

産業副産物であるキラの力学特性及びその改良に関する基礎的研究

名古屋大学（正）中野正樹 金田一広

名古屋大学（学）藤井淳之 ○内藤陽介 中井健太郎

1.背景

キラとは珪砂等の精製時に副産物として産出される石英（ SiO_2 ）を主成分とした粘土混じりの微細な砂分である。珪砂は愛知、岐阜、三重で全国産出量の約 80%をしめ、特に愛知県の瀬戸地方ではその多くが産出されている。現在、キラの 20%ほどは窯業原料として販売されているが、その需要量は少なく、残りは珪砂碎石現場に埋め戻されており、埋め戻しにも費用がかかっているため、活用が望まれている。そこで本研究では、キラを地盤材料として有効活用するため、圧密試験、締固め試験、せん断試験を通じて、キラの力学的性質を把握し、砂や粘土に比べどのような違いがあるのかを明らかにする。

そして、キラの改良について検討する。

2.キラの物性

本章ではキラの物理的性質を示す。比重は 2.29 である。粒度分布は図 1 のようになり、地盤材料の工学的分類では細粒分質砂(SF)に分類される(表 1)。そして液性・塑性限界は求めることができず非塑性(NP)となった。

またキラは珪砂精製時に水中篩い分けによってできる浮遊分であり、その含水比は高くスラリー状であるため、一般にフィルタープレスにかけて含水比を 35%程度に圧縮脱水してから産出される。含水比 35%くらいではトラックでの運搬中に水と分離するという液状化のような現象が起こる特徴を持つ。

表 1 キラの粒度構成

混合割合(%)	
粘土	25
シルト	65
砂	10

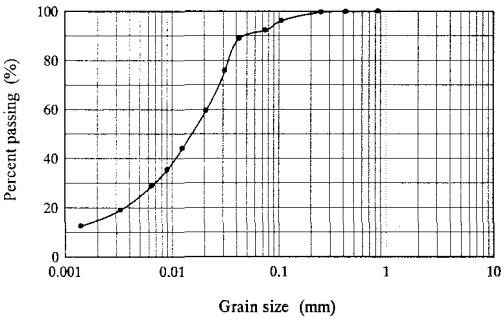


図 1 キラの粒径加積曲線

3.キラの力学特性

3.1 試験内容

キラの力学特性を把握するために、次の 3 つの状態について試験を行った。①圧縮プレスされる前のスラリー状のキラは、運搬困難であるため産出工場で②含水比 35%まで圧縮脱水されたキラ（以降、脱水ケーキとする）の状態にする。次に②の状態ではまだトラック運搬で水と分離したり、強度が著しく小さい等の問題があるので、チェーン回転式破砕混合機³⁾を用いて②を破砕し、空気混合することにより、粒径が 2mm 前後の③キラ団粒集合体に改良する。これらの 3 つの状態に対し、突固めによる土の締固め試験、標準圧密試験、三軸圧縮試験を行った。また試料作製方法は①では乾燥したキラを水中落下法で供試体作製しスラリー状とみなし、②は工場から産出される試料をそのまま使用した。

3.2 突固めによる締固め試験

キラの締固め試験は JIS A 1210²⁾に基づいた直径 10cm のモールド、2.5 kg のランマーを用いて、一層 25 回で三層に分けて、非繰返し法で行った。試料は上に述べた②脱水ケーキとそれを粉砕した③団粒集合体の 2 つ使用した。結果を表 2、図 2 に示す。キラを細かく粉砕し、③団粒集合体にすることによって締固めの程度が大きくなった。

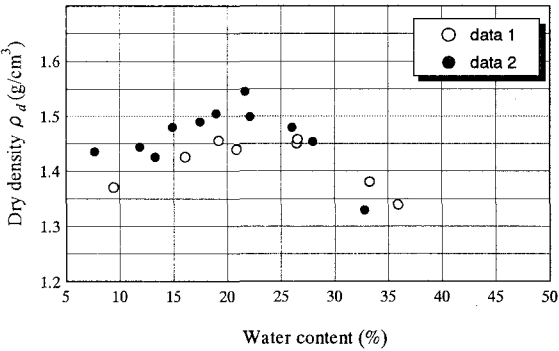


図 2 締固め試験結果

表 2 締固め試験結果

	突固め方法	最適含水比(%)	最大乾燥密度(g/cm³)
data 1	脱水ケーキをそのまま突固め	21	1.55
data 2	脱水ケーキを粉砕してから突固め	24	1.5

3.3 標準圧密試験

標準圧密試験の結果を図3～図6に示す。試料は①スラリー状、③団粒集合体の締固め土を用いた。図3から①スラリー状は粘土という練返し状態のようなものと考えることができ、非常に大きな比体積を有する。一方③団粒集合体は締固めることによって小さな比体積となり、超過圧密な状態と考えることができる。①スラリー状で104kPaの鉛直応力を必要とする状態に③団粒集合体の締固め土では小さな応力でその状態にすることができる。つまり、キラ団粒集合体をつくることにより、締固めやすくなり、沈下を抑制できる。また、図6から透水係数 k は粘土より少し大きい程度であり、圧密にも時間がかかることから③団粒集合体にしてから締固めることによって効率よく減容化ができる。

3.4 三軸圧縮試験

①スラリー状、③団粒集合体を締固めた土を用いて三軸試験を行った。結果を図7に示す。スラリー状ではひずみが3%の時に軸差応力がピークに達し、その応力は約200kPaであるが、締固め土についてはひずみが15%でピークに達し、その時の軸差応力は700kPaとなった。せん断時の比体積の違いにより、このようにせん断・強度特性に差が生じたが、ここで強調したいのは、圧密させるまでもなく、締固め材料にすることにより、強度は大きく改善されるということである。

4. まとめ

キラを地盤材料として有効利用するため、まずキラの基本的性質を調べた。キラはシルト分が65%もあることがわかった。キラの減容化を図るため、キラを破碎し、空気混合し、乾燥させることにより、団粒集合体を作製し、締固めやすい材料へと転換したところ、効率よく減容化され、強度増加することができた。これは圧密による減容化に比べ、小さな荷重でしかも短時間で減容化できる。今後、キラをより効率的に締固めるにはどのようにしたら良いのかについて、固化剤の混合の効果も念頭において、研究を進めてゆく。

参考文献

- 1) 工業技術連絡会議窯業連合部会、日本の窯業原料(1992)、pp.87-107、1992
- 2) 地盤工学会、土質試験の方法と解説、1998
- 3) 二宮康治他、"回転式破碎混合工法を用いた事前混合処理工法の実施例"、土木学会、第1回土木建設技術シンポジウム、pp.1-8、2002

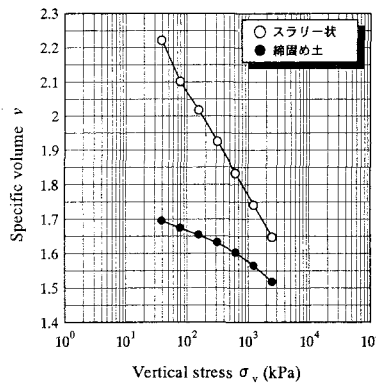


図3 $v-\sigma_v$ 関係図

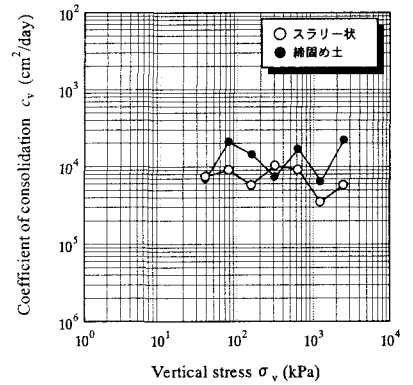


図4 $c_v-\sigma_v$ 関係図

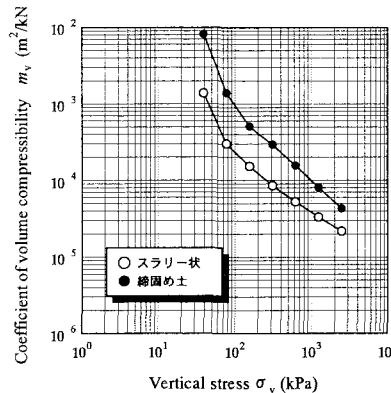


図5 $m_v-\sigma_v$ 関係図

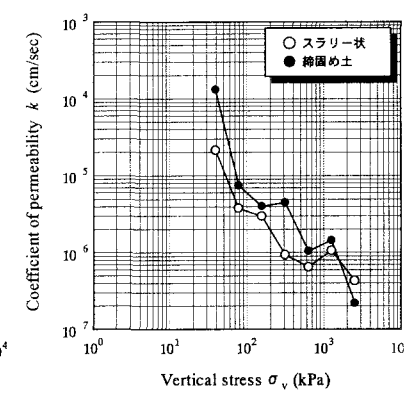


図6 $k-\sigma_v$ 関係図

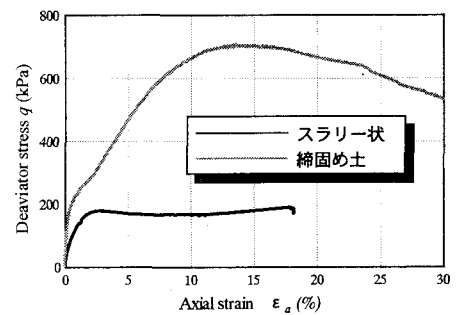
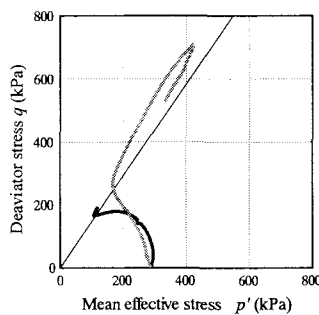


図7 三軸圧縮試験結果