

円筒型カラム通水実験において土質境界の傾斜角度が内部侵食に与える影響

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

**1. はじめに** ため池等の貯水を目的とした盛土構造物において発生する内部侵食は、異なる地盤材料の層境界や付帯構造物との境界で発生しやすいことが分かっている。このような境界部での内部侵食の形態は **Contact Erosion** と呼ばれる。ため池の多くは時代の変遷とともに増改築されており、堤体内部は均質ではなく、例えば、古い堤体と新しい堤体の境界部のような箇所では **Contact Erosion** が発生する恐れがある。本研究では、円筒型のコラム容器の左右に粒度が異なる土を詰め、土質境界面を有した模型地盤に対する一次元通水実験を実施し、流量や土粒子の流出量、排水の濁度を経時的に調べた。また、浸透力と重力の方向関係が内部侵食に影響を与えることが指摘されているため、土質境界面に傾斜を付け、傾斜角が土粒子の流出挙動に与える影響を調べた。

**2. 実験装置** 図1に円筒型カラム通水装置を示す。供試体は、寸法が直径10cm、高さ20cmの円筒形である。供試体上面に接続したタンクから水を供給し、供試体に浸透流を与えることができる。供試体上部には、ガラスビーズによる透水性の高い層を設け、水の流れが均一に拡散するようにした。供試体下部には、直径5mmの孔が108個開いたアクリル多孔板と425μm径のメッシュを設置し、メッシュ径以下の土粒子が水とともに流出可能である。また、傾斜台によって装置全体を傾けることができ、傾斜角はデジタル水平器で読み取った。

**3. 実験方法** 1種類の土試料で供試体を作製する場合は、目標の密度になるように予め算出した質量分の土を投入し、任意の高さになるように5層に分けて、1層ずつ突き固めた。2種類の土試料で供試体を作製する場合は、中央に仕切り板を立て、両側に目標の密度になるように予め算出した質量分の土を投入し、仕切り板を引き上げた後、任意の高さになるように突き固めた。この作業を5層に分けて、1層ずつ行った。土試料の充填後、供試体内部の空気を二酸化炭素で置換し、脱気水を少しずつ浸透させることで飽和度を95%以上にした。供試体上部に接続したタンクの高さを調整し、本実験では、動水勾配  $i = 1.0$  で供試体に浸透流を与えた。通水実験中は、排水を100mLずつ20回に分けて採取し、通水量、排出土粒子質量、排水の濁度をそれぞれ測定した。

**4. 使用した土試料** 図2に今回の実験で使用した土試料の粒径加積曲線を示す。本研究では、数種類の珪砂（宇部珪砂1号、3号、三河珪砂4～7号）を混合した土試料（Q）と、それに質量比10%のカオリンを混合した土試料（QK10）を使用した。

**5. 使用したパラメータ** 供試体の密度は細粒分を間隙とみなし算出した骨格相対密度  $D_{rg}$  より決定した。 $D_{rg}$  は以下の式で算出される。

$$D_{rg} = \frac{e_{g \max} - e_g}{e_{g \max} - e_{g \min}} \times 100 \quad (1)$$

ここで、 $e_{g \max}$ 、 $e_{g \min}$  はQ単体の最大間隙比と最小間隙比、 $e_g$  は細粒分を間隙とみなした時の供試体の間隙比である。本実験では、 $D_{rg} =$

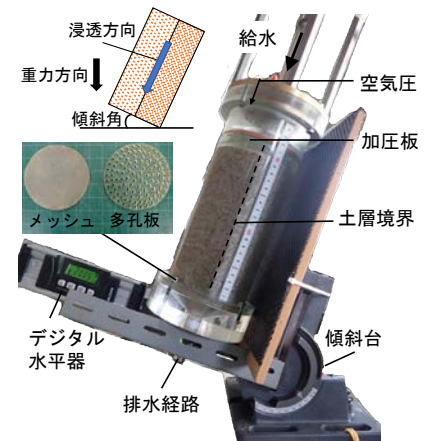


図1 円筒型カラム通水装置

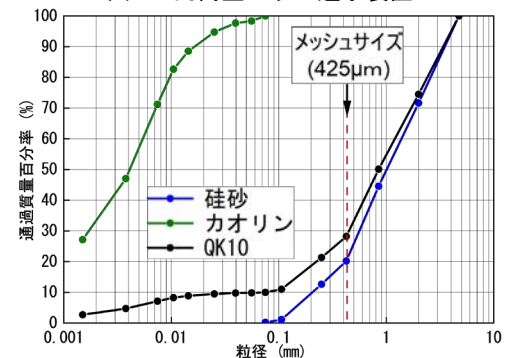


図2 本研究で使用した土試料の粒径加積曲線

60%になるようにすべての供試体を作製した。

侵食の程度を表すパラメータとして、侵食率がよく用いられる。侵食率は供試体全体の乾燥質量に対する流出した土粒子の乾燥質量と定義されることが多い。しかし、本実験では供試体底面にメッシュを設置しており、流出が可能な土粒子を制限していることから、供試体内の流出可能な土粒子（本実験では425 $\mu\text{m}$ 以下の土粒子）の乾燥質量に対する流出した土粒子の乾燥質量を有効侵食率として定義した。

**6. 実験結果** 図3に流量の時間変化を示す。通水実験は、Q単体の供試体、QK10単体の供試体、2種類の土試料を使用した土質境界面を有した供試体に対して実施し、土質境界面を有した供試体は傾斜角を0°、10°、20°と変化させた。なお、QK10が下側となる向きに土質境界面を傾斜させた。Q単体が最も流量が大きく、QK10単体が最も流量が小さかった。土層境界面を有した供試体の流量をみると、通水開始時は同じであるが、その後、流量が変化した。傾斜角によって流量の変化幅が異なったが、傾斜角との相関は認められなかった。

図4に初期平均流量と有効侵食率の関係を示す。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。Q単体とQK10単体を比較すると、初期平均流量が3倍程度異なるが、侵食率が同程度であることから、土試料QK10の方が、土試料Qよりも侵食されやすいといえる。土質境界面を有した供試体の有効侵食率は、単体供試体の有効侵食率よりも小さくなった。土質境界面を有した供試体の場合、透水性の高いQ側の土層を水が優先的に流れていると考えられる。Q側の土層は侵食されにくいため、土質境界面を有した供試体の有効侵食率が小さくなったと推測される。一方、傾斜角の大きさと有効侵食率の相関は得られなかった。

図5に排水の濃度と濁度の関係を示す。図中の矢印は採水開始から1回目の測定データを指している。また、カオリンを用いて作製した懸濁液の濃度と濁度の関係を併せて示している。予備実験より、懸濁物質が同じであれば、濃度—濁度関係は比例関係を示すことが分かっている。一方で、濁度は、濃度が同じでも懸濁物質の粒径が小さい方が高い値を示すことが分かっている<sup>2)</sup>。したがって、本実験で得られた排水の濃度—濁度関係は、比例関係となっていないため、排出土粒子の粒径が時間的に変化していると推測できる。また、実験で得られた排水の濃度—濁度関係とカオリンの濃度—濁度関係を比較すると、土質境界面の傾斜角が0°の時は、カオリンと同等、もしくは、大きい粒径の土粒子が多い粒度組成で土粒子が排出していると推測される。一方、傾斜角を10°、20°とした場合、カオリンよりも粒径が小さい土粒子が多い粒度組成で土粒子が排出していると推測される。土質境界面の傾斜角が、流出する土粒子の粒径に影響を与えることが分かった。

**7. おわりに** 本研究では、土質境界面を有した模型地盤に対する次元通水実験を実施し、土質境界面の傾斜角が土粒子の流出挙動に与える影響を調べた。その結果、土質境界面の傾斜角と有効侵食率の相関は認められなかったが、土質境界面の傾斜角が排出土粒子の粒径に影響を与えることが分かった。

**謝辞** 本研究は、一般財団法人大成学術財団研究助成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) Marot, D., Tran, D.M., Bendahmane, F., Le, V.T.: Multidirectional Flow Apparatus for Assessing Soil Internal Erosion Susceptibility, Geotech. Test. J., Vol.43, No.6, pp.1481-1498, 2020. 2) 石丸太一, 鈴木素之, 高野翔太: 濁度を利用した細粒分流出実験における移動土粒子の粒度組成とその時間変化, 地盤工学ジャーナル, Vol.17, No.1, pp.47-60, 2022.

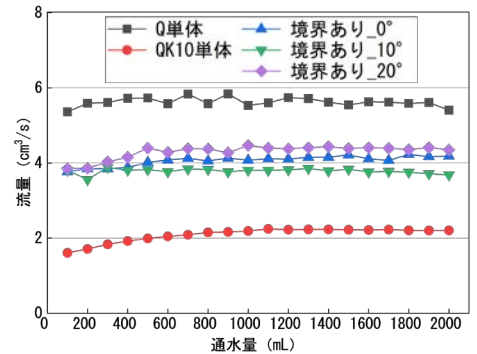


図3 流量の時間変化

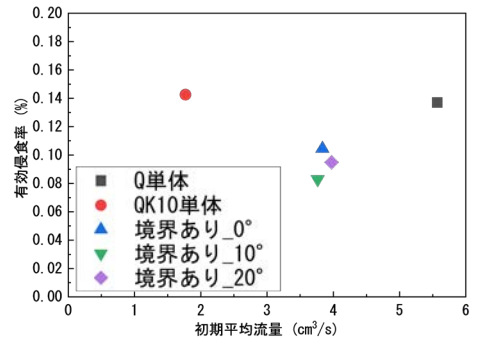


図4 初期平均流量と有効侵食率の関係

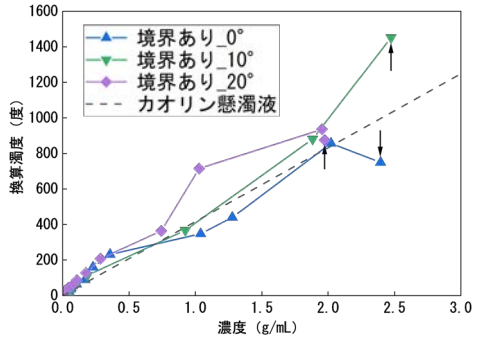


図5 排水の濃度と濁度の関係