700	71.4	0.702	2.5

Dr: 初期相対密度(通水前) e_i: 初期間隙比(通水前) Dr: 圧密後相対密度
e: 圧密後間隙比 ε_v: 体積ひずみ(繰返しせん断後再圧密で測定)

Keyword: 堆積環境, 累積損失エネルギー, 液状化抵抗, 体積収縮性

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉06 (TEL:022-217-7438・FAX:022-217-7435)

た。堆積試料内の水が抜けたらそのまま供試体部分を冷凍庫で凍結させた後、凍結試料を取り出して、直径5cm、高さ10cmの供試体に整形した。繰返しせん断は98kPaで等方圧密した後、定ひずみステップ載荷法で行い、正規化累積損失エネルギー量に着目して実験結果をまとめた。せん断後、排水コックを解放して再圧密を行い、その排水量から体積ひずみ ε_v を測定した。また、表-1には種々の供試体の実験条件を示す。

3. 締固めエネルギーと間隙比の関係

水中落下堆積試料の間隙比と比較するために湿潤状態（含水比8-10%）にしたまさ土と豊浦砂について重錘落下による締固めを行った。湿潤状態試料に重錘（1311.1g）を5cmの高さから落下させ、5層に分けて内径5cm、高さ10cmのモールド内に詰めた。その結果重錘の落下回数（回）と間隙比をとってこの締固めの効果を比較したものが図-3である。重錘の落下回数が試料に与えた締固めエネルギーに対応している。まさ土は豊浦砂に比べ比較的小さな締固めエネルギーで最小間隙比以下に容易に締固まることがわかる。

4. 液状化抵抗と間隙比の関係

せん断ひずみ両振幅（ D_r ）1.5%における正規化累積損失エネルギー量の上限值によって各試料の液状化抵抗を評価したところ、図-4のようになった。この図から、豊浦砂は液状化抵抗が間隙比に大きく依存するのに対し、まさ土の液状化抵抗は間隙比依存性が小さいことがわかる。また、堆積環境を考慮した試料では、豊浦砂もまさ土も液状化抵抗はどちらも間隙比によらずほぼ一定値をとる。しかし、その値は同一間隙比において、まさ土は豊浦砂の約2-3倍の値となる。さらに、堆積環境を考慮した試料と乾燥状態で作成した試料の液状化抵抗を比較すると、まさ土はその違いが見られないが、豊浦砂の場合には、間隙比が同じ場合には、水中落下試料の方が乾燥状態で作成した試料より、大きな液状化抵抗を示している。図-5は、繰返しせん断後の排水量から得られる体積ひずみ ε_v とせん断前間隙比の関係を示したものである。乾燥状態から作成した豊浦砂の体積収縮量が間隙比が大きいほど大きくなるの比べ、まさ土は、試料作成方法やせん断前間隙比との関係は明瞭でなく、豊浦砂の2倍程度の3-5%となる。なお、堆積環境を考慮した豊浦砂も間隙比が少々異なっても、体積収縮性は同じであった。

5. まとめ

まさ土は豊浦砂に比べて小さなエネルギーで締固めの効果が得られる試料であるが、その液状化抵抗や体積収縮性は間隙比にあまり依存しない特性がある。また、堆積環境を考慮して作成したまさ土は、液状化抵抗や体積収縮性は乾燥状態で作成したものと変わらない。一方、豊浦砂の液状化抵抗や体積収縮性は、間隙比に大きく依存する特性を示した。以上から、まさ土は、密度増加によって液状化抵抗を改善しにくい材料であることがわかる。

【参考文献】1) 福島他：試料の互層状態がまさ土の液状化強度に与える影響、第33回地盤工学研究発表会（山口），pp. 755-756, 1998. 2) 風間基樹，柳澤栄司，加賀谷俊和：靱性を考慮した土の液状化抵抗評価法の提案、液状化とメカニズム・予測法と設計法に関するシンポジウム，1999年5月

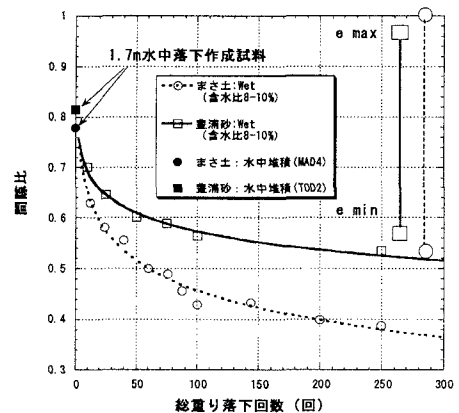


図-3 締固めエネルギーと間隙比の関係

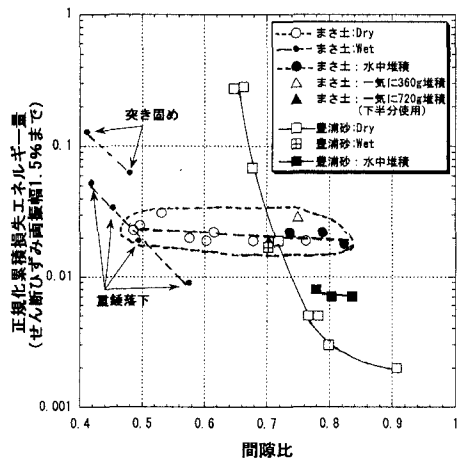


図-4 正規化累積損失エネルギーと間隙比

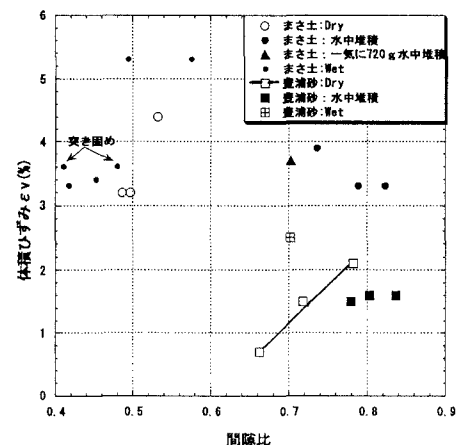


図-5 ε_v - e 関係