

細粒分の粒径，塑性および上載圧が細粒分流出挙動に与える影響

山口大学 学生会員 ○小森 朝陽
 山口大学 正会員 鈴木 素之
 山口大学 学生会員 石丸 太一
 山口大学 学生会員 高野 翔太

1. はじめに

河川堤防やため池堤体などの水の影響を受ける盛土構造物において，内部侵食の一種の，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である細粒分流出（Suffusion）が問題視されている。Bonelli¹⁾は内部侵食を引き起こす要因を水理的，地盤材料のおよび力学的要因に分類している。そこで，本実験では材料的要因に位置する細粒分の粒径と塑性，力学的要因に位置する地盤の上載圧に着目し，それに伴う次元元通水実験を行い，各要因が細粒分流出挙動に与える影響を調べた。

2. 実験手順

図1に本研究に用いたカラム通水実験装置を示す。供試体寸法は直径10cm，高さ20cmの円筒型である。供試体は，所定の密度になるように5層に分けて，1層ごとに突き固めて作製した。通水開始前に供試体内部を二酸化炭素で置換し，脱気水を24時間浸透させることで，飽和度を95%以上にした。供試体下部には425 μ mのメッシュと5mmの孔が108個空いたアクリル多孔版を設置し，それ以上の径の土粒子が流出しないようにした。載荷板上部に空圧を与えることで上載圧を載荷できるので，全条件共通で，通水開始前に上載圧100kPaを載荷した後，所定の上載圧まで除荷した。本実験では，動水勾配一定の条件下で，供試体に下向き浸透流を与えた。上部タンクの高さを変えることで動水勾配を調整できる。通水量は全体で2,000mlとし，約100mlずつ20回分を採水ケースで採水した。その時，約100ml毎の採水時間を計測し，流量を測定した。土粒子の排出量は，基本的にはろ紙を用いて測定したが，土粒子の排出量が多すぎる場合は蒸発皿を用いて測定した。

3. 実験で使った土粒子

今回実験で使った土試料は実際にため池堤体土と

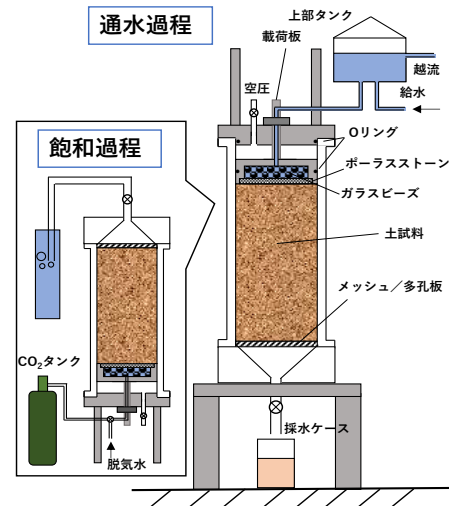


図1 カラム通水実験装置（模式図）

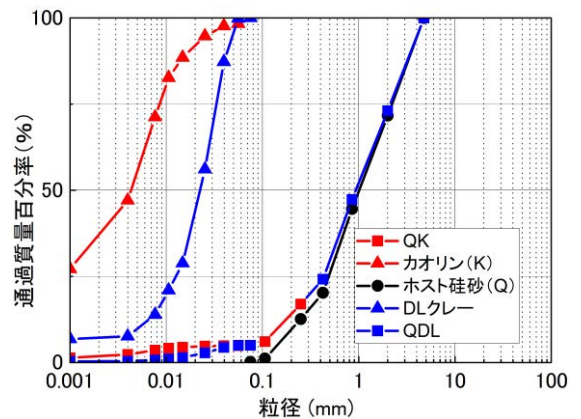


図2 本実験で使った土粒子の粒径加積曲線

表1 土粒子の物理特性

	QK	QDL
土の構成	ホスト硅砂 + カオリン	ホスト硅砂 + DLクレー
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.651	2.650
最適含水比 w_{opt} (%)	11.5	10.6
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.935	1.978
細粒分含有率 F_c (%)	5.0	5.0

キーワード 浸透 細粒分 浸透流

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

して使用されている宇部まさ土の粒径加積曲線に似るように、ホスト硅砂 (Q) に細粒分試料であるカオリン (K: $I_p=24.3$) または DL クレー (DL: NP) をそれぞれ混合した試料 QK と QDL を作製した。図 2 に本実験で使用した土粒子の粒径加積曲線を示す。各細粒分試料 (QK, QDL) の含有率はともに 5% である。ホスト硅砂は粒径 0.075mm から 4.75mm に分布しており、カオリンおよび DL クレーは 0.001mm から 0.075mm の間に分布している土粒子である。表 1 に本実験で使用した土粒子の物理特性を示す。カオリンの塑性指数は 24.3 であり、DL クレーは NP (非塑性) である。これらの試料は Kenney²⁾らの内部安定指標より、内部不安定と判定された細粒分が流出しやすい土試料である。

4. 実験結果

これ以降、実験条件は実験ケース名で示す。実験ケース名は、【使用した土試料—上載圧—付与動水勾配—供試体密度】を表している。供試体密度については、QK, QDL とともに、 $e=0.58$ を密詰め (Dense), $e=0.66$ を緩詰め (Loose) 条件とした。

図 3 に流量の時間変化を示す。同一条件下では QK の方が QDL よりも流量が多い。多くの条件で、流量が上昇した後に、一定になる傾向がみられた。これは細粒分の移動によって水みちが形成された後、流れが安定したためと考えられる。一方、QK の緩詰め供試体で、動水勾配 $i=1.0$ のケースでは、流量の低下がみられた。

図 4 に土粒子排出量の時間変化を示す。いずれの試験ケースも排出量はすぐに減少し、通水量 1,000ml を超えると、土粒子はほとんど排出しなくなった。また、土粒子排出量のピークが、密詰めと緩詰めで異なる。QK の密詰めの場合、排出量ピークは通水開始直後であるのに対して、QK の緩詰めの場合は 200ml で土粒子の排出量がピークに達している。QDL に関しては、QK の密詰めと同様に通水開始直後である。

図 5 に初期平均流速と有効侵食率の関係を示す。今回、供試体内に存在する 425 μm メッシュ通過可能分に対する土粒子の総排出量の重量百分率を有効侵食率と定義する。有効侵食率は以下の式で算出した。

$$\text{有効侵食率} = \frac{\text{総排出量(g)}}{425 \mu\text{m以下の土粒子乾燥質量(g)}} \times 100 [\%] \quad (1)$$

また、図 3 より、流量が時間変化していることが分かったため、排水量 400ml までに土粒子の大半が排出することを考慮して、そこまでの平均流量を初期平均流量とした。結果をみると、緩詰めの供試体の方が、密詰めの供試体よりも、初期平均流量が多かった。また、動水勾配が高い方が、初期平均流量が多かった。ここで、

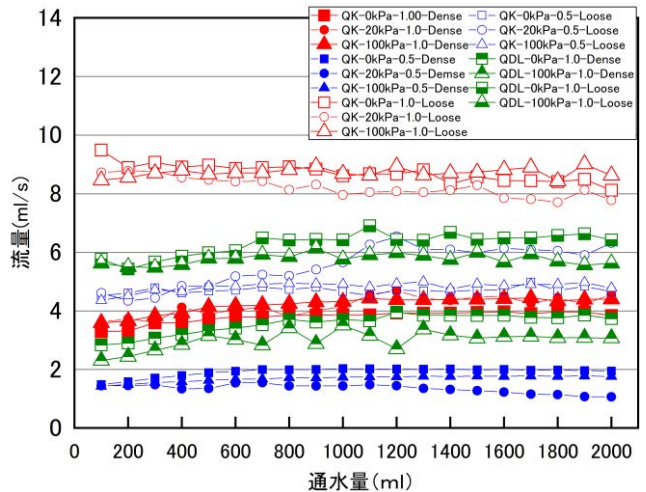


図 3 流量の時間変化

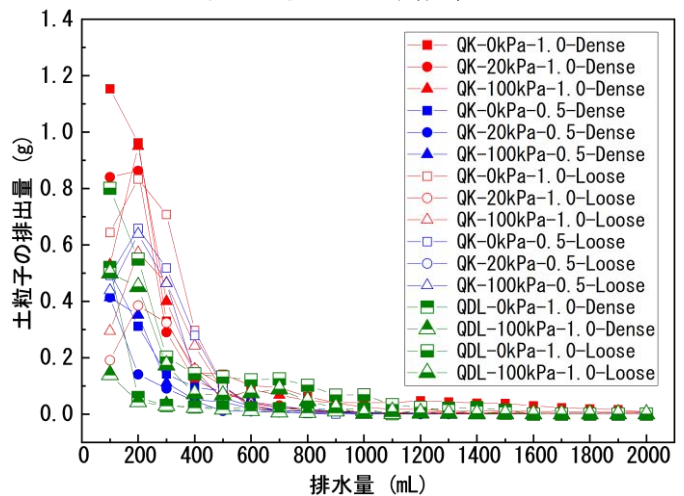


図 4 土粒子排出量の時間変化

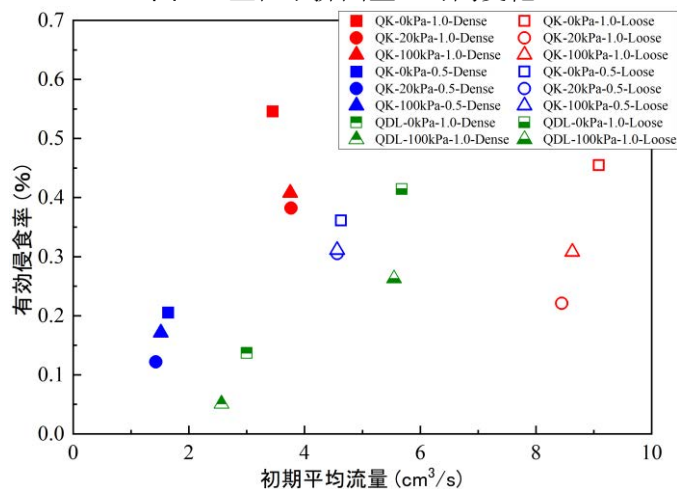


図 5 初期平均流量と有効侵食率の関係

QKの緩詰め供試体の結果(図中の白抜きマーカー)を比較すると、初期平均流量が2倍程度違ってても、有効侵食率はそれほど変わらなかった。図3において、QKの緩詰めの場合で流量の低下がみられたことから、同ケースでは、顕著な目詰まりが発生したのではないかと考えられる。

また、初期平均流量が概ね同じ場合、QK、QDLの結果の全てにおいて、上載圧0kPaでは、上載圧20kPa、100kPaよりも有効侵食率が高かった。本実験では、通水前に統一して上載圧100kPaを載荷しているため、上載圧の違いによる密度の違いはほとんどない。したがって、有効侵食率の違いは、上載圧の有無によるものと考えられる。換言すると、上載圧がある場合、流出可能成分である425 μ m以下の土粒子が形成する骨格にも力が伝達し、土粒子骨格に拘束されやすいため、有効侵食率が低くなるのではないかと推測される。しかしながら、この考察から上載圧が大きいほど有効侵食率は小さくなると予想されたが、上載圧20kPaよりも100kPaの有効侵食率の方が多く、さらなる検証が必要である。また、上載圧の有無による有効侵食率の差は、動水勾配*i*=0.5よりも*i*=1.0の方が顕著に現れた。

図6に排水の濁度と濃度の関係を示す。図6中の点線および実線はQK、QDKの425 μ m径のふるい通過分、カオリンおよびDLクレーで予め作製した懸濁液の濃度と濁度の関係を示したものである。本実験では、単位体積中の懸濁物の粒子表面積が大きいほど、濁度が高く測定されるという特徴を有した透過光散乱方式を用いた濁度計を使用しており、同一濃度において濁度の高い方が、懸濁物質の粒径が小さいと推測できる。QKの方がQDLよりも濃度—濁度関係の傾きが大きいのは、細粒分として含まれているカオリンの方が、DLクレーよりも粒径が小さいからである。さらに、排水の濃度—濁度関係は、カオリン、DLクレー単体で作製した懸濁液の濃度—濁度関係よりも傾きが大きい。したがって、流出可能な細粒分の中から、より小さい土粒子が卓越して流出していると考えられる。

図6に排水の濁度と濃度の関係を示す。図6中の点線および実線はQK、QDKの425 μ m径のふるい通過分、カオリンおよびDLクレーで予め作製した懸濁液の濃度と濁度の関係を示したものである。本実験では、単位体積中の懸濁物の粒子表面積が大きいほど、濁度が高く測定されるという特徴を有した透過光散乱方式を用いた濁度計を使用しており、同一濃度において濁度の高い方が、懸濁物質の粒径が小さいと推測できる。QKの方がQDLよりも濃度—濁度関係の傾きが大きいのは、細粒分として含まれているカオリンの方が、DLクレーよりも粒径が小さいからである。さらに、排水の濃度—濁度関係は、カオリン、DLクレー単体で作製した懸濁液の濃度—濁度関係よりも傾きが大きい。したがって、流出可能な細粒分の中から、より小さい土粒子が卓越して流出していると考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 多くのケースで、透水開始から流量が増加し、暫くして一定となる傾向がみられた。
- 2) 通水後に流量が低下したQKの緩詰め供試体で*i*=1.0のケースでは、初期平均流量に対する有効侵食率が高かった。
- 3) 細粒分流出に上載圧の影響が認められ、上載圧がない場合が最も有効侵食率が高くなる傾向にあった。しかし、上載圧20kPaよりも100kPaの方が有効侵食率が高かった。
- 4) 排水の濃度—濁度関係から、供試体内の流出可能成分の中からより小さな土粒子が卓越して流出していることが分かった。

謝辞 本研究は、公益財団法人鹿島学術振興財団研究助成金（研究代表者：鈴木素之）ならびにJSPS科研費特別研究員奨励費（JP21J14582、石丸太一）により実施したものである。ここに記して関係各位に深く感謝の意を表す次第である。

参考文献 1) Bonelli, S: Erosion of Geomaterials, Wiley, p.15, 2012. 2) Kenney T.C. and Lau D. : Internal stability of granular filters. Canadian Geotech. J., 22, 215-225, 1985.

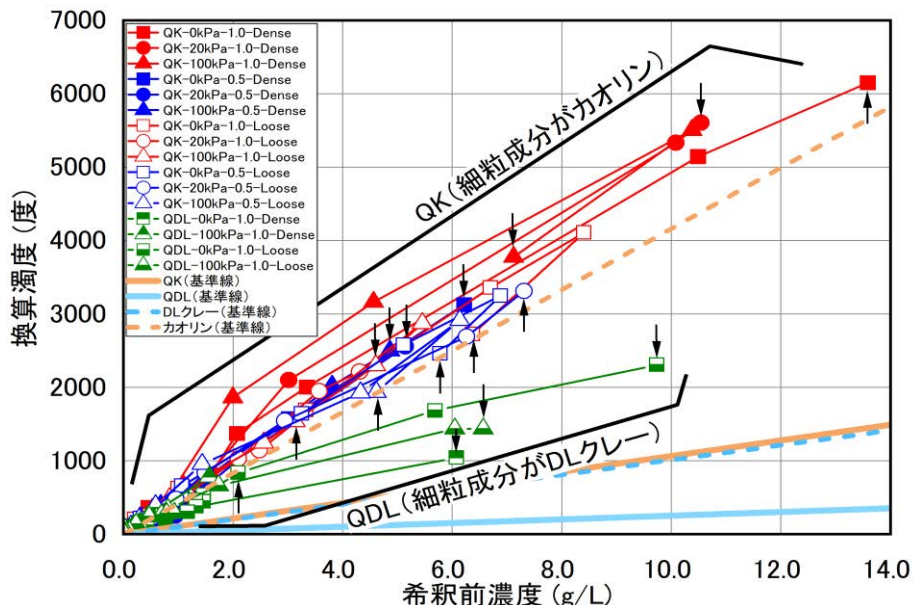


図6 排水の濁度と濃度の関係