

非塑性シルトの静的強度特性と堆積構造の相違

みらい建設工業(株) 正会員 ○足立 雅樹
徳山工業高等専門学校 正会員 島袋 淳
茨城大学 フェロー会員 安原 一哉

1. はじめに

千葉県東方沖地震(1987)以降, 北海道南西沖地震(1993)を始めとして海岸埋立地盤を中心に液状化が発生し, 非塑性もしくは低塑性シルトの細粒分を含んだ砂質地盤やシルト地盤で多くの液状化が確認されている(1,2,3). しながら, シルト質土のような細粒土に対しては砂のように十分な基礎研究がなされていない. その理由の一つとして, 液状化特性及び液状化後特性を室内試験によって調べる際に, 密度規定などの供試体作性時の初期条件を統一的に規定する方法が研究者によって異なっている事が挙げられる. これまでに, 著者ら(4), 島袋ら(5)はシルトの密度規定を統一した方法を用いて3種類の地盤(人工盛土, 埋立地盤, 緩く堆積した地盤)を想定して供試体を作性し, 非塑性シルト質土の非排水三軸圧縮試験を行い強度特性の相違を確認している.

本研究は, 静的強度特性の相違が堆積構造の違いとどのように関わっているかについて特に考察した.

2. 試料および供試体の作成方法

本研究では, 既報(4,5)と同様に岩石を粉砕して生成された市販のDLクレーと呼ばれる非塑性シルト質土を用いた. 図-1にはDLクレーの粒径加積曲線と, 比較のために豊浦標準砂および千葉県東方沖地震で液状化により生じた噴砂の粒径加積曲線(1)も併記している. 表-1に試料の物性値を示す. ここで, 表中の最大乾燥密度, 最適含水比はJISで規定された締固め試験によって求めた. 用いたシルトの締固め試験結果は文献(4,5)を参照.

供試体密度を規定するパラメータとして最大乾燥密度 rho_dmax を用いた. 一般に砂では相対密度 Dr を用いるが, 本研究で用いたシルトに対しては最大・最小間隙比を求めることが困難なため, 締固め試験から得られる rho_dmax を用いた. このようにすると, 砂等の他の試料との強度特性などの比較が可能である.

本研究で用いたシルト質土供試体の密度は, 締固め法は rho_dmax の91%, 水中落下法は rho_dmax の90%とした. 自然落下供試体では rho_dmax の70%と規定した. これらの供試体の概略の作性方法は以下のとおりで, 詳細な作性法については文献(4)を参照されたい.

- (a) 締固め法: この方法は盛土など人工的に締固めた地盤を対象としている. 所定量の試料に最適含水比になるよう水を加え, ランマーを用いて試料を締固めて供試体を作性する方法である.
(b) 水中落下法: この方法は土砂を水中に埋め立てた地盤を対象としている. モールド内に脱気水を入れモールド内に, ロートを用いて湿潤試料を入れ, 上から重りを載せる. その後, コックを開き排水状態にする事により, 締固め法と同様の密度になるような供試体を作性する.
(c) 自然落下法: この方法は静的な締固め力によって密な供試体になり, 堆積した地盤を想定した場合の土供試体の構造を正しく再現する方法である. 所定の試料に最も容易に供試体作性が可能で含水比20%前後を加え, 試料をスプーンで3層に分けて入れて供試体を作成する. その後, 非排水三軸圧縮試験を行った. 詳細の試験方法は, (4,5)を参照されたい. 結果は, 図-2に示すとおりで供試体の作成方法が異なる

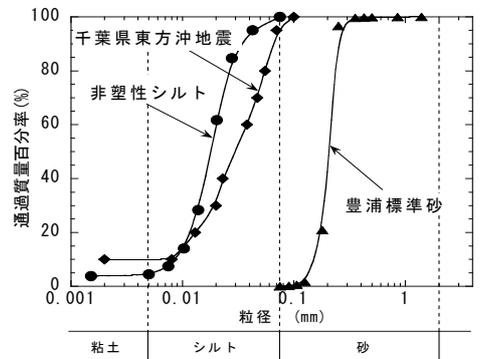


図-1 粒径加積曲線(4,5)

表-1 試料の物性値(4,5)

土粒子密度 rho (g/cm³)	最大乾燥密度 rho_dmax (g/cm³)	最適含水比 w_opt (%)	塑性指数	備考
2.53	1.55	21.1	N.P.	岩砕粉末

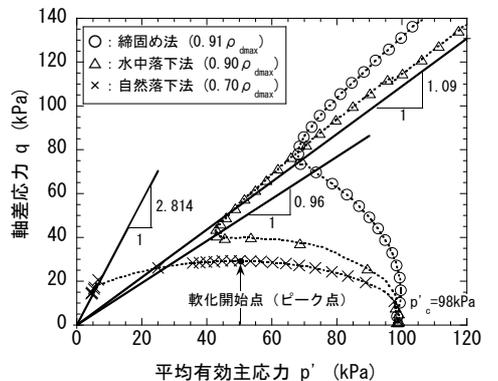


図-2 非排水静的せん断時の有効応力経路に及ぼす供試体作性法の影響

キーワード: 非塑性, シルト, 堆積構造

連絡先: 〒108-0014 東京都港区芝 4-8-2 みらい建設工業(株) 技術本部 Tel.03-6436-3719 FAX:03-6436-3737

ことによって応力経路が異なっていることが分かる。

3. 結果と考察

(1)電子顕微鏡写真

シルトの堆積構造の相違の確認は電子顕微鏡（以下、SEM）写真を用いて行った。SEM 写真の撮影は 1cm 角程度の大きさで行う。そこで、上記の供試体作成方法にしたがって作成した 5cm×10cm の円柱状の供試体の中央部付近から 1cm 角程度の撮影用試料を切り出した。ここで、自立しない供試体についてはまず供試体の構造が破壊されない程度の時間（20～30 分）供試体を凍結させた後、供試体を 1cm 角程度の大きさに切り出した。SEM 写真では試料の水分を飛ばす必要があるが、水分を飛ばすことによって堆積構造が破壊されてしまう恐れがある。そこで、構造の破壊を防ぐため、1cm 角の供試体内に市販の導電性の硬化剤（本研究では、テクノビット 4000 を使用）を流し込み試料を固化させた（図-3 参照）。

SEM 写真撮影にあたりシルト粒子への帯電現象を防ぐため、イオンスパッタを用いて試料の表面に金コーティングを行った。SEM 写真撮影は、茨城大学機器分析センター所有の走査型電子顕微鏡 (JSM-5600LV) を用いて行った。

SEM 写真の結果（700 倍）の一例を図-4 に示す。シルト粒子が確認でき、明らかに自然落下供試体の空隙が多いことが見て取れる。

(2)空隙の算定

堆積構造の相違を空隙の大小ととらえて図-4 に示す写真をもとにして空隙の算定を試みた。まず、SEM 写真を 2 階調化し、粒子と空隙の分離を試みた（図-5 参照）。次に空隙部分の面積を算定した。表-2 に面積の割合を示す。その結果、自然落下供試体が最も空隙が多いことが分かった。締固め供試体と水中落下供試体はほぼ同等の空隙であった。

4. 結論および課題

自然落下シルト供試体の強度が小さい理由として空隙が多いことが考えられる。締固め供試体と水中落下供試体は同じ密度にもかかわらず若干強度が大きい理由として空隙の大小が関係しているものと思われる。

以上のように、シルトの堆積構造の相違として空隙の大きさが関係していることが確認された。今回の結果は、供試体の一部の箇所の結果であることから、今後、供試体全体について定量的に示す必要があると考える。

(謝辞)

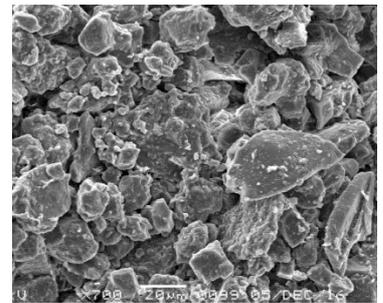
SEM 写真撮影用の供試体作成にあたり川崎地質(株)の吉泉直樹様に、SEM 写真撮影にあたり茨城大学機器分析センターの塙浩之様に、空隙率の算定にあたり茨城大学桑原祐史教授に大変お世話になりました。ここに謝意を申し上げます。

<参考文献>

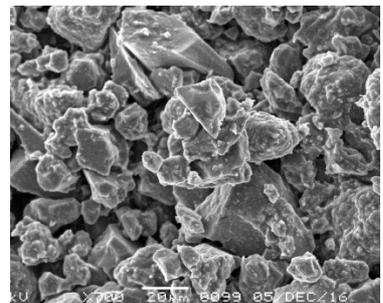
- 1)例えば、森伸一郎・滝本幸夫・長谷川昌弘：1987 年 12 月 17 日千葉県東方沖地震における液状化調査，第 23 回土質工学研究発表概要集，pp.943-946，1987.
- 2)足立雅樹・陶野郁雄・規矩大義・安原一哉：北海道南西沖地震において液状化によって発生した噴砂の粒度特性，第 9 回日本地震工学シンポジウム論文集，pp.781-786，1994.
- 3)石川敬祐・安田進：東北地方太平洋沖地震による東京湾岸エリアの噴砂特性に関する考察，第 31 回土木学会地震工学研究発表会，pp.1-6，2011.
- 4)足立雅樹・安原一哉・福島正明：非塑性シルト質土の液状化とそれに伴う体積変化特性，土木学会論文集，No.535/III-34，pp.145-154，1996.
- 5)島袋淳・安原一哉・村上哲：堆積構造の異なる非塑性シルト質土の液状化及び液状化後挙動，土木学会論文集，No.659/III-52，pp.39-49，2000.



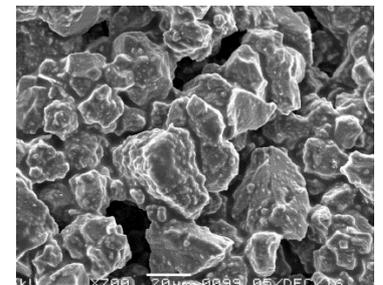
図-3 SEM 写真撮影用供試体の作成状況(硬化剤を塗布時)



(a) 締固め供試体



(b) 水中落下供試体



(c) 自然落下供試体

図-4 SEM 写真の一例

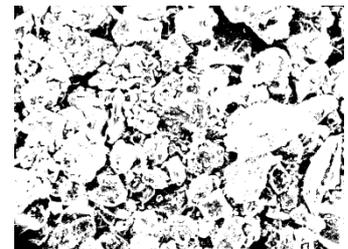


図-5 2 階調化の一例

表-2 空隙と粒子の割合(%)

	空隙	粒子
締固め	22.4	77.6
水中落下	22.7	77.3
自然落下	26.7	73.3