

細粒分を調整した土と浸透時に細粒分が
流出した土のせん断強度の比較

山口大学大学院 学生会員 ○大津 新
東京理科大学 (元 山口大学) 正会員 石丸太一
山口大学大学院 正会員 鈴木素之

1. はじめに

近年、豪雨によってため池堤体や河川堤防などの土構造物が被災している。水の浸透を受けた土構造物の劣化原因の一つに内部侵食が挙げられる。内部侵食の形態の一つに粗粒な土粒子が形成する骨格を維持したまま、細粒な土粒子が流出する現象の細粒分流出 (Suffusion) がある。本研究では、水の浸透によって細粒分流出が発生した場合を想定し、試料調整段階で細粒分を減じた供試体の力学特性について実験的に調べた。また、その結果を三軸試験装置で細粒分を流出させたときの結果と比較した。なお、細粒分の変化量に応じた粒度の異なる砂質土の力学特性を評価するために骨格相対密度をパラメータとして導入した。

2. 試験方法

本研究に用いた土試料は、山口県宇部市で採取したまさ土の粒径加積曲線に似るように、珪砂とカオリンまたは DL クレーをそれぞれ混合したものである。表 1 に各土試料の物理特性を示す。カオリン (K) は粘土分含有率が 57% で、塑性指数は 23.8 である。DL クレー (DL) は粘土分含有率が 10% で、塑性指数は NP (非塑性) である。本実験では、ホスト珪砂にカオリンあるいは DL クレーをそれぞれ 5% 混合した土試料を基本ケースとした。以下、珪砂とカオリンの混合砂を“QK”，珪砂と DL クレーの混合砂を“QDL”と表記する。図 1 に本研究で使用した土試料の粒径加積曲線を示す。土試料は Kenny and Lau¹⁾の安定指標により、細粒分が流出しやすい土試料であると判定される¹⁾。基本ケースから細粒分を所定の割合で減じることで、細粒分流出後を再現した供試体として、細粒分 4.5% (-0.50%)、3.0% (-2.0%)、0% (-5.0%) を作製した。ここで括弧内の数字は細粒分変化量を示す。また、比較対象として三軸試験装置内で細粒分流出を発生させたケース EBS4.9% (-0.10%) の三軸試験結果²⁾を用いた。なお、侵食率 R_e が 0.10% であったため、EBS4.9% と表記している。 R_e は次の (1) 式で表される。

$$R_e = \frac{m_{sd}}{m_{s0}} \times 100 [\%] \quad (1)$$

ここに、 m_{sd} : 排出土粒子の乾燥質量, m_{s0} : 供試体初期乾燥質量である。

三軸圧縮試験装置は文献 2) を参照されたい。以下に試験手順を概説する。①供試体を設置する。②供試体内部の空気を二酸化炭素で置換した後、脱気水を上向きに徐々に浸透させる。③背圧を 100 kPa まで少しずつ上げ、間隙水圧係数 B 値が 0.95 以上であることを確認する。④有効

表 1 今回使用した土試料の物理特性

試料名	ホスト珪砂 (Q)	カオリン (K)	DLクレー (DL)
土粒子の密度 (g/cm ³)	2650	2675	2741
塑性指数	-	23.8	NP
液性限界 (%)	-	59.4	NP
塑性限界 (%)	-	35.6	NP

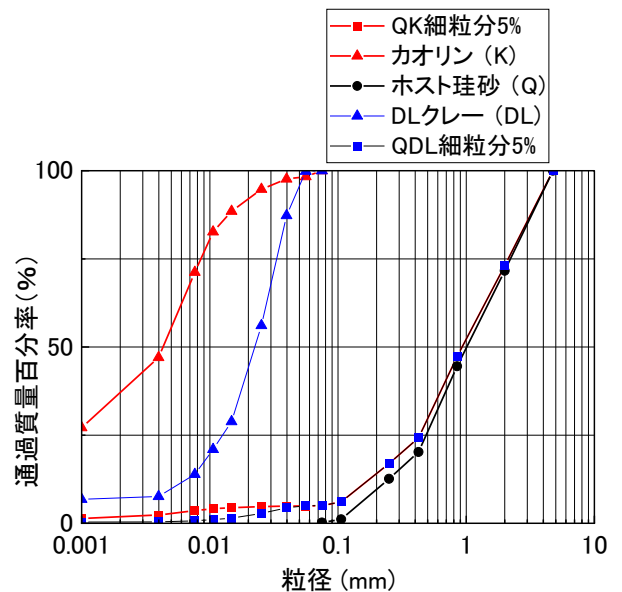


図 1 粒径加積曲線

キーワード 内部侵食, 細粒分, 強度

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院創成科学研究科 鈴木素之
TEL 0836-85-9303

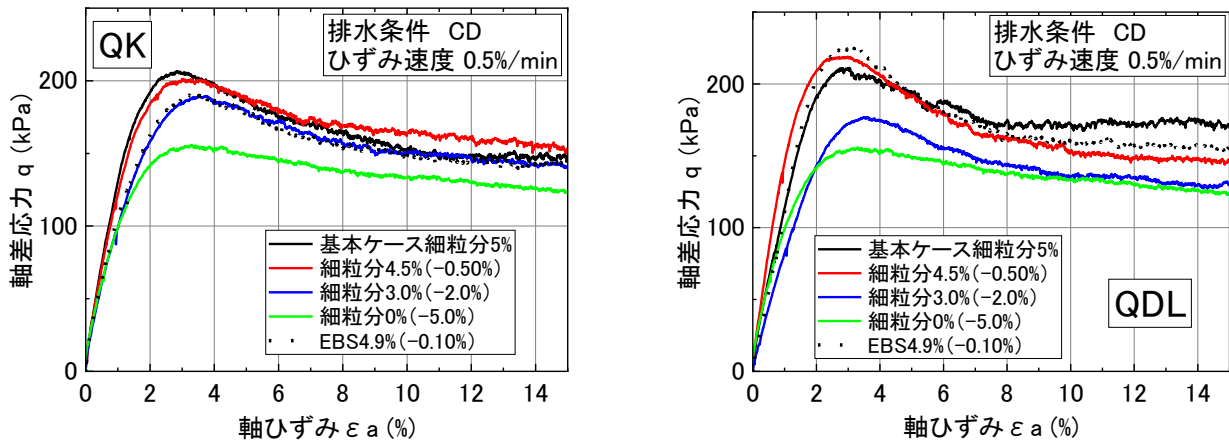


図2 軸ひずみと軸差応力の関係(左: QK, 右: QDL)

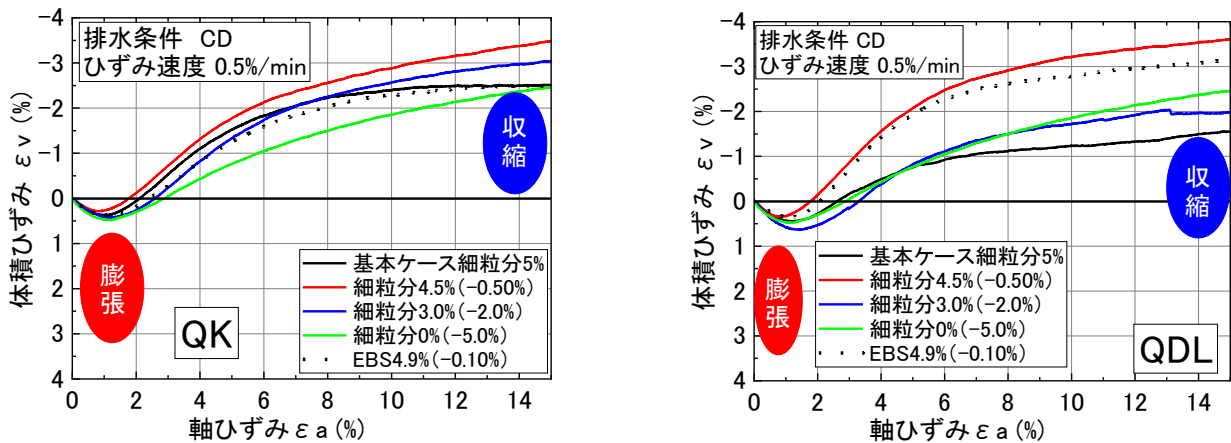


図3 軸ひずみと体積ひずみの関係(左: QK, 右: QDL)

拘束圧 50kPa で圧密を行う。⑤圧密終了後、軸ひずみ速度 0.5%/min で排水条件で載荷し、軸ひずみ ϵ_a が 15% に達した時点で試験を終了する。

3. 骨格間隙比から骨格相対密度の導入

骨格間隙比とは細粒分の体積を間隙とみなす考え方であり、間隙の体積を V_v 、細粒分の体積を V_{sf} 、粗粒分の体積を V_{ss} とすると、骨格間隙比 e_g は式 (2) で定義される。

$$e_g = \frac{V_v + V_{sf}}{V_{ss}} \quad (2)$$

また、骨格間隙比を用いて骨格相対密度 D_{rg} を定義することができる。ホスト珪砂の間隙比を e_g 、最大間隙比を e_{gmax} 、最小間隙比を e_{gmin} とすると、 D_{rg} は式 (3) により算出される。

$$D_{rg} = \frac{e_{gmax} - e_g}{e_{gmax} - e_{gmin}} \times 100 [\%] \quad (3)$$

本研究での $D_{rg}=38\%$ は比較的緩い供試体となる条件として設定したものである。

なお、本実験においては $e_{gmax}=0.901$ 、 $e_{gmin}=0.512$ であった。

4. 試験結果と考察

図2、図3にそれぞれ QK および QDL の軸差応力 q と軸ひずみ ϵ_a の関係および体積ひずみ ϵ_v と ϵ_a の関係を示す。QK の場合、三軸試験装置内で侵食を発生させた EBS4.9% (-0.10%) のケースを除いて、細粒分を減らすほど、最大軸差応力としたピーク強度は小さくなった。また、軸ひずみ $\epsilon_a=15\%$ 時の軸差応力とした残留強度は、細粒分 4.5% (-0.50%) のケースが最も高い結果となった。QDL の場合、細粒分を減らすほど、ピーク強度は細粒分 4.5% (-0.50%) を除いて小さくなった。残留強度は細粒分の変化量に対応して減少した。図3の $\epsilon_v \sim \epsilon_a$ 関係には細粒分の減少量に明確に対応した関係はみられなかった。

図4に QK および QDL の細粒分含有率の変化量とせん断前間隙比の関係を示す。QK、QDL の両試料にお

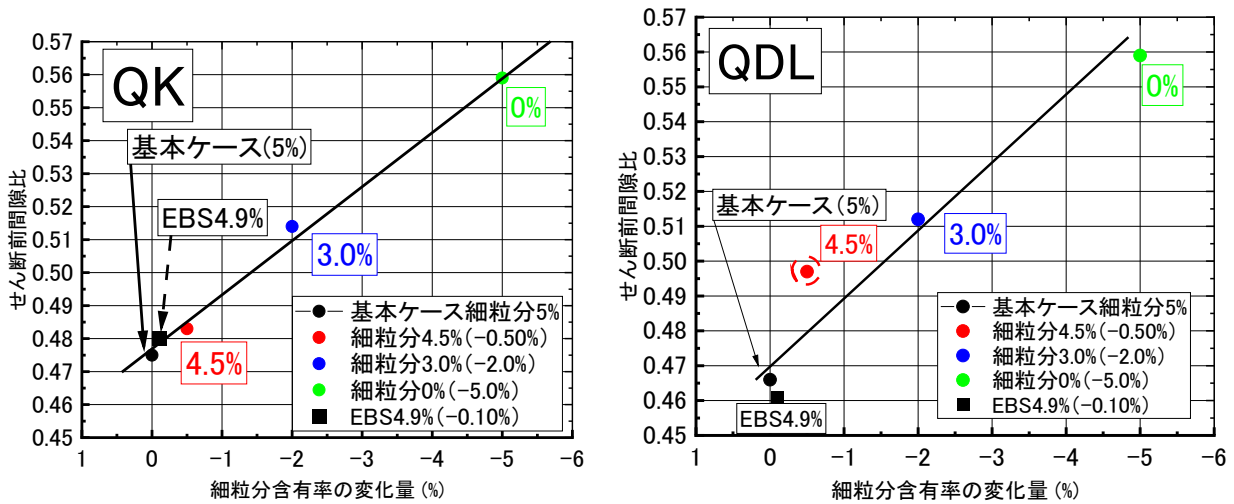


図4 細粒分含有率の変化量とせん断前間隙比の関係(左: QK, 右: QDL)

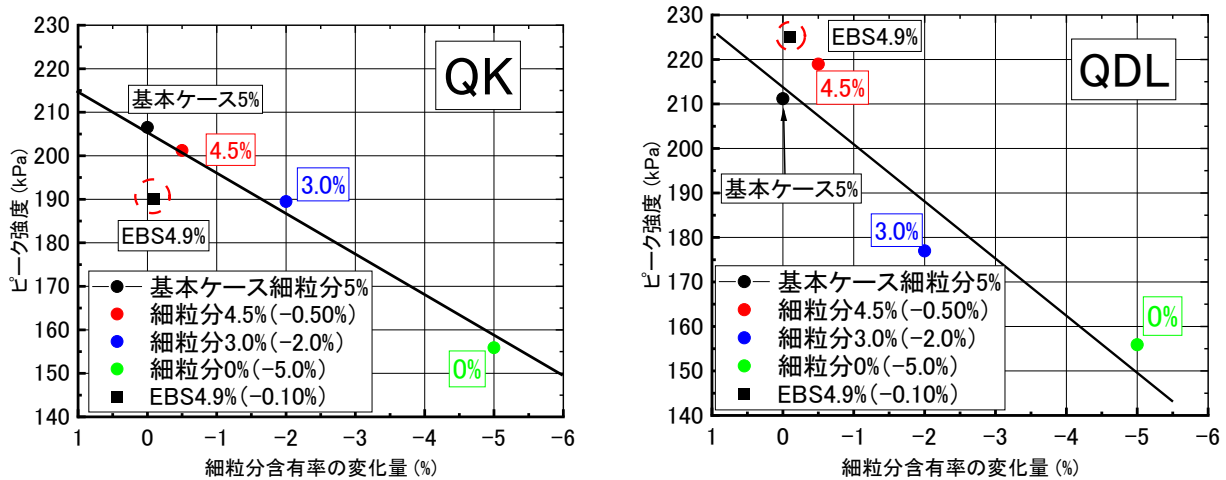


図5 細粒分含有率の変化量とピーク強度の関係 左: QK 右: QDL

いて、細粒分含有率の変化量が大きくなるほど、せん断前間隙比が小さくなり、より密な状態になった。QKにおいては、細粒分含有率の変化量とせん断前間隙比の間に直線関係がみられたが、QDLにおいてはQKほどの直線関係はみられなかった。

図5にQKおよびQDLの細粒分含有率の減少量とピーク強度の関係を示す。QKとQDLの両試料において、細粒分含有率の減少量が小さくなるほど、ピーク強度が大きくなる傾向になった。QKにおいてEBS4.9%のケースのみ直線関係から外れ、このときのピーク強度は細粒分含有率の変化量から推定される値よりも低くなった。この原因としては、供試体内部が不均一になった可能性が考えられる。QDLにおいては、EBS4.9%のケースのピーク強度は細粒分含有率の変化量から推定される値よりも高くなった。これは細粒分が供試体内を移動することで、供試体内で微細構造の変化が起こり、それにより安定した構造になったと考えた。

5. 結論

本研究から得られた結論を以下に要約する。

- 1) QKおよびQDLの両混合土に対して、細粒分含有率の変化量とピーク強度の間に直線関係が認められる。
- 2) QKにおいてEBS4.9%のケースは、細粒分含有率の変化量とピーク強度の間の直線関係から外れ、細粒分含有率の変化量から推定される値よりも小さくなった。一方、QDLにおいては、EBS4.9%のケースはそれよりも大きくなった。
- 3) 細粒分含有率の変化量が大きくなるほど、せん断前間隙比が小さくなり、より密な状態になった。

参考文献

- 1) Kenney, T. C., Lau, D: Internal stability of granular filters, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 22, No.4, pp. 215–225, 1985.
- 2) 大津新, 石丸太一, 鈴木素之: 粒度や塑性の違いが細粒分流出した土の透水係数, 侵食率および強度に与える影響, 第57回地盤工学研究発表会, 2022.
- 3) 大津新, 石丸太一, 鈴木素之: 骨格相対密度を尺度とした細粒分流出の影響を受けた土の力学特性, 第58回地盤工学研究発表会, 2023 (投稿中).