

窯業副産物である微粒珪砂キラの力学特性の把握

名古屋大学 (学生会員) ○廣瀬称志 李琪 伊藤勇志 上野慎也
名古屋大学 (正会員) 中野正樹 山田英司 浅岡顕

1. はじめに

微粒珪砂キラとは、ガラス製品の原料となる珪砂精製過程において大量に排出される窯業副産物である。キラは、細粒分を多く含むシルト質砂であり、排出量の約 25%は有効利用されているが、その他は廃棄されており、処理のための費用増大などにより、キラの有効利用は窯業界において逼迫した課題となっている。

本報告では、特に地盤材料としての有効利用に焦点を絞って、室内試験によりキラの物性、力学特性を把握し、その基礎的データを提供する。

2. 微粒珪砂キラの物性

珪砂精製において、粉碎機、分級機、脱水機等を経て珪砂が生産される工程で使用した汚泥水は、凝集剤を投入したシックナータンクにて水を再利用するとともに、沈殿したものを高圧圧縮プレスにかけて脱水ケーキとして排出される。この脱水ケーキが本研究で用いるキラで、均質で含水比が 35%程度である。キラの組成成分を表-2.1 に示す。キラの成分は SiO_2 が 70%程度、 Al_2O_3 が 17%程度である。キラは重金属（カドニウム、鉛、砒素など）などの有害物質はほとんど含まれておらず、環境面でも無害で安心して使用できる資源である。

表-2.1 微粒珪砂キラの組成成分

SiO_2	70.9	CaO	0.9
Al_2O_3	16.8	Fe_2O_3	2.1
Na_2O	0.5	TiO_2	0.3
K_2O	5.2	Ig. Loss	2.76
MgO	0.5		

次に、キラの物性、すなわち密度試験、液性限界・塑性限界試験および粒度試験の結果を表-2.2 に示す。そして、粒度試験 (JIS A 1204) により求めた粒径加積曲線を図-2.1 に示す。図-2.1 および表-2.2 を見ると、キラは粘土分 30%、シルト分 68%、砂分 2%を含んでいる。キラは地盤材料の工学的分類の基準によるとシルト (ML) に分類される。また、以降の実験では土粒子密度として $\rho_s=2.62\text{g/cm}^3$ を用いることにする。初期含水比は $w_0=33.0\%$

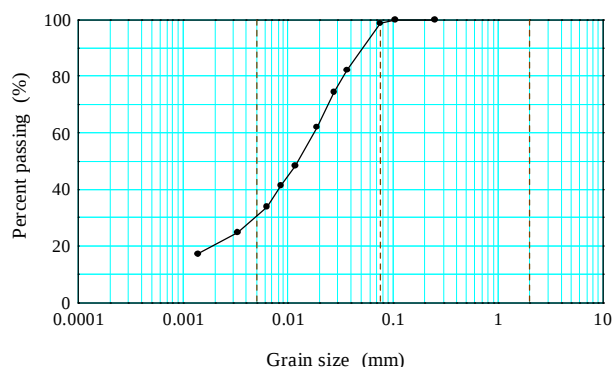


図-2.1 キラの粒径加積曲線

表-2.2 キラの各種物性

初期含水比 w_0 [%]	33
土粒子密度 ρ_s [g/cm^3]	2.62
液・塑性 [%]	NP
透水係数 [cm/s]	$1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-4}$
粘土分 [%]	30
シルト分 [%]	68
砂分 [%]	2

である。キラは細粒分を多く含んでいるが、液塑性限界試験は NP (非塑性) である。透水係数は乾燥し粉末状したキラをモールドに緩く詰め、2~4 時間程度かけて定水位透水試験を行って求めた。透水係数は $1.0 \times 10^{-5}\text{cm/s}$ から $1.0 \times 10^{-4}\text{cm/s}$ のオーダーであり、砂 ($1.0 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ 以上) と粘土 ($1.0 \times 10^{-7}\text{cm/s}$ 以下) の中間の値を示す。以上のキラの物性についての試験結果から、粒径分布からキラは細粒分、特にシルト分を多く含んでいる材料であり、透水係数、液塑性限界から粘土と砂の中間の値を持つ材料である。

3. 微粒珪砂キラの力学特性

3.1 締固め特性

本節では脱水ケーキを用いて、突固めによる締固め試験を実施し、締固め特性について考察する。脱水ケーキキヲを用いた締固め試験結果を図-3.1 に示す。脱水ケーキキヲは試料を乾燥させた状態から加水し、非繰返し法で試験を行った。図-3.1 より締固め曲線は上に凸の曲線を描き、脱水ケーキキヲは、最適含水比 $w_{opt}=21.4\%$ で乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.56 \text{ g/cm}^3$ を示した。また、乾燥側から加水した締固め方法で、脱水ケーキ状態での含水比約 33%での締固めが、水分が高すぎて不可能であった。圧縮プレスによる脱水ケーキキヲは、形を保って入るものの少しの振動で液状になることを裏付けている。

3.2 一軸圧縮強度

本節では、直径 5.0cm、高さ 10.0cm のモールドを用いて突固めて作製した供試体で一軸圧縮試験を実施し、その力学特性について考察する。せん断時の初期状態として、締固め曲線で得られた最適含水比と、脱水ケーキ生成時の含水比約 33%の 2 パターンで試験を行い、得られた結果を図-3.2 に示す。脱水ケーキの含水比では一軸圧縮強度 $q_u=24.8\text{kPa}$ でほとんど強度を持たない。最適含水比状態のときでさえ $q_u=100.8\text{kPa}$ と低い値を示した。

3.3 非排水せん断特性

本節では、スラリー状のキヲと突固めたキヲのせん断特性を比較して考察する。脱水ケーキキヲは供試体を三軸圧縮室にセットする際に崩れたため、今回は試験を実施せず、最大乾燥密度で突固めることにより供試体を作製し、飽和度 100%にした。等方圧を 3.0, 10.0, 15.0kPa の 3 パターンでそれぞれ等方圧密し、側圧一定非排水三軸圧縮試験を行った。そのせん断挙動を図-3.3 に示す。図-3.3 は軸差応力 q ~ 平均有効応力 p' および軸差応力 q ~ 軸ひずみ ε_a で整理したグラフである。スラリー状のキヲは、ゆる詰め砂の非排水せん断挙動に類似し、突固めたキヲは、密詰め砂の挙動に類似している。脱水ケーキキヲの力学挙動は、比体積の異なるこれらの力学挙動の結果から、推論できると考えている。

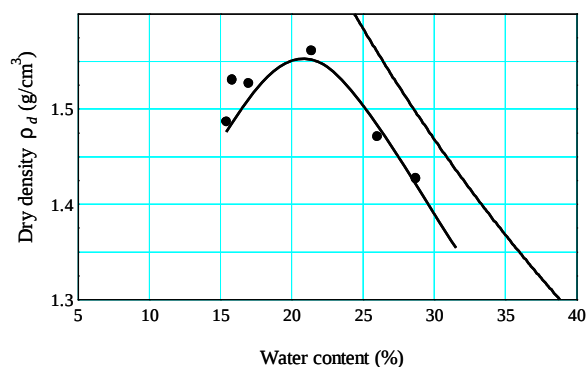


図-3.1 キヲの締固め特性

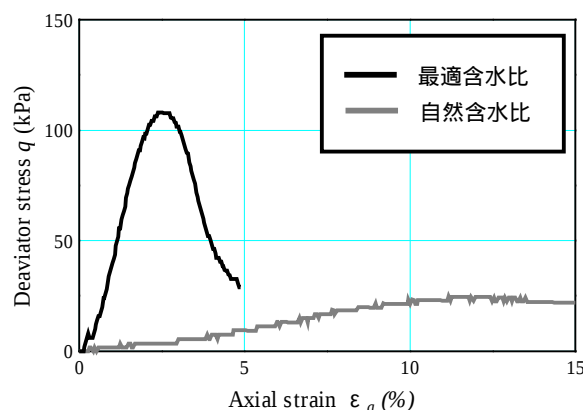


図-3.2 一軸圧縮試験でのせん断挙動

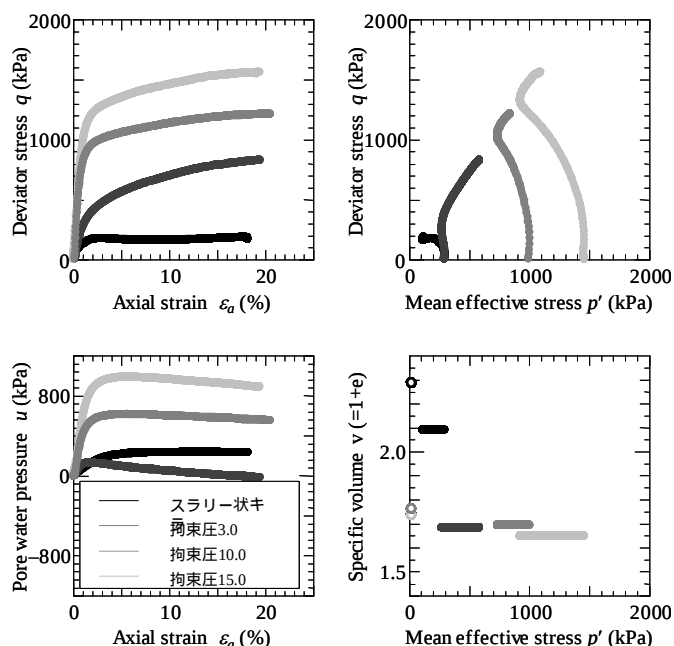


図-3.3 キヲの三軸圧縮試験結果

4. おわりに

キヲの物性と力学特性を調べたところ、珪砂精製時に排出される脱水ケーキ状のキヲは、そのままでは地盤材料として利用することができない。何らかの固化材による改良が必要である¹⁾。またシルト質砂であることから、砂よりも保水能力に優れている材料であると期待され、今後、保水性能の把握を行ってゆく。

参考文献

1)中野ら (2007): PS 灰により改良された微粒珪砂キヲの力学挙動の把握, 第 42 回地盤工学研究発表会, pp.683-684